

UFSM

Dissertação de Mestrado

DESENVOLVIMENTO DE UM EQUIPAMENTO PROGRAMÁVEL PARA  
MICRO E PEQUENA EMPRESA.

Marco Aurelio Garcia Bandeira

PPGEP

Santa Maria, RS, Brasil - 2005

UFSM

DESENVOLVIMENTO DE UM EQUIPAMENTO PROGRAMÁVEL PARA  
MICRO E PEQUENA EMPRESA.

por

Marco Aurelio Garcia Bandeira

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em  
Engenharia de Produção, área de Concentração em Projeto de Produto,  
da Universidade Federal de Santa Maria, como requisito para o título de  
Mestre em ENGENHARIA DE PRODUÇÃO.

PPGEP

Santa Maria, RS, Brasil - 2005

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

A COMISSÃO EXAMINADORA, ABAIXO ASSINADA,  
APROVA A DISSERTAÇÃO

DESENVOLVIMENTO DE UM EQUIPAMENTO PROGRAMÁVEL PARA  
MICRO E PEQUENA EMPRESA.

ELABORADA POR  
**MARCO AURELIO GARCIA BANDEIRA**

COMO REQUISITO PARA O TÍTULO DE  
MESTRE EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

COMISSÃO EXAMINADORA:

---

Prof. Dr. Alexandre Dias da Silva

---

Prof. Dr. Inácio da Fontoura Limberger

---

Prof. Dr. Leonardo Nabaes Romano

Santa Maria, 24 de abril de 2005.

“O que falece aos nossos financeiros em geral é esse singelo rudimento da ciência das finanças: que o primeiro elemento de fertilização da terra consiste na fecundação do entendimento do povo; que a produtividade de um país está na razão direta da propagação da ciência entre os seus habitantes; que uma nação será sempre tanto mais pobre, quanto menos difundida se achar nas camadas populares a educação técnica e o saber positivo”.

Rui Barbosa

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço à todos os amigos e colegas que, de uma forma ou outra, colaboraram para a realização desse trabalho. Em especial, agradeço ao Prof. Dr. Alexandre Dias da Silva, orientador desse trabalho, aos alunos Bolsistas do curso de engenharia mecânica da UFSM, Alceu Kotlewski e Julio Cezar Bevilacqua, e ao aluno bolsista do curso de engenharia elétrica da UFSM, Luciano Von Mühlen. Sem o trabalho e dedicação destes, esse trabalho dificilmente teria se realizado.

## SUMÁRIO

<b>Lista de Figuras</b> .....	ix
<b>Lista de Quadros</b> .....	xi
<b>Lista de Símbolos e Abreviaturas</b> .....	xii
<b>Resumo</b> .....	xiii
<b>Abstract</b> .....	xiv
INTRODUÇÃO.....	1
CAPÍTULO 1	
<b>Flexibilidade na Produção</b> .....	7
CAPÍTULO 2	
<b>Equipamentos CNC</b> .....	15
2.1. Histórico.....	15
2.2. Vantagens e desvantagens.....	18
2.3. Requisitos.....	21
2.3.1. Pesquisa do tipo de máquina que o mercado ou a própria empresa anseia.....	22
2.3.2. Análise de custoxbenefício das máquinas selecionadas.....	22
2.3.3. Assistência apropriada à implantação desta tecnologia.....	23
2.4. Sistemas que integram um equipamento CNC.....	23
2.5. Componentes.....	24
2.5.1. Constituição básica de uma máquina CNC.....	24
2.5.1.1. Comando ou Controle Numérico.....	24
2.5.1.2. PLCs.....	25
2.5.1.3. Motores.....	25
CAPÍTULO 3	
<b>Desenvolvimento do projeto</b> .....	27
<b>3.1. Lista de verificação</b> .....	27

3.1.1. Equipamentos analisados.....	28
3.1.1.1. Fresadora CNC SOGIMA.....	28
3.1.1.2. Fresadora CNC TECHNO.....	29
3.1.1.3. Fresadora CNC DIGIMAQ.....	30
<b>3.2. Análise do equipamento em relação ao uso.....</b>	<b>32</b>
<b>3.3. Análise diacrônica do produto.....</b>	<b>33</b>
3.3.1. Produção artesanal.....	33
3.3.2. Produção manual.....	33
3.3.3. Produção mecanizada.....	34
3.3.4. Produção automatizada.....	36
<b>3.4. Análise sincrônica do produto.....</b>	<b>37</b>
3.4.1. Programação Manual.....	39
3.4.2. Programação APT.....	41
3.4.3. Sistemas Gráficos Interativos.....	42
3.4.4. Sistemas CAD/CAM.....	42
<b>3.5 Definição do problema.....</b>	<b>43</b>
3.5.1. Lista de requisitos.....	43
3.5.2. Estruturação do problema.....	45
<b>3.6. Criação e geração de alternativas.....</b>	<b>46</b>
3.6.1. <i>Brainstorming</i> ortodoxo.....	46
3.6.2. <i>Brainstorming</i> destrutivo / construtivo.....	49
3.6.2.1. Estrutura de sustentação.....	49
3.6.2.2. Controle de movimentos.....	49
3.6.2.3. Motores.....	57
3.6.2.4. Fixação da ferramenta.....	60
3.6.2.5. Fixação da peça.....	60
3.6.2.6. Movimentação da mesa ou da ferramenta.....	61

3.6.2.7. Sistema de transmissão do movimento.....	62
<b>CAPÍTULO 4</b>	
<b>Desenvolvimento de um modelo de mesa de coordenadas.....</b>	<b>63</b>
4.1. Estrutura de sustentação e posicionamento da peça.....	63
4.2. Controle de movimentos.....	66
4.3. Motores.....	67
4.4. Fixação da ferramenta.....	69
4.5. Fixação da peça.....	70
4.6. Movimentação da ferramenta.....	70
4.7. Transmissão de movimentos.....	71
4.8. Programa de controle.....	74
<b>CAPÍTULO 5</b>	
<b>Resultados obtidos.....</b>	<b>80</b>
5.1. Estrutura de sustentação.....	80
5.2. Controle de movimentos.....	81
5.3. Motores.....	81
5.4. Fixação da ferramenta.....	82
5.5. Fixação da peça.....	83
5.6. Movimentação da ferramenta.....	83
5.7. Transmissão de movimentos.....	83
<b>CONCLUSÃO.....</b>	<b>86</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>89</b>



**LISTA DE FIGURAS**

Figura 1. Peça com seis furos escalonados.....	9
Figura 2. Fixação do gabarito na furadeira.....	9
Figura 3. Furação com broca de diâmetro de 8,0 mm.....	10
Figura 4. Seqüência de furação com broca de diâmetro de 8,0 mm...	10
Figura 5. Furação com broca tipo fresa de topo e com novo gabarito de posicionamento da peça.....	11
Figura 6. Seqüência de operações com broca tipo fresa de topo.....	12
Figura 7. Equipamento CNC.....	24
Figura 8. Controle ou comando numérico.....	25
Figura 9. Fresadora CNC SOGIMA.....	29
Figura 10. Fresadora CNC TECHNO.....	30
Figura 11. Fresadora CNC DIGIMAQ.....	31
Figura 12. Fresadora vertical FRITZ WERNER.....	34
Figura 13. Furadeira múltipla da LIDEAR.....	35
Figura 14. Equipamento CNC para furação da VEROE CONTROL...	37
Figura 15. Grampo de fixação rápida.....	60
Figura 16. Estrutura de sustentação do equipamento.....	64
Figura 17. Dispositivo de fixação da peça.....	65
Figura 18. Acoplamento do motor de passo com a barra roscada.....	68
Figura 19. Suporte para fixação da ferramenta.....	70
Figura 20. Conjunto do equipamento para furação.....	71
Figura 21. Barra roscada com tubo e duas porcas.....	72
Figura 22. Bucha de deslizamento com guias.....	73
Figura 23. Janela com o programa mestre.....	74
Figura 24 Janela onde aparece o arquivo texto.....	75
Figura 25. Janela onde aparece o caminho para configurações.....	76

Figura 26. Janela de configurações.....	77
Figura 27. Janela de entrada para gerar pulsos.....	78
Figura 28. Janela com tabela de pulsos e eixos X e Y referenciados.	79
Figura 29. Foto do conjunto do equipamento de mesa de coordenadas para operações de furação.....	80
Figura 30. Foto da fixação da ferramenta.....	82

**LISTA DE QUADROS**

Quadro 1. Comparação entre o sistema de produção em massa e o sistema flexível.....	8
Quadro 2. Lista de comandos G.....	54
Quadro 3. Lista de comandos M.....	56
Quadro 4. Comparativo entre motor de passo e servomotor.....	57

**LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS:**

UFSM	Universidade Federal de Santa Maria
CNC	comando numérico computadorizado
BNDES	Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico E Social
PLC	Programmable logical computer
CLP	Computador lógico programável
NAFA	Núcleo de automação e processos de fabricação
MIT	Instituto de tecnologia de massachusetts
CN	Controle numérico
EIA	Eletronic industries association
ASCII	American standard code for information interchange
APT	Automatically prograded tools
PC	Computador pessoal
CAD/CAM	Projeto e fabricação assistido por computador

## **Resumo**

Dissertação de Mestrado

Universidade Federal de Santa Maria

Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção

### DESENVOLVIMENTO DE UM EQUIPAMENTO PROGRAMÁVEL PARA MICRO E PEQUENA EMPRESA.

Autor: Marco Aurelio Garcia Bandeira

Orientador: Prof. Alexandre Dias da Silva

Santa Maria, RS, 24 de abril de 2005

Este trabalho tem por objetivo apresentar uma alternativa a equipamentos CNC para as pequenas e micros empresas, que necessitam aumentar a flexibilidade de seu processo produtivo com pouco capital para investimento. Apresenta uma revisão bibliográfica sobre o sistema flexível de produção, as informações necessárias ao seu desenvolvimento e um histórico dos sistemas programáveis para máquinas ferramenta. No trabalho de campo foram observados sete empresas industriais, de micro e pequeno porte, sediadas na cidade de Santa Maria, RS. A pesquisa de campo permitiu identificar as dificuldades que estas empresas encontram em flexibilizar seu sistema produtivo, e os problemas advindos da falta de flexibilização. Para isso foi desenvolvido um modelo de mesa de coordenadas programável, utilizando peças e materiais disponíveis comercialmente à baixo custo, tendo como principal objetivo testar seu funcionamento por meio de programa desenvolvido para esse fim.

Palavras-chave: Flexibilidade, produtividade, equipamentos programáveis.

**Abstract**

Master Dissertation

Federal University of Santa Maria, RS, Brazil

Engineering Production Postgraduate Course

DEVELOPMENT OF A PROGRAMMABLE EQUIPMENT FOR SMALL  
BUSINESS

Author: Marco Aurelio Garcia Bandeira

Adviser: Alexandre Dias da Silva

Santa Maria, RS, april 24<sup>th</sup>, 2005

This essay has as main objective to present an alternative to CNC equipments for small business that need to increase the flexibility of the productive process with little capital as an investment. A bibliography review about the flexible system of production is presented with the necessary information for its development and a history of programmable systems for tool machines. Aiming to reach this objective, the research was developed in seven industries, of small business, located in the city of Santa Maria, RS. This research allowed to identify the difficulties that this industries face to turn its productive system flexible, and the problems from lack of flexibility. Based on this, a model of programmable coordinates table was developed, using parts and available supplies which are commercialized with a low cost, which the main objective is to test its working through a program developed to this purpose.

Key –words: flexibility, productivity, and programmable equipments

## INTRODUÇÃO

---

No NAFA da UFSM, existe um grupo de pesquisa, que tem por objetivo desenvolver alternativas para desenvolvimento de equipamentos programáveis voltados ao atendimento das necessidades das micros e pequenas empresas.

Foi desenvolvido, junto a esse grupo, um modelo de mesa de coordenadas programável para trabalhar com madeira, com projeto e montagem dos componentes para movimentação da peça e utilização de um microcomputador para a programação do sistema.

A idéia surgiu da necessidade de um empresário local, do setor moveleiro, que procurou a UFSM solicitando ajuda no sentido de desenvolver um equipamento para furação de madeira que proporcionasse maior flexibilidade ao processo produtivo de sua empresa, mas que tivesse baixo custo, pois esse é o maior empecilho ao acesso de novas tecnologias por parte dos pequenos e micro empresários.

A partir daí, procurou-se observar os equipamentos de furação utilizados por parte das indústrias moveleiras e quais os pontos fortes e falhos desses equipamentos, e quais as alternativas para melhorias dos mesmos.

As empresas industriais vem, nas últimas décadas, sofrendo inovações no sentido de se aumentar a sua capacidade produtiva.

A capacidade de produção de uma indústria está ligada ao melhor aproveitamento do tempo de produção. Esse aproveitamento é otimizado quanto menores forem os tempos de parada de máquina para troca de ferramenta, limpeza, manutenção e movimentação de materiais. Esses tempos não agregam valor ao produto e à empresa, pois não há a efetiva transformação da matéria-prima em produto acabado.

A primeira consideração é que, para aumentar a capacidade produtiva, não é preciso ampliar a fábrica inteira. Temos que nos

concentrar no “gargalo” ou seja, é a fase do sistema produtivo que tem a menor velocidade. Assim, se conseguimos aumentar a capacidade do “gargalo”, conseguimos aumentar a capacidade da fábrica inteira (Francischini, P., 2004).

Existem oito tipos de perdas que precisam ser eliminadas ou, pelo menos, reduzidas para que não haja desperdício de recursos e assim podermos aumentar a capacidade do “gargalo” (Francischini, P., 2004).

O primeiro tipo de perda são os produtos defeituosos. Quando um equipamento-gargalo gera um produto defeituoso, significa que se gastou um recurso precioso na fábrica e não obteve um resultado esperado (Francischini, P., 2004).

A segunda perda refere-se às paradas para preparo da máquina para trocar o produto a ser fabricado. O ideal é que o tempo entre o término do lote anterior e o começo da produção do próximo lote seja de, no máximo, dez minutos (Francischini, P., 2004).

A terceira perda diz respeito aos movimentos desnecessários do operador. Observando, por exemplo, uma operação de prensagem, o operador faz vários movimentos de transporte e posicionamento que não agregam valor ao cliente. Só agrega quando a máquina forja a peça (Francischini, P., 2004).

A quarta perda é o tempo de espera. Geralmente esta perda é por falta de balanceamento da linha ou fornecedores não-qualificados (Francischini, P., 2004).

A quinta perda está relacionada aos estoques desnecessários de matéria-prima e produtos acabados. Eliminando-se estoques, elimina-se uma série de custos (Francischini, P., 2004).

A sexta perda fica por conta dos estoques intermediários. Este tipo de estoque é uma perda significativa e muito maior do que a anterior. Eles não podem ser devolvidos, ocupam espaço na fábrica, utilizam matéria-prima já paga e ainda não podem ser vendidos (Francischini, P., 2004).

---



A sétima perda é o transporte desnecessário. A má gestão dos recursos produtivos, geralmente, é a causa desta perda, gerando um vai-e-vem desnecessário de produtos entre unidades fabris (Francischini, P., 2004).

A oitava perda tem a ver com os projetos do produto que requerem processamentos que não agregam valor para o cliente, somente custos (Francischini, P., 2004).

Existem diversas alternativas para se reduzir os tempos de produção. Uma dessas alternativas é a padronização de algumas peças, como por exemplo, a prateleira de uma estante. Essa peça pode servir como prateleira para várias estantes de variadas dimensões, como para laterais de alguns outros móveis. Esse processo é conhecido como sistema modular e tem a vantagem de produzir uma mesma peça em larga escala, reduzindo os tempos com paradas para preparo do equipamento.

Outra alternativa é o investimento em equipamentos que permitam maior flexibilidade ao processo produtivo.

Conforme a análise anterior, pode-se ver que das perdas relacionadas, a maior parte está ligada ao tipo de equipamento utilizado.

Sabe-se que a maior parte das pequenas e micro empresas trabalham com equipamentos manuais e, raramente, automáticos. Equipamentos manuais, são máquinas de propósito geral que dependem da habilidade do operador para seu manuseio. Entretanto, apresentam flexibilidade pois são usados em variados produtos. Porém, na maioria dos casos falta precisão, repetibilidade e produtividade. Com uma furadeira manual, por exemplo, pode-se furar várias peças diferentes sem necessidade de nenhum ajuste na máquina. Mas dificilmente o operador consegue manter uniformidade nessas operações.

Com as máquinas automáticas ocorre o contrário, apresentam precisão, repetibilidade e produtividade. Porém não apresentam

---

flexibilidade, pois a cada mudança de produto necessita-se de novas regulagens para o equipamento e gabaritos.

Já as máquinas CNC aumentam a produção com flexibilidade, pois basta informar via sistema computadorizado as coordenadas e parâmetros de corte para realizar uma nova operação. Porém, em geral um equipamento automático apresenta maior produtividade em relação ao CNC. Máquinas CNC são equipamentos programáveis que fazem com que o processo produtivo se adapte facilmente a novos produtos, com menor tempo de preparação e maior precisão. Mas são equipamentos caros, disponíveis apenas para as grandes empresas que possuem capital para o seu investimento. Já as pequenas e micros, que não tem esse capital, tendem a ficar cada vez mais atrás na corrida por competitividade.

Em Santa Maria, buscou-se informações sobre o processo produtivo em sete micro e pequenas indústrias, sendo quatro moveleiras e três metalúrgicas. Dessas, apenas uma, uma indústria moveleira, possui um equipamento automático, uma furadeira multifuso, que permite alta produtividade mas não a necessária flexibilidade. Portanto, em nenhuma delas foi encontrado equipamento que permita flexibilidade. Essas empresas trabalham com produtos sob encomenda, não possuem produtos padronizados, o que dificulta a construção de dispositivos e gabaritos para agilizar os processos de fabricação, pois, para cada produto, mudam-se os detalhes construtivos, e, com essas mudanças surge a necessidade de novas regulagens do maquinário utilizado, acarretando um tempo considerável à fabricação do produto.

Em todas as empresas pesquisadas constatou-se que a procura por produtos sob encomenda é muito grande. São pedidos com pequeno número de itens, o que acarreta uma mudança constante de regulagem em equipamentos e gabaritos. Devido a essas condições surge a necessidade de se desenvolver máquinas e equipamentos que sejam

---

programáveis e tenham baixo custo, para aumentar a produção com flexibilidade.

É grande a importância das pequenas e micro empresas para a economia brasileira. Por isso é fundamental que haja a iniciativa de fortalecimento dessas, por meio de desenvolvimento de técnicas de produção que lhes proporcionem condições de competitividade no mercado.

No Brasil, já são mais de 3 milhões de empresas de pequeno porte, que empregam 50% da população com carteira assinada. Mesmo em momentos de crise, é esse segmento que mais absorve mão-de-obra. Nos últimos sete anos, 96% das vagas formais se originaram de negócios que nasceram, muitas vezes, em fundo de quintal (Ramiro & Loturco, 2002).

Estudo do BNDES mostra que, enquanto companhias com mais de 500 empregados fecharam 63.000 postos de trabalho entre 1996 e 2000, as com até quatro funcionários abriram 70.000 vagas no mesmo período (Ramiro & Loturco, 2002).

Isso mostra a importância da pequena e micro empresa para a economia do país.

As pequenas e micros empresas enfrentam dificuldades para modernizar seu processo produtivo, pois equipamentos CNC, por exemplo, que podem aumentar a produtividade com flexibilidade, apresentam um custo muitas vezes proibitivos para essas empresas.

O objetivo desse trabalho é analisar uma alternativa para o projeto e construção de equipamentos que possam aumentar a produtividade, com flexibilidade, de micro e pequenas empresas, com baixo custo.

Para isso, buscou-se estudar os diversos componentes de equipamentos disponíveis comercialmente, e seus similares, e com esses mostrar que é possível montar equipamentos direcionados a necessidades específicas.

---

O capítulo 1 deste trabalho trata sobre o que é flexibilidade e sua importância para o aumento de agilidade na produção.

No capítulo 2 faz-se um histórico do sistema programável, mais especificamente do sistema CNC, falando sobre suas aplicações e vantagens.

No capítulo 3 descreve-se a metodologia projetual utilizada neste trabalho, onde se trata sobre o desenvolvimento do modelo de equipamento programável e a comparação entre os diversos modelos existentes, bem como a definição das exigências a serem cumpridas pelo equipamento a ser desenvolvido.

O capítulo 4 trata do desenvolvimento de um modelo de mesa de coordenadas programável, onde se observa as etapas de construção do mesmo, bem como os materiais empregados, o sistema de movimentação, o acionamento e a programação do mesmo.

Por último, o capítulo 5 trata da análise do modelo desenvolvido, verificando os resultados obtidos.

---

## CAPÍTULO 1

---

### **Flexibilidade na produção**

O objetivo desse capítulo é o de mostrar o que é flexibilidade no processo de produção industrial e a sua para micros e pequenas empresas.

A flexibilidade pode ser considerada sob diferentes âmbitos. Existem três tipos de flexibilidade num sistema de fabrico: de volume, de encaminhamento e de produto (Tovar, 1996).

Por flexibilidade de volume, deve entender-se a capacidade de lidar com variações quer no volume de produção global quer no volume de componentes ou de um determinado produto.

