



PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PROCESSOS
MESTRADO PROFISSIONAL

**MÉTODO DE FURAÇÃO PROFUNDA PARA FABRICAÇÃO DE CILINDRO
EXTERNO DOS AMORTECEDORES DIANTEIROS DOS VEÍCULOS DE
DUAS RODAS**

Samuel Souza de Farias

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Processos – Mestrado Profissional, PPGEP/ITEC, da Universidade Federal do Pará, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Engenharia de Processos.

Orientador: Eduardo de Magalhães Braga

Belém
Novembro de 2017

**MÉTODO DE FURAÇÃO PROFUNDA PARA FABRICAÇÃO DE CILINDRO
EXTERNO DOS AMORTECEDORES DIANTEIROS DOS VEÍCULOS DE
DUAS RODAS**

Samuel Souza de Farias

DISSERTAÇÃO SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DO PROGRAMA DE
PÓSGRADUAÇÃO EM ENGENHARIA PROCESSOS – MESTRADO
PROFISSIONAL (PPGEP/ITEC) DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ COMO
PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE
MESTRE EM ENGENHARIA DE PROCESSOS.

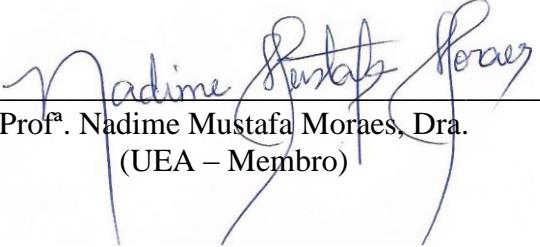
Examinada por:



Prof. Eduardo de Magalhães Braga, Dr.
(PPGEP/ITEC/UFPA - Orientador)



Prof. Kleber Bittencourt de Oliveira, D. Eng.
(PPGEP/ITEC/UFPA - Membro)



Profª. Nadime Mustafa Moraes, Dra.
(UEA – Membro)

BELÉM, PA - BRASIL

NOVEMBRO DE 2017

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)
Sistema de Bibliotecas da UFPA

Farias, Samuel Souza de, 1963-
Método de furação profunda para fabricação de cilindro
externo dos amortecedores dianteiros dos veículos de duas
rodas / Samuel Souza de Farias.- 2017.

Orientador: Eduardo de Magalhães Braga

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Pará.
Instituto de Tecnologia. Programa de Pós-Graduação em
Engenharia de Processos, Belém, 2017.

1. Usinagem 2. Processos de fabricação 3. Cilindros 4.
Motocicletas I. Título

CDD 23.ed.671.35

Para Família,

Que no meu pensamento, sentimento e comportamento, encontre sempre harmonia e satisfação nos momentos presentes juntos, destes que fazem e fizeram parte de minha vida, Margarida, filhas, pai, mãe, irmãos, tios, primos, sogros, cunhados e toda prole.

Aos Professores e Amigos,

Que nunca nos falte companhias maravilhosas para motivar, mas também para criticar nossas indiferenças e desejos. Somos na vida simples seres humanos em busca de um ideal profissional de excelência.

Aos nossos irmãos em Cristo,

Que haja sempre motivação para Missão nas companhias dos nossos Bispos, Padres, Diáconos, Religiosos, Casais do ECC e todo povo de Deus.

AGRADECIMENTOS

Ao nosso Deus e às famílias Farias e Souza: Margarida, filhas, pai, mãe, irmãos, tios, primos, sogros, cunhados e toda prole.

Aos amigos Professores Doutores João Nazareno Nonato Quaresma, Eduardo de Magalhães Braga, Emanuel Negrão Macêdo pela ajuda, incentivo e colaboração para o trabalho.

Ao amigo Professor Doutor Jandecy Cabral Leite pela ajuda e parceria nos experimentos e discussões técnicas.

Aos colegas do ITEGAM - PPGEP pelo incentivo e colaboração.

E aos colaboradores da Fábrica de Amortecedores de Duas Rodas pela dedicação e ajuda nos experimentos.

Resumo da Dissertação apresentada ao PPGEP/UFPA como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia de Processos (M. Eng.)

**MÉTODO DE FURAÇÃO PROFUNDA PARA FABRICAÇÃO DE CILINDRO
EXTERNOS DOS AMORTECEDORES DIANTEIROS DOS VEÍCULOS DE
DUAS RODAS**

Samuel Souza de Farias

Novembro/2017

Orientador: Eduardo de Magalhães Braga

Área de Concentração: Engenharia de Processos

No cenário industrial de produção de bens, fábricas equipadas com máquinas especiais já dispõem de uma nova estratégia para reduzir processos de fabricação. A furação profunda requer um processo especial de usinabilidade do material da peça, estabilidade da ferramenta e da máquina, precisão da máquina-ferramenta, composição do fluido de corte e material da ferramenta. Este trabalho tem como objetivo apresentar um método e discutir a qualidade da furação profunda obtidos em Cilindro Externo. A rugosidade das superfícies usinadas e o diâmetro foram as variáveis de saída analisadas nesta avaliação. Um estudo observacional foi realizado com o intuito de estudar a influência das variáveis de entrada: velocidade de corte, o avanço axial, a velocidade de avanço, o movimento circular e a temperatura do óleo refrigerante. Várias amostras de cilindros externos com pré-furo foram usinadas no processo de fundição de Alumínio. Todos os ensaios foram realizados em um torno de usinagem especial horizontal com ferramenta BTA (*Bohren Trepanation Ausrustug*) de 31H8 de diâmetro e profundidade de 291mm. Os resultados apresentados foram satisfatórios com uso do método e as vantagens competitivas, onde reside na racionalização de ferramentas importadas por nacionais e de forma significativa para vida útil e qualidade do cilindro externo, quando comparada, por exemplo, aos processos convencionais de furação.

Abstract of Dissertation presented to PPGEP/UFPA as a partial fulfillment of the requirements for the degree of Master in Process Engineering (M. Eng.)

**DEEP DRILLING METHOD FOR EXTERNAL CYLINDER
MANUFACTURING OF THE FRONT DUMMERS OF TWO-WHEEL
VEHICLES**

Samuel Souza de Farias

November/2017

Advisor: Eduardo de Magalhães Braga

Research Area: Process Engineering

Currently in the industrial scenario of production of goods, factories equipped with special machines already have a new strategy to reduce manufacturing processes. Deep drilling requires a special workpiece machinability process, tool and machine stability, machine tool accuracy, cutting fluid composition and tool material. This work has as main objective to present a method and discuss the quality of deep drilling obtained in External Cylinder. The roughness of the machined surfaces and the diameter were the output variables analyzed in this evaluation. An observational study was carried out to study the influence of the input variables: shear rate, axial feed, feed rate, circular motion and coolant temperature. Several samples of pre-drilled external cylinders were machined in the cast aluminum process. All tests were performed in a special horizontal machining lathe with BTA tool (Bohren Trepanation Ausrustug) of 31H8 diameter and depth of 291mm. The results presented were satisfactory with the use of the method, and the competitive advantages, where it resides in the rationalization of tools imported by national and in a significant way for life and quality of the external cylinder, when compared, for example, to conventional drilling processes.

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO.....	1
1.1 - MOTIVAÇÃO.....	1
1.2 - OBJETIVOS.....	3
1.2.1 - Objetivo geral.....	3
1.2.2 - Objetivos específicos.....	4
1.3 - ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO.....	4
CAPÍTULO 2 – REVISÃO DA LITERATURA.....	6
2.1 - PROCESSOS ATUAIS DE FURAÇÃO E MATERIAIS UTILIZADOS NOS SISTEMAS DE AMORTECEDORES.....	6
2.1.1 - Usinagem.....	6
2.1.2 - Materiais sólidos.....	7
2.1.2.1 - Materiais metálicos.....	7
2.1.2.2 - Materiais cerâmicos.....	8
2.1.2.3 - Materiais poliméricos.....	8
2.1.2.4 - Materiais compósitos.....	9
2.2 - FUNDIÇÃO EM ALUMÍNIO.....	9
2.2.1 - Fundição de areia.....	10
2.2.2 - Fundição em coquilha.....	10
2.2.3 - Fundição sob pressão.....	10
2.2.4 - Processos de produção.....	11
2.2.5 - Usinagem em alumínio.....	12
2.3 - USINABILIDADE DOS METAIS.....	12
2.3.1 - Principais grupos que influenciam a usinabilidade.....	13
2.3.1.1 - Variáveis dependentes da máquina-ferramenta.....	13
2.3.1.2 - Variáveis dependentes da ferramenta.....	13
2.3.1.3 - Classificação dos materiais para ferramenta.....	14
2.3.1.4 - Evolução dos materiais de ferramenta.....	15
2.3.1.5 - Variáveis dependentes da peça.....	16
2.3.1.6 - Variáveis dependentes do fluido de corte.....	16
2.3.1.7 - Variáveis dependentes do processo.....	17
2.3.1.8 - Critérios de avaliação da usinabilidade.....	17

2.4 - ETAPAS PARA O PROJETO DE UM PRODUTO.....	17
2.4.1 - Processo de mandrilhamento.....	19
2.4.2 - Processo de alargamento.....	20
2.4.3 - Processo de brunimento.....	20
2.4.4 - Processo de furação profunda.....	21
2.5 – AMORTECEDOR.....	21
2.5.1 - Sistemas dos amortecedores.....	22
2.5.1.1 - Amortecedor a fricção.....	22
2.5.1.2 - Amortecedor hidráulico de embolo rotativo.....	23
2.5.1.3 - Amortecedor hidráulico de alavanca.....	24
2.5.1.4 - Amortecedor hidráulico telescópico.....	24
2.6 - FERRAMENTAS DE PROCESSO.....	27
2.6.1 - Diagrama de Pareto.....	27
2.6.2 - Gráfico de controle.....	27
2.6.3 - Análise de variância – ANAVA.....	27
2.6.3.1 - ANAVA fator único.....	28
2.6.3.2 - Somas quadráticas.....	29
2.6.4 - Capacidade do processo.....	30
2.6.4.1 - Cálculo do índice.....	31
2.6.4.2 - Avaliação do cálculo do índice.....	31
2.7 - FORMULAÇÃO DE CÁLCULOS DE FURAÇÃO.....	31
2.7.1 - Velocidade de corte (Vc) Eq. (2.7).....	31
2.7.2 - Velocidade de avanço (Vf) Eq. (2.9).....	31
2.7.3 - Tempo de furação (Tc) Eq. (2.11).....	32
2.7.4 - Taxa de remoção de metal Eq. (2.12).....	32
2.8 - FORMULAÇÃO DE CÁLCULOS DE CUSTOS.....	32
2.8.1 - Alto custo da máquina.....	33
2.8.2 - Baixo custo da máquina.....	33
2.8.3 - Alto custo da máquina/baixa carga de trabalho.....	34
2.8.4 - Parâmetros de Corte para o Alargamento.....	34
2.8.4.1 - Velocidade de corte.....	35
2.8.4.2 – Avanço.....	36
2.8.4.3 - Profundidade de corte.....	37

2.9 - FLUIDO DE REFRIGERAÇÃO.....	37
2.9.1 - As finalidades do fluido de corte em um processo de furação.....	39
2.9.2 - Bomba de alta pressão.....	39
2.9.3 - Fluido de corte.....	40
2.9.4 - Filtragem do fluido de corte.....	40
2.9.5 - Reservatório – volume do tanque.....	40
2.9.6 - Troca de calor.....	40
2.9.7 - Volume do tanque – potência de resfriamento.....	41
2.9.8 - Modo de aquecimento do tanque.....	41
2.9.9 - Modo de resfriamento do tanque.....	41
2.9.10 - Tempo máximo em corte sem resfriamento extra.....	42
2.9.11 - Aplicação do método de tempo de corte.....	42
2.9.12 - Tipos de fluidos de corte.....	42
2.9.13 – Recomendações.....	43
CAPÍTULO 3 - MATERIAIS E MÉTODOS.....	44
3.1 - MATERIAIS DE ESTUDO PARA O MÉTODO DE FURAÇÃO PROFUNDA DO CILINDRO EXTERNO.....	44
3.2 - MÁQUINAS E EQUIPAMENTOS.....	45
3.2.1 - Máquina ferramenta.....	45
3.2.1.1 - Torno mecânico horizontal de usinagem do cilindro externo.....	45
3.2.2 - Ferramenta utilizada.....	46
3.2.2.1 - Ferramenta de corte – BTA.....	46
3.2.3 - Verificação da qualidade da furação.....	47
3.2.3.1 - Instrumentos para avaliação dimensional.....	47
3.2.3.2 - Instrumento para avaliação do acabamento superficial.....	48
3.2.3.3 - Amostragem e avaliação.....	49
3.3 - MATERIAIS DE TESTE E CORPOS DE PROVA.....	50
3.3.1 - Cilindros externos.....	50
3.3.2 - Fluido de corte utilizado.....	51
3.3.3 - Parâmetros de usinagem.....	51
3.3.4 - Equipamento para ajuste da ferramenta.....	52
3.4 - VARIÁVEIS DE ENTRADA.....	53
3.5 – METODOLOGIA.....	54

3.5.1 - Métodos de furação profunda.....	54
3.5.1.1 - Furação em cheio.....	54
3.5.1.2 – Alargamento.....	55
3.5.1.3 – Trepanação.....	55
3.5.2 - Acabamento superficial – rugosidade.....	55
3.5.2.1 – Introdução.....	55
3.5.2.2 - Seleção do parâmetro de rugosidade.....	57
3.6 - ANÁLISE VARIÂNCIA.....	58
3.6.1 - Compreendendo a variação.....	58
3.6.2 - Análise estatística: ANOVA.....	58
3.6.3 - Anova um fator.....	59
3.7 - ANÁLISE SISTEMÁTICO DE CUSTOS.....	59
CAPÍTULO 4 - RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	61
4.1 - TESTES E ENSAIOS.....	61
4.1.1 - Resultados da rugosidade dos furos.....	61
4.1.2 - Resultados do diâmetro dos furos.....	63
4.2 - PROPOSIÇÃO DOS RESULTADOS.....	65
4.3 - ANÁLISE DOS RESULTADOS.....	66
4.4 - ANÁLISE DE VARIÂNCIA CAPABILIDADE DO PROCESSO.....	67
4.5 - ANÁLISE DOS CUSTOS E BENEFÍCIOS.....	74
4.6 - MÉTODO DE MANUTENÇÃO DO AMORTECEDOR DE MOTOS.....	74
CAPÍTULO 5 - CONCLUSÕES E SUGESTÕES.....	76
5.1 - CONCLUSÕES.....	76
5.2 - SUGESTÕES.....	77
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	79
ANEXO I - MAPA DE AVALIAÇÃO E ESTATÍSTICA DO PROCESSO – PRODUÇÃO NORMAL.....	91
ANEXO II - MAPA DE AVALIAÇÃO E ESTATÍSTICA DO PROCESSO – TESTE 1.....	92
ANEXO III - MAPA DE AVALIAÇÃO E ESTATÍSTICA DO PROCESSO – TESTE 2.....	93

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1	Moto Modelo Honda CG-150.....	1
Figura 1.2	Ferramenta BTA.....	3
Figura 2.1	Processo de usinagem.....	7
Figura 2.2	Fundição sob pressão.....	11
Figura 2.3	Usinagem de metais.....	12
Figura 2.4	Consequências para uma ferramenta de corte em usinagem.....	14
Figura 2.5	Evolução e propriedades dos materiais de ferramentas.....	15
Figura 2.6	Resistência a quente dos principais materiais de ferramentas.....	16
Figura 2.7	Procedimento requerido para o projeto de um produto.....	18
Figura 2.8	Classificação dos processos de fabricação.....	19
Figura 2.9	Amortecedor de Fricção.....	23
Figura 2.10	Amortecedor hidráulico de embolo rotativo.....	23
Figura 2.11	Amortecedor hidráulico de alavanca.....	24
Figura 2.12	Amortecedor hidráulico.....	25
Figura 3.1	Fluxo macro do processo de fabricação do amortecedor.....	44
Figura 3.2	Fluxo do processo do cilindro externo linha I.....	45
Figura 3.3	Torno BTA BM-87.....	46
Figura 3.4	Ferramenta BTA.....	47
Figura 3.5	Súbito com relógio comparador.....	48
Figura 3.6	Paquímetro de profundidade.....	48
Figura 3.7	Rugosímetro digital.....	49
Figura 3.8	Cilindro externo.....	50
Figura 3.9	Principais variáveis de entrada para usinabilidade de ligas de alumínio tratáveis termicamente – processo de torneamento.....	53
Figura 3.10	Medição da rugosidade superficial através de um rugosímetro eletromecânico.....	56
Figura 3.11	Indicação da rugosidade Ra pelos números de classe.....	57
Figura 4.1	Variação da rugosidade em função dos parâmetros de corte.....	62
Figura 4.2	Variação da rugosidade em função dos parâmetros de corte teste-1.....	62

Figura 4.3	Variação da rugosidade em função dos parâmetros de corte teste-2.....	63
Figura 4.4	Variação do diâmetro do furo em função dos parâmetros de corte produção normal.....	64
Figura 4.5	Variação do diâmetro do furo em função dos parâmetros de corte do teste-1.....	64
Figura 4.6	Variação do diâmetro do furo em função dos parâmetros de corte do teste-2.....	65
Figura 4.7	Análise da integridade superficial.....	66
Figura 4.8	Capabilidade do processo rugosidade produção normal.....	67
Figura 4.9	Capabilidade do processo rugosidade teste-1.....	68
Figura 4.10	Capabilidade do processo rugosidade teste-2.....	69
Figura 4.11	Análise da integridade dimensional.....	70
Figura 4.12	Capabilidade do processo diâmetro produção normal.....	71
Figura 4.13	Capabilidade do processo diâmetro teste-1.....	72
Figura 4.14	Capabilidade do processo diâmetro teste 2.....	73

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1	Alto custo da máquina.....	33
Tabela 2.2	Baixo custo da máquina.....	34
Tabela 2.3	Alto custo da máquina / baixa carga de trabalho.....	34
Tabela 3.1	Temperatura do óleo de corte.....	51
Tabela 3.2	Parâmetros de usinabilidade.....	52
Tabela 3.3	Ajuste das ferramentas.....	52
Tabela 4.1	Plano de Manutenção Preventiva – Suspensões.....	74

NOMENCLATURA

ABNT	ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS
AFNOR	ASSOCIATION FRANÇAISE DE NORMALISATION
ANOVA	ANALYSIS OF VARIANCE
Ap	PROFUNDIDADE DE CORTE
ASME	THE AMERICAN SOCIETY OF MECHANICAL ENGINEERS
ASTM	AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS
BTA	BOHREN TREPANATION AUSRUSTUG
DC	DIAMETRO DA BROCA
DIN	DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG
EP	EXTREMA PRESSÃO
FENABRAVE	FEDERAÇÃO NACIONAL DA DISTRIBUIÇÃO DE VEÍCULOS AUTOMOTORES
fig.	FIGURA
f_n	AVANÇO POR ROTAÇÃO
F_t	FORÇA DE AVANÇO
f_z	AVANÇO/ARESTA
HSK	HOHL SHAFT KEGEL
ISO	INTERNATIONAL STANDARD ORGANISATION
IT	ISO TOLERÂNCIA
Kc	FORÇA DE CORTE ESPECIFICA
l_m	COMPRIMENTO DA FURAÇÃO
LSD	LEAST SIGNIFICANT DIFFERENCE
M_c	TORQUE
MD	METAL DURO
n	VELOCIDADE DO FUSO
P_c	POTÊNCIA LÍQUIDA
PCBN	NITRETO DE BORO CÚBICO POLICRISTALINO
PCD	DIAMANTE POLICRISTALINO
Q	TAXA DE REMOÇÃO DE METAL
STS	SINGLE TUBE SYSTEM

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

1.1 - MOTIVAÇÃO

A Indústria de veículos de duas rodas vem crescendo de forma geométrica, nos últimos anos; para fortalecer este mercado os processos de fabricação necessitam de tecnologias cada vez mais sofisticadas, principalmente quando se trata de componentes vitais para uma perfeita estabilidade e segurança dos consumidores, que utilizam veículos desta classe. Neste estudo será apresentado um método de altíssima relevância para fabricação de cilindro externo do amortecedor dianteiro para veículos de duas rodas da Moto Modelo Honda CG-150, Figura 1.1 – Moto Modelo CG-150, abrangendo o processo de furação do cilindro externo e sua performance de acabamento superficial e a qualidade do processo de fabricação, onde na indústria é conhecido como furação profunda ou furação longa.

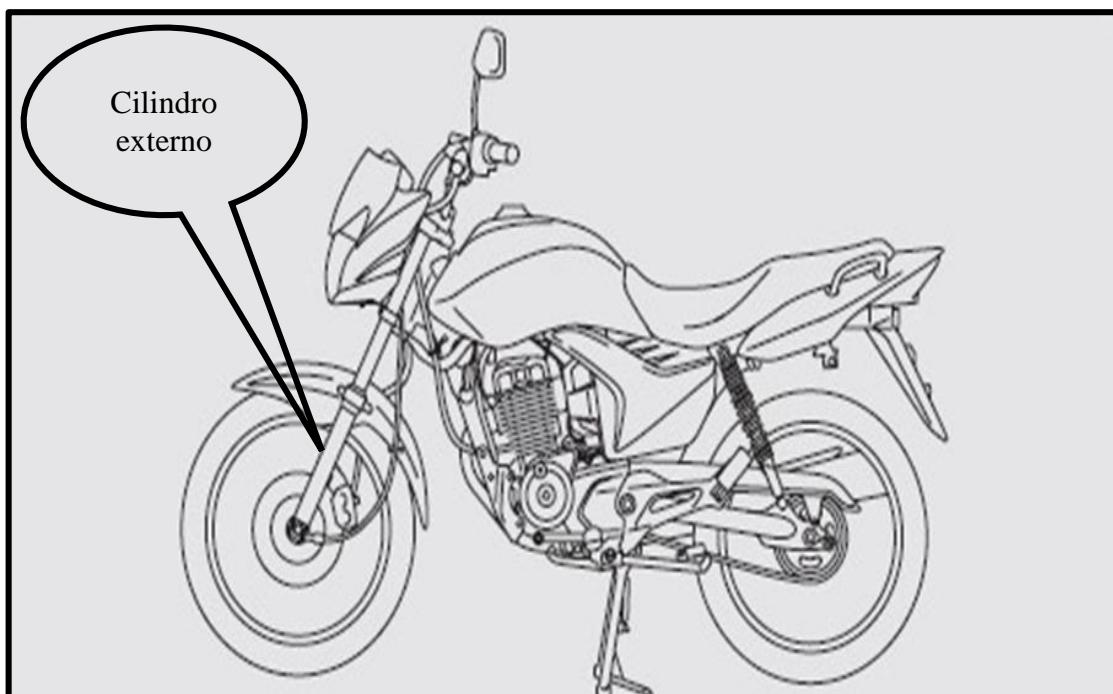


Figura 1.1 - Moto Modelo Honda CG-150.
Fonte: MANUAL DO PROPRIETÁRIO HONDA CG-150 (2013).

A furação profunda é um processo de usinabilidade de furos com uma faixa de profundidade de diâmetro relativamente grande. Enquanto que as técnicas normais de furação produzem furos cuja profundidade pode raramente alcançar mais que cinco vezes o diâmetro, na furação profunda a faixa pode chegar a 150:1. Qualquer furo mais profundo que cinco vezes o diâmetro deve ser considerado um furo profundo, requerendo uma técnica especial de furação. A furação profunda pode empregar diversos *set-ups* de máquina: rotação da peça, rotação da ferramenta, ou rotação de ambas. Entretanto, o mais comum é a rotação da peça, enquanto que a ferramenta supre o avanço linear do movimento (STOETERAU, 2004).

Furos profundos são definidos por uma alta relação entre a profundidade e o diâmetro do furo. Furação profunda é o método recomendado para furos com profundidade maior que 10 x o diâmetro. Durante a furação, é importante que os cavacos sejam quebrados e que possam ser transportados para longe sem causar entupimento e sem afetar a superfície usinada. Na furação profunda, o fluido de corte e o transporte de cavacos foram fornecidos para o desenvolvimento de quatro sistemas diferentes que permitem a usinagem de furos sem problemas de mais de 100 x o diâmetro (SANDVICK, 2016).

Qualquer que seja o *set-up* empregado, os princípios básicos de furação ainda se aplicam, e a escolha correta de velocidades de corte e avanços são pontos cruciais. Além disso, é essencial uma quebra de cavacos satisfatória e uma remoção de cavacos que não danifique a ferramenta ou a peça.

Dos sistemas de furação profunda desenvolvidos atualmente, a furação canhão é capaz de produzir furos menores que o *Single Tube System* (STS – Sistema de Tubo Único), mas o sistema BTA (*Bohren Trepanation Ausrustug*), Figura 1.2 – Ferramenta BTA, é bem mais produtivo (4 – 6 vezes) e deve ser sempre a primeira escolha quando for possível. O sistema Ejotor é uma alternativa para o STS, na furação de lotes menores que não precisem de uma máquina especial.

Atualmente os sistemas de usinagem que utilizam furação profunda, em comum classificado pelo sistema de corte principalmente incluem: sistema único-tubo, broca BTA - *Bohren Trepanation Ausrustug* e sistema ejotor de sistema de furação de arma. Eles representam um sistema avançado e eficiente na tecnologia de processamento.

Então, boa precisão e o efeito, podem ser conseguidos apenas através de alimentação única, e a posição do furo usinado é exata e precisamente medida, tendo alta linearidade e coaxialidade, bem como muito boa lisura de superfície e repetitividade;

vários furos profundos podem ser facilmente usinados. Especiais furos profundos tais como atravessam profundidades, furos inclinados, orifícios cegos e furos cegos de plano-base podem ser muito bem resolvidos.

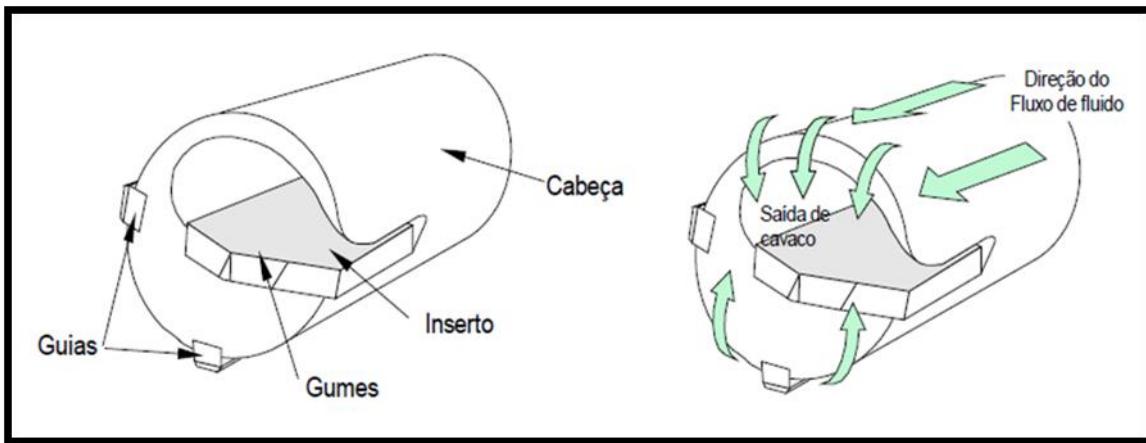


Figura 1.2 - Ferramenta BTA.
Fonte: STOETERAU (2004).

Brocas BTA, esta ferramenta foi desenvolvida pela *Boring and Trepanning Association*, BTA. Este processo se caracteriza por uma broca de gume único com alimentação do fluido de corte através da área anelar em torno da ferramenta. O retorno do fluido ocorre em conjunto com os cavacos subindo pela boca de cavacos através do tubo central, que deve ter diâmetro mínimo de 6 mm. O limite superior para furação em cheio pelo sistema BTA está na ordem de 300 mm e para ferramentas de alargamento de furo na ordem de 1000 mm, onde estes limites basicamente são definidos pela potência instalada da máquina-ferramenta (KÖNIG e KLOCKE, 1997).

1.2 - OBJETIVOS

1.2.1 - Objetivo geral

Os métodos de ensaios realizados objetivam comparar a eficiência e eficácia da furação profunda em relação ao processo atual de fabricação de cilindros externos dos amortecedores dianteiros do veículo de duas rodas. Foi utilizada a variação da velocidade de corte e avanço pelo diâmetro da ferramenta e a temperatura de fluidos de usinagem, visando analisar a rugosidade da superfície e a variação do diâmetro dos furos e a redução de custo de usinagem.

1.2.2 - Objetivos específicos

- Analisar os processos atuais de furação e materiais utilizados nos sistemas de amortecedores;
- Descrever os materiais e métodos da furação profunda, com base nos testes e ensaios realizados para coleta de informações desta dissertação;
- Avaliar e comparar os resultados obtidos pelos testes e ensaios de furação profunda.

1.3 - ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO

No presente capítulo buscou-se enfatizar as motivações e objetivos que levaram ao estudo da utilização do Método de Furação Profunda na Fabricação de Cilindro Externo para Amortecedores dos Veículos de Duas Rodas para diagnosticar variáveis de altíssima importância para satisfação dos condutores, bem como os objetivos pretendidos no presente trabalho.

