UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS
Departamento de Engenharia Mecânica

DESENVOLVIMENTO DE UMA FRESADORA CNC DE BAIXO CUSTO PARA FINS DIDÁTICOS

José Matheus Sanches

Dissertação apresentada à Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia Mecânica.

Orientador: Prof. Dr. Jaime Gilberto Duduch

São Carlos
2009

AUTORIZO A REPRODUÇÃO E DIVULGAÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTE TRABALHO, POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA FINS DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.

Ficha catalográfica preparada pela Seção de Tratamento
da Informação do Serviço de Biblioteca – EESC/USP

R788p

Sanches, José Matheus
Desenvolvimento de uma fresadora CNC de baixo custo para fins didáticos / José Matheus Sanches ; orientador Jaime Gilberto Duduch. –- São Carlos, 2008.

Dissertação (Mestrado-Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica e Área de Concentração em Projeto Mecânico) –- Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, 2008.

1. Projeto. 2. Desenvolvimento. 3. Fresadora. 4. Análise de valor. 5. Didáticos. I. Título.

FOLHA DE JULGAMENTO

Candidato: Bacharel **JOSÉ MATHEUS SANCHES**

Dissertação defendida e julgada em 30/01/2009 perante a Comissão Julgadora:

APROVADO

Prof. Associado **JAIME GILBERTO DUDUCH (Orientador)**
(Escola de Engenharia de São Carlos/USP)

APROVADO

Dr. **CARLOS UMBERTO BURATO**
(P-MEC Sistemas)

APROVADO

Prof. Dr. **PAULO ALBERTO SILVEIRA WREGE**
(Escola de Engenharia de Piracicaba/EEP)

Prof. Associado **JONAS DE CARVALHO**
Coordenador do Programa de Pós-Graduação em
Engenharia Mecânica

Prof. Associado **GERALDO ROBERTO MARTINS DA COSTA**
Presidente da Comissão da Pós-Graduação da EESC

Dedico este trabalho aos meus pais Bibiano (*in memoriam*) e Elizabeth e meus irmãos Junior e Marcelo.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus acima de tudo e a Nossa Senhora Aparecida.

Ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica da Escola de Engenharia Mecânica de São Carlos, Universidade de São Paulo.

Ao Prof. Dr. Jaime Gilberto Duduch pela valiosa orientação, imensa paciência e pela amizade.

À empresa Opto Eletrônica e em especial ao Rogério Bernardes pelo incentivo, apoio e oportunidade para o crescimento pessoal, intelectual e profissional.

Às professoras Zilda e Luciana pelas idéias e sugestões.

À Alexandra Sanches pelo carinho, compreensão, paciência e ajuda durante todo o caminho para a realização deste trabalho.

Aos meus sobrinhos Ramon, Lauren e Lucas e suas mães Silvia e Gláucia pela paciência e carinho que sempre tiveram.

Aos amigos da engenharia Alexandre, Edson, Leonardo, Marcos e Mauro.

Agradecimento especial aos meus pais e irmãos que sempre me apoiaram e ajudaram de todas as formas possíveis para realização de nossos sonhos.

RESUMO

SANCHES, J. M. (2008). *Desenvolvimento de uma fresadora CNC de baixo custo para fins didáticos.* 96 p. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

Para o ensino em cursos relacionados à mecânica são fundamentais aulas teóricas e práticas de programação em máquinas CNC. Um grande incentivo para o aluno é ver sua programação transformada em uma peça que possa ser manuseada. Porém, dado o seu alto investimento, muitas escolas técnicas, de tecnologia e engenharia não disponibilizam máquinas CNC para os alunos. Desta forma, é apresentado neste trabalho o desenvolvimento de uma fresadora CNC de baixo custo. Com o emprego do método de combinação de variantes e o método de análise morfológica, os elementos mecânicos para o projeto da fresadora foram selecionados. Assim, foi possível desenvolver o conceito desse equipamento e fazer a estimativa de seu custo. Com a aplicação de análise de valor, utilizando as técnicas FAST, de Mudge e COMPARE, foi possível avaliar pontos críticos que acarretam em custos desnecessários. Com isso, pode-se avaliar como trabalhar com a transferência de recursos.

Palavras-chave: projeto; desenvolvimento; fresadora; análise de valor; didáticos.

ABSTRACT

SANCHES, J. M. (2008). *Development of a low-cost CNC milling machine for teaching purposes.* 96 p. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

Courses related to Mechanical Sciences must offer to their students theoretical and practical lectures on CNC machine programming. The possibility of viewing the transformation of a programme in to a manageable part constitutes an incentive to the students. A CNC machine is an essential piece of equipment for such practical classes. A number of schools cannot have a CNC machine because of its high cost. Thus, in the present work, the development of a low-cost CNC milling machine as an alternative for academic purposes is presented. For the selection of the mechanical elements of the CNC machine, a combination of variants method and morphological analysis was used. Then, the design concept was carried out and its cost estimated. Using the value analysis through the FAST, Mudge and COMPARE techniques, the critical points that could increase unnecessary machine costs were examined. It was possible to assess how to work with the resources transference.

Keywords: design; development; milling machine; value analysis; teaching purposes.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - Estrutura da aplicação do DFMA no processo de projeto (BOOTHROYD *et al.*, 1994)..... 14

FIGURA 2 - Peças Padronizadas (BOOTHROYD *et al*., 1994). 15

FIGURA 3 - Métodos de fixação comuns (BOOTHROYD *et al*., 1994) 16

FIGURA 4 - Montagem empilhada ou unidirecional (BOOTHROYD *et al*., 1994)..... 17

FIGURA 5 - Peças com características de auto localização (BOOTHROYD *et al*., 1994)..... 18

FIGURA 6 - Exemplo de problemas de manuseio (BOOTHROYD *et al*.,1994). 19

FIGURA 7 - Peças assimétricas e simétricas em relação a suas possibilidades de montagem (BOOTHROYD *et al*., 1994)..... 19

FIGURA 8 - Peças possíveis de ficar presas e emaranhadas (BOOTHROYD *et al*., 1994)..... 20

FIGURA 9 - Passos da avaliação das variantes (HÖHME, 1990b). 22

FIGURA 10 - Diagrama FAST (BECKER, 2005). 29

FIGURA 11 - Exemplo de diagrama da Técnica de Mudge (ABREU, 1995). 31

FIGURA 12 - Exemplo de gráfico COMPARE (CSILLAG, 1995). 33

FIGURA 13 - Classificação de servomotores segundo MONTANARI (1999). 41

FIGURA 14 - Perfil de alumínio comercial (PRODROMUS, 2005). 46

FIGURA 15 - Tipos de bases de máquinas (WITTE, 1998). 46

FIGURA 16 - Eixo linear e acessórios (SKF, 2003). 50

FIGURA 17 - Guias lineares de rolamento (NSK, 2000)..... 51

FIGURA 18 - Guia hidrostática (FERREIRA e GORDO, 1996). 51

FIGURA 19 - Guia tipo V de rolamento e rabo de andorinha, respectivamente (COBRASMAM, 2008; FERREIRA & GORDO, 1996).....51
FIGURA 20 - Transmissão mecânica utilizando cremalheira (PRODROMUS, 2005). 55
FIGURA 21 - Transmissão por fuso de esfera (NSK, 2000).....55
FIGURA 22 - Transmissão por correias sincronizadas (BRECOFLEX, 2002).....56
FIGURA 23 - Transmissão por rosca trapezoidal com mecanismo anti-folga (WITTE, 1998). 56
FIGURA 24 - Motor de passo (GE, 2000). 60
FIGURA 25 - Servomotor (GE, 2000).....60
FIGURA 26 - Encoder rotativo e motor (SICK, 2006 e BOSCH, 2004). 60
FIGURA 27 - Encoder linear e motor (SICK, 2007 e BOSCH, 2004). 61
FIGURA 28 - Sensores capacitivos (ALLEN-BRADLEY, 2001). 64
FIGURA 29 - Sensor indutivo (BALLUFF, 1997).....65
FIGURA 30 - Sensor óptico (BALLUFF, 1997).....65
FIGURA 31 - Chave fim-de-curso (ALLEN-BRADLEY, 1997).....66
FIGURA 32 - Eixo-árvore comercial (SKF, 2007).....69
FIGURA 33 - Cabo flexível (INDÚSTRIAS MARQUES DA COSTA, 2008).....69
FIGURA 34 - Modelo de eixo-árvore (WITTE, 1998).....70
FIGURA 35 - Cabeçote comercial (DREMEL, 2007).....70
FIGURA 36 - Modelagem da estrutura da máquina. 74
FIGURA 37 - Modelagem do eixo x da fresadora.....74
FIGURA 38 - Modelagem do eixo y da fresadora.....75
FIGURA 39 - Modelagem do eixo z da fresadora.....75
FIGURA 40 - Modelagem do eixo-árvore da fresadora. 76

FIGURA 41 - Modelagem da montagem de todos os sistemas da fresadora..... 76

FIGURA 42 - Modelagem da carenagem na fresadora. 77

FIGURA 43 - Diagrama FAST para fresadora CNC. 79

FIGURA 44 - Gráfico COMPARE: Consumo de recursos X necessidades relativas. 83

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - Determinação do valor global (HÖNHE, 1990b). 24

TABELA 2 - Análise morfológica para desenvolver uma cadeira giratória (BAXTER, 2000). 26

TABELA 3 - Avaliação qualitativa e fatores peso das funções (BACK, 1983). 30

TABELA 4 - Freqüência natural dos materiais. 37

TABELA 5 - Fator de amortecimento dos materiais. 37

TABELA 6 - Comparação entre guias de precisão (HÖNHE, 1990a; SLOCUM, 1992). 39

TABELA 7 - Propriedades de sistemas de fusos (WECK et al., 1998). 40

TABELA 8 - Tipos de estruturas para utilização na fresadora CNC. 45

TABELA 9 – Critérios de avaliação e seus fatores de importância para a estrutura. 47

TABELA 10 - Determinação do valor global da estrutura da fresadora. 48

TABELA 11 - Análise morfológica para a estrutura 49

TABELA 12 - Tipos de guias para máquinas. 50

TABELA 13 - Critérios de avaliação e fatores de importância para guias. 52

TABELA 14 - Determinação do valor global da guia da máquina. 53

TABELA 15 - Análise morfológica para as guias. 54

TABELA 16 - Sistemas de transmissão mecânica conversora. 55

TABELA 17 - Critérios de avaliação e fatores de importância para transmissões. 57

TABELA 18 - Valor global de cada sistema de transmissão. 57

TABELA 19 - Análise morfológica para o fuso de esferas. 58

TABELA 20 - Sistemas de motores para posicionamento. 59

TABELA 21 - Critérios de avaliação e fatores de importância para os motores. 61

TABELA 22 - Valor global para cada sistema de motor. 62

TABELA 23 - Análise morfológica para o motor de passo. 63

TABELA 24 - Sistemas de fim-de-curso e zeramento. 64

TABELA 25 - Critérios de avaliação e fatores de importância para o fim-de-curso. . 66

TABELA 26 - Valores globais para o sistema de zeramento. 67

TABELA 27 - Análise morfológica para a chave fim-de-curso. 68

TABELA 28 - Sistema para o eixo-árvore. 69

TABELA 29 - Critérios de avaliação e fatores de importância para eixo-árvore. 70

TABELA 30 - Valores globais para cada sistema de eixo-árvore. 71

TABELA 31 - Análise morfológica para o eixo-árvore. 72

TABELA 32 - Consumo de recursos para a fresadora CNC. 81

TABELA 33 - Necessidades relativas para a fresadora CNC. 82

LISTA DE ABREVIATURA E SIGLAS

CNC – comando numérico computadorizado (do inglês, *computer numerical control*)

DFMA – Projeto para manufatura e montagem (do inglês, *design for manufacturing and assembly*)

DFA – Projeto para montagem (do inglês, *design for assembly*)

DFM – Projeto para manufatura (do inglês, *design for manufacturing*)

FAST – Técnica de análise funcional de sistemas (do inglês, *function analysis system technique*)

CAD – Projeto auxiliado por computador (do inglês, *Computer Aided Desig*)

CAE – Engenharia auxiliada por computador (do inglês, *Computer Aided Engineer*)

CAM – Manufatura auxiliada por computador (do inglês, *Computer Aided Manufacturing*)

LISTA DE SÍMBOLOS

Owvj = valor global

vij = sub-valor da variante i em ralação ao critério j

i = variante

wi = peso i do critério j

j = critério

n = número de critérios

Xi = valor global segundo o valor máximo

vmax = valor máximo de todas as variantes

SUMÁRIO

1 – INTRODUÇÃO 1
1.1 – Aspectos Gerais 1
1.2 – Justificativa 3
1.3 – Objetivos 4
2 – REVISÃO DA LITERATURA 5
2.1 - Projetos de baixo custo para fins didáticos 5
2.1.1 – Importância 5
2.1.2 – Definição de desenvolvimento de produto/projeto 7
2.1.3 – Técnica DFMA – Design for Manufacturing and Assembly 12
2.1.4 – Método de combinação de variantes 21
2.1.5 – Análise morfológica 24
2.1.6 – Análise de valor 26
2.1.6.1 – Técnica FAST – Function analysis system technique 28
2.1.6.2 – Técnica de Mudge 29
2.1.6.3 – Método COMPARE 32
2.2 – Máquinas CNC 33
2.2.1 – Considerações 33
2.2.2 – Elementos básicos de uma máquina CNC 34
2.2.3 – Componentes 35
2.2.3.1 – Estrutura 35
2.2.3.2 - Guias de movimento 38
2.2.3.3 - Transmissões mecânicas conversoras 39
2.2.3.5 – Sensores e chaves fim-de-curso 41
2.2.3.6 – Eixo-árvore 42

3 – METODOLOGIA: Seleção dos principais elementos que constituem a fresadora CNC de baixo custo 44
3.1 – Seleção da Estrutura 45
3.2 – Seleção das Guias 50
3.3 – Seleção das transmissões mecânicas conversoras 54
3.4 – Seleção do acionamento 59
3.5 – Seleção do sensor e fim-de-curso 63
3.6 – Seleção do eixo-árvore 68
4 – MODELAMENTO 3D DA FRESADORA CNC 73
5 – ANÁLISE DE VALOR A PARTIR DO PROJETO CONCEITUAL 78
5.1 – Diagrama FAST 78
5.2 – Estimativa de consumo de recursos. 79
5.3 – Avaliação numérica funcional – técnica de Mudge 81
5.4 – Gráfico COMPARE 82
6 – DISCUSSÕES DOS RESULTADOS 84
7 – CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS 88
8 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 90
APÊNDICE 96

1 – INTRODUÇÃO

1.1 – Aspectos Gerais

Empresas e indústrias têm procurado cada vez mais profissionais com conhecimento teórico e prático para solucionar problemas do dia-a-dia ou mesmo para que essas pessoas possam distribuir tarefas para os outros funcionários. Sabendo disso, as escolas que formam esses futuros profissionais têm-se esforçado para adaptar ou reformular suas grades de aula e seus laboratórios para que possam treinar seus alunos a enfrentar o mercado de trabalho de forma mais preparada do que deixá-los aprender apenas no mercado de trabalho ou para que seus alunos tenham uma chance melhor no momento que eles estiverem concorrendo a uma vaga a um determinado emprego.

Hoje, instituições de ensino em mecânica têm administrado para seus alunos curso de programação de máquinas CNC. Muitas vezes, por falta de mais recursos, somente aulas teóricas são disponíveis. A não realização de uma aula prática em uma máquina CNC, que não permite ao aluno ver de forma física a peça fabricada pelo seu programa, pode ser uma decepção ou até mesmo uma maneira de não incentivá-lo a se dedicar mais à busca do conhecimento e aperfeiçoamento. Tendo isso em mente, a construção de uma máquina CNC de baixo custo poderia atender uma instituição que não dispõe de muitos recursos para obtenção de uma máquina de grande porte.

Com o avanço das tecnologias CAD, CAE e CAM, há necessidade de as apresentá-las nas escolas como ferramentas necessárias para a sobrevivência do profissional no mercado de trabalho. A tecnologia de CAD será utilizada neste

trabalho de modo a aproveitar a maioria dos recursos para facilitar e ajudar a desenvolver o projeto.

Versões atuais da maioria dos aplicativos CAD permitem (e alguns requerem) que a geometria das peças seja codificada em um banco de dados 3D como modelos sólidos. A principal vantagem de criar-se um banco de dados geométricos do modelo sólido em 3D para qualquer projeto é que as informações sobre as propriedades de massa podem ser rapidamente calculadas (NORTON, 2004). Esta característica de calcular de forma rápida propriedades de massa e principalmente momento de inércia será de grande utilidade no dimensionamento dos motores para o controle das mesas da fresadora.

Quando alguma análise de forças, tensões, deflexões ou outros aspectos do comportamento físico do projeto são incluídos, o processo é chamado CAE. Muitos aplicativos comerciais realizam um ou mais aspectos do CAE. Esses programas permitem que sejam aplicadas restrições no projeto que podem controlar a geometria da peça, uma vez que os parâmetros do projeto são variados (NORTON, 2004). Esta tecnologia é de grande importância para agilizar o processo de dimensionamento das peças e estrutura da fresadora CNC, permitindo simular esforços e tensões de maneira rápida e confiável.

Os elementos mecânicos sejam comerciais, normalizados ou usinados para atender a necessidade da máquina, são os responsáveis diretos pelo custo e precisão. Visando sempre o custo baixo do produto, a escolha correta das máquinas-ferramenta, bem como o projeto das peças que farão parte da fresadora, é de fundamental importância. A escolha correta de ajustes e tolerâncias entre peças será sempre avaliada. Segundo AGOSTINHO (1977) é necessário determinar a

precisão adequada dentro da qual a peça exerça sua função para a qual foi projetada, sendo que qualquer melhoria na fabricação somente oneraria o produto.

1.2 – Justificativa

A cada ano um grande número de profissionais é formado pelas escolas técnicas, de tecnologia e engenharia. Espera-se desses profissionais, muitas vezes sem nenhuma experiência profissional, um grande conhecimento teórico e prático fornecido pela instituição de ensino. Muitas delas possuem excelentes laboratórios onde os alunos podem experimentar na prática o conhecimento adquirido durante as aulas teóricas.

O grande problema dos cursos de mecânica é que seus laboratórios tornam-se caros para uma escola técnica ou de engenharia devido aos altos preços de equipamentos. É muito difícil uma escola investir milhares de reais em uma máquina CNC de usinagem.

Por isso essas aulas acabam sendo ministradas pelos professores apenas na teoria. É necessária a teoria para explicar os tipos de comandos que uma máquina CNC usa, os códigos e as mais diversas ações essenciais para que se possa programar esse tipo de máquina dessa categoria. Uma complementação, podendo o aluno digitar o programa feito anteriormente no papel, em uma máquina CNC pode sanar dúvidas ou até mesmo questionamentos levantados que antes poderiam ter passado despercebidos.

Tendo a opção de uma máquina CNC muito mais barata que industrial, é possível que uma instituição tenha um laboratório de programação em CNC com várias máquinas, o que possibilitaria melhor distribuição dos alunos pelas máquinas

ou mesmo aquelas escolas que precisariam de alto valor para o investimento em um equipamento poderiam adquirir pelo menos uma máquina de baixo custo como essa.

1.3 – Objetivos

Este trabalho tem como objetivo desenvolver uma fresadora CNC conceitual de baixo custo com propósito de aplicação principalmente em escolas técnicas, de tecnologia e engenharia.

Para tanto, serão utilizadas algumas metodologias aplicadas a projeto de tal forma a tornar possível uma seleção com critérios dos elementos que farão parte da máquina. Após essa escolha, será realizada uma análise de valor no projeto conceitual da fresadora para verificar seu custo e apontar locais onde é necessária uma verificação mais detalhada do sistema para que seu custo seja o mais baixo possível.

A máquina terá um tamanho máximo de 500 mm x 500 mm x 500 mm e será utilizada apenas para usinagem de plásticos de engenharia e materiais leves como alumínio. Sua potência de corte, assim como as velocidades não serão avaliadas, pois o objetivo é apenas demonstração de programação de CNC aos alunos e não de parâmetros e otimização do processo de usinagem.

Para o projeto da fresadora CNC proposta neste trabalho, será desenvolvida apenas a parte mecânica da máquina, ou seja, a unidade de comando não está incluída ao estudo.

2 – REVISÃO DA LITERATURA

2.1 - Projetos de baixo custo para fins didáticos

2.1.1 – Importância

É interessante que escolas ajudem os alunos a assimilar melhor o conhecimento teórico com a prática. Aulas de laboratório constituem grande incentivo e é a melhor maneira de colocar em prática o conhecimento adquirido durante a exposição teórica. Por outro lado, alguns laboratórios podem se tornar extremamente caros para uma instituição, deixando muitas vezes de haver investimentos em máquinas e simuladores.

Alguns autores tem se preocupado com o objetivo proposto por este trabalho e a seguir alguns são destacados.

SIMÕES e RICCHETTI (2003) verificaram com um projeto de um braço de robô de baixo custo a utilização dos conceitos teóricos na prática sem a utilização da metodologia clássica dos experimentos pré-programados. Os autores verificaram também que os problemas encontrados na metodologia clássica foram praticamente os mesmos encontrados na abordagem construtivista, mas as soluções não foram feitas de uma forma mecânica.

CALVACANTE e HAAG (2005) destacam um tema realizado no terceiro ano de bacharelado e licenciatura de física que normalmente é feito apenas uma abordagem teórica, pois os instrumentos didáticos são na maioria importados e caros. Eles propuseram um trabalho experimental de baixo custo para que os temas abordados em aula não ficassem apenas na teoria.

Com o intuito de aplicar no ensino de graduação, pós-graduação e pesquisa, DREGER *et al.* (2001) apresentaram um veículo auto-guiado de baixo custo que permite a abordagem de conceitos básicos nas áreas de instrumentação, eletro-eletrônica e controle.

SILVA e BALESTRERO (2006) apresentaram um mancal aerostático para fins didáticos e observaram a crescente necessidade das aplicações destes mancais em máquinas ferramentas e equipamentos de precisão, dentre eles, equipamentos para fins didáticos.

Visando equipamento de baixo custo para uma aplicação profissional, MAURER (2005) mostra, mesmo com um projeto mecânico simples, ser possível uma relação precisão/custo relativamente alta.

MORETTO (2006) apresentou um protótipo de visão robótica com finalidade didática utilizando componentes reciclados. O autor menciona que o produto final, de baixo custo, mostrou-se bastante eficaz na motivação acadêmica de cursos de Engenharia de Computação, para as áreas de robótica, processamento digitais de sinais, visão computacional e eletrônica.

GÓES *et al.* (2002) descrevem um sistema polarimétrico de baixo custo que pode ser utilizado em aplicações didáticas para controlar e medir o estado de polarização de uma fonte de luz. Eles mencionam que o custo do equipamento é tão baixo comparado com equipamentos comerciais, que seu uso acaba sendo atraente não somente para fins didáticos, mas também para aplicações comerciais.

É possível verificar os diversos tipos de estudos e equipamentos experimentais nas mais diversas áreas, tanto de engenharia, física, computação e outras, visando baixo custo no investimento para as instituições e facilidade de montagens e peças de fácil reposição. Isso demonstra uma forma eficaz de suprir as

necessidades dos alunos em aplicar na prática os conhecimentos adquiridos na teoria, sem que haja grande investimento em equipamentos comerciais pelas instituições de ensino.

2.1.2 – Definição de desenvolvimento de produto/projeto

KAMINSKI (2000) define o processo de desenvolvimento de produtos como sendo um conjunto de atividades envolvendo quase todos os departamentos da empresa, que tem como objetivo a transformação de necessidades de mercado em produtos ou serviços economicamente viáveis. Ele acrescenta que o desenvolvimento de produtos é uma atividade influenciada e que influencia fatores econômicos, culturais, sociais, tecnológicos e políticos da comunidade a que se destina, mudando hábitos, costumes e até gerando novas necessidades.

Em seu trabalho KAMINSKI (2000) explica que o desenvolvimento de produto deve considerar todo o ciclo de produção e consumo, deste modo, propõe a divisão do processo de desenvolvimento do produto em sete etapas, que vão desde a busca das necessidades do mercado, até o descarte final do produto, conforme explicado a seguir:

1) *Estudo da viabilidade*: É a primeira fase do desenvolvimento e esta etapa é responsável por determinar as possíveis alternativas para a solução do problema, identificando as necessidades e especificando as exigências;
2) *Projeto básico:* Nesta etapa os responsáveis devem escolher e especificar a melhor alternativa de todas as propostas anteriores;

3) *Projeto executivo:* Esta fase tem por objetivo desenvolver as especificações completas do produto, bem como testá-lo e garantir que está pronto para a produção. Este período de desenvolvimento ainda é propício para a realização de alterações que se tornarem necessárias, sem prejuízos econômicos. Contudo, o projeto pode ser ainda abandonado caso o produto não possua condições para a produção;
4) *Planejamento da produção/execução:* Esta fase elabora o planejamento da produção, e inclui a compra de todos os equipamentos e dispositivos necessários, determinação do processo de montagem, qualificação dos fornecedores, mão-de-obra etc;
5) *Planejamento da disponibilização ao cliente:* Esta etapa tem como objetivo planejar como o produto irá chegar até o cliente e cabe ao projetista, por exemplo, definir a embalagem, o transporte e a divulgação do produto;
6) *Planejamento do consumo ou utilização do produto:* O projetista deve também prever como o produto será utilizado ou consumido. O produto deve ser de fácil manutenção, alta confiabilidade, segurança etc. Informações de campo são extremamente valiosas para que o produto possa ser melhorado;
7) *Planejamento do abandono do produto:* O produto pode ser descartado por duas razões: obsolência técnica ou desgaste. O caso ideal acontece quando a obsolência técnica e o desgaste ocorrem ao mesmo tempo. Para isso, o projetista deve utilizar uma tecnologia adequada para reduzir a velocidade da obsolência, e projetar para que vida útil coincida com o tempo de utilização.

SOUSA (1998) define o processo de projeto em seis fases:

1) *Desenvolvimento/ planejamento de especificações*: Fase pré-conceitual, onde o problema deve ser compreendido para permitir o desenvolvimento das soluções;
2) *Projeto conceitual:* A idéia do produto deve ser definida para dar prosseguimento as outras fases do processo;
3) *Projeto do produto:* O projeto conceitual é detalhado e desenvolvido completamente, ficando assim pronto para a fabricação. Nesta fase o processo de planejamento da manufatura começa a ser definido;
4) *Produção;*
5) *Uso ou serviço;*
6) *Descarte ou renovação do produto;*

PAHL & BEITZ (1988) subdividem o processo de projeto em quatro fases conforme descritas a seguir:

1) Esclarecimento da tarefa: As necessidades do produto são identificadas, especificando dados do projeto;
2) Projeto conceitual: A idéia conceitual do projeto é gerada;
3) Projeto preliminar: Detalhes do projeto conceitual começam a ser desenvolvidos e definidos;
4) Projeto detalhado: O projeto preliminar é totalmente desenvolvido dando origem ao produto final;

Segundo BACK (1983), projeto é uma atividade orientada para o atendimento das necessidades humanas, principalmente daquelas que podem ser satisfeitas por fatores tecnológicos de nossa cultura. O projeto pode ser um desenho, um papel de parede, uma máquina, ou um vestido no mundo da moda, sendo que se o produtor acreditar que um número suficiente de clientes ficará satisfeito com réplicas, então pode prosseguir com a produção dos bens e serviços projetados e, se no decorrer da produção algum erro causado pelo produtor acontecer, este pode resultar na rejeição dos produtos pelo consumidor, mas um erro de projeto pode acarretar em um fracasso econômico de grandes proporções (BACK, 1983).

