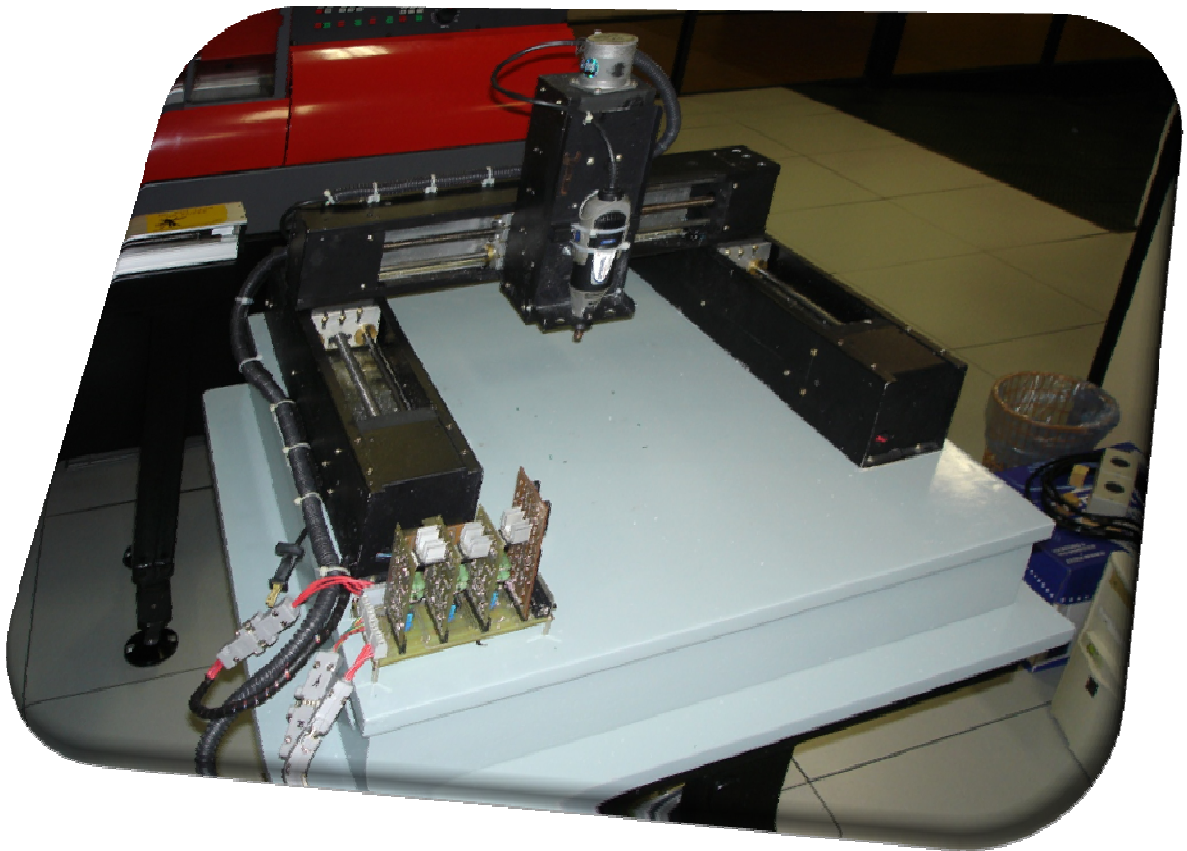


2008



PUCRS

PROJETO CNC DE 3 EIXOS

Utilizando Tecnologias Livres | Rodrigo Krug

Rodrigo Krug

Projeto CNC de 3 Eixos Utilizando Tecnologias Livres

Relatório final do projeto desenvolvido no laboratório CIM.
Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul.

Orientador: Isaac Newton Lima da Silva

Porto Alegre
Fevereiro 2008

Sumário

1.	Introdução	4
2.	Objetivos	5
3.	Tecnologia CNC (Controle Numérico Computadorizado)	6
3.1.	Histórico	6
3.2.	Exemplo de comandos numéricos	7
4.	Detalhamento Técnico do Sistema Elétrico	8
4.1.	Introdução	8
4.2.	Motores	9
4.2.1.	Motor de Passo	10
4.2.2.	Motores de passo unipolares	10
4.2.3.	Motores de passo bipolares	13
4.3.	Eletrônica	14
4.3.1.	Circuito Integrado L297	14
4.3.2.	Circuito Integrado L298	19
4.4.	Hardware elétrico desenvolvido	21
4.4.1.	Placa Mãe	21
4.4.2.	Placa Buffer	25
4.4.3.	Placa <i>Driver</i>	27
4.4.4.	Placa Relé	30
4.4.5.	Montagem e testes	31
5.	Controle	33
5.1.	Softwares de Controle CNC	33
5.1.1.	Software MACH3	33
5.1.2.	Software EMC2	37
6.	Detalhamento Técnico do Sistema Mecânico	42
6.1.	Características	42
6.2.	Detalhamento das principais peças utilizadas	44
6.2.1.	Mesa de Fixação	44
6.2.2.	Barras de aço para os guias lineares	45
6.2.3.	Mancais de Fixação	46
6.2.4.	Buchas de deslizamento	48
6.2.5.	Castanha e Fuso Trapezoidal	49
6.2.6.	Base de Sustentação do Suporte	50

6.2.7.	Suporte de Fixação	50
6.2.8.	Capa de Proteção	51
6.3.	Eixos Lineares de Movimentação	52
6.4.	Montagem da Máquina	55
6.4.1.	Alinhamento dos Mecanismos	61
6.5.	Retifica para a usinagem.....	62
7.	Restrições e Cuidados	64
8.	Usinagens Possíveis.....	65
9.	Conclusão	67
10.	Bibliografia	68
11.	Anexos.....	69
11.1.	Anexo 1: Esquema elétrico Placa Mãe:.....	69
11.2.	Anexo 2: Layers para a confecção da placa Mãe	70
11.3.	Anexo 3: Máscara da placa Mãe	71
11.4.	Anexo 4: Esquema elétrico placa Buffer	72
11.5.	Anexo 5: Layers para a confecção da placa Buffer	73
11.6.	Anexo 6: Máscara da placa Buffer	74
11.7.	Anexo 7: Esquema elétrico placa Driver	75
11.8.	Anexo 8: Layers para a confecção da placa Driver	76
11.9.	Anexo 9: Máscara da placa Driver	77
11.10.	Anexo 10: Esquema elétrico placa Relé	78
11.11.	Anexo 11: Layers para a confecção da placa Relé.....	79
11.12.	Anexo 12: Máscara da placa Relé.....	80
11.13.	Anexo13: Drawing da mesa de fixação	81
11.14.	Anexo 14: Drawing do mancal de fixação lado do motor	82
11.15.	Anexo 15: Drawing do mancal de fixação lado do rolamento	83
11.16.	Anexo 16: Drawing da bucha de deslizamento	84
11.17.	Anexo 17: Drawing da base de sustentação.....	85
11.18.	Anexo 18: Drawing do suporte de fixação	86
11.19.	Anexo 19: Drawing da capa de proteção	87
11.20.	Anexo 20: Imagem do sistema elétrico desenvolvido.....	88
11.21.	Anexo 21: Imagem do sistema elétrico desenvolvido.....	89
11.22.	Anexo 22: Imagem da máquina finalizada	90

1. Introdução

Hoje em dia as máquinas CNC são encontradas em quase todas as indústrias, desde pequenas oficinas de usinagem, às grandiosas companhias de manufatura. Na realidade quase não existem produtos fabris que não estejam de alguma forma relacionados à tecnologia destas máquinas ferramentas inovadoras.

Este projeto tem como objetivo a construção de uma máquina-ferramenta (fresadora) com Controle Numérico Computadorizado (CNC) de três eixos, de baixo custo e didática para utilização em universidades, escolas e demais interessados na tecnologia CNC. Pois, o valor de mercado de uma máquina industrial, dependendo de sua aplicação, pode variar de sessenta mil até alguns milhões de reais. O projeto em desenvolvimento visa um custo máximo de cinco mil reais, além de uma manutenção barata. Após os testes com a fresadora, o próximo passo será a implementação de um eixo adicional (quarto eixo angular) para a usinagem de formas mais complexas.