O Capítulo 2 apresenta uma revisão da literatura e estado da arte do método de fabricação do cilindro externo, desde o processo de usinagem e fabricação, os parâmetros de corte para furação profunda, os processos seguintes da fabricação e funcionamento de um amortecedor, apresentando ferramentas de análise e formulação dos cálculos de torneamento e custos de produtividade.

O Capítulo 3 traz a metodologia e os materiais utilizados para a elaboração da dissertação e o local de estudo onde foi realizado os ensaios e testes na fabricação do cilindro externo do amortecedor dianteiro dos veículos de duas rodas, com as especificidades dos parâmetros de teste e suas variáveis de entrada.

O Capítulo 4 trata da apresentação dos resultados e discussões do método e modelo apresentado com comparativos e uso análise de variância, ferramenta aplicada na engenharia da qualidade e a elaboração de diagramas e gráficos do Controle estatístico de Processo (CEP), para certificação dos resultados.

As análises dos resultados são apresentadas através da aplicação da análise de variância e dos custos com máquina ferramenta em comparação com os aplicados atualmente.

Finalmente, no Capítulo 5, são apresentadas as conclusões e sugestões da aplicação do método de furação profunda e o autodiagnóstico para a continuação do trabalho em etapas posteriores com implementação das sugestões.

CAPÍTULO 2

REVISÃO DA LITERATURA

2.1 – PROCESSOS ATUAIS DE FURAÇÃO E MATERIAIS UTILIZADOS NOS SISTEMAS DE AMORTECEDORES

2.1.1 - Usinagem

Usinagem (DIN, 2003), aplica-se a todos os processos de fabricação onde ocorre a remoção de material sob a forma de cavaco, a usinagem é uma operação que confere à peça em sua forma, dimensões ou acabamento superficial, ou ainda uma combinação destes, através da remoção de material sob a forma de cavaco, porção de material da peça retirada pela ferramenta, caracterizando-se por apresentar forma irregular, onde o princípio é a remoção de material que ocorre através da interferência entre ferramenta e peça, sendo a ferramenta constituída de um material de dureza e resistência muito superior a do material da peça, neste estudo utilizaremos ferramenta com geometria definida, onde a usinagem é baseado na mecânica (cinemática, atrito e deformação), na termodinâmica (geração e propagação de calor) e nas propriedades dos materiais.

Importância da usinagem na indústria (STOETERAU, 2004). A maior parte de todos os produtos industrializados em alguma de suas etapas de produção sofre algum processo de usinagem, Figura 2.1, temos, 80% dos furos são realizados por usinagem, 100% dos processos de melhoria da qualidade superficial são feitos por usinagem, o comércio de máquinas-ferramentas representa uma das grandes fatias da riqueza mundial, 70% das engrenagens para transmissão de potência, 90% dos componentes da indústria aeroespacial e 100% dos pinos médico odontológicos. Outros produtos usinados, 70% das lentes de contatos extraoculares, 100% das lentes de contatos intraoculares e Lentes para CD player ou suas matrizes utilizam a usinagem de precisão.

As grandezas do processo de usinagem são classificadas em máquina-ferramenta, ferramenta, peça, dispositivo de fixação e porta ferramentas. Cada um com sua devida especificidade, nos métodos de furação profunda são caracterizados por alta taxa de remoção de materiais e alta precisão em relação à retilíneidade do furo, tolerâncias dimensionais e acabamento superficial. As condições extremas que se aplicam quando os furos profundos exigem muito da ferramenta, máquina e equipamentos associados.

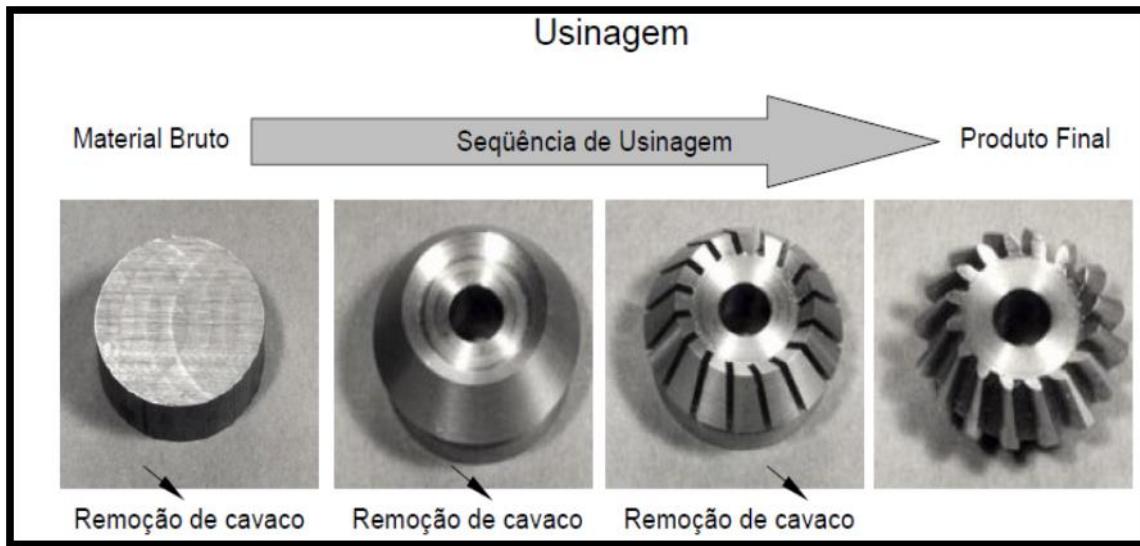


Figura 2.1 – Processo de usinagem.

Fonte: STOETERAU (2004).

2.1.2. - Materiais sólidos

Segundo COHEN (1997), conceituado cientista de materiais do não menos conceituado *Massachusetts Institute of Technology* (MIT), materiais são substâncias com propriedades que as tornam úteis na construção de máquinas, estruturas, dispositivos e produtos. Em outras palavras, os materiais do universo que o homem utiliza para “fazer coisas”.

Os materiais sólidos são frequentemente classificados em três grupos principais: materiais metálicos, materiais cerâmicos e materiais poliméricos ou plásticos. Esta classificação é baseada na estrutura atômica e nas ligações químicas predominantes em cada grupo. Um quarto grupo, que foi incorporado nesta classificação nas últimas décadas, é o grupo dos materiais compósitos (MACHADO, 2015).

2.1.2.1 - Materiais metálicos

Os materiais metálicos são normalmente combinações de elementos metálicos. Eles apresentam um grande número de elétrons livres, isto é, elétrons que não estão presos a um único átomo. Muitas das propriedades dos metais são atribuídas a estes elétrons. Por exemplo, os metais são excelentes condutores de eletricidade e calor e não são transparentes à luz. A superfície dos metais, ‘quando polida, reflete eficientemente a luz.

Eles são resistentes, mas deformáveis. Por isto são muito utilizados em aplicações estruturais.

Entre os quatro grupos de materiais mencionados anteriormente, os materiais metálicos, e em particular os aços, ocupam um lugar de destaque devido à sua extensiva utilização. Cerca de 70 dos 92 elementos da tabela periódica encontrados na natureza têm caráter metálico preponderante. Os metais mais tradicionais, tais como cobre, ouro e ferro são conhecidos e utilizados há alguns milênios.

2.1.2.2 - Materiais cerâmicos

Os materiais cerâmicos são normalmente combinações de metais com elementos não metálicos. Os principais tipos são: óxidos, nitretos e carbonetos.

A esse grupo de materiais também pertencem os argilo-minerais, o cimento e os vidros. Do ponto de vista de ligações químicas, eles podem ser desde predominantemente iônicos até predominantemente covalentes. Eles são tipicamente isolantes térmicos e elétricos. São também mais resistentes à altas temperaturas e a ambientes corrosivos que os metais e polímeros. Eles são muito duros, porém frágeis.

A argila foi o primeiro material estrutural inorgânico a adquirir propriedades completamente novas como resultado de uma operação intencional realizada por seres humanos. Esta operação foi a “queima” (sinterização) que tornou possível a obtenção de potes, panelas e outros utensílios cerâmicos, com enorme impacto na vida e nos hábitos do homem. Segundo KRANZBERG e SMITH, este foi talvez o começo da engenharia de materiais. Estima-se que isto tenha ocorrido no oitavo milênio A.C.

2.1.2.3 - Materiais poliméricos

Os polímeros são constituídos de macromoléculas orgânicas, sintéticas ou naturais. Os plásticos e borrachas são exemplos de polímeros sintéticos, enquanto o couro, a seda, o chifre, o algodão, a lã, a madeira e a borracha natural são constituídos de macromoléculas orgânicas naturais.

Os polímeros são baseados nos átomos de carbono, hidrogênio, nitrogênio, oxigênio, flúor e em outros elementos não metálicos. A ligação química entre átomos da cadeia é covalente, enquanto a ligação intercadeias é fraca, secundária, geralmente dipolar.

Os materiais poliméricos são geralmente leves, isolantes elétricos e térmicos, flexíveis e apresentam boa resistência à corrosão e baixa resistência ao calor.

Os polímeros naturais foram usados por milênios. Materiais naturais de origem animal ou vegetal, como madeira, fibras têxteis, crinas e ossos, são todos polímeros. Por outro lado, o desenvolvimento dos plásticos modernos ocorreu principalmente depois de 1930. Para que os plásticos modernos pudessem ser desenvolvidos, a química orgânica teve que ser criada.

2.1.2.4 - Materiais compósitos

Os materiais compósitos são materiais projetados de modo a conjugar características desejáveis de dois ou mais materiais.

Um exemplo típico é o compósito de fibra de vidro em matriz polimérica. A fibra de vidro confere resistência mecânica, enquanto a matriz polimérica, na maioria dos casos constituída de resina epoxídica, é responsável pela flexibilidade do compósito.

A matriz pode ser polimérica, metálica ou cerâmica. O mesmo vale para o reforço, que pode estar na forma de dispersão de partículas, fibras, bastonetes, lâminas ou plaquetas.

Os materiais compósitos são também conhecidos como materiais conjugados ou materiais compostos.

A madeira é um material compósito natural, em que a matriz e o reforço são poliméricos. O concreto é outro compósito comum. Neste caso, tanto a matriz como o reforço são materiais cerâmicos. No concreto, a matriz é cimento Portland e o reforço é constituído de 60 a 80% em volume de um agregado fino (areia) e de um agregado grosso (pedregulho). O concreto pode ainda ser reforçado com barras de aço.

2.2 – FUNDIÇÃO EM ALUMÍNIO

A fundição é um dos primeiros processos de usinagem industriais utilizados na produção de artigos de metal. A fundição em alumínio pode ser feita por gravidade, com uso de areia ou molde metálico, e sob pressão, (alta ou baixa). Além desses há também processos especiais, com cera perdida e tixofundição.

As peças fundidas de alumínio têm suas principais aplicações na área automotiva e de transportes. Como exemplo, pode-se citar blocos de motor, cabeçotes, caixas de

câmbio, carcaças e rodas para automóveis e veículos pesados, entre outros (GROOVER, 1996).

2.2.1 – Fundição de areia

O vazamento de metal líquido em moldes de areia é uma das mais antigas artes industriais. Ainda é utilizado quando as peças fundidas são requeridas em pequenas quantidades, de tamanho excepcionalmente grande ou muito intrincadas.

2.2.2 – Fundição em coquilha

Feito por gravidade, esse processo consiste em obter peças por meio do vazamento do metal líquido em um molde metálico, também chamado de coquilha. A introdução do metal é essencialmente determinada pela força da gravidade.

2.2.3 – Fundição sob pressão

Consiste na injeção de um metal líquido contido em um recipiente (câmara de injeção) para o interior da cavidade de um molde fabricado em aço, de acordo com a Figura 2.2, por meio de um pistão. Na primeira fase, o ar é eliminado da câmara de injeção. Depois, há um rápido preenchimento da cavidade do molde para evitar o resfriamento do metal. A última etapa é a compactação do metal para diminuir o volume das micros porosidades decorrentes da contração de solidificação do metal.



Figura 2.2 - Fundição sob pressão.

Fonte: GROOVER (1996).

Também chamado de fundição de ligas semissólidas de alumínio, a tecnologia utiliza, ao invés de alumínio líquido, o metal em “pasta”, evitando o desgaste no contato entre o metal e o molde e aumentando a produtividade. As principais aplicações desse processo se dão na indústria automotiva, na fabricação de peças como suspensões, carcaças e discos de embreagem, entre outras.

2.2.4 - Processos de produção

Uma das vantagens mais importantes do alumínio é o fato de poder ser transformado com facilidade. O alumínio pode ser laminado em qualquer espessura e extrudado numa infinidade de perfis de seção transversal constante e grande comprimento. O metal pode ser também, forjado ou impactado. Arames de alumínio trefilados a partir de vergalhões dão origem a fios de alumínio que, após serem encordoados, transformam-se em cabos condutores.

A facilidade e a velocidade com o qual o alumínio pode ser usinado é outro importante fator que contribui para difundir o uso desse material e que também aceita, praticamente, todos os métodos de união, tais como rebitagem, soldagem, brasagem e colagem. Além disso, para a maioria das aplicações do alumínio não são necessários revestimentos de proteção.

2.2.5 – Usinagem em alumínio

Embora quase todas as ligas possam ser usinadas, a ação de corte da ferramenta é mais efetiva em materiais de ligas completamente envelhecidas termicamente, com baixo alongamento. Estas produzem cavacos menores, em contraste com as características das aparas contínuas dos materiais mais moles e mais dúcteis.

Ligas especiais de fácil usinagem, desenvolvidas para trabalhos em tornos automáticos de alta velocidade, contêm adições de elementos de ligas, conforme a Figura 2.3, tais como chumbo, bismuto, antimônio ou estanho. A presença destes elementos na estrutura do metal propicia a fratura de cavacos em fragmentos menores na ferramenta de corte.



Figura 2.3 – Usinagem de metais.
Fonte: GROOVER (1996).

Ligas de fundição com alto teor de silício, de maneira contrária, necessitam de menores velocidades e retificação mais constante da ferramenta de corte, devido às partículas abrasivas de silício presentes na microestrutura.

2.3 – USINABILIDADE DOS METAIS

A usinabilidade pode ser entendida como a totalidade das propriedades do material que possuem influência sobre o processo de usinagem. Com este termo são descritas, em geral, as características que compõem a resposta do material à sua usinagem, pela quantidade de fatores influentes na usinagem. É um campo complexo e também de

difícil quantificação, já que não é uma grandeza que se possa medir diretamente, como a resistência à tração ou a dureza. A usinabilidade de um material sempre está relacionada com o processo de usinagem utilizado, com o material de corte empregado e com as condições de corte escolhidas, e pode ser muito diferente de caso a caso. O estudo da mesma requer uma pesquisa científica cuidadosa, já que pequenas variações em características intrínsecas do material (como dureza, microestrutura, composição química etc.) ou no sistema máquina-peça-ferramenta podem levar a alterações significativas nos resultados de trabalho (DAVIES, 1976).

Capacidade dos materiais de se deixarem trabalhar com ferramentas de corte (STOETERAU, 2004). Materiais diferentes tem comportamento diferente; Ligas de mesmo material também podem ter comportamentos diferentes.

Principais problemas decorrentes da má usinabilidade de um material: Desgaste rápido; Superaquecimento da ferramenta; Empastamento da ferramenta; lascamentos no gume de corte; Comprometimento da qualidade superficial; Necessidade de grande potência de usinagem; Grandes esforços de usinagem.

2.3.1 - Principais grupos que influenciam a usinabilidade

2.3.1.1 - Variáveis dependentes da máquina-ferramenta

Rigidez estática da máquina e seus constituintes; característica dinâmica da máquina; potência e força disponíveis na ponta da ferramenta; gama de velocidades de corte e avanços.

2.3.1.2 - Variáveis dependentes da ferramenta

Geometria da ferramenta; Material da ferramenta. A Figura 2.4 - apresenta as consequências para uma ferramenta de corte em usinagem.

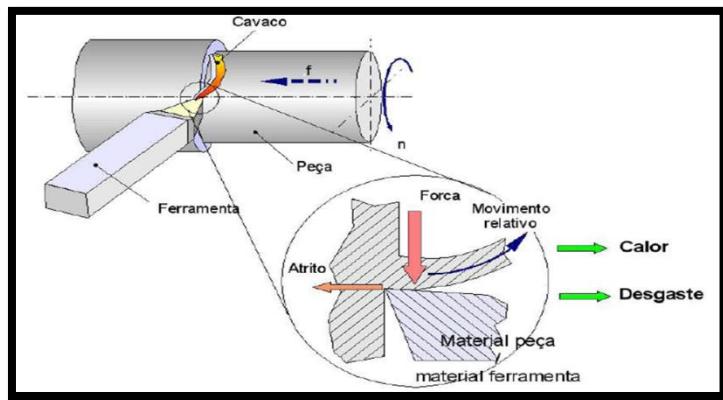


Figura 2.4 - Consequências para uma ferramenta de corte em usinagem.

Fonte: STOETERAU (2004).

A seleção criteriosa do material da ferramenta de corte é realizada após uma avaliação de uma série de fatores que devem ser ponderados. Dentre os quais podem ser citados:

- Material a ser usinado: Dureza e tipo do cavaco, Processo de usinagem;
- Condições da máquina operatriz: Máquinas antigas, com folga, baixa potência e rotação exigem ferramentas mais tenazes e que não requeiram altas velocidades de corte;
- Forma e dimensões da ferramenta;
- Custo do material da ferramenta;
- Condições de usinagem;
- Condições de operação.

Qualquer que seja o material da ferramenta de corte é necessário que ele apresente uma série de requisitos de maior ou menor importância. As principais características são: Dureza a quente; Resistência a abrasão; Resistência a flexão e Tenacidade; Resistência a compressão; Estabilidade química.

2.3.1.3 - Classificação dos materiais para ferramenta

Uma classificação baseada nas características químicas dos materiais para ferramentas de corte é apresentada na Figura 2.5 - Evolução e propriedades dos materiais de ferramentas.

- Aços carbonos sem ou com baixos teores de elementos de liga;
- Ligas fundidas (stellite);

- Coronite (partículas finas de TiN + Matriz de Aço temperado);
- Aços rápidos e Aços rápidos com cobertura;
- Metal duro, Metal duro com cobertura;
- Cermets e Material Cerâmico;
- Nitreto de Boro Cúbico (CBN);
- Diamante.

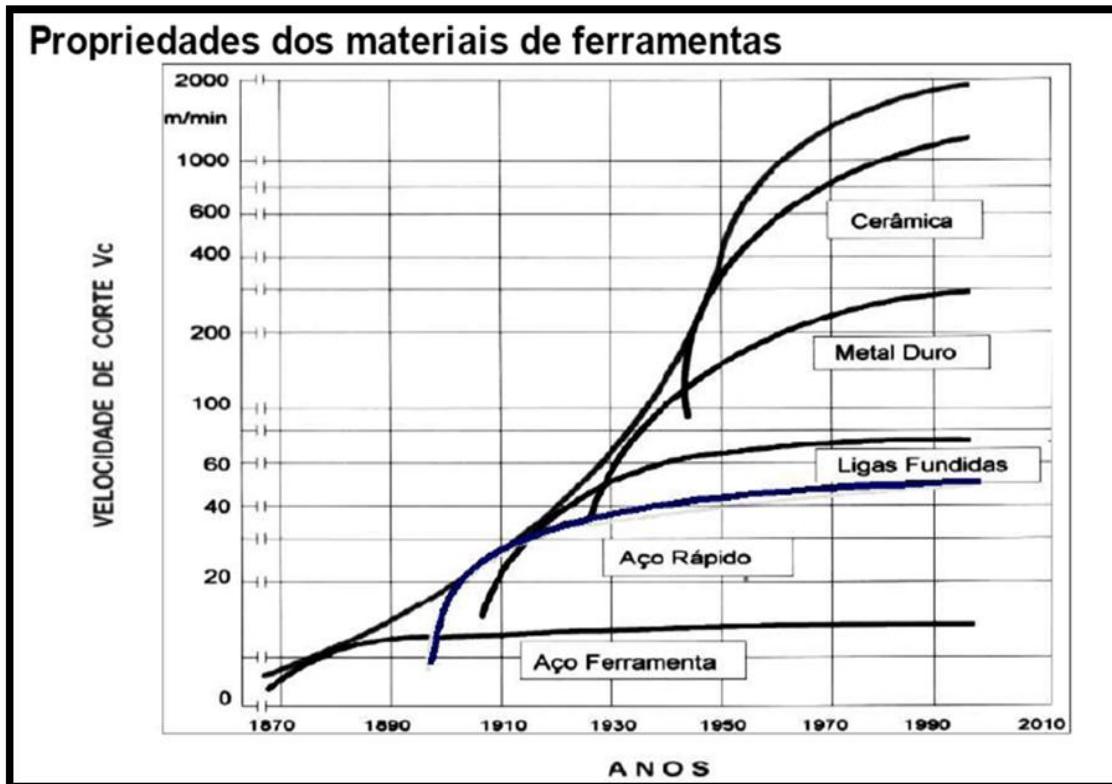


Figura 2.5 - Evolução e propriedades dos materiais de ferramentas.
Fonte: FERRARES (1977).

2.3.1.4 - Evolução dos materiais de ferramenta

Uma evolução baseada nas características químicas dos materiais para ferramentas de corte é apresentada na Figura 2.6 - Resistência a quente dos principais materiais de ferramentas, relacionando temperatura e tratamento térmico.

- Aço ferramenta (1868);
- Aço rápido (1900);
- Stellite (1910);
- Metal duro (1926);

- Cerâmicas (1938);
- Nitreto de boro cúbico (década de 50);
- Diamante mono e policristalino (década de 70).

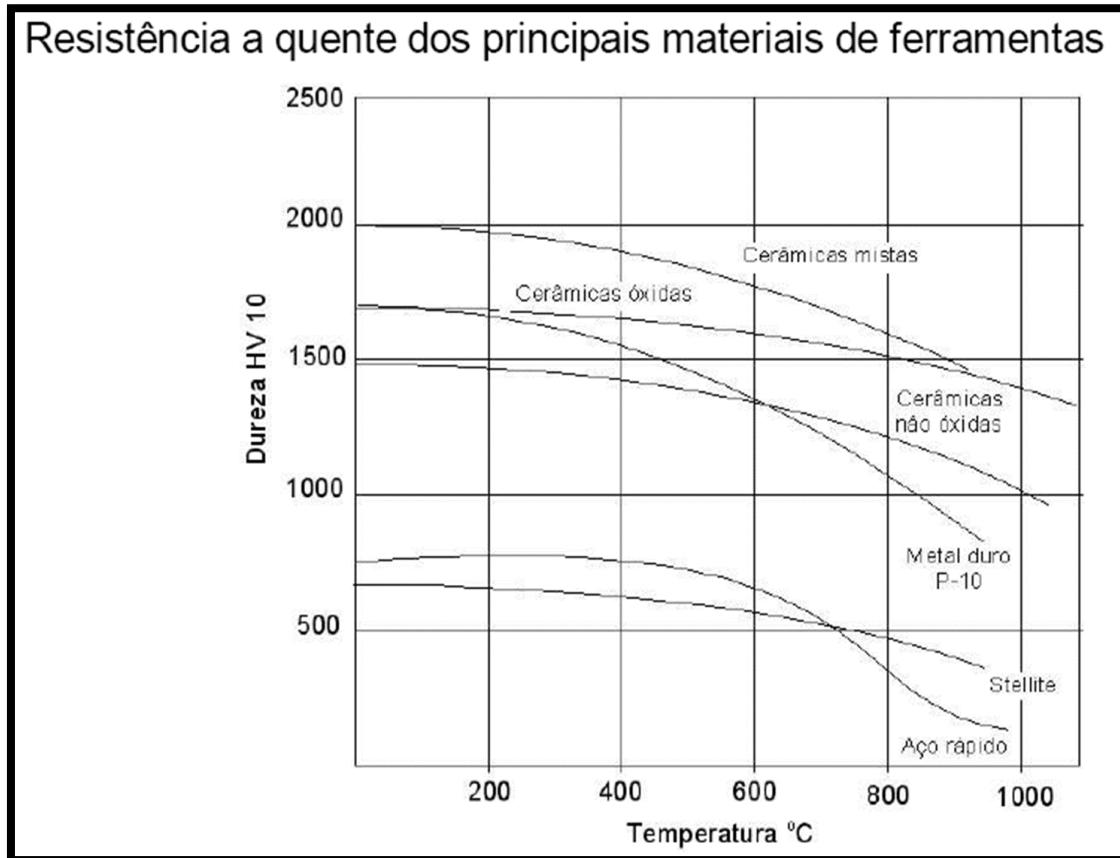


Figura 2.6 - Resistência a quente dos principais materiais de ferramentas.

Fonte: FERRARES (1977).

2.3.1.5 - Variáveis dependentes da peça

Formas e dimensões; Rigidez estática da peça; Rigidez dinâmica da peça; Propriedades físicas, químicas e mecânicas do material da peça; Temperatura da peça.

2.3.1.6 - Variáveis dependentes do fluido de corte

Propriedades refrigerantes; Propriedades lubrificantes; Temperatura do fluido; Forma e intensidade de aplicação; Nível de contaminação do fluido.

2.3.1.7 - Variáveis dependentes do processo

Velocidade de corte; Parâmetros do processo (ap, f, etc.); Forma de atuação da ferramenta na peça (ex.: corte interropido, corte contínuo, forma de entrada e saída da ferramenta etc.

2.3.1.8 - Critérios de avaliação da usinabilidade

Vida da ferramenta entre duas reafiações sucessivas; Grandeza das forças que atuam sobre a ferramentaria e potência consumida; Qualidade do acabamento superficial obtida; Facilidade de formação e remoção do cavaco. Somente os três primeiros são passíveis de serem quantificados por meio de ensaios de usinagem.

2.4 – ETAPAS PARA O PROJETO DE UM PRODUTO

O projetista de produtos ou engenheiro projetista especifica as formas, dimensões, aparência, e o material a ser usado no produto. Primeiro são feitos os protótipos do produto. Neste estágio, é possível fazer modificações, tanto no projeto original como no material selecionado, caso análises técnicas e/ou econômicas assim indicarem. Um método apropriado é então escolhido pelo engenheiro de fabricação. A Figura 2.7 - Mostra um procedimento correto para se chegar à etapa de fabricação (STOETERAU, 2004).

Os processos de transformação de metais e ligas metálicas em peças para a utilização em conjuntos mecânicos são inúmeros e variados: pode-se fundir; soldar; utilizar a metalurgia em pó; ou usinar o metal a fim de obter a peça desejada. Evidentemente, vários fatores devem ser considerados quando se escolhe um processo de fabricação. Como por exemplo:

Forma e dimensão da peça; Material a ser empregado e suas propriedades; Quantidade de peças a serem produzidas; Tolerâncias e acabamento superficial requerido; Custo total do processamento.

A Fundição é um processo de fabricação sempre inicial, pois precedem importantes processos de fabricação como usinagem, soldagem e conformação mecânica. Esses utilizam produtos semiacabados (barras, chapas, perfis, tubos, etc.) como matéria prima que advém do processo de fundição. Podemos dividir os processos de fabricação

de metais e ligas metálicas em: os com remoção de cavaco, e os sem remoção de cavaco. A Figura 2.7 mostra a classificação dos processos de fabricação, destacando as principais operações de usinagem.

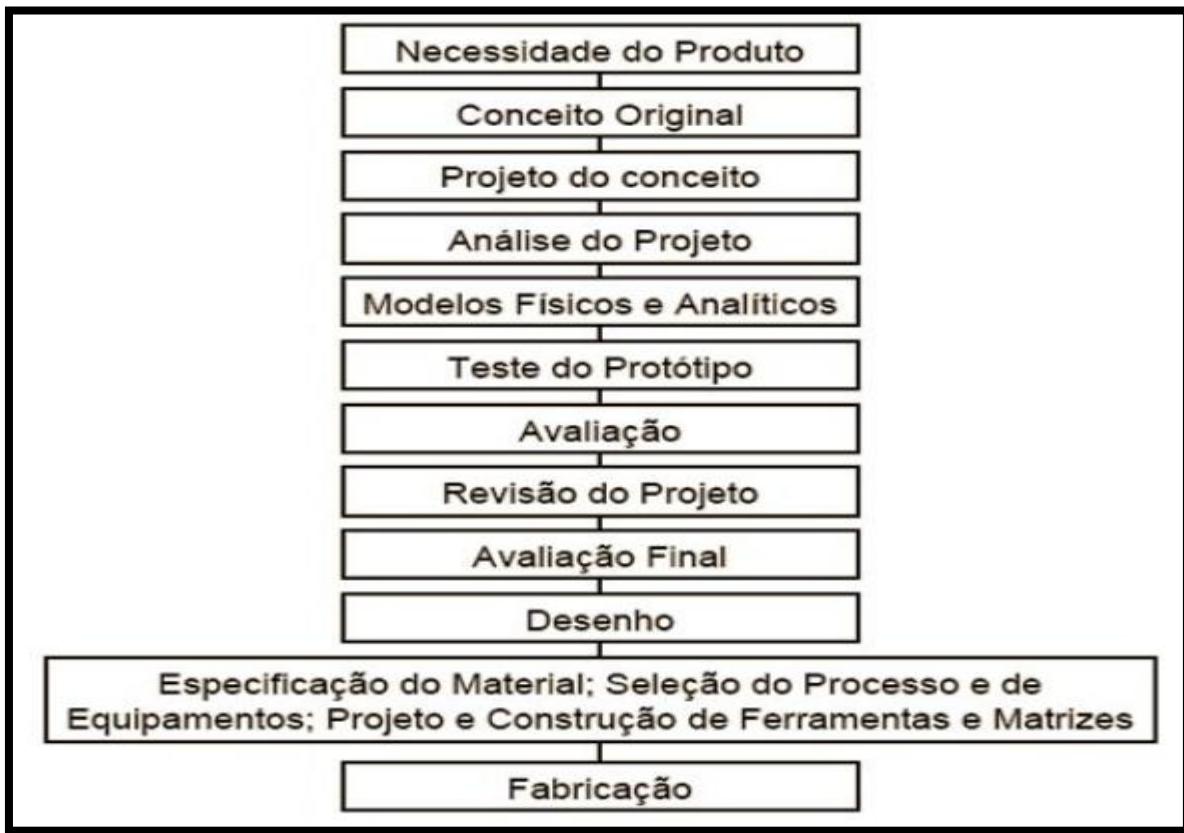


Figura 2.7 - Procedimento requerido para o projeto de um produto.