A flexibilidade de encaminhamento diz respeito à capacidade que um sistema tem de encaminhar dinamicamente os componentes através do sistema, por forma de fazer face a eventuais avarias de máquinas, diferentes ferramentas necessárias, etc...

Por último, a flexibilidade do produto. Esta diz respeito à possibilidade de lidar, em simultâneo, com uma variedade de produtos, utilizando os mesmos recursos de fabricação. Como por exemplo, a fabricação de diferentes modelos de uma determinada gama de produtos.

Na produção em massa, que é a produção em grande quantidade do mesmo produto, não há maiores preocupações com a flexibilidade, pois sendo o lote de peças bastante grande, a preparação se dá apenas uma vez para a sua fabricação. Neste tipo de produção, como o custo com o tempo de preparação é dividido entre todas as peças, reduz-se, dessa forma, o custo final da peça. Esse tipo de produção teve início por volta de 1913, com a revolução do aço e da eletricidade, nos Estados Unidos. O nome, retirado da indústria automobilística, caracteriza a produção em linha de montagem, em série, com trabalho especializado, fragmentado, repetitivo e não-qualificado - e também insalubre -, com as relações de trabalho hierarquizadas (Bardanachvili, s.d.).

Já na produção sob encomenda, ou produção intermitente, que é a produção de poucas unidades do mesmo produto, é necessário que haja flexibilidade no sistema produtivo. Por exemplo, no caso de fabricar apenas uma peça de um tipo de produto, o tempo de preparação do equipamento pode ser maior que o tempo de operação do mesmo. Isso faz com que o custo desse produto seja mais elevado.

Fazendo uma comparação entre o sistema de produção em massa com o sistema de produção flexível (Paiva, 1999), tem-se o Quadro 1.

Quadro 1 - Comparação entre o sistema de produção em massa e o sistema flexível.

<b>Produção em massa</b>	<b>Produção flexível</b>
Produção de produtos em grandes quantidades	Produção de produtos de alta qualidade
Baixo nível de inovação	Alto grau de inovação
Concorrência de preços	Concorrência de qualidade, individualização e prazos
Produtos estandarizados	Produtos variados
Grandes unidades de produção	Pequenas unidades de produção
Organização burocrática (hierarquizada e centralizada)	Organização flexível (policentrada)
Forte divisão do trabalho	Fraca divisão do trabalho
Atividades de investigação e desenvolvimento	Intensa atividade de investigação e desenvolvimento
Máquinas especializadas	Máquinas multifuncionais programáveis
Operários pouco ou não qualificados	Operários qualificados
Especialização de competências	Polivalência

Conforme o quadro acima, um dos itens relacionados é o maquinário utilizado, que são máquinas especializadas na produção em massa e máquinas multifuncionais programáveis na produção flexível.

**Máquinas especializadas** são aquelas que executam apenas uma determinada operação. Por exemplo, uma furadeira pode executar apenas operações de furação, utilizando apenas um tipo de ferramenta que é a broca. Esse tipo de equipamento não permite flexibilidade ao processo, pois a cada mudança de peça a ser produzida, é necessária nova regulagem do mesmo, que geralmente demanda um grande tempo, pois são operações que dependem da habilidade do operador.

---

Pode-se tomar como exemplo uma operação de furação na indústria moveleira para fabricar uma peça que necessite seis furos escalonados e dispostos conforme a Figura 1.

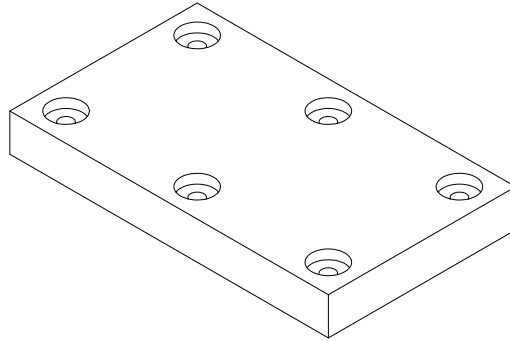


Figura 1 - Peça com seis furos escalonados.

A sequência de operações é a seguinte:

Primeiro, tem-se que fixar a broca no mandril. Em seguida deve-se fixar um gabarito na mesa da furadeira, que vai posicionar a peça de modo a que todos os furos sejam feitos na mesma posição (Figura 2).

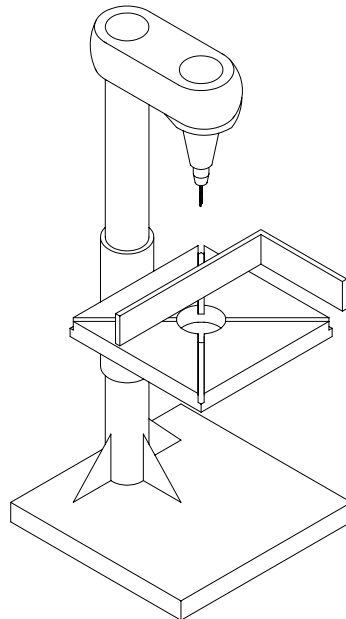


Figura 2 - Fixação do gabarito na furadeira.

A seguir, faz-se o furo passante (Figuras 3 e 4).

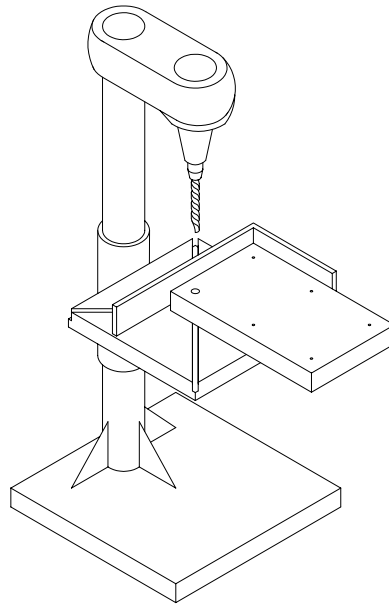


Figura 3. Furação com broca de diâmetro 8,0 mm.

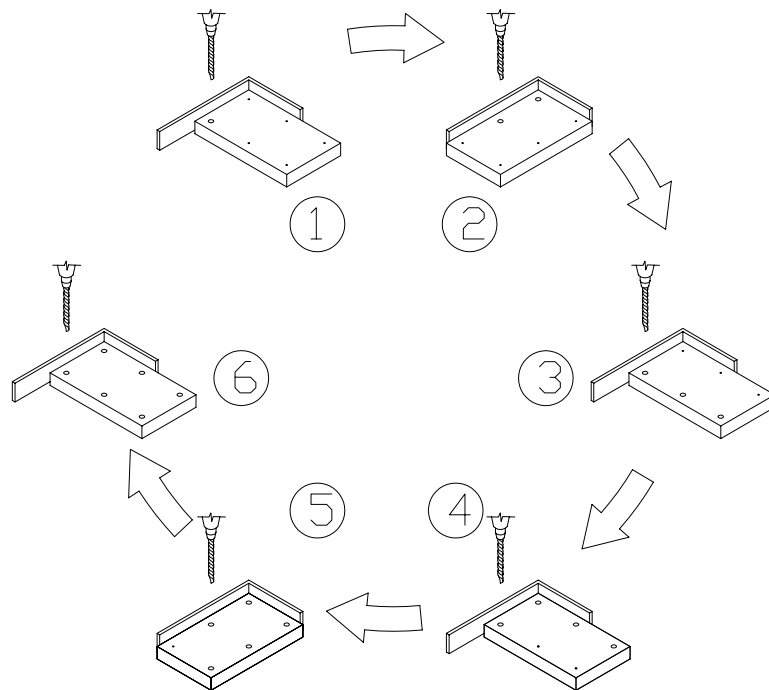


Figura 4. Seqüência de furação com broca de diâmetro 8,0 mm.



Em seguida, substitui-se a broca por uma do tipo fresa de topo para realizar o furo não passante. Também é feita a substituição do gabarito de posicionamento da peça por outro com um pino, pois o anterior exigia a inversão da peça quando das seqüências 2 para 3 e 5 para 6, o que não é possível agora porque o furo não é passante. A seqüência de operações é mostrada nas figuras 5 e 6.

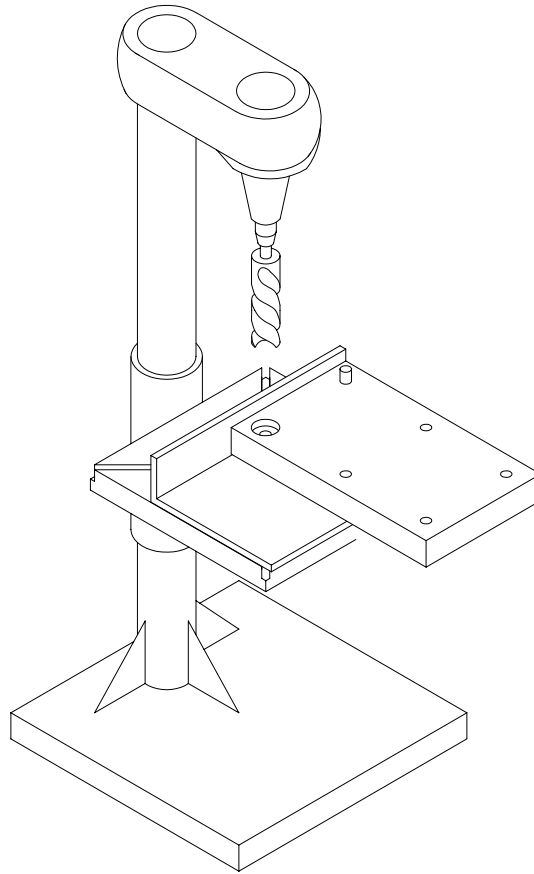


Figura 5. Furação com broca tipo fresa de topo e com novo gabarito de posicionamento da peça.

---

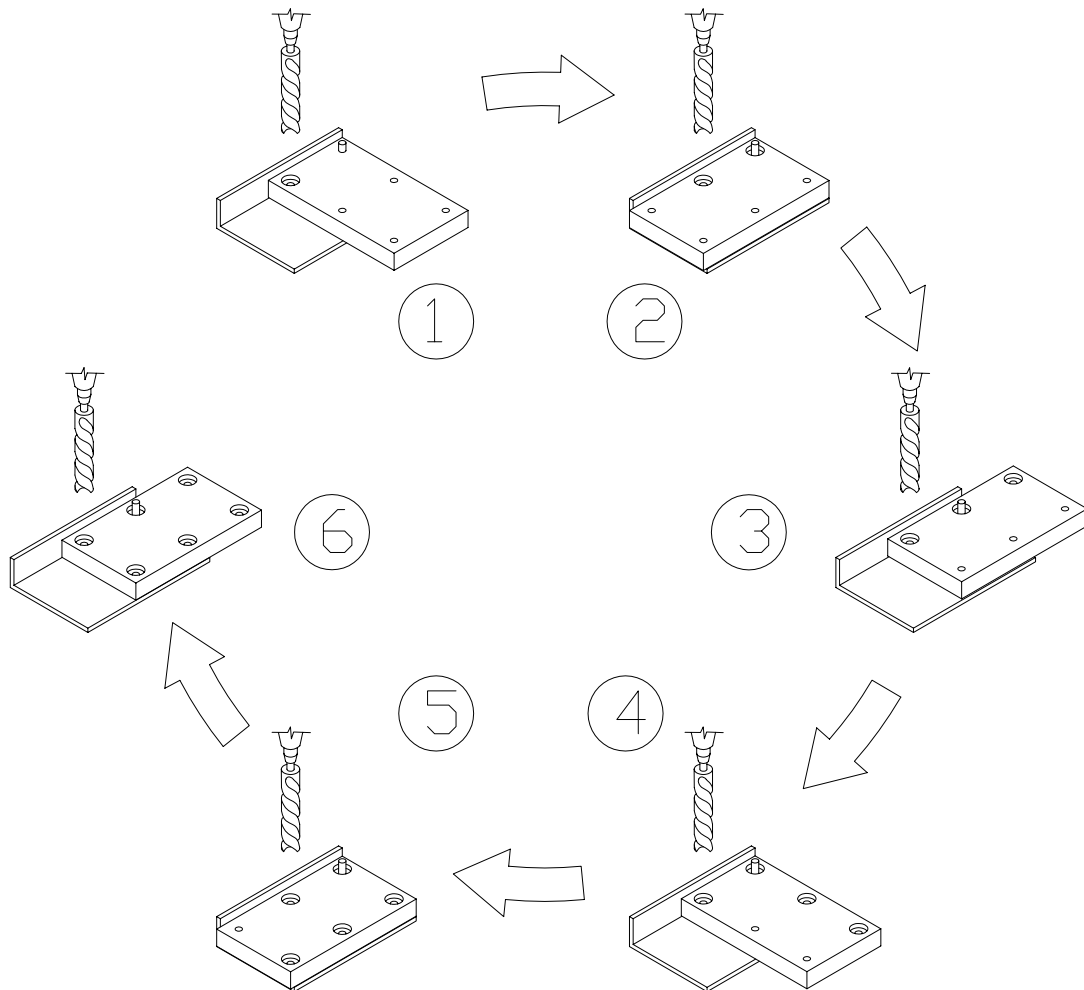


Figura 6. Seqüência de operações com broca tipo fresa de topo.

Deve-se observar, neste exemplo, que todas as operações são manuais. O operador tem que substituir as brocas, afrouxando o mandril e apertando-o novamente, e também substituir o gabarito quando necessário. Essa preparação demanda tempo e não garante precisão, nem repetibilidade, pois depende da habilidade do operador.

Já com um **equipamento programável**, o tempo de preparação do mesmo é bem menor, pois não há a necessidade de ajustes como troca de ferramentas e gabaritos, pois este se dá por meio de comandos

digitais. Tomando a mesma peça do exemplo anterior, tem-se a seguinte seqüência de operações:

Tendo em vista essas dificuldades, algumas empresas passaram a trabalhar com algumas peças padronizadas, que são os chamados sistemas modulares.

Dentro dessa filosofia de trabalho, os produtos podem ser os mais variados possíveis, mas as peças são intercambiáveis, ou seja, muda-se a disposição delas e têm-se um novo produto.

Por exemplo, uma peça que serve como prateleira para um armário de cozinha, pode servir como prateleira para um guarda roupa ou para uma estante. A peça é padrão, mas os produtos são variados.

Dessa maneira, pode-se produzir essas peças em grandes quantidades. E mesmo utilizando equipamentos manuais, pode-se adaptar, a estes, gabaritos e dispositivos que tornam o processo mais rápido e mais preciso. O objetivo do sistema modular é produzir o maior número de peças possíveis com apenas uma preparação do equipamento.

Para aumentar a produtividade com flexibilidade, podem ser utilizadas máquinas multifuncionais programáveis, que são máquinas que podem fazer vários tipos de operações, com ferramentas de bitolas e formas diferentes, sendo que um operador pode controlar várias máquinas ao mesmo tempo.

Um exemplo desse tipo de máquina é uma furadeira CNC, que pode executar vários tipos de furos, com formas e diâmetros diferentes, sem que o operador tenha que intervir no processo, pois a máquina é programável e as operações são feitas seqüencialmente.

No exemplo anterior, para fabricar a peça com seis furos escalonados, em um equipamento CNC, precisa-se apenas de um operador que programe a máquina, coloque e retire a peça pronta da mesma. Uma máquina CNC permite flexibilidade ao processo produtivo,

---

pois ela se adapta, em um tempo bastante curto, a fabricação de novos produtos.

Outra alternativa seria uma furadeira multifuso, que pode fazer vários furos simultaneamente, gerando grande produtividade, pois, após regulada a máquina, basta posicionar a peça. Mas esse tipo de equipamento apresenta a desvantagem de necessitar um alto tempo de regulagem a cada troca de modelo de peça. Portanto, esse equipamento é indicado para produção em massa, que é a produção em grandes lotes do mesmo produto, onde se pode ter um tempo de preparação do equipamento relativamente alto, pois este será regulado apenas uma vez. Mas para produção intermitente não apresenta a necessária flexibilidade.

Já para a produção intermitente, que é a produção de pequenos lotes de peças, não se pode ter um tempo de preparação alto, pois esse tempo, muitas vezes, vai acabar sendo maior que o tempo de operação, aumentando o custo do produto e tornando inviável o processo produtivo, não havendo a necessária competitividade.

Para finalizar, pode-se dizer que para uma pequena empresa ter competitividade, ela tem que ter flexibilidade em sua produção, necessitando, portanto, de maquinário que se adapte rapidamente a um novo produto, que deve apresentar uma multifuncionalidade e ser programável, para agilizar seu processo.

---

## CAPÍTULO 2

---

### **Equipamentos CNC**

Este capítulo tem por objetivo mostrar um histórico sobre equipamentos CNC, bem como alguns requisitos para seu funcionamento e alguns componentes que estruturam o mesmo.

#### **2.1. Histórico:**

A automação simplifica todo tipo de trabalho, seja ele físico ou mental. No cotidiano observa-se cada vez mais a automação e a racionalização dos trabalhos físicos em geral. A cada nova geração de novos produtos, observa-se em cada modelo uma evolução que faz com que os esforços físicos e mentais sejam reduzidos. No processo de pesquisa para melhoria dos produtos, aliado ao desenvolvimento dos computadores, foi possível chegar às primeiras máquinas controladas numericamente.

O principal fator que forçou os meios industriais a essa busca, foi a segunda guerra mundial. Neste período, a necessidade de evolução exerceu papel decisivo, necessitava-se de muitos aviões, tanques, barcos, navios, armas, caminhões, etc... O ritmo de produção necessitava acontecer em alta escala e grande precisão, pois a guerra consumia com tudo, inclusive com a mão de obra. Grande parte da mão de obra masculina utilizada pelas fábricas como especializada, foi substituída pela feminina, o que na época implicava na necessidade de treinamento, com reflexos na produtividade e na qualidade. Era o momento certo para se desenvolver máquinas automáticas de grande produção, para peças de precisão e que não dependessem da qualidade da mão de obra aplicada (Cassaniga, 2000).

Diante deste desafio, iniciou-se o processo de pesquisa onde surgiu a máquina comandada numericamente.

A primeira ação neste sentido surgiu em 1949 no laboratório de Servomecanismo do MIT, com a união da Força Aérea Norteamericana e a empresa Parsons Corporation of Traverse City, Michigan. Foi adotada uma fresadora de três eixos, a Hydrotel, da Cincinnati Milling Machine Company, como alvo das novas experiências. Os controles e comandos convencionais foram retirados e substituídos pelo comando numérico, dotado de leitora de fita de papel perfurado, unidade de processamento de dados e servomecanismo nos eixos. Após testes e ajustes, a demonstração prática da máquina ocorreu em março de 1952, e o relatório final do novo sistema somente foi publicado em maio de 1953 (Cassaniga, 2000).

Após este período, a Força Aérea Norte-americana teve um desenvolvimento extraordinário, pois as peças complexas e de grande precisão, empregadas na fabricação das aeronaves, principalmente os aviões a jato de uso militar, passaram a ser produzidos de forma simples e rápida, reduzindo-se os prazos de entrega do produto desde o projeto, até o acabamento final. A cada ano, foi incrementada a aplicação do CN, principalmente na indústria aeronáutica (Cassaniga, 2000).

Em 1956 surgiu o trocador automático de ferramentas. Em um magazine se alojam um certo número de ferramentas, que podem chegar a mais de uma centena. O magazine constitui-se normalmente de um cabeçote giratório e de esteiras. O cabeçote giratório, também conhecido como torre ou revólver, comporta poucas ferramentas. As esteiras ou correntes arrastam os porta-ferramentas e comportam uma grande quantidade de ferramentas (Cassaniga, 2000).

Para efetuar a troca da ferramenta que está no cabeçote por uma das que se encontram no magazine, é necessário um mecanismo conhecido como trocador automático de ferramentas (Cassaniga, 2000).

Os magazines e os trocadores automáticos de ferramentas possibilitam a troca automática de uma ferramenta e aumentam a

---

independência da máquina em relação à presença do operador humano (Cassaniga, 2000).

A partir de 1957, houve nos Estados Unidos, uma grande corrida na fabricação de máquinas comandadas por CN, pois as indústrias investiam até então em adaptações do CN em máquinas convencionais (Cassaniga, 2000).

Este novo processo foi cada vez mais usado na rotina de manufatura, que a partir deste ano, com todos os benefícios que haviam obtido deste sistema, surgiram novos fabricantes que inclusive já fabricavam seus próprios comandos (Cassaniga, 2000).

Um programa para uma máquina de comando numérico é uma lista de instruções escritas numa linguagem que a máquina é capaz de entender. A máquina precisa obedecer às instruções escritas no programa para executar sua tarefa com perfeição (Cassaniga, 2000).

Mudar o programa de operação da máquina é, portanto, muito mais rápido do que fabricar novos cames ou realizar regulagens mecânicas.

Com o programa em sua memória, cabe ao comando numérico executá-lo, fazendo com que a máquina obedeça às instruções.

Devido ao grande número de fabricantes, começaram a surgir os primeiros problemas, sendo que o principal, foi a falta de uma linguagem única e padronizada. A falta de padronização era bastante sentida em empresas que tivessem mais de uma máquina de comandos, fabricados por diferentes fornecedores, cada um deles tinha uma linguagem própria com a necessidade de uma equipe técnica especializada para cada tipo de comando, o que elevava os custos de fabricação (Cassaniga, 2000).