2. Objetivos

Além do baixo custo a máquina fresadora CNC tem como objetivo principal, promover a inclusão tecnológica, em especial a tecnologia CNC, em instituições de ensino e centros de treinamento nas áreas de processos e manufatura assistida. Por se tratar de um projeto versátil, a máquina poderá ser empregada em diversos trabalhos, podendo confeccionar placas de circuito impresso (PCI), usinagem e corte de materiais macios, como polímeros, para a fabricação de componentes e peças de montagem para pequenos robôs.

3. Tecnologia CNC (Controle Numérico Computadorizado)

3.1. Histórico

CNC são as iniciais de *Computer Numeric Control*, ou em português Controle Numérico Computadorizado. Essa tecnologia teve seu surgimento na experiência de uma pequena empresa fabricante hélices e rotores de helicópteros "*Parsons Corporation*", que em 1947 havia experimentado colocar uma forma rudimentar de controle por números em uma máquina de usinagem convencional, ligando esta máquina a um computador que era alimentado por informações via cartões perfurados. A Força Aérea Americana ao reconhecer um possível grande avanço na fabricação de aviões e material bélico contratou a *Parsons* e patrocinou estudos e desenvolvimento do controle numérico, e assim planejaram e executaram as adaptações de controle numérico para uma máquina ferramenta convencional da *Cincinnati* (fabricante na época de máquinas ferramenta convencionais e atualmente um dos maiores fabricantes de Máquinas CNC), e deste modo criaram o protótipo de uma máquina CN que foi demonstrado em 1953 no *Instituto de Tecnologia de Massachusetts ('MIT')*.

Década de 60, início da utilização de máquinas CNC, os programas eram passados à máquina através de cartões perfurados (sistemas de transmissões de dados deste tipo eram encontrados até a década de 80), após utilizou-se fitas magnéticas gravadas eletronicamente e hoje utiliza-se disquetes, cartões de memória flash, ou uma rede local. Cada dia percebemos mais possibilidades generalizadas de sistemas alimentados com informações CNC, embora grande parcela das máquinas CNC estejam nas máquinas ferramentas (ou de usinagem). Porém, existem outros diversos tipos de máquinas que utilizam a tecnologia CNC como forma de controle, são elas: prensas, máquinas de rebitagem, máquinas de corte a laser ou a maçarico, dobradeiras de tubos, máquinas de testes de circuitos, máquinas de inspeções, máquinas de montagens eletrônicas, máquinas de traçagens, sistemas industriais em fábricas de papel, tecidos, controles diversos em diversos tipos de indústrias químicas. Ou seja, um campo tão grande como a vastidão do uso do computador que a cada dia se descobre uma nova possibilidade de uso.

Graças à tecnologia CNC hoje é possível produzir produtos de extrema complexidade. Atualmente a ISO (*International Organization for Standardization*), entidade de padronização de maior aceitação mundial, regulariza o maior e mais aceito conjunto de normas para se usar na tecnologia CN (Código Numérico).

3.2. Exemplo de comandos numéricos

Dentre os diferentes padrões de código CN a máquina construída por esse projeto utiliza o padrão='standard'. No caso desse projeto, o padrão do código pode variar dependendo do software a ser utilizado. Abaixo segue um exemplo do Código G utilizado pelo CNC desenvolvido.

```
N1 G43 H05  
N2 M03  
X0 Y0 Z2  
N3 T1 M6  
N4 S2000 M3  
N5 G0 X125. Y33. 872  
N6 Z2.  
N7 Z-38.419  
N8 G1 Z-40.419 F1000.  
N9 X114.055  
N10 X113.897 Z-39.933  
N11 X113.315 Z-38.367  
N12 X112.666 Z-36.828  
N13 X112.43 Z-36.329  
N14 Z-24.545  
N15 X112.407 Z-24.264
```

Dependendo do programa utilizado para controlar a máquina cnc, esse padrão de código pode mudar, exigindo a necessidade de um pós-processador para formatar o código de acordo com a norma do programa.

4. Detalhamento Técnico do Sistema Elétrico

4.1. Introdução

Os movimentos da máquina CNC são controlados através de um software de computador. Este envia sinais ao sistema elétrico que após serem devidamente tratados, são amplificados e enviados aos motores, para o controle dos movimentos máquina. Estes softwares utilizam a porta paralela (RS - 274) para enviar os dados de controle para o circuito, dentre os sinais estão o controle de velocidade, direção, habilitação e o posicionamento de referência de cada eixo.

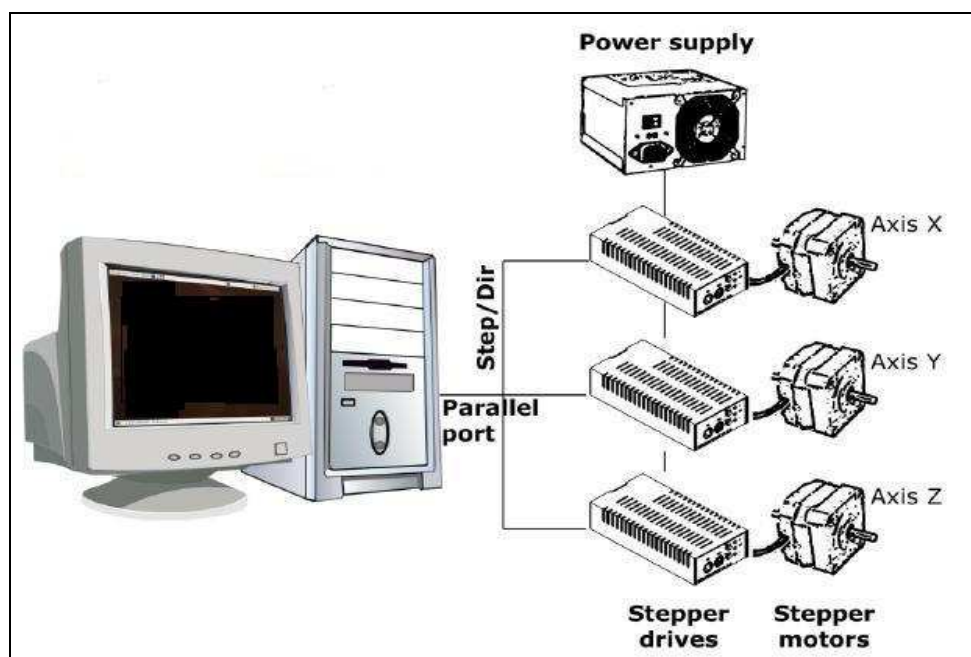


Figura 1 - Esquema básico de controle de uma máquina CNC

O sistema elétrico foi construído de forma modular, facilitando a manutenção e a implantação de possíveis novas tecnologias sem a necessidade de uma alteração completa no sistema, e sim apenas a substituição de alguma placa. Este é composto de

uma placa mãe que recebe a alimentação, chaves fim de curso, os sinais de controle, saídas à rele e outros. Esta placa tem cinco *slots*, onde neles são conectados, um *buffer* de proteção, três “*driver’s*” de acionamento e uma placa relé.

Os “*driver’s*” utilizam para o acionamento dos motores a técnica *chopper*, este tipo de acionamento possibilita o uso de qualquer tipo de motor de passo de quatro bobinas e possibilita o uso de uma voltagem de alimentação variando de 6 a 48 Volts, onde apenas é ajustado o controle de corrente consumida pelos motores. O sistema de proteção foi feito com 18 opto-acopladores, que podem ser substituídos um a um caso um deles queime.

4.2. Motores

O acionamento dos movimentos fica por conta de quatro motores de passo de 200 passos por revolução e 5kgf de torque. Dois motores foram acoplados a estrutura de movimento linear do eixo X, um no Y e um no Z. Os motores são acoplados em fusos de rosca trapezoidal para a transmissão do movimento angular para linear.



Figura 2 - Motor de Passo utilizado

4.2.1. Motor de Passo

O motor de passo consiste em um motor DC de magnetos permanentes ou de relutância variável que apresenta as seguintes características de desempenho: Rotação em ambas as direções, variações incrementais de precisão angular, repetição de movimentos bastante exatos, um torque de sustentação à velocidade zero e possibilidade de controle digital.