Fonte: STOETERAU (2004).

Os processos de usinagem, conforme Figura 2.8, envolvem operações de corte que permitem remover excessos de um material bruto com auxílio de uma ferramenta até que este resulte em uma peça pronta que, posteriormente, irá compor algum engenho mecânico que, por sua vez, farão parte de bens duráveis. Nestas operações de corte são geradas aparas que se costumam chamar de cavacos. Assim, processos de usinagem, invariavelmente, implicam na geração de cavacos (STOETERAU, 2004).

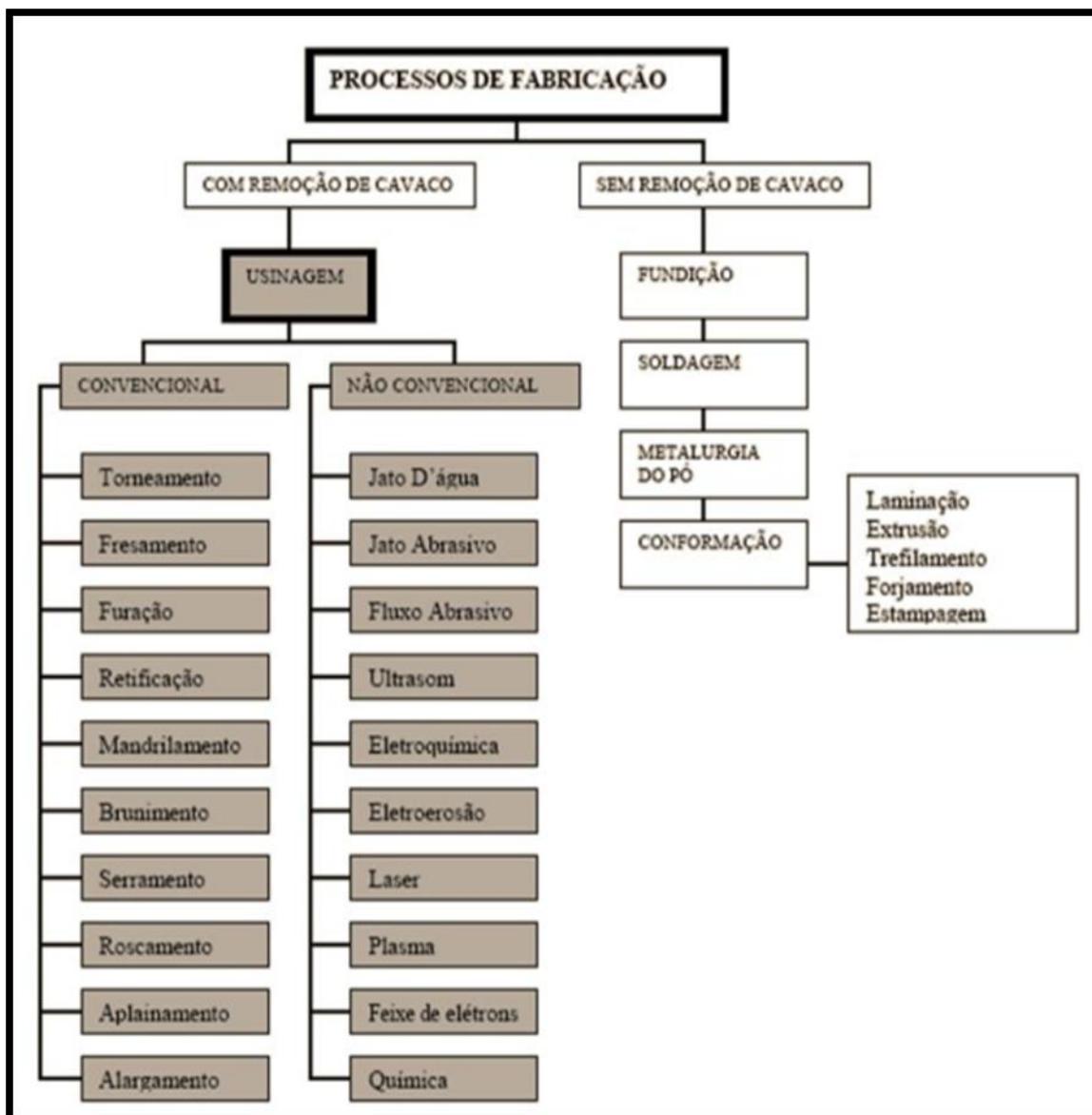


Figura 2.8 - Classificação dos processos de fabricação.

Fonte: STOETERAU (2004).

2.4.1 – Processo de mandrilhamento

O mandrilhamento é definido como um método para aumentar ou melhorar a qualidade de um furo existente (SANDVICK, 2016).

Mandrilhamento Desbaste – o principal foco do desbaste é a remoção de metal para aumentar os furos existentes feitos por métodos como furação, fundição, forjamento e oxicorte.

Mandrilhamento de precisão – tem o objetivo de concluir um furo existente para alcançar uma tolerância estreita, posição e acabamento superficial de alta qualidade.

2.4.2 – Processo de alargamento

O alargamento é uma operação de acabamento realizada com uma ferramenta multiarestas que fornece furos de alta precisão. O excelente acabamento superficial, a qualidade superior do furo e a tolerância estreita da dimensão são alcançados em altas taxas de penetração e pequenas profundidades de corte (SANDVICK, 2016).

Há vários parâmetros que afetam a vida útil, por exemplo:

- Profundidade de corte;
- Velocidade e avanço;
- Material da peça;
- Batimento radial;
- Offset;
- Refrigeração, pressão e concentração;
- Cortes interrompidos;
- Fixação da peça;
- Geometria e classe;
- Comprimento da ferramenta;
- Porta-ferramentas correto.

2.4.3 – Processo de brunimento

Brunimento é um processo de usinagem por abrasão utilizado em furos com o objetivo corrigir problemas tais como:

- Diâmetro interno do furo;
- Geometria interna do furo (cilindricidade e circularidade);
- Acabamento da superfície usinada (ângulo de cruzamento dos riscos e rugosidade);
- Alinhamento entre furos.

É um processo de alta precisão e rápida remoção de material, que pode ser realizado nos mais diferentes tipos de materiais, como ferro fundido, aço temperado, aço mole, bronze, latão, cromo duro, cerâmica, alumínio, entre muitos outros (BRUNITEC, 2010).

O brunimento é feito através de quatro componentes principais: Máquina brunidora, óleo lubrificante, ferramenta de brunir e réguas superabrasivas diamantadas ou de Nitreto de boro cúbico - CBN (Borazon®).

2.4.4 – Processo de furação profunda

Os processos de furação com relações de profundidade do furo e diâmetro de ferramentas maiores do que cinco ($L/D > 5$), são denominados de processos de furação profunda (ARONSON, 2003).

A furação profunda é uma operação de usinagem complexa, na qual a qualidade dos furos é fortemente influenciada pela alimentação do fluido de corte sob pressão diretamente para as regiões de corte. Isso ocorre porque o fluido de corte é o único responsável pelo transporte de cavacos. Assim, a furação profunda exige condições especiais para ser executada.

Este processo pode ser realizado utilizando-se brocas helicoidais com ciclos de reversão do avanço da furação para esvaziar os canais de saída de cavacos. Esses ciclos de furação são denominados de “pica-pau”. É possível executar a furação profunda com um único ciclo de avanço empregando brocas especiais, como brocas canhão, brocas BTA e brocas *ejector* (El-KHABEERY *et al.*, 1990).

A importância deste processo está na sua grande utilização, pois uma ampla gama de componentes mecânicos como, por exemplo, virabrequins, cilindros hidráulicos, elementos de motores a diesel, turbinas, trocadores de calor etc., requerem de furos profundos para na sua fabricação (CHIN, 1996).

2.5 – AMORTECEDOR

Quando as rodas do veículo passam sobre um obstáculo, elas podem oscilar para cima ou para baixo graças à ligação elástica que mantém com o chassi ou com a carroceria. Essa oscilação situa-se entre dois valores máximos fixados pelo construtor e delimitados pelos chamados "limitadores de curso". O processo é este: as molas, excitadas, começam a oscilar à passagem sobre o obstáculo e repetem a oscilação por um certo tempo, mesmo após a superação do obstáculo pelo veículo. Sem a presença de amortecedores adequados, a absorção dessas oscilações ficaria confiada unicamente aos

atritos da suspensão e à geração de calor na mola; como resultado, a roda perderia o contato com o terreno, contra o qual se chocaria com certa violência (FONTANA 2017).

O amortecedor ideal deve transmitir o menos possível os desníveis do terreno à carroceria e manter a roda sempre em contato com o chão. Quando as irregularidades do solo se apresentam com pouca frequência, isto é, são distantes entre si, é bom que o amortecimento seja elevado, de modo a evitar que a carroceria continue a oscilar depois de superar o obstáculo; se, ao contrário, as irregularidades são frequentes (a pouca distância entre si ou devido à alta velocidade), o amortecedor deve ser bastante flexível, para impedir que contínuas oscilações sejam transmitidas à carroceria.

Com o aumento da velocidade do veículo, e, portanto, da frequência com que as irregularidades do piso se apresentam às rodas, crescem as forças de inércia aplicadas às massas não suspensas do veículo. Disso resulta o maior retardo com que as rodas conseguem adaptar-se às irregularidades da estrada; assim, para garantir eficiência, exige-se do amortecedor um progressivo enrijecimento com o aumento da velocidade.

2.5.1 - Sistemas dos amortecedores

2.5.1.1 – Amortecedor a fricção

Amortecedores a fricção, como mostra a Figura 2.9, cujo efeito de amortecimento é devido ao atrito provocado por dois ou mais discos, que rodam um contra o outro e que têm seu movimento contido numa robusta mola, montada sobre seu eixo;

Freia nos dois sentidos as oscilações do feixe de molas, graças ao atrito provocado por dois ou mais discos comprimidos por uma mola bastante forte.

Para controlar e reduzir estes movimentos, foi projetado um elemento especial na suspensão, denominado "amortecedor". Os primeiros exemplares usaram a fricção (atrito) produzida entre dois braços de metal separados por uma isolante de borracha. O constante avanço tecnológico fornece atualmente ao mercado automotivo amortecedores telescópicos, hidráulicos e pressurizados, com regulagens manuais e eletrônicas de altura e carga (pressão).

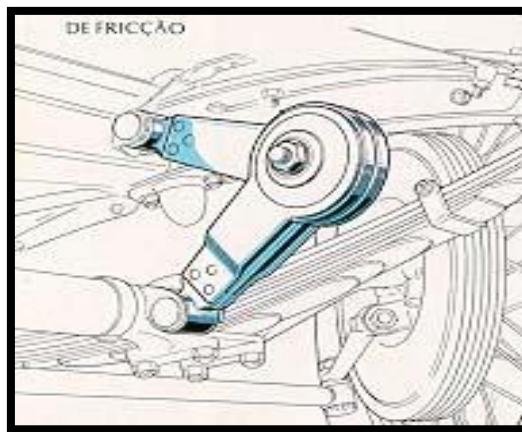


Figura 2.9 - Amortecedor de Fricção.
Fonte: FONTANA (2017).

2.5.1.2 – Amortecedor hidráulico de embolo rotativo

Amortecedores hidráulicos de êmbolo rotativo, conforme Figura 2.10, constituídos por um corpo cilíndrico dentro do qual gira, com vedação, um êmbolo rigidamente fixado num braço, que por sua vez é preso ao feixe de molas. O movimento do feixe provoca a rotação do êmbolo, que, estando imerso em óleo, funciona como bomba aspirante e compressor. A passagem do óleo é regulada por válvulas que aumentam o efeito frenante quando o feixe está em extensão.

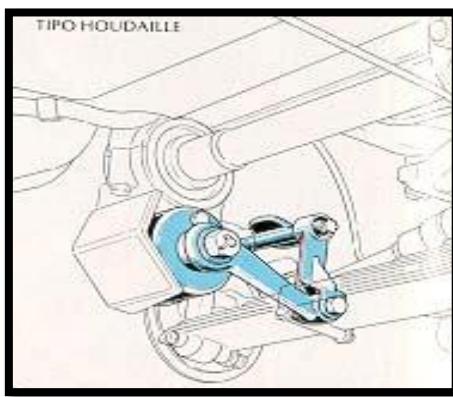


Figura 2.10 - Amortecedor hidráulico de embolo rotativo.
Fonte: FONTANA (2017).

Consiste em um pistão com dois lobos que gira num grande corpo cilíndrico cheio de óleo; o movimento do feixe faz rodar o pistão através de um braço e uma biela.

2.5.1.3 – Amortecedor hidráulico de alavanca

Amortecedores hidráulicos de alavanca, demonstrados na Figura 2.1, constituídos por um corpo cilíndrico cheio de óleo, dentro do qual desliza um êmbolo acionado por um balancim; sobre o eixo de rotação do balancim está montado o braço de comando ligado ao feixe.

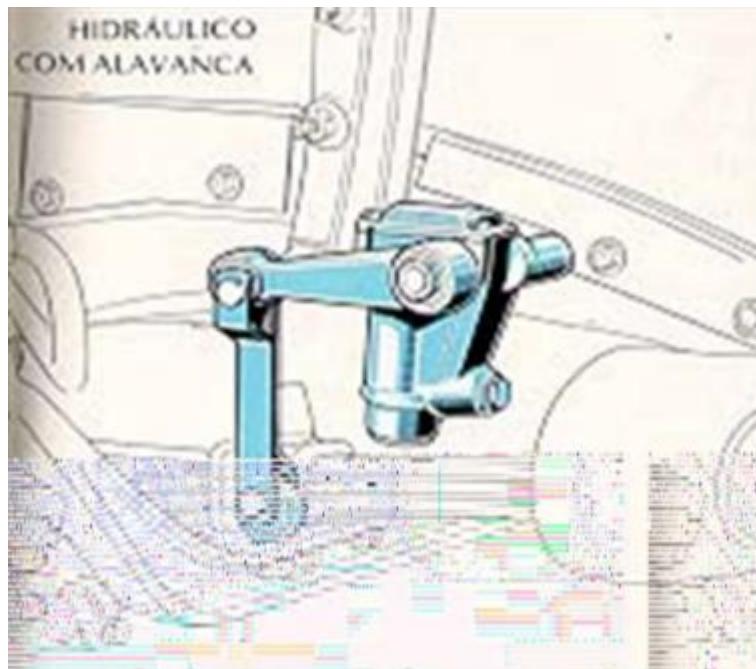


Figura 2.11 - Amortecedor hidráulico de alavanca.

Fonte: FONTANA (2017).

É um corpo cilíndrico cheio de óleo, onde um êmbolo desliza acionado por um balancim em cujo eixo de rotação está montado o braço de comando ligado ao feixe de molas.

2.5.1.4 – Amortecedor hidráulico telescópico

Amortecedores hidráulicos telescópicos, de acordo com Figura 2.12, o tipo mais difundido; esses amortecedores, usados já há muito tempo, conseguiram níveis notáveis de eficiência e de duração. É normal que um amortecedor hidráulico, funcionando regularmente a frio, perca um pouco de sua eficácia a quente ou no verão. Esse fenômeno deve-se às variações da viscosidade do óleo quando varia a temperatura, razão pela qual muda consequentemente a característica de resposta do amortecedor às solicitações que

sofre. Existem amortecedores dotados de dispositivos para a regulagem do efeito de amortecimento; muitas vezes, essa regulagem é feita por parafusos externos não exigindo o desmonte de peças internas ao amortecedor.

Uma correção do efeito do amortecimento pode ser às vezes exigida quando o veículo deve percorrer estradas muito acidentadas ou é destinada a usos bem particulares. Nesse caso, recorrem-se normalmente aos amortecedores do tipo dito "rígido", que, se pioram sensivelmente as condições de conforto, têm, contudo, a vantagem de melhorar a aderência das rodas ao solo quando o veículo está em alta velocidade.



Figura 2.12 - Amortecedor hidráulico.

Um inconveniente dos amortecedores hidráulicos para motos apresenta-se quando ocorre vazamento através das vedações da haste ou ao longo do perímetro do êmbolo. Em ambos os casos a eficiência diminui tanto que comumente se diz que o amortecedor está "descarregado". Um simples controle, muito fácil, consiste em imprimir, com a moto parada, uma oscilação no guidão ao garfo da moto; se o amortecedor está "descarregado", notar-se-á que a oscilação se repete mais de uma vez. Nessas condições, o conforto estará piorado, porque os movimentos dos eixos da moto não são contidos e induzem o guidão da moto a amplos movimentos de balanço, mal tolerados pelo físico humano. Uma segunda consequência é a perda de aderência devido à inércia das massas não suspensas, que tendem a seguir as oscilações imprimidas às molas e não à superfície rodoviária.

A recarga consiste em efetuar o preenchimento de óleo do cilindro central e do reservatório de compensação, em regular e eventualmente substituir as válvulas e as vedações.

O controle do rendimento do amortecedor é feito em máquinas de prova adequadas, nos laboratórios que verificam as curvas de eficiência seja na fase de extensão, seja na de compressão, usualmente sob duas velocidades (alta e baixa). O traçado das curvas indica as condições do amortecedor; naturalmente, existe certa tolerância, dentro da qual as curvas podem variar, em relação às estabelecidas pelo construtor. A regulagem consiste em colocar o funcionamento do amortecedor entre esses limites; para as competições, procura-se efetuar uma regulagem especial, de tal maneira que se atinja o limite superior de tolerância.

Outro progresso é obtido com o amortecedor do tipo oleopneumático telescópico. Esse amortecedor é constituído por um sistema cilindro-êmbolo, tal como nos telescópicos, e uma câmara que contém nitrogênio comprimido. O reservatório em torno do cilindro, nesse caso, é inútil, porque as variações volumétricas devidas ao movimento da haste e às dilatações por variação da temperatura, durante o funcionamento, são compensadas pela variação volumétrica da câmara pneumática.

Por outro lado, o problema da inércia do líquido e do retardamento na resposta do amortecedor, quando ocorre a inversão do movimento, é sensivelmente simplificado se a pressão do gás é bastante alta de modo a evitar a formação de espuma e diminuição de eficiência. Outras vantagens desse tipo de amortecedor são a igualdade de dimensão (diâmetros), a maior superfície de trabalho, e, assim, maior eficiência (FONTANA 2017). O amortecedor tem três funções básicas distintas: Manter o contato dos pneus com o solo; controlar os movimentos de abertura e fechamento das molas e proporcionar conforto, estabilidade e segurança ao veículo.

As funções básicas do amortecedor contribuem significativamente para melhorar a dirigibilidade do veículo, proporcionando: Controle do movimento da suspensão; Diminuição da distância de frenagem; Redução do desgaste dos pneus; Diminuição do desgaste dos componentes da suspensão; Conservação dos pneus em permanente contato com o solo; Controle da movimentação das molas; Sustentação do alinhamento das rodas; Domínio da movimentação do veículo: rolagem, balanço, mergulho e subida na aceleração; Redução da fadiga do motorista; analisando o funcionamento do automóvel como um todo, podemos afirmar sem dúvida alguma que os amortecedores são componentes essenciais para a dirigibilidade do veículo.

2.6 – FERRAMENTAS DE PROCESSO

2.6.1 – Diagrama de Pareto

O gráfico de Pareto é um diagrama que apresenta os itens e a classe na ordem dos números de ocorrências, apresentando a soma total acumulada. Permite-nos visualizar diversos elementos de um problema auxiliando na determinação da sua prioridade (GIOCONDO, 2011).

É representado por barras dispostas em ordem decrescente, com a causa principal vista do lado esquerdo do diagrama, e as causas menores são mostradas em ordem decrescente ao lado direito. Cada barra representa uma causa exibindo a relevante causa com a contribuição de cada uma em relação à total. É uma das ferramentas mais eficientes para encontrar problemas, determinar as metas e definir o tema.

Este diagrama de Pareto descreve as causas que ocorrem na natureza e comportamento humano, podendo assim ser uma poderosa ferramenta para focalizar esforços pessoais em problemas e tem maior potencial de retorno. J.M. Juran aplicou o método como forma de classificar os problemas da qualidade em “pontos vitais” e “muitos triviais”, e denominou-o de Análise de Pareto.

Demonstrou que a maior parte dos defeitos, falhas, reclamações e seus custos provêm de um número pequeno de causas. Se essas causas forem identificadas e corrigidas torna-se possível à eliminação de quase todas as perdas. É uma questão de prioridade. O princípio de Pareto é conhecido pela proporção “80/20”.

2.6.2 – Gráfico de controle

Os Gráficos de controle são procedimentos gráficos para monitorar e diagnosticar o desempenho de um processo ao longo do tempo, detectando possíveis mudanças de grandeza nos valores nominais dos principais parâmetros; por exemplo, o desvio médio padrão ou de um desempenho variável descritiva (GIOCONDO, 2011).

2.6.3 – Análise de variância - ANAVA

O objetivo do desenvolvimento de um produto ou processo é aperfeiçoar características de desempenho do produto de acordo com as necessidades e expectativas

do consumidor. O propósito da experimentação consiste na redução do produto ou processo: subsequentemente, podem ser tomadas decisões quanto aos parâmetros que afetam o desempenho do produto ou processo. A função perda quantifica a necessidade de entendimento de quais fatores de projeto que influenciam na média e variação da característica de desempenho do produto ou processo. Ajustando adequadamente a média e reduzindo a variação, as perdas referentes ao produto ou processo são minimizadas.

Visto que variação abrange grande parte da discussão referente à qualidade, o método estatístico a ser utilizado para interpretar dados experimentais e tomar decisões necessárias será o de análise de variância (ANOVA). Este método foi desenvolvido por Ronald Fisher, em 1930, não um método complicado e possui muita beleza matemática ligada a ele. ANOVA é uma ferramenta de decisão estatisticamente formulada para detectar quaisquer diferenças no desempenho médio da série de peças testadas. A decisão, longe de considerar somente o julgamento, leva em consideração à variação (ROSS, 1991).

2.6.3.1 – ANOVA fator único

Análise de variância consiste numa técnica matemática que decompõe origens que justificam a variação total; a variação total é decomposta em seus componentes apropriados. ANOVA fator único, o caso mais simples, reduz a variação total a apenas dois componentes:

1. Variação da média de todos os valores observados referentes a zero;
2. Variação dos valores observados individuais em torno da média (tradicionalmente designada com erro experimental).

Algumas observações são necessárias para demonstrar o método de cálculo:

- y = observação, efeito, dados;
- y_i = i -ésima resposta;
- N = número total de observações;
- T = somatória de todas as observações;
- $T_{\text{barra}} =$ média de todas as observações = $T/N = y$.

2.6.3.2 – Somas quadráticas

- SQt = somatória total dos quadrados;
- SQm = somatória dos quadrados referente as médias;
- SQe = erro nas somas dos quadrados.

Isto demonstra (não prova) uma propriedade básica da ANAVA. A soma quadrática total é igual a somatória das somas quadráticas dos componentes conhecidos é apresentada na Eq. (2.1). Neste caso:

$$SQt = SQm + SQ \quad (2.1)$$

Neste método, a variação total é apresentada na Eq. (2.2). Pode ser decomposta em duas origens, com a fração apropriada dividida igualmente para cada origem. Fórmulas para soma de quadrados geralmente podem ser escritas como:

$$SQt = \sum_{j=1}^k \sum_{i=1}^{n_j} (Y_{ji} - \bar{Y})^2 \quad (2.2)$$

Que é a somatória do quadrado de cada observação de $i = 1$ até N , e é apresentada na Eq. (2.3).

$$SQm = \sum_{j=1}^k n_j \frac{(\bar{Y}_j - \bar{Y})^2}{k-1} \quad (2.3)$$

Que é equivalente a somatória do quadrado da fração de cada observação referente à média para $i = 1$ até N . Onde é apresentada na Eq. (2.4).

$$SQe = \sum_{j=1}^k \sum_{i=1}^{n_j} \frac{(\bar{Y}_{ij} - \bar{Y})^2}{n-k} \quad (2.4)$$

Que é a somatória do quadrado das diferenças de cada observação provenientes da média.

Aqui, o componente de erro foi verdadeiramente calculado e é apresentada na Eq. (2.5), mas isto não era realmente necessário. O método da ANAVA utilizado estabelece que:

$$SQt = SQm + SQe$$

Portanto:

$$SQu = SQt - SQu \quad (2.5)$$

2.6.4 – Capacidade do processo

A revolução industrial foi um marco na história da qualidade, pois foi um período de profundas mudanças econômicas e sociais, que tem como exemplo o início da automação e o surgimento do consumo de massa com o surgimento de milhares de empresas que logo ocasionou a concorrência entre elas, que por sua vez desencadeou um processo de melhoria contínua que permanece até hoje.

Em 1924, o matemático Walter Shewhart introduziu o controle estatístico da qualidade e na década de 1940 surgiram vários organismos ligados à qualidade; por exemplo, a ASQC (American Society for Quality Control), a ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas) e, ainda, a ISO (International Standardization Organization). A Segunda Guerra Mundial também contribuiu com o processo, quando as técnicas de manufatura foram aprimoradas para fabricação de material bélico.

Na atualidade, qualidade se tornou um requisito de sobrevivência para as empresas, que precisam ser eficientes em meio a concorrência e clientes mais conscientes e exigentes. O estudo de capacidade dos processos responde à pergunta: "meu processo é bom o bastante?". Isto é completamente diferente da pergunta respondida por uma carta de controle, que é: "meu processo tem mudado?". Para realizar um estudo de capacidade, é necessário que o processo esteja sobre controle estatístico. Certamente, o uso de uma carta de controle para estabelecer que um processo é estável precede o estudo da capacidade para ver se os itens produzidos pelo processo são bons o bastante.

Quatro índices são gerados por um estudo de capacidade: Cp, Cpk, Pp e Ppk. Os dois primeiros são índices de Capacidade do processo, enquanto os outros dois são de Performance do processo (GIOCONDO, 2011). O cálculo dos índices de Capacidade leva em conta o desvio-padrão, que pode ser calculado ou estimado. Índice mais simples, considerado como a taxa de tolerância à variação do processo, desconsidera a centralização do processo, não é sensível aos deslocamentos (causas especiais) dos dados, quanto maior o índice, menos provável que o processo esteja fora das especificações. Um processo com uma curva estreita (um Cp elevado) pode não estar de acordo com as necessidades do cliente se não for centrado dentro das especificações.

2.6.4.1 - Cálculo do índice

Os índices de Capacidade do processo utilizam o desvio-padrão calculado. Considerando os dados do projeto e seus limites de especificação, temos:

- LSE (Limite Superior de Especificação);
- LIE (Limite Inferior de Especificação);
- σ (Desvio-padrão estimado).

A fórmula do índice C_p é apresentada na Eq. (2.6), é dada por:

$$C_p = \frac{LSE - LIE}{6\sigma} \quad (2.6)$$

2.6.4.2 - Avaliação do cálculo do índice

- Processo incapaz: $C_p / C_{pk} < 1$;
- Processo aceitável: $1 \leq C_p / C_{pk} \leq 1,33$;
- Processo capaz: $C_p / C_{pk} \geq 1,33$.

2.7 - FORMULAÇÃO DE CÁLCULOS DE FURAÇÃO

2.7.1 - Velocidade de corte (Vc) Eq. (2.7)

$$V_c = D_c \times \pi \times n / 1000 \quad (2.7)$$

Sendo:

- Dividido por 1000 para converter mm em m;
- V_c (m/min) = Velocidade de Corte;
- $\pi(3.14) = \text{Pi}$;
- D_c (mm) = Diâmetro da Ferramenta;
- $n(\text{min}^{-1})$ = Rotação do Eixo Principal(rpm), é apresentada na Eq. (2.8), sendo:

$$n = V_c \times 1000 / \pi \times D_c \quad (2.8)$$

2.7.2 - Velocidade de avanço (Vf) Eq. (2.9)

$$V_f = f_n \times n \quad (2.9)$$

Sendo:

- v_f (mm/min) = Velocidade de Avanço do Eixo Principal;
- f_n (mm/rot) = Avanço por Rotação é apresentada na Eq. (2.10);
- $n(\text{min}^{-1})$ = Rotação do Eixo Principal.

$$f_n = V_f / n \quad (2.10)$$

2.7.3 - Tempo de furação (Tc) Eq. (2.11)

$$T_c = l_m / V_f \quad (2.11)$$

Sendo:

- l_m (mm) = Profundidade do Furo;
- v_f (mm/min) = Velocidade de Avanço do Eixo Principal;
- T_c (min) = Tempo de Furação.