Para SHIGLEY (2005) o projeto consiste tanto em formular um plano para a satisfação de uma necessidade específica quanto em solucionar um problema. O autor comenta que se tal plano resultar na criação de algo tendo uma realidade física, então o produto deverá ser funcional, seguro, confiável, competitivo, utilizável, manufaturável e comercializável. O autor define da seguinte forma os termos citados:

- Funcional: quando o produto apresenta um desempenho que atenda às necessidades e expectativas do consumidor;
- Seguro: se o produto não oferece perigo ao usuário sendo necessário prever anteparos quando os perigos não podem ser evitados no projeto ou quando isto não é possível, informações apropriadas devem ser fornecidas;
- Confiável: a tal ponto que o produto possa desempenhar suas funções de maneira satisfatória e sem falha a uma determinada idade;
- Utilizável: onde o produto é amigável ao usuário, acomodando-se a especificações como tamanho, resistência, postura, alcance, força, potência e controles humanos;

- Manufaturável: em que o produto deve ser reduzido a um número mínimo de componentes, adequados a produção em massa, com dimensões, distorção e resistência sob controle.
- Comercializável: sendo que o produto deva ser comprado e serviços de assistência técnica disponíveis.

NORTON (2000) define projeto como sendo um processo de aplicação das várias técnicas e princípios científicos com o intuito de definir um dispositivo, um método ou um sistema suficientemente pormenorizado para permitir sua realização e coloca como exemplo o projeto de máquina.

Assim, apesar de os autores citados utilizar nomenclaturas, divisões ou modelos diferentes, o conteúdo das etapas de desenvolvimento ou projeto é semelhante.

Neste contexto podemos identificar as etapas do desenvolvimento do produto como:

1) Identificar a necessidade do mercado consumidor;
2) Especificar as funções do produto;
3) Especificar as características principais do projeto;
4) Elaborar a idéia conceitual do projeto;
5) Detalhar a idéia conceitual, definindo alguns detalhes do produto;
6) Desenvolver finalmente o produto;

2.1.3 – Técnica DFMA – *Design for Manufacturing and Assembly*

A técnica DFMA é utilizada durante o desenvolvimento de novos produtos e melhorias de produtos já em industrialização e tem como objetivo facilitar a manufatura e a montagem e conseqüentemente a redução de custos.

BARBOSA (2007) define o objetivo do conceito DFM – *Design for manufacturing* – como sendo o desenvolvimento de um produto que atenda todos os requisitos funcionais e que também seja de fácil manufatura, o que diminuirá os custos de produção. O autor ressalta que essa técnica é composta por vários princípios, conceitos, regras e recomendações que guiam o projetista para o desenvolvimento do melhor produto do ponto de vista da sua fabricação. Já o DFA – *Design for assembly* - tem por objetivo racionalizar a etapa de montagem por meio da redução do número de peças e da facilidade de montagem, analisando separadamente a função, forma, material e montagem de cada uma das peças e assim desenvolver um produto simples e funcional (BARBOSA, 2007).

Segundo BOOTHROYD *et al.* (1994) "*manufacturing*" deve ser entendido como a operação de fabricação de um componente individual, enquanto "*assembly*" é a simples montagem de mais de um componente formando o produto final, portanto, DFM e DFA devem ser entendidos e aplicados de maneira distinta. Segundo os autores, sempre que possível, o DFM e DFA devem ser usados simultaneamente, visando reduzir a complexidade e o número de peças tanto na fabricação dos componentes como na montagem final do produto e evitando que as modificações do produto sugeridas pelo DFM aumentem a dificuldade do processo de montagem, fazendo com que o DFA não possa ser aplicado na sua íntegra.

Para BARBOSA (2007), o uso do DFMA traz grandes benefícios ao produto final, tais como a melhoria da qualidade, diminuição do número total de componentes, simplificação do processo de montagem e do produto, padronização, modularização, confiabilidade e significante redução de custos de produção e incentivo ao trabalho em equipes multidisciplinares (Engenharia Simultânea).

Segundo BOOTHROYD *et al.* (1994), o DFMA dever ser utilizado, com maior ênfase, no início da fase conceitual do projeto, pois nesta etapa, os custos de modificações são mais baixos e o tempo de duração do projeto pode ser reduzido, disponibilizando o produto mais rapidamente para o mercado e com um preço significativamente menor. BARBOSA (2007) salienta a importância dos aspectos de qualidade nesta fase do projeto, visto que implementá-los em um produto já desenvolvido é mais difícil.

A figura 1 mostra a necessidade da aplicação do DFMA no projeto conceitual com o objetivo de reduzir o tempo e custo de desenvolvimento (BOOTHROYD *et al*, 1994).

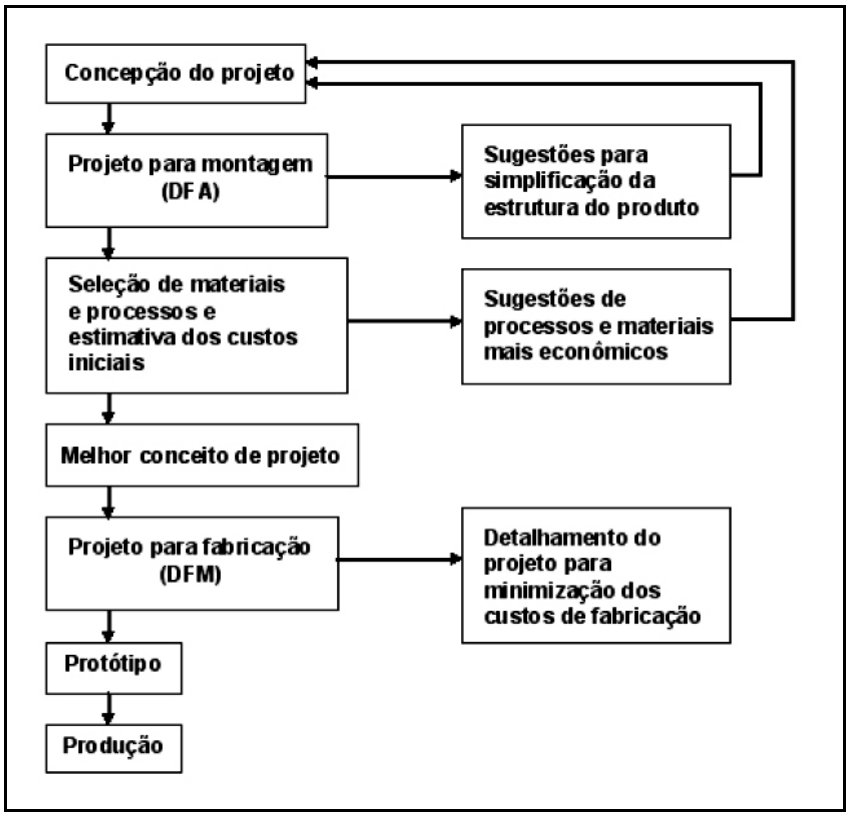


FIGURA 1 - Estrutura da aplicação do DFMA no processo de projeto (BOOTHROYD *et al.*, 1994)

BARBOSA (2007) descreve as principais regras do DFMA que devem ser aplicadas para conseguir um produto que atenda todas às necessidades do cliente:

1) Tornar mínimo o número de peças – Este é um dos princípios mais evidentes de todos, pois, com a redução do número de peças, o custo do produto e da montagem podem ser reduzidos, simplificando o produto final. Sempre que possível, as peças devem ser combinadas, formando o menor número possível para a montagem, eliminando operações de montagem e submontagem.
2) Montagem modular ou com componente-base – A montagem com componente-base é uma técnica utilizada que visa o uso de apenas uma base para a produção de produtos diferentes. A montagem modular tem como objetivo diversificar produtos a partir da combinação de módulos

intercambiáveis e funcionalmente independentes, como por exemplo o componente-base.

3) Padronização de componentes – A padronização de componentes implica a redução da variação de peças em uma linha de montagem, redução de tempo com engenharia no desenvolvimento de novos componentes, redução no manuseio, otimização da montagem, padronização de ferramentas, redução de treinamento de pessoal e aumento da qualidade e confiabilidade do produto. A figura 2 mostra um exemplo de padronização de um componente.

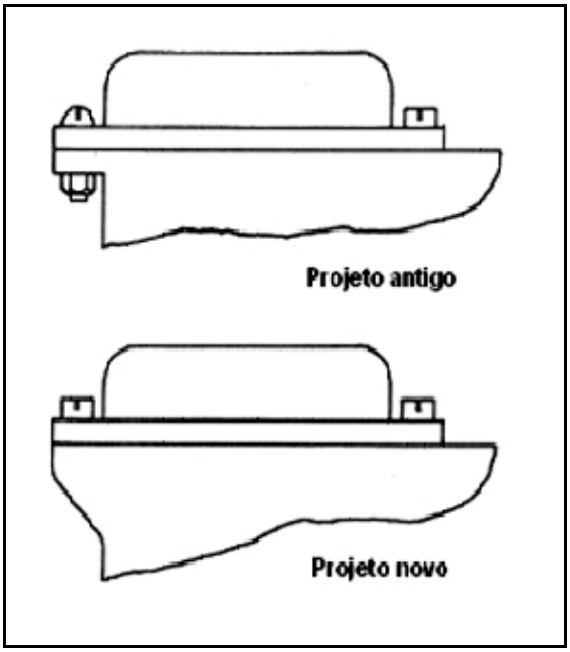


FIGURA 2 - Peças Padronizadas (BOOTHROYD *et al*., 1994).

4) Sempre que possível, projeto de peças com características autofixadoras – Sempre que possível deve-se projetar peças com características autofixadoras de modo a eliminar componentes como, por exemplo, parafusos, porcas e arruelas e facilitar a montagem e desmontagem do

produto. A figura 3 representa o aumento do custo do projeto em função da complexidade de montagem, ou seja, quanto maior o número de prendedores mais caro o produto final, desde que não haja desmontagem.

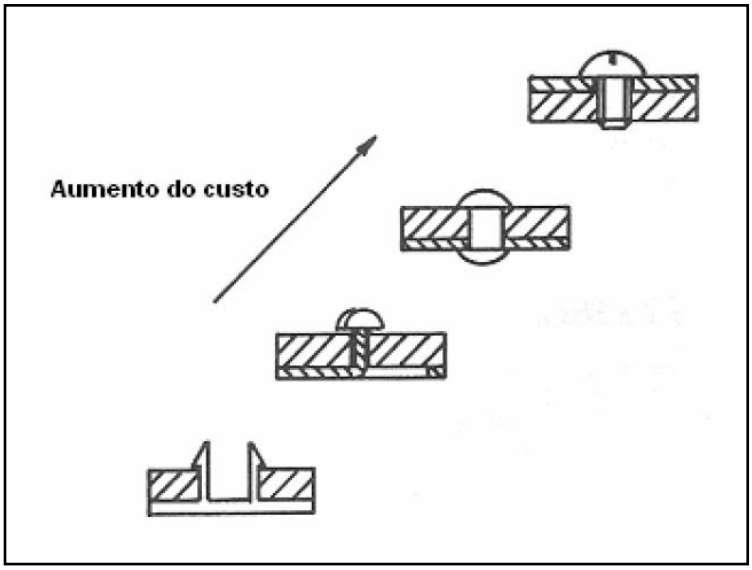


FIGURA 3 - Métodos de fixação comuns (BOOTHROYD *et al*., 1994)

5) Montagem empilhada ou unidirecional – Durante o projeto de um produto deve-se sempre dar preferência para a montagem unidirecional, utilizando sempre a lei da gravidade, ou seja, de cima para baixo, pois este sistema reduz o número de reorientações do componente durante a sua montagem, facilitando o processo de fabricação. A figura 4 mostra um exemplo de montagem unidirecional, onde a peça base recebe as demais de forma seqüencial de cima para baixo.

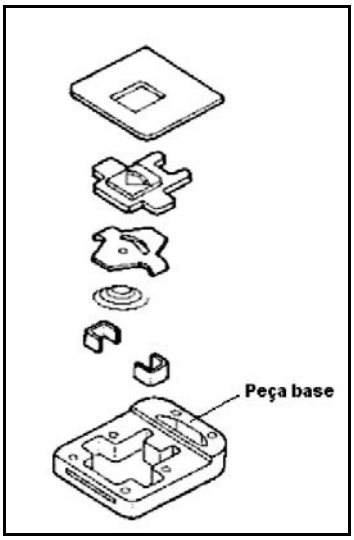


FIGURA 4 - Montagem empilhada ou unidirecional (BOOTHROYD *et al*., 1994).

6) Projetar peças com características de auto-localização – Sempre que possível deve-se desenvolver componentes com características de auto-localização, visando uma montagem precisa, sem ajustes, rápida e fácil. Peças com estas características reduzem o tempo de montagem e aumentam a qualidade do produto, além de permitir que a montagem seja feita automaticamente por um equipamento. A figura 5 representa a diferença entre dois projetos, sendo um com características de auto-localização para facilitar a montagem e o outro não.

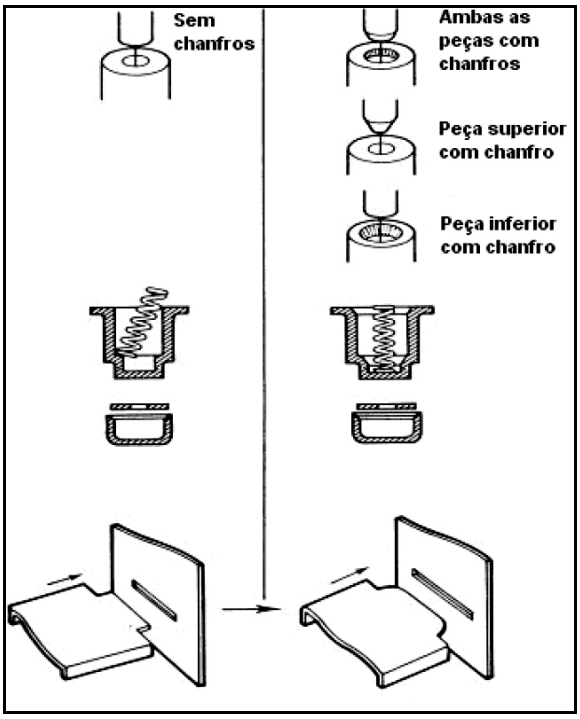


FIGURA 5 - Peças com características de auto localização (BOOTHROYD *et al*., 1994).

7) Minimização de níveis de montagem – Deve-se prever a possibilidade de submontar componentes de um produto antes da sua montagem final, deste modo, simplifica o processo de montagem e documentação e facilita o layout da fábrica, além de aumentar a flexibilidade da programação da produção.

8) Facilidade de manipulação de peças – O ideal é projetar componentes com peso reduzido e que permitam fácil manipulação, facilitando a montagem e reduzindo o tempo com a operação. Itens pequenos (figura 6), assimétricos (figura 7) e com característica que facilitam o emaranhamento de uma peça em outra devem ser evitadas (figura 8).

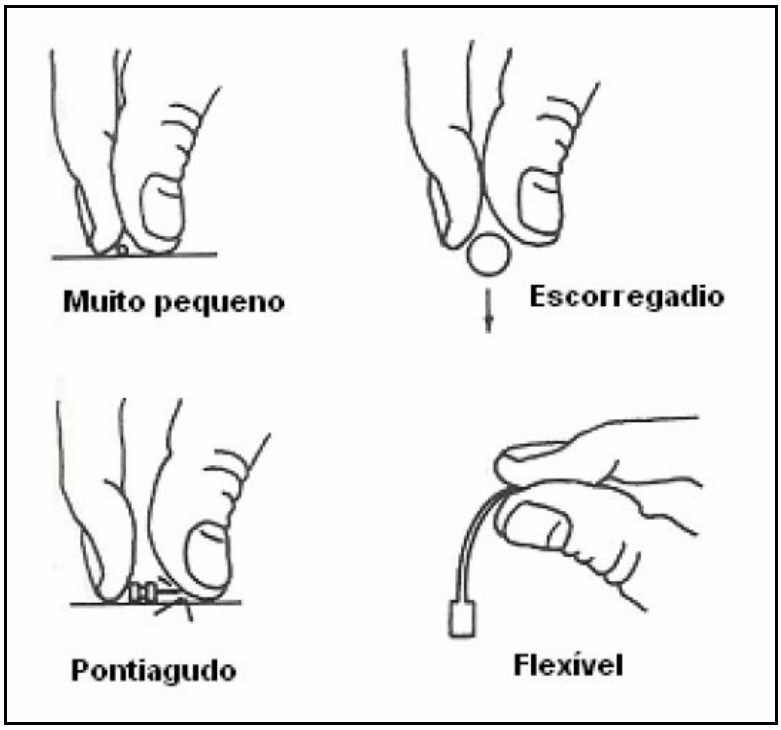


FIGURA 6 - Exemplo de problemas de manuseio (BOOTHROYD *et al*.,1994).

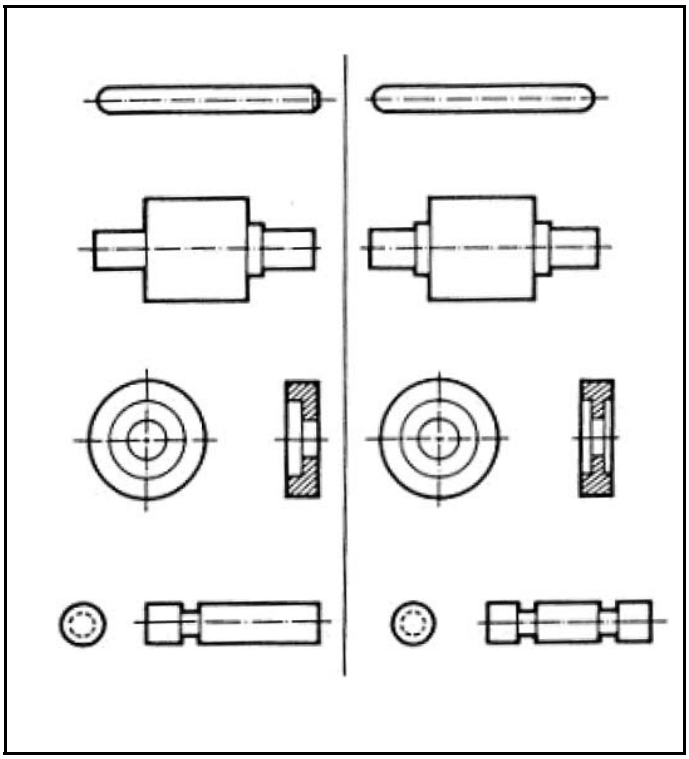


FIGURA 7 - Peças assimétricas e simétricas em relação a suas possibilidades de montagem (BOOTHROYD *et al*., 1994).

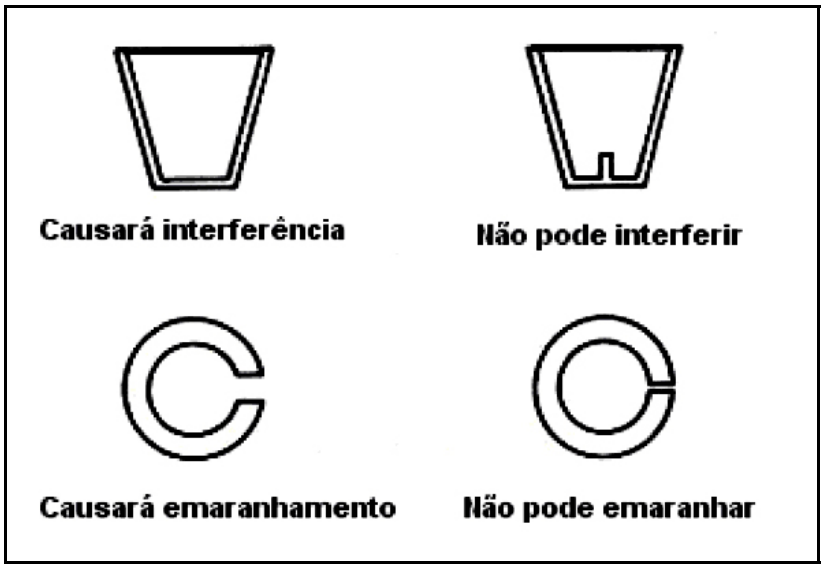


FIGURA 8 - Peças possíveis de ficar presas e emaranhadas (BOOTHROYD *et al*., 1994).

9) Projeto para estabilidade – Deve-se evitar projetar peças que possam se movimentar durante a montagem sendo que deste modo, o operador não precisa se preocupar e perder tempo com o processo, pois os componentes envolvidos permanecerão imóveis durante a montagem, não havendo risco de perdê-los.

10) Minimização da necessidade de ajustes – A eliminação, ou redução, de ajustes durante a montagem ajuda a diminuir o tempo do processo, facilitar a manufatura e aumentar a qualidade e confiabilidade do produto. Isto é simples conseguir definindo corretamente tolerâncias dimensionais e geométricas das peças.

11) Otimização da seqüência de montagem – A seqüência de montagem deve ser determinada através da coerência na montagem do produto. Quanto mais otimizado for, melhor será a manufatura do produto, reduzindo tempo e facilitando a sua montagem.

2.1.4 – Método de combinação de variantes

Para a escolha dos principais elementos que fazem parte do equipamento, neste caso a fresadora CNC, será utilizado o método de combinação de variantes. O elemento principal é o custo/preço que cada elemento corresponde no produto final. Como descrito no item 2.1.3, a facilidade de montagem bem como sua manufatura é outro item de elevada importância. Por se tratar de um equipamento didático, sua precisão, repetibilidade e resolução não são fatores de grande peso, dentro de valores aceitáveis para estas características.

TAVARES (1995) explica que o método de combinação de variantes consiste na combinação de princípios técnicos capazes de realizar a função global e suas sub-funções de acordo como os parâmetros de projeto. A função global é uma função que reúne todas as demais funções (sub-funções) que um produto pode ter (PAHL & BEITZ, 1996).

CSILLAG (1995) explica que função é o objetivo de um produto ou sistema operando em sua maneira normalmente prescrita. A função global da fresadora é obter o menor custo possível para fabricação e montagem, mas deve ser resistente, pois a manutenção encareceria o produto, pois alunos irão operar a máquina sem a experiência necessária e poderão quebrá-la com facilidade. Esta função divide-se em outras sub-funções necessárias para que a fresadora realize as tarefas esperadas.

O próximo passo é avaliar cada uma das combinações das variantes técnicas agrupadas segundo uma sub-função em comum, submetendo estas combinações a critérios de avaliação (MONTANARI, 1999).

Os critérios de avaliação têm como objetivo determinar seqüencialmente as variantes de princípios técnicos que satisfazem determinadas sub-funções, arbitrando valores absolutos para as variantes e para os critérios. Os valores são expressos por pontos e, como resultado, obtém-se uma variante ótima ou uma ordem de preferências hierárquica de variantes (PAHL & BEITZ, 1996).

A seqüência de passos envolvidos no método de avaliação de variantes técnicas é esquematizada por HÖNHE (1990b) na figura 9.

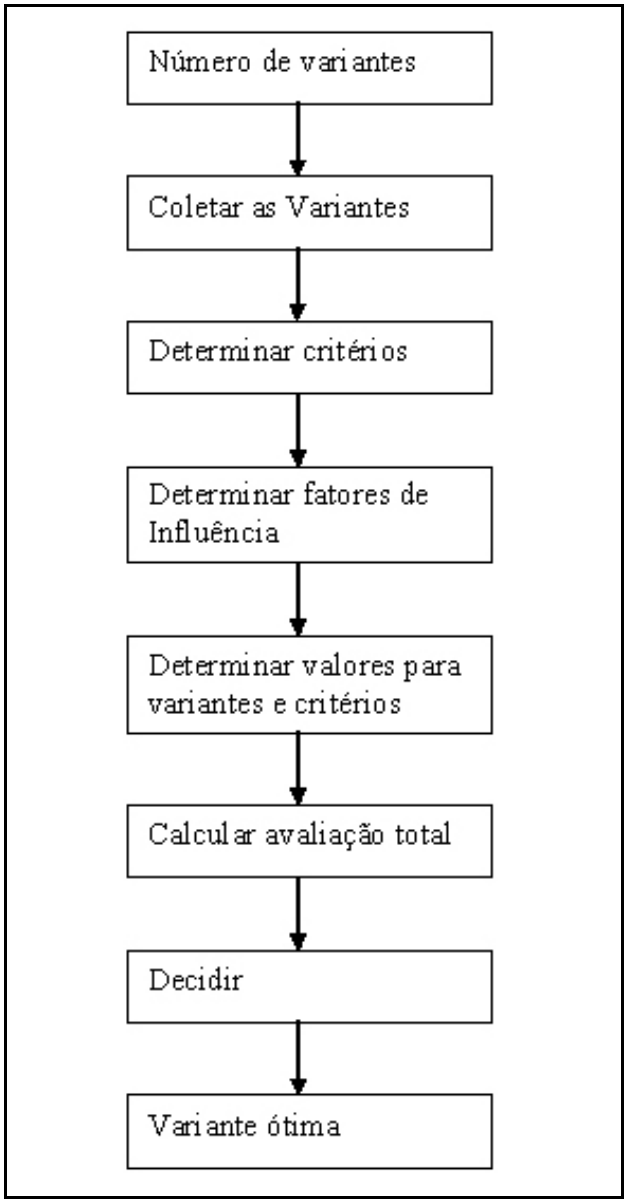


FIGURA 9 - Passos da avaliação das variantes (HÖHME, 1990b).

Segundo MONTANARI (1999), tendo sido determinado os sub-valores para cada variante, é possível calcular o valor global. O valor global de uma variante j é determinada segundo a equação 1 (MONTANARI,1999).

$$Owv_j = \Sigma_{i=1}^{n} w_i . v_{ij} = \Sigma_{i=1}^{n} wv_{ij} \qquad (1)$$

Onde:

Owv_j = valor global

v_{ij} = sub-valor da variante i em relação ao critério j

w_i = peso i do critério j

j = critério

n = número de critérios

Com esta equação é possível determinar o valor global de uma variante j através do somatório dos “n” pesos dos critérios de projeto, especificados de acordo com as suas exigências (custo, precisão, facilidade de montagem etc. do equipamento) multiplicadas pelo sub-valor das variantes do projeto (estrutura, acionamento, guias etc.) em relação ao peso específico dos critérios.

Se uma comparação relativa das variantes for considerada insuficiente, então o valor global refere-se a um valor ideal imaginário que resulta segundo o valor máximo atribuído aos critérios, como mostra a equação 2 (PAHL & BEITZ, 1996 & HÖHNE, 1990b). Ou seja, determina-se o valor global como na equação 1 e divide-se o produto pelo valor máximo atribuído e somatório dos valores destes critérios. Quando se determina o valor global deste modo, calcula-se o valor mínimo que cada variante pode obter dentro das exigências de projeto (MONTANARI, 1999).

$$x_i = \frac{Owv_j}{v_{max}.\sum_{i=1}^{n} w_i} = \frac{\sum_{i=1}^{n} w_i v_{ij}}{v_{max}.\sum_{i=1}^{n} w_i} \qquad (2)$$

onde:

X_i = valor global segundo o valor máximo

v_{max} = valor máximo de todas as variantes

Para facilitar, HÖNHE (1990b) sugere a tabulação dos dados, utilizando o processo de atribuição e análise de valores, chegando ao valor global.

TABELA 1 - Determinação do valor global (HÖNHE, 1990b).