Um motor de passo pode mover-se em incrementos angulares bastante exatos, conhecidos como passos, em resposta a pulsos digitais aplicados a um “*driver*” a partir de um controlador digital, (circuito integrado L297). O número de pulsos e a cadência com que estes pulsos são aplicados controlam a posição e a velocidade do motor, respectivamente. Geralmente os motores de passo podem ser fabricados com 12, 24, 72, 144 e 200 passos por revolução, que resultam em incrementos de 30, 15, 5, 2.5, 2 e 1.8 graus respectivamente. Os motores de passo podem ser bipolares, requerem fontes de alimentação simétrica, ou unipolares, requerem apenas uma fonte de alimentação.

Em ambos os casos as fontes utilizadas são de tensão contínua e requerem um circuito digital que produza as seqüências para produzir a rotação do motor. No controle de um motor de passo nem sempre é necessária a implementação de uma estratégia de realimentação, mas a utilização de um encoder, ou de outro sensor de posição poderá assegurar uma melhor exatidão sempre que for essencial. A vantagem de operar sem realimentação é que deixa de ser necessário um sistema de controle em malha fechada.

4.2.2. Motores de passo unipolares

Os motores de passo unipolares são facilmente reconhecidos pela derivação ao centro em cada um dos enrolamentos. O número de fases é duas vezes o número de bobinas, uma vez que cada bobina se encontra dividida em duas. Na figura abaixo, temos a representação de um motor de passo unipolar de 4 fases. Normalmente, a derivação central dos enrolamentos está ligada ao terminal positivo da fonte de alimentação e os extremos de cada enrolamento são ligados alternadamente ao terra para assim inverter a direção do campo gerado por cada um dos enrolamentos.

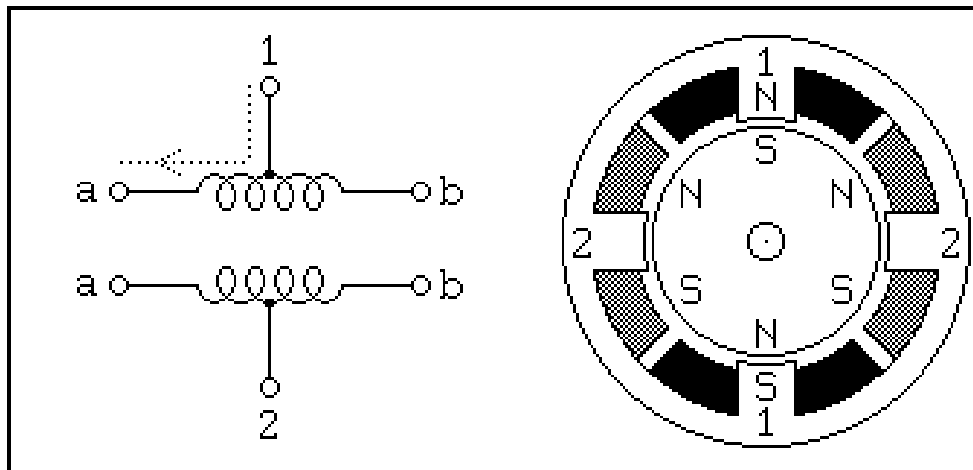


Figura 3 - Motor de Passo Unipolar

Ainda podemos ver o corte transversal de um motor com um passo de 30 graus. O enrolamento 1 encontra-se distribuído entre o pólo superior e pólo inferior do estator do motor, enquanto que o enrolamento 2 encontra-se distribuído entre o pólo esquerdo e o pólo direito do estator. O rotor é um magneto permanente com seis pólos (3 pólos sul e 3 pólos norte), dispostos ao longo da circunferência do rotor. Para uma resolução angular maior, o rotor deverá conter proporcionalmente mais pólos.

Tal como apresentado na figura acima, a corrente a fluir da derivação central do enrolamento 1 para o terminal 'a' faz com que o pólo superior do estator seja um pólo norte enquanto que o pólo inferior seja um pólo sul. Esta situação provoca uma deslocação do rotor para a posição indicada na figura acima. Se for removida a alimentação do enrolamento 1 e for alimentado o enrolamento 2, o rotor irá deslocar-se 30°, ou seja, um passo. Para obter uma rotação contínua do motor, deverão ser alimentados alternadamente os enrolamentos do motor. Assumindo uma lógica positiva, em que o valor lógico 1 significa fazer passar a corrente em um dos enrolamentos, a seguinte seqüência, apresentada na tabela abaixo, produzirá uma deslocação de quatro passos ($4 \times 30 = 120^\circ$).

	A	B	C	D
1	1	0	0	0
2	0	1	0	0
3	0	0	1	0
4	0	0	0	1

Tabela 1 - Atuação de um motor de passo unipolar (Acionamento normal)

Este tipo de acionamento é denominado padrão. Para além desta atuação dita padrão, é ainda possível utilizar outra estratégia de acionamento em que o torque produzido é 2 vezes maior. Neste tipo de acionamento são acionadas 2 bobinas em simultâneo para cada passo. O preço a pagar é um consumo duas vezes superior ao do acionamento anterior. Esta estratégia de comando encontra-se exemplificada na Tabela 2 onde, mais uma vez, o rotor é deslocado 120°. É importante notar que em ambas as seqüências, as duas metades dos enrolamentos não são alimentadas em simultâneo.

	A	B	C	D
1	1	1	0	0
2	0	1	1	0
3	0	0	1	1
4	1	0	0	1

Tabela 2 - Atuação de um motor de passo unipolar (full-step)

Outro tipo de acionamento possível consiste em alimentar, alternadamente, um e dois enrolamentos, permitindo deste modo avançar meio passo de cada vez. Este tipo de atuação é denominado de meio-passo, ou half-step. Neste tipo de atuação, como facilmente se pode verificar, é duplica o número de “passos” para completar uma revolução. Na realidade passamos a deslocar o rotor em apenas meios passos, ou seja, e seguindo ainda o caso exemplificado, o rotor desloca-se 15° por cada atuação.

Na tabela abaixo é apresentada uma atuação do tipo half-step para os mesmos 120° de deslocação do rotor.

	A	B	C	D
1	1	0	0	0
2	1	1	0	0
3	0	1	0	0
4	0	1	1	0
5	0	0	1	0
6	0	0	1	1
7	0	0	0	1
8	1	0	0	1

Tabela 3 - Atuação de um motor de passo unipolar (half-step)

4.2.3. Motores de passo bipolares

Ao contrário dos motores de passo unipolares, os motores bipolares requerem um circuito de atuação bem mais complexo. Os motores de passo bipolares são conhecidos pelo seu excelente tamanho/torque. Pois, proporcionam um maior torque comparativamente a um motor unipolar do mesmo tamanho.

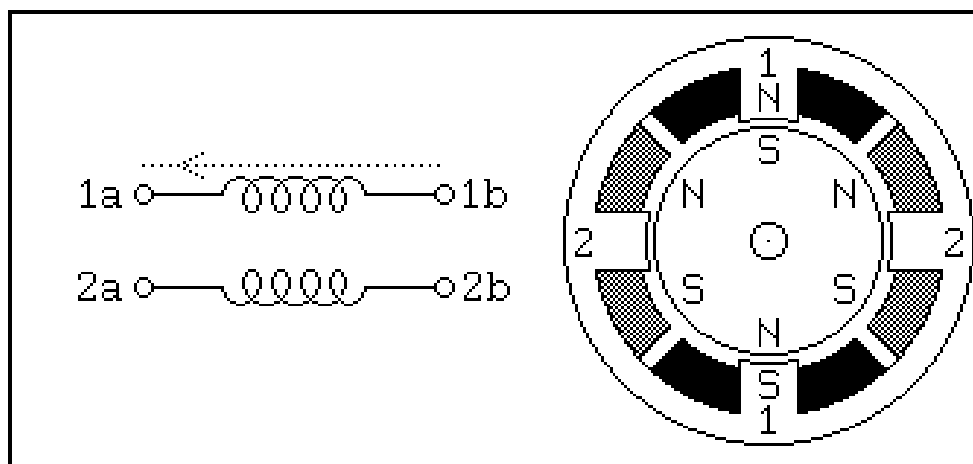


Figura 4 - Motor de passo Bipolar

Os motores bipolares são constituídos por enrolamentos separados que devem ser atuados em ambas as direções para permitir o avanço de um passo, ou seja, a polaridade deve ser invertida durante o funcionamento do motor. O padrão de atuação do “driver” é semelhante ao obtido para o motor de passo unipolar em acionamento padrão, mas em vez de 0’s e 1’s temos o sinal da polaridade aplicada às bobinas. Um exemplo de aplicação pode ser encontrado na tabela abaixo, onde é implementada a estratégia de atuação do “driver” referente ao motor apresentado na figura acima.