Em 1958, por intermédio da EIA organizaram-se estudos no sentido de padronizar os tipos de linguagem.

Houve então a padronização de entrada de dados conforme padrão RS-244 que depois passou a EIA244A ou ASCII. ASCII é um conjunto de códigos para o computador representar números, letras,

---

pontuação e outros caracteres. O nome ASCII se refere a um padrão que define um conjunto de 128 caracteres para os computadores se comunicarem entre si. Atualmente o meio mais usado de entrada de dados para o CNC é via computador. A linguagem de alto nível destinada à programação de máquinas era a APT, desenvolvida pelo MIT em 1956. Daí para frente foram desenvolvidas outras linguagens para a geração contínua de contornos como AutoPrompt (Automatic Programming of Machine Tools), ADAPT, Compact II, Action, e outros que surgiram e continuam surgindo para novas aplicações (Cassaniga, 2000).

Com o aparecimento do circuito integrado, houve grande redução no tamanho físico dos comandos, embora sua capacidade de armazenamento tenha aumentado, comparando-se com os controles transistorizados (Cassaniga, 2000).

Em 1967 surgia no Brasil as primeiras máquinas controladas numericamente, vindas dos Estados Unidos.

No início da década de 70, surgem as primeiras máquinas CNC e no Brasil surge as primeiras máquinas CN de fabricação nacional (Cassaniga, 2000).

A partir daí, observa-se uma evolução contínua e notável concomitantemente com os computadores em geral, fazendo com que os comandos (CNC) mais modernos, empreguem em seu conceito físico (*hardware*) tecnologia de última geração. Com isso, a confiabilidade nos componentes eletrônicos aumentou, aumentando a confiança em todo sistema (Cassaniga, 2000).

## **2.2. Vantagens e desvantagens:**

Uma das vantagens do CNC em relação a um equipamento automático é a possibilidade de mudar rapidamente a seqüência de operações que a máquina deve realizar.

---



Geralmente, quando se trata de máquinas CNC, se refere a aplicação da técnica em máquinas-ferramenta. No entanto, as máquinas-ferramenta correspondem apenas a um tipo de máquina CNC.

Apesar de os comandos numéricos serem tradicionalmente usados em máquinas-ferramentas, essa não é a única aplicação. Em princípio, qualquer máquina que deva ter seu posicionamento, velocidade e aceleração controlados pode ser automatizada por meio desse tipo de controle.

A cada um dos eixos de movimento da máquina associa-se um servomotor, com velocidade e aceleração que podem ser controladas pelo comando numérico e por *drivers*, que são um conjunto de circuitos eletrônicos destinados a controlar a rotação do motor.

Para executar uma ordem, o CNC envia uma mensagem ao motor que está ligado ao eixo da máquina. A ordem, na verdade, é um sinal elétrico que deixa o comando numérico para acionar diretamente o motor. No entanto, como esse sinal é muito fraco e insuficiente, é necessário amplificá-lo, o que é feito pelo *driver*.

Muitas peças deixaram de ser utilizadas graças à presença dos servomotores. Em um torno ou em uma fresadora CNC, a rotação da placa ou do cabeçote, bem como as velocidades de translação ou rotação dos eixos, é estabelecida simplesmente por meio de funções de programação. O comando numérico da máquina envia um sinal de controle ao driver, encarregado do acionamento do motor, e o driver aciona diretamente o motor.

É um equipamento eletrônico que recebe informações da forma em que a máquina vai realizar uma operação, por meio de linguagem própria, denominada programa CNC. O equipamento processa essas informações, e devolve-as ao sistema através de impulsos elétricos. Os sinais elétricos são responsáveis pelo acionamento dos motores que darão à máquina os movimentos desejados com todas as características

---

da operação de corte, realizando-a na seqüência programada sem a intervenção do operador.

Atualmente, a utilização do CNC, é a saída mais apropriada para a solução dos mais complexos problemas de operações de corte. Onde anteriormente se exigia uma ferramenta especial ou um operador eficiente, atualmente é feito com o CNC de uma forma muito simples.

Os benefícios trazidos pela aplicação de comandos numéricos à máquinas-ferramenta são inúmeros:

- Fabricação de peças de geometria mais complexas, tolerâncias dimensionais mais estreitas e melhor acabamento superficial.
- Maior repetibilidade das características do produto: as peças produzidas são idênticas umas as outras, independentemente dos fatores humanos.
- Redução da fadiga dos operadores humanos, que passam a ser responsáveis apenas por tarefas de preparação, programação e controle de produção das máquinas.
- Possibilidade de operação de mais de uma máquina pelo mesmo operador.
- Flexibilização da produção, ou seja, possibilidade de fabricação de pequenos lotes de uma grande variedade de peças, sem que para isso sejam necessários ajustes demorados no equipamento.
- Redução de itens acabados no estoque, por se possibilitar produção de pequenos lotes.
- Redução nos tempos e na freqüência, com que as inspeções de qualidade são efetuadas.
- Redução nos índices de refugos e retrabalhos.
- Redução nos investimentos em dispositivos de furar, traçar, modelos, gabaritos, cames, máscaras, chapelonas, etc.

Porém o uso das máquinas CNC também trouxe alguns problemas, tais como:

---

- Necessidade de investimentos elevados para aquisição dos equipamentos.
- Necessidade de treinamento e capacitação de mão de obra, para a utilização de todo o potencial tecnológico das máquinas.
- Desemprego nos segmentos de indústria onde foram instaladas.

### **2.3. Requisitos:**

O CNC não é apenas um sistema que atua diretamente no equipamento, ele deve ser encarado como um processo que deve ser responsável por mudanças na CULTURA da empresa. Isto quer dizer que, para que se tenha um melhor aproveitamento de um equipamento CNC, é interessante que se tenha uma boa organização, principalmente no que se refere ao processo de fabricação, controle de ferramentais (fixação, corte e medição) e administração dos tempos padrões e métodos de trabalho.

Usar uma máquina CNC não significa substituir o operador por um computador, pode-se fazer qualquer coisa que se faça em uma máquina CNC em máquinas convencionais. As únicas diferenças em questão de produtividade são o tempo de produção e a repetibilidade das peças, pois em alguns casos, a complexidade das peças pode exigir um empenho sobre-humano do operador. Pode-se até entender que o ganho do CNC sobre o convencional não é tão grande, porém isso é um grande equivoco, pois a partir do advento do CNC foi possível criar peças com geometrias de extrema complexidade em tempo recorde, peças, cuja fabricação era possível apenas nas mãos experientes de um exímio mestre modelador. Percebe-se isto nas linhas aerodinâmicas dos automóveis modernos com formas complexas e bonitas que se alteraram com muita rapidez. No início da fabricação dos automóveis em série, por exemplo, todos os carros eram iguais e da mesma cor, o consumidor era

---

obrigado a optar entre comprar aquele carro que todos tinham ou ficar sem. Hoje a colocação de um novo modelo é tão rápida, que o consumidor se sente às vezes até incapaz de se decidir qual escolher (Azevedo, s. d.).

Neste sentido, pode-se dizer que hoje em dia, possuir máquinas convencionais ou CNC, esta diretamente relacionada entre ter perspectivas ou não para o futuro.

É importante planejar muito bem quando se deseja implantar máquinas CNC em um parque pré-existente de máquinas convencionais, ou mesmo, montar um parque de máquinas CNC a partir do zero. O lucro é certo, se toda estratégia for bem estipulada (Azevedo, s.d.). Tal planejamento exige estudos de:

### **2.3.1. Pesquisa do tipo de máquina que o mercado ou a própria empresa anseia:**

Empresas que fornecem exclusivamente serviço de usinagem precisam estar atentas aos anseios de seus consumidores, tais como complexidade geométrica, precisão, tamanho e tempo de resposta das peças, exigidos por eles assim como volume de produção dos mesmos. Analisando-se estes itens, pode-se determinar o tipo de máquinas que iremos precisar. Por outro lado, se o setor de usinagem for um membro da empresa, e os serviços de usinagem fizerem parte da concepção do produto desta empresa, o estudo pode se definir mais facilmente, pois pode-se encontrar na própria empresa as perspectivas necessárias para a definição do tipo de máquina ideal.

### **2.3.2. Análise de custo x benefício das máquinas selecionadas:**

Neste momento, já se conhece o tipo de máquina desejada. É preciso, então, estudar o que o mercado oferece a esse respeito, as

---

máquinas disponíveis ou até adaptáveis as necessidades determinadas, e enfim analisar os custos e benefícios de cada item do mercado que se encaixem nessas necessidades.

### **2.3.3. Assistência apropriada à implantação desta tecnologia:**

Talvez este item seja o mais importante e deveria constar como coadjuvante dos outros itens, pois quando uma empresa pretende ampliar seus horizontes munindo-se de tecnologias avançadas, é importante que pessoas experientes no ramo sejam consultadas, pois isto pode, sem dúvida, ser a diferença entre o lucro e o prejuízo. Tem-se conhecimento de empresas que tentaram resolver este problema de forma "caseira", ou até mesmo acreditando em vendedores de máquinas. Em pouco tempo tiveram seus negócios prejudicados e, em alguns casos, chegaram à falência. Esta assessoria torna-se imprescindível para instalação da máquina e suporte à produção nos primeiros meses de implantação.

### **2.4. Sistemas que integram um equipamento CNC.**

Conhecendo o nível de investimento e aplicação dos recursos pode-se planejar a melhor maneira de se integrar aos sistemas fabris o novo meio produtivo. Em poucas palavras, para um sistema completo, do projeto à peça pronta em máquina CNC, torna-se necessária a aquisição e implantação de alguns sistemas que se integrem e facilitem a flexibilização do sistema como um todo, são eles (Azevedo, s.d.):

- Sistema de programação CNC - CAD/CAM
  - Sistema de simulação - Manufatura Digital
  - Pós-processador
-

- Sistema DNC - gerenciamento e transferência de programas (rede) para a máquina.

Todos estes sistemas, hardware e software, precisam ser compatíveis. Outro item imprescindível é a adequação da nova máquina ao layout da fabrica, que precisa ser estudado já na época da aquisição, pois neste instante se tem uma dimensão do novo equipamento e um bom layout leva tempo para ser planejado e implantado.

## 2.5. Componentes:

Além dos recursos físicos e eletrônicos descritos no sistema macro acima, é muito importante a preparação dos recursos humanos, visto que esta tecnologia exige pessoal especializado, no projeto, programação, operação e serviços de suporte (porém o item de serviços de suporte pode ser terceirizado com maior facilidade).

### 2.5.1. Constituição básica de uma máquina CNC:

A máquina em si é a parte mecânica, o que antes era a máquina convencional, ou ainda conhecido por alguns como a cinemática do CNC (Figura 7).

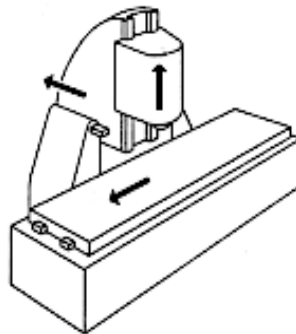


Figura 7. Equipamento CNC.

---

### 2.5.1.1. Comando ou Controle Numérico.

É o equipamento responsável pela interpretação do programa CNC e tradução em comandos que são enviados ao PLC aos microswitches, que são chaves ou válvulas eletromecânicas acionadas por impulsos eletrônicos, para acionamento dos eixos (Figura 8). É ainda responsável pelo gerenciamento da interface da máquina com o operador - display, botões, acionadores, etc. (Azevedo, s.d.).

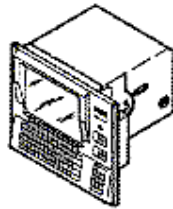


Figura 8. Comando ou controle numérico

### 2.5.1.2. PLCs:

Auxiliam os controles nos cálculos matemáticos, controlador lógico programável, também chamado CLP ou controlador programável, é um dispositivo de computador que controla equipamentos em oficinas industriais. Os quantidade de equipamentos que os PLCs podem controlar são tão variados quanto as instalações industriais deles. Sistemas de transportador, linhas de máquinas de processamento de alimentos, máquinas CN e até mesmo um sistema de elevadores prediais, provavelmente haverá um PLC para controlar estas coisas. Em um sistema de controle industrial tradicional, todos os dispositivos de controle são enviados eletrônica e diretamente de um para outro de acordo com como é suposto que o sistema opera. (Azevedo, s.d.).

### 2.5.1.3. Motores:

---

Giram na velocidade e tempo necessários para que cada eixo atinja os valores de posição e velocidades, estipulados em cada bloco do programa CNC. (Azevedo, s.d.).

Todo estes sistemas funcionando sincronizados formam a máquina CNC.

Para finalizar esse capítulo, cabe lembrar que o CNC nasceu e sua aplicação é maior em máquinas de usinagem, porém vem se ampliado de tal forma que praticamente não existe campo nos meios fabris que não tenham sido atingidos por esta tecnologia. Empresas, principalmente as de transformação de metais, que pensam no futuro não podem deixar de planejar suas atividades sem considerar a tecnologia CNC, pois isso pode significar a diferença entre a continuidade e a extinção. Como a implantação de qualquer nova tecnologia exige conhecimento, é importante que estes investimentos sejam feitos consultando-se quem já convive com estes meios há tempos. As tecnologias emergentes relacionadas à informática vêm se popularizando de tal forma que algumas coisas acontecem tão rápido que não se dá conta que isto às vezes já ocorreu. Por exemplo, quem diria a seis ou sete anos que se poderia ter na casa de pessoas comuns um aparelho de gravar CDs ou uma impressora com qualidade fotográfica, uma verdadeira gráfica domiciliar? Outro exemplo é a internet, a maior biblioteca do mundo e todos podem tê-la (Azevedo, s.d.).

Se em casa tem-se estes avanços, quem diria nas industrias. Sem dúvida há que se munir de muita tecnologia se quiser continuar no mercado. Ter máquinas avançadas tecnologicamente não é "luxo" mas sim necessidade para sobrevivência (Azevedo, s.d.).

---



## CAPÍTULO 3

---

### **Desenvolvimento do projeto**

Este capítulo tem como objetivo analisar equipamentos CNC existentes no mercado e a partir daí desenvolver uma mesa de coordenadas programável que atenda as necessidades da micro e pequena empresa. As análises foram baseadas nas metodologias de Bonsiepe, Bomfim e Gomes, as quais prevêem um estudo dos produtos disponíveis comercialmente, bem como sua evolução com o decorrer do tempo, além das características funcionais e construtivas dos mesmos.

Utilizando-se técnicas analíticas (Bonsiepe, 1984), foram realizadas as seguintes análises:

- Lista de verificação
- Análise do produto em relação ao uso
- Análise diacrônica do produto
- Análise sincrônica do produto.

Na seqüência, buscou-se definir o problema projetual e analisar diversas alternativas, através de *brainstorming* ortodoxo e *brainstorming* destrutivo/construtivo.

#### **3.1. Lista de verificação**

A lista de verificação serve para organizar as informações sobre atributos de um produto (Bonsiepe, 1984).

De posse dessas informações, pode-se ter uma idéia mais clara da forma construtiva e operações que podem ser realizadas em cada equipamento.

Na elaboração da lista de verificação dos equipamentos foram levados em conta os seguintes itens:

- Marca
- Origem
- Função

Posicionamento da peça  
Posicionamento da ferramenta  
Fixação da ferramenta  
Forma construtiva  
Acionamento  
Sistema de controle  
Transmissão  
Peso  
Dimensões

### **3.1.1- Equipamentos analisados:**

#### **3.1.1.1. Fresadora CNC SOGIMA**

1. Marca – SOGIMA
  2. Origem – Brasil
  3. Função – Fresamento, furação, mandrilhamento, alargamento, etc...
  4. Posicionamento da peça – A peça é fixada à mesa, a qual desloca-se nos eixos X e Y.
  5. Posicionamento da ferramenta – A ferramenta desloca-se no eixo Z.
  6. Fixação da ferramenta – A ferramenta é fixada ao cabeçote por meio de dispositivo pneumático.
  7. Forma construtiva – Estrutura em ferro fundido.
  8. Acionamento – Realizado por meio de servomotores.
  9. Sistema de controle de movimentos – Realizado por meio de módulo CNC.
  10. Transmissão dos movimentos – Realizado por meio de fusos de esferas.
  11. Peso – Em torno de 1800 Kg.
-

12. Dimensões – 2150 x 1500 x 1800 mm



Figura 9 - Fresadora CNC SOGIMA

### 3.1.1.2. Fresadora CNC TECHNO.

1. Marca – TECHNO
  2. Origem – Estados Unidos
  3. Função – Fresamento, furação, mandrilhamento, alargamento, etc...
  4. Posicionamento da peça – A peça é fixada à mesa, a qual é fixa.
  5. Posicionamento da ferramenta – A ferramenta desloca-se nos eixos X, Y e Z.
  6. Fixação da ferramenta – A ferramenta é fixada ao cabeçote por meio de dispositivo pneumático.
  7. Forma construtiva – Estrutura em aço carbono.
  8. Acionamento – Realizado por meio de servomotores.
-

9. Sistema de controle de movimentos – Realizado por meio de PC acoplado ao equipamento.
10. Transmissão dos movimentos – Realizado por meio de fusos de esferas.
11. Peso – Em torno de 800 Kg.
12. Dimensões – 2133 x 1854 x 1130 mm



Figura 10 - Fresadora CNC TECHNO

### 3.1.1.3. Fresadora CNC DIGIMAQ.

1. Marca – DIGIMAQ
  2. Origem – ARGENTINA
  3. Função – Fresamento, furação, contornos.
  4. Posicionamento da peça – A peça é fixada à mesa, a qual é movimentada nos eixos X e Y.
-

5. Posicionamento da ferramenta – A ferramenta desloca-se nos eixos Z.
6. Fixação da ferramenta – A ferramenta é fixada ao cabeçote por meio de dispositivo pneumático.
7. Forma construtiva – Estrutura em aço carbono.
8. Acionamento – Realizado por meio de motores de passo.
9. Sistema de controle de movimentos – Realizado por meio de PC acoplado ao equipamento.
10. Transmissão dos movimentos – Realizado por meio de fusos de esferas.
11. Peso – Em torno de 260 Kg.
12. Dimensões – 1290 x 1100 x 1220 mm



Figura 11 - Furadeira CNC DIGIMAQ

---

### 3.2. Análise do equipamento em relação ao uso

A análise do produto em relação ao uso tem por objetivo detectar pontos negativos e criticáveis durante o uso do produto. (Bonsiepe *et al*, 1984).

Para os equipamentos analisados no item anterior foram observados os seguintes itens quanto ao uso:

1. Os equipamentos possuem um sistema de fixação da ferramenta, com pinças de aperto, acionadas pneumáticamente. Portanto, o primeiro passo do operador é a fixação da ferramenta.
  2. O material disponível para processamento deve estar disposto próximo ao operador, para que desta forma, perca o menor tempo possível em deslocamento.
  3. Coloca-se o material na máquina, fixando-o através de castanhas, que podem ser de diversos tipos, dependendo do modelo da máquina.
  4. Uma vez fixada a peça, passa-se ao processo de zeramento da mesma, ou seja, tem de se achar o ponto onde a ferramenta começa a tocar a peça. No caso de uma peça complexa, com várias ferramentas para operá-la, é feito o zeramento de cada ferramenta por vez.
  5. Após zeradas as ferramentas, passa-se ao programa. O operador determina os pontos de deslocamento das ferramentas, e uma vez definidos os mesmos, aciona-se a máquina.
  6. Nas próximas peças, sendo iguais a primeira, não será necessário alterar o programa, bastando apenas trocar a peça.
-

Se a máquina tiver alimentação automática, o operador pode cuidar de outra máquina enquanto essa trabalha.

### **3.3. Análise diacrônica do artefato**

A análise diacrônica serve para coletar dados históricos que demonstrem as mutações do produto no transcurso do tempo, o que, dependendo do tipo de problema pode ser bastante útil (Bonsiepe *et al*, 1984).

Houve uma evolução, no sistema produtivo industrial, que pode ser considerada desde a pedra lascada, como produção artesanal, passando pelas produções manual e mecanizada, até chegar a máquina CNC.

#### **3.3.1. Produção artesanal:**

É aquela em que não é usado nenhum equipamento para produção, apenas ferramentas, como por exemplo, no setor metalúrgico, limas, martelos, etc... Este tipo de produção vigorou até o final dos anos 1700 e início dos anos 1800, quando teve início a revolução industrial.

#### **3.3.2. Produção manual:**

Neste tipo de produção são usados equipamentos que dependem inteiramente da habilidade do operador, como por exemplo furadeiras de bancada, tornos mecânicos, fresadoras universais, etc... O surgimento do torno, de forma rudimentar, deu-se por volta do século VI AC, para realizar trabalhos com cerâmica, na região onde hoje é a Itália (Silva, 2000). Um exemplo de produção manual é a fresadora (Figura 12). O desenvolvimento da fresagem está intimamente ligada ao prodigioso progresso do maquinismo que se manifestou nos estados unidos no

---

princípio do século XIX, isto é, quando a antiga colônia britânica, independente, foi obrigada a tratar, por si mesma, do seu desenvolvimento industrial. Foi assim que a primeira fresadora Americana foi construída em 1818, por Eli Whitney, que na época, dirigia a maior manufatura de espingardas dos Estados Unidos e, em seguida aperfeiçoada vinte anos mais tarde, pela Sociedade Gay Silver (Dournier, 2004).