		Variantes							
		Variante (V1)		**Variante (V2)**		**Variante (V3)**		**Variante (Vj)**	
Nº de critérios	**Peso de importância**	**Sv**	**Peso Sv**	**Sv**	**Peso Sv**	**Sv**	**Peso Sv**	**Sv**	**Peso Sv**
n1	**W1**	V11	W1v11	V12	W1v12	V13	W1v13	V1j	W1v1j
n2	**W2**	V21	W1v21	V22	W1v22	V23	W1v23	V2j	W1v2j
n3	**W3**	V31	W1v31	V32	W1v32	V33	W1v33	V3j	W1v3j
nn	**W1n**	Vn1	W1vn1	Vn2	W1vn2	Vn3	W1vn3	Vnj	W1vnj
	$\sum_{i=1}^{n}$	Ov 1	Owv1	Ov2	Owv2	Ov 3	Owv3	Ovj	Owvj

Sv = sub-valor

2.1.5 – Análise morfológica

De acordo com BAXTER (2000), a análise morfológica estuda todas as combinações possíveis entre os elementos ou componentes de um produto ou sistema. O autor cita que essa análise foi desenvolvida por Fritz Zwickey (*National Academy of Sciences* – EUA), em 1948, quando trabalhava no desenvolvimento de

motores a jato. BAXTER (2000) relata que segundo Fritz Zwickey, o método tem o objetivo de identificar, indexar, contar e parametrizar a coleção de todas as possíveis alternativas para se alcançar o objetivo determinado, de acordo com as seguintes regras:

1) O problema a ser solucionado deve ser descrito com grande precisão;
2) Deve-se identificar as variáveis que caracterizam o problema – isso depende dos conhecimentos e habilidades do analista.
3) Cada variável deve ser subdividida em classes, tipos ou estágios distintos – se a variável for contínua, deve-se dividi-la em determinadas faixas ou regimes (por exemplo, velocidade sub e supersônicas);
4) As soluções possíveis são procuradas nas combinações entre classes.

Para BAXTER (2000), a vantagem da análise morfológica está no exame sistemático de todas as combinações possíveis. De acordo com BACK (1983) a análise consiste em dividir o problema em duas ou mais dimensões, baseado nas funções requeridas do sistema ou componente a ser projetado e em seguida listar o maior número de possíveis caminhos para alcançar cada uma das dimensões funcionais. BACK (1983) cita que essas listas são colocadas em um diagrama morfológico ou matriz de projeto de modo que as diversas combinações possam ser facilmente analisadas uma a uma com relação a vantagens e desvantagens.

BAXTER (2000) exemplifica uma análise morfológica aplicada ao desenvolvimento de um produto (ver Tabela 2). Ele considera a análise das possíveis alternativas para projetar uma cadeira giratória, envolvendo 5 variáveis, que se desdobram em 3 classes em resultam em 48 combinações (resultado da multiplicação das quantidades de classes: 2x2x2x3x2). O autor comenta que uma

dessas combinações poderia ser uma cadeira com levantamento mecânico, espuma injetada, revestimento em tecido, encosto de altura média e com braços.

TABELA 2 - Análise morfológica para desenvolver uma cadeira giratória (BAXTER, 2000).

Variáveis	**Classes**		
	1	2	3
Mecanismo levantamento	Mecânico	A gás	
Espuma	Laminada	Injetada	
Revestimento	Tecido	Napa	
Altura do encosto	Baixo	Média	Alta
Braços	Sem braços	Com braços	

Nota-se que com esta tabela é possível verificar as possibilidades para cada sistema em estudo de forma fácil e prática. BAXTER (2000) cita que podem ser estabelecidos alguns critérios para se fazer essa seleção, como por exemplo, a disponibilidade de materiais, facilidade de fabricação, existência de fornecedores para componentes terceirizados, resistência, durabilidade, acabamento superficial, custos e assim por diante.

2.1.6 – Análise de valor

Segundo ABREU (1995), a análise de valor foi concebida aproximadamente em 1947 pelo engenheiro Lawrence D. Miles *(General Eletric* - EUA) como uma abordagem de análise de funções de um determinado produto, para efeito de pesquisa de outros mais baratos e que desempenhassem as mesmas funções, observando os aspectos de qualidade e segurança. Deste modo, o autor reflete que

a análise de valor preconiza que a finalidade de um produto seja desempenhar um conjunto de funções que atendam as necessidades dos usuários e que estas funções representem custos para o fabricante e para o consumidor. ABREU (1995) cita que agir sobre estas funções, racionalizando-as e otimizando-as com a finalidade de reduzir custos, é o propósito da análise de valor.

Segundo MONTANARI (1999), a análise de valor é uma técnica para tomada de decisão onde se aplica uma análise altamente técnica e lógica com o objetivo de se chegar à melhor solução de um problema de projeto. CSILLAG (1995) explica que análise de valor constitui um esforço deliberado para identificar e selecionar o método de menor custo, entre muitos outros, para satisfazer as necessidades funcionais adequadas.

MEDEIROS (1997) salienta que a análise de valor faz uso da vivência direta de seus autores (equipe de trabalho) e da forma como foram construídos os seus conhecimentos. Para o autor, a aplicação da metodologia de análise de valor na avaliação das atividades de um processo produtivo ou de um produto envolve a inter e a multidisciplinariedade do tema, pela magnitude e importância da quantificação e o valor agregado de um item ou atividade.

POSSAMAI (1993) afirma que análise de valor pode ser considerada como um exame minucioso do valor de um objeto, seja ele um produto ou atividade, no que diz respeito às funções que ele exerce. Para o autor, essa análise pode ser realizada com o objetivo de se obter redução do custo do objeto, aumento de seu valor, aumento da produtividade, resolução de problemas etc. Ele salienta ainda que essas ações devem ser executadas de maneira ordenada, segundo uma metodologia pré-estabelecida por uma equipe especialmente preparada e

representativa de todos os setores envolvidos na produção, custeio e vendas, entre outros.

Verifica-se, através das citações dos autores, que a análise de valor é uma técnica fundamental para identificar o local onde uma função pode estar agregando um valor desnecessário para o produto. Desta forma, a aplicação desta técnica é de grande utilidade para verificação dos recursos distribuídos em um projeto.

2.1.6.1 – Técnica FAST – *Function analysis system technique*

Segundo ABREU (1995), a técnica FAST (técnica de análise funcional do sistema) foi desenvolvida por Charles Bytheway em 1965. Para o autor, a técnica baseia-se na aplicação do raciocínio lógico sobre as funções básicas e de uso, submetendo-as a um conjunto de perguntas provocadoras do raciocínio. ABREU (1995) relata que as perguntas são conhecidas como “As seis perguntas do planejamento” (O que?, Como?, Quando?, Por quê?, Quem?, e Quando?) são formuladas com a intenção de aprofundar ao máximo o conhecimento das pessoas sobre as funções objeto da análise. Segundo o autor, diversos analistas de valor utilizaram esta técnica e propuseram a simplificação para apenas duas perguntas, “Por quê? e Como?”.

CSILLAG (1995) afirma que essa técnica, quando aplicada num dado projeto, forma um diagrama e que visualmente são mostradas todas as funções orientadas ao projeto de uma maneira organizada, tornando suas relações e importâncias relativas compreendidas. A figura 10 mostra o digrama com as funções do projeto de uma maneira ordenada (BECKER, 2005).

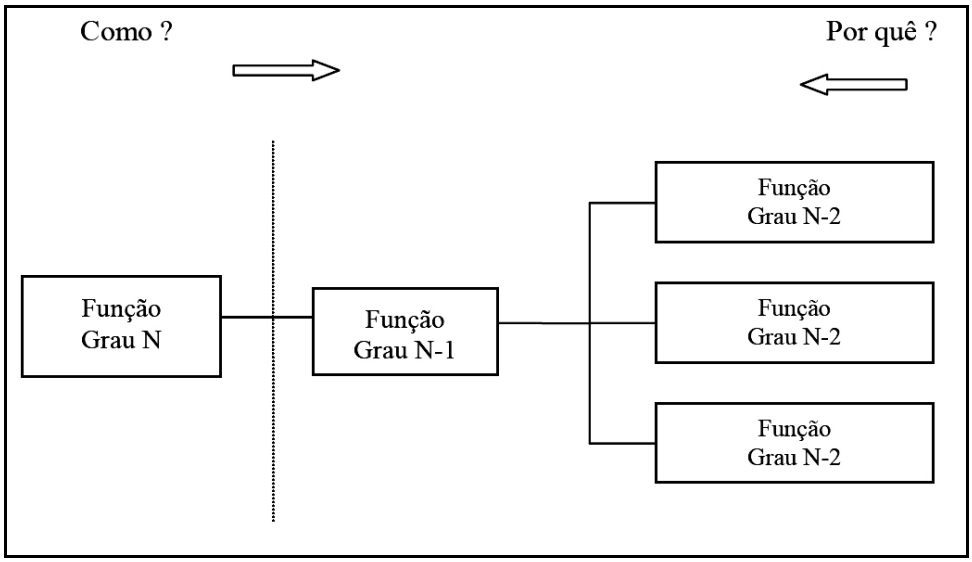


FIGURA 10 - Diagrama FAST (BECKER, 2005).

Segundo VALDIERO (1994), FAST é uma técnica que parte de uma função do mais alto nível, que é a função desejada do produto, até chegar a funções de níveis mais baixos, as quais tornam possível a função de alto nível.

2.1.6.2 – Técnica de Mudge

A técnica de Mudge ou avaliação numérica das relações funcionais é utilizada para eleger as funções mais prioritárias ou relevantes. ABREU (1995) explica que a técnica foi desenvolvida por Mudge para tornar possível a comparação entre si de todas as funções desempenhadas por um recurso, estabelecendo-se valores a ser creditados a uma função, todas as vezes que esta demonstrar ser mais importante ou prioritária em relação a cada uma das demais. ABREU (1995) cita ainda que ao final das comparações, apura-se o total dos pontos obtidos por cada função, aparecendo como prioritária aquela que mais pontos obtiver e as demais serão hierarquizadas em função dos pontos obtidos. CSILLAG (2000) complementa que

uma vez plotados os valores relativos num gráfico por função, ter-se-á visualizada a série de funções com suas importâncias relativas.

A tabela 3 mostra a avaliação de critérios que podem ser utilizados para pontuar as funções na aplicação da técnica de Mudge, segundo BACK (1983).

TABELA 3 - Avaliação qualitativa e fatores peso das funções (BACK, 1983).

Avaliação qualitativa dos critérios	**Fatores Peso**
Insatisfatório	0
Regular	1
Bom	2
Muito bom	3
Ótimo	4

ABREU (1995) sugere a seguinte pontuação:

1 ponto – Função pouco mais importante que a outra;

3 pontos – Função significativamente mais importante que a outra;

5 pontos – Função muito mais importante que a outra;

Os valores podem ser mudados e adaptados de acordo com a necessidade. Os valores citados pelos autores servem como base quando não há necessidade de estabelecer outros valores. Esses valores servem como base para comparação da importância de uma função em relação a outra.

Segundo ABREU (1995), a técnica de Mudge ocorre com a criação de um diagrama onde possam ser registradas todas as funções do recurso. De acordo com o autor, depois de registradas todas as funções, deve haver uma comparação entre

cada uma das funções e as demais e é marcada a função mais importante com o valor estabelecido do grau de importância uma em relação a outra. A figura 11 mostra um exemplo do diagrama. É possível verificar, por exemplo, que a função “E” é mais importante que a função “D” e recebe 3 pontos, sendo uma função significativamente mais importante que a “D”.

A	A3	A3	A1	A1	F5	G3	8	11,59
	B	B1	B1	E1	F5	G3	2	2,90
		C	C3	C5	F5	C5	13	18,84
			D	**E3**	F5	G3	0	0,00
				E	F5	E3	7	10,14
					F	F5	30	43,48
						G	9	13,04
						TOTAL	69	100,00

FIGURA 11 - Exemplo de diagrama da Técnica de Mudge (ABREU, 1995).

Após indicar qual função é mais importante e o número de pontos que recebe é realizado o somatório desses pontos e expressado em porcentagem. Observando a figura 11, o somatório da função “G” é de 9, ou seja, essa função recebeu 3 ponto quando comparada com a função “A”, comparada com a função ”B” e “D” também recebeu 3 pontos. Com isso o somatório de “G” foi 9 e representa 13,04%.

2.1.6.3 – Método COMPARE

O método COMPARE foi desenvolvido por Csillag e apresentado no Congresso Internacional da SAVE em 1988 e foi premiada como o melhor trabalho do ano (CSILLAG, 1995).

Segundo CSILLAG (1995), o termo COMPARE foi por ele cunhado com as iniciais *compa*rar parâmetros (do lado do usuário) e *re*cursos (do lado do fornecedor), dando ao mesmo tempo a idéia de comparação.

CSILLAG (1995) explica que o primeiro passo para se trabalhar com o gráfico COMPARE é fazer a identificação das funções e a construção do diagrama FAST, quando se faz necessário. O autor relata que sabendo quem é o cliente e quais os recursos consumidos a serem considerados em função do problema em questão, torna-se fácil montar uma tabela que indique quais os recursos consumidos por função. O autor relata que os recursos consumidos podem ser medidos em unidade monetária, caso o objetivo seja custo, podem ser medidos em unidades de tempo, caso o objetivo seja reduzir tempo de processo ou outros tipos de unidades dependendo o caso em estudo.

CSILLAG (1995) diz que o passo seguinte é determinar as necessidades relativas entre as funções utilizando a técnica de Mudge.

Após determinar as necessidades relativas, CSILLAG (1995) sugere registrar em um mesmo gráfico os conteúdos, em porcentagem, das tabelas do consumo de recurso e das necessidades relativas das funções. Dessa forma, constrói-se o gráfico COMPARE, onde segundo o autor, é possível verificar de forma simples as funções onde se deve trabalhar (figura 12).

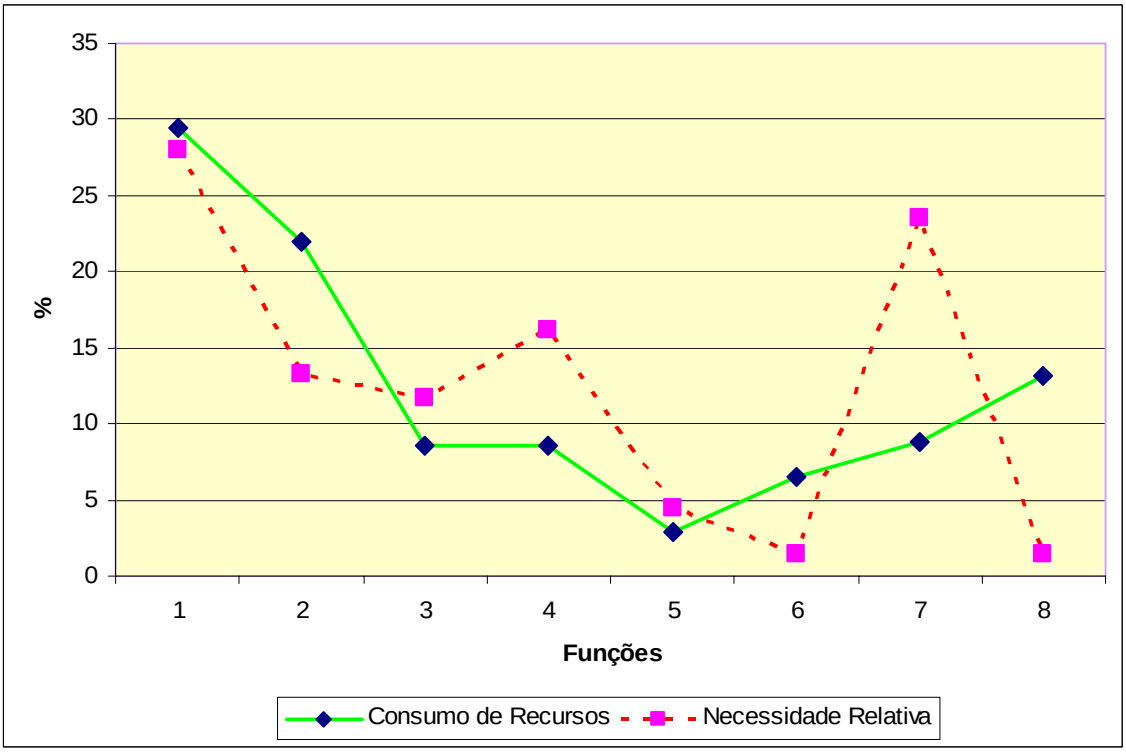


FIGURA 12 - Exemplo de gráfico COMPARE (CSILLAG, 1995).

2.2 – Máquinas CNC

2.2.1 – Considerações

De acordo com COSTA e SCHIO (2004) a crescente globalização da competição exige um processo contínuo de inovação dos sistemas de manufatura, obrigando as empresas a implementar tecnologias inovadoras para manter sua vantagem competitiva. Para os autores, a tecnologia CNC é um destes elementos que recebeu um dos mais altos níveis de investimento nos últimos anos. Segundo eles as empresas investem em máquinas CNC para aumentar sua competitividade através de uma série de melhorias nos processos de produção, incluindo aumento

de flexibilidade, melhoria da qualidade, tempos de ciclo reduzidos e a habilidade de produzir lotes pequenos de maneira econômica.

LEATHAM (1986) considera o CNC como o mais dinâmico processo de fabricação, constituindo um dos maiores desenvolvimentos para a automatização das máquinas operatrizes de usinagem, além de outras aplicações possíveis fora da indústria que utiliza o processo de usinagem.

GROOVER (2000) cita a tecnologia CNC como uma forma de automação flexível, que se dá através de um conjunto ordenado de símbolos, letras e números.

As características de uma máquina CNC são imediatamente reconhecidas pela parte externa (WITTE, 1998). Segundo o autor uma máquina de tornear ou uma máquina de fresar a primeira vista assemelha-se a uma máquina convencional, porém, observando bem, não são encontrados alavancas nem volantes de manejo da máquina, mas sim um painel de controle e um monitor de vídeo.

2.2.2 – Elementos básicos de uma máquina CNC

Segundo GONÇALVES (2006) uma máquina CNC é basicamente dividida em unidade de comando, que é o local onde está armazenado todo o software usado e onde são processados todos os cálculos do sistema; máquina propriamente dita, que é a estrutura; e cadeia cinemática que são os acionamentos e servomecanismos, responsáveis pelo movimento dos eixos.

GROOVER (2000) relata que as máquinas CNC têm uma arquitetura muito próxima das máquinas convencionais, porém auferem grande exatidão de posicionamento, devido à utilização intensiva de componentes de máquina de precisão. Segundo o autor, as guias e parafusos de deslizamento para o

acionamento dos carros, são normalmente substituídos por similares com elementos rolantes. Adicionalmente, a máquina é dotada de sensores que retro-alimentam o posicionamento dos eixos comandados e monitoram o *status* de diversas funções da máquina.

2.2.3 – Componentes

De um modo geral, as máquinas ferramentas são dividias em:

1) Estrutura;
2) Guias;
3) Transmissões mecânicas conversoras;
4) Acionamento;
5) Sensores e fim-de-curso;
6) Eixo-árvore;

2.2.3.1 – Estrutura

Base de máquina tem características que influenciam na qualidade final das peças que estão em processo de usinagem. Características como rigidez estática, dinâmica, estabilidade dimensional e estabilidade térmica são algumas das propriedades básicas esperadas. Junto dessas características, a facilidade de produção, o processo de fabricação e o baixo consumo de materiais são de elevada importância para se obter uma base de baixo custo.

Para o estudo da estrutura da máquina, foram pesquisados materiais habitualmente utilizados como o ferro fundido e aço soldado e alguns materiais

alternativos como concreto polimérico, argamassa armada de cimento hidráulico de alto desempenho e concreto à base de resina epóxi.

Os materiais tradicionalmente utilizados são: ferro fundido e aço. Estes materiais possuem níveis aceitáveis em suas propriedades e oferecem facilidades de moldagem e usinagem apresentando grande precisão. Apresentam-se como desvantagens o baixo amortecimento (aço), grande retração durante o arrefecimento (ferro fundido), elevado custo de energia durante a fundição, alto tempo de produção, custo e necessidade e tratamento anticorrosivo (aço e ferro fundido).

A partir da década de 70 foram propostos alguns materiais alternativos como o concreto armado (HEITMANN & VENKATRAMAN, 1970), o granito sintético (KOBLISCHEK, 1978), o concreto polimérico e posteriormente a argamassa reforçada com fibras (CHUA *et al.*, 1987).

A substituição dos materiais tradicionais pelo concreto à base de epóxi misturado com granito, na fabricação de bases de máquinas-ferramenta, foi também feita por KREIENBÜHL (1991). Foi verificado que o processo de produção da peça de concreto polimérico apresentou um custo 30 % menor que o da base de ferro fundido. A capacidade de amortecimento do granito epóxico foi de 8 a 10 vezes maior que do ferro fundido e aço soldado. Em conseqüência da maior capacidade de amortecimento do material polimérico, verificou-se melhor qualidade das superfícies usinadas e aumento de 30% no tempo de vida útil da máquina-ferramenta. Segundo KREIENBÜHL (1991) as bases devem absorver as vibrações geradas pelas máquinas ou aquelas induzidas por fontes externas. A estabilidade dinâmica dos componentes das máquinas não é determinada pelas suas resistências e massas, mas pela razão rigidez-peso. As bases de concreto polimérico apresentam maior relação rigidez-peso quando comparadas com as de ferro fundido, permitindo que as

máquinas-ferramenta produzam peças com maior grau de precisão e repetibilidade. Além das vantagens apresentadas, a energia consumida pelo material concreto polimérico representa 1/5 do valor requerido para o ferro fundido (KREIENBÜHL,1991).

A tabela 4 mostra a freqüência natural dos materiais e a tabela 5 mostra o fator de amortecimento dos materiais. Essas tabelas foram montadas seguindo resultados obtidos LINTZ (2003). Entre os diversos tipos de materiais ensaiados e comparados pela autora, verificaram-se alguns resultados encontrados.

TABELA 4 - Freqüência natural dos materiais.

Modos	**Freqüência Natural (Hz)**			
	Ferro Fundido	**Aço**	**Concreto**	**Argamassa**
Flexão	269,437	387,773	237,639	327,833
Torção	401,887	599,917	279,510	474,453

TABELA 5 - Fator de amortecimento dos materiais.

Modos	**Fator de amortecimento Modal (%)**			
	Ferro Fundido	**Aço**	**Concreto**	**Argamassa**
Flexão	0,458	0,344	0,526	0,586
Torção	0,767	0,936	0,793	0,788

2.2.3.2 - Guias de movimento

As guias de movimento são utilizadas para definir os graus de liberdade onde se deseja movimento. Guias de movimentos de translação são chamadas de guias lineares e as guias para movimento de rotação são chamadas de mancais rotativos.

Segundo LICHTBLAU (1989), os principais requisitos para o projeto de guias são de caráter estático e podem ser resumidos da seguinte forma:

- elevada precisão dimensional e de forma macrogeométrica;
- elevada rigidez (guias e suportes)
- baixo coeficiente de atrito.

MONTANARI (1999) relata que o atrito é um parâmetro que além de influenciar sobre o comportamento estático do posicionador também tem grande influência sobre o seu comportamento dinâmico. Segundo a autora, para estabelecer a sua influência sobre o comportamento dinâmico, não basta conhecer o seu valor estático, mas é necessário também conhecer o comportamento ao longo de toda a faixa de velocidades de movimento na guia.

Existem diversos tipos de construções para guias. Elas são classificadas pela forma que se dá o contato entre o elemento fixo e o elemento móvel da guia.

Nas guias de deslizamento existe teoricamente um contato de superfícies sólidas, que, como o próprio nome sugere, deslizam uma em relação à outra. Nas guias de rolamento há corpos de revolução (esferas, cilindros etc.) entre o elemento fixo e móvel. O contato é teoricamente pontual ou em forma de uma linha, e o atrito é de rolamento e não de escorregamento. Nas guias fluídicas um fluido a alta pressão é injetado em bolsões ou em uma ranhura entre as superfícies de guia do elemento fixo e do elemento móvel. Estes deslizam sobre o filme fluídico que se

estabelece, e, portanto, não há contato metal-metal. O atrito é do tipo fluido-viscoso. As guias de molas flexíveis são construídas por elementos de translação entre o carro e o suporte com alta precisão. Estes elementos elásticos atuam de maneira semelhante a uma mola, ou seja, através de sua deformação e flexibilidade, permitem pequenos deslocamentos lineares do carro da guia. Em função desta analogia, estas guias são conhecidas como guias de molas ou ainda guias elásticas (MONTANARI, 1999).

A tabela 6 apresenta uma comparação técnica entre os diversos tipos de guias empregadas em instrumentos de mecânica de precisão (HÖNHE, 1990ª; SLOCUM, 1992).

TABELA 6 - Comparação entre guias de precisão (HÖNHE, 1990a; SLOCUM, 1992).

	Guias de Deslizamento	**Guias de Rolamento**	**Guias de Molas flexiveis**	**Guias Aerostáticas**	**Guias Hidrostáticas**
Resolução (µm)	2 a 10	0,1 a 1	<0,01	<0,01	<0,01
Precisão (µm)	±1 a ±10	±1 a ±5	<±0,01	<±0,01	<±0,01
Rigidez (N/µm)	<0,25	1 a 2	Pequena	10	<10
Custo (US$)	<1000	100a 5000	<500	650 a 2000	>1000
Atrito (µ)	0,5 a 2 Aço/aço	<0,005	Sem	Desprezível	Desprezível
Stick-slip	Ocorre	Desprezível	Não ocorre	Não ocorre	Não ocorre
Amortecimento	Alto	médio	Pequeno	Pequeno	Pequeno
Folgas	Pequenas	Pequenas	Sem	Sem	Sem

2.2.3.3 - Transmissões mecânicas conversoras

Esse grupo de componentes mecânicos foi denominado de transmissões mecânicas conversoras porque sua função é a de realizar a interface entre sistema mecânico de translação e o sistema mecânico de rotação, convertendo as

grandezas físicas de um sistema, nas correspondentes grandezas do outro sistema (MONTANARI,1999).

Segundo LICHTBLAU (1989), os requisitos dinâmicos que devem orientar o projeto e a seleção de transmissões conversoras são:

- rigidez elevada, na medida da rigidez dos demais componentes mecânicos;
- inércia e massas tão reduzidas quanto possível;
- folgas tão reduzida quanto possível;

A tabela 7 mostra as propriedades de diferentes sistemas de fusos para aplicações mecânicas (WECK *et al.*, 1998).

TABELA 7 - Propriedades de sistemas de fusos (WECK et al., 1998).

Características de sistemas de fusos para aplicações de precisão	**Sistema de fuso aerostático**	**Sistema de fuso hidrostático**	**Sistema de fuso de elementos rolantes**
Capacidade de carga	3	5	5
Desgaste	5	5	4
Rigidez axial estática	3	5	5
Rigidez radial estática	3	4	5
Comportamento dinâmico	4	5	3
Velocidade do fuso	4	2	4
Custo	3	2	5

Muito bom – 5; Bom – 4; Médio – 3; Regular – 2; Ruim – 1

Segundo SHIGLEY (2005) para transmissão de movimentos pode-se utilizar correias sincronizadas. Outros sistemas utilizados são por roda de atrito, cremalheira e fuso com rosca trapezoidal.

2.2.3.4 - Acionamento

Segundo MONTANARI (1999), o sistema mais utilizado no acionamento de posicionadores nas máquinas operatrizes CNC é aquele constituído por um servomotor rotativo acoplado a um conjunto fuso/castanha de esferas recirculantes, através de um elemento flexível para a absorção de desalinhamento. De acordo com a autora, vários tipos de servomotores podem ser enumerados e, considerando o tipo de movimento mecânico resultante, os servoacionamentos podem ser classificados em servomotores rotativos e lineares ou de translação de acordo com o esquema exposto na figura 13.

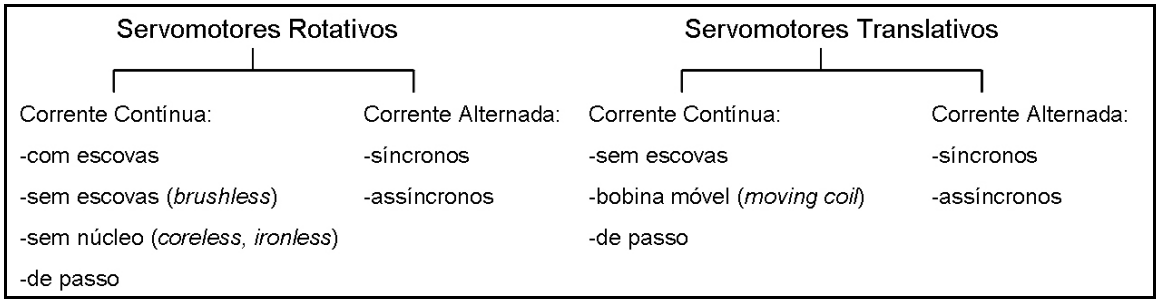


FIGURA 13 - Classificação de servomotores segundo MONTANARI (1999).