	A	B	C	D
1	+	-	-	-
2	-	+	-	-
3	-	-	+	-
4	-	-	-	+

Tabela 4 - Atuação de um motor de passo bipolar de 4 fases

4.3. Eletrônica

4.3.1. Circuito Integrado L297

O CI L297 é um controlador de motor de passo Bipolar e Unipolar, este gera quatro sinais de movimentação para ambos os tipos de motores. São necessários seis sinais para a operação do CI: *clock*, *direção*, *mode* (Meio passo ou passo duplo), habilitação, *reset* e *vref* (para o controle da corrente consumida pelos motores).

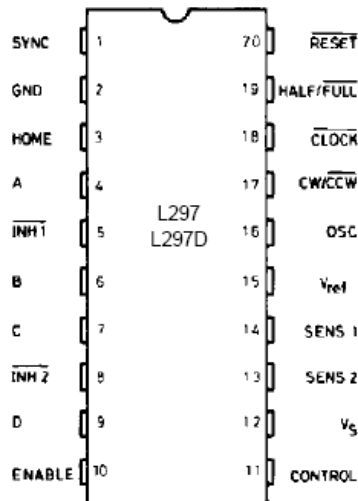


Figura 5 - CI L297

Este CI trabalha enviando a seqüência de pulsos para um circuito amplificador ou simplesmente transistores, mas o recomendado pelo fabricante é utilizá-lo junto com o CI L298, abaixo segue a figura 6 mostrando o esquema elétrico recomendado pelo *datasheet* do fabricante.

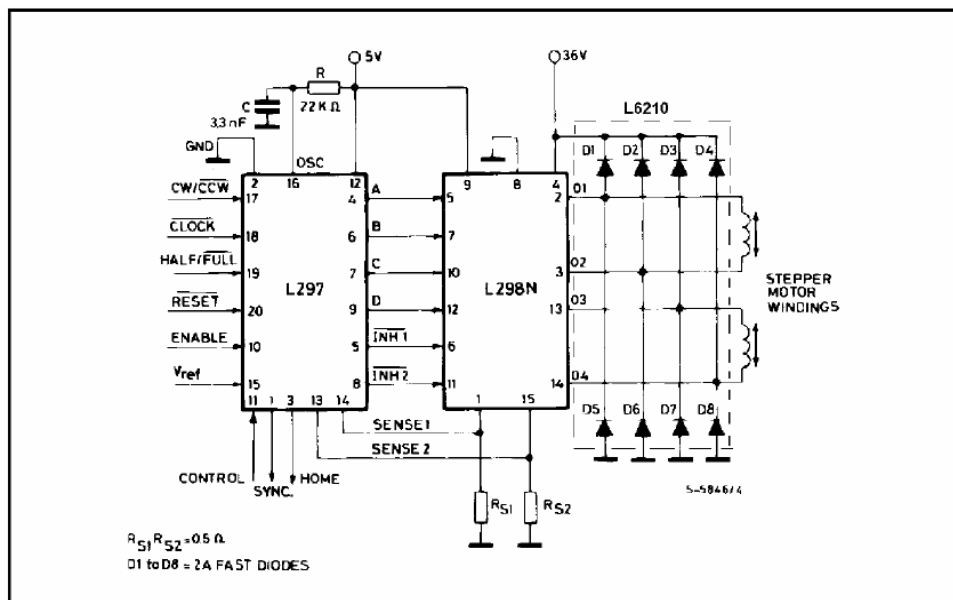


Figura 6 - Esquema elétrico recomendado pelo fabricante.

Associado a um CI L298, produz um ótimo rendimento tendo varias possibilidades de implementação do circuito. A junção dos dois ci's possibilita a utilização de uma ampla faixa de voltagem, desde alguns miliVolts até 45 Volts, que é o

maximo de voltagem de trabalho do L298. Com a associação destes dois ci's, não importando a voltagem nominal do motor de passo e sim a corrente que cada bobina do motor consome, esta regulagem pode ser feita através de um potenciômetro instalado entre o pino 15 e o GND, ou pode-se controlar e monitorar essa corrente através de um microcontrolador, assim possibilitando informar a corrente consumida em uma IHM. A corrente máxima de trabalho do L298 é de 2,5 Ampères.

O pino *ENABLE* (pino 10), avisa o circuito de potência (L298) de que o motor está sendo requisitado, podendo assim poupar o motor de ficar com suas bobinas energizadas sem necessidade, evitando assim aquecimento ou até a queima do motor.

No pino *CLOCK* (pino 18), recebe o trem de pulsos da porta paralela para a rotação do motor, variando frequência do trem de pulsos o motor varia sua velocidade.

O pino *CW \ CCW* (pino 17), muda a direção do sentido de rotação. Por exemplo, nível alto motor gira para a esquerda, nível baixo, motor gira para direita.

O diferencial desse circuito integrado é que ele possui um oscilador interno, terminal *OSC*, que atua diretamente sobre a alimentação do motor em associação com o terminal *MODE*. Se este terminal estiver em nível baixo, o corte atua nos terminais de saída *INHA* e *INHB*, como apresentado na figura 7. Se lhe for aplicado um nível lógico alto, então o corte atuará nas saídas *ABCD*. Nesse caso, obter-se-á um funcionamento representado pelo diagrama da figura 8. A diferença de funcionamento entre os dois modos é visível na última curva das figuras 7 e 8. A figura 8 mostra nitidamente que a corrente decresce mais lentamente na bobina do motor do que na curva da figura 7, na qual a corrente decresce tão rapidamente como sobe. O interessante dessa possibilidade de escolha entre os dois sistemas reside no fato de existirem diferença entre os motores. O modo 1(Jumper Mode na posição 1-2) deve ser escolhido quando o motor utilizado possuir uma bobina com uma fraca auto-indução. Nesse caso, se o modo 2 (Jumper Mode na posição 2-3)for utilizado, a corrente decresce rapidamente, pela média da corrente aplicada no motor não será suficiente e ele apresentará perda em seu torque. Se este último modo for utilizável com o motor ligado, obter-se-á uma velocidade e torque elevados.

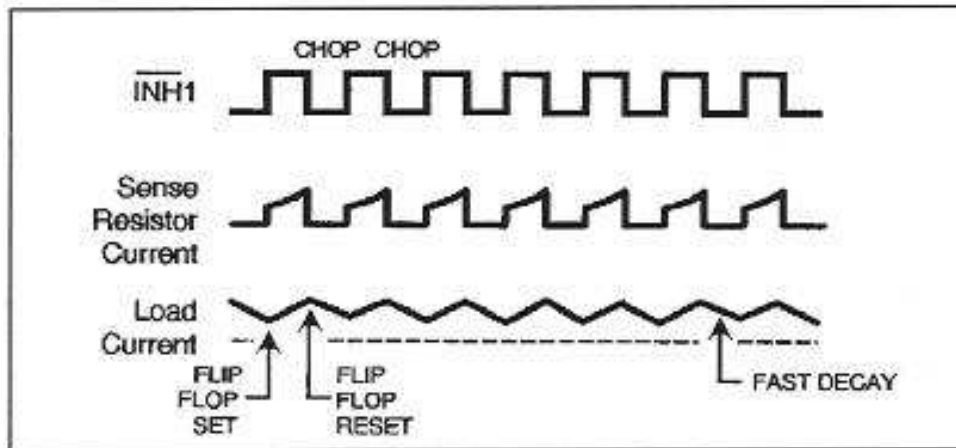


Figura 7 - Corte nos terminais de saída INHA e INHB

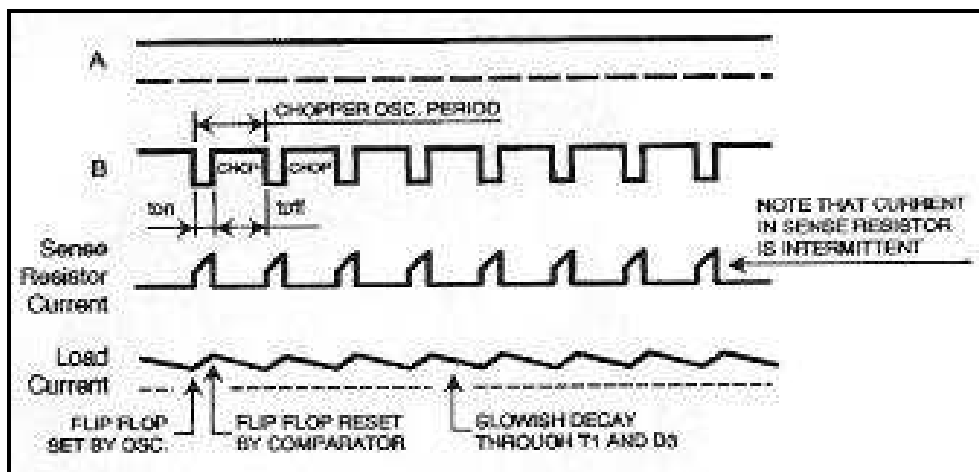


Figura 8 - Corte atuando nas saídas ABCD

Outra vantagem do L297, é que através no pino *HALF\FULL* (pino 19), o usuário pode alterar o tipo de acionamento do motor, tendo como opções maior torque ou maior precisão.