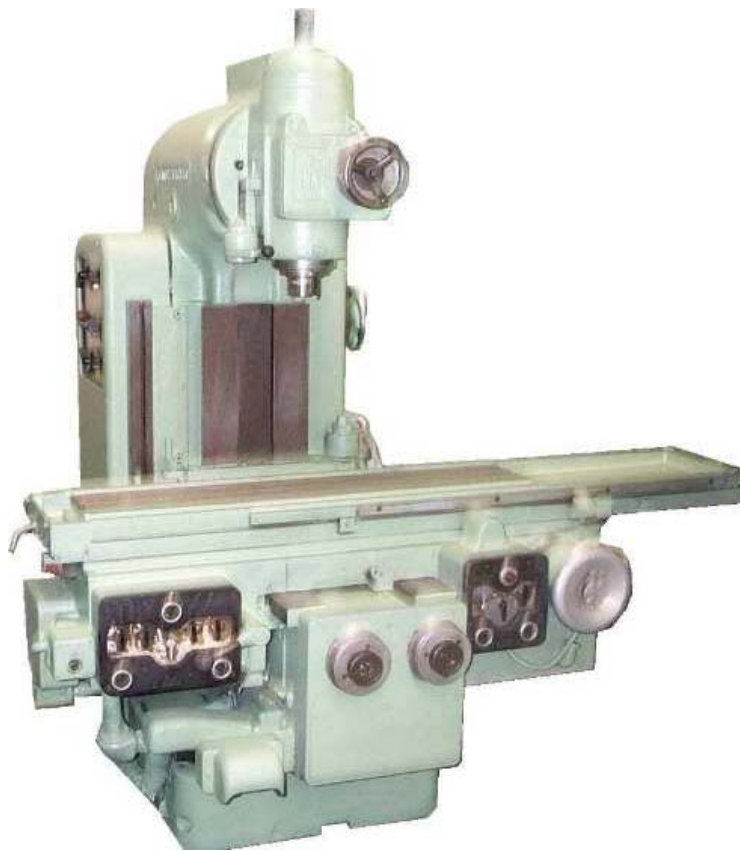


Figura 12. Fresadora vertical FRITZ WERNER

A fresadora da figura 12 é manual porque depende totalmente do operador para realizar a operação de fresagem. Este equipamento pode realizar, também, operações de furação.

### **3.3.3. Produção mecanizada:**

---



Neste tipo de produção são usados equipamentos que permitem uma maior produtividade ao sistema produtivo. Como exemplo têm-se o torno automático e a furadeira multifuso (Figura 13), que são equipamentos que, após realizada a preparação do mesmo, dão uma grande produtividade, porém sem flexibilidade, sendo que a intervenção do operador se dá apenas na etapa de preparação desse equipamento.



Figura 13. Furadeira múltipla da LIDEAR.

Na indústria moveleira são bastante usadas as furadeiras multifusos ou múltiplas, que são máquinas que dispõe de várias ferramentas (brocas) que podem trabalhar simultaneamente. A peça é fixada à máquina por meio de sistema pneumático, sendo que o posicionamento para furação é manual. Pode-se trabalhar com o ferramental em três posições:

- Para fazer furação de topo na peça, ou seja, com o cabeçote na posição horizontal.
- Para fazer furação na posição vertical, no sentido longitudinal da peça.
- E ainda para fazer furação na posição vertical, no sentido transversal da peça.

Esse tipo de equipamento apresenta alta produtividade, sendo indicado para produção em série. Na produção intermitente apresenta o inconveniente de necessitar um alto tempo de preparação a cada mudança de modelo de peça.

Máquinas automáticas começaram a ser desenvolvidas no início do século, quando se priorizava a produção em massa.

#### **3.3.4. Produção automática e flexível:**

Este tipo de produção utiliza equipamentos que são comandados por computador. A máquina-ferramenta a controle numérico nasceu da necessidade de trabalhar automaticamente "pequenos" lotes de peças muito diversificadas que às vezes apresentavam grande dificuldade de execução em máquinas tradicionais.

Um equipamento CNC (Figura 14) é o sistema mais avançado, pois a troca de ferramentas é feita de forma automática, como também o avanço relativo entre brocas e peça para executar as operações de

---

furação. Apresenta grande agilidade de operação e grande precisão de corte.

O culminar das três tecnologias (Máquinas ferramenta, Automação, Informática), e a ansiedade evolutiva humana trouxeram as possibilidades de construir peças e insumos de extrema complexidade e precisão.



Figura 14. Equipamento CNC para furação da VEROE CONTROL.

### 3.4. Análise sincrônica do produto

A análise sincrônica serve para reconhecer o universo do produto, em um mesmo período de tempo. A comparação e crítica dos equipamentos requerem a formulação de critérios comuns. Convém incluir informações sobre preços, materiais e processos de fabricação (Bonsiepe *et al*, 1984).

---

Na análise diacrônica buscou-se analisar a evolução dos equipamentos de produção até chegar em equipamentos programáveis, na análise sincrônica buscou-se fazer uma análise de alguns tipos de sistemas programáveis existentes.

O CNC é um dispositivo eletrônico capaz de receber informações e enviar sinais a máquina ferramenta de forma a executar operações sem a intervenção do operador. A programação CNC, do ponto de vista restrito, significa a preparação dos dados de entrada através de fita perfurada ou disco magnético para que o comando executando o programa movimente ferramentas e outros dispositivos da máquina para produzir a peça. De um ponto de vista mais amplo, a programação CNC começa quando as características da peça são analisadas para determinar os processos de fabricação necessários. A seguir, escolhe-se como fixar a peça, as ferramentas, sequências de usinagem, e as condições de usinagem. A elaboração de um programa CNC é uma tarefa bastante minuciosa pois envolve uma série de informações relacionadas com a geometria da peça, com o tipo de máquina, com as ferramentas disponíveis e ainda todos os fundamentos de usinagem necessários para obtenção do produto com as características desejadas.

De acordo com a evolução ao longo do tempo, métodos de programação CNC podem ser classificados em quatro grupos:

1. Programação manual.
2. Programação do tipo APT.
3. Sistemas Gráfico-interativos.
4. Sistemas CAD-CAM.

Nos dois primeiros tipos, o programador elabora o programa, que geralmente é verificado através de sistemas de simulação ou teste na própria máquina. Nos dois últimos, a elaboração do programa é realizada com o auxílio do computador em situações com geometria totalmente definida onde todos os dados necessários são informados, mas a geração final do programa é feita pelo sistema de programação assistida pelo

---

computador. A seguir apresenta-se algum esclarecimento adicional sobre cada tipo de programação.

### 3.4.1. Programação Manual

A programação manual consiste da elaboração de um programa na linguagem que o Comando Numérico Computadorizado entende. A linguagem de programação é composta por um conjunto de códigos formados por letras e algarismos, alguns parâmetros devem ser fornecidos em função do tipo de comando. Existem diversos comandos normalizados para posicionamento da ferramenta, ligar e desligar a rotação da ferramenta, ativar e desativar o uso de fluido de corte, ativar e desativar a correção de raio da ferramenta, ciclos pré-programados como de furação, rosqueamento, desbaste e outros. Com a linguagem o programador escreve o programa com estes comandos usando os parâmetros necessários e, para o posicionamento, utiliza um sistema de coordenadas que pode ser absoluto ou incremental. Como exemplo, apresenta-se o comando para um deslocamento da ferramenta em trajetória linear.

```
N01 G01 X200 Y400 Z000 F50
```

Onde:

N01 indica o número da linha,

G01 indica o comando chamado interpolação linear,

X200, Y400 e Z000 indicam a posição final após o comando, e

F50 indica a velocidade de avanço para esta operação.

Para a execução de uma trajetória circular utiliza-se o comando G02 ou G03, de acordo com o sentido desejado, se horário ou anti-horário, seguido dos mesmos parâmetros do comando G01, acrescidos

---

de parâmetros referentes a posição do centro do arco de circunferência em que a ferramenta se movimentará.

### 3.4.2. Programação APT

Em função da extensão dos programas elaborados através da programação manual para peças de geometria mais complexa e a dificuldade de sua verificação, foram desenvolvidas linguagens programação de alto nível para facilitar o trabalho de programação. Destas linguagens, a mais difundida foi a APT ( Automatically Programmed Tools), que passou a ser amplamente adotada, sendo criadas muitas outras linguagens a partir desta. O programa APT apresenta quatro tipos de declarações:

- Declaração de geometria: onde são definidos todos os elementos geométricos usados.
- Declaração de movimentos: onde são descritos os movimentos da ferramenta.
- Declarações do pós processador: onde são especificados a máquina-ferramenta e o comando numérico utilizado.
- Declarações auxiliares: onde são identificadas ferramentas, tolerâncias, etc...

Na linguagem APT, o programador define as entidades geométricas no próprio desenho da peça e descreve, na seção de declarações de geometria, todos os dados necessários para identificá-las. A listagem abaixo exemplifica uma definição de geometria.

P0=POINT/0,-1.0,0

P1=POINT/6.0,1.125,0,0

P2=POINT/0,0,0

P3=POINT/6.0,0,0

---

P4=POINT/1.75,4.5,0

L1=LINE/P2,P3

C1=CIRCLE/CENTER,P1,RADIUS,1.125

L2=LINE/P4,LEFT,TANTO,C1

L3=LINE/P2,P3

PL1=PLANE/P2,P3,P4

A seguir são introduzidos comandos de movimentação da ferramenta. Os comandos são relacionados com as entidades previamente definidas, o programa em APT é considerado fácil de ser analisado. Alguns exemplos de comandos: GOTO/P1 comanda a ferramenta para se deslocar até o ponto P1. As declarações do pós-processador mantêm o mesmo padrão, por exemplo, FEDRAT/6.0 indica a velocidade de avanço. O programa escrito nesta linguagem é, então traduzido por um compilador APT, para o CLDATA (Cutter Location Data) que é uma lista das posições da ferramenta. Posteriormente deve ser utilizado um programa pós-processador para cada tipo de máquina-ferramenta (é comum os fabricantes introduzirem alterações e ampliações na linguagem padronizada), para traduzir o CLDATA para a linguagem de programação manual que deverá ser enviada à máquina.

### 3.4.3. Sistemas Gráficos Interativos

Os sistemas gráficos interativos são sistemas computacionais destinados à programação CNC que utilizam a interação homem-máquina para determinar as condições desejadas na elaboração de uma programa. Diante da grande diversificação de sistemas existentes, pode-se classificar os sistemas gráficos quanto à entrada de dados em dois tipos: com linguagem e sem linguagem. O primeiro tipo utiliza linguagens simbólicas, com declarações que expressam a escolha da ferramenta,

---

definição de geometria por elementos de contorno, determinação dos movimentos da ferramenta e informações complementares de representação gráfica e armazenamento. O segundo tipo usa recursos como ícones, teclas funcionais, mouse, que facilitam a manipulação dos dados.

#### **3.4.4. Sistemas CAD/CAM**

Os sistemas CAD e CAM são os meios mais modernos para a elaboração de programas CNC. Tais sistemas permitem uma interpretação da geometria das peças armazenadas em arquivo gráfico criado no CAD e a geração dos programas CNC de acordo com algumas informações fornecidas pelo programador usuário do módulo CAM. Em termos gerais, os sistemas CAD/CAM disponíveis no mercado exigem os seguintes passos para a obtenção de programas CNC:

- preparação das superfícies a serem usinadas;
- seleção dos parâmetros e variáveis de processo (tolerâncias, sobremetal, ferramentas, parâmetros de corte, etc.);
- geração automática das trajetórias das ferramentas;
- pós-processamento dos programas, adequando ao formato do comando numérico específico.

A necessidade de desenvolvimento destas ferramentas de programação foi motivada pela complexidade das formas criadas e a dificuldade de elaboração de programas CNC para estas geometrias, como exemplos pode-se citar aplicações na indústria aeronáutica e na fabricação de moldes de injeção de plástico.

### **3.5. Definição do problema**

Como citado anteriormente, de acordo com a metodologia de Bonsiepe, são três as fases para análise do produto, e definição do

---



problema é a segunda dessas três fases, a qual tem como objetivo listar os requisitos funcionais e os parâmetros condicionantes (materiais, processos, preços), incluindo uma estimativa de tempo para as diversas etapas e dos diversos recursos humanos necessários (Bonsiepe *et al*, 1984).

### **3.5.1. Lista de requisitos**

A lista de requisitos serve para orientar o processo projetual em relação às metas a serem atingidas. Convém formular cada requisito separadamente, utilizando frases afirmativas. Além disso, se for possível, alguns requerimentos devem ser representados em termos quantitativos (Bonsiepe *et al*, 1984).

A lista de requisitos para o projeto de um equipamento com mesa de coordenadas, define que o mesmo deve ter as seguintes características:

Quanto à função: o equipamento será desenvolvido para realizar operações de furação.

Posicionamento da peça: O posicionamento da peça deve ser feito de maneira rápida.

Posicionamento da ferramenta: A ferramenta deve percorrer os três eixos de coordenadas X, Y e Z.

Fixação da ferramenta: a fixação da ferramenta deve ser feita de maneira rápida, a exemplo do posicionamento da peça.

Forma construtiva: o equipamento deve ser construído com materiais que sejam fáceis de adquirir e tenham baixo custo.

Acionamento: A parte elétrica do equipamento deve ser de fácil entendimento e manuseio.

Sistema de controle de movimentos: Deve ser realizado de maneira que permita flexibilidade ao processo produtivo.

---

Transmissão: O sistema de transmissão de movimentos deve ser composto por peças que dêem precisão ao mesmo, e sejam de fácil aquisição.

Peso: O equipamento deve ser leve, porém rígido.

Dimensões: Devem ser adequadas ao espaço disponível em uma pequena empresa.

O acionamento da máquina deve ser programável para que se tenha maior agilidade na produção e maior precisão nas operações de furação. A função do operador deve ser a de retirar a peça pronta e alimenta-la novamente, além de fazer a programação, sendo que essa será realizada apenas uma vez para um mesmo lote de peças, independente da quantidade a ser produzida.

Quanto ao custo, esse projeto tem por objetivo facilitar à pequena empresa o acesso a uma tecnologia mais desenvolvida, que permita que tenha flexibilidade em sua produção. Para isso, deve-se pesquisar materiais e sistemas que tenham baixo custo e eficiência.

### **3.5.2. Estruturação do problema**

Essa fase serve para ordenar os requerimentos em grupos segundo afinidades, facilitando dessa maneira, o acesso ao problema (Bonsiepe *et al*, 1984, p.44).

Fazendo uma comparação entre a lista de requisitos e a lista de verificação, podemos identificar o que pode ser mantido e o que deve ser alterado.

Fazendo essa comparação, chega-se as seguintes conclusões:

Quanto à função: Alguns equipamentos analisados podem executar operações de furação, fresamento, rosqueamento, mandrilhamento, alargamento, etc. Para o equipamento a ser desenvolvido deseja-se que

---

possa executar apenas operação de furação, portanto pode-se simplificá-lo.

**Fixação da peça:** O posicionamento da peça deve ser feito de maneira rápida, para que o tempo de preparação do equipamento seja o menor possível. Nos equipamentos analisados isto é realizado por meio de dispositivos pneumáticos, o que dá a agilidade necessária a essa operação, porém aumenta o custo do mesmo, pois são necessários compressor, rede de distribuição do ar, válvulas, cilindros, etc..

**Posicionamento da ferramenta:** A ferramenta deve percorrer os três eixos de coordenadas X, Y e Z. Esses movimentos podem ser realizados pela mesa ou pela ferramenta, como é realizado nos equipamentos analisados.

**Fixação da ferramenta:** a fixação da ferramenta deve ser feita de maneira rápida, a exemplo do posicionamento da peça, para que o tempo de preparação seja o menor possível. Em alguns equipamentos analisados isto é feito por meio de pinças pneumáticas, dando, também, a agilidade necessária a essa operação, porém, também aumentando o custo do mesmo.

**Forma construtiva:** alguns equipamentos analisados são construídos em uma base em ferro fundido. Isto não é necessário. O equipamento deve ser construído com materiais que sejam fáceis de adquirir, tenham baixo custo e dêem a suficiente rigidez ao conjunto do equipamento, para que não haja vibrações que possam interferir na precisão da operação de furação.

**Acionamento:** Os equipamentos analisados são acionados com servo-motores ou motores de passo. A escolha de um ou outro vai depender da complexidade de seu uso, pois a parte elétrica do equipamento deve ser de fácil entendimento e manuseio.

**Sistema de controle de movimentos:** Deve ser realizado de maneira que permita flexibilidade ao processo produtivo. Por isto, deve ser

---

programável. Nos equipamentos analisados isto é feito por meio de módulo CNC ou computador tipo PC acoplado ao equipamento.

**Transmissão:** O sistema de transmissão de movimentos de ser composto por peças que dêem precisão ao mesmo, e sejam de fácil aquisição. Isto pode ser feito por meio de fusos de precisão, guias prismáticas, etc..., como nos equipamentos analisados.

**Peso:** O equipamento não precisa ser robusto, pois será desenvolvido para furação em peças pequenas, que não exigem grande esforço durante a operação.

**Dimensões:** Devem ser adequadas ao espaço disponível em uma pequena empresa. Portanto, podem ser menores que os equipamentos analisados.

### **3.6. Criação e geração de alternativas**

O objetivo das técnicas para geração de alternativas é facilitar a produção de um conjunto de idéias básicas, como respostas prováveis a um problema projetual (Bonsiepe *et al*, 1984).

#### **3.6.1 *Brainstorming* ortodoxo.**

Etapa em que são sugeridas diversas idéias para o problema projetual, sendo que essas idéias são sugeridas de maneira espontânea, sem nenhuma preocupação com a viabilidade técnica e econômica das mesmas.

As idéias foram sugeridas pela equipe do projeto, sendo que a medida em que iam surgindo, eram anotadas e preservadas para uma análise mais detalhada a ser realizada posteriormente, na etapa de *brainstorming* destrutivo / construtivo.

---

Para o desenvolvimento de uma mesa de coordenadas para o processo de furação, surgiram as seguintes questões:

- Estrutura de sustentação: Pode-se usar diversos tipos de materiais para a base de sustentação do equipamento, desde ferro fundido e perfis em aço até materiais mais leves como o alumínio.
- Controle de movimentos: O controle de movimentos da mesa de coordenadas pode ser automático, computadorizado, com motores adaptados a comandos manuais, ou, ainda, com módulo CNC.
- Motores: há uma variedade de motores que podem ser utilizados para gerar os movimentos necessários, tais como: motores de passo, servo motores e motores síncronos.
- Fixação da ferramenta: Para fixação da ferramenta pode-se utilizar mandril de aperto manual, pinças pneumáticas, peças para engate rápido com aperto por parafuso, etc....
- Fixação da peça: Existem diversos dispositivos de fixação disponíveis no mercado, tais como: cilindros hidráulicos ou pneumáticos, grampos de fixação rápida, placas magnéticas, ou fixação manual.
- Movimentação da ferramenta ou da mesa.
- Transmissão do movimento: Pode-se desenvolver diversos tipos de dispositivos para transmissão do movimento da ferramenta ou da mesa do equipamento, tais como: guias lineares, fusos de precisão, cremalheiras, etc...

### **3.6.2 *Brainstorming* destrutivo / construtivo.**

Serve para filtrar os pontos fracos das propostas da fase anterior, e concentrar a atenção à sua solução (Bonsiepe *et al*, 1984). Nesta etapa são separadas as idéias que são viáveis daquelas que não são.

---

Analisando-se mais detalhadamente as questões anteriores, têm-se:

### **3.6.2.1 Estrutura de sustentação.**

Em ferro fundido: Material com grande peso que dá grande sustentabilidade ao equipamento. Seu processo de fabricação necessita de moldes para fundição, o que eleva seu custo.

Perfis em aço: Material de fácil obtenção, com custo menor que o anterior e de fácil manuseio. Esses perfis podem ser cantoneiras, metalon, tubos redondos, etc... São mais leves que o ferro fundido, apresentam boa resistência mecânica.

Perfis em alumínio: São materiais bastante leves. Para apresentarem boa resistência mecânica, devem possuir paredes com espessuras maiores que as do aço. Tem um custo bem mais elevado que o aço.

### **3.6.2.2 Controle de movimentos:**

Para o controle dos movimentos foram analisadas as seguintes alternativas: controle automático, controle computadorizado, motores adaptados a comandos manuais e controle por módulo CNC

Automático: Um equipamento automático proporciona grande produtividade mas sem flexibilidade. Para cada tipo de peça há a necessidade de novas regulagens do equipamento demandando bastante tempo.