2.2.3.5 – Sensores e chaves fim-de-curso

Para o fim-de-curso pode-se optar por chaves de fim-de-curso ou sensores. Segundo FIALHO (2003) chave limitadora de curso ou *Micro-switch* é um dispositivo tipo chave impulso (só permanece acionado enquanto houver uma força incidindo sobre ele) que quando acionada pode agir da mesma forma que um pressostato. Segundo o autor é comumente utilizado como fim-de-curso.

FIALHO (2003) cita que sensores são dispositivos eletrônicos ou eletromecânicos destinados a monitorar variáveis de processo, fornecendo informações por meio de impulsos elétricos ou variação de intensidade de um sinal. Podem ser divididos em sensores de proximidade, classificando-se em indutivos e capacitivos e sensores ópticos, classificando-se em por reflexão e interrupção (FIALHO, 2003).

2.2.3.6 – Eixo-árvore

Eixo-árvore tem como objetivo transmitir potência para a operação de corte. Segundo FELISBERTO (1994) o eixo-árvore de uma fresadora é o principal eixo da máquina, pois sustenta a ferramenta. Ele cita que de acordo com a orientação do eixo-árvore em relação à superfície da mesa de trabalho, é possível classificar os tipos de fresadora. De acordo com o autor, máquinas de fresar horizontais são aquelas cujo eixo-árvore ocupa uma posição paralela à superfície da mesa; máquinas de fresar verticais são aquelas cujo eixo-árvore é perpendicular à superfície da mesa; máquinas de fresar horizontais e verticais são dotadas de eixos na posição perpendicular e paralela e máquinas de fresar universais apresentam possibilidades de configurações maiores.

GARCIA (1999) cita que o eixo-árvore, os flanges de acionamento (que ligam o cabeçote ao sistema de acionamento) e o suporte (que prende a peça-obra ao cabeçote) são elementos tradicionais utilizados em quase todos os tipos de máquinas.

Segundo WITTE (1998) o tipo de rolamento e maneira que é montado influi diretamente na precisão do eixo-árvore. De acordo com o autor, os rolamentos

próprios para construções radiais são os rolamentos radiais de esferas, rolamentos cônicos de esferas e rolamentos de rolos cilíndricos e para construções axiais os rolamentos próprios são os rolamentos axiais de esferas (rotação normal, aproximado 8000rpm dependendo do diâmetro do rolamento) e rolamentos de esferas com contato angular (altas rotações, aproximadamente 20000rpm dependendo do diâmetro do rolamento).

3 – METODOLOGIA: Seleção dos principais elementos que constituem a fresadora CNC de baixo custo

Dentre as diversas opções para cada um dos itens da máquina (estrutura, guias, transmissões, acionamento, fim-de-curso e eixo-árvore), a seleção das mais adequadas à proposta do presente estudo, foi feita por meio do método de combinação de variantes descrita no item 2.1.4. A seqüência e o levantamento das variantes definidas para cada item foram realizados seguindo as etapas sugeridas por HONHE (1990b), segundo a figura 9.

Foram definidos valores para os fatores de importância a cada um dos critérios avaliados, sendo que estes variaram de 5 (maior importância) a 1 (menor importância).

Os critérios custo, facilidade de fabricação, facilidade de montagem e itens comerciais foram avaliados em todos os itens da máquina. O critério custo é o fator principal e, portanto, terá o valor de importância máximo (5). Em geral, a facilidade de fabricação e montagem são itens importantes e receberão valores máximos de 4. A facilidade de encontrar itens prontos no mercado também foi avaliada e este critério recebeu valores máximos de 3. Vale ressaltar que os valores destes critérios refletem seu grau de importância para os itens da máquina. Além destes, cada item apresentou outros critérios específicos.

Após a aplicação do método de combinação de variantes foi aplicado o método de análise morfológica (item 2.1.5). Com essa técnica foram selecionados detalhes específicos de cada item escolhido anteriormente possibilitando o posterior modelamento em 3D da fresadora.

Com o projeto virtual da fresadora, foi realizado o levantamento de custo. Após este levantamento e aplicando-se a técnica COMPARE como descrito em 2.1.6.3, foram identificadas funções que requerem estudos minuciosos para que o custo seja o mais atraente possível.

3.1 – Seleção da Estrutura

Para a seleção dos materiais e do tipo de estrutura, foram analisados e levantados os tipos de estrutura da tabela 8 para verificação da utilização na fresadora. As possíveis alternativas, assim como novas soluções, foram discutidas e analisadas para avaliar a possível estrutura a ser utilizada. A figura 14 mostra possível solução para a estrutura usando perfis de alumínio comercial. A figura 15 ilustra algumas formas de bases mais tradicionais.

TABELA 8 - Tipos de estruturas para utilização na fresadora CNC.

Sistema	Estrutura
1	Perfil de alumínio Comercial
2	Concreto Armado
3	Estrutura Fundida
4	Estrutura Soldada
5	Granito Sintético

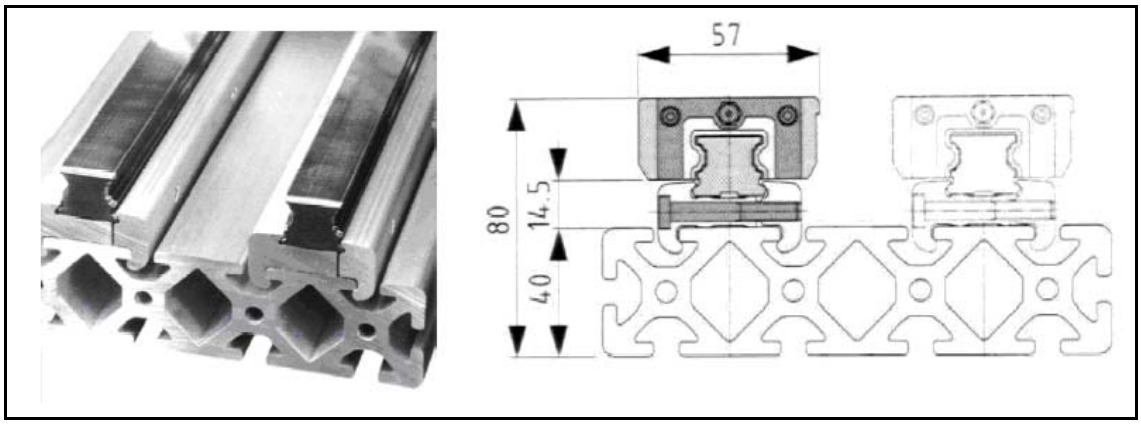


FIGURA 14 - Perfil de alumínio comercial (PRODROMUS, 2005).

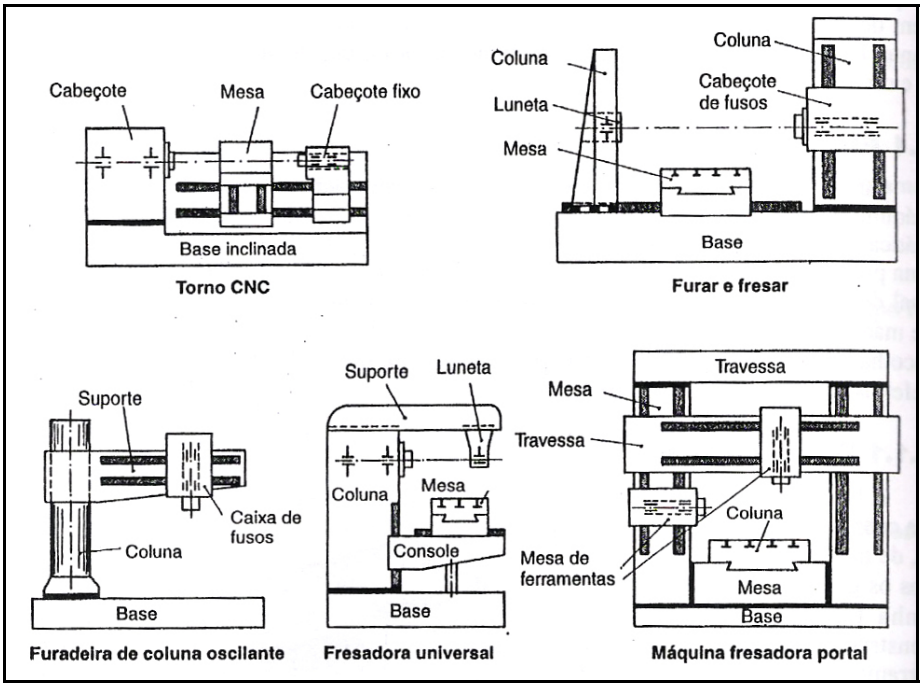


FIGURA 15 - Tipos de bases de máquinas (WITTE, 1998).

Os critérios de avaliação e seus respectivos fatores de importância analisados para a estrutura estão resumidos na tabela 9. A tabela 10 ilustra o processo de análise que leva ao valor global.

TABELA 9 – Critérios de avaliação e seus fatores de importância para a estrutura.

Número	**Critérios de avaliação**	**Fatores de importância Wi**
1	Custo	5
2	Facilidade de Montagem	4
3	Facilidade de Fabricação	4
4	Rigidez estática e dinâmica	4
5	Itens Comerciais	3
6	Precisão	2
7	Capacidade de Carga	2
8	Velocidade	2
	Total	**26**

Além dos critérios de maior importância, conforme descrito anteriormente, o critério precisão foi considerado como sendo o quanto é precisa esta base após produzi-la. Por outro lado, a capacidade de carga e velocidades limites que se consegue com a base são itens que não são de grande importância para uma máquina didática.

TABELA 10 - Determinação do valor global da estrutura da fresadora.

Número	**Variante**									
	1 (v1)		2 (v2)		3 (v3)		4 (v4)		5 (v5)	
	V1	WixV1	V2	WixV2	V3	WixV3	V4	WixV4	V5	WixV5
1	5	25	5	25	2	10	2	10	3	15
2	5	20	4	16	5	20	4	16	5	20
3	5	20	4	16	3	12	3	12	5	20
4	3	12	4	16	4	16	4	16	5	20
5	5	15	3	9	3	9	3	9	2	6
6	5	10	3	6	5	10	5	10	5	10
7	3	6	4	8	5	10	5	10	5	10
8	3	6	4	8	5	10	5	10	5	10
Somatória	114		104		97		93		111	
Valor Global	**0,877**		0,800		0,746		0,715		0,854	

Verifica-se, através do valor global, observado na tabela 10 que o elemento que mais se adequa ao projeto é o sistema 1. Deste modo, a princípio, o sistema 1 (perfis de alumínio comerciais) será selecionado para compor a estrutura da máquina.

Este tipo de estrutura em máquinas ferramentas não é comum, mas é muito utilizado nas indústrias como estruturas de máquinas especiais e dispositivos. Por se tratar de uma máquina para fins didáticos é uma seleção que pode se adequar perfeitamente para a máquina. O custo deste tipo de perfil não é alto, a facilidade de montagem é excelente e muitos distribuidores fornecem esse material cortado na medida com grande precisão. Alguns fornecedores disponibilizam montada a estrutura sem muita diferença no preço final.

Para a escolha da definição de detalhes mais específicos da estrutura, como por exemplo, tipo de acabamento, fixação das guias e motores, foi utilizada a análise

morfológica (item 2.1.5). A tabela 11 mostra as variáveis analisadas, as possíveis soluções e a solução adotada.

TABELA 11 - Análise morfológica para a estrutura

Variáveis	**Classes**		
	1	2	3
Tipo de fixação	Engate rápido	Parafusos	Postiço de aço
Tipo de base	Próprio perfil	Chapa de aço	Postiço de aço
Acabamento	Pintura	Sem	Anodizado
Tipo de pé de apoio	Borracha	Chumbado	Rígido

Após a análise morfológica, a solução adotada para a construção da estrutura da fresadora CNC será a utilização de perfis de alumínio comerciais fixados através de engates rápidos, que são práticos e rápidos para a montagem e já podem ser adquiridos no próprio fornecedor dos perfis de alumínio. Para a fixação das guias e motores será utilizada uma chapa de apoio para todo o sistema, pois permite a usinagem de uma única peça contendo as características necessárias para as fixações e facilitando assim a montagem do conjunto. O acabamento final será uma pintura da estrutura e para a sustentação será utilizado pé de borracha para possibilitar o transporte da máquina e compensar possíveis irregularidades do chão ou bancada.

3.2 – Seleção das Guias

Para a seleção do tipo de guia, foram estudados e levantados os tipos de guias mais comuns para máquinas, os quais estão resumidos na tabela 12. As figuras 16a e 16c ilustram guias lineares com suportes e a figura 16b a guia linear. A figura 17 mostra guias lineares de rolamento. Na figura 18 observa-se exemplo de guia hidrostática. A figura 19a ilustra guia em V de rolamento e a figura 19b guia rabo de andorinha.

TABELA 12 - Tipos de guias para máquinas.

Sistema	Guias
1	Guia em V de rolamento (figura 18a)
2	Guia linear cilíndrica (figura 15b)
3	Guias lineares de rolamento (figura 16)
4	Eixo Linear com suporte (figura 15a e 15c)
5	Guia hidrostática (figura 17)
6	Guia rabo de andorinha (figura 18b)

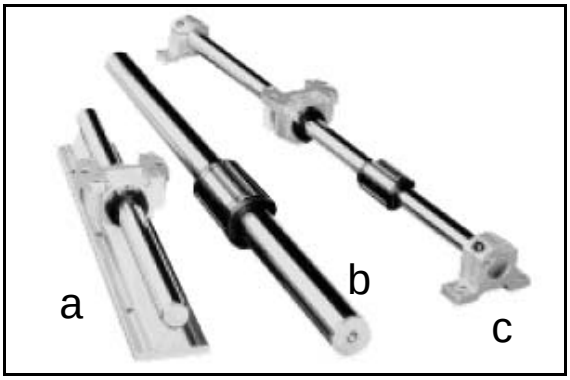


FIGURA 16 - Eixo linear e acessórios (SKF, 2003).

FIGURA 17 - Guias lineares de rolamento (NSK, 2000).

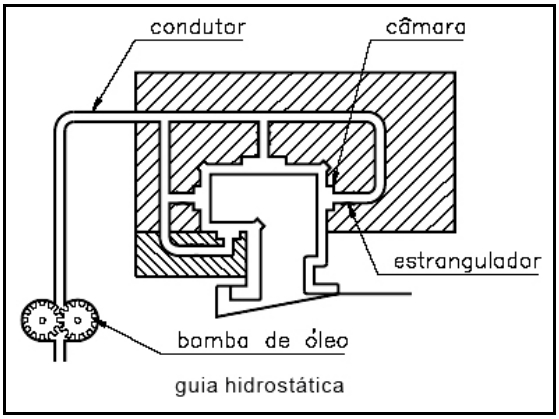


FIGURA 18 - Guia hidrostática (FERREIRA e GORDO, 1996).

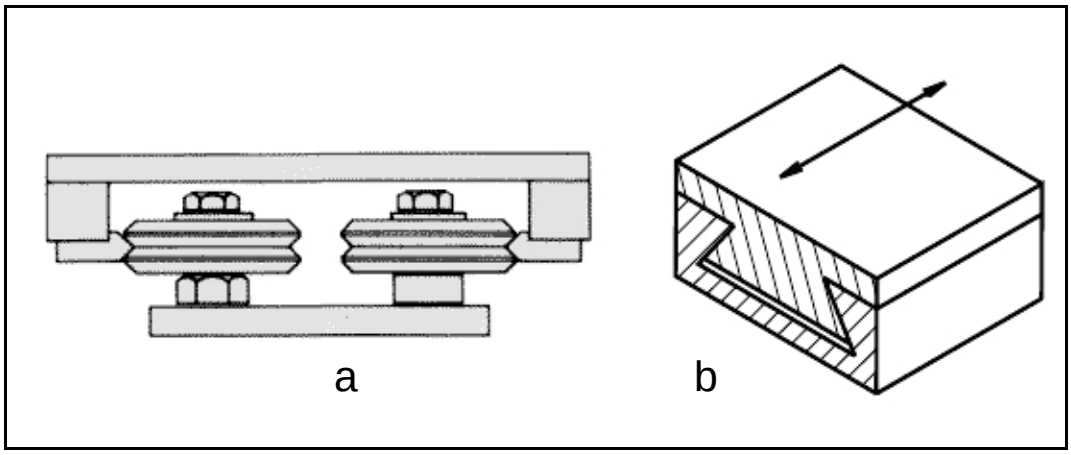


FIGURA 19 - Guia tipo V de rolamento e rabo de andorinha, respectivamente (COBRASMAM, 2008; FERREIRA & GORDO, 1996).

Na tabela 13 estão apresentados os critérios de avaliação e os fatores de importância usados. Com a análise chegou-se aos valores globais para cada sistema estudado (tabela 14).

TABELA 13 - Critérios de avaliação e fatores de importância para guias.

Número	**Critérios de avaliação**	**Fator de importância Wi**
1	Custo	5
2	Facilidade de Montagem	4
3	Facilidade de Fabricação	4
4	Itens Comerciais	3
5	Precisão	3
6	Cursos	2
7	Capacidade de Carga	2
8	Velocidade	2
	Total	**25**

Neste item os critérios cursos, capacidade de carga, e velocidades que se consegue com as guias são itens que não agregam valores ao produto final esperado.

TABELA 14 - Determinação do valor global da guia da máquina.

Número	**Variante**											
	1 (v1)		2 (v2)		3 (v3)		4 (v4)		5 (v5)		6 (V6)	
	V1	WixV1	V2	WixV2	V3	WixV3	V4	WixV4	V5	WixV5	V6	WixV6
1	3	15	5	25	4	20	3	15	1	5	4	20
2	4	16	3	12	5	20	4	16	1	4	3	12
3	4	16	4	16	4	16	4	16	1	4	3	12
4	4	12	4	12	4	12	5	15	1	3	2	6
5	3	9	4	12	4	12	4	12	5	15	2	6
6	4	8	4	8	4	8	4	8	4	8	3	6
7	3	6	4	8	4	8	4	8	5	10	3	6
8	2	4	3	6	4	8	3	6	3	6	3	6
Somatória	86		99		104		96		55		74	
Valor Global	0,688		0,792		**0,832**		0,768		0,44		0,592	

Observando os valores globais da tabela 14, verifica-se que o tipo de guia que melhor se adapta ao conceito da fresadora proposto é o sistema 3, guia linear de rolamento.

Analisando a tabela 14, o sistema 5, mancal hidrostático, praticamente tem a metade do valor global do sistema 3. Isto deve-se ao tipo de máquina que está sendo analisada. Por se tratar de uma máquina para fins didáticos, um mancal hidrostático não seria nada interessante e o custo do mancal já seria muito maior que o custo da máquina inteira.

O sistema 3 de guias selecionado é de fácil aquisição, custo baixo, fácil montagem e são de fácil fabricação seus alojamentos e suportes. O sistema 2 ficou muito próximo do sistema 3, tendo quase as mesmas propriedades. É um sistema de custo mais baixo, mas sua dificuldade de montagem foi decisiva para a seleção do sistema 3.

A seleção do tipo de guia utilizada assim como suas principais características foi realizada de acordo com a análise morfológica da tabela 15.

TABELA 15 - Análise morfológica para as guias.

Variáveis	**Classes**		
	1	2	3
Material	Aço	Aço Inox	
Largura do trilho	Largo	Normal	Miniatura
Erro do Paralelismo	Minimizado	Normal	Maximizado
Pré-carga	Leve	Média	Pesada

Realizada a análise morfológica para as guias, a solução adotada mais específica é a utilização de guias de aço com largura normal. O erro de paralelismo das guias selecionadas será normal. Para a montagem das guias será utilizada uma pré-carga de valor médio.

3.3 – Seleção das transmissões mecânicas conversoras

Para a escolha do sistema de transmissão mecânica foram estudados sistemas utilizados para a movimentação de carros e conjuntos e foram selecionados os mais comumente usados. Eles estão detalhados na tabela 16. Na figura 20 tem-se um exemplo utilizando engrenagem e cremalheira para a transmissão mecânica. A figura 21 ilustra a transmissão por fuso de esferas. É mostrada na figura 22 a utilização de correias sincronizadas para a movimentação dos carros. A figura 23 ilustrada um sistema utilizando rosca trapezoidal com mecanismo anti-folga.

TABELA 16 - Sistemas de transmissão mecânica conversora.

Sistema	Tipo de Transmissão
1	Engrenagem/Cremalheira
2	Fuso de Esfera
3	Correia Sincronizada
4	Fuso Rosca Trapezoidal

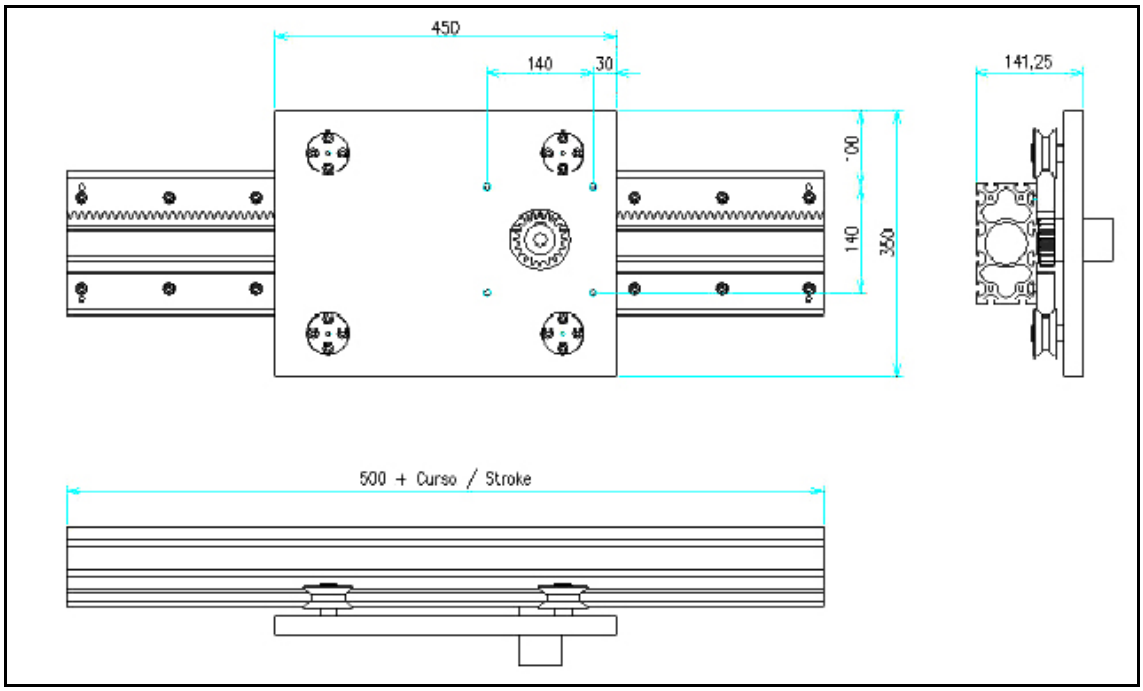


FIGURA 20 - Transmissão mecânica utilizando cremalheira (PRODROMUS, 2005).

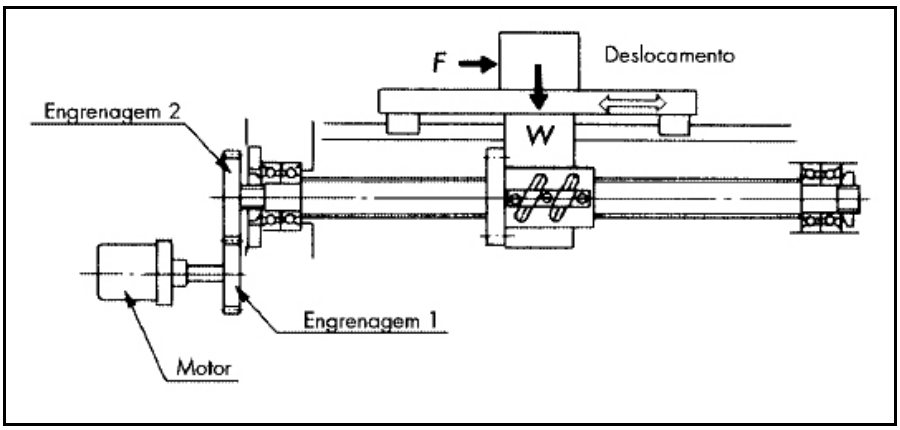


FIGURA 21 - Transmissão por fuso de esfera (NSK, 2000).

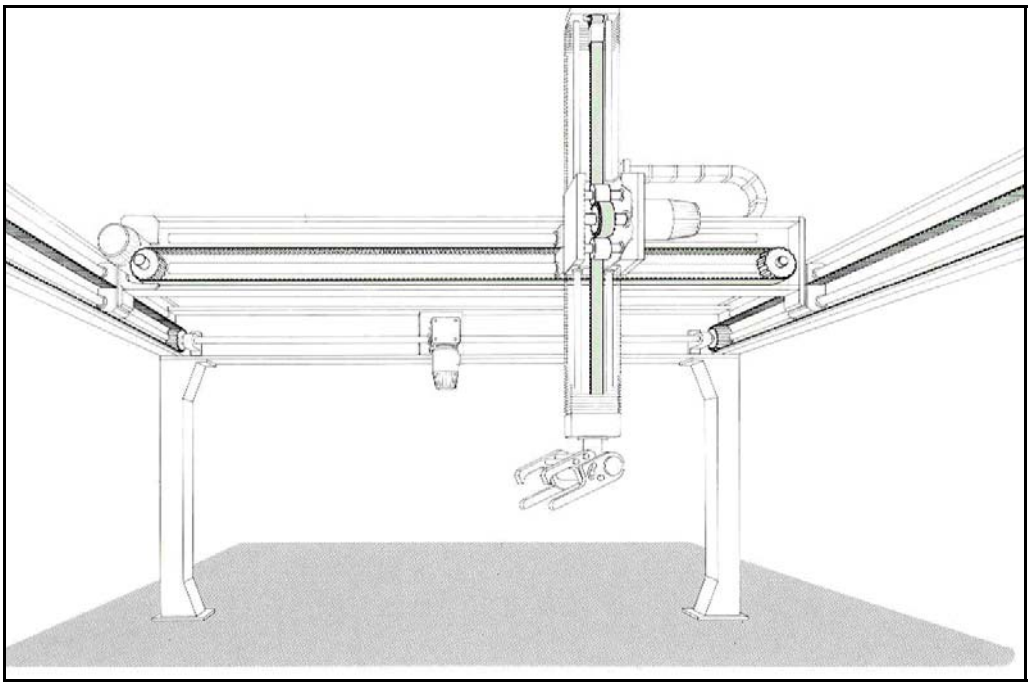


FIGURA 22 - Transmissão por correias sincronizadas (BRECOFLEX, 2002).

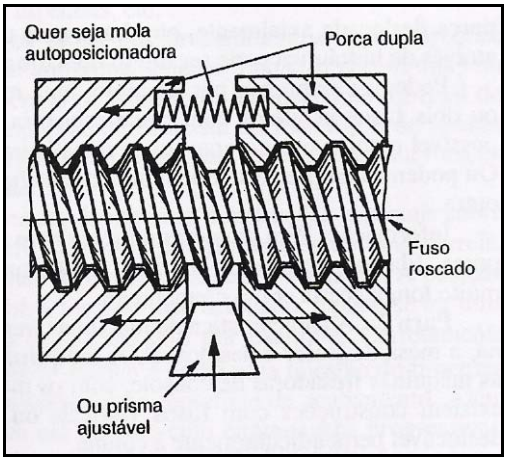


FIGURA 23 - Transmissão por rosca trapezoidal com mecanismo anti-folga (WITTE, 1998).

Os critérios de avaliação e os fatores de importância definidos para o sistema de transmissão estão expostos na tabela 17. Após a aplicação da análise, os valores globais foram calculados e organizados na tabela 18.