4.3.1.1. Sincronização com outros L297

O CI L297 disponibiliza a sincronização de seus *clock's* com outros CI's L297 que sejam usados no mesmo circuito. Tendo assim todos os *clock* de *Chopper* sincronizados a um só oscilador. A implementação no circuito é feita de forma simples como segue a figura 9.

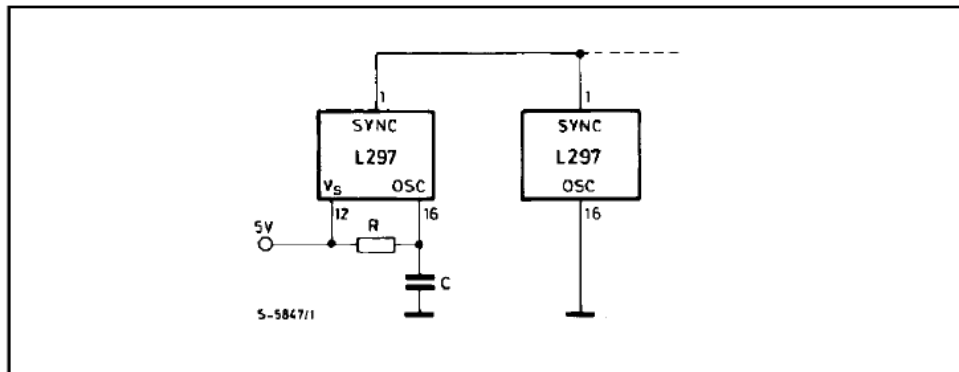


Figura 9 - Sincronização de um ou mais L297

4.3.1.2. Modos HALF STEP

Em modo *HALF STEP* (meio passo) o motor de passo passa a ter o dobro de precisão. Por exemplo, um motor que precisa receber 200 passos para completar uma volta, ele terá de dar 400 passos para completar a volta. Para este modo entrar em ação é preciso que o pino 19 (*HALF/FULL*) receba nível lógico alto. Abaixo segue a figura 10 que mostra os sinais gerados.

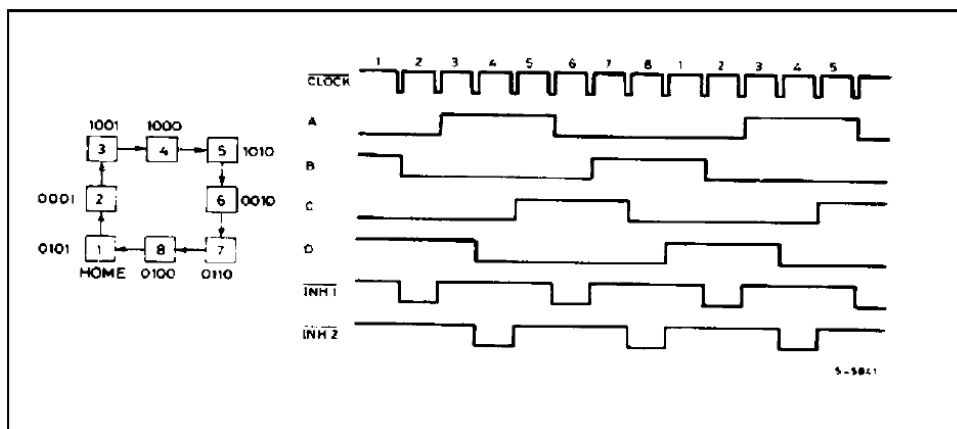


Figura 10 - Modo *HALF STEP*

4.3.1.3. Modo FULL STEP

Em modo *FULL STEP* o motor passa a atuar com o dobro de potencia, pois passa a estar com duas fases acionadas ao mesmo tempo, o que proporciona também um consumo dobrado. Para este modo entrar em ação é preciso que o pino 19 (*HALF/FULL*) receba nível lógico baixo. Neste modo os pinos *INHA1* e *INHA2* permanecem em nível lógico alto. Abaixo segue a figura 11 que mostra os sinais gerados.

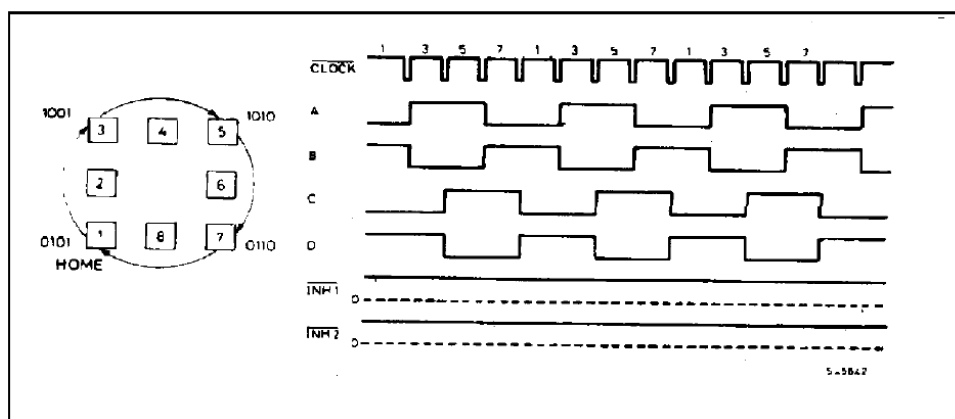


Figura 11 - Modo *FULL STEP*

4.3.2. Circuito Integrado L298

O circuito integrado L298 é composto de duas pontes “H” que podem acionar dois motores DC ou um motor de passo bipolar ou unipolar. Pode acionar motores que consomem 2.5 Ampères e pico de 4 Ampères, sua voltagem de acionamento do motor pode variar de alguns mili-Volts até 45 Volts.

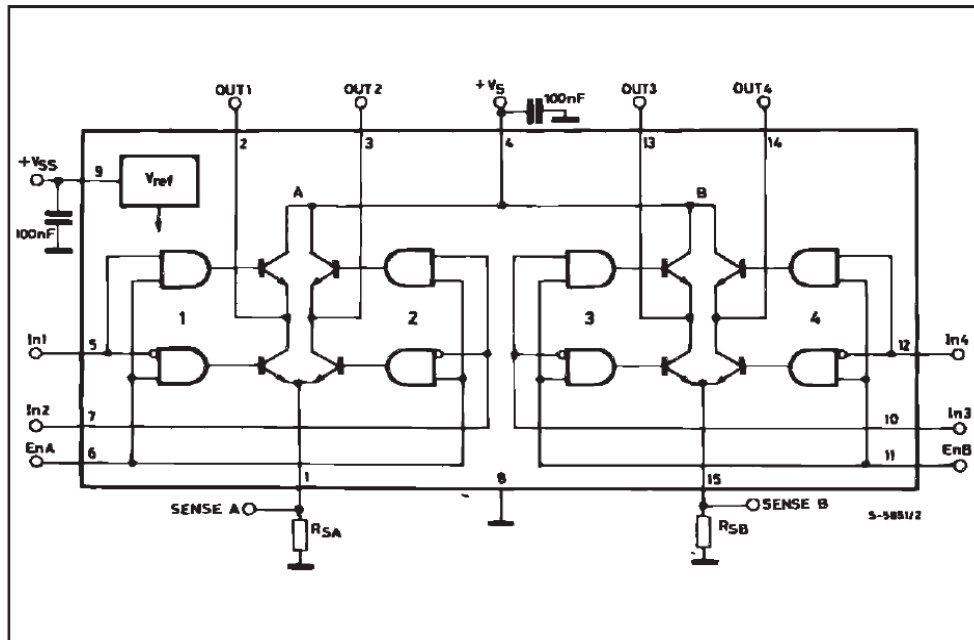


Figura 12 - Diagrama interno do L298

Uma vantagem deste circuito integrado é que ele possui dois pinos *SENSE-A* (pino 1) e *SENSE-B* (pino 15)) que possibilitam o monitoramento da corrente que o motor esta consumindo, recebendo o dado da corrente consumida, o circuito integrado L297 faz o controle da corrente, limitando-a através da regulação de um potenciômetro.