Computadorizado: equipamentos acionados por computador necessitam de operadores especializados, um computador e *drivers* para controlar a rotação do motor. Dão grande flexibilidade à produção. Para que um microcomputador possa operar como o comando da máquina, um programa tem que executar as funções de operação e controle do

---

processo. Existem diversos programas que podem ser utilizados nesse processo, entre eles têm-se:

**Java:** Esse programa não segura áreas de memória que não estão sendo utilizadas, isto porque ele tem uma alocação dinâmica de memória em tempo de execução. No C e C++ (e em outras linguagens) o programa desenvolvido é responsável pela alocação e desalocação da memória. Durante o ciclo de execução do programa é verificado se as variáveis de memória estão sendo utilizadas, caso não estejam, libera automaticamente esta área que não está sendo utilizada. Os arquivos são compilados e são convertidos de arquivos texto para um formato que contém blocos independentes de bytes codes (código intermediário). Em tempo de execução estes bytes codes são carregados, são verificados através do byte code verifier (uma espécie de segurança), passam a seguir para o interpretador e são executados. Caso este código seja acionado diversas vezes, existe um passo chamado JIT code generator, que elimina a utilização por demasia do tráfego da rede. O “byte-code” é um código de uma máquina virtual idealizada pelos criadores da linguagem. Por isso Java pode ser mais rápida do que se fosse simplesmente interpretado. Java é uma linguagem de programação orientada a objetos, foi projetada para ser pequena, simples e portátil a todas as plataformas e sistemas operacionais, tanto o código fonte como os binários. . Portável porque o “byte-code” gerado pelo compilador para a sua aplicação específica pode ser transportado entre plataformas distintas que suportam Java (Solaris 2.3®, Windows-NT®, Windows-95®, Mac/Os etc). Não é necessário recompilar um programa para que ele rode numa máquina e sistema diferente, ao contrário do que acontece por exemplo com programas escritos em C e outras linguagens. O próprio compilador Java é escrito em Java, de modo que ele é portátil para qualquer sistema que possua o interpretador de “byte-codes”. A portabilidade é uma das características que se inclui nos objetivos almejados por uma linguagem orientada a objetos. Em Java ela foi obtida de maneira inovadora com

---

relação ao grupo atual de linguagens orientadas a objetos. Java suporta herança, mas não herança múltipla. A ausência de herança múltipla pode ser compensada pelo uso de herança e interfaces, onde uma classe herda o comportamento de sua superclasse além de oferecer uma implementação para uma ou mais interfaces. Java permite a criação de classes abstratas. Outra característica importante em linguagens orientadas a objetos é a segurança. A presença de coleta automática de lixo, evita erros comuns que os programadores cometem quando são obrigados a gerenciar diretamente a memória (C, C++, Pascal). A eliminação do uso de ponteiros, em favor do uso de vetores, objetos e outras estruturas substitutivas traz benefícios em termos de segurança. O programador é proibido de obter acesso a memória que não pertence ao seu programa, além de não ter chances de cometer erros comuns tais como “reference aliasing” e uso indevido de aritmética de ponteiros. Estas medidas são particularmente úteis quando se pensa em aplicações comerciais desenvolvidas para a internet. Ser “strongly typed” também é uma vantagem em termos de segurança, que está aliada a eliminação de conversões implícitas de tipos de C++. A presença de mecanismos de tratamento de exceções torna as aplicações mais robustas, não permitindo que elas abortem, mesmo quando rodando sob condições anormais. O tratamento de exceções será útil na segunda parte para modelar situações tais como falhas de transmissão e formatos incompatíveis de arquivos. A linguagem permite a criação de maneira fácil, de vários “threads” de execução. Este tópico será útil quando você estudar animações, e é particularmente poderoso nos ambientes em que aplicações Java são suportadas, ambientes estes que geralmente podem mapear os threads da linguagem em processamento paralelo real. Como Java foi criada para ser usada em computadores pequenos, ela exige pouco espaço, pouca memória. Java é muito mais eficiente que grande parte das linguagens de “scripting” existentes, embora seja cerca de 20 vezes mais lenta que C, o que não é um marco definitivo. Com a evolução

---



da linguagem, serão criados geradores de “byte-codes” cada vez mais otimizados que trarão as marcas de performance da linguagem mais próximas das de C++ e C. (Cesta, A. A., 2001).

**C++:** É uma linguagem de programação usada para a criação de uma infinidade de programas como sistemas operacionais, processadores de texto como o Microsoft Word, planilhas eletrônicas como o Excel, comunicação, automação industrial, bancos de dados, jogos, games, aplicativos multimídia, navegadores Web como o Internet Explorer, sistemas embutidos usados nos automóveis, celulares, etc; é uma linguagem que permite acesso aos recursos do hardware (Lopes, Tarcisio, 1998). O C++ é um ambiente visual que utiliza uma programação orientada a objetos que tem por finalidade desenvolver aplicações rapidamente para o Windows. Estas aplicações podem ser de propósitos gerais. Disponibiliza, ainda, uma extensa biblioteca de componentes reutilizáveis e um ambiente de ferramentas RAD (Desenvolvimento de Aplicações Rápidas). O componente básico do sistema de programação do C++Builder é o form. Durante o desenvolvimento, o programador posiciona visualmente no form os componentes que deseja que apareçam em seu programa. Depois que o programa está pronto, o form representa a janela do programa. Ele é a parte mais visível do sistema, com a qual o usuário do programa interage a maior parte do tempo. Geralmente, o form é usado para conter outros componentes. Sobre classes e objetos pode dizer que uma classe é um tipo definido pelo usuário que contém o molde, a especificação para os objetos, assim como o tipo inteiro contém o molde para as variáveis declaradas como inteiros. A classe envolve, associa, funções e dados, controlando o acesso a estes, defini-la implica em especificar os seus atributos (dados) e suas funções membro (código). Um programa que utiliza uma interface controladora de um motor elétrico provavelmente definiria a classe motor. Os atributos desta classe seriam temperatura, velocidade, tensão aplicada. Estes provavelmente seriam representados na classe por tipos como float ou long . As funções

---

membro desta classe seriam funções para alterar a velocidade, ler a temperatura, etc. Um programa editor de textos definiria a classe parágrafo que teria como um de seus atributos uma string ou um vetor de strings, e como funções membro, funções que operam sobre estas strings. Quando um novo parágrafo é digitado no texto, o editor cria a partir da classe parágrafo um objeto contendo as informações particulares do novo texto. Isto se chama instanciação ou criação do objeto.

Motores adaptados a comandos manuais: Pode-se adaptar motores a sistemas manuais de regulação do equipamento onde pode-se colocar um motor acoplado aos manípulos de deslocamento do cabeçote, por exemplo, para agilizar as regulações do mesmo. Porém, essa solução é apenas um paliativo, pois não resolve questões como a regulação do cabeçote, que é um dos processos mais demorados na preparação desse equipamento.

Módulo CNC: Uma alternativa seria desenvolver um equipamento mecânico e acoplar um módulo CNC ao mesmo. Sistemas CNC disponíveis no mercado são configuráveis para aplicações específicas. Esses sistemas apresentam recursos que o caracterizam como multifuncional, apresentam um custo alto, além da dificuldade de mão de obra especializada para a montagem do mesmo. Na programação CNC são usados os códigos G e M (Quadros 1 e 2):

Quadro 2. Lista de comandos G.

<b>Código G (General or preparatory) pelo Padrão ISO 1056.</b>	<b>Função</b>
G00	Posicionamento rápido
G01	Interpolação linear
G02	Interpolação circular no sentido horário (CW)
G03	Interpolação circular no sentido anti-horário (CCW)

Quadro 2. Lista de comandos G.

G04	Temporização (Dwell)
G05	Não registrado
G06	Interpolação parabólica
G07	Não registrado
G08	Aceleração
G09	Desaceleração
G10 a G16	Não registrado
G17	Seleção do plano XY
G18	Seleção do plano ZX
G19	Seleção do plano YZ
G20	Programação em sistema Inglês (Polegadas)
G21	Programação em sistema Internacional (Métrico)
G12 a G24	Não registrado
G25 a G27	Permanentemente não registrado
G28	Retorna a posição do Zero máquina
G29 a G32	Não registrados
G33	Corte em linha, com avanço constante
G34	Corte em linha, com avanço acelerando
G35	Corte em linha, com avanço desacelerando
G36 a G39	Permanentemente não registrado
G40	Cancelamento da compensação do diâmetro da ferramenta
G41	Compensação do diâmetro da ferramenta (Esquerda)
G42	Compensação do diâmetro da ferramenta (Direita)
G43	Compensação do comprimento da ferramenta (Positivo)
G44	Compensação do comprimento da ferramenta (Negativo)
G45 a G52	Compensações de comprimentos das ferramentas
G53	Cancelamento das configurações de posicionamento fora do zero fixo
G54	Zeragem dos eixos fora do zero fixo (01)

Quadro 2. Lista de comandos G.

G55	Zeragem dos eixos fora do zero fixo (02)
G56	Zeragem dos eixos fora do zero fixo (03)
G57	Zeragem dos eixos fora do zero fixo (04)
G58	Zeragem dos eixos fora do zero fixo (05)
G59	Zeragem dos eixos fora do zero fixo (06)
G60	Posicionamento exato (Fino)
G61	Posicionamento exato (Médio)
G62	Posicionamento (Grosso)
G63	Habilitar óleo refrigerante por dentro da ferramenta
G64 a G67	Não registrados
G68	Compensação da ferramenta por dentro do raio de canto
G69	Compensação da ferramenta por fora do raio de canto
G70	Programa em Polegadas
G71	Programa em metros
G72 a G79	Não registrados
G80	Cancelamento dos ciclos fixos
G81 a G89	Ciclos fixos
G90	Posicionamento absoluto
G91	Posicionamento incremental
G92	Zeragem de eixos (mandatório sobre os G54...)
G93	Avanço dado em tempo inverso (Inverse Time)
G94	Avanço dado em minutos
G95	Avanço por revolução
G96	Avanço constante sobre superfícies
G97	Rotação do fuso dado em RPM
G98 e G99	Não registrados

Os códigos que estão como não registrados indicam que a norma ISO não definiu nenhuma função para o código, os fabricantes de máquinas e controles tem livre escolha para estabelecer uma função para estes códigos, isso também inclui os códigos acima de G99.

Quadro 3. Lista de comandos M.

<b>Código M (miscellaneous) pelo Padrão ISO 1056</b>	<b>Função</b>
M00	Parada programa
M01	Parada opcional
M02	Fim de programa
M03	Liga o fuso no sentido horário (CW)
M04	Liga o fuso no sentido anti-horário (CCW)
M05	Desliga o fuso
M06	Mudança de ferramenta
M07	Liga sistema de refrigeração numero 2
M08	Liga sistema de refrigeração numero 1
M09	Desliga o refrigerante
M10	Atua travamento de eixo
M11	Desliga atuação do travamento de eixo
M12	Não registrado
M13	Liga o fuso no sentido horário e refrigerante
M14	Liga o fuso no sentido anti-horário e o refrigerante
M15	Movimentos positivos (aciona sistema de espelhamento)
M16	Movimentos negativos
M17 e M18	Não registrados
M19	Parada do fuso com orientação
M20 a M29	Permanentemente não registrado
M30	Fim de fita com rebobinamento
M31	Ligando o "Bypass"

Quadro 3. Lista de comandos M.

M32 a M35	Não registrados.
M36	Acionamento da primeira gama de velocidade dos eixos
M37	Acionamento da segunda gama de velocidade dos eixos
M38	Acionamento da primeira gama de velocidade de rotação
M39	Acionamento da segunda gama de velocidade de rotação
M40 a M45	Mudanças de engrenagens se usada, caso não use, Não registrados.
M46 e M47	Não registrados.
M48	Cancelamento do G49
M49	Desligando o "Bypass"
M50	Liga sistema de refrigeração numero 3
M51	Liga sistema de refrigeração numero 4
M52 a M54	Não registrados.
M55	Reposicionamento linear da ferramenta 1
M56	Reposicionamento linear da ferramenta 2
M57 a M59	Não registrados
M60	Mudança de posição de trabalho
M61	Reposicionamento linear da peça 1
M62	Reposicionamento linear da peça 2
M63 a M70	Não registrados.
M71	Reposicionamento angular da peça 1
M72	Reposicionamento angular da peça 2
M73 a M89	Não registrados.
M90 a M99	Permanentemente não registrados

Os códigos que estão como não registrados indicam que a norma ISO não definiu nenhuma função para o código, os fabricantes de máquinas e controles tem livre escolha para estabelecer uma função para estes códigos, isso também inclui os códigos acima de M99.

### 3.6.2.3 Motores:

Motor de passo: É alimentado com sinais digitais. Para que um motor de passo funcione, é necessário que sua alimentação seja feita de forma seqüencial e repetida. Não basta apenas ligar os fios do motor de passo a uma fonte de energia e sim ligá-los a um circuito que execute a seqüência requerida pelo motor. São motores que apresentam uma gama de rotação muito ampla que pode variar de 0 rpm até 5400 rpm ou mais; permitem a inversão de rotação em pleno funcionamento; alguns motores possuem precisão de 97%; possuem ótima frenagem do rotor; movem-se passo-a-passo (Pezzin, M. Z., s.d.). Mover o motor passo-a-passo significa o seguinte: se um determinado motor de passo possuir 170 passos, isto significa que cada volta do eixo do motor é dividida 170 vezes, ou seja, cada passo corresponde a 2,1 graus e o rotor tem a capacidade para mover-se apenas estes 2,1 graus. Existem motores cujo passo é 0,9 graus. A relação entre o torque e o volume do motor, quando está em movimento, é menor do que a dos motores CC, mas têm a vantagem que quando estão parados numa determinada posição, eles detêm um alto torque de retenção que impede seu movimento. Apresenta a desvantagem de ter uma má relação potência/volume, quando é necessário acionar uma carga pesada, o motor de passo torna-se cada vez maior. Quanto maior sua potência, maior seu tamanho.

Servomotores: um servo-motor é, basicamente, um motor elétrico que somente se move até meia volta, ou seja, até 180 graus (ele não dá volta completa como os motores elétricos normais). Na verdade não é uma outra categoria de motores mas um arranjo de motor com sensor de posição e realimentação que é muito usado em robótica e outros sistemas automáticos. A tabela 3 mostra uma rápida comparação entre servomotor e motor de passo.

---

Quadro 4. Comparativo entre motor de passo e servo motor

<b>Motor de passo</b>	<b>Servomotor CC</b>
Operação em malha aberta	Operação em malha fechada
Má relação potência volume	Boa relação potência volume
Robusto, pouco desgaste	Maior desgaste devido ao uso de escovas
Controle relativamente complexo	Controle simples
Boa característica de bloqueio	Bloqueio requer frenagem adicional

O controle em malha aberta consiste em aplicar um sinal de controle pré-determinado, esperando-se que ao final de um determinado tempo a variável controlada atinja um determinado valor ou apresente um determinado comportamento. Neste tipo de sistema de controle não são utilizadas informações sobre evolução do processo para a determinar o sinal de controle a ser aplicado em um determinado instante. Mais especificamente, o sinal de controle não é calculado a partir de uma medição do sinal de saída. Já no controle em malha fechada, informações sobre como a saída de controle está evoluindo são utilizadas para determinar o sinal de controle que deve ser aplicado ao processo em um instante específico. Isto é feito a partir de uma *realimentação* da saída para a entrada. Em geral, a fim de tornar o sistema mais preciso e de fazer com que ele reaja a perturbações externas, o sinal de saída é comparado com um sinal de referência (chamado no jargão industrial de *set-point*) e o desvio (erro) entre estes dois sinais é utilizado para determinar o sinal de controle que deve efetivamente ser aplicado ao processo. Assim, o sinal de controle é determinado de forma a corrigir este desvio entre a saída e o sinal de referência. O dispositivo que utiliza o sinal de erro para determinar ou calcular o sinal de controle a ser aplicado à planta é chamado de *controlador* ou *compensador* (G. Silva, 2000).

Motores síncronos: Os motores de corrente contínua têm um par de terminais que devem ser ligados a uma fonte de alimentação, a polaridade da fonte determina o sentido de rotação do eixo do motor. Seu

---



movimento é, geralmente, suave e contínuo e, com uma redução mecânica apropriada, podem desenvolver torques elevados em volumes reduzidos. As principais desvantagens consistem na dificuldade para o controlador conhecer a posição exata do eixo e a velocidade de rotação que depende fortemente da carga. Assim, não é possível controlar estes motores em malha aberta. O controle se faz em malha fechada com sensores de posição e/ou velocidade.

#### **3.6.2.4 Fixação da ferramenta:**

Fixação manual: A fixação manual da ferramenta de corte consiste em afrouxar o mandril, colocar a broca nesse mandril e aperta-lo novamente. Para cada troca de ferramenta tem que se repetir essa operação. Se a peça a ser trabalhada tiver vários tipos de furos, a operação de troca de ferramentas deixa o processo de furação mais lento.

Fixação por pinça pneumática: Processo mais rápido que o anterior. Há o inconveniente do aumento do custo, pois é necessário um compressor de ar e instalação de tubulação para ar comprimido.

Engate rápido: Nos equipamentos multifuso para furação, acompanham brocas com uma luva que é encaixada e apertada com parafuso sobre o eixo de acionamento das mesmas. Este sistema permite uma troca mais rápida das ferramentas, porém, inferior a pinça pneumática.

#### **3.6.2.5 Fixação da peça:**

Cilindros hidráulicos ou pneumáticos: São dispositivos que proporcionam rapidez ao processo, mas elevam seu custo, pois serão necessários equipamentos como compressor de ar ou unidade hidráulica.

Grampos de fixação rápida: São dispositivos com facilidade de manuseio. Podem ser manuais ou acoplados a sistemas pneumáticos ou

---

hidráulicos. Quando manuais, havendo vários grampos para aperto, há a desvantagem do tempo para aperto de cada um deles. A figura 15 mostra um exemplo de grampo de fixação rápida.



Figura 15. Grampo de fixação rápida.

Fixação manual: realizado totalmente pelo operador. Pode-se utilizar dispositivos para auxiliar no posicionamento e fixação da peça. Processo lento, mas de baixo custo.

#### **3.6.2.6 Movimentação da mesa ou da ferramenta:**

Mesa fixa com a ferramenta deslocando-se nos três eixos coordenados X, Y e Z. Esse sistema apresenta a vantagem de ocupar um espaço reduzido, mas apresenta a desvantagem de possuir um grande número de peças móveis, o que aumenta a possibilidade de erro no deslocamento devido a folgas.

---

Ferramenta fixa com a mesa deslocando-se nos três eixos coordenados X, Y e Z. Apresenta como desvantagem a complexidade de dispositivos para movimentar a mesa, além de ocupar um espaço bastante grande. Foram tomadas algumas medidas de distâncias entre furos, usadas na indústria moveleira. As medidas máximas encontradas foram de 500 mm na largura e 2000 mm no comprimento, para móveis como guarda roupas e armários, e largura de 700 mm para mesas. Se fosse construído um equipamento com mesa móvel, seria necessário um espaço para o mesmo com, no mínimo, o dobro da largura ou do comprimento da peça.

Ferramenta deslocando-se nos eixos Y e Z, e a mesa deslocando-se no eixo X. apresenta como vantagens maior rigidez do sistema de posicionamento e menor quantidade de peças móveis, diminuindo a possibilidade de erro devido a folgas.

#### **3.6.2.7 Sistema de transmissão do movimento:**

Cremalheiras: Apresentam precisão em seu deslocamento, boa flexibilidade, resistência a abrasão, resistência ao óleo e são bastante leves. Apresenta o inconveniente da necessidade de uma montagem delicada.

Polias e correias: Com o tempo de uso, essa correia tende a esticar, causando folgas no sistema, o que vai necessitar de ajustes periódicos. Necessita cuidados especiais quanto a fixação da correia na roda dentada.

Cabos e roldanas: apresentam as mesmas condições que as anteriores.

Fuso de esferas: Apresentam uma grande precisão em seu deslocamento. Apresentam movimento suave e silencioso, menor

---

manutenção, melhor alinhamento, melhor precisão, menor coeficiente de atrito, repetibilidade de posição, alta rigidez e montagem rápida e fácil.

Após feitas as análises, chegou-se a conclusão que a melhor composição do equipamento seria da seguinte maneira:

1. Estrutura de sustentação: Feita com metalon.
2. Controle de movimentos: Será computadorizado.
3. Motores: Deve ser usado motor de passo.
4. Fixação da ferramenta: deve ser feita por meio de pinça pneumática.
5. Fixação da peça: Deve ser feito por meio de dispositivo pneumático.
6. A movimentação deve ser da ferramenta nos três eixos coordenados, permanecendo a mesa fixa.
7. Transmissão dos movimentos deve ser feita por meio de fusos de precisão.

Para concluir esse capítulo pode-se dizer que, com o auxílio de uma metodologia projetual, pode-se desenvolver um equipamento que atenda as necessidades de pequenas e micros empresas no sentido de aumentar a flexibilidade de sua produção. Fica evidente que no desenvolvimento de um projeto é necessário que se siga uma metodologia que tenha uma seqüência lógica de análise dos itens que compõe o produto a ser desenvolvido. Dessa maneira pode-se chegar a um resultado que satisfaça as exigências em relação a esse produto.

---

## CAPÍTULO 4

---

### **Desenvolvimento de um modelo de mesa de coordenadas**

Esse capítulo tem por objetivo mostrar o modelo de mesa de coordenadas CNC, voltada para operação de furação, desenvolvida no NAFA.

Buscou-se montar um equipamento que fosse simples de se construir, com baixo custo, com precisão nas operações de furação e que apresentasse um aumento de flexibilidade com produtividade para a empresa.

Definiu-se, então, que o equipamento deveria ser programável. Decidiu-se, dessa forma, que o desenvolvimento do sistema de programação do equipamento seria desenvolvido no NAFA.