TABELA 17 - Critérios de avaliação e fatores de importância para transmissões.

Número	**Critérios de avaliação**	**Fator de importância Wi**
1	Custo	5
2	Facilidade de Montagem	4
3	Facilidade de Fabricação	4
4	Itens Comerciais	3
5	Precisão	3
6	Cursos	2
7	Capacidade de Carga	2
8	Velocidade	2
	Total	**25**

No caso das transmissões, precisão, cursos, capacidade de carga e velocidade são critérios que não influenciam o objetivo principal do produto.

TABELA 18 - Valor global de cada sistema de transmissão.

Número	**Variante**							
	1 (v1)		2 (v2)		3 (v3)		4 (v4)	
	V1	WixV1	V2	WixV2	V3	WixV3	V4	WixV4
1	4	20	3	15	5	25	4	20
2	3	12	5	20	3	12	5	20
3	3	12	5	20	3	12	5	20
4	3	9	5	15	4	12	4	12
5	2	6	5	15	4	12	4	12
6	5	10	3	6	4	8	3	6
7	4	8	4	8	3	6	2	4
8	4	8	2	4	4	8	2	4
Somatória		85		103		95		98
Valor Global		0,68		**0,824**		0,76		0,784

Analisando o valor global de cada sistema de transmissão, o sistema 2, fuso de esferas, é o que melhor se adapta para a fresadora. Este sistema é de excelente precisão e de fácil montagem. É um sistema que se encontra no mercado com diversas configurações e muitos com pronta entrega. O fuso pode ser fornecido com as usinagens necessárias de acordo com um desenho mecânico evitando-se um trabalho interno e transferindo a responsabilidade para o fornecedor. O custo, embora inicialmente pareça alto, não mudará muito, pois os fornecedores já possuem a experiência necessária na usinagem de possíveis detalhes.

Para a análise morfológica das características do fuso de esferas, incluíram-se o tipo material para o fuso, tipos possíveis de fixação, processo de produção e tipo de recirculação das esferas na castanha. A tabela 19 mostra as características analisadas e selecionadas.

TABELA 19 - Análise morfológica para o fuso de esferas.

Variáveis	**Classes**		
	1	2	3
Material	Aço	Aço Inox	
Tipo de fixações	Flange	Rosca	Quadrada
Processo de fabricação	Retificado	Laminado	
Tipo de recirculação	Tubo externo	Defletor	“End Cap”
Pré-carga	Não	Sim, com castanha dupla	Sim, com castanha única

Realizada a análise morfológica para o fuso de esfera recirculantes e a solução adotada mais especifica será a utilização um fuso de aço laminado e uma castanha com flange para a fixação. A castanha será com recirculação de esferas por tubo externo.

3.4 – Seleção do acionamento

Os possíveis sistemas de motores que serão utilizados na fresadora foram estudados, analisados e resumidos na tabela 20. A figura 24 ilustra um motor de passo como possível solução de acionamento. A figura 25 mostra um servomotor como opção de acionamento para os carros. Na figura 26 é apresentada uma solução utilizando motor simples de corrente contínua com encoder rotativo para posicionamento dos eixos. Já a figura 27 representa uma solução com motor e encoder linear para localização dos carros.

Não foi considerada a utilização de motores lineares devido ao seu alto custo, limitação de tamanho e a dificuldade de encontrá-los no mercado.

TABELA 20 - Sistemas de motores para posicionamento.

Sistema	**Motorização**
1	Motor de passo
2	Motor e encoder rotativo
3	Motor e encoder linear
4	Servo Motor

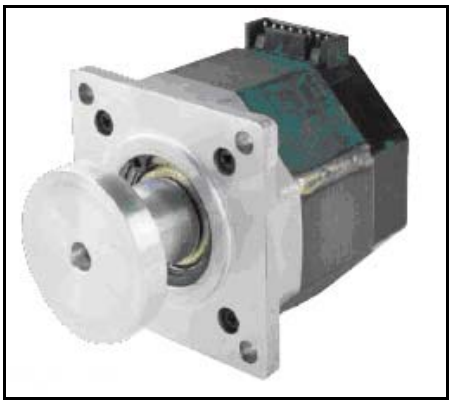


FIGURA 24 - Motor de passo (GE, 2000).

FIGURA 25 - Servomotor (GE, 2000).

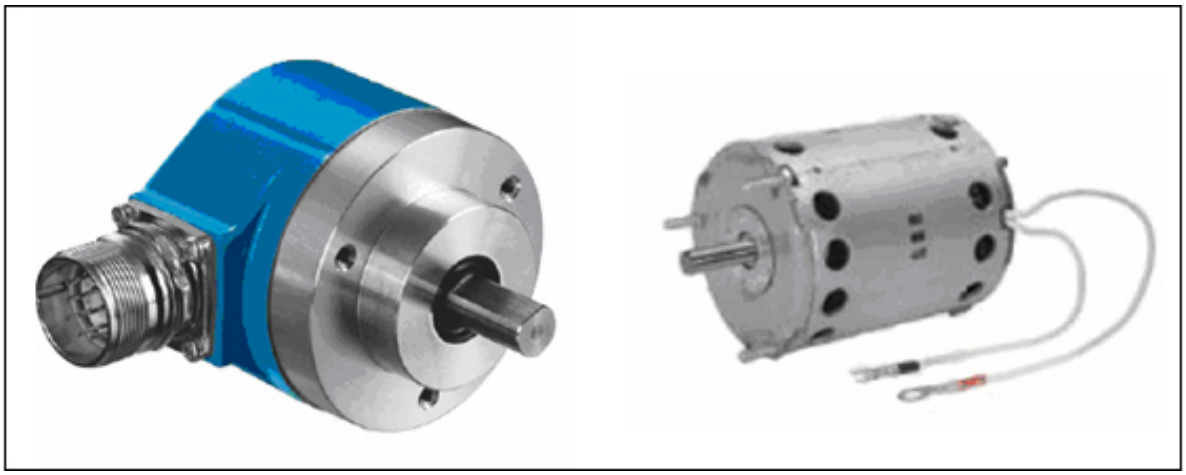


FIGURA 26 - Encoder rotativo e motor (SICK, 2006 e BOSCH, 2004).

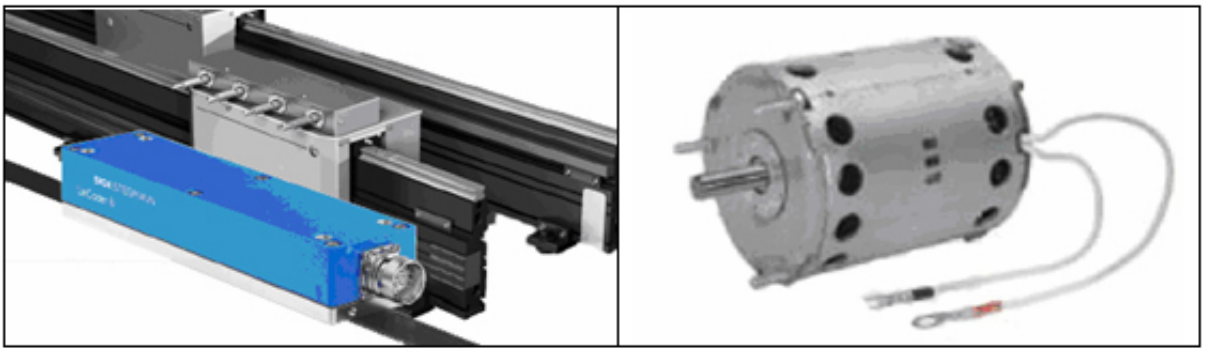


FIGURA 27 - Encoder linear e motor (SICK, 2007 e BOSCH, 2004).

A tabela 21 apresenta os critérios de avaliação e os fatores de importância utilizados na análise dos motores. Com a análise os valores globais foram gerados para cada sistema estudado (tabela 22).

TABELA 21 - Critérios de avaliação e fatores de importância para os motores.

Número	**Critérios de avaliação**	**Fator de importância Wi**
1	Custo	5
2	Facilidade de Montagem	4
3	Facilidade de Fabricação	4
4	Itens Comerciais	3
5	Precisão	3
6	Cursos	2
7	Capacidade de Carga	2
8	Velocidade	2
	Total	**25**

Para os motores, os critérios cursos, capacidade de carga e velocidades não são importantes e receberam notas menores.

TABELA 22 - Valor global para cada sistema de motor.

Número	**Variante**							
	1 (v1)		2 (v2)		3 (v3)		4 (v4)	
	V1	WixV1	V2	WixV2	V3	WixV3	V4	WixV4
1	5	25	5	25	4	20	1	5
2	5	20	3	12	3	12	5	20
3	5	20	3	12	3	12	5	20
4	5	15	4	12	4	12	5	15
5	4	12	4	12	5	15	4	12
6	5	10	5	10	5	10	5	10
7	3	6	3	6	3	6	5	10
8	3	6	4	8	4	8	5	10
Somatória	114		97		95		102	
Valor Global	**0,912**		0,776		0,76		0,816	

Analisando os valores globais dos sistemas de motor de posicionamento, verifica-se que o sistema 1, motor de passo, é o que melhor representa uma solução. Isto se deve ao custo e principalmente à facilidade de montagem e fabricação, pois com apenas alguns elementos de fixação já é possível adaptar o motor na estrutura, pois, um servomotor seu custo é incompatível com a fresadora proposta e os sistemas onde são usados encoderes a dificuldade de montagem e número de peças necessárias para a adaptação se torna inviável.

Outro fator que pesou para a solução adotada utilizando motor de passo para o acionamento dos eixos é sua facilidade de controle por malha aberta. Assim, utilizando *drivers* de controle simples e com custo baixo é possível realizar o controle dos eixos.

A análise morfológica para o motor foi realizada com o intuito de selecionar uma maneira de fixação do motor à base da máquina, a transmissão do eixo do

motor para o eixo do fuso, materiais de fixação e dos elementos de transmissão. As características estudadas e a análise morfológica estão detalhadas na tabela 23.

TABELA 23 - Análise morfológica para o motor de passo.

Variáveis	**Classes**		
	1	2	3
Fixação motor na base	Flange	Caixa	Na estrutura
Transmissão eixo motor para o fuso	Acoplamento sem folga	Correia e polia sincronizada	Rígido
Materiais da fixação	Alumínio	Aço	Fofo
Materiais da transmissão	Alumínio	Aço	Fofo

Realizada a análise morfológica para o motor de passo, a solução adotada mais específica será a utilização de um flange para a fixação do motor na base, pois, é uma forma simples de fabricação e montagem. Correia e polia sincronizada será utilizada para a transmissão do eixo do motor para o fuso, podendo assim, compensar os erros de alinhamento entre os eixos. Os materiais do flange e das polias sincronizadas serão de alumínio.

3.5 – Seleção do sensor e fim-de-curso

Para o zeramento dos eixos da máquina e detecção de fim-de-curso, foram analisados os possíveis sistemas para a realização desta tarefa. Os sistemas analisados são resumidos na tabela 24. A figura 28 ilustra sensores capacitivos que podem ser utilizados como fim de curso. Na figura 29 é ilustrada uma solução

utilizando sensores indutivos e a figura 30 sensor óptico como uma forma de fim-de-curso. A figura 31 mostra exemplo de chave mecânica para aplicação.

TABELA 24 - Sistemas de fim-de-curso e zeramento.

Sistema	**Home**
1	Sensor indutivo
2	Sensor óptico
3	Sensor capacitivo
4	Chave fim-de-curso mecânica

FIGURA 28 - Sensores capacitivos (ALLEN-BRADLEY, 2001).

Sensores capacitivos: custo > US$ 900,00; distância de medição ±0,13mm; vida pode ser infinita (SLOCUM, 1992).

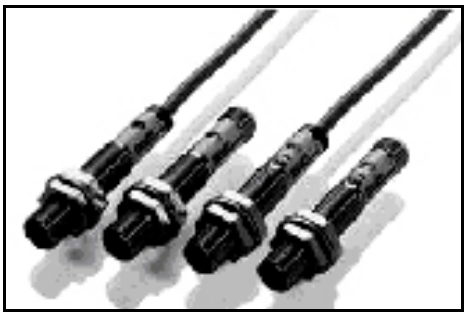


FIGURA 29 - Sensor indutivo (BALLUFF, 1997).

Sensores indutivos: custo a partir de US$ 20,00; distância de medição 0,8 a 60mm; vida pode ser infinita (SLOCUM, 1992).

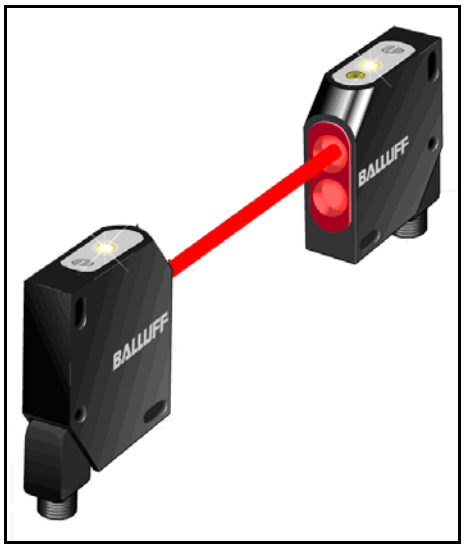


FIGURA 30 - Sensor óptico (BALLUFF, 1997).

Sensores ópticos: a partir de US$ 2,00; distância de medição até 30m; vida pode ser infinita (SLOCUM, 1992).

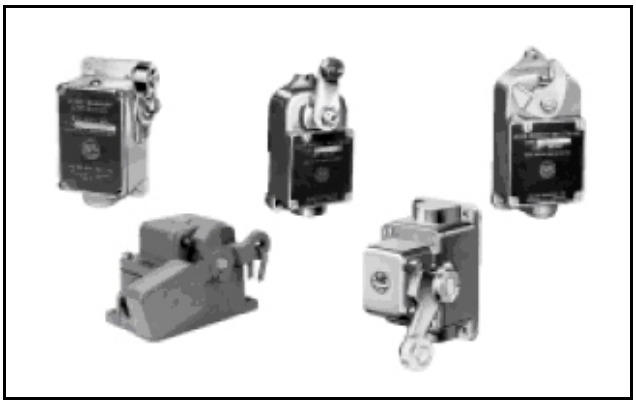


FIGURA 31 - Chave fim-de-curso (ALLEN-BRADLEY, 1997).

Chave fim-de-curso; pode ser encontrada por menos de US$1,00 (SLOCUM, 1992). Não são destinadas a altas velocidades (SLOCUM, 1992). Podem ser encontradas com vida de até 10 milhões de ciclos (ALLEY-BRADLEY, 1997).

A tabela 25 mostra os critérios de avaliação e os fatores de importância utilizados na seleção dos sensores e fim de curso, sendo que seus valores globais foram calculados conforme a tabela 26.

TABELA 25 - Critérios de avaliação e fatores de importância para o fim-de-curso.

Número	**Critérios de avaliação**	**Fatore de importância Wi**
1	Custo	5
2	Facilidade Montagem	4
3	Facilidade Fabricação	4
4	Itens Comerciais	3
5	Precisão	3
6	Manutenção	2
	Total	**21**

Quanto ao fim-de-curso, a precisão não é um critério de grande importância para o produto. Como a fresadora é para fins didáticos, a utilização não será constante e a manutenção neste fim-de-curso será praticamente zero e não influenciará na máquina.

TABELA 26 - Valores globais para o sistema de zeramento.

Número	**Variante**							
	1 (v1)		2 (v2)		3 (v3)		4 (v4)	
	V1	WixV1	V2	WixV2	V3	WixV3	V4	WixV4
1	2	10	3	15	1	5	5	25
2	5	20	4	16	5	20	5	20
3	5	20	5	20	5	20	4	16
4	5	15	5	15	5	15	5	15
5	5	15	5	15	5	15	4	12
6	5	10	5	10	5	10	3	6
Somatória		90		91		85		94
Valor Global		0,857		0,867		0,81		**0,895**

Analisando os valores globais para o sistema de zeramento, verifica-se que o sistema 4 é o que se adequa melhor na fresadora. Como o sistema será utilizado apenas para fim-de-curso e zeramento, uma chave mecânica simples realizará o trabalho sem nenhum problema. O fator que mais impactou para esta escolha foi o custo da chave em relação aos sensores.

Para a análise morfológica das chaves fim-de-curso, foram estudados o local de fixação da chave na máquina, tipos de chaves e materiais do suporte (tabela 27).

TABELA 27 - Análise morfológica para a chave fim-de-curso.

Variáveis	**Classes**		
	1	2	3
Local de fixação	Estrutura	Carros de deslocamento	
Tipos de chaves	Com roldana	Com haste	Com botão
Materiais do Suporte	Alumínio	Aço	Plástico engenharia

A análise mostra que uma solução possível é a utilização de uma chave com roldana fixa na estrutura sendo seu suporte em alumínio. É uma solução viável, pois como é apenas para zeramento e fim-de-curso a chave pode ser bem simples, assim como seu suporte.

3.6 – Seleção do eixo-árvore

No sistema de eixo-árvore foi analisado o que é comercial, possíveis alternativas e a possibilidade da utilização de uma “dremel” (figura 35). Os sistemas estudados estão resumidos na tabela 28. A figura 32 mostra opção de eixo-árvore comercial e a figura 33 ilustra solução utilizando motor e cabo flexível. A figura 34 representa um modelo de eixo-árvore utilizado em máquinas ferramentas e a figura 35 ilustra solução utilizando “dremel”.

TABELA 28 - Sistema para o eixo-árvore.

Sistema	Eixo-árvore
1	Comercial
2	Motor - cabo flexivel
3	Cabeçote desenvolvido
4	Dremel

FIGURA 32 - Eixo-árvore comercial (SKF, 2007).

FIGURA 33 - Cabo flexível (INDÚSTRIAS MARQUES DA COSTA, 2008).

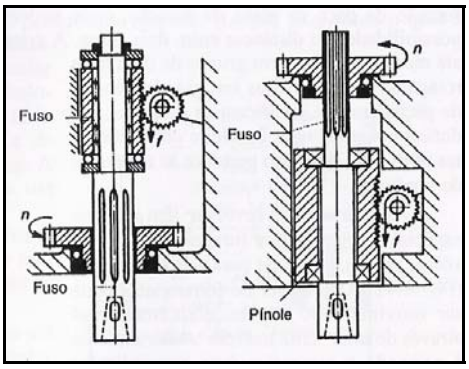


FIGURA 34 - Modelo de eixo-árvore (WITTE, 1998).

FIGURA 35 - Cabeçote comercial (DREMEL, 2007).

A tabela 29 lista os critérios de avaliação e os fatores de importância do eixo-árvore analisado e a tabela 30 os valores globais calculados para cada sistema do eixo-árvore.

TABELA 29 - Critérios de avaliação e fatores de importância para eixo-árvore.

Número	**Critérios de avaliação**	**Fator de importância Wi**
1	Custo	5
2	Facilidade de Montagem	4
3	Facilidade de Fabricação	4
4	Itens Comerciais	3
5	Precisão	3
6	Cursos	2
7	Capacidade de Carga	2
8	Velocidade	2
	Total	**25**

Por se tratar de produto para aprendizagem, os cursos, capacidade de carga e velocidade do eixo-árvore não são críticos e receberam os menores valores.

TABELA 30 - Valores globais para cada sistema de eixo-árvore.

Número	**Variante**							
	1 (v1)		2 (v2)		3 (v3)		4 (v4)	
	V1	WixV1	V2	WixV2	V3	WixV3	V4	WixV4
1	1	5	5	25	4	20	5	25
2	5	20	3	12	4	16	5	20
3	5	20	4	16	4	16	4	16
4	5	15	3	9	5	15	4	12
5	5	15	5	15	5	15	2	6
6	5	10	5	10	5	10	5	10
7	4	8	3	6	4	8	1	2
8	4	8	3	6	4	8	5	10
Somatória	101		99		108		101	
Valor Global	0,808		0,792		**0,864**		0,808	

Avaliando os valores globais da tabela 30, o sistema 3 é o que melhor se enquadra na fresadora. O sistema 3, chamado de cabeçote desenvolvido, nada mais é do que um par de rolamentos, eixo e motor. Um sistema deste é viável, pois um sistema comercial é muito caro, sendo impraticável e um sistema utilizando uma “dremel” iria ficar limitado nos tipos de materiais a usinar.

Na análise morfológica para o eixo-árvore foram analisadas as possíveis formas de montagem e utilização de recursos, os quais estão resumidos na tabela 31.

TABELA 31 - Análise morfológica para o eixo-árvore.

Variáveis	**Classes**			
	1	2	3	4
Tipos de Rolamentos	Axiais	Esferas	Contato angular	Rolos
Fixação ferramenta no eixo-árvore	Mandril	Pinça		
Materiais do eixo-árvore	Alumínio	Aço	Fofo	
Transmissão eixo motor para o fuso	Polia e correia sincronizada	Acoplamento	Rígido	Engrenagem

Depois de realizada a análise morfológica para o eixo-árvore, onde foram verificados os tipos de rolamentos que podem ser utilizados, os materiais, as formas de fixação da ferramenta ao eixo e a forma de transmissão do eixo do motor para o eixo-árvore, chegou-se a uma solução mais adequada utilizando rolamentos de contato angular que são os mais comuns para este sistema, mandril para a fixação da ferramenta ao eixo-árvore, pois é encontrado facilmente no mercado e suporta ferramentas com diferentes diâmetros de uma forma simples, materiais em aço e a transmissão do motor ao eixo por acoplamento para otimizar o sistema em termos de espaço.

4 – MODELAMENTO 3D DA FRESADORA CNC

Após a aplicação do método de combinação de variantes para a escolha de cada sistema escolhido para compor a fresadora CNC, seguido da análise morfológica para uma seleção mais detalhada de cada sistema, foi possível desenvolver o conceito da máquina utilizando software para modelagem em 3D. A importância deste primeiro esboço da máquina é verificar seu *layout* e tornar possível uma estimativa do custo do equipamento.

Tendo um modelo computadorizado é possível estimar também os cursos da máquina, as massas que cada eixo irá transmitir e gerar novas idéias ou soluções que até o momento não estavam tão claras.

Nesse momento, caso se verificasse a necessidade, poder-se-ia retornar para qualquer análise realizada no capítulo 3. Soluções que no momento da aplicação das técnicas pareciam boas, com o recurso da modelagem, podem-se tornar inviável.

A figura 36 mostra a estrutura da máquina projetada utilizando perfis de alumínio. Na figura 37 ilustra o eixo x da fresadora com seus guias e motor de acionamento. A figura 38 mostra o eixo y desenvolvido com fim-de-curso, motor, guias e transmissão. Já a figura 39 ilustra o projeto do eixo z e a figura 40 mostra o eixo-árvore projetado para a fresadora. Na figura 41 mostra todos os sistemas montados formando a fresadora desenvolvida e a figura 42 ilustra a fresadora dotada de carenagem.

A carenagem não entrou no estudo, pois foi considerado que poderíamos utilizar a máquina sem ela (desde que à segurança do usuário seja preservada), sendo que a fresadora não irá deixar de desempenhar nenhuma atividade não

possuindo uma carenagem. Caso necessário pode-se utilizar uma carenagem feita em chapas de acrílico ou em aço. O projeto da fresadora não será afetado pela inclusão ou não da carenagem.

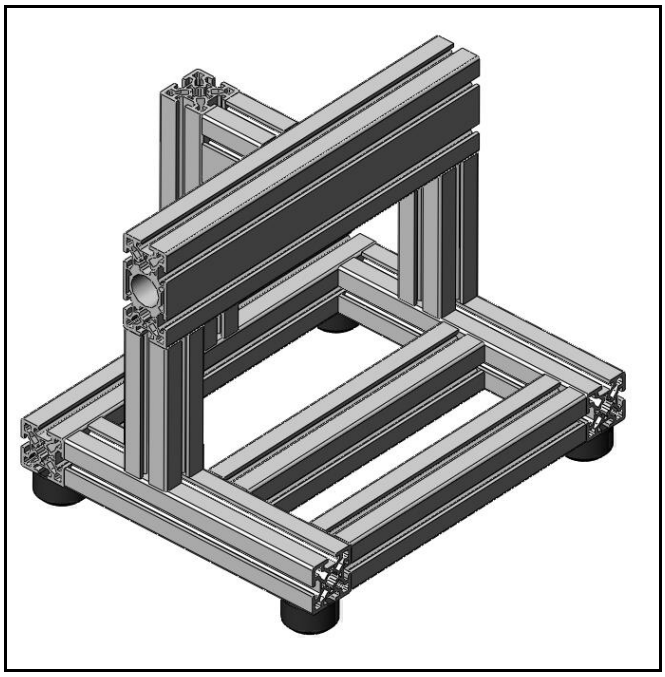


FIGURA 36 - Modelagem da estrutura da máquina.

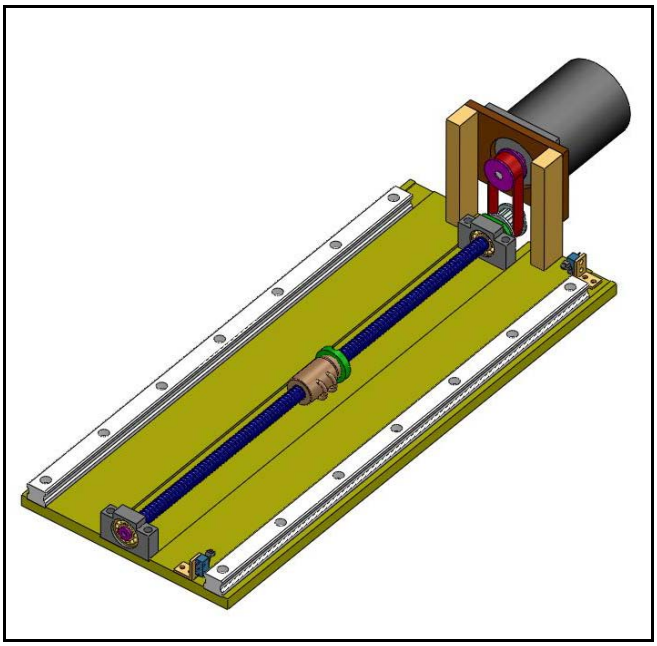


FIGURA 37 - Modelagem do eixo x da fresadora.

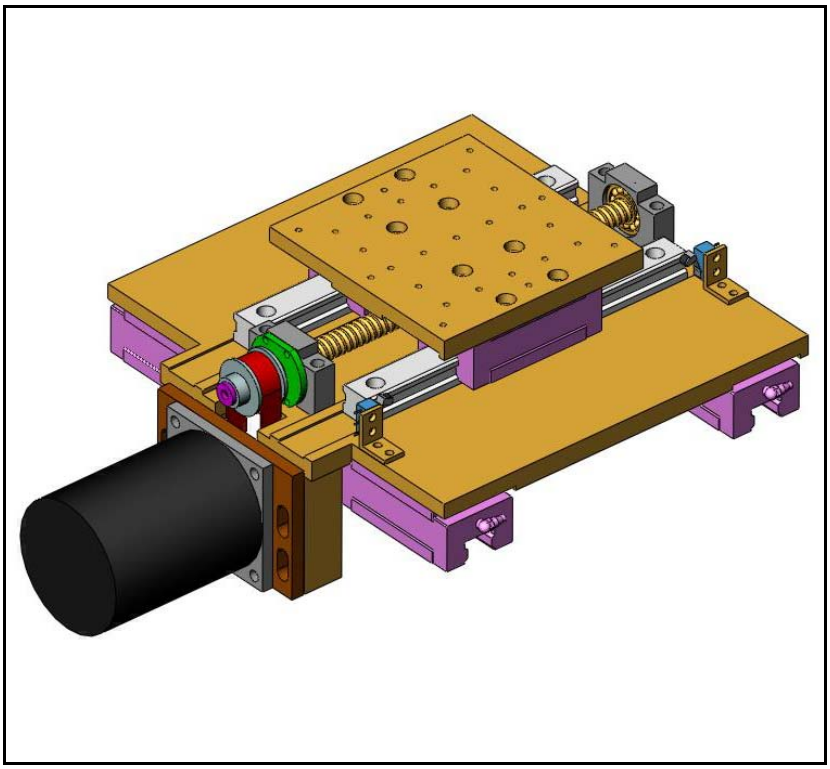


FIGURA 38 - Modelagem do eixo y da fresadora.