4.4. Hardware elétrico desenvolvido

A placa de controle do CNC de 3 eixos foi projetada com a versão demo software **“Eagle”** (*Easily Applicable Graphical Layout Editor*) desenvolvido pela CadSoft e disponível para download no site do fabricante <http://www.cadsoft.de>. O projeto tem como circuito base o informado pelo fabricante na folha de dados dos CI's L297 e L298. A partir das informações fornecidas pelos datasheet's dos circuitos integrados utilizados, foram implementadas várias funções em seu circuito elétrico.

O hardware eletrônico foi projetado de forma modular, pois facilita a manutenção e a integração de novas tecnologias sem a necessidade de alterações significativas. Todo o sistema é composto por seis placas de circuito impresso.

- Placa Mãe – Onde todas as outras são conectadas.
- Placa *Buffer* – Responsável pela proteção da porta paralela.
- Placa *Driver* – 3 placas idênticas, responsáveis pelo acionamento dos motores.
- Placa Relés – Para acionamentos de cargas via relé, controlados pelo software.

4.4.1. Placa Mãe

É a placa central de toda a eletrônica. Ela é composta por cinco *slots* conectores, um para a proteção da porta paralela, três para os *“driver's”* de acionamento dos motores e um para uma placa de potência para acionamento de periféricos.

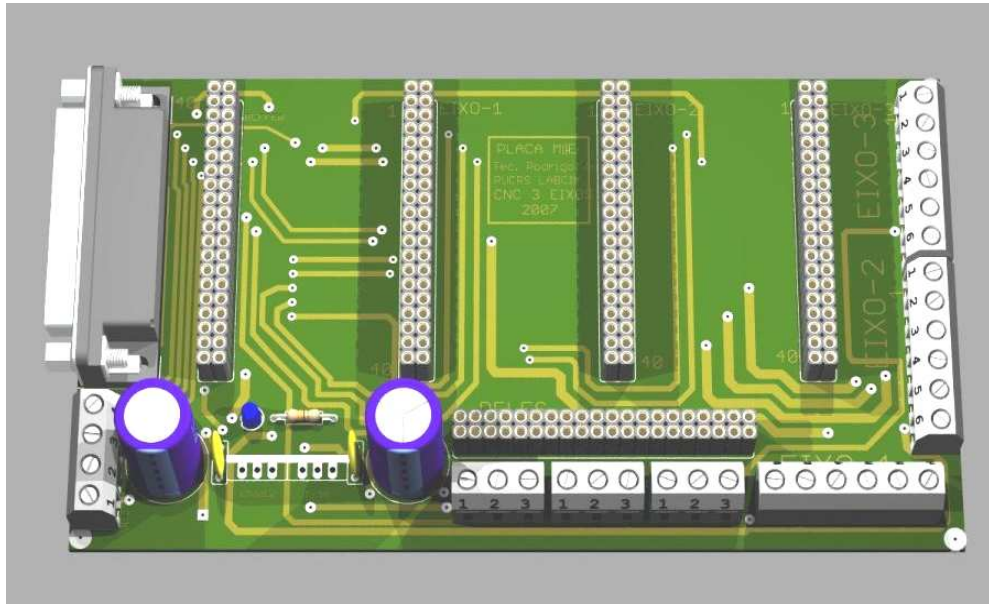


Figura 13 - Placa Mãe

A placa possui oito conectores com o meio externo, abaixo segue a tabela com a lista de componentes utilizados e após a imagem da máscara da placa mãe. Logo após as tabelas 6, 7, 8, 9 e 10 discriminam os sinais de cada pino da placa.

Componentes da Placa Driver			
Quantidade	Valor	Tipo	Componentes
1	7805	78XXS	LM7805
1	7812	78XXS	LM7812
3	AK500/3	CONECTOR KRE	RELE-1, RELE-2, RELE-3
3	AK500/6	CONECTOR KRE	EIXO_1, EIXO_2, EIXO_3
1	F25HS	CONECTOR DB25 FEMEA	PC
5	FE20-2	CONECTOR EM LINHA F	BUFFER, EIXO-1, EIXO-2, EIXO-3, RELES
1	LED3MM	LED	ON
1	MA03-1	BARRA DE PINOS M	EMERGENCIA
2	10nF	C-EU050-025X075	C4, C5
2	100uF	CPOL-USE5-13	C1, C3
1	330R	R-US_0207/10	R48
1	AK500/4	CONECTOR KRE	ALIMENTAÇÃO

Tabela 5 - Lista de componentes da placa mãe

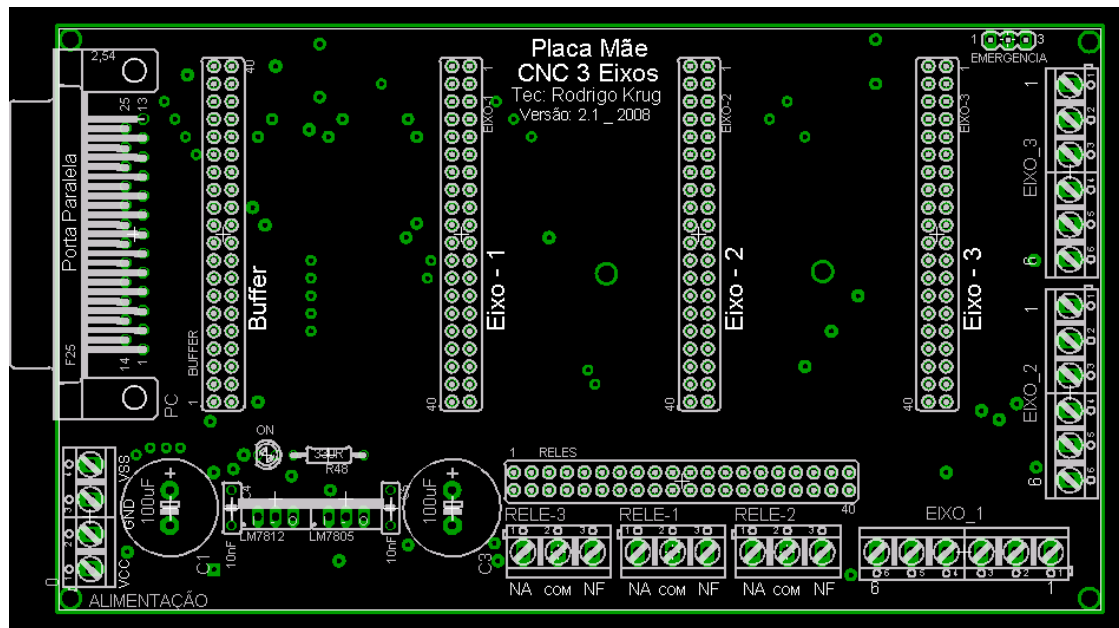


Figura 14 - Máscara da placa mãe

Nome: ALIMENTAÇÃO	
Conector: KRE4	
Pino	Sinal
1	VCC +12 Volts
2	GND
3	GND
4	VSS +48 Volts

Tabela 6 - Conector ALIMENTAÇÃO

Nome: Porta Paralela			
Conector: DB25m			
Pino	Tipo	Sinal	
1	out	S1 (RELE_1)	
2	out	Clock- X	
3	out	Direção - X	
4	out	Enable - X	
5	out	Clock- Y	
6	out	Direção - Y	
7	out	Enable - Y	
8	out	Clock- Z	

9	out	Direção - Z
10	in	Limites - X
11	in	Limites - Y
12	in	Limites - Z
13	in	EMEGRENCIA
14	out	Enable - Z
15	in	E1
16	out	S2 (RELE_2)
17	out	S3 (RELE_3)
18 ao 25	GND	GND

Tabela 7 - Conector PC

Nome: EIXO_1,_2,_3		
Conector: KRE6		
Pino	Tipo	Sinal
1	out	A (Fase-1)
2	out	B (Fase-2)
3	out	C (Fase-3)
4	out	D (Fase-4)
5	out	VCC +5Volts
6	in	Limite Eixo (0)

Tabela 8 - Conectores dos EIXOS

Nome: RELE_1,_2,_3	
Conector: KRE3	
Pino	Sinal
1	NA
2	COMUM
3	NF

Tabela 9 - Conectores dos RELES

Nome: EMERGENCIA	
Conector: PINHEAD 3	
Pino	Sinal
1	GND
2	SINAL
3	VCC

Tabela 10 - CONECTOR EMERGENCIA

Os anexos 1, 2 e 3 mostram o esquema elétrico, os dois *layers* e a máscara da placa.