De acordo com a análise realizada no capítulo anterior, foi definido que o equipamento deve ser estruturado da seguinte maneira:

- Estrutura de sustentação,
- Controle de movimentos,
- Motores,
- Fixação da ferramenta,
- Fixação da peça,
- Movimentação da ferramenta,
- Transmissão dos movimentos.

#### **4.1. Estrutura de sustentação e posicionamento da peça.**

Analisando o material a ser trabalhado, que é a madeira, sabe-se que o esforço para furação da mesma é pequeno, já que a mesma apresenta baixa resistência à penetração. Com isso, verificou-se que a estrutura do equipamento não tem necessidade de robustez, como os equipamentos que se destinam a trabalhar o aço e ferro fundido.

Chegou-se, então, a conclusão de que a estrutura de sustentação poderia ser feita em metalon, que é um material disponível comercialmente, de baixo custo, com boa resistência mecânica, apresentando rigidez suficiente para o esforço de furação, que é pequeno.

Buscou-se uma alternativa com o posicionamento da peça abaixo da parte superior da mesa, e com gabaritos para fixação da mesma (Figura 16).

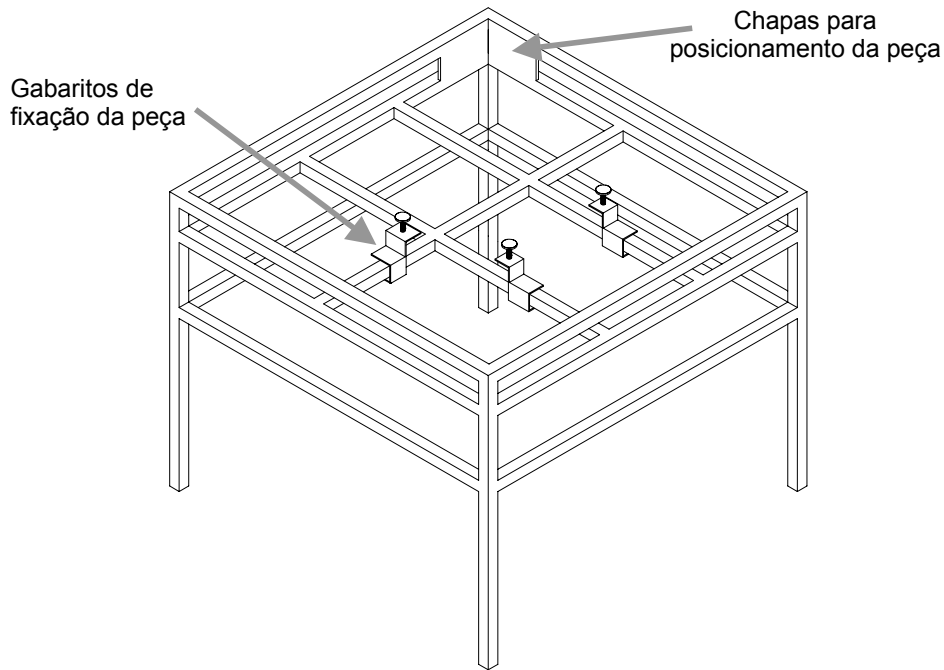


Figura 16. Estrutura de sustentação do equipamento.

Nesse caso, tem-se a chapa (encosto) para posicionamento da peça, e tem-se dispositivos para fixação da mesma, que podem ser retirados e reposicionados de forma rápida (Figura 17). Pode-se observar que o encosto é formado por duas chapas lisas, dispostas entre si com um ângulo de  $90^\circ$ , e abertas na parte inferior para que não haja problemas com acúmulo de pó, o que causaria erros de posicionamento da peça.

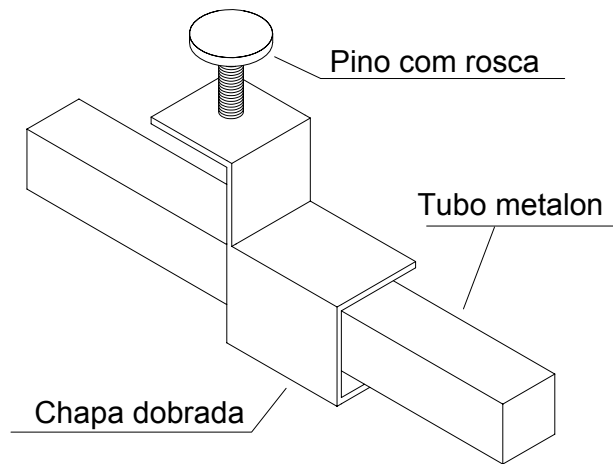


Figura 17. Dispositivo de fixação da peça.

As dimensões da estrutura deveriam ser para uma chapa de madeira 1000x3000 mm, que é a maior medida encontrada em uma indústria moveleira, mas para fins de análise, foi construído um modelo com dimensões máximas de 1000x1000 mm, sendo que, para análises da movimentação da ferramenta, essas dimensões são suficientes.

A parte superior da estrutura, onde fica apoiado e fixo o material a ser furado, foi projetada a uma altura de 80 cm do chão para se ter uma posição de trabalho ergonomicamente correta.

O trabalho do operador é o de colocar e retirar a peça do equipamento, que é realizado da seguinte maneira: coloca-se a peça apoiada nas chapas de posicionamento, em seguida pressionam-se os dispositivos de fixação contra a peça, girando-se os pinos roscados.

O equipamento é programável, portanto, a operação de furação necessita do deslocamento ou da ferramenta ou da peça.

Existem várias alternativas para o sistema de posicionamento da peça em relação à broca.

Porém, a opção apresentada no capítulo anterior, ferramenta deslocando-se nos eixos Y e Z, e a mesa deslocando-se no eixo X, que apresenta como vantagens maior rigidez do sistema de posicionamento e

menor quantidade de peças móveis, diminuindo a possibilidade de erro devido a folgas, é a mais indicada, mas optou-se pela construção de um equipamento com mesa fixa e deslocamento da ferramenta, devido as condições de disponibilidade de material.

Os pontos onde se posiciona a ferramenta estão dispostos nos eixos coordenados X e Y. Ponto de referência é a intersecção entre esses dois eixos, que deve ser o mesmo para todas as peças. Cabe deixar claro que essa é a referência de posicionamento da peça, que pode ser determinada bastando colocar um gabarito que fixe a peça sempre na mesma posição. A referência do deslocamento da ferramenta é determinada pelo programa de compilação dos dados.

#### **4.2. Controle de movimentos:**

Após análise realizada no capítulo anterior, sobre alguns programas que servem como plataforma para o compilador de dados, foi decidido pelo C++Builder por ser um programa já de conhecimento da equipe de desenvolvimento do modelo de equipamento.

Como plataforma para implementação do sistema CAD/CAM foi adotado um sistema CAD de baixo custo. Existem programas CAD que podem ser adquiridos gratuitamente pela internet, bastando fazer *download* dos mesmos. Com os recursos de programação desse sistema, rotinas CAD/CAM foram desenvolvidas com os objetivos de simulação e geração automática dos programas que definem a seqüência de movimentação dos componentes da máquina para cada operação (Programa CN).

Essa linguagem é adotada no projeto para manipulação de Programas CN. A função do compilador é fazer a interpretação desses códigos para extrair do programa CN os dados geométricos, que deverão ser convertidos em seqüência de pulsos para os motores de passo.

A forma mais tradicional de se promover uma integração CAD/CAM



é gerar a geometria do programa a partir de um perfil definido em arquivo de desenho do CAD. A estrutura aberta do CAD empregado como plataforma de trabalho permite o acesso aos dados estruturais das entidades de desenho. Funções da linguagem auto-lisp permitem a manipulação desses dados. Com isso, programas CN podem ser gerados utilizando-se essas características. Estudos com esse objetivo já foram desenvolvidos, com resultados publicados em (Simões, & Silva, 1999) e (Simões, 1999).

Resumidamente, pode-se dizer que o auto-lisp faz a leitura dos pontos do desenho realizado no CAD e gera um arquivo texto com código CNC. O compilador (C++Builder) faz a leitura desse arquivo texto, interpreta-o e gera uma tabela de pulsos, que chegam ao motor de passo pelo *driver*. O motor de passo, então, vai girar conforme o número de pulsos recebidos.

O operador desenha no computador, usando um programa CAD, a peça com o posicionamento desejado dos furos. Esses furos são transformados em pontos com coordenadas cartesianas através do programa auto-lisp. Uma vez tendo os pontos coordenados dos furos, entra em ação o programa compilador de dados, que transforma esses pontos em pulsos que são enviados aos motores de passo gerando, assim, os movimentos determinados.

### **4.3. Motores:**

Para o desenvolvimento do protótipo de furação, foi decidido pelo uso de motor de passo. Estes motores, conhecidos pela sua simplicidade de acionamento, trabalham com circuitos de controle em malha aberta, sendo bastante eficazes quando os esforços envolvidos no processo não são grandes. Na furação esses motores servirão para posicionamento das peças e avanço da broca.

Quando é acionado o motor de passo, esse faz girar o fuso, ou a barra roscada, que está fixa, em uma de suas extremidades, a um suporte com rolamentos, o que faz com que o fuso gire livremente e arraste consigo a castanha ou o tubo com duas porcas. Todos os motores de passo estão dispostos nas extremidades dos fusos, acoplados a esses por meio de luvas, compostas por tubos e parafusos (Figura 18).

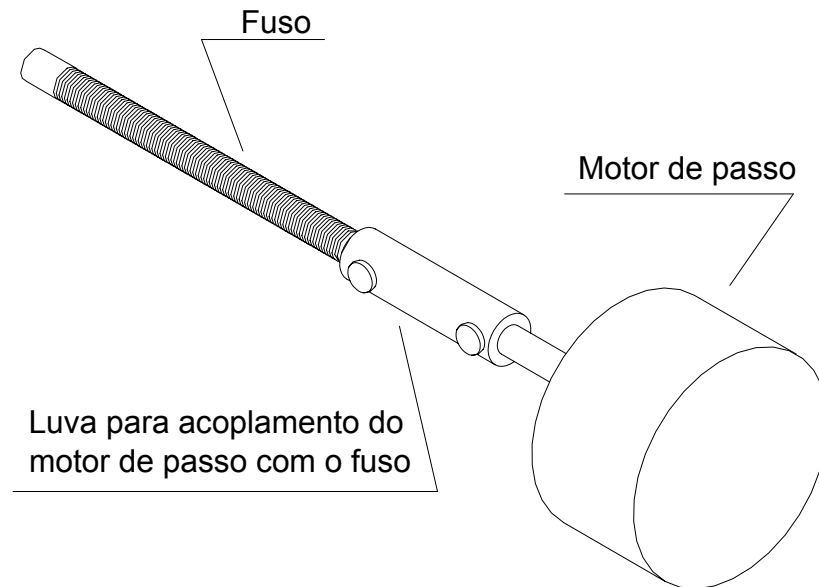


Figura 18. Acoplamento do motor de passo com a barra roscada.

Nesse projeto foram comprados os circuitos controladores dos motores de passo que acionam os eixos de movimentos da máquina.

O projeto e construção dos controladores dos motores são realizados pela aplicação de circuitos integrados, fornecidos comercialmente especificamente para esse fim (SGS-THOMSON Microelectronics, 1999).

Ligando fisicamente esses componentes à porta paralela de comunicação de um microcomputador, através de um protocolo de comunicação, tem-se um equipamento CNC, onde o microcomputador assume as funções características do comando de sistema CNC convencional.

O controle em malha aberta minimiza os custos, já que não há necessidade de sensores de posição e velocidade, que estão presentes em outros tipos de sistemas de acionamento como, por exemplo, em servomotores, motores CC, ou motores CA com conversor de frequência. Isso possibilita projetar o sistema com um grau de simplificação maior, se comparado com sistemas convencionais, porque não há necessidade de realimentação de informações para o sistema de controle.

A utilização de microcomputador para acionar os controladores dos motores também dispensa o uso de sistemas eletrônicos para sincronizar movimentos de mais de um motor, visto que a lógica de controle pode ser implementada através de *software*.

#### **4.4. Fixação da ferramenta:**

Quanto à fixação da broca, foi feito um sistema que prende a própria furadeira, no caso uma furadeira manual, pois assim dispensa-se o uso de pinças e, para acioná-la, basta ligá-la à rede elétrica.

Como visto anteriormente, o indicado seria a fixação por pinça pneumática, porém, adotou-se esse sistema pela sua simplicidade, dispensando o uso de componentes pneumáticos como cilindros, válvulas e compressor. Sabe-se que esse sistema é bastante limitado, pois a cada troca de ferramenta tem-se que retirar a furadeira de seu suporte, mas para fins de verificação da movimentação da ferramenta sobre os eixos coordenados pode ser utilizado (Figura 19).

Para a movimentação da broca no eixo Z, foi utilizado, também, um sistema de transmissão por fuso.

Uma alternativa para a movimentação da broca no eixo Z, seria por sistema pneumático, o que daria um movimento de avanço da ferramenta mais rápido.

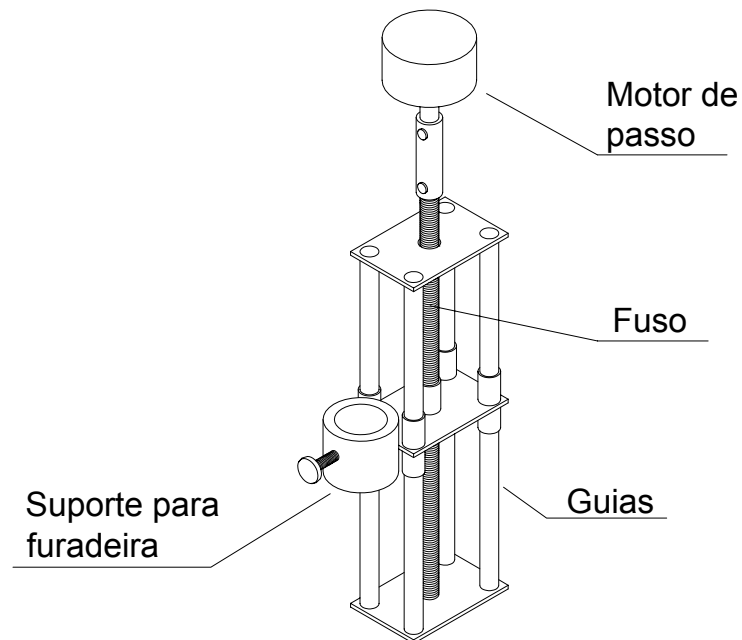


Figura 19. suporte para fixação da ferramenta.

#### 4.5 . Fixação da peça:

Foi desenvolvido um dispositivo de fixação da peça, de modo que o mesmo seja de fácil construção e permita a necessária agilidade ao processo.

Esse dispositivo é construído em chapa de aço carbono dobrada, aberto na lateral, para facilitar a colocação do mesmo sobre a barra de metalon, e um pino roscado, que vai exercer uma pressão sobre a peça, fixando-a. O dispositivo é mostrado na figura.

O mais indicado para esse processo seria uma fixação por sistema pneumático, porém, como trata-se de um modelo experimental, optou-se por esse sistema por dispensar o uso de componentes pneumáticos, o que aumentaria o custo do equipamento.

#### 4.6. Movimentação da ferramenta:

Os deslocamentos e posicionamentos da ferramenta no plano horizontal são obtidos pela combinação de movimentos em duas direções ortogonais, definindo os eixos coordenados X e Y (Figura 20).

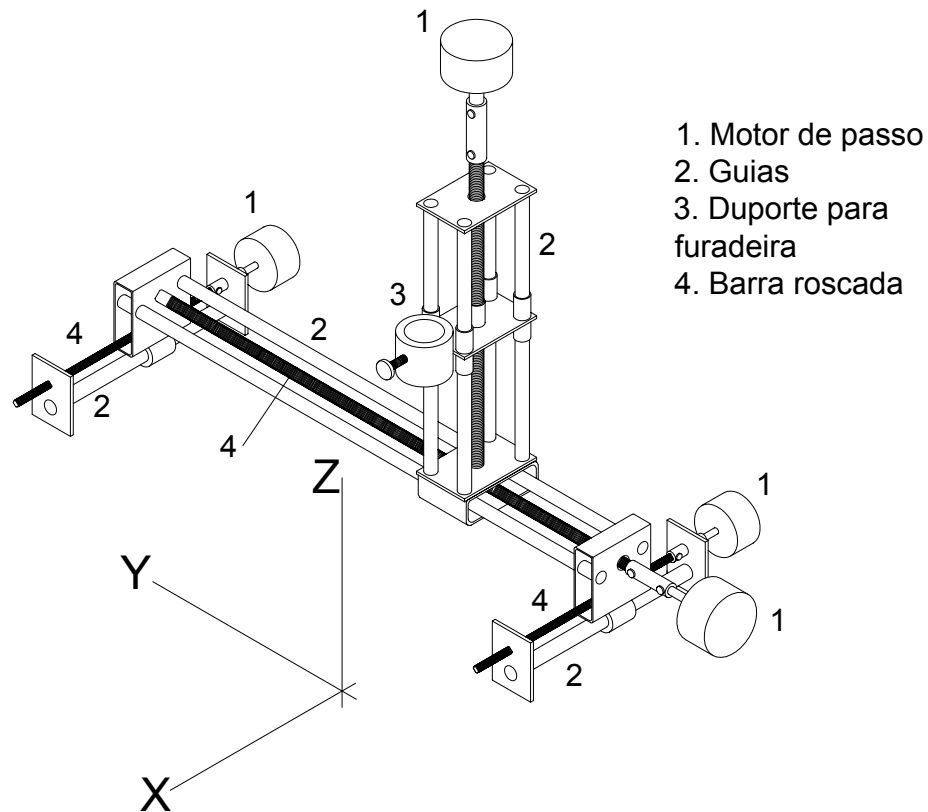


Figura 10. Conjunto do equipamento para furação

Para o processo de furação, a chapa de madeira fica fixa, o que se movimenta é a broca. Esse movimento se dá nos três eixos cartesianos X, Y e Z.

#### 4.7. Transmissão dos movimentos:

Por todos os motivos analisados anteriormente foi decidido pelo uso de fuso de esferas. Como havia a limitação da verba disponível para a construção de um protótipo, em vez de fuso de esferas com castanhas foram usadas barras roscadas com um tubo de porcas soldadas nas extremidades fazendo a parte da castanha (Figura 21).

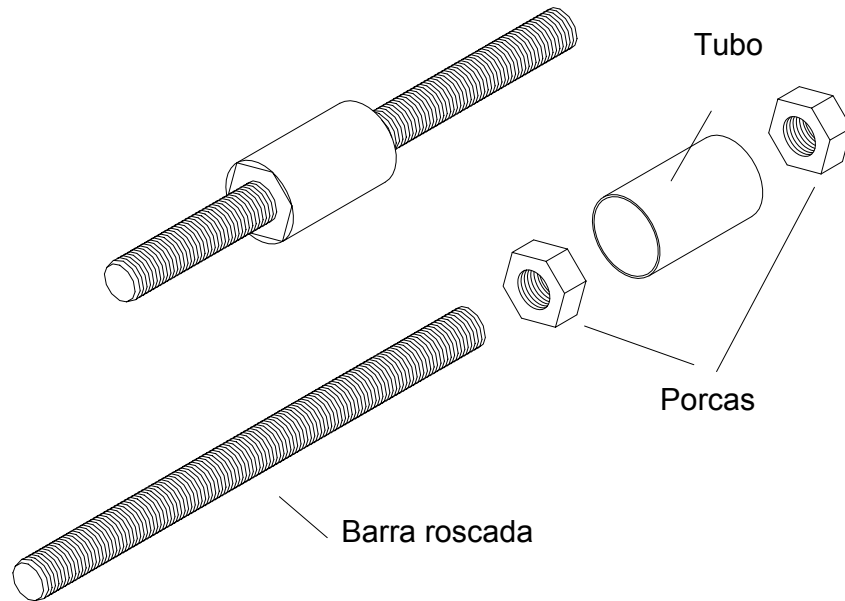


Figura 21. Barra roscada com tubo e duas porcas.

A Figura 20 mostra que duas barras roscadas compõem o movimento no eixo X apoiadas em uma barra trefilada de seção circular, que serve como guia, sendo que essa guia, por ser circular, possibilita uma melhor construção do sistema além de ser mais econômica. As castanhas estão fixas à parte interna de um perfil retangular, que por sua vez, está fixo a uma bucha que desliza sobre a barra guia (Figura 22). No eixo Y, a barra roscada, apoiada em duas guias. O eixo Z é constituído por uma barra roscada, apoiada em quatro guias, onde se posiciona por meio de uma chapa metálica, o suporte para a furadeira. O suporte da furadeira movimenta-se no sentido vertical e é suportado pelas guias do eixo Y, que devem ser dimensionadas para suportar o peso da estrutura do conjunto do suporte, mais o peso da furadeira.