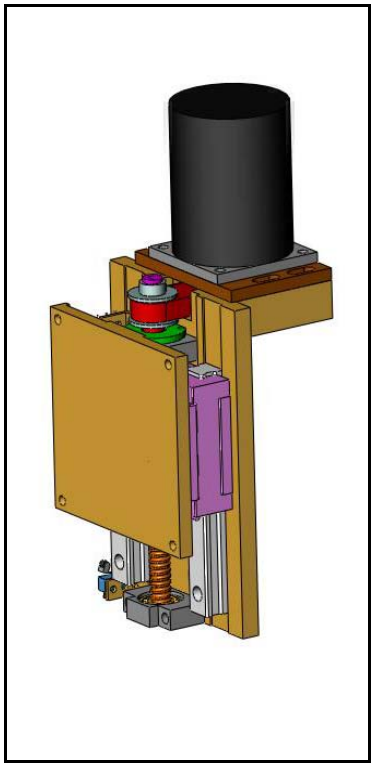


FIGURA 39 - Modelagem do eixo z da fresadora

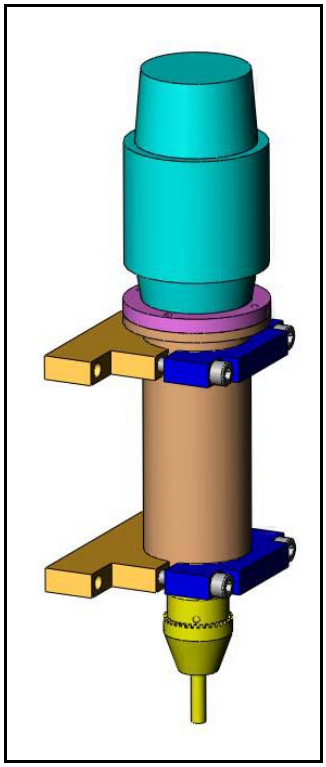


FIGURA 40 - Modelagem do eixo-árvore da fresadora.

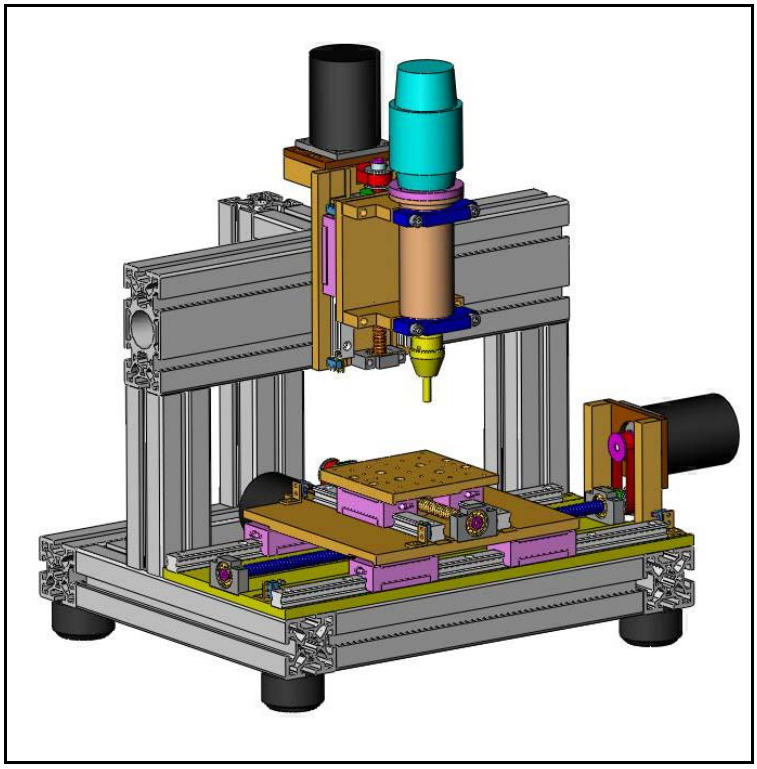


FIGURA 41 - Modelagem da montagem de todos os sistemas da fresadora

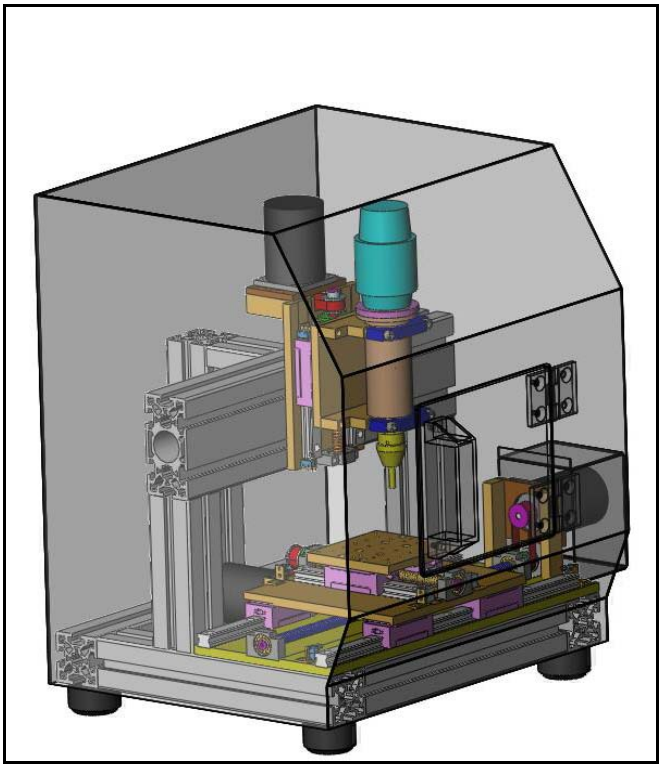


FIGURA 42 - Modelagem da carenagem na fresadora.

Os desenhos em 2D mais detalhados dos sistemas e da montagem geral estão organizados no apêndice.

5 – ANÁLISE DE VALOR A PARTIR DO PROJETO CONCEITUAL

Conforme descrito no item 2.1.5, será aplicado no projeto conceitual da fresadora CNC uma análise de valor. O intuito da aplicação desta análise é verificar ou identificar os pontos críticos da máquina e possíveis locais onde o custo pode se elevado. Com a utilização do método COMPARE descrito no item 2.1.6.3, será possível identificar, antes de um projeto mais detalhado, itens que poderão ocasionar custo indesejável do produto.

5.1 – Diagrama *FAST*.

Utilizando o conceito do diagrama FAST, exposto no item 2.1.6.1, foram analisadas as funções que fazem parte da fresadora e funções de apoio que são necessárias para sua construção. Desta forma foi possível construir um diagrama e identificar as funções alvo para a análise.

A figura 43 mostra o diagrama desenvolvido e as funções selecionadas para aplicação da análise. Para a criação do diagrama mostrado na figura 43, foram analisadas as funções necessárias para a construção da fresadora e selecionada as que ocasionam os custos mais elevados. As funções “A” (estrutura), “B” (guias), “C” (fusos), “D” (motores) e “E” (eixo-árvore) são as que foram determinadas através do método de combinação de variantes e análise morfológica. A função “F” (compra) foi estudada, pois é parte para construção do equipamento. A função “G” (peças de apoio) são as peças necessárias para a construção da máquina e a função “H” (montar sistema) é a ultima etapa para obter o produto.

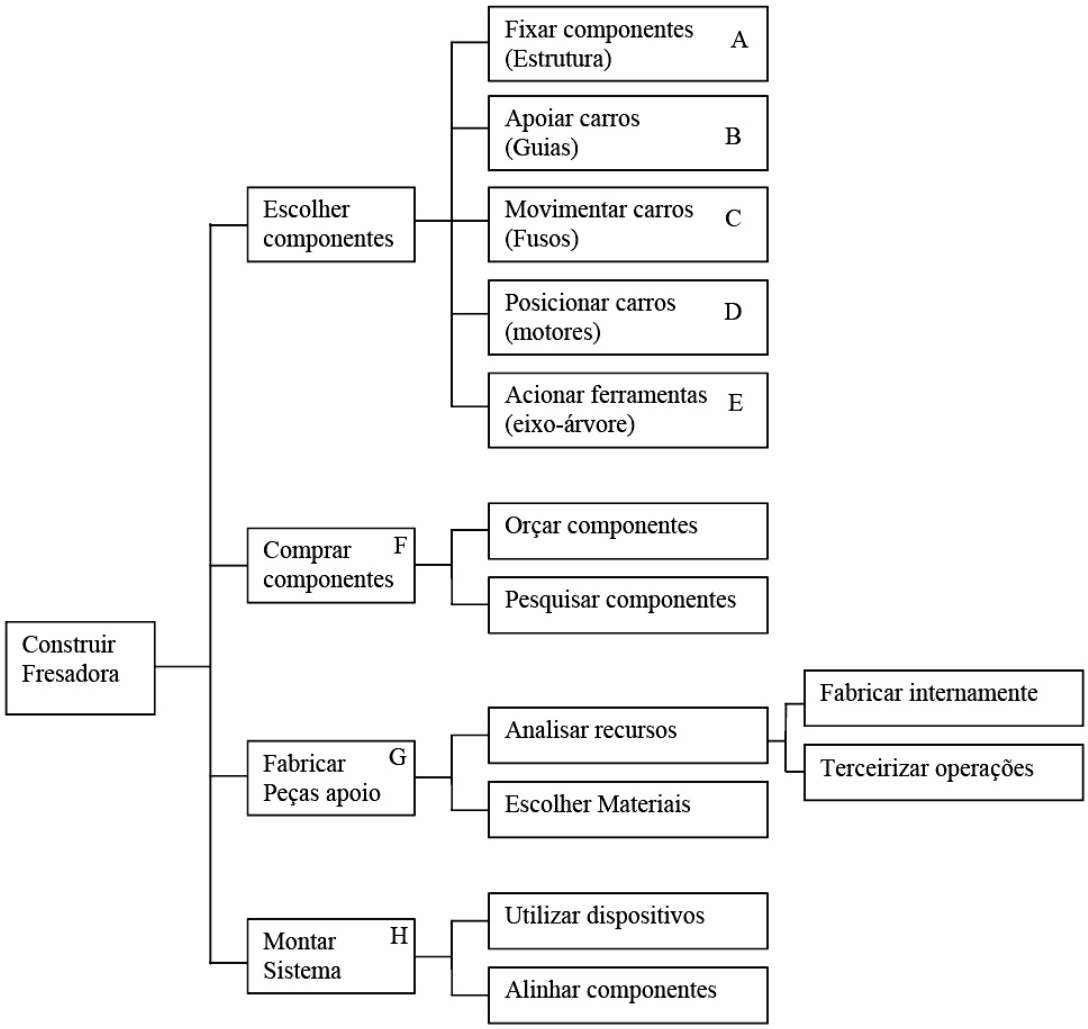


FIGURA 43 - Diagrama FAST para fresadora CNC.

5.2 – Estimativa de consumo de recursos.

Tendo sido desenvolvido um projeto preliminar em 3D da fresadora, capítulo 4, foi possível estimar o consumo de recurso (custo) da fresadora. A maior parte do levantamento dos custos foi realizada através do banco de dados de uma empresa de tecnologia onde há um grande número de itens cadastrados. Itens que não havia no sistema foram realizados orçamentos junto a fornecedores (perfis de alumínio).

Para estimativa de custos de peças mecânicas necessárias para a construção de bases, suportes, eixos e outros elementos necessários para a fresadora, foram verificadas peças com características semelhantes dentro da empresa. Desse modo, foi possível estimar o consumo de recursos em peças mecânicas. A verificação dos custos de peças mecânicas é um critério onde há o maior número de incertezas, pois depende muito do local onde será fabricada a máquina. Como a análise foi realizada comparando-se com peças que são fabricadas em máquinas CNC e em lotes, a fabricação de uma única máquina teria seu custo maior, pois o custo de preparação é distribuído em uma única peça.

Para estimar os recursos para montagem, foi pesquisado dentro da empresa conjuntos onde a montagem seria equivalente em número de peças e complexidade. O custo de compra foi colocado como sendo simbólico, pois o valor desta função foi considerada baixa em comparação as outras.

Usando esses conceitos para levantamento do consumo de recursos em unidades monetárias, foi possível estimar o custo da fresadora e construir a tabela 32.

TABELA 32 - Consumo de recursos para a fresadora CNC.

Nome	**Função**	**Consumo de Recursos (R$)**	**%**
A	Fixar Componentes (Estrutura)	1500	12,5
B	Apoiar Carros (Guias)	900	7,5
C	Movimentar Carros (Fusos)	1350	11,25
D	Posicionar Carros (Motores)	750	6,25
E	Acionar ferramentas (eixo árvore)	1200	10
F	Comprar Componentes	300	2,5
G	Fabricar peças de apoio	4500	37,5
H	Montar Sistema	1500	12,5
Total		12000	100

5.3 – Avaliação numérica funcional – técnica de Mudge

Utilizando a técnica de Mudge, item 2.1.6.2, foi realizado a análise de importância entre cada função determinada na figura 43. A importância de avaliação é verificar quais são as funções mais importantes e a porcentagem que representa dentro do equipamento.

A tabela 33 mostra a comparação entre funções com o grau de importância uma em relação a outra.

TABELA 33 - Necessidades relativas para a fresadora CNC.

								Total	%
A	B1	C1	A1	A1	A3	G2	H2	5	9,26
	B	B1	B1	B1	B3	G2	H2	7	12,96
		C	D1	C1	C3	G2	H2	5	9,26
			D	D2	D3	G3	H2	6	11,11
				E	E3	G2	H2	3	5,56
					F	G3	H3	0	0,00
						G	G1	15	27,78
							H	13	24,07
								54	100

Pouco Importante	1
Importante	2
Muito Importante	3

5.4 – Gráfico COMPARE

Após realizar a estimativa de consumo de recursos, tabela 32, e após analisar e definir as necessidades relativas para a fresadora CNC, tabela 33, foi possível aplicar o método COMPARE, descrito no item 2.1.6.3, e construir o gráfico ilustrado na figura 44.

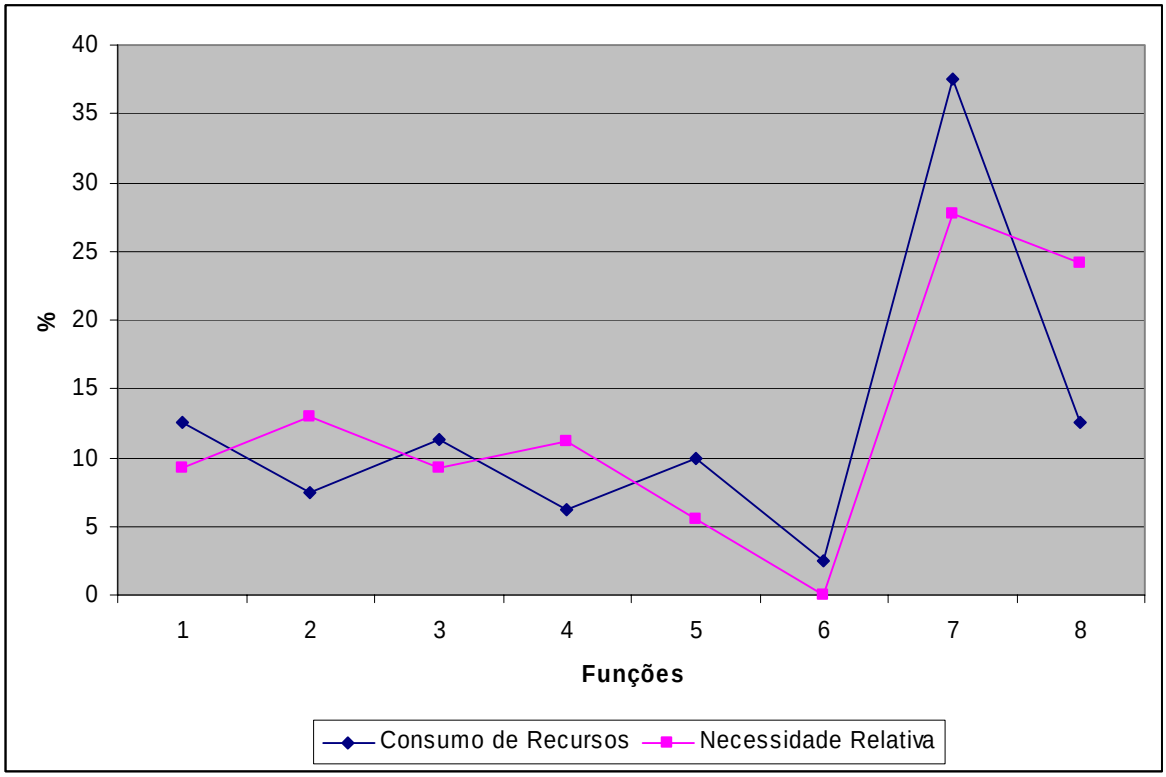


FIGURA 44 - Gráfico COMPARE: Consumo de recursos X necessidades relativas.

Sendo: 1 = função A; 2 = função B; 3 = função C; 4 = função D; 5 = função E; 6 = função F; 7 = função G; 8 = função H.

O gráfico mostra a comparação entre o consumo de recursos e necessidade relativa para a construção da fresadora. É possível observar as funções estudadas no eixo x do gráfico e no eixo y a porcentagem que cada função representa no produto final.

6 – DISCUSSÕES DOS RESULTADOS

Muitas vezes, no início de um projeto, os profissionais se deparam com uma infinita gama de soluções que podem ser utilizadas para uma determinada característica que se deseja atingir em uma máquina ou equipamento. No mercado industrial existem muitos sistemas que realizam o trabalho desejado de maneiras diferentes. A dúvida que permeia é saber qual sistema atenderá os requisitos de entrada do projeto sem encarecer o produto e torná-lo inviável. Em alguns casos, esta escolha é feita de acordo com a experiência pré-adquirida do profissional ou equipe responsável pelo projeto. Quando já houve alguma experiência anterior de um sistema já desenvolvido ou semelhante, essa escolha se torna, de certa maneira, mais fácil. Caso contrário, a utilização de uma ou mais técnicas para auxiliar a escolha ou minimizar as dúvidas se torna um caminho alternativo muito interessante para a realização dessas escolhas.

Com a aplicação do método de combinação de variantes foi possível selecionar os tipos de sistemas (estrutura, guias etc.) que melhor se adaptam ao projeto da fresadora CNC. Sem isso, a dificuldade para encontrar soluções viáveis em um primeiro momento seria muito difícil, pois o projeto conceitual da fresadora partiu do zero. Desse modo, toda a análise para selecionar o tipo de estrutura a ser utilizado, o tipo de guias, motores, transmissões, fim-de-curso e eixo-árvore foi realizada de maneira científica e tornou as escolhas mais seguras e com grau de certeza maior para dar início ao projeto.

Com cada tipo de sistema selecionado através do método de combinação de variantes, a utilização da análise morfológica se tornou muito importante, pois conseguiu-se detalhar cada sistema selecionando características que na técnica

anterior não haviam entrado no estudo. Assim foi possível analisar opções específicas, com características desejáveis e descartar outras que não agregariam valor ao produto. Desse modo, tendo os detalhes mais bem especificados, foi possível iniciar o modelamento 3D do conceito da máquina.

Com o desenvolvimento inicial do conceito da máquina, através do projeto em 3D, foi possível verificar se as soluções encontradas com a aplicação das técnicas seriam viáveis para a construção. Isso porque nessa etapa o nível de detalhamento começou a ser maior, pois foi montado, de um modo virtual, o produto. Realizando a construção virtual da fresadora CNC, o aprofundamento nos métodos de fixação de cada elemento se tornou útil e necessário. Por isso a utilização de catálogos de fabricantes dos elementos comerciais foi indispensável, pois sem esses, medidas incoerentes poderiam ser definidas. Com o modelo virtual é possível verificar e ter boa idéia das massas que os eixos terão de movimentar. Sem isso, uma futura etapa de dimensionamento dos motores seria mais difícil e custosa.

Outro ponto importante do modelo 3D foi a possibilidade de se realizar uma estimativa de custos para o equipamento. Foi possível analisar os itens comerciais que seriam utilizados, quantidades de peças e formatos que teriam de ser fabricadas para montagem e níveis de dificuldades na montagem, pois o produto agora começa a ter uma forma definida. Com isso foi possível realizar um levantamento de custo mais refinado.

Sendo realizadas essas primeiras etapas, foi possível aplicar uma análise de valor para o produto. A aplicação do método COMPARE através do gráfico foi escolhida para a visualização dos pontos críticos do projeto. Para utilização do gráfico, tornaram-se necessários o levantamento das principais funções, onde foi utilizada a técnica FAST; a estimativa de custos destas funções (ponto onde o

modelo 3D foi de grande importância) e a comparação das funções com a utilização da técnica de Mudge. Com todos esses recursos encontrados, foi possível traçar o gráfico COMPARE (figura 44).

Analisando o gráfico, é possível afirmar que:

1) A função “A” (Estrutura), “C” (Fusos) e “F” (Compra) tem o consumo de recursos e necessidades relativas muito próximas. Isto significa que o gasto com estas funções está compatível com o que se espera delas.

2) A função “B” (Guias), “D” (Motores) e “H” (Montagem) tem o consumo de recursos menores que as necessidades relativas. Isto é muito bom para o projeto, pois o gasto com recursos é pouco para um item muito importante para o equipamento.

3) A função “E” (Eixo árvore) e “G” (fabricação de peças) tem os consumos de recurso maiores que as necessidades relativas. Essa é uma situação que não é muito favorável, pois o gasto está sendo maior do que a importância dessas funções. Torna-se mais critico na função “G”, onde a diferença entre o consumo de recursos e necessidades relativas é maior. Esse é um ponto onde a análise teria de ser mais refinada, para que este ponto do consumo de recurso diminuísse. Uma técnica que poderia ser utilizada seria DFMA como descrito no item 2.1.3 para tentar a redução desta função.

4) Verificando o gráfico, a função “H” (Montagem) tem grande diferença entre o consumo de recursos e necessidade relativa. Verifica-se que a necessidade relativa é muito maior que o consumo

para esta função. Isso acontece porque esta função praticamente será a última para a construção da máquina e será muito importante para a montagem do equipamento. Se essa função não for muito bem realizada, todas as etapas anteriores serão perdidas, pois a fresadora poderá não desempenhar sua tarefa.

7 – CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Esse trabalho apresentou algumas técnicas de projeto aplicadas no desenvolvimento de um conceito de fresadora CNC visando à aplicação para fins didáticos em escolas de nível técnico e superior.

As técnicas de combinação de variantes e morfológicas podem ser citadas como muito úteis, quando se conhece pouco, ou nada, do produto que será desenvolvido. A aplicação destas técnicas neste trabalho foi de grande importância para selecionar os elementos da máquina e iniciar o desenvolvimento.

A complementação do trabalho utilizando uma análise de valor mostrou-se eficaz e eliminou possíveis dúvidas em um detalhamento mais completo da fresadora. Foi possível observar através do gráfico COMPARE os locais e sistemas que podem ser trabalhados com mais detalhes e atenção. Este confirmou que fabricação de peças e montagem do equipamento são os itens que merecem atenção especial atenção.

Tendo o gráfico (figura 44) mostrado que a fabricação e montagem são os itens que merecem atenção, fica como sugestão para trabalhos futuros a utilização da técnica de DFMA para aperfeiçoar os processos de fabricação e montagem a partir do modelo conceitual.

Outras sugestões para trabalhos futuros podem ser citadas como:

- Desenvolvimento completo da máquina através do dimensionamento de todos seus elementos como motores, guias, fusos e rolamentos e detalhamento de todas as peças mecânicas com especificações de tolerâncias e acabamentos;

- Estudos destas peças para otimizar processos de fabricação e recursos das máquinas. Levantamento de custos, tempo de fabricação e preparação das máquinas, assim como cálculo de lotes para cada peça visando o melhor aproveitamento da produção;
- Desenvolvimento, visando um baixo custo, dos drivers de controle dos motores e software para a programação. Desenvolvimento de um aplicativo CAM seria interessante para a fabricação de peças com superfícies complexas;
- A construção física da fresadora e sua utilização para verificar parâmetros de fabricação e possível otimização desses parâmetros;

8 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABREU, R. C. L. *Análise de Valor, um caminho para a otimização dos custos e do uso dos recursos*; Rio de Janeiro: Qualitymark, 1995.

AGOSTINHO, O. L. *Tolerâncias, ajustes, desvios e análise de dimensões*. São Paulo: Edgard BLücher, 1977.

ALLEN-BRADLEY. *Catálogo Sensores C114-CA001A-PT-P.* Portugal, 2001.

BACK, N. *Metodologia de projeto de produtos industriais*. Rio de Janeiro: Guanabara Dois, 1983.

BALLUF. *Catálogo Sensores indutivos e Ópticos, Sensores de Campo Magnético, Acessórios*. São Paulo, 1997.

BARBOSA, G. F.. *Aplicação da metodologia DFMA – Design for manufacturing and assembly no projeto e fabricação de aeronaves*. 2007. 165p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2007.

BAXTER, M. *Projeto de produto, Guia Prático para o design de novos produtos;* tradução Itiro Lida. 2 ed. São Paulo: Edgard Blücher, 2000.

BECKER, A. C. *Metodologia para elaboração de projetos de infra-estrutura aplicada a um estudo de caso – CETEC-.* 2005. 154p. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Faculdade de Engenharia e Arquitetura de Passo Fundo. Universidade Passo Fundo, Passo Fundo, 2005.

BOOTHROYD, G.; DEWHURST,P.; KNIGHT, W. *Product design for manufacture and assembly.* New York: Marcel Dekker Inc, 1994.

BOSCH. *Catálogo 6 008 FP1 553/ 200406.* Brasil, 2004.

BRECOFLEX. *Catalogue Precision timming belts & drive components.* EUA, 2002.

CAVALCANTE, M. A. & HAAG, R., *Corpo negro e determinação experimental da constante de Planck.* Revista Brasileira de Ensino de Física, vol. 27, nº3. São Paulo, 2005.

CHUA K. N., RAHMAN M. & MANSUR M. A.. *Performance Evaluation of Machine Tool Structures Using Modal Analysis Technique*, I. J. of Analytical and Experimental Modal Analysis, Vol. 2(1), 1987.

COBRASMAM, *Catálogo eletrônico sistema lineares de guias em V..* Disponível em: http://www.cobrasmam.com.br/catalogos/parsy/index.htm. Acesso em 25/04/2008.

COSTA, C. A. & SCHIO, S. M. *Análise de tempos de preparação em máquinas CNC.* Revista O mundo da Usinagem, vol. 4, p. 20-25. São Paulo, 2004.

CSILLAG, J. M. *Análise do Valor Metodologia do Valor*; 4 ed. São Paulo: Atlas SA, 1995.

DREGER, R. S.; BRITO, R. M. & KELBER, C. R. *Construção e a avaliação do desempenho de um veículo aut-guiado - AGV, de baixo custo, para uso em ensino e pesquisa. .* In: XXIX Congresso Brasileiro de Ensino de Engenharia, Porto Alegre, 2001.

DREMEL. *Catálogo Geral.* Brasil, 2007.

FELISBERTO, L. C. *Contribuição para o estudo de uma fresadora CNC de pequeno porte com cabeçote universal reversível do tipo "P. Huré"*. 1994. 122p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1994.

FERREIRA, J & GORDO, N. *Elementos de Máquinas, telecurso 2000.* Rio de Janeiro: Globo, 1996.

FIALHO, A. B. *Automação Pneumática, projetos, dimensionamentos e análise de circuitos.* 2 ed. São Paulo: Érica, 2003.

GARCIA, L. G. *Metodologia e projeto de um cabeçote hidrostático de ultraprecisão utilizando granito sintético e mancais cerâmicos.* 1999. 93p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1999.