2.7.4 - Taxa de remoção de metal Eq. (2.12)

$$Q = D_c \times f_n \times V_c / 4 \quad (2.12)$$

Sendo:

- $Q(\text{cm}^3/\text{min})$ = Taxa de remoção de metal.

2.8 - FORMULAÇÃO DE CÁLCULOS DE CUSTOS

Exemplificando um teste longo, a vida útil da ferramenta foi marcada como uma função de avanço por rotação de 60 m/min e 100 m/min.

Custo da ferramenta mais baixo, ou seja, a vida útil mais longa é obtida com seguintes dados, adaptando nosso parâmetro de teste temos:

- Velocidade de corte $V_c = 60 \text{ m/min}$;
- Avanço por rotação $f_n = 0,21 \text{ mm/rot}$;
- Avanço / min $V_f = 120 \text{ mm/min}$;
- Vida útil da ferramenta $l_m = 20 \text{ m/broca}$;
- Tempo de furação/metro ($\underline{l_m} / V_f$) = $(1000 / 120) = 8,3 \text{ min}$.

A mais alta taxa de remoção de material, ou seja, o menor tempo de furação foi obtido com os seguintes dados, adaptando nosso parâmetro de teste temos:

- Velocidade de corte $V_c = 100$ m/min;
- Avanço/rotação $f_n = 0,21$ mm/rot;
- Avanço/minuto $V_f = 280$ mm/min;
- Vida útil da ferramenta $l_m = 14$ m/broca;
- Tempo de furação por metro ($l_m / V_f = (1000 / 280) = 3,6$ min.

2.8.1 - Alto custo da máquina

Assumindo que o custo da ferramenta seja \$ 65/broca e o custo fixo é \$ 100/h, ou seja, $100/60 / \text{min}$.

Tabela 2.1 - Alto custo da máquina.

Caso 1 - Alto custo da máquina		
	O menor custo da ferramenta $V_c = 60$ m/min	A mais alta taxa de remoção de material $V_c = 100$ m/min
Custo fixo \$/m	$100/60 \times 8,3 = 13,83$	$100/60 \times 3,6 = 6,00$
Custo da ferramenta \$/m	$65/20 = 3,25$	$65/14 = 4,64$
Custo de usinagem \$/furado m	$= 17,10$	$= 10,60$

Fonte: SANDVIK (2016).

2.8.2 - Baixo custo da máquina

Assumindo que o custo fixo é de \$ 16/h, ou seja, $16/60 / \text{min}$.

Tabela 2.2 - Baixo custo da máquina.

Caso 2 - Baixo custo da máquina		
	O menor custo da ferramenta $V_c = 60 \text{ m/min}$	A mais alta taxa de remoção de material $V_c = 100 \text{ m/min}$
Custo fixo \$/m	$16/60 \times 8,3 = 2,21$	$160/60 \times 3,6 = 0,96$
Custo da ferramenta \$/m	$65/20 = 3,25$	$65/14 = 4,64$
Custo de usinagem \$/furado m	$= 5,40$	$= 5,60$

Fonte: SANDVICK (2016).

2.8.3 - Alto custo da máquina/baixa carga de trabalho

Assumindo que os números no caso 1 sejam os mesmos, mas a máquina seja usada 15% do turno devido a uma baixa carga de trabalho na fábrica.

Tabela 2.3 - Alto custo da máquina / baixa carga de trabalho.

Caso 3 - Alto custo da máquina / baixa carga de trabalho		
	O menor custo da ferramenta $V_c = 60 \text{ m/min}$	A mais alta taxa de remoção de material $V_c = 100 \text{ m/min}$
Custo fixo \$/m	$0,15 \times 100/60 \times 8,3 = 2,08$	$0,15 \times 100/60 \times 3,6 = 0,90$
Custo da ferramenta \$/m	$65/20 = 3,25$	$65/14 = 4,045$
Custo de usinagem \$/furado m	$= 5,30$	$= 5,50$

Fonte: SANDVIK (2016).

2.8.4 - Parâmetros de Corte para o Alargamento

Os parâmetros para a usinagem garantem a boa qualidade superficial e geométrica de uma peça, e como consequência a viabilidade econômica da utilização de uma ferramenta (ECKHARDT, 1993). Nos catálogos de fabricantes em geral, os dados de corte preconizados são valores médios e orientativos, variando conforme cada aplicação específica. Os principais parâmetros para a escolha da ferramenta são: material e

geometria da peça; tipo de máquina; tipo de fixação da peça e da ferramenta; e acabamento e tolerâncias desejados.

2.8.4.1 - Velocidade de corte

As baixas velocidades de corte diminuem a produtividade sem um aumento significativo na vida da ferramenta. Com altas velocidades de corte podem ocorrer lascas e maior desgaste na aresta de corte (WEINGAERTNER e SCHROETER, 2000). WEINERT *et al.* (1998), no alargamento (ferramenta monocortante) de um aço tratável termicamente, encontrou um aumento do diâmetro dos furos com maiores velocidades de corte, o que foi atribuído as maiores temperaturas geradas pela lâmina durante o corte e pelo atrito das guias durante o alisamento. Desta forma, ocorre a dilatação da ferramenta (pode ser compensado com o ajuste da lâmina). Entretanto, menores velocidades podem gerar aresta postiça de corte, que prejudica o acabamento superficial.

Nos resultados de BEZERRA *et al.* (2001), o aumento da velocidade de corte no alargamento convencional de uma liga de AlSi, resultou no aumento da rugosidade, diâmetro do furo e cilindricidade, de acordo com o crescimento da vibração causado pelo aumento da velocidade de corte. Não ocorreu formação da aresta postiça de corte com menores velocidades, devido à correta utilização do fluido de corte. Contudo, os autores SCHROETER (1989) e ECKHARDT (1993), nos ensaios realizados com ligas de alumínio e alargadores monocortantes, não encontraram variações significativas da rugosidade, erro de forma e sobrevida do diâmetro do furo com a variação da velocidade de corte. Todavia, KRESS (1974), detectou (na usinagem de aços) o pequeno aumento de R_t com o aumento da velocidade de corte até 160 m/min, sendo que a rugosidade começa a reduzir-se a partir de 240 m/min; porém, não encontrando nenhuma relação para a circularidade e cilindricidade. Segundo KRESS (1974), com um alargador com duplo ângulo de entrada, sendo o primeiro ângulo bem reduzido, a espessura de cavaco é menor o que reduz as vibrações, permitindo o aumento da velocidade de corte sem alterar o acabamento do furo. Com relação à espessura das guias, para maiores velocidades de corte as mesmas deveriam ser mais largas (melhor guia, menor desvio de forma), porém, a rugosidade seria prejudicada. Em KRESS (1974), WEINGAERTNER e SCHROETER (2000) e ECKHARDT (1993), é recomendado a alimentação interna de fluido de corte das ferramentas, pois é possível utilizar maiores velocidades de corte sem

prejudicar o acabamento do furo alargado, pois ocorre a melhor lubrificação das réguas de guias e da aresta de corte.

2.8.4.2 – Avanço

O avanço depende principalmente do tipo e geometria da ferramenta, profundidade de corte e acabamento superficial requerido. É recomendado a redução do avanço com o aumento da profundidade de corte. Um avanço muito alto geralmente diminui a qualidade da superfície do furo, e um avanço muito baixo pode gerar uma superfície deformada devido ao esmagamento e não corte da aresta durante a usinagem (FERRARESI, 1975; WEINGAERTNER, 2001; ECKHARDT, 1993).

Com maior taxa de avanço ocorre a melhora da precisão do diâmetro do furo, pois segundo BEZERRA *et al.* (2001) e SCHROETER (1989), avanços pequenos aumentam o tempo de contato da ferramenta com as paredes do furo, o que geralmente tende a abri-los. ECKHARDT (1993) encontrou nos seus ensaios, valores de aumento do diâmetro do furo com o aumento do avanço, o que pode ser atribuído ao aumento dos esforços de corte. Segundo KRESS (1974), devido ao aumento na espessura do cavaco com o aumento do avanço, há o aumento da rugosidade superficial e pequena melhora na circularidade do furo (o que não ocorreu com a cilindricidade). Estas diferenças podem ser explicadas, devido à utilização de geometrias de ferramentas diferenciadas nos ensaios realizados pelos autores.

Nos ensaios com alargadores convencionais, BEZERRA *et al.* (2001), verificaram a piora da rugosidade superficial e da cilindricidade com o aumento das velocidades de avanço. Já SCHROETER (1989) e ECKHARDT (1993), nos ensaios com alargadores com única aresta de corte, não encontraram variações significativas da circularidade e cilindricidade com a variação do avanço. Entretanto, ECKHARDT verificou o aumento da rugosidade superficial com o aumento do avanço da ferramenta, o que não foi verificado por SCHROETER. Um avanço muito baixo pode gerar uma superfície deformada devido ao esmagamento das paredes do furo, sendo que durante a usinagem não ocorre o corte adequado pela aresta (FERRARESI, 1995). Nos ensaios de BEZERRA *et al.* (2001) é possível confirmar o efeito supracitado.

2.8.4.3 - Profundidade de corte

A influência da profundidade de corte no alargamento é maior para a rugosidade dos furos, pois uma pequena quantidade de material removido ocasiona o esmagamento do mesmo (deformação plástica) que produz irregularidades na superfície. Com valores maiores de profundidade de corte, ocorre o aumento dos esforços de corte gerando vibrações, o que pode piorar a rugosidade superficial (BEZERRA *et al.*, 2001; SCHROETER, 1989; ECKHARDT, 1993). Segundo Bezerra, os mesmos fenômenos que perturbam a rugosidade podem ser considerados para os erros de forma.

KRESS (1974) comenta que o desalinhamento do eixo da ferramenta com o eixo do pré-furo a ser alargado gera o defeito de cilindricidade, pois ocorre a variação da profundidade de corte causado por este desalinhamento. Com relação a sobremedida do diâmetro após usinado, ECKHARDT encontrou em sua pesquisa o decréscimo destes valores com o aumento da profundidade de corte. Esta conclusão é oposta ao encontrado por SCHROETER e BEZERRA, porém as geometrias dos alargadores eram diferentes, o que pode explicar este antagonismo. Todos os fabricantes de alargadores recomendam a utilização de um maior ângulo de entrada do alargador para um maior sobrematerial.

2.9 - FLUIDO DE REFRIGERAÇÃO

Desgaste prematuro e trocas constantes de ferramentas, assim como baixa produtividade, são alguns dos problemas que podem ocorrer na usinagem quando os processos de refrigeração e lubrificação não são realizados adequadamente. Se o calor e o atrito produzidos durante a operação entre a superfície da peça e a ferramenta não forem minimizados, a qualidade final do material poderá sofrer alterações, como erros de medida, dilatações térmicas e deformações. A alta temperatura ainda pode reduzir a vida útil da ferramenta e aumentar o risco de oxidação. Para evitar estas situações e ao mesmo tempo garantir tanto a precisão dimensional quanto a rugosidade adequada das peças, a utilização de fluidos de corte tornou-se fundamental em alguns processos. Além de reduzir o atrito entre a ferramenta e a superfície de corte e diminuir a temperatura na região estes produtos têm a função de remover o cavaco da área de corte para que o acabamento do material não seja danificado, assim como proteger a máquina, seus componentes e a superfície do material usinado da corrosão.

Os fluidos de corte são comumente divididos em três grupos: meios lubri-refrigerantes miscíveis com água, meios lubri-refrigerantes não miscíveis com água e gases/névoas. Entre os meios miscíveis com água estão as soluções, também chamadas de fluidos sintéticos (misturas de água com produtos orgânicos e inorgânicos que não contêm óleo) e as emulsões, composições que possuem óleo. Já os meios não miscíveis com água ou fluidos integrais são constituídos basicamente de óleos graxos, de origem vegetal ou animal, e óleos minerais, que podem ser utilizados puros, misturados ou com aditivos. A refrigeração e lubrificação também podem ser realizadas por meio de gases e névoas, sendo o ar, o fluido gasoso mais comum.

Com o intuito de obter a máxima produtividade dos processos, estes insumos devem ser utilizados de acordo com as necessidades de cada operação. “Quando se utiliza um fluido de boa qualidade e adequado para o tipo de usinagem realizada, é possível garantir o nível desejado de acabamento e a rugosidade da peça, mantendo a máquina limpa e sem corrosão”, aponta Roberto Saruls, gerente de Marketing e Serviços da Castrol – fabricante de lubrificantes para os setores industrial, automobilístico e náutico. Com isso, na hora de escolher o produto ideal é preciso levar em consideração três fatores: o material da peça a ser usinado, o tipo de máquina e a qualidade e compatibilidade do fluido com o processo.

Quanto às características dos fluidos, as soluções e emulsões são mais indicadas para usinagens em que a refrigeração é o fator determinante, enquanto que os fluidos integrais são mais utilizados quando a lubrificação é mais importante. Já os gases e névoas são mais comuns em operações de mecânica de precisão, usinagem de alta velocidade e também quando se utiliza o sistema MQL (Mínima Quantidade de Lubrificante), processo em que o fluido é aplicado por pulverização. Nos últimos anos, o conceito MQL tem sido muito discutido na área de usinagem. Isso porque o processo utiliza menos fluido de corte durante a operação, eliminando a necessidade de descarte do produto e minimizando possíveis impactos ao meio ambiente. A técnica utiliza pequena quantidade de óleo lubrificante junto com ar comprimido, distribuídos por meio de spray sobre a região que se quer refrigerar ou lubrificar. Embora seja pouco fluido, em muitos processos esta técnica garante a quantidade suficiente para reduzir o atrito na ferramenta e o calor gerado durante a usinagem. Neste caso, o ar comprimido atua como refrigerante e as gotículas de óleo como lubrificante.

No entanto, Eduardo Carlos Bianchi, professor do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade Estadual Paulista, pontua que esta técnica ainda vem sendo

pouco adotada pelas empresas. “Nos próximos anos este conceito se transformará em tendência, pois as leis ambientais estão cada vez mais rigorosas; e o sistema MQL permite preservar o meio ambiente – um diferencial em relação aos métodos convencionais”, para responsabilidade ambiental esta técnica ainda vem sendo pouco adotada pelas empresas. Nos próximos anos este conceito se transformará em tendência, pois as leis ambientais estão cada vez mais rigorosas; e o sistema MQL permite preservar o meio ambiente – um diferencial em relação aos métodos convencionais (MUNDO DA USINAGEM 61, EDIÇÃO 07/2009).

2.9.1 - As finalidades do fluido de corte em um processo de furação

- Dar suporte e lubrificar as guias;
- Melhoramento da vida útil;
- Dissipação do calor;
- Escoamento dos cavacos.

O sistema de refrigeração deve proporcionar um fornecimento adequado de refrigerante limpo na ferramenta, na pressão e temperatura adequadas (SANDVIK, 2016). Muitos materiais podem ser furados usando o sistema Ejector com um óleo solúvel que deve conter aditivos EP (EP = Extreme Pressure, Pressão Extrema).

2.9.2 - Bomba de alta pressão

Os dois parâmetros básicos são pressão e quantidade. Podem ser usados diferentes tipos de bombas de pressão no Sistema de Tubo Único (Single Tube System), por exemplo as com sistema de engrenagens ou sem fim, e quando for necessária grande quantidade de refrigeração, pode-se conectar duas ou mais bombas a um tubo e com isso obter a refrigeração suficiente. Para evitar o desgaste excessivo é importante que para um determinado refrigerante, as bombas sejam equipadas com a vedação adequada. Além disso, quando usar emulsões solúveis, é importante certificar-se de que a solução contenha aditivos suficientes para proporcionar a lubrificação necessária.

2.9.3 - Fluido de corte

A qualidade de um furo usinado por meio de uma ferramenta com guia, como as brocas STS e Ejector, depende em parte da qualidade do fluido de corte. Existem óleos especiais no mercado para os métodos de furação profunda, os quais incorporam aditivos EP (Extreme Pressure) para temperaturas extremas na aresta de corte e pressão extrema nas guias. Se você escolher uma emulsão solúvel, a diluição deve ser 1:10.

2.9.4 - Filtragem do fluido de corte

Há duas considerações importantes para uma boa filtragem do fluido de corte. Primeiro, a superfície desejada do furo usinado e as características de desgaste excessivo da guia. Segundo, evitar que a bomba de alta pressão se desgaste ou mesmo se danifique. Filtros com elementos filtrantes em forma de esteira, filtros com ‘cartuchos filtrantes, filtros automáticos e filtros magnéticos são os tipos mais comuns. A filtragem adequada do refrigerante, diminuindo para 10-20 μ m aumenta a vida útil.

2.9.5 - Reservatório – volume do tanque

A capacidade do reservatório deve ser aproximadamente dez vezes mais alta que a distribuição da bomba por minuto, para que a sujeira possa se assentar e o calor se dissipar. Em muitos casos, o tanque tem um container para cavacos, acima do compartimento para o refrigerante sujo. O compartimento para o refrigerante limpo possui uma placa deflectora para evitar que o ar escape da refrigeração.

2.9.6 - Troca de calor

Quase toda a energia colocada na formação de cavacos, mais uma boa parte da potência usada na bomba, são convertidas em calor o qual é absorvido pelo fluido de corte. Quando a temperatura do fluido de corte excede 55° C, a ferramenta e a bomba não recebem lubrificação correta e a refrigeração se torna inadequada rapidamente. Os melhores resultados são conseguidos com temperaturas de 30-40° C. Um reservatório grande pode proporcionar efeito de refrigeração suficiente para o ar que circula na fábrica.

Na produção contínua, entretanto, recomenda-se usar troca de calor refrigerada ou operada por água.

2.9.7 - Volume do tanque – potência de resfriamento

O volume do tanque deve ser suficiente para proporcionar uma filtragem e refrigeração efetivas. É necessário um filtro para separar cavacos e pequenas partículas do fluido de corte. Normalmente, o tanque do fluido de corte deve ter 10 vezes a capacidade da bomba. O tempo de vida no tanque deve ser de 5 a 10 minutos para um resfriamento efetivo. Como já foi mencionada a temperatura do fluido do corte dever se na faixa de 30-40 °C. Os fatores que possuem efeitos de calor versus refrigeração, em conexão com a furação profunda são dados nas tabelas.

2.9.8 - Modo de aquecimento do tanque

A energia de furação é gerada somente durante o tempo em corte. Uma vez que isso é uma alta fonte de calor, o tempo em corte é algo decisivo para o aquecimento do tanque.

Energia da bomba. Toda a energia da bomba é convertida em calor, 95% da qual é absorvida pelo fluido de corte.

2.9.9 - Modo de resfriamento do tanque

O tanque elimina o calor assim que a temperatura do fluido do corte estiver mais alta que o ambiente. Se o tanque estiver anexo, a perda de calor é significativamente menor.

A peça está geralmente em temperatura ambiente e tem um efeito de resfriamento. Na mesa, esse efeito de resfriamento é calculado para uma peça com as seguintes dimensões: Diâmetro externo = 2 x diâmetro da broca = 20 x diâmetro da broca.

2.9.10 - Tempo máximo em corte sem resfriamento extra

As seguintes fórmulas podem ser usadas para calcular o tempo T que leva para aumentar a temperatura do tanque de 20 °C para 50 °C é apresentada na Eq. (2.13) e na Eq. (2.14) (SANDVIK, 2016):

$$\text{Óleo: } T = (14,25 \times V) / P \text{ horas} \quad (2.13)$$

$$\text{Água: } T = (33,8 \times V) / P \text{ horas} \quad (2.14)$$

Quando V for o volume do tanque em m³ P é o efeito de calor resultante em kW.

2.9.11 – Aplicação do método de tempo de corte

Na furação em cheio através do sistema Ejector, para um diâmetro da broca de 100 mm, o tempo de corte atual é estimado em 50%. O volume do tanque é 8 m³.

Potência total de aquecimento:	16 kW
Potência total de resfriamento:	<u>- 6 kW</u>
O calor excedente deve ser resfriado:	10 kW

Quando se usa óleo, Eq. (2.13), leva:

$$T = (14,25 \times V) / P = (14,25 \times 8) / 10 = 11 \text{ horas}$$

Para aquecer um tanque a 50 °C. Isso significa que não é preciso uma refrigeração extra com uma operação de um só turno.

2.9.12 - Tipos de fluidos de corte

- **Óleos de corte integrais:** trata-se de óleos não misturados com água, frequentemente uma combinação de minerais e óleos graxos com outro aditivo EP (Extreme Pressure, Pressão Extrema). Essa mistura deve ser mantida entre 30 – 40 °C ou irá se decompor. Os fluidos de corte com óleo proporcionam vida útil e quebra de cavacos uniforme e são mais diretamente empregados que as emulsões (SANDVIK, 2016);

- **Emulsões de óleo:** trata-se de uma mistura de óleos em água, combinando as propriedades de lubrificação do óleo com a capacidade de transferência de calor da água. Numerosos aditivos, tais como emulsificadores, lubrificadores, agentes anti-bacteriais e aditivos EP, são necessários para manter essa mistura. Esses ingredientes são entregues em estado concentrado e devem ser preparados cuidadosamente, seguindo-se uma receita definida e em condições limpas e controladas. As emulsões podem ser mais apropriadas para operações com altas velocidades, ou em situações onde múltiplas máquinas são alimentadas por um fornecimento central de fluido. Eles também limpam a peça enquanto são usados, sendo que o óleo não o faz. Entretanto, a preparação da emulsão pode ser complicada, e a mistura deve ser monitorada e mantida de modo cuidadoso, quando estiver em uso e quando as máquinas estiverem paradas.

2.9.13 - Recomendações

Óleo: é recomendado como primeira escolha pelas seguintes razões:

- Uma vida útil mais longa. A diferença pode ser bem significativa e naturalmente depende da escolha do óleo de corte e emulsões. No entanto, normalmente, uma vida útil de mais 30% é obtida quando se usa óleo;
- Uma quebra de cavacos mais uniforme e uma gama maior de quebra de cavacos;
- Quando a emulsão é usada, há um risco de estagnação se a máquina não for operada continuamente. Quando a máquina fica inativa, o tanque precisa ser ventilado para evitar que a emulsão fique estagnada.

Emulsão: é recomendada como segunda escolha. Os argumentos para o uso de emulsão são os seguintes:

- Pode ser complicado usar óleo sem mistura se for realizada a furação em uma linha de máquinas ou em um grupo de usinagem com um sistema central;
- A furação é feita em um centro de usinagem onde a maioria da usinagem é realizada com altas velocidades, além de operações secundárias;
- Com a emulsão, a peça é limpa durante o processo de usinagem. Quando se usa o óleo pode ser necessário lavar a peça algumas vezes, para remover o óleo antes da próxima operação, ou antes, de guardar a peça.

CAPÍTULO 3

MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 – MATERIAIS DE ESTUDO PARA O MÉTODO DE FURAÇÃO PROFUNDA DO CILINDRO EXTERNO

Este estudo foi realizado em uma Fábrica de Conjunto de Suspensão Dianteira e Traseira para Veículos de Duas Rodas, abrangendo uma metodologia quantitativa e qualitativa, de um processo, chamado BTA, processo especial de furação profunda, onde estudaremos duas variáveis. Localizados conforme Figura 3.1 - Fluxo processo de fabricação do amortecedor dianteiro macro de fabricação do amortecedor, linha do cilindro externo US. EXTERNA.

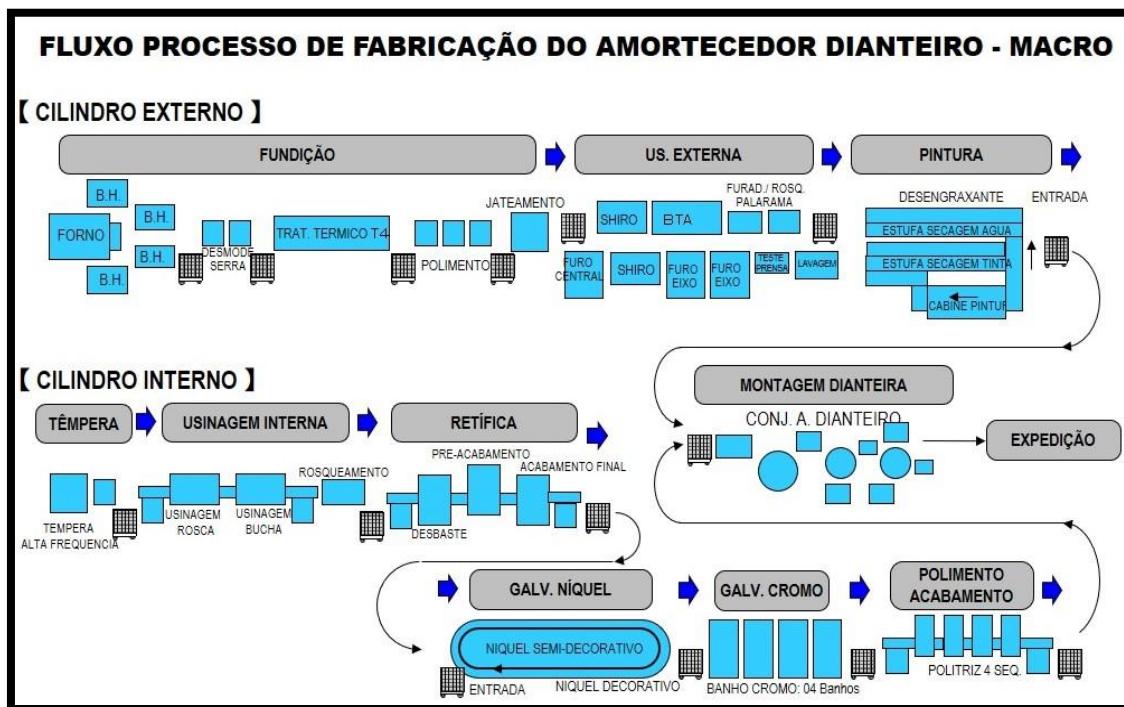


Figura 3.1 - Fluxo macro do processo de fabricação do amortecedor.

O processo de usinagem do cilindro externo é realizado na Us. Externa, onde sua localização pode observar na linha I, conforme Figura 3.2, os testes foram realizados na máquina denominada BTA – codificada BM-87, conforme fluxo de processos detalhado na Figura 3.2.

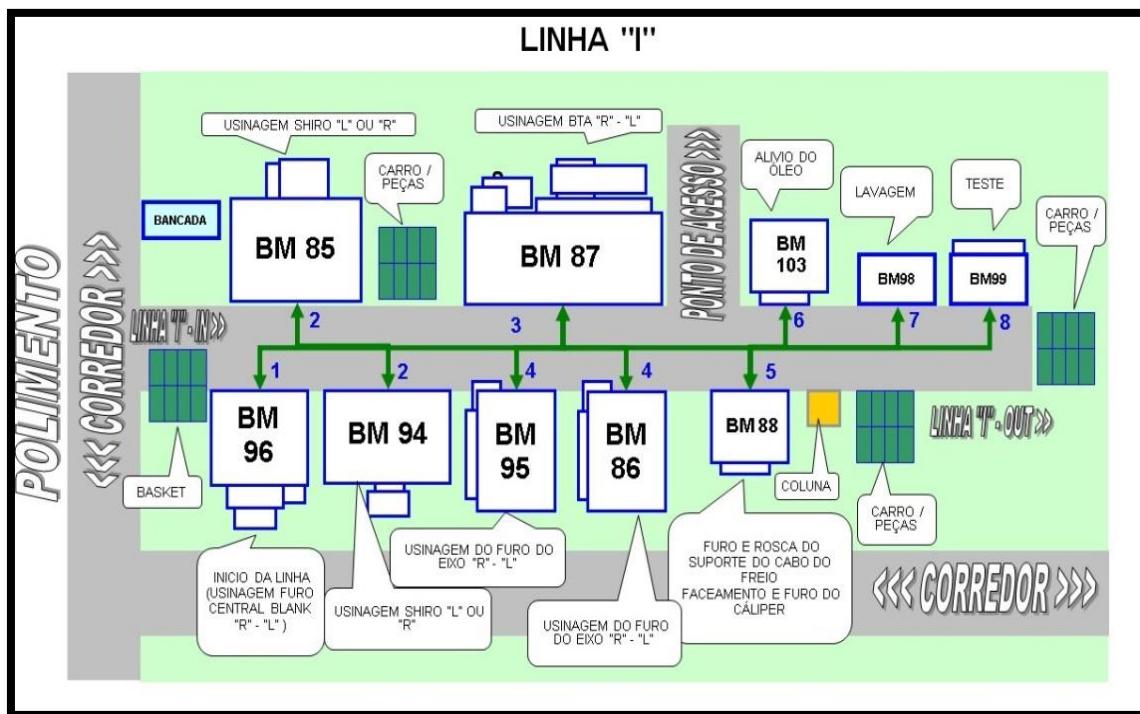


Figura 3.2 - Fluxo do processo do cilindro externo linha I.

3.2 – MÁQUINAS E EQUIPAMENTOS

3.2.1 – Máquina ferramenta

3.2.1.1 - Torno mecânico horizontal de usinagem do cilindro externo

O processo que se baseia no movimento da peça em torno de seu próprio eixo chama-se torneamento. Figura 3.3 – Torno BTA BM-87. O torneamento é uma operação de usinagem que permite trabalhar peças cilíndricas movidas por um movimento uniforme de rotação em torno de um eixo fixo.