4.4.2. Placa Buffer

A placa buffer é a responsável pelo isolamento da porta paralela do computador, para com o resto do hardware elétrico da máquina. O circuito elétrico da placa é composto por CI's 4N35, que são opto-acopladores.

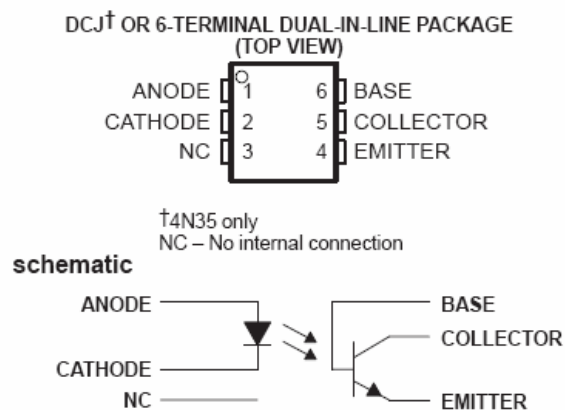


Figura 15 - Opto-acoplador 4N35

Cada pino da porta paralela passa por um opto-acoplador, ao total são 17 opto-acopladores. Poderia ser utilizado no lugar do CI 4N35 o CI TIL111, o qual possui as mesmas características. Abaixo segue a tabela, com a lista de componentes utilizados.

Componentes da Placa Buffer			
Quantidade	Valor	Tipo	Componentes
1	MA20-2W	CONECTOR EM LINHA M	BUFFER
17	4N35	4N35	CLK-1, CLK-2, CLK-3, DIR-1, DIR-2, DIR-3, E-1, EMERGENCY, ENB-1, ENB-2, ENB-3, END-1, END-2, END-3, S-1, S-2, S-3
17	10K	R-US_0207/7	R18, R19, R20, R21, R22, R23, R24, R25, R26, R27, R28, R29, R30, R31, R32, R33, R34
17	330R	R-US_0207/7	R1, R2, R3, R4, R5, R6, R7, R8, R9, R10, R11, R12, R13, R14, R15, R16, R17

Tabela 11 - Lista de componentes da Placa Buffer

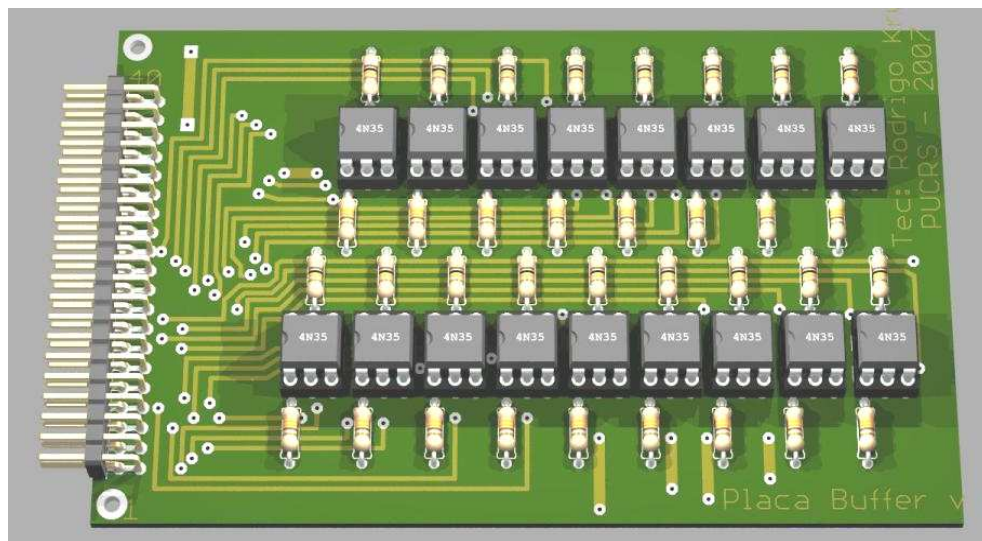


Figura 16 - Placa Buffer

Os anexos 4, 5 e 6, mostram o esquema elétrico, os dois *layers*, e a máscara da placa.

4.4.3. Placa *Driver*

A placa “*driver*” é a responsável pela recepção dos sinais enviados pela porta paralela e tratar e amplificar esses sinais de maneira que faça o motor girar.

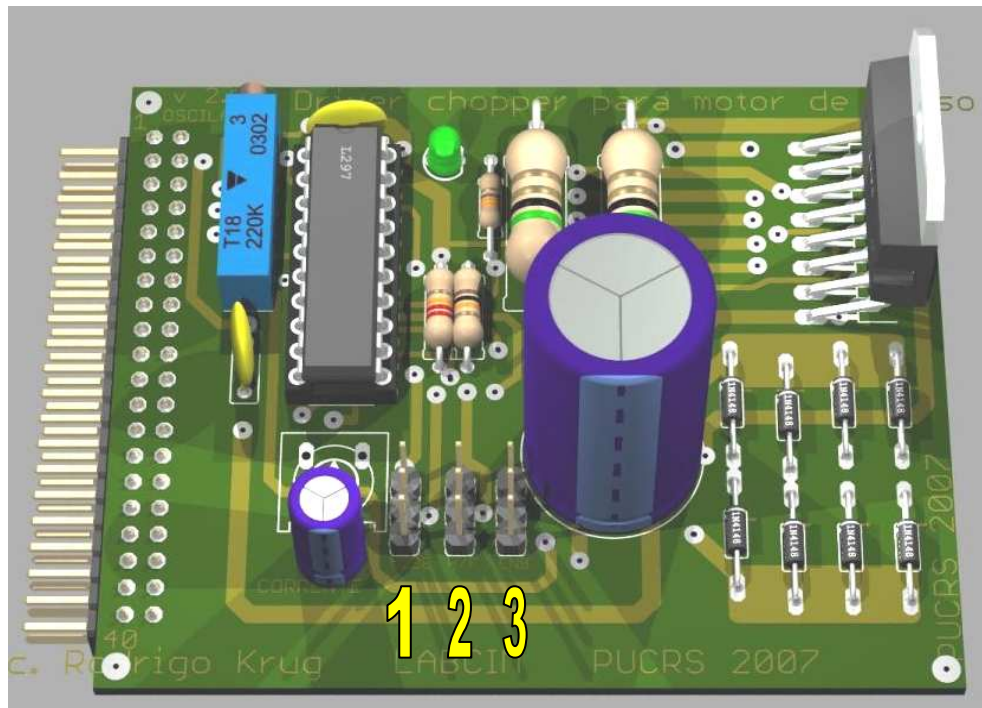


Figura 17 - Placa *Driver*

Configuração dos *Jumper's* da placa:

1 - Jumper ENABLE	
Pino	Sinal
1	VCC
2	ENB (pino 10 do L297)
3	ENB (porta paralela)

Tabela 12 - Jumper ENABLE

2 - Jumper HALF/FULL	
Pino	Sinal
1	VCC
2	H/F (pino 19 do L297)
3	GND

Tabela 13 - Jumper HALF/FULL

3 - Jumper MODE	
Pino	Sinal
1	VCC
2	CNTL (pino 11 do L297)
3	GND

Tabela 14 - Jumper MODE

O seu circuito elétrico foi desenvolvido utilizando CI's próprios para o acionamento de motor de passo, L297 e L298, tendo em vista o método de acionamento *chopper*, que produz um ótimo rendimento de torque e velocidade dos motores.