GE. *Catalogue GFW-3025 20M.* Canadá, 2000.

GÓES, R. E.; BECKER, L. G. B.; MARTINS, P. E.; LIMA, C.A.; FALATE, R.; MÜLLER, M.; KALINOWSKI, H. J. & FABRIS, J. L. *Desenvolvimento e caracterização de um sistema automatizado para polarimetria.* Revista de Física Aplicada e Instrumentação, vol. 15, nº1, 2002.

GONÇALVES, E. L. Z. *Inovação no processo produtivo no segmento metal-mecânico com uso de tecnologia a CNC.* In: XXXIV Congresso Brasileiro de Ensino de Engenharia, Passo Fundo, 2006.

GROOVER, M. *Automation, Production Systems and Computer Integrated Manufacturing,* 2 ed. Prenctice Hall, 2000.

HEITMANN H. & VENKATRAMAN V. L. *Investigation on the use of prestressed and reinforced concrete a material machine tools structure.* In proceedings of the 4th all India conference on machine tools design and research. IIT Madras, India, 1970, pp287-299.

HÖHNE, G. *Projeto de componentes de mecânica de precisão*. Apostila curso de pós-graduação em engenharia mecânica, UFSC. Florianópolis, 1990a.

HÖHNE, G. *Projeto de instrumentos em mecânica de precisão*. Apostila curso de pós-graduação em engenharia mecânica, UFSC. Florianópolis, 1990b.

INDUSTRIAS MARQUES DA COSTA. *Catálogo Geral.* Brasil, 2008.

KAMINSKI, P. C. *Desenvolvendo produtos com planejamento, criatividade e qualidade.* Rio de Janeiro: Livros Técnicos Científicos Editora S. A, 2000.

KOBLISCHEK, P.J. *Acryl-Concrete*. Proc. Second International Congress on Polymers inConcrete, 1978, pp. 413-430.

KREIENBÜHL R. *International Congress on Polymers in Concrete*, North American workshop, San Francisco, Sept. 1991.

LEATHAM, J. B. *Introduction to computer control*. Addison Wesley Longman Limited, 1986.

LICHTBLAU, M. *Uma contribuição ao estudo da dinâmica de posicionadores*. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1989.

LINTZ, R. C. C. L. *Estudo de materiais alternativos para fabricação de estruturas de máquinas-ferramenta*. 2003. 120p. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) - Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade de Campinas, Campinas, 2003.

MAURER, M. R.; MELLO, R. O. O. & PEDRINI, H. *Projeto e desenvolvimento de um digitalizador tridimensional de baixo custo.* Campinas, 2005.

MEDEIROS, J. T .J. *Uma aplicação da metodologia de análise do valor na verificação dos valores ambientais do processo produtivo numa empresa do setor cerâmico catarinense.* 1997. 156p. Dissertação (Mestrado) - Departamento de Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1997.

MONTANARI, L. *Técnicas de projeto aplicadas no desenvolvimento de um microposicionador angular*. 1999. 131p. Dissertação (Mestrado em

Engenharia Mecânica) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1999.

MORETTO, E. G.; REICHEL, M. & PISTORI, H. *Rastreamento dinâmico de objetos: Um experimento didático integrando conceitos de hardware e software.* In: 7º Workshop Software Livre , Porto Alegre, 2006.

NORTON, R. L. *Machine design: an integrated approach.* Upper Saddle River, N.J: Prentice Hall, 2000.

NORTON, Robert L. *Projeto de máquinas: uma abordagem integrada;* tradução João Batista de Aguiar et al. 2 ed. Porto Alegre: Bookman, 2004.

NSK. *Catálogo B-02 2000.* Brasil, 2000.

PAHL, G & BEITZ, W. *Engineering design, a systematic approach.* Rev. ed. London: The Design Council, 1988.

PAHL, G & BEITZ, W. *Engineering design: a systematic approach*. Great Britain, Springer-Verlag London Limited, 1996.

POSSAMAI, O. *Apostila Análise do valor*. Florianópolis, UFSC, 1993.

PRODROMUS. *Catálogo Geral.* Rio Grande do Sulo, 2005.

SHIGLEY, J. E. *Mechanical engineering design*. New York: McGraw-Hill, 2005.

SICK. *Catalogue ARS 60: Absolute Encoders.* Alemanha, 2006.

SICK. *Catalogue Lincoder L230: Absolute, non-contact length measuring system.* Alemanha, 2007.

SILVA, G. T. & BALESTRERO, L. A. P., *Mancais aerostático e mancais convencionais um estudo comparativo para fins didáticos.* In: XXXIV Congresso Brasileiro de Ensino de Engenharia, Passo Fundo, 2006.

SIMÕES, A. S. & RICCHETTI, P. F., *Projeto e implementação de um braço robótico de baixo custo: Uma plataforma multidisciplinar para a motivação de trabalho*

em grupo. In: XXXI Congresso Brasileiro de Ensino de Engenharia, Rio de Janeiro, 2003.

SKF . *Catálogue 4664/4E – Linear Motion.* Itália 2003.

SKF. *Integrally Monitorized Spidles 5M/DLC/2007.* EUA, 2007.

SLOCUM,A. H. *Precision Machine Design.* New Jersey, Printice-Hall. 1992.

SOUSA, A. G. *Estudo e análise dos métodos de avaliação da montabilidade de produtos industriais no processo de projeto*. 1998. 238p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1998.

TAVARES, R. C.. *Projeto de um posicionador submicrométrico para litografia óptica* . 1995. 165p. Dissertação (Mestrado) - Universidade de Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1995.

VALDIERO, A. C. *Desenvolvimento e construção do protótipo de um microtrator articulado: tração e preparo de sulcos.* 1994. Dissertação (Pós-Graduação em Engenharia Mecânica) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1994.

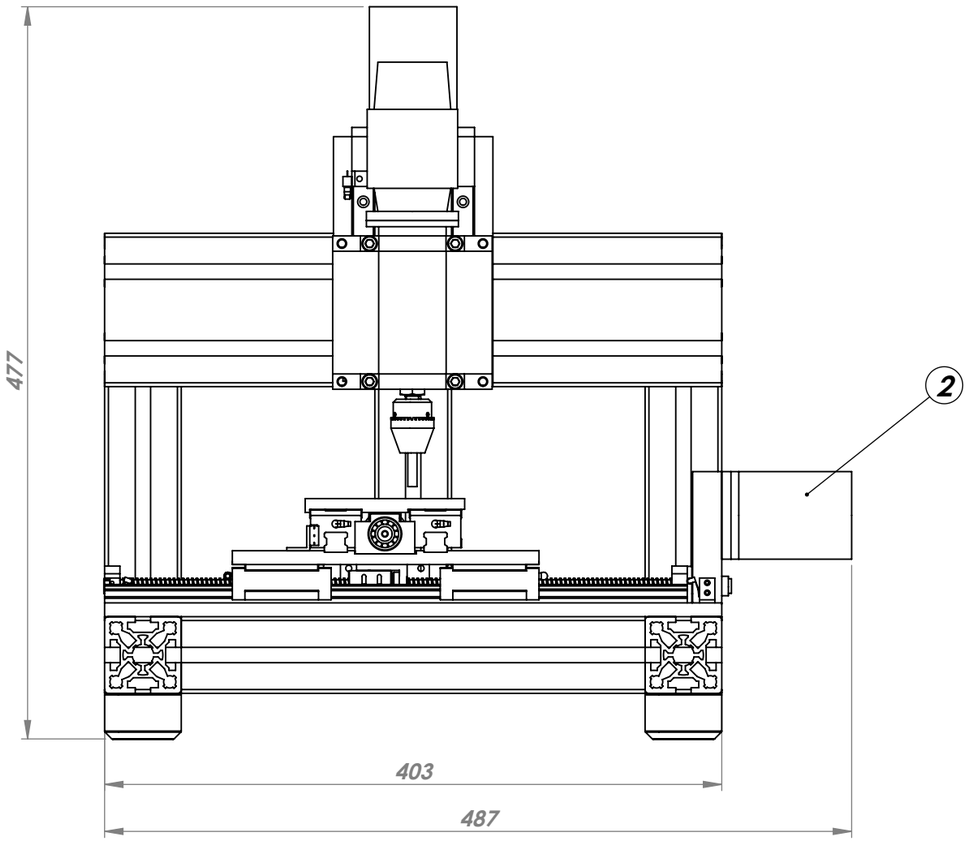
WECK, M.; LUDERICH, J.; WIENERS, A. & VOS, M. *Comparação das características de fusos e guias aerostáticos, hidrostáticos e de elementos rolantes*. Máquinas e metais, n. 390, p. 48-57, jul., 1998.

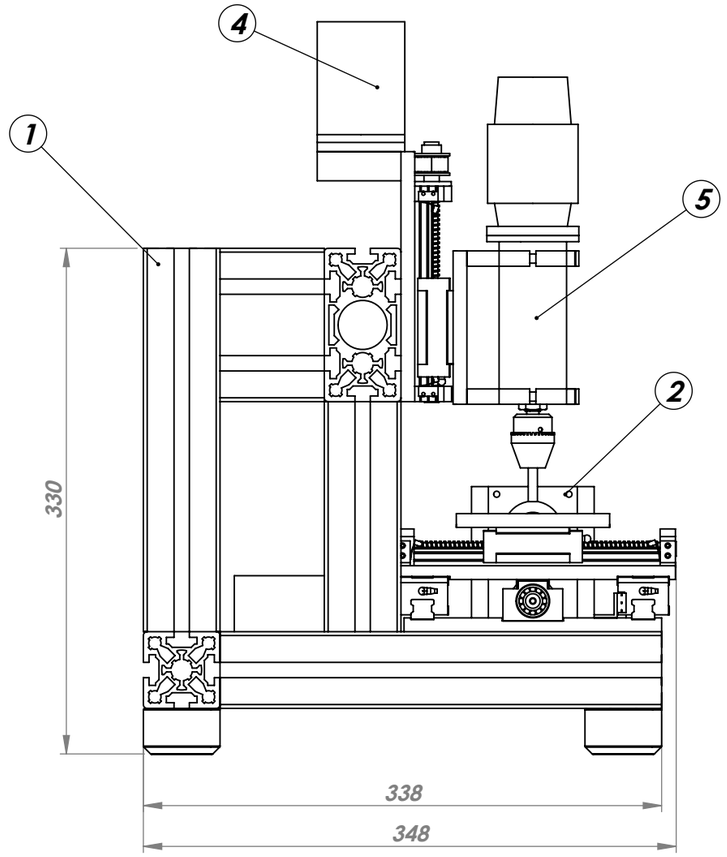
WITTE, H. *Máquinas ferramenta;* tradução Mário Ferreira de Brito. São Paulo: Hermus, 1998.

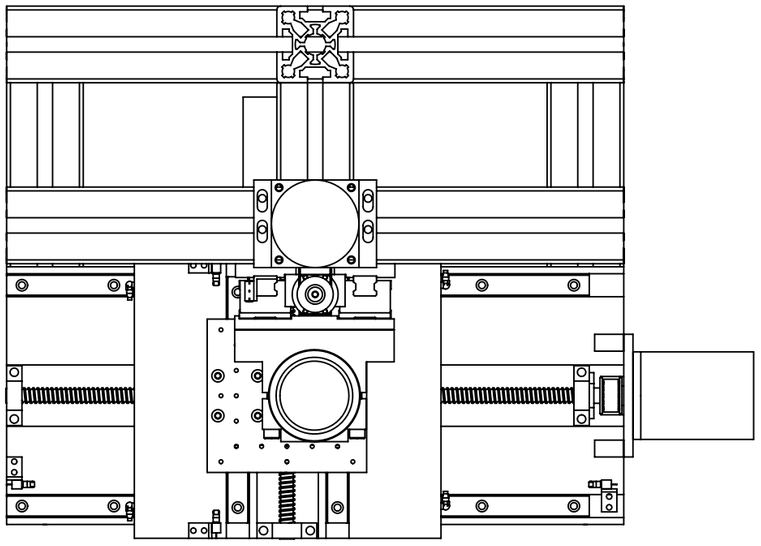
APÊNDICE

Nesse apêndice, encontram-se os desenhos de conjunto de cada sistema estudado.

1/2







ITEM	QTD	CÓDIGO	DESCRIÇÃO
1	1	21.0001.0100	ESTRUTURA FRESADORA
2	1	21.0001.0300	EIXO X
3	1	21.0001.0200	EIXO Y
4	1	21.0001.0400	EIXO Z
5	1	21.0001.0500	EIXO ÁRVORE

01	MONTAGEM GERAL FRESADOR CNC	DESENHO DE MONTAGEM
QTD	DESCRIÇÃO	MATERIAL E DIMENSÕES EM BRUTO

ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS

CHANFROS NÃO ESP.:

RAIOS NÃO ESP.:

DIMENSÕES EM mm

CONJUNTO 21.0001.0000 FRESADORA CNC

SUBCONJUNTO 21.0001.0000 FRESADORA CNC

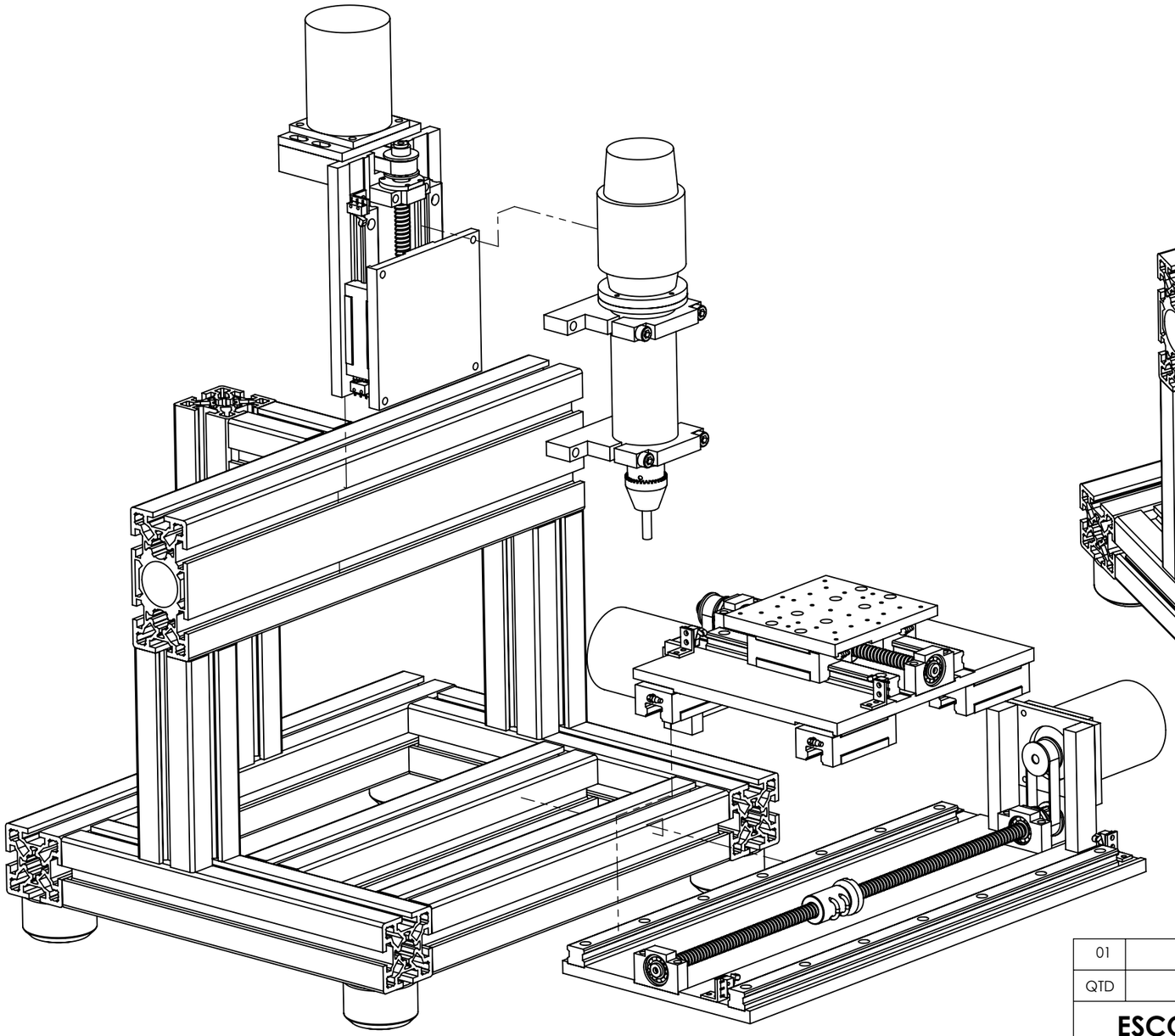
TRAT. TÉRMICO

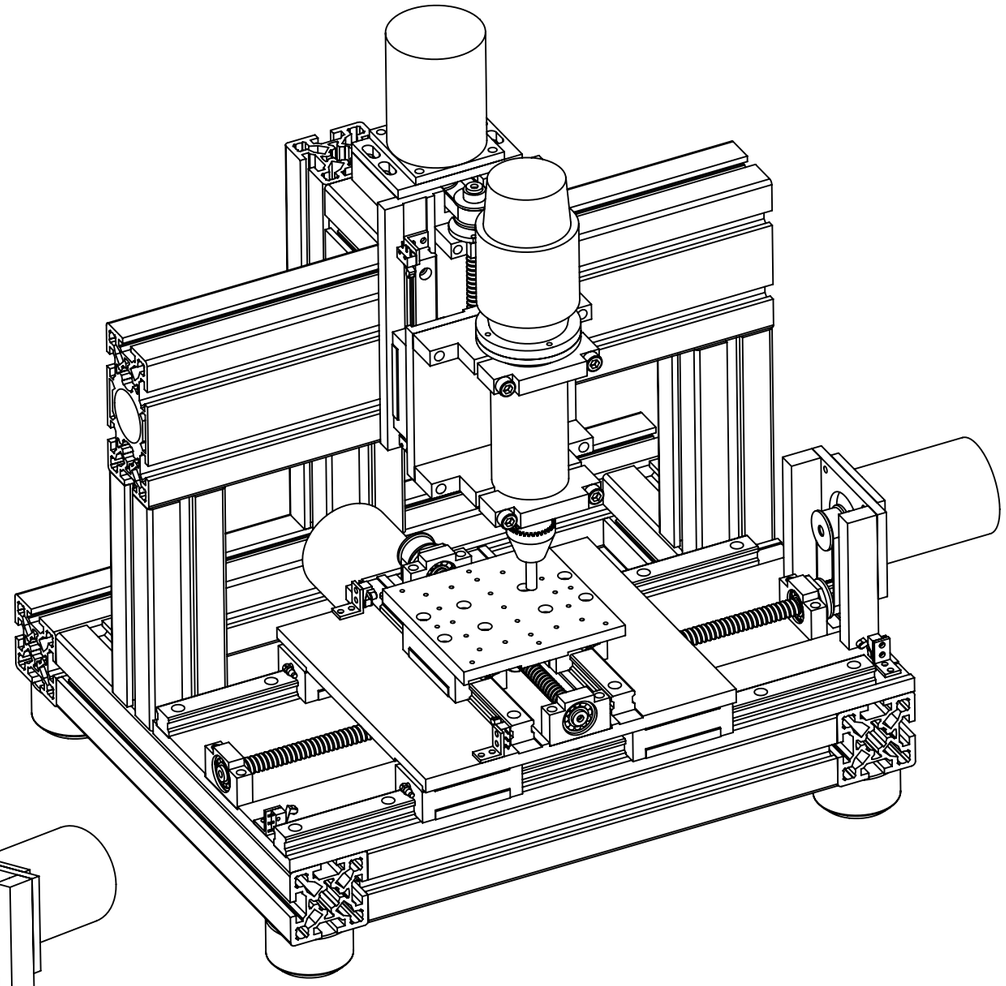
TRAT. SUPERFÍCIAL

REVISÃO A

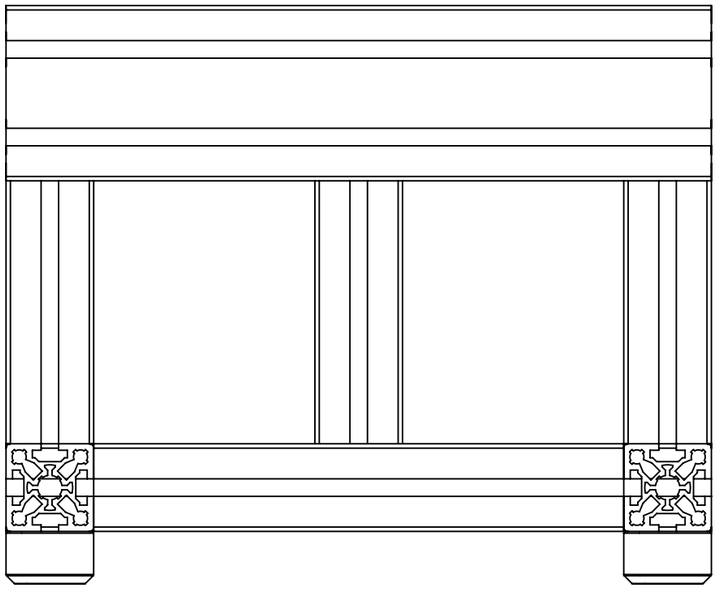
ALUNO	JOSÉ MATHEUS SANCHES	
ORIENTADOR	JAIME GILBERTO DUDUCH	26/08/08
CONFERIDO		

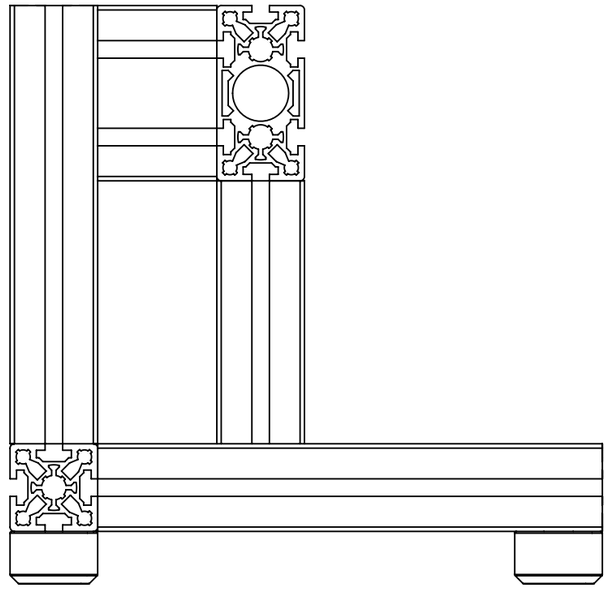
CÓDIGO 21.0001.0000

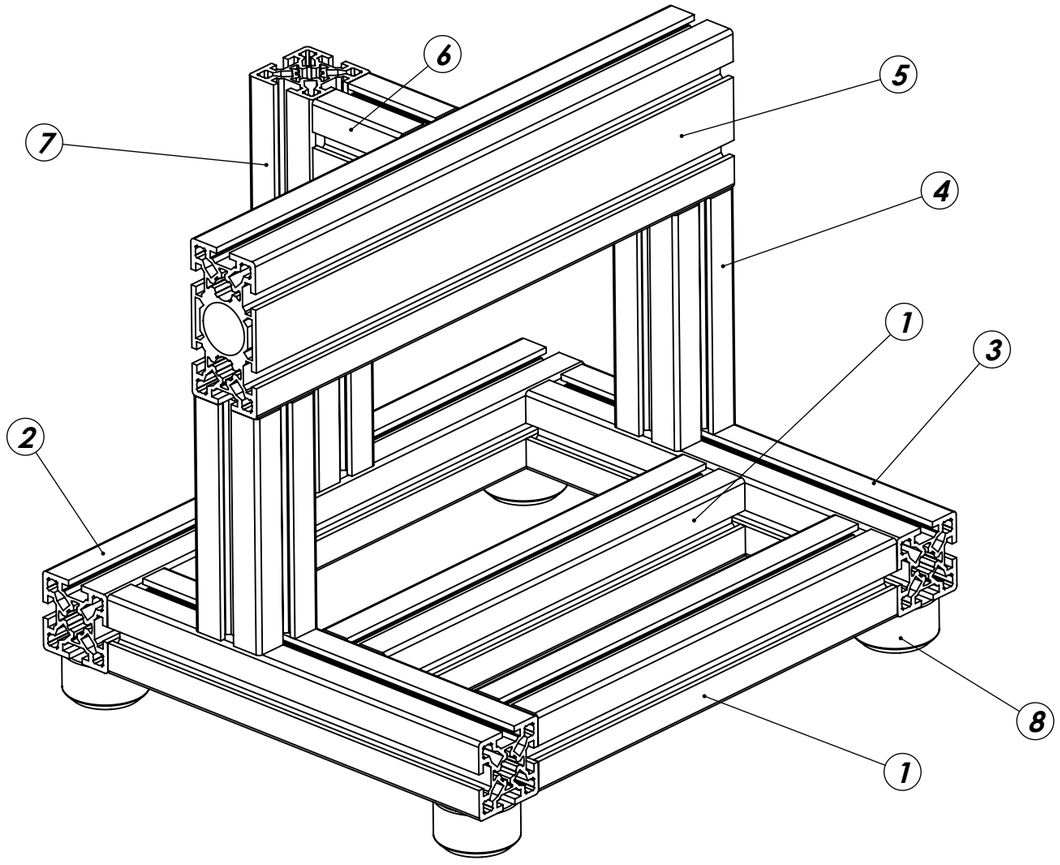




01	MONTAGEM GERAL FRESADOR CNC		DESENHO DE MONTAGEM
QTD	DESCRIÇÃO		MATERIAL E DIMENSÕES EM BRUTO
ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS			CHANFROS NÃO ESP.: / RAIOS NÃO ESP.:
DIMENSÕES EM mm	CONJUNTO	21.0001.0000 FRESADORA CNC	TRAT. TÉRMICO
	SUBCONJUNTO	21.0001.0000 FRESADORA CNC	
REVISÃO	ALUNO	JOSÉ MATHEUS SANCHES	TRAT. SUPERFÍCIAL
A	ORIENTADOR	JAIME GILBERTO DUDUCH 24/02/2009	CÓDIGO 21.0001.0000
	CONFERIDO		