O torneamento, como todos os demais trabalhos executados com máquinas-ferramenta, acontece mediante a retirada progressiva do cavaco da peça a ser trabalhada. O cavaco é cortado por uma ferramenta de um só gume cortante, que deve ter uma dureza superior à do material a ser cortado. No torneamento, a ferramenta penetra na peça, cujo movimento rotativo uniforme ao redor do eixo, permite o corte contínuo e regular do material. A força necessária para retirar o cavaco é feita sobre a peça, enquanto a ferramenta, firmemente presa ao porta ferramenta, contrabalança a reação desta força.

Para executar o torneamento, são necessários três movimentos relativos entre a peça e a ferramenta. Eles são:

- Movimento de corte: é o movimento principal que permite cortar o material. O movimento é rotativo e realizado pela peça;
- Movimento de avanço: é o movimento que desloca a ferramenta ao longo da superfície da peça;
- Movimento de penetração: é o movimento que determina a profundidade de corte ao empurrar a ferramenta em direção ao interior da peça e assim regular a profundidade do passe e a espessura do cavaco.

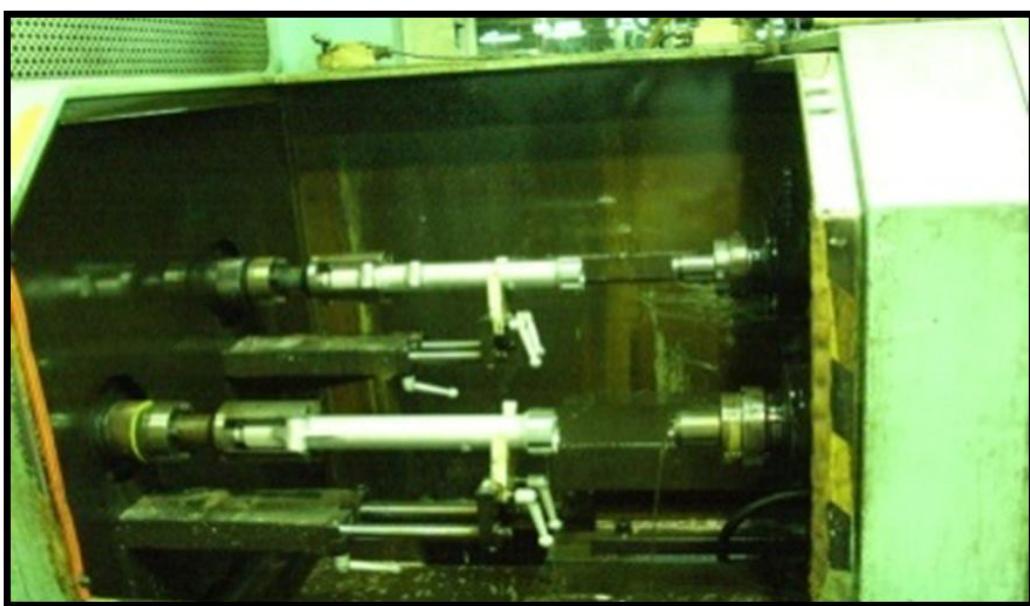


Figura 3.3 - Torno BTA BM-87.

3.2.2 – Ferramenta utilizada

3.2.2.1 - Ferramenta de corte – BTA

Ferramenta BTA padrão da empresa, demonstrada na Figura 3.4, fornecido pela Matriz localizada no Japão, com custos aproximados de U\$ 750,00 por unidade, suas dimensões estão de acordo com pedidos de compras, na especificação para processo dos cilindros externos denominados por área, conforme produto denominado de Botton Case na especificação padrão ISO 31H8, especificamente 31,000 +0,080 / +0,040 mm. Com

dados da Inspeção de Recebimento (IDR), da fábrica de amortecedores com medidas efetivas média $31,075 +0,002 / +0,001$ mm.



Figura 3.4 - Ferramenta BTA.
Fonte: SANDVIK (2016).

3.2.3 – Verificação da qualidade da furação

3.2.3.1 - Instrumentos para avaliação dimensional

Súbito com relógio comparador de $1\mu\text{m}$ de resolução para avaliação do diâmetro.
Figura 3.5 – Súbito com relógio comparador, calibrado em um anel padrão de 31,000 mm, fornecido pelo fabricante Mitutoyo.



Figura 3.5 - Súbito com relógio comparador.

Paquímetro de profundidade de 300mm, com resolução de 0.02mm, para medição da profundidade do cilindro interno Figura 3.6 – Paquímetro de Profundidade, fornecido pelo fabricante Mitutoyo.



Figura 3.6 - Paquímetro de profundidade.

3.2.3.2 – Instrumento para avaliação do acabamento superficial

Rugosímetro digital consiste em um aparelho eletrônico com alto padrão de qualidade de medições, utilizado para verificação da superfície de peças e ferramentas – destinadas para análises de rugosidade, Figura 3.7 – Rugosímetro digital. Inicialmente, seu uso era apenas para rugosidade ou textura primária. Mas, com o tempo, apareceram novos critérios como ondulação, exigindo a evolução das tecnologias. Os novos aparelhos – que mantêm o nome rugosímetro – também medem estes critérios secundários. Os rugosímetros podem ser classificados em dois grandes grupos: aparelhos que fornecem somente a leitura dos parâmetros de rugosidade (aplicados em linhas de produção) e os

que, além da leitura, permitem o registro, em papel, do perfil efetivo da superfície (uso mais em laboratórios). São compostos das seguintes partes:

- Apalpador: desliza sobre a superfície levando os sinais da agulha apalpadora até o amplificador;
- Unidade de açãoamento: com uma velocidade constante, desloca o apalpador sobre a superfície;
- Amplificador: contém um indicador de leitura que recebe os sinais da agulha e tem a parte principal eletrônica do aparelho;
- Registrador: acessório do amplificador que fornece a reprodução do corte da superfície.

Para determinação da rugosidade, deve-se percorrer com um apalpador de formato normalizada, acompanhado de uma guia (patim). Enquanto um acompanha a rugosidade, o outro acompanha a ondulação. O movimento da agulha é transformado em impulsos elétricos e registrado no mostrador.



Figura 3.7 - Rugosímetro digital.

3.2.3.3 – Amostragem e avaliação

As amostras coletadas seguem um procedimento interno da fábrica de amortecedores, quando é submetido a estudos do processo produtivo pela engenharia de desenvolvimento, para mudanças de leiaute e/ou de parâmetros de usinagem e de capacidade produtiva do processo, o padrão de amostragem requer avaliação de 30 peças, com informes ao cliente através de um documento chamado Seppen, para ser analisado e dado um parecer técnico ao fornecedor das peças processadas.

As avaliações foram realizadas com os instrumentos já mencionados, e medidos pelos próprios operadores da qualidade do processo, que forneceram os dados em uma

planilha, na forma de carta de controle, mapa de avaliação dimensional e estatística conforme Anexos: 1, 2 e 3.

3.3 – MATERIAIS DE TESTE E CORPOS DE PROVA

3.3.1 - Cilindros externos

Preparação dos corpos de prova, cilindros externos modelos KRM-00-10, Figura 3.8 – Cilindro externo. Com pré-furo no processo de fundição de alumínio. Os padrões do processo estão descritos nas folhas de controle de qualidade do processo (FCPQF) da fundição, da fábrica de amortecedores para os modelos em referência.

Propriedades mecânicas dos cilindros externos, ligas de Al-Si, As propriedades mecânicas das ligas de AlSi, bem como de todos outros materiais metálicos é determinada por vários ensaios, que podem ser classificados como destrutivos e não destrutivos.

Ensaios destrutivos:

Tração, Impacto, Dobramento, Flexão, Fadiga, Compressão e dureza, mesmo que em certos casos não se inutiliza a peça, o ensaio de dureza é classificado como destrutivo.

Ensaios não destrutivos:

- Normalmente são utilizados em peças prontas que tem como objetivo garantir algum processo de fabricação. Ex. Raio X, líquido penetrante, etc.

Dureza é uma propriedade muito utilizada na especificação de materiais, no estudo de pesquisas mecânicas e metalúrgicas e na comparação entre diversos materiais.



Figura 3.8 - Cilindro externo.

3.3.2 – Fluido de corte utilizado

Óleo de refrigeração vegetal, utilizado em produção normal conforme especificação dos fornecedores da empresa, fabricação nacional, não é utilizada mistura com água, método para verificação da concentração é padronizado pela empresa.

Temperatura do fluido foi medida em três condições para realização dos testes, conforme Tabela 3.1 – Temperatura do óleo de corte.

Tabela 3.1 - Temperatura do óleo de corte.

TEMPERATURA DO ÓLEO DE CORTE			
IT	FERRAMENTA	MEDIDA	AJUSTE
1	Produção Normal	$> 50^{\circ}$	+5
2	Teste - 1	$< 50^{\circ}$	-5
3	Teste - 2	$< 30^{\circ}$	-5

3.3.3 – Parâmetros de usinagem

Os parâmetros de usinagem para determinar as Condição de teste Produção Normal, IT – 1, Tabela 3.2, com velocidade de corte $V_c = 78$ m/min, $n = 800$ rpm, velocidade de avanço $V_a = 288$ mm/rpm e $f_n = 0.34$ mm/rpm; Temperatura do óleo de refrigeração $> 50^{\circ}$ Graus.

Condição de teste 2, IT – 2, Tabela 3.2, com velocidade de corte $V_c = 83$ m/min, $n = 850$ rpm, velocidade de avanço $V_a = 288$ mm/rot e $f_n = 0.34$ mm/rpm; Temperatura do óleo refrigerante $< 50^{\circ}$ Graus.

Condição de teste 3, IT – 3, Tabela 3.2, com velocidade de corte $V_c = 88$ m/min, $n = 900$ rpm, velocidade de avanço $V_a = 288$ mm/rot e $f_n = 0.34$ mm/rpm; Temperatura do óleo refrigerante $< 30^{\circ}$ Graus.

Estes dados podem ser melhor observados conforme Tabela 3.2 - Parâmetros de usinabilidade.

Tabela 3.2 - Parâmetros de usinabilidade.

PARÂMETROS DE USINABILIDADE			
IT	Vc	n	Vf
1	78	800	0,34
2	83	850	0,34
3	88	900	0,34

3.3.4 – Equipamento para ajuste da ferramenta

As fabricas de usinagem utilizam um sistema de processamento e ajustes de suas ferramentas, onde o set-up das mesmas neste estudo, foi realizado ajustes para implementação dos parâmetros de produção normal e testes 1 e 2 realizados.

Para os testes foi ajustada a ferramenta através de um equipamento Preset fornecido pela empresa matriz localizada no Japão, as medidas constatadas apresentaram as medidas de acordo com a Tabela 3.3 – Ajustes de ferramenta.

Preset de ferramentas é o processo de determinação da geometria como comprimento, raio e/ou diâmetro de uma ferramenta de corte utilizando um dispositivo de preset de ferramentas e um software dedicado. Algumas tecnologias de preset de ferramentas também são capazes de determinar informações como perfil radial/linear e condição do fio de corte. A detecção de ferramenta quebrada pode ser efetuada por sistemas de preset de ferramentas e dispositivos dedicados. O preset de ferramentas e a detecção de ferramentas quebradas permitem a operação sem operadores de máquinas-ferramenta.

Tabela 3.3 - Ajuste das ferramentas.

AJUSTES DAS FERRAMENTAS			
IT	FERRAMENTA	MEDIDA	AJUSTE
1	Produção Normal - PN	31,075	-0,005
2	Teste - 1 - T1	31,065	-0,015
3	Teste - 2 - T2	31,055	-0,025

3.4 – VARIÁVEIS DE ENTRADA

Com o intuito de determinar a influência das variáveis de entrada do processo sobre os critérios de usinabilidade analisados, ou seja, sobre a qualidade superficial, forças e tempo na usinagem, além das considerações econômicas, é necessária uma combinação destas variáveis entre si. Esta combinação deve ser feita de maneira que apenas uma das variáveis sofra alteração, mantendo-se as outras variáveis constantes, permitindo verificar a influência de cada uma delas, separadamente, sobre o resultado final da usinagem. O número de variáveis de entrada ou independentes envolvidas na usinagem de um material, entretanto, é extremamente elevado. As principais variáveis de entrada para um estudo da usinabilidade de ligas de alumínio tratáveis termicamente com baixos teores de silício e utilizando-se o processo de torneamento estão resumidas na Figura 3.9.

Pela análise da Figura 3.9, percebe-se que cada variável de entrada citada pode ter influência em um ou mais critérios de usinabilidade. Assim, todas as variáveis deveriam ser analisadas nos critérios que causam influência. Contudo, se fossem combinados cada um destes fatores nas condições em que normalmente são recomendados para a usinagem das ligas de alumínio tratáveis termicamente e se mantivessem as demais variáveis constantes, o número de ensaios se tomaria tão elevado que seria impossível a sua realização.

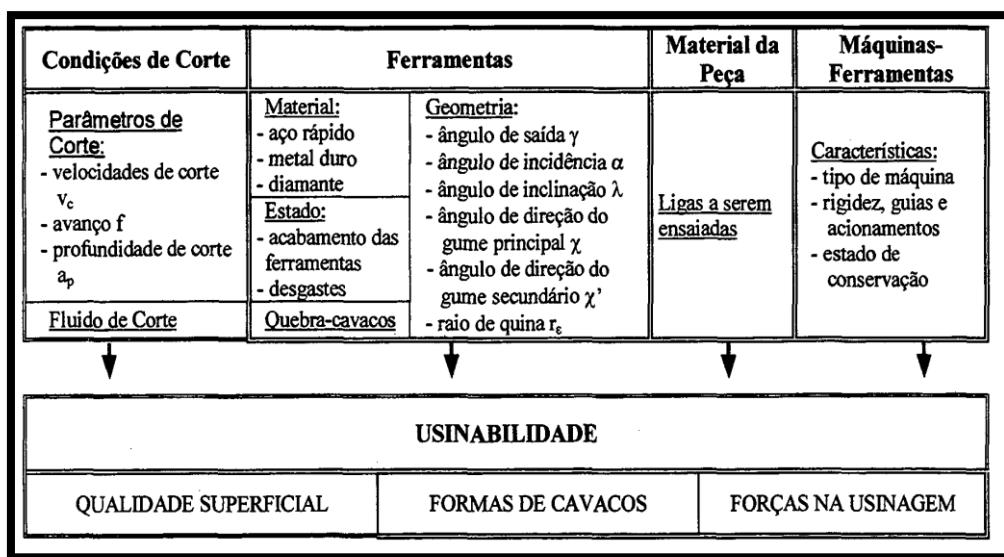


Figura 3.9 - Principais variáveis de entrada para usinabilidade de ligas de alumínio tratáveis termicamente – processo de torneamento.
 Fonte: FUNDAÇÃO CERTI (2003).

3.5 - METODOLOGIA

Para SALVADOR (1980), adequando o tipo de estudo da arte apresentado neste trabalho, será utilizado o tipo Argumentativa onde requer uma interpretação das ideias apresentadas e o posicionamento do pesquisador.

Nesta argumentação será realizado um estudo do método quantitativo de amostras verificadas em processos de fabricação em fundição com pré-furo dos cilindros externos e, posteriormente, processados em um torno especial com máquina-ferramenta BTA, para apresentação de resultados com parâmetros de ideias de forma a adequar o processo produtivo de forma otimizada, com processo produtivo maximizado e com processo minimizado com custos.

Os métodos comuns de furação profunda são caracterizados por alta taxa de remoção de materiais e alta precisão em relação à retilíneidade do furo, tolerâncias dimensionais e acabamento superficial. As condições extremas que se aplicam quando os furos profundos exigem muito da ferramenta, máquina e equipamentos associados.

As aplicações de furação profunda são encontradas em uma ampla gama de setores industriais, como siderurgia, energia nuclear, aeroespacial, petróleo e gás. Aqui, há alta exigência de qualidade, dimensão e tolerância do formato.

As peças podem ser muito caras e as rejeições podem resultar em consequências econômicas. Portanto, a confiabilidade durante a operação, geralmente, é alta prioridade. Isso significa que as ferramentas e os sistemas de furação que são desenvolvidos para atender essas especificações oferecem qualidade que, em determinadas aplicações, são desejadas mesmo na usinagem de furos curtos.

3.5.1 - Métodos de furação profunda

3.5.1.1 - Furação em cheio

Furação em cheio é o método mais comum. Ele envolve a usinagem de um furo em material inteiriço. Frequentemente, o diâmetro do furo, a retilíneidade e o acabamento superficial são tão bons que não é necessária usinagem subsequente (SANDVIK, 2016).

3.5.1.2 – Alargamento

O alargamento de um furo pré-usinado é normalmente executado para melhorar a retilineidade, o acabamento superficial e a tolerância na usinagem de peças forjadas, fundidas, pressionadas e extrudadas. Se a potência da máquina for insuficiente para a furação em cheio em uma operação, o furo pode ser pré-usinado com uma pequena broca inteiriça e alargado até o diâmetro desejado. Operações de endurecimento, têmpera, alívio de tensão, recozimento, entre outras, muitas vezes, são executadas entre a furação em cheio e o alargamento.

3.5.1.3 – Trepanação

A trepanação é realizada sem a pré-furação, mas ao invés de usinar para fora todo o material em forma de cavacos, a ferramenta deixa um núcleo inteiriço no meio do furo. Esse método é usado principalmente quando a potência da máquina é limitada, pois a potência exigida é menor que na furação em cheio que pode ser usada também no caso de peças grandes e caras, onde pode ser difícil obter material de amostra apropriado. O núcleo pode então ser usado para amostras de testes e análise de material. Especialmente no caso de materiais caros, o núcleo deve ser recuperado e usado para outros fins.

Na usinagem de furos cegos, uma ferramenta especial é necessária para retirar o núcleo. Em furos profundos, o núcleo irá defletir devido a seu próprio peso e deve ter um apoio para evitar problemas de quebra da pastilha.

3.5.2 - Acabamento superficial - rugosidade

3.5.2.1 – Introdução

As superfícies de peças apresentam irregularidades quando observadas em detalhes. Estas irregularidades são provocadas por sulcos ou marcas deixadas pela ferramenta que atuou sobre a superfície da peça.

A importância do estudo do acabamento superficial aumenta na medida em que cresce a precisão de ajuste entre as peças a serem acopladas, onde somente a precisão dimensional, de forma e de posição não é suficiente para garantir a funcionalidade do par acoplado.

O acabamento superficial é fundamental onde houver desgaste, atrito, corrosão, aparência, resistência à fadiga, transmissão de calor, propriedades óticas, escoamento de fluidos e superfícies de medição (blocos-padrão, micrômetros, paquímetros, etc.). O acabamento superficial é medido através da rugosidade superficial, a qual é expresso em microns (mm ou m).

No Brasil, os conceitos de rugosidade superficial são definidos pela norma ABNT NBR 6405-1985.

A rugosidade superficial é função do tipo de acabamento, da máquina-ferramenta ou do processo de fabricação utilizado. Na análise dos desvios da superfície real em relação à superfície geométrica (ideal, de projeto), pode-se distinguir o seguinte erro.

Erros micro-geométricos: Podem ser medidos somente com instrumentos especiais tais como rugosímetros, perfilógrafos. Estes instrumentos podem ser óticos, a laser ou eletromecânicos Figura 3.10.

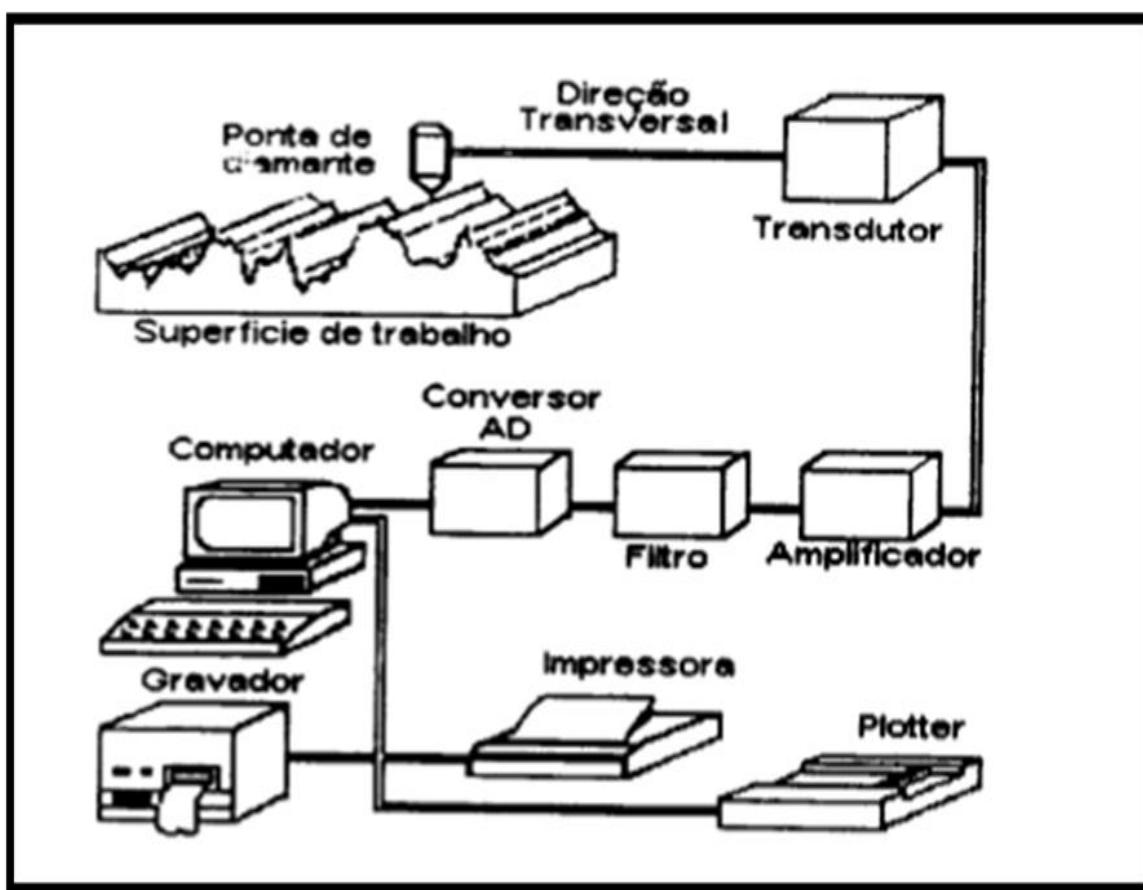


Figura 3.10 - Medição da rugosidade superficial através de um rugosímetro eletromecânico.

Fonte: FUNDAÇÃO CERTI (2003).

Percorso de Apalpamento (lt): É o percurso total apalpado pelo sistema de medição, ou seja, é a soma dos percursos inicial, de medição e final. $\Rightarrow lt = lv + lm + ln$

3.5.2.2 – Seleção do parâmetro de rugosidade

A norma ABNT recomenda o uso do parâmetro Ra; • A escolha de um ou outro parâmetro para caracterizar a rugosidade de uma peça deve ser adaptada à sua função: \Rightarrow Peças de vedação: É mais lógico o uso de Rmáx. Pontos isolados individuais podem provocar permeabilidade com o uso de Ra, já que este último parâmetro indica um valor médio da rugosidade. \Rightarrow Superfície porosa: É mais conveniente o uso de Ra ou Rq.

Indicação da rugosidade Ra pelos números de classe, foi o parâmetro medido neste estudo. A norma NBR 8404/1984 de indicação do Estado de Superfícies em Desenhos Técnicos esclarecem que a característica principal (o valor) da rugosidade Ra pode ser indicada pelos números da classe de rugosidade correspondente, conforme a Figura 3.11 a seguir.

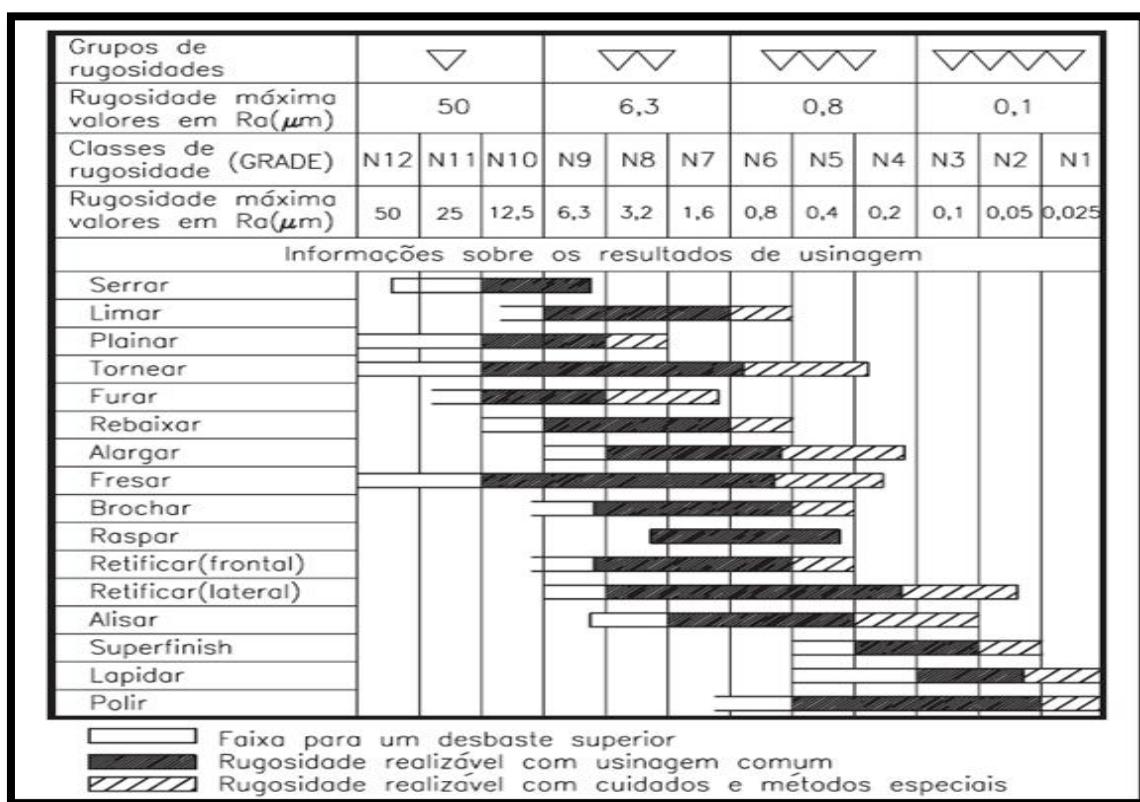


Figura 3.11 - Indicação da rugosidade Ra pelos números de classe.
Fonte: FUNDAÇÃO CERTI (2003).

3.6 - ANÁLISE VARIÂNCIA

3.6.1 - Compreendendo a variação

O objetivo do desenvolvimento de um produto ou processo visto no item 2.5 – Etapas para o projeto de um produto é aperfeiçoar características de desempenho do produto de acordo com as necessidades e expectativas do consumidor. O propósito da experimentação consiste na redução do produto ou processo: subsequentemente, pode ser tomadas decisões quanto aos parâmetros que afetam o desempenho do produto ou processo.

3.6.2 - Análise estatística: ANOVA

Os resultados da rugosidade, desvios de forma e variação do diâmetro foram analisados com o auxílio das planilhas do Excel. Construiu-se a tabela da ANOVA (análise da variância) para identificar qual variável apresentou diferença estatisticamente significativa. Utilizou-se o teste de comparação múltipla LSD (Least Significant Difference) com confiança de 95,0% para analisar quais médias são estatisticamente diferentes. A análise da variância é utilizada para comparar dois ou mais grupos. Utilizasse a comparação das variâncias para verificar a variação de uma população normal. Aplica-se a análise da variância para o teste da hipótese nula (todas as médias são iguais), o que pode identificar pelo menos uma das médias diferentes das demais. A ANOVA apresenta-se como um quadro, sendo que a análise de significância das médias é realizada sobre a estatística F (relação dos quadrados médios – dos tratamentos e residual) e sobre o fator P. Quanto maior o fator P mais próximo da hipótese nula é o experimento. Desta forma, adota-se o fator P menor que 5% para identificar médias com diferença estatisticamente significativa entre os fatores. A aplicação da análise da variância depende da normalidade e homogeneidade das amostras. A ANOVA identifica da desigualdade das médias, porém não identifica qual ou quais médias são diferentes. Assim, é aplicado um teste de comparação múltipla. O teste LSD utiliza a distribuição de probabilidade t de Student com 95% de grau de confiança para comparar a diferença das médias (BUTTON, 2000).

3.6.3 - Anova um fator

A anova um fator apresenta uma ferramenta para analisar o comportamento de diversos tratamentos de um fator aplicados a um processo, produto ou serviço. Por exemplo, considere o processo de tratamento térmico no qual controlamos a dureza do material. Neste caso, temos como objetivo avaliar o efeito da temperatura do forno na dureza do material. Para isto, elaboramos um experimento no qual produzimos peças em diferentes níveis de temperatura do forno e medimos a dureza destas peças. Com estas observações, podemos aplicar a técnica da anova um fator para escolhermos o nível adequado de temperatura que garanta peças com boas propriedades.

Considere um processo, produto ou serviço no qual queremos avaliar o impacto do fator **A**, tal que **A** tenha **k** níveis, sendo que esses níveis são fixos. Suponha que uma amostra de **N** unidades experimentais é selecionada completamente aleatória de uma população de unidades experimentais. A unidade experimental é a unidade básica para o qual os tratamentos são aplicados, para mais detalhes sobre unidades experimentais.