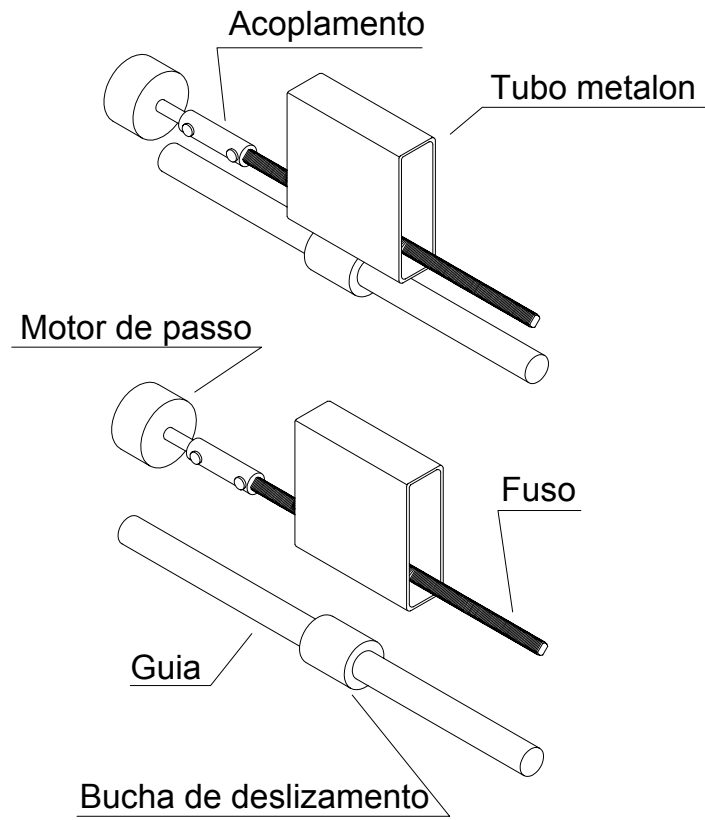


Figura 22. Bucha de deslizamento com guias.

## 4.8. Programa de Controle

A figura 23 mostra o menu principal do programa de controle.

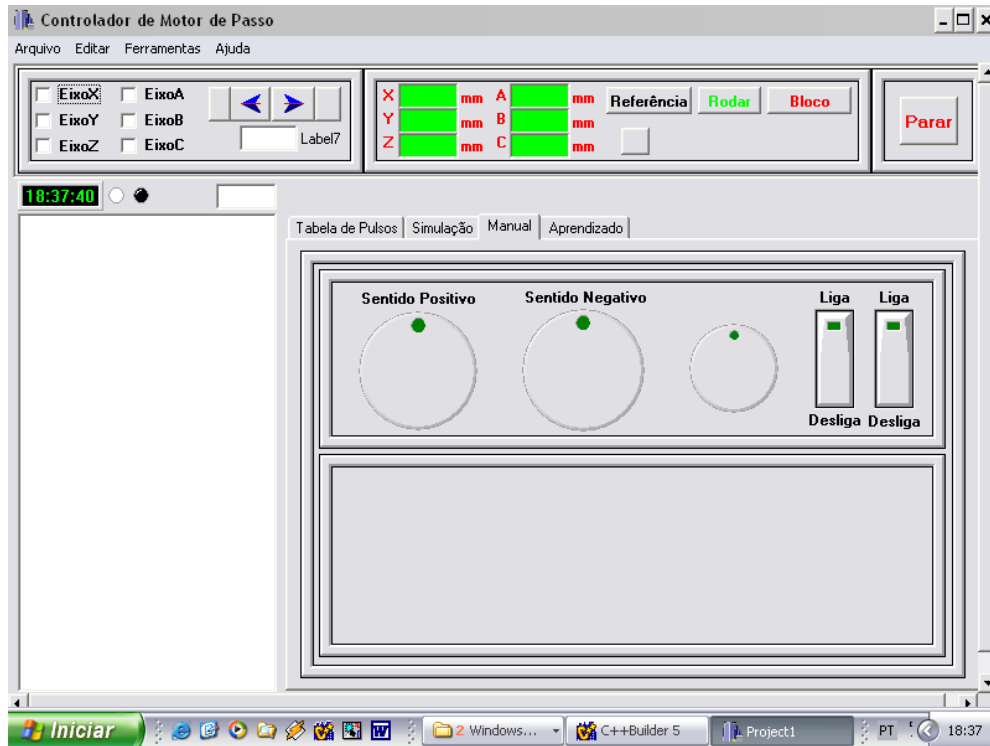


Figura 23. Janela com o programa mestre.

Através da opção “arquivo” seleciona-se o programa CN desejado.

Esse programa é escrito no formato de arquivo texto (Figura 24). É nele que estão as coordenadas dos furos e as condições de operação.

A partir desse programa é gerado um arquivo texto, também pelo auto-lisp, com o código CNC (Figura 24).



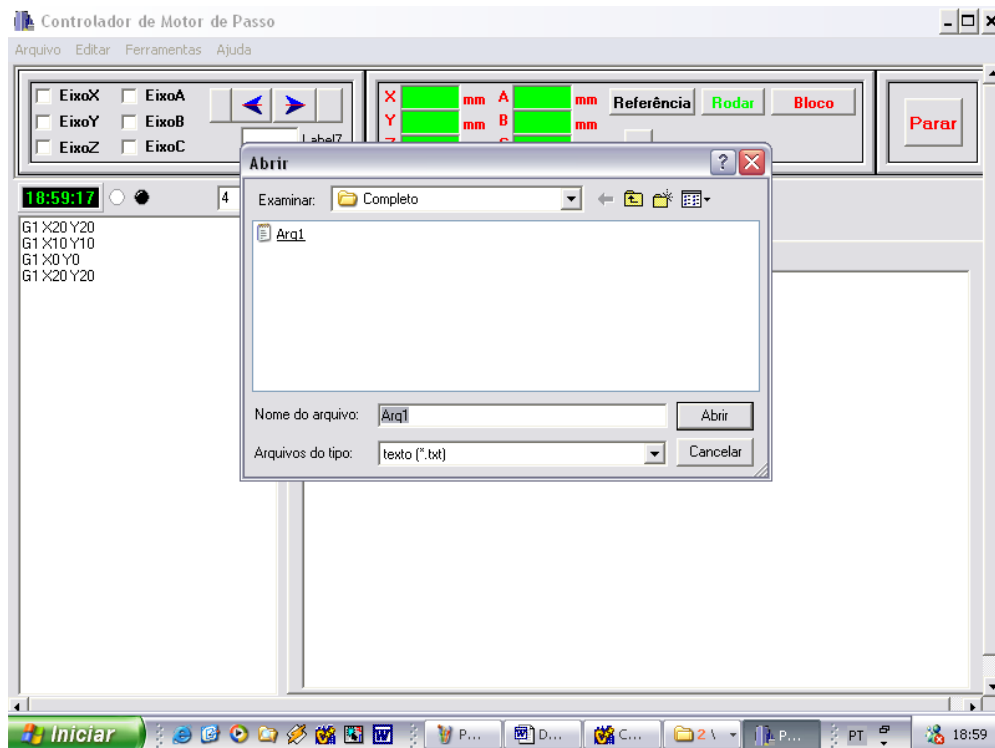


Figura 24. Janela onde aparece o arquivo texto.

Neste arquivo texto aparece o comando G1, cuja função é uma interpolação linear.

A interpolação consiste em determinar uma função que assume valores conhecidos em certos pontos, que são os nós de interpolação. A classe de funções escolhida para a interpolação é a priori arbitrária, e deve ser adequada às características pretendidas para esta função. A interpolação pode não ser adequada se os nós não forem escolhidos convenientemente. De um modo geral o conjunto das funções interpoladoras é determinado por um número finito de parâmetros (no caso de polinômios são seus coeficientes) que deverá ser igual ao número de condições impostas (ou seja, ao número de nós), para que haja apenas uma solução. A determinação dos parâmetros, que definem a

função interpoladora, leva a resolução de um sistema linear. A interpolação linear é uma linha que se ajusta a dois pontos.

Uma vez aberto o arquivo texto, passa-se a configuração do programa (Figura 25), para gerar os pulsos que movimentarão o equipamento.

Na próxima janela (Figura 26), procede-se a configuração de entrada do programa. São configurados a unidade de medida em que a ferramenta se movimentará, a porta de entrada dos pulsos nos *drivers* e a resolução do sistema. O intervalo dos pulsos e entre pulsos é o próprio arquivo texto que faz a configuração, portanto o operador não entra com esses parâmetros.

A técnica utilizada na análise da interpolação linear é a DDA (Weck, 1989).

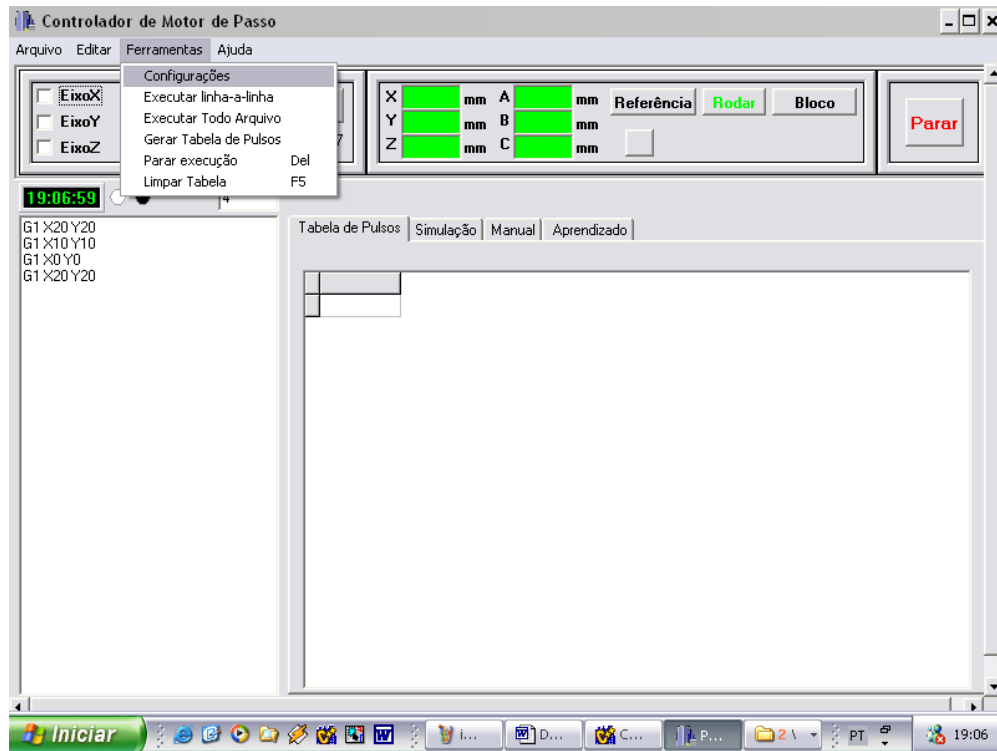


Figura 25. Janela onde aparece o caminho para configurações.

A unidade de medida utilizada é o milímetro (mm).

Na terceira janela de apresentação, configura-se o terceiro arquivo, gerado pelo programa, que busca o arquivo texto anterior, e o transforma em outro arquivo, que é um banco de dados, com a tabela onde estão todos os pulsos necessários para a movimentação do equipamento e a porta de saída de dados é a porta paralela LPT1.

A resolução do sistema é a distância que a ferramenta percorre a cada pulso do motor. Essa resolução vai depender da relação de transmissão do movimento do motor para a ferramenta. Para determinar a resolução do sistema, deve-se medir a distância percorrida durante um pulso ou calcular a relação de transmissão. Pelo método de medição, é recomendável dar diversos pulsos no motor e verificar a distância percorrida. Desta maneira têm-se uma precisão maior dessa medida.

Uma vez determinada a resolução, entra-se na janela de configurações e, no campo de resolução, registra-se o valor encontrado.

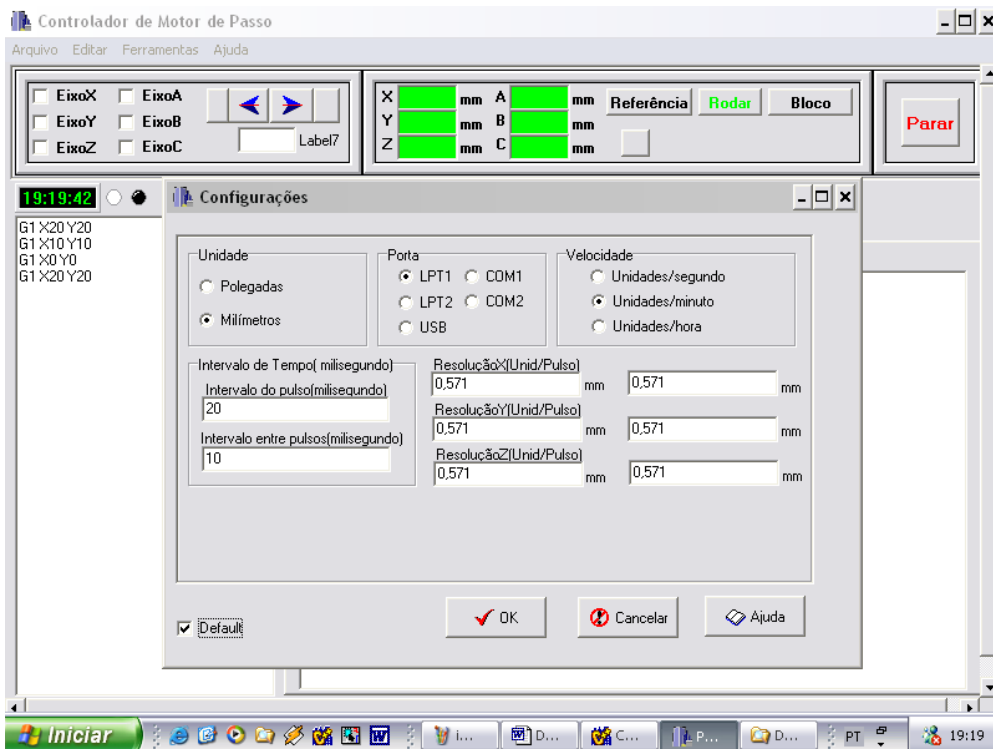


Figura 26. Janela de configurações.

Após configurado, o programa está em condições de gerar a tabela de pulsos.

A figura 27 mostra a opção selecionada que permite ao operador visualizar o arquivo com o qual serão gerados os pulsos em forma de tabela, e que serão enviados para os *drivers* dos motores.

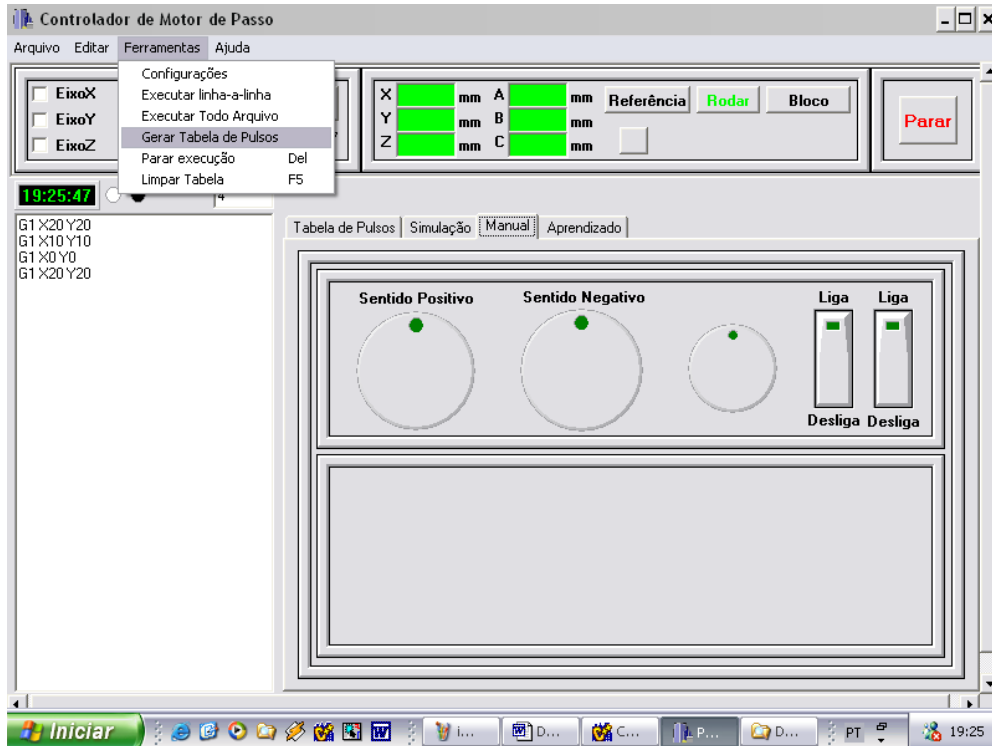


Figura 27. Janela de entrada para gerar pulsos.

Na mesma janela (Figura 28), referencia-se o sistema, ou seja, determinam-se as coordenadas do ponto onde a ferramenta vai iniciar o seu deslocamento e clica-se no comando rodar. A partir daí, o equipamento vai executar as operações determinadas. Se as peças em operação forem iguais, faz-se a programação apenas uma vez, e o programa executará as operações determinadas para todas as peças,

bastando ao operador apenas retirar a peça pronta e colocar outra peça, a ser trabalhada, no equipamento.

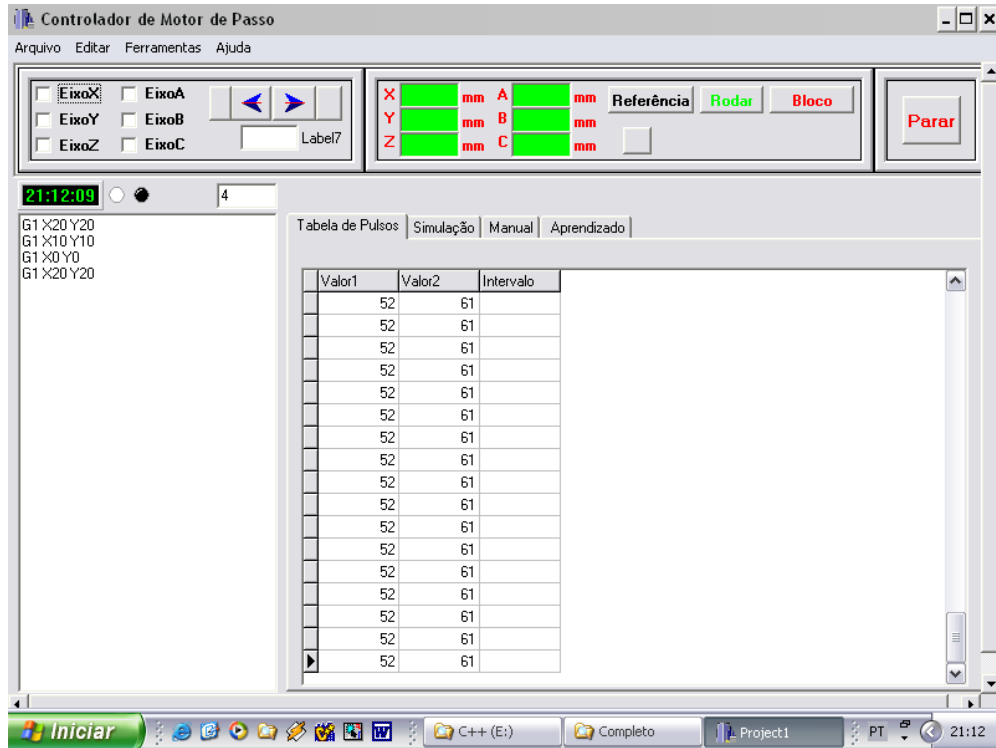


Figura 28. Janela com tabela de pulsos e eixos X e Y referenciados.

Para finalizar, fica claro após a exposição do modelo de equipamento desenvolvido e montado, que o mesmo requer ajustes para que possa atender as necessidades a que se propõe, pois as peças utilizadas em sua montagem foram, em grande parte, improvisadas para que se pudesse analisar o seu funcionamento.

## CAPÍTULO 5

---

### Resultados obtidos

Este capítulo tem por objetivo fazer uma análise do modelo de equipamento desenvolvido, buscando verificar se os itens definidos nos capítulos anteriores foram satisfeitos ou não.

- Estrutura de sustentação,
- Controle de movimentos,
- Motores,
- Fixação da ferramenta,
- Fixação da peça,
- Movimentação da ferramenta,
- Transmissão dos movimentos.

#### 5.1. Estrutura de sustentação.

Foram utilizados perfis tubulares tipo metalon, com dimensões de 30x30 mm e espessura 1,2 mm (Figura 29).



Figura 29. Foto do conjunto do equipamento de mesa de coordenadas para operações de furação.

Devido a vibração do equipamento durante seu funcionamento, a estrutura tende a movimentar-se. Por isso, a mesma deve ser fixada, no local onde se encontra, com parafusos chumbadores, para diminuir o máximo possível essas vibrações, pois as mesmas afetam a precisão do equipamento.

Notou-se, também, uma certa fragilidade do conjunto da estrutura. Para que apresente maior rigidez deve-se colocar um maior número de travamentos entre os perfis já existentes.

## **5.2. Controle de movimentos.**

O controle de movimentos, constituído por um computador tipo PC e programas como CAD, auto-lisp e C++, tinha como objetivo realizar a movimentação da ferramenta nos eixos coordenados X, Y e Z, mediante valores determinados pelo operador. Essa tarefa foi executada conforme o determinado pelo programa. Sendo assim, pode-se dizer que o mesmo cumpriu a função a que se destinou, que era a de movimentar a ferramenta.