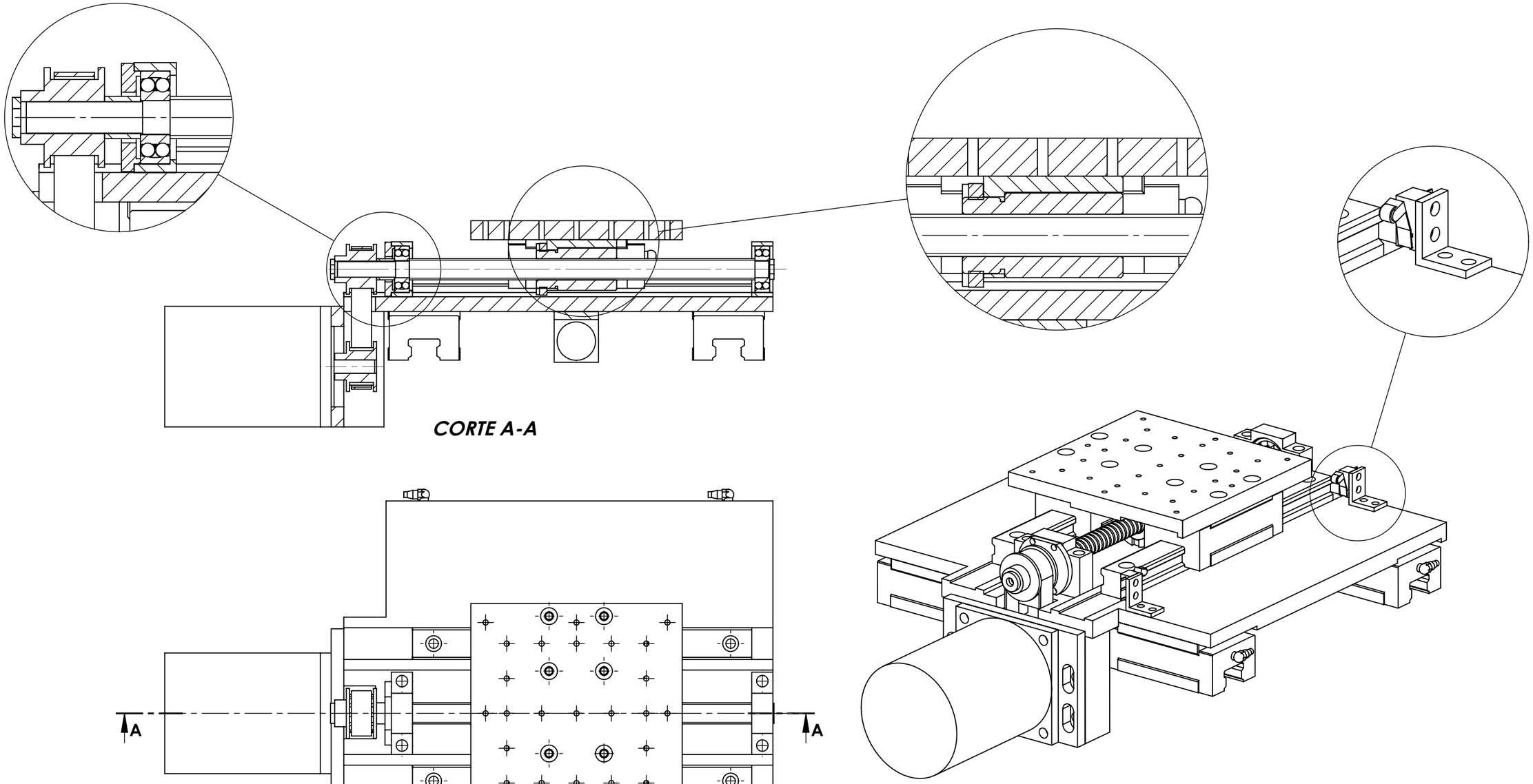




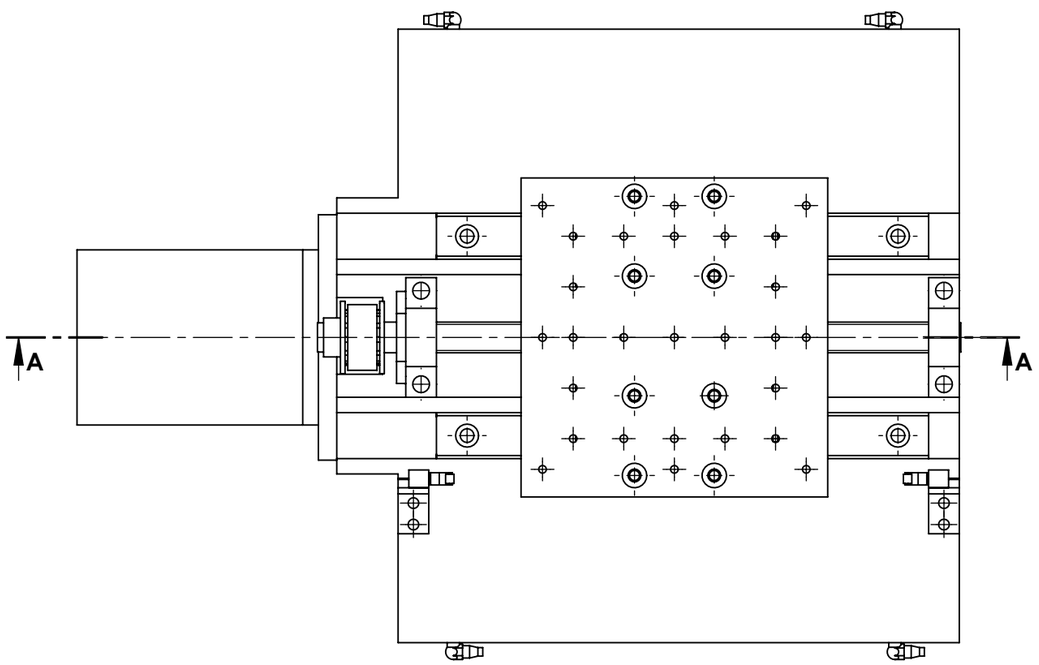


ITEM	CÓDIGO	DENOMINAÇÃO	MATERIAL	QTD
1	21.0001.0101	PERFIL ALUMÍNIO	PERFIL DE ALUMÍNIO 50x50x302,5	2
2	21.0001.0102	PERFIL ALUMÍNIO	PERFIL DE ALUMÍNIO 50x50x402,5	1
3	21.0001.0104	PERFIL ALUMÍNIO	PERFIL 50x50x288	2
4	21.0001.0103	PERFIL ALUMÍNIO	PERFIL DE ALUMÍNIO 50x50x150	2
5	21.0001.0105	PERFIL ALUMÍNIO	PERFIL ALUMÍNIO 50x100x402,5	1
6	21.0001.0106	PERFIL ALUMÍNIO	PERFIL DE ALUMÍNIO 50x100x68	1
7	21.0001.0107	PERFIL ALUMÍNIO	PERFIL DE ALUMÍNIO 50x50x250	1
8	21.0001.0108	PÉ DE BORRACHA	BORRACHA	4

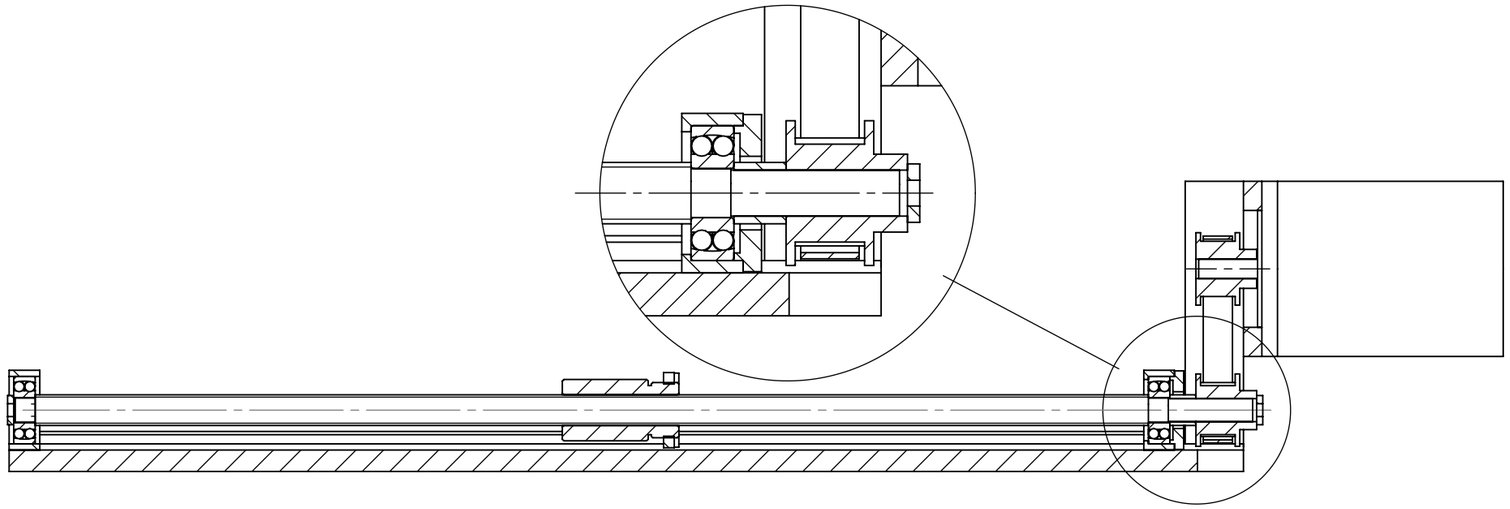
01	ESTRUTURA FRESADORA		DESENHO DE MONTAGEM	
QTD	DESCRIÇÃO		MATERIAL E DIMENSÕES EM BRUTO	
ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS			CHANFROS NÃO ESP.:	RAIOS NÃO ESP.:
DIMENSÕES EM mm	CONJUNTO	21.0001.0000 FRESADORA CNC	TRAT. TÉRMICO	
	SUBCONJUNTO	21.0001.0100 ESTRUTURA		
REVISÃO	ALUNO	JOSÉ MATHEUS SANCHES	26/08/O8	TRAT. SUPERFÍCIAL
A	ORIENTADOR	JAIME GILBERTO DUDUCH		
	CONFERIDO			CÓDIGO 21.0001.0100



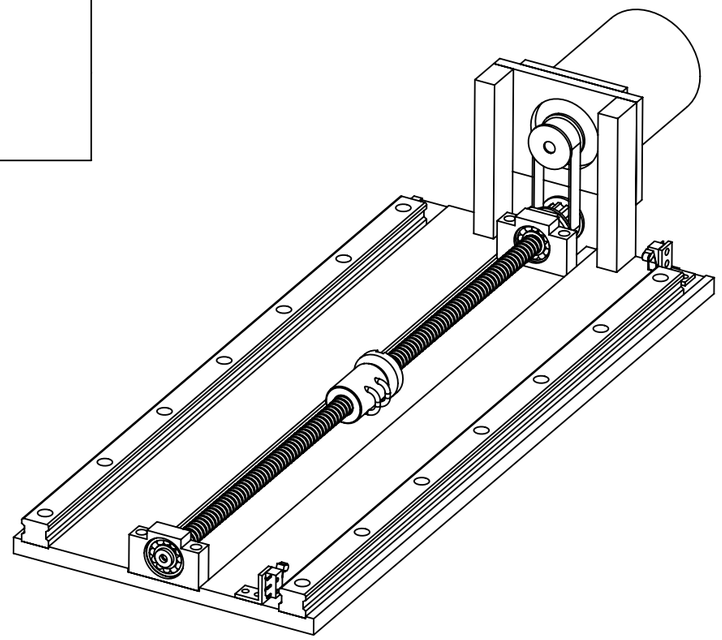
CORTE A-A

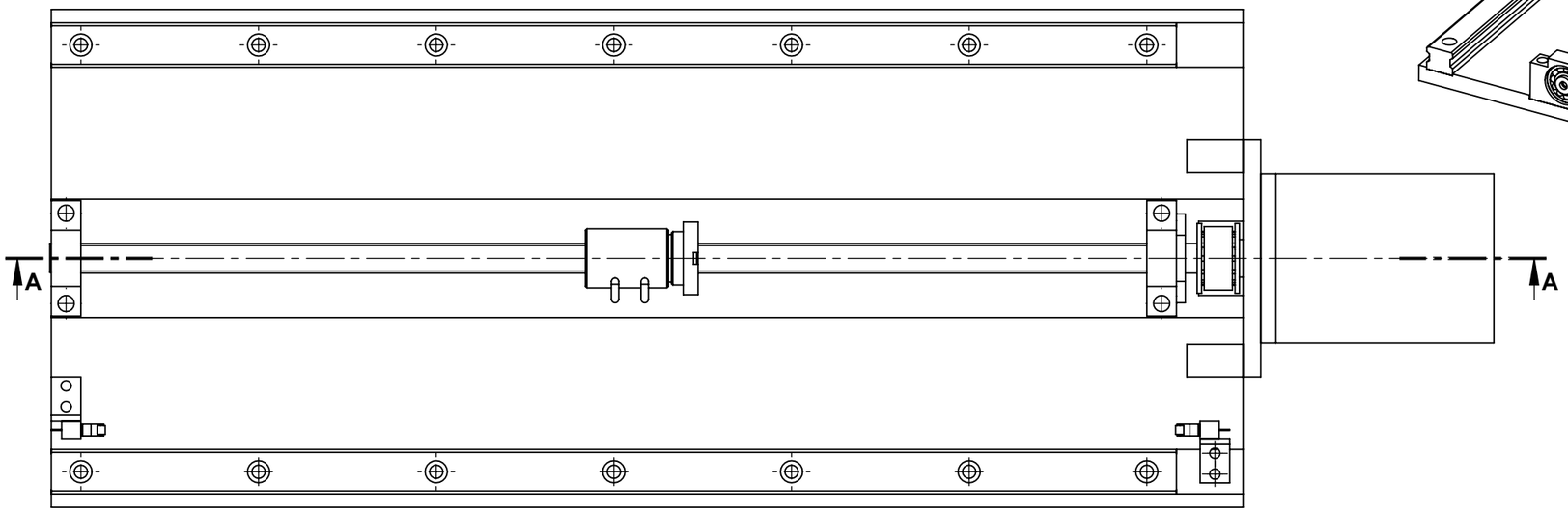


01	EIXO Y	DESENHO DE MONTAGEM	
QTD	DESCRIÇÃO	MATERIAL E DIMENSÕES EM BRUTO	
ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS		CHANFROS NÃO ESP.:	RAIOS NÃO ESP.:
DIMENSÕES EM mm	CONJUNTO 21.0001.0000 FRESADORA CNC	TRAT. TÉRMICO	
	SUBCONJUNTO 21.0001.0200 EIXO Y		
REVISÃO	ALUNO JOSÉ MATHEUS SANCHES	TRAT. SUPERFÍCIAL	
A	ORIENTADOR JAIME GILBERTO DUDUCH 26/08/08		
	CONFERIDO	CÓDIGO 21.0001.0200	



CORTE A-A





01	EIXO X	DESENHO DE MONTAGEM
QTD	DESCRIÇÃO	MATERIAL E DIMENSÕES EM BRUTO

ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS

CHANFROS NÃO ESP.:

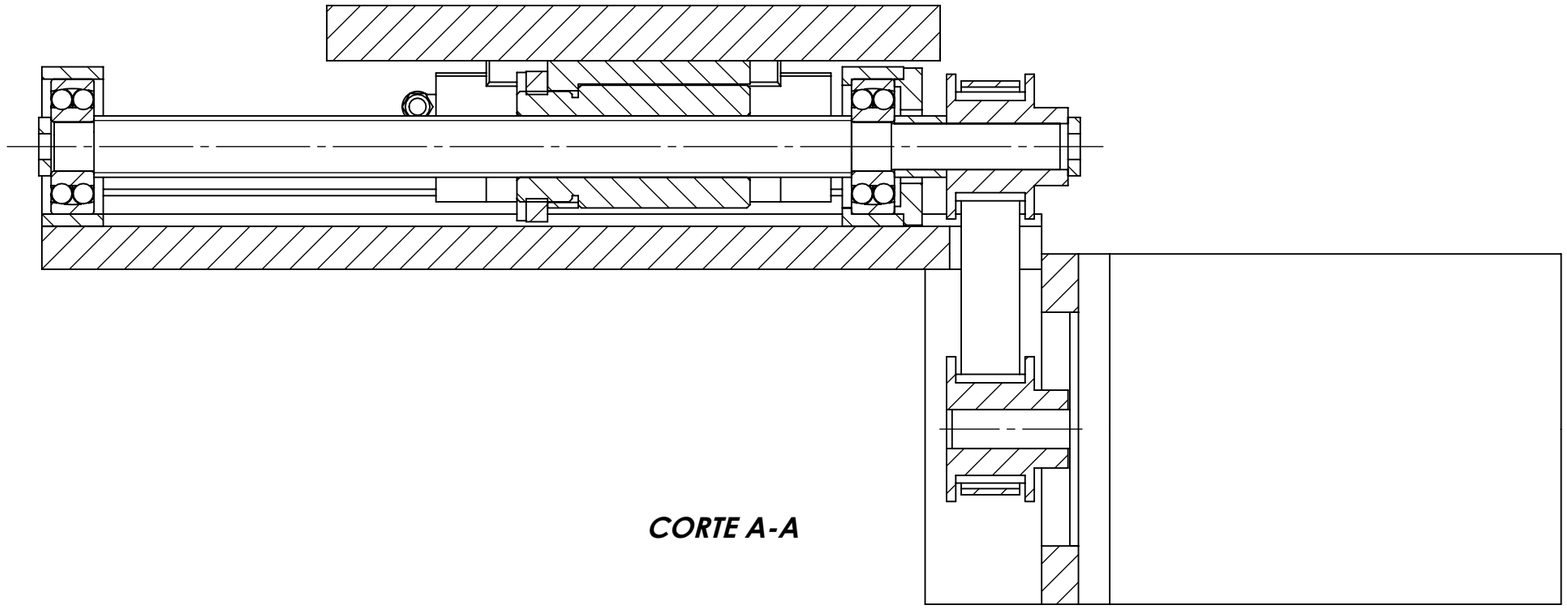
RAIOS NÃO ESP.:

DIMENSÕES EM mm	CONJUNTO	21.0001.0000 FRESADORA CNC	
	SUBCONJUNTO	21.0001.0300 EIXO X	
REVISÃO	ALUNO	JOSÉ MATHEUS SANCHES	
A	ORIENTADOR	JAIME GILBERTO DUDUCH	07/09/2008
	CONFERIDO		

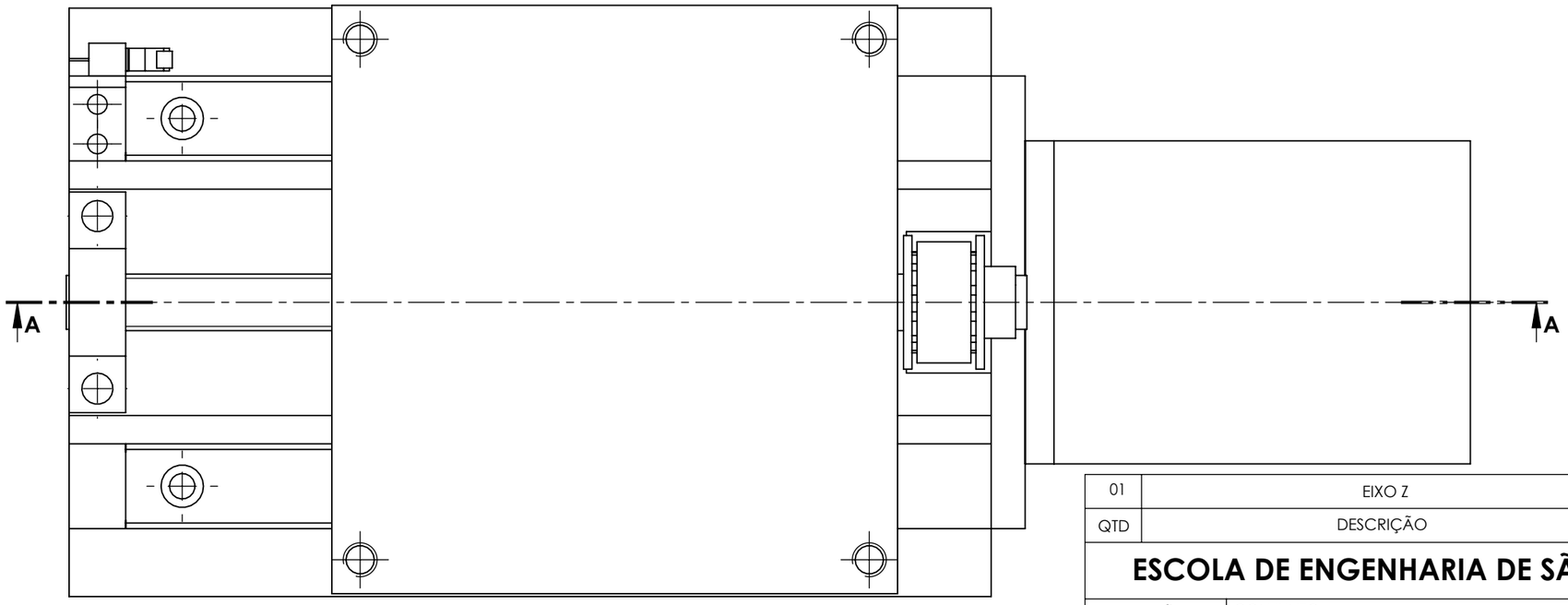
TRAT. TÉRMICO

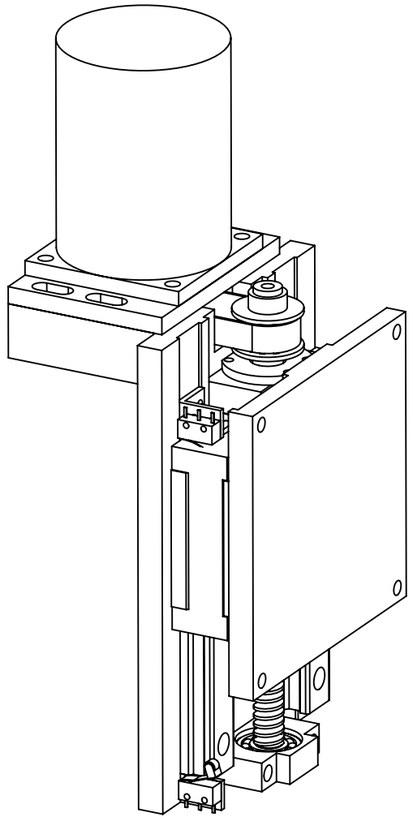
TRAT. SUPERFÍCIAL

CÓDIGO 21.0001.0300



CORTE A-A





01	EIXO Z	DESENHO DE MONTAGEM
QTD	DESCRIÇÃO	MATERIAL E DIMENSÕES EM BRUTO

ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS

CHANFROS NÃO ESP.:

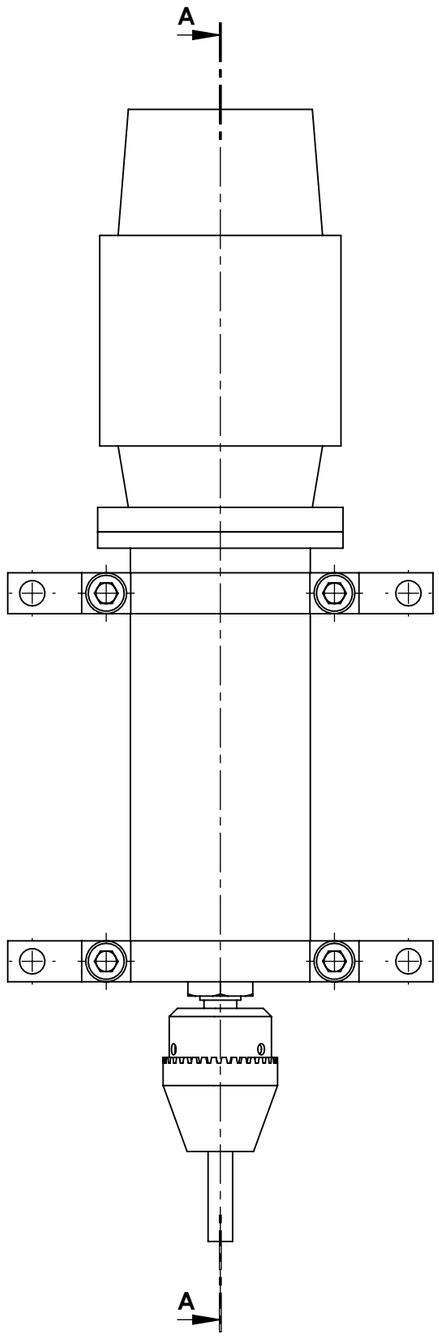
RAIOS NÃO ESP.:

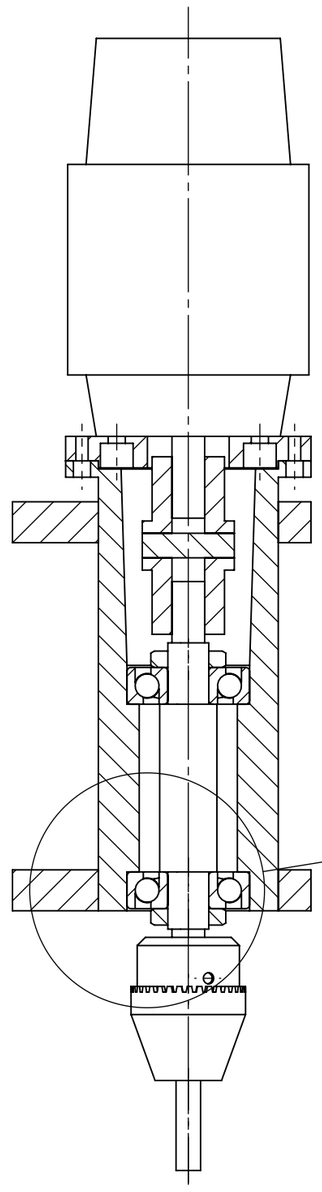
DIMENSÕES EM mm	CONJUNTO	21.0001.0000 FRESADORA CNC	
	SUBCONJUNTO	21.0001.0400 EIXO Z	
REVISÃO	ALUNO	JOSÉ MATHEUS SANCHES	
A	ORIENTADOR	JAIME GILBERTO DUDUCH	26/08/08
	CONFERIDO		

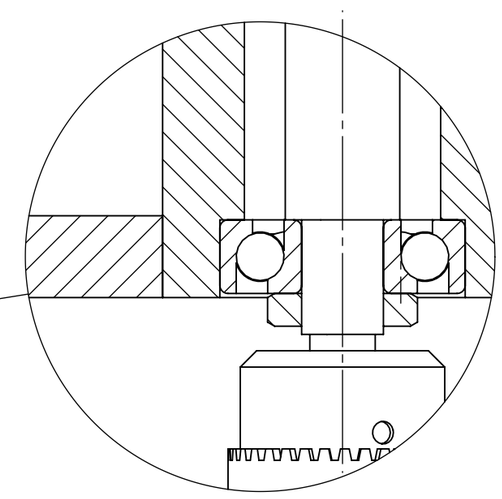
TRAT. TÉRMICO

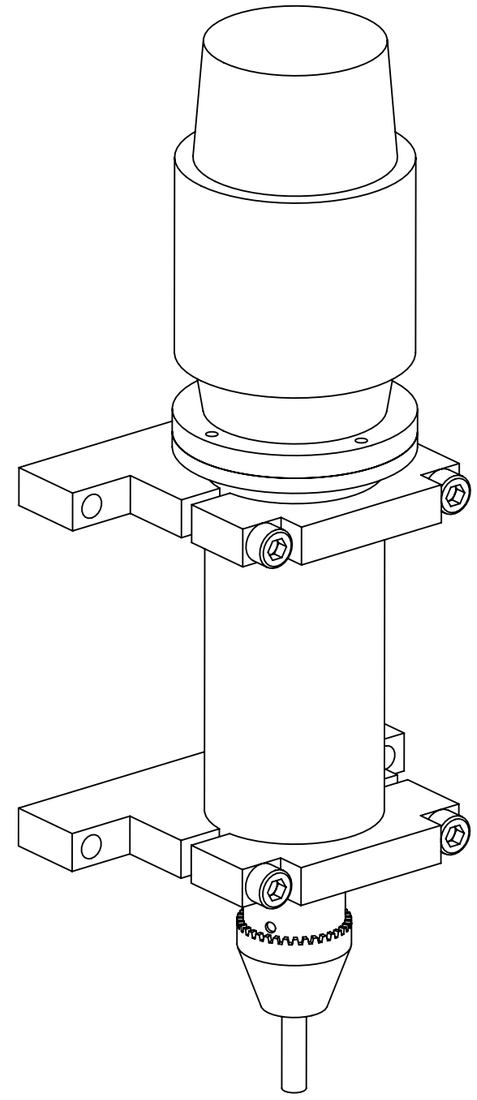
TRAT. SUPERFÍCIAL

CÓDIGO 21.0001.0400









CORTE A-A

01	EIXO ÁRVORE	DESENHO DE CONJUNTO	
QTD	DESCRIÇÃO	MATERIAL E DIMENSÕES EM BRUTO	
ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS		CHANFROS NÃO ESP.:	RAIOS NÃO ESP.:
DIMENSÕES EM mm	CONJUNTO 21.0001.0000 FRESADORA CNC	TRAT. TÉRMICO	
	SUBCONJUNTO 21.0001.0500 EIXO ÁRVORE		
REVISÃO	ALUNO JOSÉ MATHEUS SANCHES	TRAT. SUPERFÍCIAL	
A	ORIENTADOR JAIME GILBERTO DUDUCH 07/09/2008		
	CONFERIDO	CÓDIGO 21.0001.0500	