3.7 - ANÁLISE SISTEMÁTICO DE CUSTOS

A otimização de processos de usinagem tem sido uma das opções, para indústrias manufatureiras, na busca de melhores desempenhos, representados, principalmente, pela redução de custos ou de tempos de fabricação (COPPINI e BAPTISTA, 1998). A redução dos tempos de fabricação pode ser obtida por meio da redução dos tempos improdutivos, como tempos de fila, de setup, de load/unload ou de medição, ou dos tempos produtivos, como tempos de corte, de movimentação da ferramenta e de troca da ferramenta. No que tange ao tempo de corte, sua redução pode ser obtida com o aumento da velocidade de corte, V_c , até que seja empregada, no limite, a velocidade de corte de máxima produção, V_{cmxp} . Já a redução de custos pode ser obtida por negociação do preço do ferramental, pela adoção de ferramental mais eficiente, não utilização de V_c inferiores à velocidade de corte de mínimo custo, V_{cmc} (BAPTISTA, 2004). O Intervalo de Máxima Eficiência (IME) é definido após identificadas as velocidades V_{cmc} e V_{cmxp} , o qual constitui importante referencial para a otimização de processos de usinagem, considerando os diversos cenários produtivos. O IME possibilita a identificação da condição mais econômica entre as duas velocidades do intervalo (BAPTISTA, 2004). Neste sentido, o IME faz uso de dois parâmetros fundamentais, quais sejam os custos e tempos de

fabricação envolvidos. Enquanto os cálculos de tempos parecem não serem motivos de controvérsias, o mesmo não se pode dizer em relação aos custos. Tradicionalmente, a metodologia para cálculo de custos de usinagem publicada na literatura considera os custos diretos de produção (DINIZ *et al.*, 2001), o que representa uma dificuldade adicional para as pequenas e médias empresas que, na sua grande maioria, não possuem um departamento contábil próprio e, por consequência disto, têm dificuldades no cálculo real de seus custos de fabricação e na determinação do preço de venda.

Uma alternativa para decisões operacionais em ambientes produtivos pode ser encontrada na Teoria das Restrições (Theory of Constraints – TOC), proposta em Goldratt e Cox (1984). A TOC propõe uma nova visão para gerenciamento empresarial, no qual muitos dos cálculos tradicionais de custos são revistos.

Na continuidade das análises de processos, materiais e métodos este artigo tem por finalidade propor uma nova referência para decisões operacionais em ambientes de produção que utilizam processos de usinagem, especificamente empresas prestadoras de serviço cujo processo, além de único, representa um gargalo, baseada em considerações da Teoria das Restrições. As simulações apresentadas nesse trabalho permitem avaliar que, em algumas situações específicas, uma única velocidade de corte de usinagem pode otimizar os resultados da empresa como um todo, por essa razão, o próximo capítulo vem relacionar as interpretações dos testes e ensaios possibilitando a viabilidade de adequação do método estudado e sugerir a implementação da furação profunda.

CAPÍTULO 4

RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 – TESTES E ENSAIOS

Com o objetivo de verificar as influências da variação dos parâmetros de usinagem sobre o processo de furação profunda, foi planejado um ensaio no qual foram monitoradas as variáveis de saída do mesmo. Neste experimento foram avaliadas três amostras do lote de fabricação, com diâmetro de $31.000 +0.080/-0.040$ mm, temperatura do óleo acima de 50 graus, no teste com a Produção Normal, temperatura do óleo abaixo de 50 graus teste 1 e temperatura do óleo abaixo de 30 graus teste 2. Para minimizar as influências do diâmetro das peças sobre os resultados do experimento, foram realizadas somente duas condições de parâmetros de forma totalmente linear. A realização de ensaios de forma totalmente linear permite proteger os resultados de fatores perturbadores que possam ter um efeito sobre os resultados.

Assim, os ensaios visam validar o método de furação profunda como alternativa de eficiência e redução de custos. É apresentada, ainda, a comparação do desempenho das condições de teste realizado na produção normal e nos parâmetros de teste 1 e 2, função da mudança de temperatura do óleo de refrigeração. Onde duas condições são testadas em função da análise dos resultados do acabamento da superfície e tolerância dimensional.

4.1.1 – Resultados da rugosidade dos furos

Conforme os resultados obtidos, é observado nas Figuras 4.1, 4.2 e 4.3, que a rugosidade do furo aumenta à medida que se aumenta a temperatura. Em relação às amostras de processo de produção normal testadas, onde estas têm influência significativa sobre o parâmetro de rugosidade média de $1,6\mu\text{m}$ especificada. Apenas na temperatura menor que 50 graus, podem-se ver um melhor resultado da superfície usinada. Esse resultado pode ser decorrente da maior estabilidade do processo em baixas temperaturas, onde as menores solicitações da máquina, em relação aos fenômenos dinâmicos como, por exemplo, vibrações e desbalanceamentos, favorecem melhores resultados de rugosidade da superfície usinada.

Nas condições testadas, a maior variação de rugosidade acima dos limites de projeto foi observada na condição de velocidade de corte de 78 m/min, confirmando assim a perturbação do processo nessa faixa de velocidade.

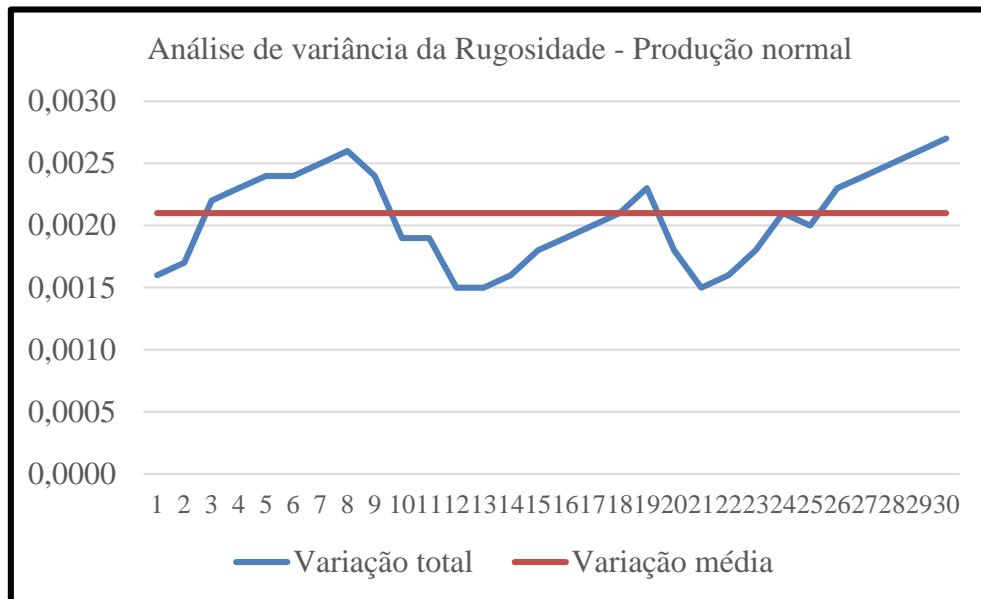


Figura 4.1 - Variação da rugosidade em função dos parâmetros de corte.

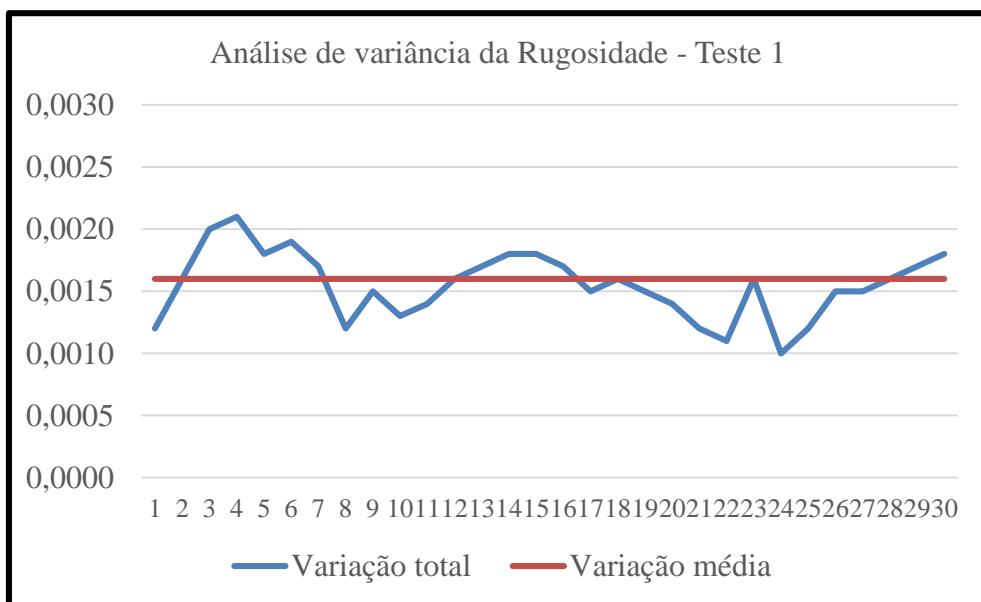


Figura 4.2 - Variação da rugosidade em função dos parâmetros de corte teste-1.

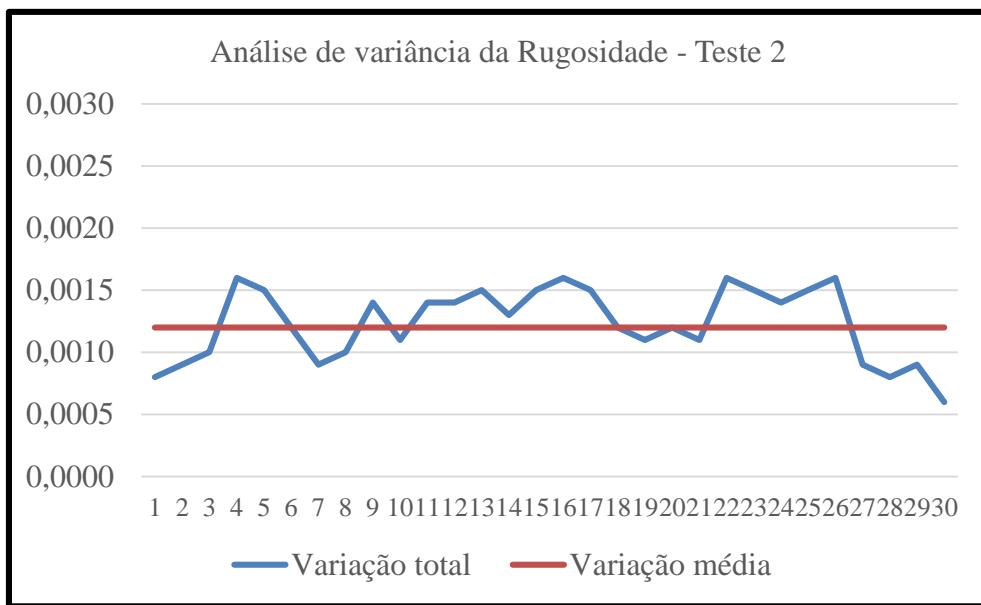


Figura 4.3 - Variação da rugosidade em função dos parâmetros de corte teste-2.

4.1.2 – Resultados do diâmetro dos furos

Os resultados podem ser observados nas Figuras 4.4, 4.5 e 4.6 onde nos permite observar a ocorrência de dois fenômenos: o aumento da temperatura do óleo causa um aumento do diâmetro do furo e o diâmetro dos furos torna-se maior à medida que se aumenta a temperatura do óleo.

Uma explicação para tal comportamento poderia ser que à medida que a temperatura do óleo ou diâmetro da peça aumenta, ocorre um crescimento do grau de deformação do material que está em volta do furo, fazendo com que o diâmetro do furo sofra alterações. Outra hipótese para esse fenômeno seria que com o aumento dos parâmetros de usinagem, a estabilidade do processo esteja sendo perturbada pelas maiores vibrações e esforços gerados. Ferramentas ou porta-ferramentas desbalanceadas, em altas temperaturas, fazem com que o eixo de rotação do conjunto varie, provocando defeitos nos furos.

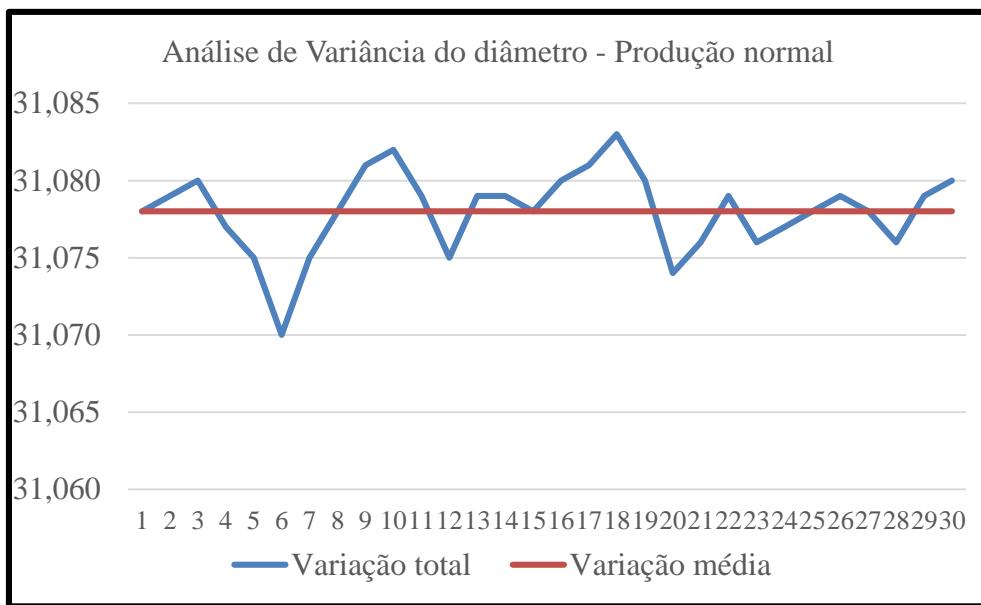


Figura 4.4 - Variação do diâmetro do furo em função dos parâmetros de corte produção normal.

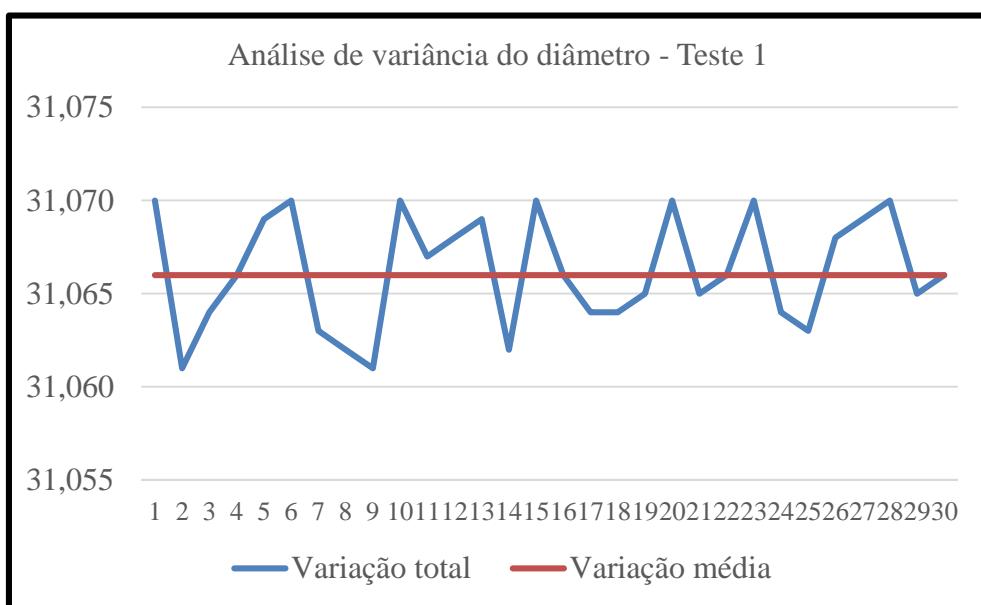


Figura 4.5 - Variação do diâmetro do furo em função dos parâmetros de corte do teste-1.

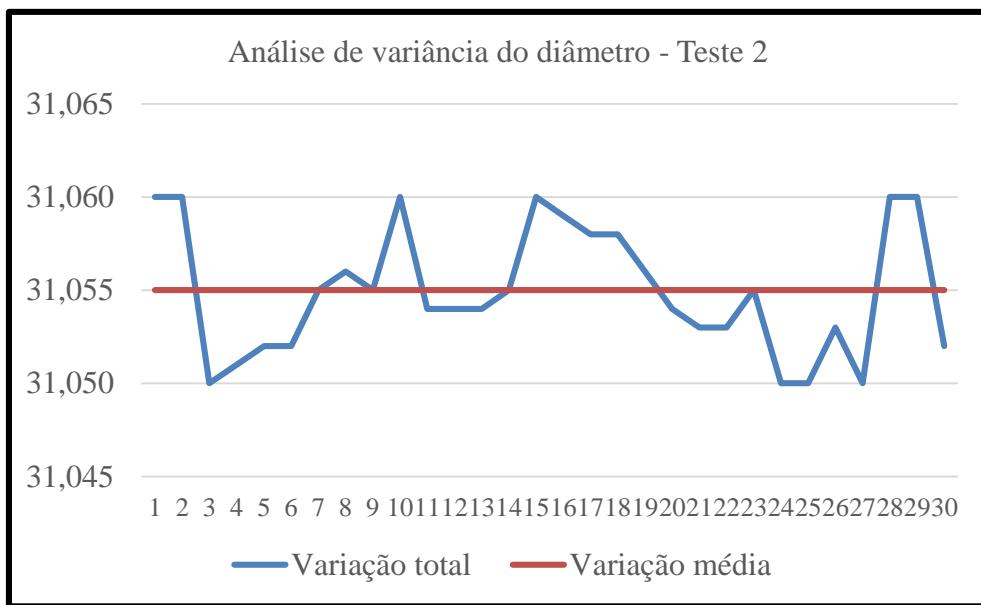


Figura 4.6 - Variação do diâmetro do furo em função dos parâmetros de corte do teste-2.

Nas condições testadas, a maior variação de diâmetro acima dos limites de projeto foi observada na condição de velocidade de corte de 78 m/min, confirmando assim a perturbação do processo nessa faixa de velocidade.

4.2 – PROPOSIÇÃO DOS RESULTADOS

Foi possível estabelecer que a velocidade de corte é um fator determinante na qualidade do furo na usinagem do cilindro externo. Uma velocidade de corte muito baixa, somada a uma ferramenta deteriorada, pode gerar defeitos de quebras na borda do furo na saída, dando resultados imperfeitos de acabamento superficial.

Nos testes realizados 1 e 2, tivemos um cuidado relacionado aos problemas de qualidade, pelo método qualitativo de funcionalidade e testes de compressão do amortecedor, onde na inspeção final após a montagem, temos um índice elevado de um problema denominado “movimento pesado”, onde tem relação direta com o acabamento superficial e o diâmetro, na inspeção final é realizado inspeção 100%, para aprovação do amortecedor, onde podemos observar as variações com tendência para os limites superior de especificação, para garantir a funcionalidade do amortecedor, outro fator relevante estar relacionado ao processo, estes itens podemos destacar como um processo considerado especial para funcionalidade do amortecedor e dar uma performance de qualidade, para satisfação do consumidor.

Considerando as ferramentas utilizadas tem valor de custo elevado, as mesmas são recebidas com dimensões bem próximas a seus limites superiores de tolerância e colocadas em processo para terem duração e vida útil prolongada, em função dos desgastes e garantir a variação dos limites de processo.

Outro fato observado está relacionado ao setup das ferramentas, o profissional técnico e/ou o operador do torno, máquina ferramenta, deve ficar atento os ajustes de comprimento total, para não ocorrer quebra da ponta da ferramenta BTA, pois na quebra desta ponta a ferramenta fica inadequada para uso, pois esta ponta faz o desbaste do diâmetro menor, para o encaixe do retentor de óleo do amortecedor.

4.3 - ANÁLISE DOS RESULTADOS

As análises a seguir são apresentadas através da aplicação da análise de variância, com gráficos de controles do processo e capacidade do processo CP e CPK, com uso do Minitab 16 e dos custos atuais com máquina e ferramenta na empresa.

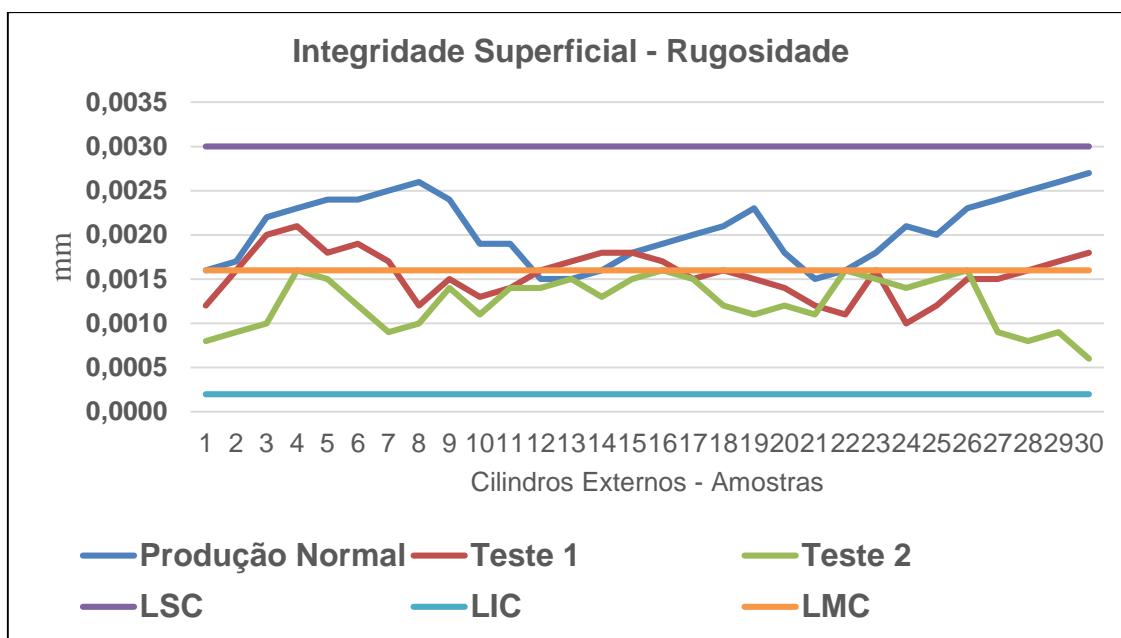


Figura 4.7 - Análise da integridade superficial.

Análise de variância dos parâmetros testados, para rugosidade, conforme mostra a Figura 4.7, compara-se os níveis de rugosidade nos testes 1 e 2 com os de produção normal, observa-se que os testes, tem tendência para nível abaixo do LSC (Limite Superior de Controle), e os de produção normal com tendência para acima do LSC.

4.4 – ANÁLISE DE VARIÂNCIA CAPABILIDADE DO PROCESSO

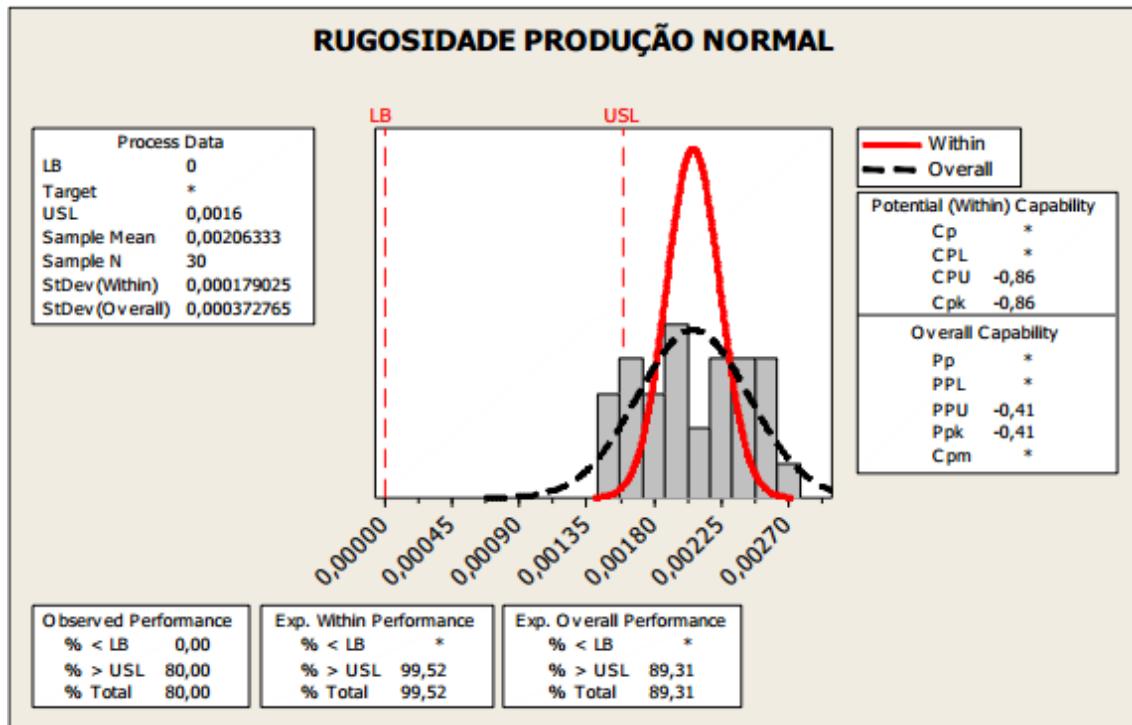


Figura 4.8 - Capabilidade do processo rugosidade produção normal.

Analizando os resultados de **Capabilidade Rugosidade Produção Normal**, temos uma média amostral igual a 0,0021 mm, para uma amostra de 30 unidades, o desvio padrão global igual a 0,0004mm e o desvio padrão dentro esperado igual a 0,0002mm, onde no desempenho observado temos 80% das amostras estão acima do limite superior especificado, no desempenho dentro esperado temos 99,52% das amostras acima do limite superior especificado e o no desempenho global esperado temos 89,31% das amostras acima do limite superior especificado.

Os resultados de Capabilidade global Cpu igual a -0,41e o Cpk igual a -0,41, podemos definir que, para esta condição o processo está incapaz.

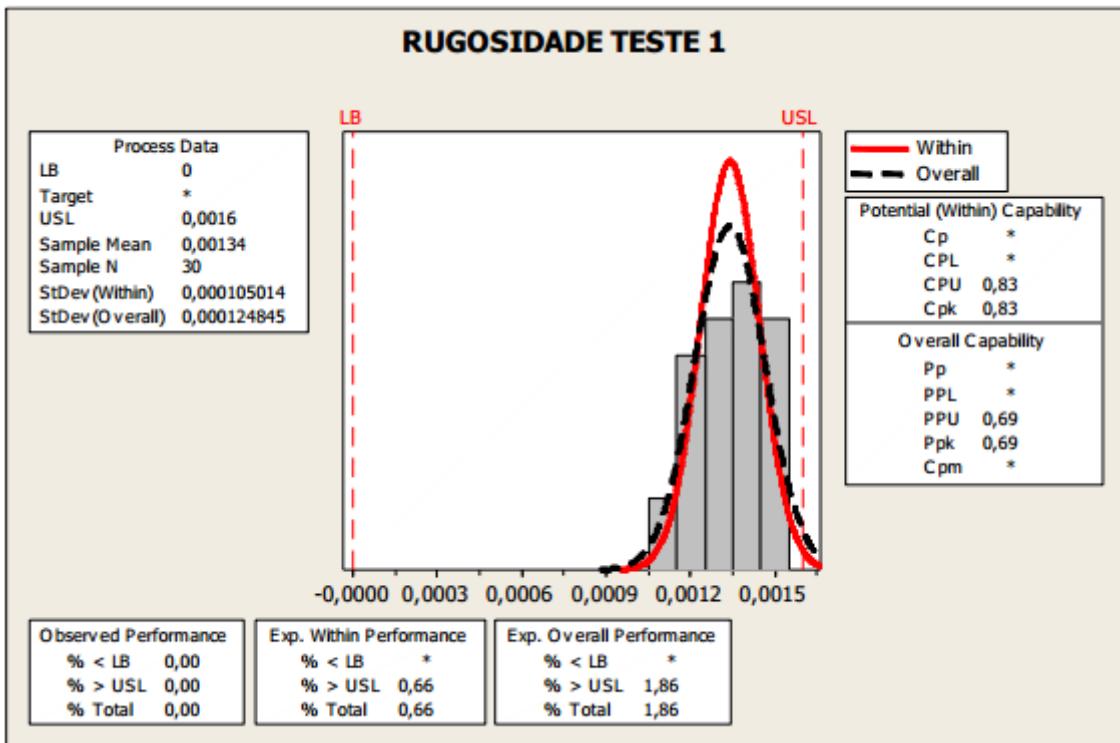


Figura 4.9 - Capabilidade do processo rugosidade teste-1.

Analisando os resultados de **Capabilidade Rugosidade Teste 1**, temos uma média amostral igual a 0,0013 mm, para uma amostra de 30 unidades, o desvio padrão global igual a 0,0001 e o desvio padrão dentro esperado igual a 0,0001, onde no desempenho observado temos 0,00% das amostras estão dentro dos limites especificado, no desempenho global esperado temos 1,86% das amostras acima do limite superior especificado e o no desempenho dentro esperado temos 0,66% das amostras acima do limite superior especificado.