## **5.3. Motores.**

Os motores de passo utilizados para acionamento das partes móveis do equipamento, mostraram-se como não sendo os melhores indicados, pois como se movem por impulsos intermitentes causam uma vibração bastante grande. Essa vibrações vão, com o tempo de uso, causar folgas, o que afetará a precisão do equipamento.

Em relação aos outros motores, apresenta vantagens, como tamanho e custo reduzidos, total adaptação a lógica digital (o que permite o controle preciso da velocidade direção e distância), características de bloqueio, pouco desgaste e dispensa realimentação.

---

Mas apresenta também desvantagens, como a má relação potência/volume, quanto maior sua potência, maior seu tamanho, e um controle relativamente complexo.

#### 5.4. Fixação da ferramenta.

A fixação da ferramenta, colocando uma furadeira elétrica manual em um suporte onde é fixada por um parafuso, mostra evidentes desvantagens (Figura 30).



Figura 30: Foto da fixação da ferramenta



A cada troca de ferramenta, deve-se retirar a furadeira de seu suporte, afrouxar o mandril, trocar a broca, apertar o mandril novamente e voltar ao suporte da furadeira.

Como dito anteriormente, a fixação da ferramenta dessa maneira foi apenas uma improvisação para poder-se verificar a movimentação da ferramenta conforme os comandos dados. O mais indicado seria a fixação por sistema pneumático, o que possibilitaria uma maior agilidade na troca da mesma.

### **5.5. Fixação da peça.**

A fixação da peça também foi uma improvisação, como a da ferramenta, pois o que se desejava testar era o funcionamento da mesa de coordenadas. Aqui, também, o mais indicado é uma fixação por meio de sistema pneumático.

### **5.6. Movimentação da ferramenta.**

A ferramenta deslocou-se conforme o percurso determinado pelo programa, nos eixos X e Y, e posicionou-se no ponto indicado. Mas o deslocamento foi bastante lento, o que pode ser melhorado aumentando-se o passo da barra roscada.

No modelo construído para teste, a movimentação da ferramenta, com a mesa fixa, permite que se faça furação apenas na face da chapa.

Na indústria moveleira é comum a realização de furos no topo da peça.

Portanto, esse tipo de equipamento deve permitir o giro de 90° da peça ou da ferramenta, como em uma furadeira multifuso.

### **5.7. Transmissão dos movimentos.**

---

No protótipo foram empregadas barras roscadas, com luvas em tubo de aço com duas porcas sextavadas soldadas em suas extremidades.

O deslocamento da ferramenta mostrou-se bastante lento. Se aumentar o passo da rosca, diminui-se a precisão, pois o deslocamento a cada pulso do motor será maior.

Pode-se, então, usar um motor de passo com maior rotação, o que aumentará o custo desse motor.

A transmissão dos movimentos foi realizada por meio de fusos, no caso substituídos por barras roscadas,

Finalizando esse capítulo, pode-se ver que existem alguns itens que devem ser corrigidos para que o equipamento funcione adequadamente. Por exemplo, quando a broca penetra a madeira, essa exerce um esforço sobre a mesma e vai causar uma reação de sentido contrário nas guias que sustentam o carro suporte da furadeira. Essas guias, ao sofrerem essa força de reação apresentaram uma deformação de flexão. Para minimizar esse problema pode se utilizar guias com diâmetros de seção da peça maiores ou de perfil que tenha maior momento de inércia. Têm-se também problemas com os motores de passo, que provocam vibrações na estrutura do equipamento. Para solucionar esse problema pode-se substituir esse tipo de motor por outro.

Quanto a precisão do deslocamento, houve erro de resolução, ou seja, o motor de passo movimenta-se por pulsos, não é um movimento contínuo, o que faz com que muitas vezes pare antes ou depois do ponto determinado. A especificação da resolução tem de ser feita de acordo com o erro de posicionamento admitido, portanto, esse é um erro de projeto e não do equipamento.

Têm-se ainda o sistema de transmissão, formado por fusos, que dependendo do seu passo, vai variar a distância percorrida. A resolução

---

do motor mais o sistema de transmissão forma a resolução do equipamento.

Por exemplo, se a resolução do equipamento for de 1 mm, ou seja, cada passo do motor equivale a um deslocamento de 1,0 mm da ferramenta, e a distância a ser percorrida for de 6,5 mm, esse motor vai provocar um deslocamento de 6,0 ou 7,0 mm.

Pode-se programar o sistema para que a ferramenta pare sempre um pulso antes ou sempre um pulso depois da medida determinada. Cabe ressaltar que esse erro sempre será menor que a resolução do equipamento.

Esse erro, portanto, é uma limitação do sistema. Se aumentar o passo do fuso, a cada pulso do motor o deslocamento será maior, será mais rápido, mas terá menor resolução. Ao contrário, diminuindo o passo, aumenta a resolução, mas o deslocamento é mais lento.

Chega-se a conclusão que qualquer componente utilizado na montagem do equipamento tem suas vantagens e desvantagens. Cabe analisar e decidir quais delas vão ter maior influência no funcionamento desse equipamento.

---

## CONCLUSÃO

---

A metodologia proposta mostra, no âmbito de projeto de produto, a viabilidade de desenvolvimento de equipamentos de alta tecnologia com relativo baixo custo, se comparados com equipamentos semelhantes disponíveis no mercado.

O trabalho não teve a pretensão de ser conclusivo no sentido de comprovar a equivalência de eficiência entre equipamentos desenvolvidos pela técnica proposta e aqueles disponíveis comercialmente. Porém, a metodologia de projeto mostrou que a ampla disponibilidade no mercado de elementos de máquinas, com variadas características construtivas e classes de precisão, dão aos projetistas a liberdade para criação de equipamentos eficientes, direcionados a aplicações específicas e ajustados a eventuais restrições orçamentárias. A oferta comercial desses componentes, como guias, fusos e sistemas de transmissão e acionamentos, é decorrente da exigência de crescente avanço tecnológico na indústria de máquinas-ferramentas e a consequente necessidade de terceirização de fabricação dos principais elementos estruturais das máquinas.

Considerando o objetivo do trabalho está direcionado ao projeto de equipamentos para operação segundo a tecnologia de comando numérico, a principal dificuldade observada é a especificação da unidade de controle ou comando. Uma solução eficiente e normalmente adotada é a aplicação de sistemas integrados que também podem ser adquiridos no mercado. A utilização de microcomputadores nessa função, como alternativa indicada no trabalho, busca inicialmente a meta de reduzir o custo de desenvolvimento. Porém, esta hipótese tem no desenvolvimento do programa de controle o seu principal obstáculo. As especificações exigidas para o *software* indicaram a necessidade de conhecimento especializado, por parte do programador, para domínio de recursos

computacionais, principalmente daqueles necessários para efetuar a comunicação entre o computador e os circuitos de controle dos motores. Por outro lado, a especificação de motores de passo para acionamento do sistema simplificou a implementação do programa computacional por se tratar de dispositivo que permite aplicação de técnicas de malha aberta de controle.

A forma de operação do equipamento, através de linguagem padronizada para programação de equipamentos CNC, mostrou ser apropriada para aumentar a sua versatilidade, por permitir a aplicação de sistemas CAD/CAM para geração automática de programas-tarefa. Embora os custos desses pacotes computacionais os tornem, na maioria dos casos, de utilização inviável por parte de pequenas e micro empresa, como no caso da indústria moveleira a que esse trabalho se destina, a demonstração de aplicação de técnicas de implementação de rotinas em ambiente CAD para desempenhar funções próprias de sistemas CAD/CAM indica que essa também é uma possibilidade de incrementar a flexibilidade do equipamento.

A aplicação de microcomputadores para exercer a função de comando do sistema CNC projetado também mostra como vantagem a potencialidade de adequação dos requisitos de projeto com as especificações do *software*. A precisão de posicionamento alcançada pelos componentes mecânicos do equipamento, por exemplo, pode ser melhorada com adaptações no programa de controle: as folgas na transmissão podem ser praticamente eliminadas se os posicionamentos nos eixos de movimento da máquina forem executados sempre na mesma direção. Da mesma forma, outros recursos de *software* podem ser continuamente implementados como aprimoramento do sistema para novas versões. Como proposta para trabalhos futuros, pode-se citar:

- implementação de ciclos fixos para furação;
  - controle do sistema produtivo;
  - associação entre peças padronizadas e programas CNC;
-

- criação de banco de dados de usinagem;
- controle de tempo de vida da ferramenta.

Quanto à possibilidade de integração do sistema com rotinas CAD/CAM, funções dedicadas ao sistema podem ser desenvolvidas com relativa facilidade na forma de aplicativos CAD. Exemplos imediatos são:

- interpretação de arquivo CAD para identificação de coordenadas dos furos;
- geração automática do programa CNC a partir de coordenadas dos furos;
- otimização de trajetórias para os programa CNC;
- seleção automática de ferramentas a partir de dados geométricos de arquivos CAD.

Sobre os aspectos de projeto, as seguintes considerações devem ser analisadas para validar o equipamento desenvolvido como protótipo inicial do sistema proposto.

- substituição das guias;
- realização de ensaios geométricos para análise de precisão;
- testar outros meios de transmissão para relacionar de forma precisa a relação entre precisão e custo de fabricação.
- especificação do motor principal.

Como consideração final, cabe salientar que apesar de não ser um trabalho definitivo, o que se buscou mostrar é que existem várias alternativas para a construção de equipamentos de baixo custo para a pequena indústria, que tenha flexibilidade, porém voltados a operações específicas. A possibilidade de execução dessa natureza de projeto é a vasta disponibilidade comercial de elementos construtivos de máquina, associada à criatividade do projetista.

---

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

---

ALBUQUERQUE, F. A. **Gestão estratégica das informações internas na pequena empresa:** Estudo comparativo de casos em empresas do setor de serviços (hoteleiro) da região de Brotas – SP. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Escola de Engenharia de São Carlos - Universidade de São Paulo, 2004.

**ASCII:** Disponível em: <<http://www.recitronic.com.br/padro16.html>>  
Acesso em: Out. 2003.

AZEVEDO, A. L., Correa A. S., Pereira J. D., Souza A. F., Ito O. N., Yoshizato A., Krabbe D. F. M., Rocha J., **Máquinas CNC ou máquinas Convencionais?** Disponível em:  
<<http://www.mundocnc.com.br/avan4.htm>> Acesso em Fev/ 2004.

Bardanachvili, E. - **Trabalho, uma mercadoria que se torna rapidamente obsoleta:** Disponível em:  
<[http://www.multirio.rj.gov.br/seculo21/texto\\_link.asp?cod\\_link=202&cod\\_chave=3&letra=c](http://www.multirio.rj.gov.br/seculo21/texto_link.asp?cod_link=202&cod_chave=3&letra=c)> Acesso em Fev. 2005.

BERNARDI, L. A. **Java e a Web:** Disponível em:  
<<http://www.linuxconcordia.hpg.ig.com.br/javaprinc.html>> Acesso em: Abr. 2004.

BOMFIM, G. A.; NAGEL, K.; ROSSI, L. M. **Fundamentos de uma Metodologia para Desenvolvimento de Produtos.** Rio de Janeiro: COPPE/UFRJ, 1977.

BONSIEPE. G.; KELLNER. P.; POESSNECKER. H. **Metodologia experimental:** Desenho Industrial. Brasília: CNPq/Coordenação Editorial, 1984.

BOTELHO, A. **Do Fordismo à Produção Flexível: A produção do Espaço num Contexto de Mudança das estratégias de acumulação do capital** – Dissertação (Mestrado em Filosofia, Letras e Ciências Humanas) – Universidade de São Paulo, 2000.

BUIAR, D. R., **Vantagem Competitiva da Flexibilidade Via Tecnologia da Informação: Um Modelo de Auditoria e Estudo de Caso no Pólo Automotivo Paranaense**. Tese (Doutorado em Gestão de negócios) - Universidade Federal de Santa Catarina, 2000.

CASSANIGA, F. A. **Fácil Programação do Controle Numérico**. São Paulo, 2000.

**C++Builder:** Disponível em: <<http://www.dicasbcb.com.br/>> Acesso em: Ago. 2003.

**C++Builder:** Disponível em: <[http://www.tarcisiolopes.com/intro\\_cbldr/apres\\_cbuilder.htm](http://www.tarcisiolopes.com/intro_cbldr/apres_cbuilder.htm)> Acesso em: Ago. 2003.

**C++Builder:** Disponível em: <[http://www.dicasbcb.com.br/\\_Livro/\\_Inicio/\\_3.html](http://www.dicasbcb.com.br/_Livro/_Inicio/_3.html) (C++ Builder)> Acesso em: Ago. 2003.

**C++Builder:** Disponível em: <[http://www.borland.com/products/downloads/download\\_cbuilder.html](http://www.borland.com/products/downloads/download_cbuilder.html)> Acesso em: Ago. 2003.

DUARTE, R. D. **Desenvolvimento tecnológico:** Disponível em: <<http://www.apinfo.com/clauto.htm>> Acesso em: Abr. 2004.

**Energia Nuclear Brasileira:** Disponível em: <<http://www.energiabrasil.gov.br/>> Acesso em: Abr. 2004.

---



FRANCISCHINI, P. **Crescer em Produção e Produtividade**: Disponível em: <<http://noticias.aol.com.br/negocios/industria/2004/11/0001.adp>> Acesso em Jan. 2005.

FERRAZA, P. H., **Instrumentando a Condução da Aprendizagem de Pneumática Básica**: Proposta de um Livro Eletrônico. Dissertação (Mestrado em Mídia e Conhecimento) – Centro Federal de Educação Tecnológica do Paraná, 2001.

**Fusos de esferas e sistemas lineares**: Disponível em: <<http://www.egroj.com.br/fusos.htm>> Acesso em: Out. 2003.

GARCIA, P. R. S. **Redesenho de porta-agulhas cirurgicas**: uma experiencia projectual. Dissertação de mestrado, Santa Maria, UFSM, 2002.

GOMES, L. A. V. N. **Criatividade: projeto, desenho, produto**. Santa Maria, sCHDs, 2001.

GOMES, L. A. V. N. Desenhando: um panorama dos sistemas gráficos. In: GARCIA, P. R. S. **Redesenho de porta-agulhas cirúrgicos; uma experiência projetual**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção-Projeto de Produto) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2002.

GROOVER, M. P. **Automation, Production Systems, and Computer-Integrated Manufacturing**. New Jersey, 2001.

**Guias Lineares**: Disponível em: <<http://www.thk.com.br/lmguides.htm>> Acesso em: Set. 2003.

**Guias Lineares**: Disponível em: <[http://www.festo.com.br/menu\\_prod/prod\\_atua/atua\\_dfm.htm](http://www.festo.com.br/menu_prod/prod_atua/atua_dfm.htm)> Acesso em: Out. 2003.

**Guias Lineares**: Disponível em: <<http://www.ibermac.com.br/parsy/>> Acesso em. Out. 2003.

---

**Histórico do CNC:** Disponível em:  
<<http://geocities.yahoo.com.br/lucadesoro2003/automacao.html>> Acesso em: Jan. 2003.

LUCCA, R. T., **Avaliação de programas CAD no setor de projeto arquitetônico:** etapas legais de projeto. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) - Escola de Engenharia de São Carlos - Universidade de São Paulo, 1999.

MACHADO, C. M. S., **Um modelo de fluxo em rede para o problema da distribuição de múltiplos produtos compostos.** Tese (Doutorado em Logística e Transporte) – Universidade Federal de Santa Catarina, 2004.

**Máquinas CNC:** Disponível em:  
<[http://www.bibvirt.futuro.usp.br/textos/tem\\_outros/cursprofissionalizante/tc2000/automacao/autoa16.pdf](http://www.bibvirt.futuro.usp.br/textos/tem_outros/cursprofissionalizante/tc2000/automacao/autoa16.pdf)> Acesso em: Jul. 2002.

**Máquinas CNC:** Disponível em:  
<<http://www.angelfire.com/va3/aco100/alunos/aran/t1.htm>> Acesso em: Jul. 2002.

**Máquinas CNC:** Disponível em:  
<[http://usuarios.advance.com.ar/carloscortes/home\\_br.asp](http://usuarios.advance.com.ar/carloscortes/home_br.asp)> Acesso em: Jan. 2004.

**Máquinas CNC:** Disponibilidade em:  
<<http://www.facilcnc.hpg.ig.com.br/historico.htm>> Acesso em: Out. 2003.

**Motor de Passo:** Disponível em:  
<<http://users.hotlink.com.br/rmenezes/informa/mpasso/mpasso.htm>> Acesso em: Ago. 2002.

**Motor de Passo:** Disponível em:  
<[http://www.mrshp.hpg.ig.com.br/rob/m\\_passo.htm](http://www.mrshp.hpg.ig.com.br/rob/m_passo.htm)> Acesso em: Ago. 2002.

---

**Motor de Passo:** Disponível em:  
<[http://www.ime.eb.br/~pinho/micro/trabalhos/Mecatronica\\_TP1.pdf](http://www.ime.eb.br/~pinho/micro/trabalhos/Mecatronica_TP1.pdf)>  
Acesso em: Ago. 2002.

**Motor de Passo:** Disponível em:  
<[http://diana.ee.pucrs.br/~terroso/Dicas\\_de\\_HW/Motor\\_de\\_Passo/body\\_motor\\_de\\_passo.html](http://diana.ee.pucrs.br/~terroso/Dicas_de_HW/Motor_de_Passo/body_motor_de_passo.html)> Acesso em: Ago. 2002.

**Motor de Passo:** Disponível em:  
<[http://geocities.yahoo.com.br/alexrobotica/eletronic\\_robotica\\_motores\\_passo.html](http://geocities.yahoo.com.br/alexrobotica/eletronic_robotica_motores_passo.html)> Acesso em: Ago. 2002.

**Motor de Passo:** Disponível em:  
<<http://www.geocities.com/CollegePark/Dorm/8863/motordepasso.htm>>  
Acesso em: Ago. 2002.

**Motor e Passo:** Disponível em:  
<<http://www.rogercom.com/pparalela/IntroMotorPasso.htm>> Acesso em  
Set. 2002.

**Motor de Passo:** Disponível em:  
<<http://cmi.cefetrs.tche.br/tro/alunos/motordepasso/>> Acesso em: Set.  
2002.

**Orientação a Objetos:** Disponível em:  
<[http://www.dca.fee.unicamp.br/courses/POO\\_CPP/node3.html](http://www.dca.fee.unicamp.br/courses/POO_CPP/node3.html)>  
Acesso em: ago. 2003.

**Orientação a Objetos:** Disponível em:  
<[http://www.cos.ufrj.br/~lodi/HOME/PASTPROJ/rel\\_tec/node7.htm](http://www.cos.ufrj.br/~lodi/HOME/PASTPROJ/rel_tec/node7.htm)>  
Acesso em: Ago. 2003.

PAIVA, L. M. G. **Estratégia Da Produção E Flexibilidade:** Disponível em:  
<[http://www.ipv.pt/millennium/ect13\\_5.htm](http://www.ipv.pt/millennium/ect13_5.htm)> Acesso em: Abr. 2004.

PENNA, C. **Desenvolvimento Tecnológico:** Disponível em:  
<<http://www.sectec.gov.br>> Acesso em: Abr. 2004.

---

PEZZIN, M. Z., **Motores de Passo:** Disponível em: [http://www.uri.com.br/~mzp/cursos/Automacao/motor\\_passo.htm](http://www.uri.com.br/~mzp/cursos/Automacao/motor_passo.htm) Acesso em: Abr. 2003.

RAMIRO & LOTURCO **O poder das pequenas:** Disponível em: [http://veja.abril.com.br/131102/p\\_128.html](http://veja.abril.com.br/131102/p_128.html) Acesso em : Jun. 2004.

QUADROS, D. R., **Influências da Inovação nos Processos Produtivos Sobre a Multidimensionalidade Humana em uma Montadora de Veículos no Paraná** – Tese (doutorado em Gestão de Negócios) – Universidade Federal de Santa Catarina, 2004.

**Roscas de transmissão:** Disponível em: [http://www.bibvirt.futuro.usp.br/textos/tem\\_outros/cursprofissionalizante/tc2000/elementos/31elem.pdf](http://www.bibvirt.futuro.usp.br/textos/tem_outros/cursprofissionalizante/tc2000/elementos/31elem.pdf) > Acesso em: Out. 2003.

SANTOS, D.G., **Modelo de Gestão de Processos na Construção Civil para Identificação de Atividades Facilitadoras** – Tese (Doutorado em Gestão de negócios) - Universidade Federal de Santa Catarina, 2004.

**Servomotor:** Disponível em: <http://www.geocities.com/Eureka/Enterprises/3754/robo/interf/servom.htm> Acesso em: Mar. 2004.

**Sistemas Flexíveis de Movimentação:** Disponível em <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3132/tde-22032001-150541/publico/Dissertacao.pdf> Acesso em Out. 2003.

TOVAR, E. **Introdução à Informática Industrial:** Disponível em: [http://www.dei.isep.ipp.pt/~emt/infind/ii\\_1a.pdf](http://www.dei.isep.ipp.pt/~emt/infind/ii_1a.pdf) > Acesso em Jan. 2004.

WECK, M. **Werkzeugmaschinen Automatisierung und Steuerungstechnik.** Alemanha, 1989.

---