Os resultados de Capabilidade global PPU igual a 0,69 e o Cpk igual a 0,69, podemos definir que, para este parâmetro o processo teve melhorias significativas, em comparação com os de Produção Normal.

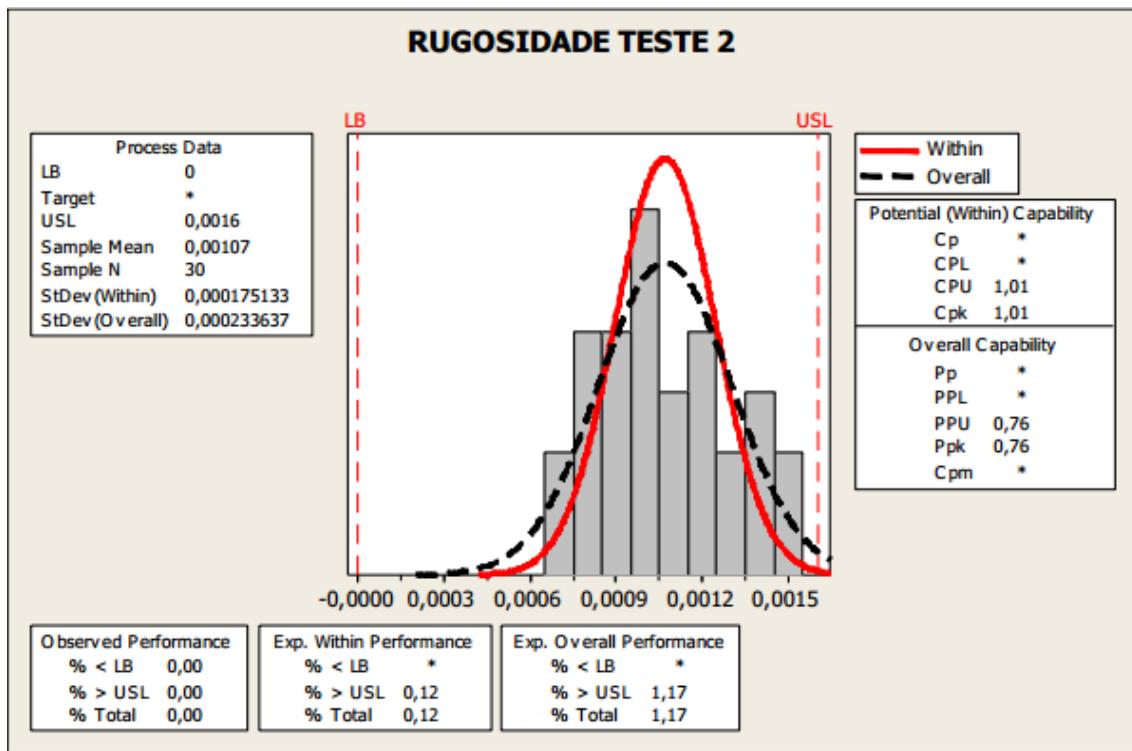


Figura 4.10 - Capabilidade do processo rugosidade teste-2.

Analisando os resultados de **Capabilidade Teste 2 Rugosidade**, temos uma média amostral igual a 0,00107 mm, para uma amostra de 30 unidades, o desvio padrão global igual a 0,00023 e o desvio padrão dentro esperado igual a 0,00017, onde no desempenho observado temos 0,00% das amostras, no desempenho global esperado temos 1,17% das amostras acima do limite superior especificado e o no desempenho dentro esperado temos 1,12% das amostras acima do limite superior especificado.

Os resultados de Capabilidade global PPU igual a 0,76 e o Ppk igual a 0,76, podemos definir que, para este parâmetro o processo teve melhorias significativas, em comparação com os de Produção Normal.

Para esta característica utilizarmos um parâmetro N7, 1,6 μm , de especificação, se utilizássemos outro nível de acabamento superficial, de N7 para N8, com 3,2 μm , podemos definir um processo 100% capaz, para os testes produção normal, testes 1 e 2.

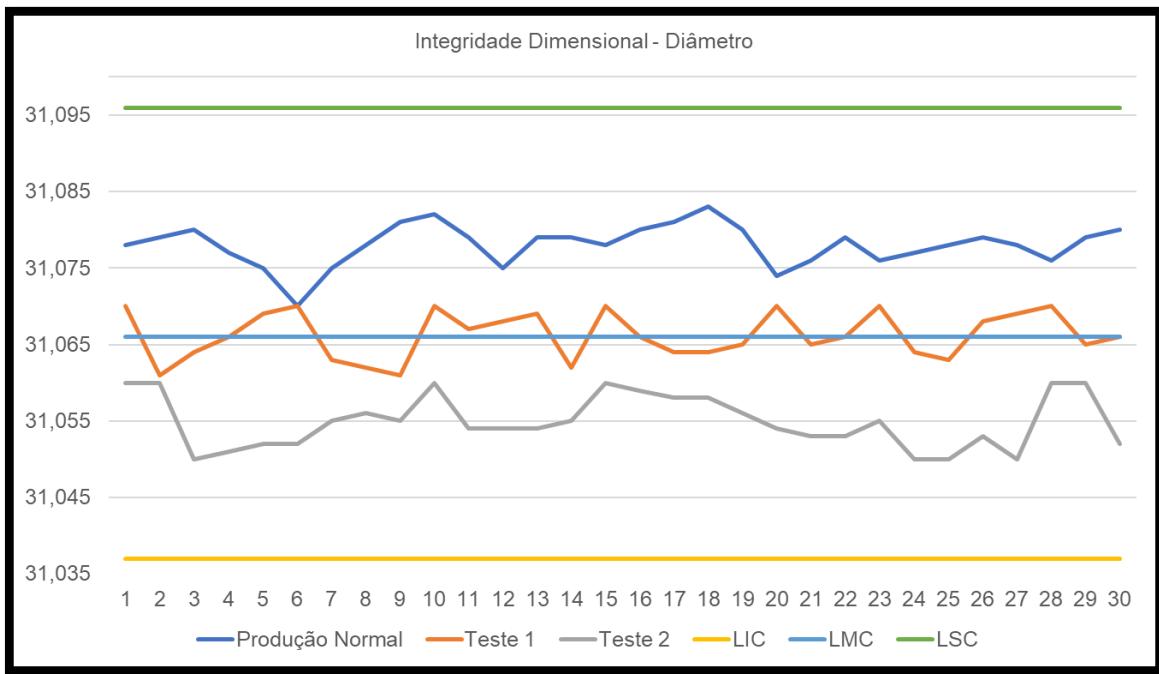


Figura 4.11 - Análise da integridade dimensional.

Para análise de variância dos parâmetros testados, para o diâmetro, conforme mostra a Figura 4.11 – Análise da Integridade Dimensional Diâmetro, pode-se comparar os níveis de variação do diâmetro nos testes 1 e 2 com os de produção normal, onde é observado que os resultados dos testes 1 e 2, estão dentro dos limites de tolerância especificados, abaixo de 31,080 mm, LSE – Limite Superior Especificado, onde os de produção normal, estão com tendência para acima do LSE – Limite Superior especificado.

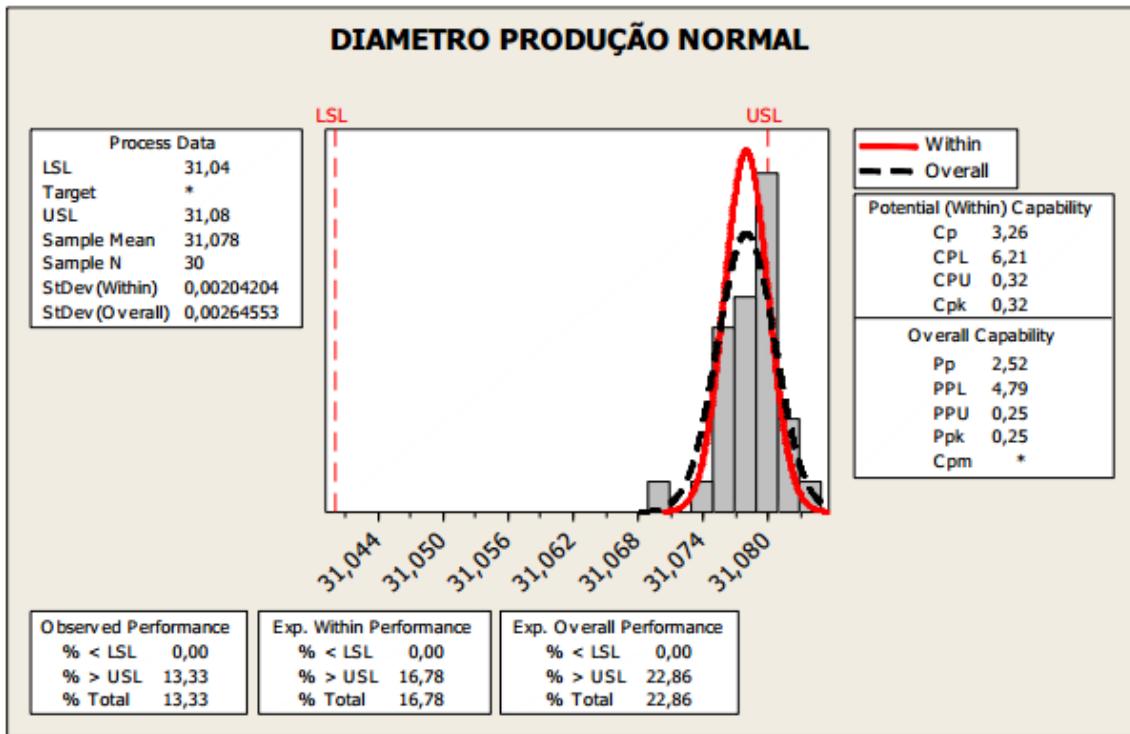


Figura 4.12 - Capabilidade do processo diâmetro produção normal.

Analisando os resultados de **Capabilidade Produção Normal – Diâmetro**, demonstrado na Figura 4.12, temos uma média amostral igual a 31,078 mm, para uma amostra de 30 unidades, o desvio padrão global igual a 0,003 e o desvio padrão dentro esperado igual a 0,002, onde no desempenho observado temos 13,33% das amostras estão acima do limite superior especificado, no desempenho global esperado temos 22,86% das amostras acima do limite superior especificado e o no desempenho dentro esperado temos 16,78% das amostras acima do limite superior especificado.

Os resultados de Capacidade global Cp igual a 3,26 e o Cpk igual a 0,32, podemos definir que, para este parâmetro na Produção Normal o processo é considerado incapaz, $Cpk < 1,00$.

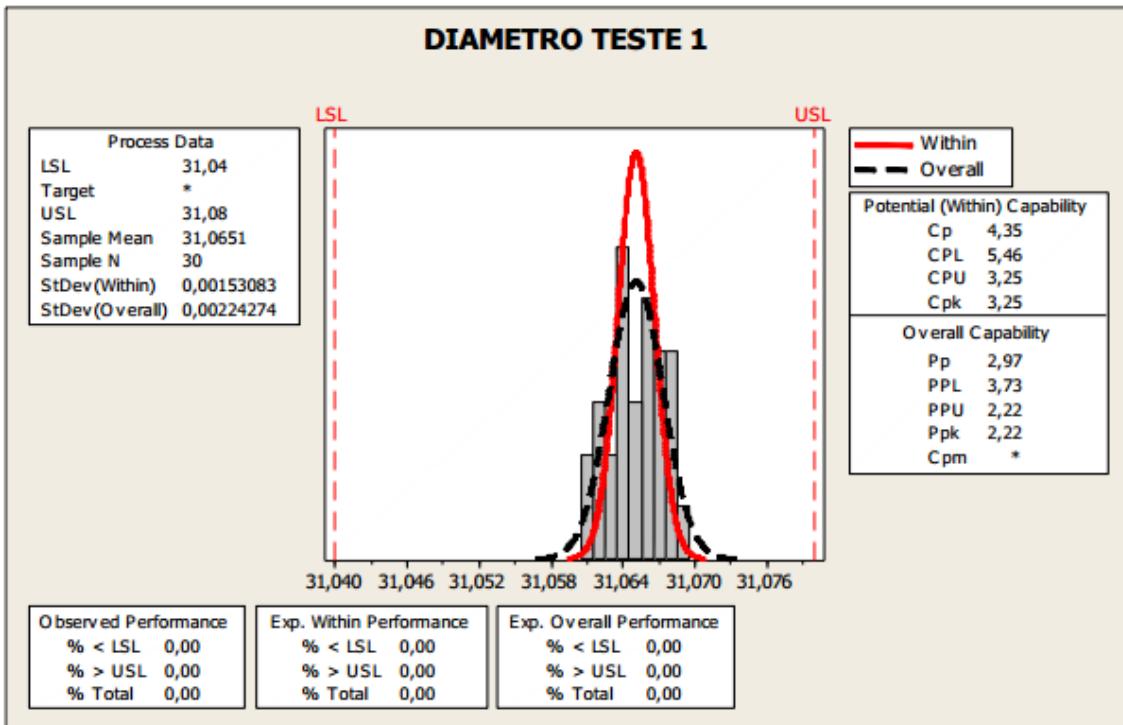


Figura 4.13 - Capabilidade do processo diâmetro teste-1.

Analizando os resultados de **Capabilidade Teste 1 – Diâmetro**, ilustrados na Figura 4.13, temos uma média amostral igual a 31,065 mm, para uma amostra de 30 unidades, o desvio padrão global igual a 0,002 e o desvio padrão dentro esperado igual a 0,002, onde no desempenho observado temos 0,00% das amostras estão acima do limite superior especificado, no desempenho global esperado temos 0,00% das amostras acima do limite superior especificado e o no desempenho dentro esperado temos 0,00% das amostras acima do limite superior especificado.

Os resultados de Capacidade global Cp igual a 4,35 e o Cpk igual a 3,25, podemos definir que, para esta especificação o processo é considerado capaz, com $Cp / Cpk > 1,33$.

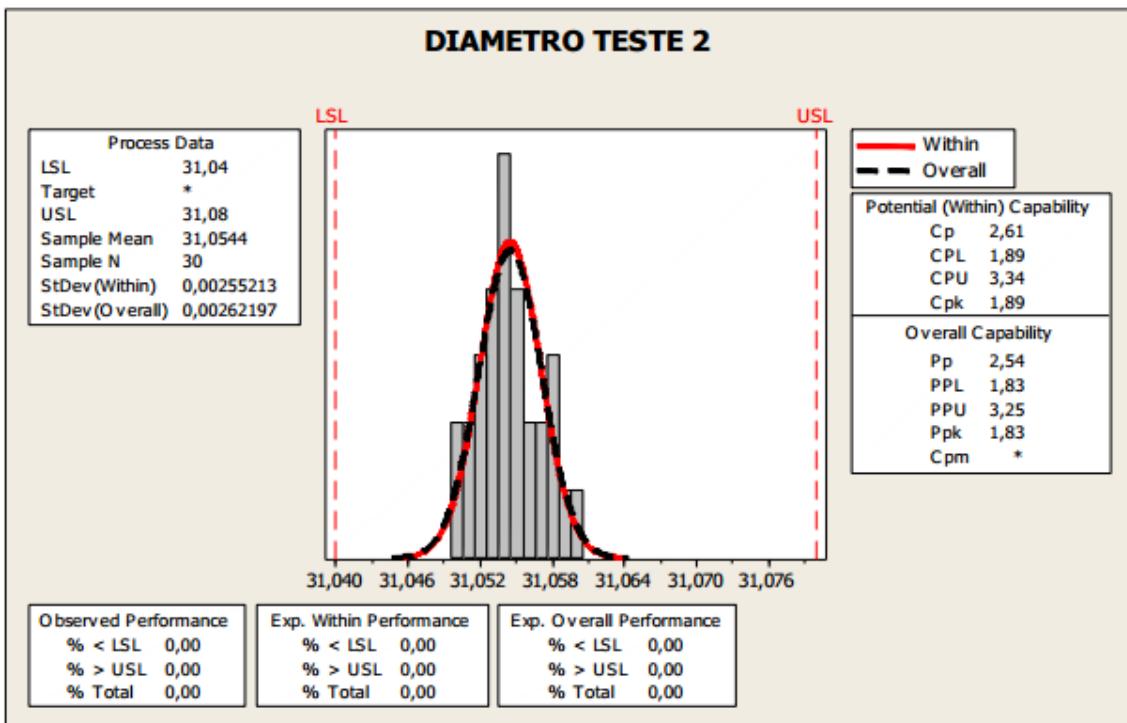


Figura 4.14 - Capabilidade do processo diâmetro teste 2.

Analisando os resultados de **Capabilidade Diâmetro Teste 2**, temos uma média amostral igual a 31,054 mm, para uma amostra de 30 unidades, o desvio padrão global igual a 0,003 e o desvio padrão dentro esperado igual a 0,003, onde no desempenho observado temos 0,00% das amostras estão acima do limite superior especificado, no desempenho global esperado temos 0,00% das amostras acima do limite superior especificado e o no desempenho dentro esperado temos 0,00% das amostras acima do limite superior especificado.

Os resultados de Capacidade global Cp igual a 2,61 e o Cpk igual a 1,89, podemos definir que, para esta especificação o processo é considerado capaz, com destaque para o $Cp / Cpk > 1,33$.

Para esta característica utilizarmos um parâmetro de especificação de engenharia, conforme projeto do cilindro externo, diâmetro interno 31,000 $+0,080 / +0,040$. Onde podemos definir um processo 100% capaz, para os testes 1 e 2.

4.5 – ANÁLISE DOS CUSTOS E BENEFÍCIOS

Com base em levantamento e depoimento dos colaboradores, as ferramentas de corte são todas importadas do Japão, os custos de aquisição de uma ferramenta BTA, para o processo avaliado tem custo na faixa de U\$ 700,00. Se esta mesma ferramenta fosse adquirida no Brasil, pelo Fornecedor Sandwick custaria na faixa de R\$ 650,00.

Com uso das ferramentas importadas do Japão, levando em consideração um sistema de refrigeração abaixo de 30° Graus, teria um aumento significativo da vida útil da ferramenta, onde na produção normal são processadas com uma temperatura acima de 50° graus, reduzindo o tempo de vida útil das ferramentas e reduzindo os níveis de qualidade do diâmetro e do acabamento superficial, rugosidade dos cilindros externos.

4.6 – MÉTODO DE MANUTENÇÃO DO AMORTECEDOR DE MOTOS

Método de Manutenção do Amortecedor, efetuar a manutenção de acordo com o Plano de Manutenção Preventiva, Tabela 4.1 – Plano de manutenção preventiva.

Tabela 4.1 - Plano de Manutenção Preventiva – Suspensões.

Intervalo (km)*1							A cada km...	Itens e operações
1.000	4.000	8.000	12.000	16.000	20.000	24.000		
	■	■	■	■	■	■	4.000	Cavalete lateral: verificar
	■	■	■	■	■	■	4.000	Suspensões dianteiras e traseiras: verificar
■		■		■		■	8.000	Porcas, parafusos e fixações: verificar
■	■	■	■	■	■	■	4.000	Rodas: verificar
A cada 1.000 km ou semanalmente								Pneus: verificar e calibrar
■			■			■	12.000	Coluna de direção: verificar
			■			■	12.000	Coluna de direção: lubrificar

Fonte: MANUAL DO PROPRIETÁRIO CG-150 (2013).

Suspensão amortecedor cuidados. Os componentes da suspensão estão diretamente ligados à segurança. Se detectar algum dano ou desgaste, procurar uma concessionária Honda para executar os serviços necessários, antes de pilotar a motocicleta, certifique os pontos necessários para verificação:

- Acione o freio dianteiro e force a suspensão para cima e para baixo várias vezes;
- Obs. A ação dos amortecedores deve ser suave e progressiva;
- Verifique se há vazamentos de óleo;
- Verifique o aperto de todos os pontos de fixação da suspensão.

CAPÍTULO 5

CONCLUSÕES E SUGESTÕES

5.1 – CONCLUSÕES

É possível constatar a relevância do método no auxílio à solução de problemas de processo, devido a sua capacidade de avaliar a influência principal e a interação entre outras variáveis de um processo industrial a partir de uma quantidade satisfatória e confiável de ensaios. Aliado a uma estratégia de uso de ferramentas de processo e qualidade, onde estas podem contribuir significativamente para o melhor entendimento do processo.

Neste trabalho, foi empregada a estratégia das ferramentas da qualidade na seguinte sequência: entrevista e o TQM (Gestão da qualidade total) – QCDMSE (Análise de qualidade, custo, produção, mão-de-obra, segurança e meio ambiente) usado nas empresas de coleta de dados para estratificar os fatores de maior relevância; Pareto para avaliar o processo de maior índice de problemas, CEP para gerar capacidade do processo com análise de rugosidade. Velocidade de Corte [m/min] e Avanço [mm/min]; Gráfico de Superfície de Resposta - Risco de Quebra [Risco] Parâmetro utilizado antecedente ao estudo VC 84,8 m/min Avanço 90 mm/min

Dessa forma, foi possível analisar que os resultados dos ensaios do diâmetro e do acabamento superficial, devido à modelagem dos parâmetros de temperatura do óleo refrigerante no processo de furação profunda, são eficazes atingindo o objetivo geral desta dissertação que é a comparação da eficiência e eficácia da furação profunda em relação ao processo atual de fabricação de cilindros externos dos amortecedores dianteiros do veículo de duas rodas.

Com os testes e ensaios foi possível analisar em conjunto outros itens que se tornam juntam à furação profunda em importância no processo: a pressão do óleo para fazer o transporte do cavaco expulsando-o e evitando que o mesmo se enrole na broca BTA; a afiação manual e ajuste da ferramenta com auxílio do Preset, que foi a melhor combinação de fatores, gerando alta performance do acabamento e do diâmetro; e, os efeitos da velocidade de corte e da velocidade de avanço foram evidenciados com o ensaio de superfície de resposta, no qual conclui-se que a faixa de velocidade de corte de 75 m/min a 80 m/min, 78 m/min na Tabela 3.2, juntamente com a faixa de velocidade de

avanço média de 288 mm/min, é muito crítica para o processo, pois gera rugosidade, o que aumenta o índice de rejeição, assim, as duas faixas que apresentaram bons resultados para o processo foram a velocidade de corte de 80 m/min a 85 m/min, 83 m/min na Tabela 3.2, em conjunto com o avanço médio de 288 mm/min e a velocidade de corte de 85 m/min a 90 m/min, 88 m/min na Tabela 3.2, juntamente com o avanço médio de 288 mm/min.

Este trabalho buscou auxiliar o profissional de usinagem e a equipe da fábrica de amortecedores da usinagem externa no aprimoramento de um método de fabricação do cilindro externo, para que atenda aos requisitos de qualidade necessários. Assim como, visar o desenvolvimento de uma nova metodologia para os processos de produção terem excelência e competitividade nos testes exigidos pelos clientes de veículo automotores de duas rodas.

5.2 – SUGESTÕES

Os estudos realizados recomendam o método de furação profunda e faixas indicadas nos parâmetros testados, para melhorar a vida útil do componente cilindro externo, as faixas abaixo são direcionamentos possíveis para a continuidade de pesquisas em outras etapas. Desenvolver demais estudos aplicando o método estudado em outras empresas que utilizam equipamento similar ao cilindro externo, para ampliar conhecimento e tecnologias através das indústrias:

- Utilizar com maior periodicidade o CEP para diagnosticar os pontos de maior variabilidade. Desenvolver mecanismo de análise utilizando o CEP como parâmetro de estudo. Sugere-se que, a empresa adote o método das ferramentas de processo para análise da variabilidade, para estudos dos processos produtivos, e diagnosticar pontos críticos, para que a empresa possa aplicar de forma mais pontual eficiente e eficaz ferramentas corretivas, preventivas e preditivas. Para obter desenvolvimento organizacional e melhoria contínua na busca de redução de custo e crescimento organizacional;
- Implementar nos reservatórios de refrigeração sistema automatizado de controle de temperatura do óleo com monitoramento via App e de ajuste dos parâmetros para garantir a vida útil da ferramenta com relação a quantidade produzida. Este sistema inclui um projeto de refrigeração adaptado ao tanque de refrigeração;

- Programar no calibrador de checagem 100% um dispositivo que forneça medições do diâmetro, instalando um sensor mecânico pneumático com leituras analógicas devido a quantidade de óleo nas paredes dos cilindros externos. Onde o mesmo servirá para realizar os setups iniciais do processo de produção, relacionados ao diâmetro do cilindro externo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARONSON R. B. **Some fresh ideas for hole drilling.** Manufacturing Engineering, v. 131, n. 3, pp. 75-84, set. 2003.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 6176:** Brocas helicoidais. Rio de Janeiro, 1978.

ÁVILA, R. F.; ABRÃO, A. M. **The effect of cutting fluids on the machining of hardened AISI 4340 steel.** Journal of Materials Processing Technology, v 119, pp 21-26, 2001.

BAPTISTA, E. A. **Desenvolvimento de um sistema especialista para a otimização de processos de usinagem.** Santa Bárbara d'Oeste: FEAU, UNIMEP, 2004. 196f. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) – Faculdade de Engenharia, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Metodista de Piracicaba, 2004.

BARRAD, P., GADEAU, R., 1967, “**Production del aluminio**”. In: Bilbao, U., Enciclopédia do Alumínio.

BATES, C. **Now accepting applications for reamers.** American Machinist, v 143, n 4, abr. 1999.

BECK GmbH. **Indexable insert tools for fine machining of bored holes – RB01/RB03.** Catálogo do Fabricante, 1996.

BELLUCO, W., DE CHIFRE, L. **Surface integrity and part accuracy in reaming and tapping stainless steel with new vegetable based cutting oils.** Tribology International, v 35, n 12, pp 865-870, dez. 2002.

BELLUCO, W.; DE CHIFFRE, L. **Correlation of cutting performance in different machining operations.** Annals of the CIRP, 2001.

BERTOL, H. C., Sena L. **Otimização de Condições de Usinagem no Planejamento de Processos.** Trabalho apresentado na disciplina de Planejamento de Processo CAPP do curso de Mestrado em Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Santa Catarina, 2004, p. 47.

BET, L. **Estudo da medição da textura de superfícies com sondas mecânicas e com sondas ópticas tipo seguidor.** 1999. 350 f. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) - Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1999.

BEZERRA, A. A.; MACHADO, A. R.; SOUZA, A. M.; EZUGWU, E. O. **Effects of machining parameters when reaming aluminium-silicon (SAE 322) alloy.** Journal of Materials Processing Technology, v 112, pp. 185-198, 2001.

BOEHS, L., SCHUITEK, A J., LEPKSON, M. **Estudo comparativo do desempenho de brocas com diversos tipos de revestimentos e várias geometrias na usinagem do aço SAE 4340 e do ferro fundido FE-450-12.** Florianópolis: LMP, 1992, p. 58.

BORK, C. S. **Otimização de variáveis de processo para a furação do aço inoxidável austenítico DIN 1.4541.** 1995.127 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1995.

BRINKSMEIER E. **Prediction of tool fracture in drilling.** Annals of the CIRP, 39, pp. 97-100, 1990.

BUNSHAH R. F. **Handbook of hard coatings: depositions technologies, properties and applications.** New Jersey: Noyes Publications, 2001, p. 550.

BURKE C. M. *et al.* **Machinability of gray cast iron:** a drilling study. Modern casting, março de 2001, p. 9. Disponível em: <<http://www.moderncasting.com/>>. Acesso em: 23 setembro 2017.

BUTTON, S. T. **Metodologia para planejamento experimental e análise de resultados.** Campinas: Unicamp, 2000. Apostila.

CALLISTER, W. D., 2008. **Materials Science and Engineering: An Introduction.** 7th Ed., New York, John Wiley.

CALLISTER, William D. **Materials science and engineering: an introduction.** 5. ed. New York: J. Wiley, 1999, p. 871.

CARDONA A. *et al.* **Caracterización de la fundición gris.** Revista Colombiana de física, v. 34, n. 1, 2002, p. 6.

CASTILLO, W. Furação Profunda de Ferro Fundido Cinzento GG25 com Brocas de Metal Duro com Canais Retos. Tese de Mestrado. Florianópolis - SC. Ferraresi, D., 1977, "Fundamentos da Usinagem dos Metais", Editora Edgard Blücher Ltda. Campinas: 2005.

CASTRO, P. Aspectos tecnológicos da usinagem a seco com mínima quantidade de fluido de corte na furação com broca helicoidal. 2001. 180 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2001.

CHEN Y. C., LIAO Y. S. Study on wear mechanisms in drilling of inconel 718 superalloy. Jurnal of Materials Processing Technology, v. 140, pp. 271-273, 2003.

CHEREMIISINOFF, N. Materials selection deskbook. Westwood: Noyes publications, p. 191, 1996.

CHIAVENATO, Idalberto. Introdução à teoria geral da administração. 8. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2011.

CHILDS T. et al. Metal machining theory and applications. Londres: Arnold, p. 400, 2000.

CHIN J. et al. The shaft behavior of BTA deep hole drilling tool. Elsevir, Int. J. Mech. Sci., v. 38, n. 5, pp. 461-482 1996.

COELHO, R. T. Otimização de sobremetal para torneamento e retificação cilíndrica de peças forjadas. São Carlos: EESC-USP, 1999. 156f. Tese (Livre Docência) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 1999.

COLDWELL H.L. et al. The use of soft/lubricating coatings when dry drilling BS L168 aluminium alloy. Elsevier, Surface & coatings technology, v. 177-178, pp. 716-726, 2004.

COPPINI, N. L.; BAPTISTA, E. A. Alternativas de otimização dos parâmetros de corte para cenários de fabricação em usinagem. In.: Encontro Nacional de Engenharia de Produção, 18, Niterói, Anais... Associação Brasileira de Engenharia de Produção, 1998.

CORBETT, T. Bússola Financeira: O processo decisório da Teoria das Restrições. São Paulo: Nobel, p. 208, 2005.

CSELLE T. **Carbide drills:** ate the peak of development. Ratio drills and their applications. 3. ed. Albstadt, Guhring, p. 169.

DAVIES, D. W. **Machinability and microstructure of some common non-ferrous metals and alloys.** Metals Technology, may-june, pp. 272-284, 1976.

DE CHIFFRE, L.; BELLUCO, W. **Comparison of methods for cutting fluid performance testing.** Annals of the CIRP, v 49/1, pp. 57-60, 2000.

DE CHIFFRE, L.; BELLUCO, W. **Investigation of cutting fluid performance using different machining operations.** Journal of the Society of Tribologists and Lubrication Engineers, pp. 18-25, 2002.

DENG C. *et al.* **Effects of support misalignments in deep-hole drill shafts on hole straightness.** International Journal of Machine Tools & Manufacture, v. 41, pp. 1165-1188, 2001.

Deutsches Institut für Normung e.v. **Preferred numbers and series of preferred numbers;** basic values, calculated values, rounded values. DIN 323.1, 1974.

Deutsches Institut für Normung e.v. **Terminology of cutting;** additional terms for the tool, wedge and the cutting edge. DIN 6580, 1988.

DIN, STANDARDS 8580. **DIN standards committee technical fundamentals,** 2003.

DINIZ, A. E. **Tecnologia da usinagem dos materiais.** São Paulo, Art. Líber Editora, p. 256, 2000.

DINIZ, A. E.; MARCONDES, F. C.; COPPINI, N. L. **Tecnologia de usinagem dos materiais.** 3. ed. São Paulo: mm editora, p. 244, 2001.

DORNFELD D. *et al.* **Drilling burr formation in titanium alloy, Ti-6Al-4V.** Annals of the CIRP, v. 48, pp. 73-76, 1999.

DRAKE P. J. **Dimensioning and tolerancing handbook.** New York: McGraw-Hill, 1999.

ECKHARDT, M. **Utilização de alargadores de gume único regulável para a obtenção de furos de precisão.** Florianópolis, 1993. Dissertação de Mestrado - Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Santa Catarina.

Efund. **Drilling machining.** Disponível em: <http://www.efunda.com/processes/machining/drill_press.cfm>. Acesso em: 20 de julho de 2004.

El-KHABEERY M. *et al.* **Some observations of surface integrity of deep drilling holes.** Elsevier, Cairo, Egypto, v. 142, pp. 331-349, 1990.

ELLIOTT. **R-max reamers and fine boring tools.** Catálogo do Fabricante, 2003.

FERRARESI, D. **Usinagem dos metais.** São Paulo: ABM, 1975. Apostila.

FACCIO, I. **Investigação sobre o acabamento superficial de usinagens com altíssima velocidade de corte.** 2002. 126 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade de São Paulo Escola Politécnica, São Paulo, 2002.

FERRARESI, D. **Fundamentos da usinagem dos metais.** 9ª reimpressão. São Paulo: Ed. Edgar Blücher, v 1, 1995.

FERRARESI, D. **Fundamentos da usinagem dos metais.** São Paulo: Edgard Blücher, p. 751, 1977.

FITZPATRICK, MICHAEL. **Introdução aos processos de usinagem.** Porto Alegre: AMGH, 2013.

FONTANA, Enrico V.G. **Amortecedores e sua evolução.** http://www.carroantigo.com/portugues/conteudo/curio_amortecedor.htm > Acesso em: 20 ago. 2017.

FUNDAÇÃO CERTI. **Curso:** tolerâncias geométricas – GD&T. Rio do Sul, p. 192, 2003.

GAO C. *et al.* **The investigation on the machining process of BTA deep hole drilling.** Journal of Materials Processing Technology, v. 107, pp. 222-227, 2000.

GIOCONDO C., Francisco I. **Ferramentas Básicas da Qualidade**. Biblioteca 24 horas, 2011.

GODOY J. M. **Furação profunda no alumínio de aviação com brocas normais**. 1988. 86 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1988.

GOPAL S. U. **Cemented tungsten carbides production, properties, and testing**. kanpur, Índia: Noyes Publications, p. 436, 1998.

GROB. **Treinamento a clientes - operação e CNC**. Comando siemens 840D. São Paulo, 2000. Apostila.

GROOVER, M.P. **Fundamentals of Modern manufacturing**, Prentice Hall, 1996.

GUHRING – **Herramientas de corte de precisión**. Catálogo del fabricante. Albstadt, p. 1114, 2002.

HAAN D. *et al.* **An experimental study of cutting fluid effects in drilling**. Elsevier, Journal of materials processing technology, v. 71, pp. 305-313, 1997.

HANNA. **Alargadores - reamers**. Catálogo do Fabricante, 2003.

HOLM, V. S. **Óleos de base naftênica para aplicação em fluidos para processamento de metais**. Anais Usinagem 2002, São Paulo, 2002.

HARRIS S.G. *et al.* **A study of the wear mechanisms of Ti_{1-x}Al_xN and Ti_{1-x}yAlxCryN coated high-speed steel twist drills under dry machining conditions**. Elsevier, Wear, v. 254, pp. 723-734, 2003.

IOWA WASTE REDUCTION CENTER. **Cutting fluid management for small machining operations**. University of Northern Iowa, 1996. Apostila.

Iowa Waste Reduction Center. **Cutting fluid management for small machining operations: a practical pollution prevention guide**. 3 ed. University of Northern Iowa, p. 62, 2003.

IRWIN, R.D. (1965) – **Quality Control and Industrial Statistics**.

KANAI M. *et al. Statisticals characteristics of drill wear and drill life for standardized performance tests.* Annals of the CIRP, 27, pp. 61-66, 1978.

KENNAMETAL. **Rotating tools master catalogue 2003.** Catálogo do Fabricante.

KRESS, D. **El Escariado con altas velocidades.** Stuttgard, 1974. Tese de Doutorado - Universidad de Stuttgard.

KIM D., RAMULU M. **Drilling process optimization for graphite/bismaleimide-titanium alloy steacks.** Composite Structures, v. 63, pp. 101-114, 2004.

KONIG, W., KLOCKE F., 1997. **Fertigungsverfahren Drehen, Fräsen, Bohren.** Editora Springer. 5^a ed. - Aachen. Machado, R., Silva, M. B. 1998, "Usinagem dos Metais", Tese de Doutorado, Uberlândia-MG. Montgomery, D. C., 2001, "Design and Analisys of Experiment", John Wiley & Sons. Wosniak, F. A., Oliveira, D. V., Machado, E. B., 2007, "Estudo de Usinabilidade do Aço SAE 4144 no processo de furação profunda utilizando metodologia de design of experiment e Emissão Acústica".

KÖNIG, W., KLOCKE, F. **Fertigungsverfahren:** drehen, fräsen, bohren. 5 ed. Berlin: Springer, p. 471, 1997.

KORLOY. **Cutting tool grades and chip-breakers.** Disponível em: <http://www.korloy_com-eng-e_mainF.html>. Acesso em: 5 de outubro de 2004.

Krajewski J, Malhotra M, Ritzman B. **Operation Management -Process and Value Chains.** Prentice Hall 2006; 752.

KRESS, D. A. **Usinagem de materiais endurecidos elimina retificação.** Revista Máquinas e Metais. São Paulo, n 428, p. 18-23, set. 2001.

KUDLA L. **Influence of feed motion features on small holes drilling process.** Journal of Materials Processing Technology, v. 109, pp. 236-241, 2001.

LASSNER, E; SCHUBERT, W. **Tunsten, properties, chemistry, technology of the elment, alloys, and chemical compounds.** Vienna: Kluwer Academic / Plenum Publishers, p. 434, 1999.

LIN S.C., TING C. J. **Tool wear monitoring in drilling using force signals.** Elsevier, Wear, v. 180, pp. 53-60, 1994.

LUGSCHEIDER, E.; KNOTEK, O.; BARIMANI, C.; LEVENDECKER, T.; LEMMER, O.; WENKE, R. **Investigations on hard coated reamers in different lubricant free cutting operations.** Surface & Coatings Technology, v 90, n 1-2, pp. 172-177, Mar. 1997.

MACHADO, A. R.; SILVA, M. B. **Usinagem em altíssimas velocidades:** como os conceitos HSM/HSC podem revolucionar a indústria metal-mecânica. São Paulo: Ed. Érica, 2003. cap. 5.

MAPAL. **Competência em alargamento e mandrilamento de precisão.** Catálogo do Fabricante, 2003.

MARTINS, P. G.; ALT, P. R. **Administração de materiais e recursos patrimoniais.** 3. ed. São Paulo: Saraiva, 2011.

MEIRELES, M. **Ferramentas administrativas para indicar, observar e analisar problemas.** Arte & Ciência, São Paulo, 2001.

MICHELETTI, G. F. **Mecanizado por arranque de viruta.** 2. ed. - Barcelona: Editorial Blume, p. 426, 1980.

MITUTOYO. **User's manual:** Roundtest RA-400. Manual do usuário rugosímetro Mitutoyo, 1999.

MONTGOMERY D. C. **Diseño y análisis de experimentos.** 2. ed. Mexico: Limusa Wiley, p. 687, 2002.

MONTGOMERY D. C. **Introduction to Statistical Quality Control.** 5. ed. Estados Unidos: John Wiley & Sons, 2005.

MONTGOMERY D. C; RNUGER, G.C. **Estatística Aplicada e Probabilidade para Engenheiros.** 2. ed. Brasil: LTC – Livros Técnicos e Científicos Editora S.A., 2003.

MUTHUKRISHNA S., SUJATHA C. **Twist drill deformation and optimum drill geometry.** Computers & Structures, v. 57, n. 5, pp. 903-914, 1995.

MYERS, R. H. & Montgomery, D. C., **Response Surface Methodology: Process and Product Optimization Using Designed Experiments,** 2. ed. New York: John Wiley & Sons, 1995.

NAKAYAMA K. *et al. Burr formation in metal cutting*. Annals of the CIRP, v. 36, pp. 33-36, 1987.

OHNO, Taiichi, **O Sistema Toyota de Produção**: além da produção em larga escala, Bookman, Porto Alegre, 1997.

PAIN, J. **Réglage outil à patins de guidage**. Curitiba: Renault do Brasil, 2002. Relatório Técnico.

PALADINI, Edson Pacheco. **Gestão da Qualidade - Teoria e Prática** - 2. ed., 2004.

RABINOWICZ, E. **Friction and wear of materials**. 2. ed., New York: John Wiley & Sons, p. 315, 1995.

REYNOLDS Jr., M.R., LOU, J.Y., **An evaluation of a GLR control chart for monitoring the process mean**. Journal of Quality Technology 42, pp. 287–310, 2010.

RIIS, J.O.: **Integration and manufacturing strategy**. Computers in Industry, v.19, n.1, pp. 37-50, April 1992.

ROCHA, A. **Determinação de um modelo de força de usinagem para a furação, a partir do modelo de força de usinagem do torneamento**. 1985. 117 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1985.

ROSS, Philip J.; **Aplicações das Técnicas Taguchi na Engenharia da Qualidade**. São Paulo: McGraw, McGraw-Hill, 1991.

RUNGE, P. R. F.; DUARTE, G. N. **Lubrificantes nas Indústrias**. Cotia: Ed. Tribococoncept, 1990.

SALES, W. F. **Determinação das características refrigerantes e lubrificantes de fluidos de corte**. Uberlândia. 1999. Tese de Doutorado - Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Uberlândia.

SANDVIK COROMANT. **Modern metal cutting: a practical handbook**. 1. ed. Suécia, p. 840, 1994.

SANDVIK COROMANT. **Furação Profunda. Catálogo de Produtos e Guia de Aplicação.** Brasil, 2016.

SANTOS S. *et al.* **Tribological characterization of PVD coatings for cutting tools.** Surface and Coatings Technology, v. 184, pp. 141-148, 2004.

SANTOS, C. S. **Furação de ferro fundido cinzento com brocas de metal duro integral.** 1999, 105 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) Universidade Federal de Uberlândia, Centro de Ciências Exatas e Tecnologia, Uberlândia.

SCHRAGENHEIM, E.; DETTMER, H. W. **Manufacturing at warp speed.** Boca Raton: CRC Press, 2001.

SCHROETER, R. B. *et al.* **Alargamento de precisão em alumínio aeronáutico com ferramentas de gume único regulável.** 1989. 113 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1989.

SCHROETER, R. B. WEINGAERTNER, W. L. **Processos de usinagem e ferramentas de corte:** nível 1, parte 2. Laboratório de Mecânica de Precisão - UFSC. p. 213, 2001.

SCHROETER, R.B. *et al.* **Estudo comparativo de desempenho de brocas DIN 338.** Florianópolis, p. 321, 999.

SCHROETER, R.B. *et al.* **Otimização do processo de furação e acabamento guias de válvulas.** Florianópolis: UFSC, p. 86, 2003. (1º Relatório – Projeto Verde-Amarelo).

SCHROETRER, R. B. **Alargamento de precisão em alumínio aeronáutico com ferramentas de gume único regulável.** Florianópolis, 1989. Dissertação de Mestrado - Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Santa Catarina. SECO. Furação e alargamento – guia técnico. Catálogo do Fabricante, 2002.

SEAH K. *et al.* **The effect of applying coolant on tool wear in metal machining.** Elsevier, Journal of materials processing technology, v. 48, pp. 495-501, 1995.

SHAW, M. C. **Metal cutting principles.** New York: Ed. Oxford Science Publications, 1997. Shingo, 1996.

SHINOHARA, Isao. **New Production System: JIT Crossing Industry Boundaries.** Productivity Press, 1988.

SMALLMAN R. E., BISHOP J. R. **Modern physical metallurgy and materials engeneering:** Science, process, applications. 6 ed. Oxford: Butterworth Heinemann, p. 471, 1999.

SOARES FILHO, M. **Estudo da formação de rebarbas no processo de furação.** 1995. 145f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1995.

STEIN J. M., DORNFELD D. A. **Burr formation in drilling miniature holes.** Annals of the CIRP, v. 46, pp. 63-66, 1997.

STEMMER, C. E. **Ferramentas de corte I.** 5. ed. Florianópolis: Editora da UFSC, p. 249, 2001.

STEMMER, C. E. **Ferramentas de corte.** 4. ed. Florianópolis: Editora da UFSC, v1 e v2, 1995.

STOETERAU, RODRIGO LIMA. **Fundamentos dos Processos de Usinagem.** Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, PMR2202 - Introdução à Manufatura Mecânica, 2004.

SUDA, S.; YOKOTA, H.; INASAKI, I.; WAKABAYASHI, T. **A synthetic ester as an optimal cutting fluid for minimal quantity lubrication machining.** Annals of the CIRP, v 51/1, pp. 95-98, 2002.

TEIXEIRA, C. **Influencia dos erros geométricos de afiação nas brocas helicoidais de aço rapido na qualidade dos furos produzidos.** 1995. 110 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1995.

TÖNSHOFF, H. *et al.* **Machines of holes – developments in drilling technology.** Annals of CIRP, v. 43, pp. 551-561, 1994.

TRENT, E. M. **Metal cutting and the tribology of seizure:** I Seizure in metal cutting. Wear, v 128, pp. 29-25, 1988.

TRENT, E. M. **Metal cutting and the tribology of seizure: II Movement of work material over the tool in metal cutting.** Wear, v 128, pp. 47-64, 1988.

TRENT, E. M. **Metal cutting and the tribology of seizure: III Temperatures in metal cutting.** Wear, v 128, pp. 65-81, 1988.

UHLMANN E. *et al.* **Wear behavior of HFCVD-diamond coated carbide and ceramic tools.** Surface and coatings technology, 131, pp. 395-399, 2000. v. 125, pp. 91-97. v. 63, Supplement 1, pp. 167-167.

VILLARROEL, J. C. **Análise comparativa entre furação com brocas para furos curtos de insertos reversíveis e brocas helicoidais.** p. 112, 1991. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1991.

WANG Z. M. *et al.* **Advances in precision machining of small deep holes.** Journal of Materials and Processing Technology, v. 68, pp. 257-261, 1997.

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, n 392, pp. 38-57, jan. 1998.

WEINGAERTNER, W. L.; SCHROETER, R. B. **Processos de usinagem e ferramentas de corte.** Florianópolis: UFSC, 2000. Apostila.

WEINGAERTNER, W. L.; SCHROETER, R. B. **Tecnologia de Usinagem do Alumínio e suas Ligas.** 1a ed. São Paulo: Alcan Alumínio do Brasil, p. 79, 1990.

WICK, C. *et al.* **Tool and manufacturing engineers handbook: a reference book for manufacturing engineers, managers, and technicians.** 4th ed. Michigan: Society of Manufacturing Engineers, 1988.

ZENG, Z.; BELLUCO, W.; DE CHIFFRE, L. **An investigation of reaming test parameters used for cutting fluid evaluations.** Journal of the Society of Tribologists and Lubrication Engineers, v 57, pp. 24-28, jul. 2001.

ZENG, Z; BELLUCO, W.; DE CHIFFRE, L. Evaluation of cutting fluids in multiple reaming of stainless steel. Annals of the CIRP, 2002.

ANEXO I

MAPA DE AVALIAÇÃO E ESTATÍSTICA DO PROCESSO – PRODUÇÃO NORMAL

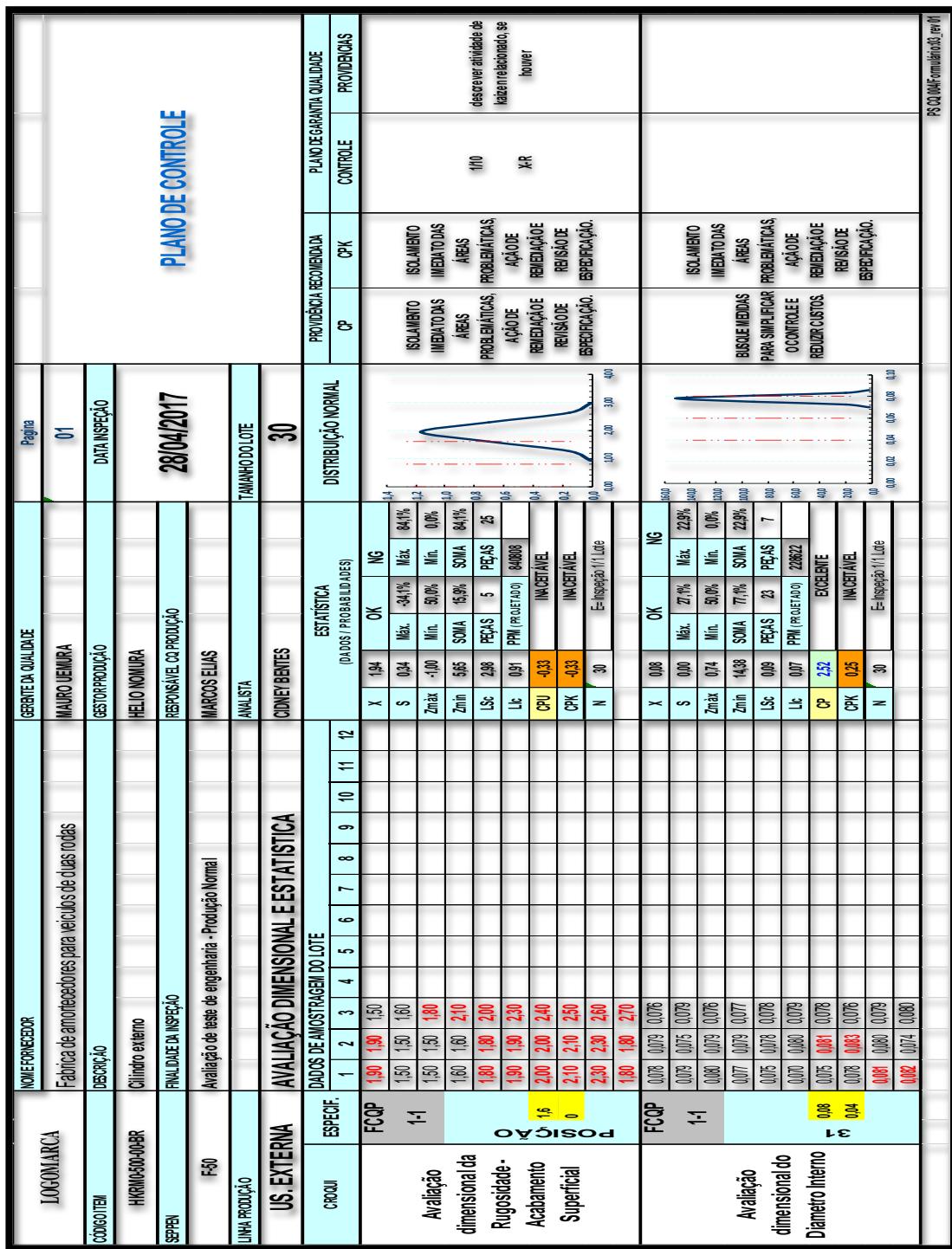
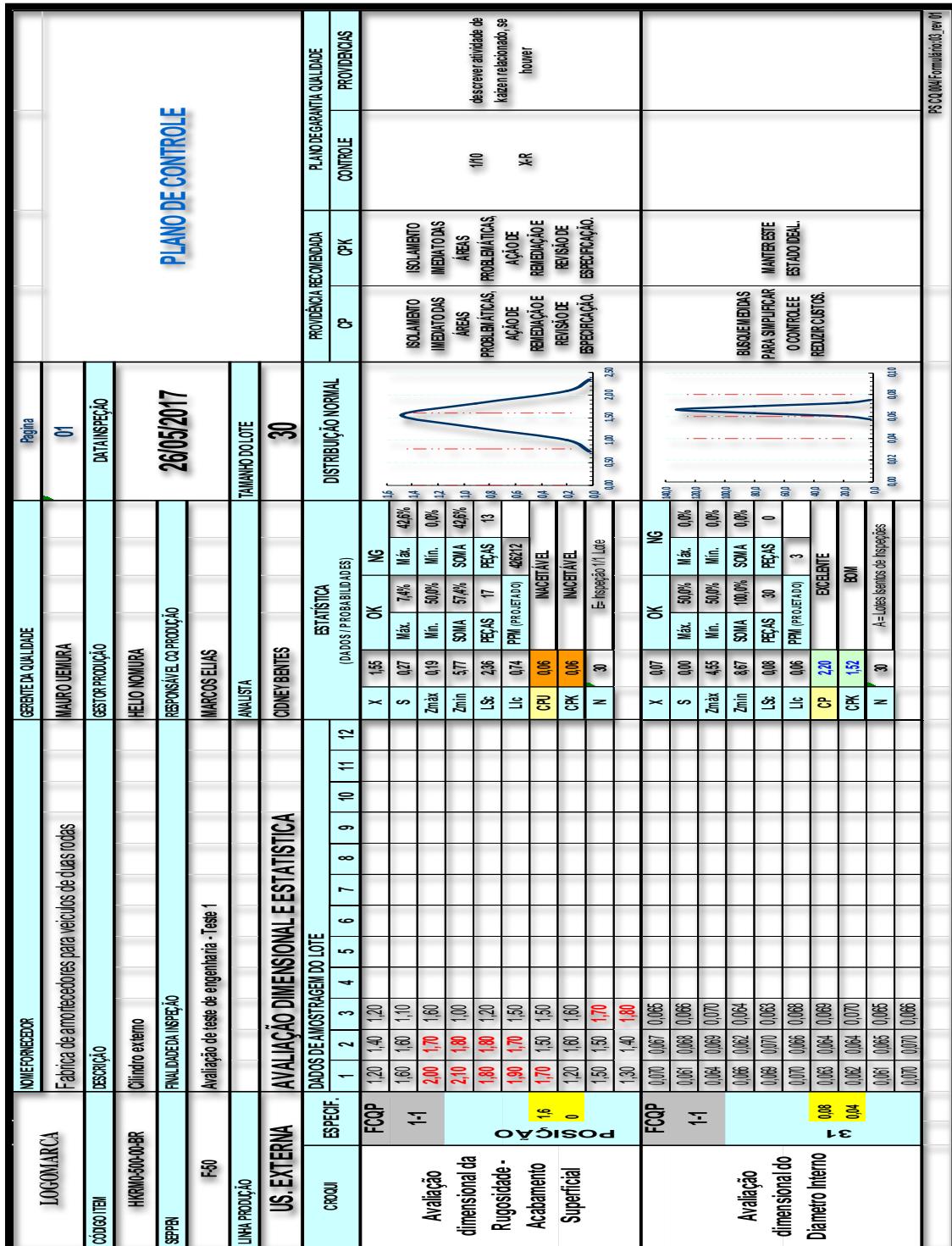


Figura I.1 - Mapa de avaliação e estatística do processo.
Fonte: Fábrica de Amortecedores.

ANEXO II

MAPA DE AVALIAÇÃO E ESTATÍSTICA DO PROCESSO – TESTE 1



PS CONFORME INSCRIÇÃO 01

Figura II.1 - Mapa de avaliação e estatística do processo – teste 1.

Fonte: Fábrica de Amortecedores.

ANEXO III

MAPA DE AVALIAÇÃO E ESTATÍSTICA DO PROCESSO – TESTE 2

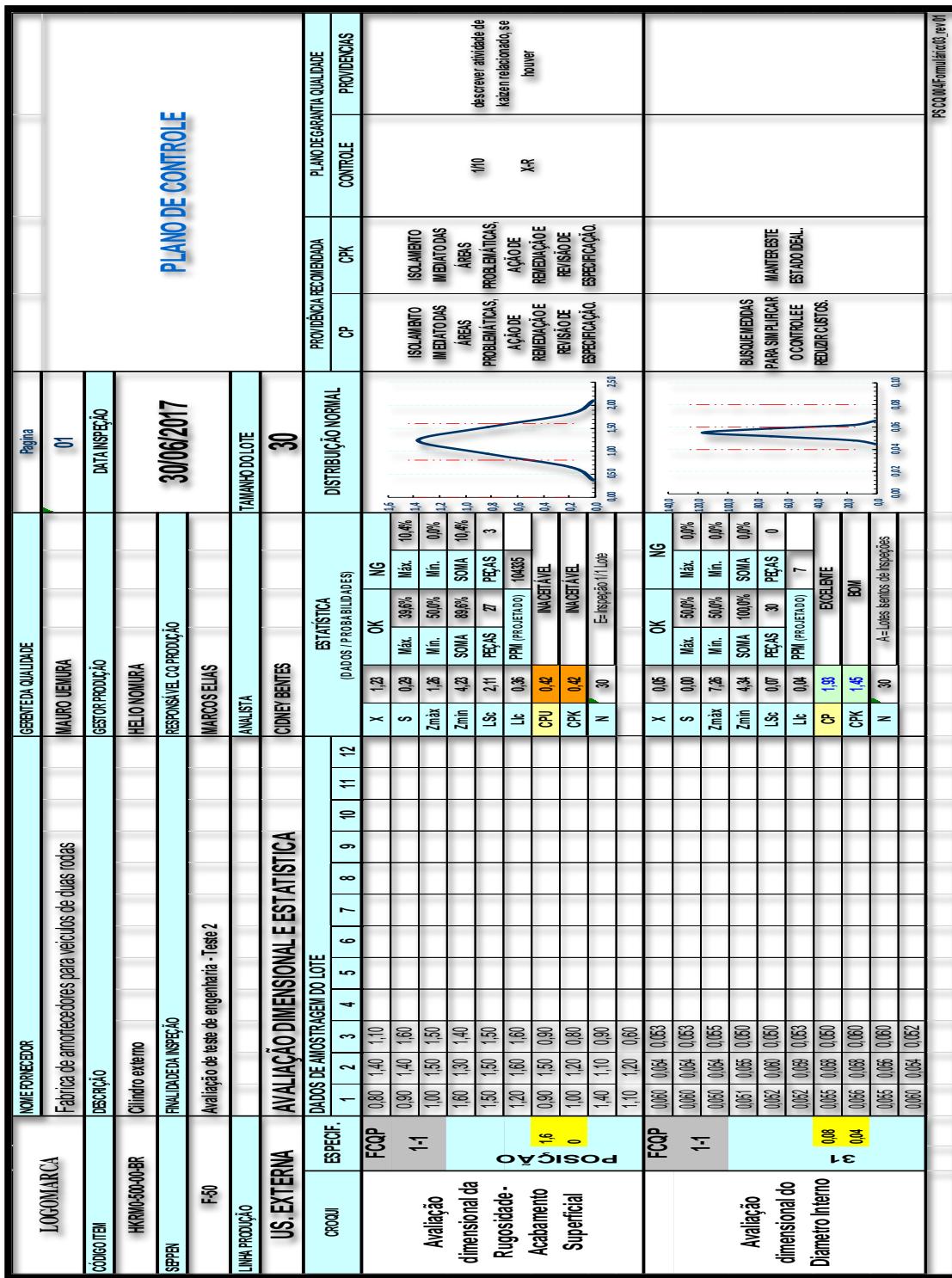


Figura III.1 - Mapa de avaliação e estatística do processo – teste 2.

Fonte: Fábrica de Amortecedores.