Na maquina desenvolvida, a voltagem nominal dos motores utilizados é de 3 Volts e corrente nominal de 1,2 Ampères. Esta sendo aplicado 32 Volts e a corrente foi regulada 70% abaixo da nominal para não forçar o motor. O potenciômetro configurado para regular a corrente, permite fixar a corrente média que atravessa as bobinas do motor. Quando a tensão presente nos resistores de potencia for igual a tensão de referência, a corrente do motor é anulada.

O LED HOME, ligado no pino 3 do L297 mostra a passagem pela posição inicial de partida (ABCD = 0101). As saídas 4 e 6 (A e B) e 7 e 9 (C e D), assim como os pinos INHA e INHB, são ligadas às entradas do circuito de potência ao qual é ligado o motor.

O circuito de potência da placa é constituído por um L298, que permite drenar uma corrente máxima de 2.5 Ampères sob uma tensão máxima de 45 Volts. O L298 poderia ser substituído por transistores, mas foi escolhido devido a facilidade em sua operação e montagem no circuito.

Os diodos dispostos na saída do circuito de potência dos motores tem a função de proteger o circuito de potência, de possíveis retornos de corrente das bobinas dos motores.

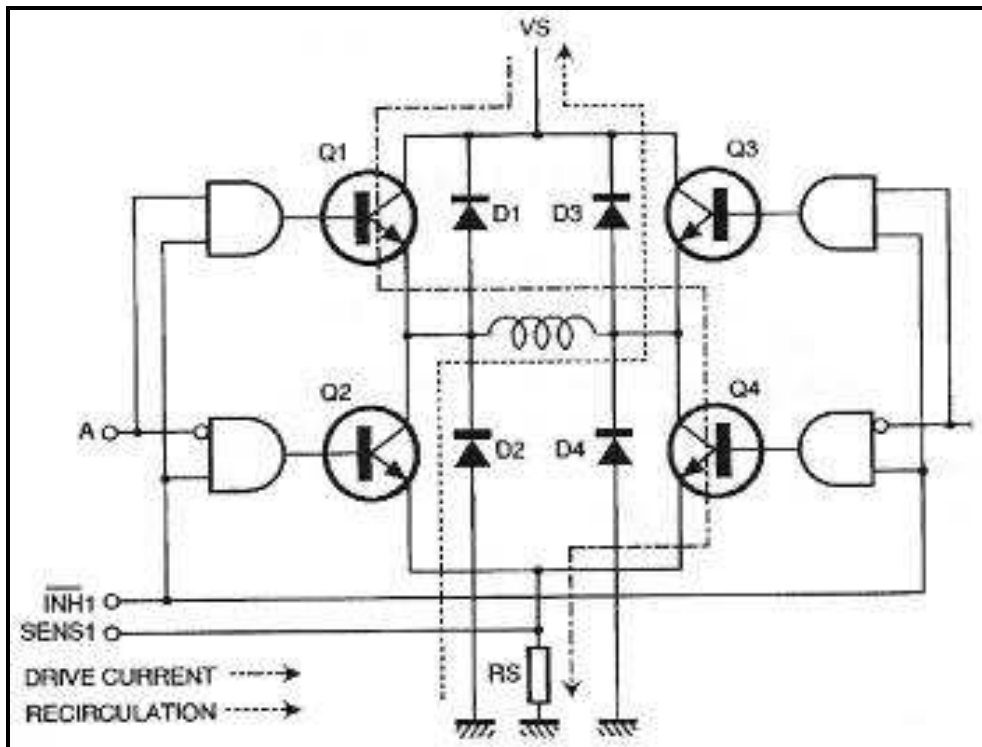


Figura 18 - Função dos diodos

Abaixo segue a tabela com a lista de componentes utilizados.

Componentes da Placa Driver			
Quantidade	Valor	Tipo	Componentes
3	JP2E	JUMPER	ENABLE, H/F, MODE
1	MA20-2W	CONECTOR EM LINHA M	SV1
1	TRIM_EU-RS3	TRIMPOT	20K
8	1N4148	DIODO	D17, D18, D19, D20, D21, D22, D23, D24
1	1uF	CPOL-EUE2.5-6	C10
2	05R	R-US_0617/22	R27, R28
1	10K	R-US_0309/10	R45
2	10nF	C-EU050-025X075	C1, C11
1	22K	R-US_0309/10	R44
1	LED3MM	LED	HOME
1	220K	R-TRIMMT18	R9

1	330R	R-US_0207/10	R30
1	470uF	CPOL-EUE7.5-16	C2
1	L297	L297	IC6
1	L298	L298	IC3

Tabela 15 - Lista de componentes da Placa Driver

Os anexos 7, 8 e 9 mostram o esquema elétrico, os dois *layers*, e a máscara da placa.

4.4.4. Placa Relé

A placa relé é composta de três relés os quais são comandados pelo software de controle, assim podendo ter o acionamento independente da “*spindle*”, aspiração e fixação da peça, ou qualquer outro acionamento.

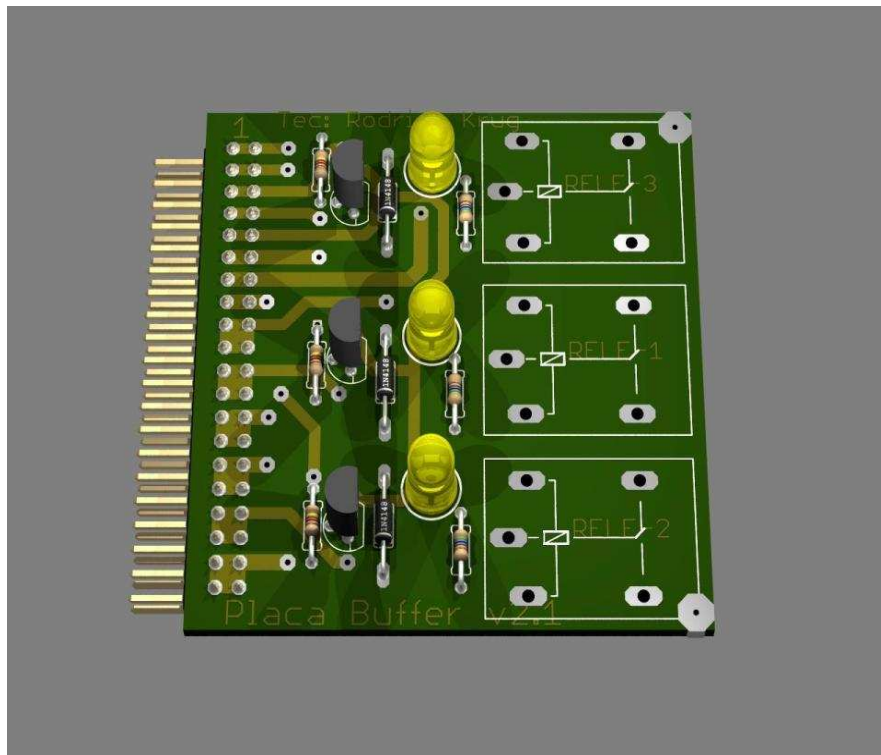


Figura 19 - Placa relé

Cada relé suporta 10 Ampères em 110 Volts ou 5 Ampères em 220 Volts. A voltagem de acionamento é 12 Volts. Abaixo segue a tabela com a lista de componentes utilizados.

Componentes da Placa Rele			
Quantidade	Valor	Tipo	Componentes
3	LED5MM	LED	LED1, LED2, LED3
1	MA20-2W	CONECTOR EM LINHA	RELES
3	1N4148	DIODO	D1, D2, D3
3	4k7	R-US_0204/7	R1, R3, R5
3	560R	R-US_0204/7	R2, R4, R6
3	BC547	BC547	Q1, Q2, Q3
3	G5L	RELE 12 VOLTS	RELE-1, RELE-2, RELE-3

Tabela 16 - Lista de componentes da Placa Rele

Os anexos 10,11 e 12 mostram o esquema elétrico, os dois *layers* e a máscara da placa.

4.4.5. Montagem e testes

Após a confecção e montagem de todas as placas necessárias, deve-se montá-las na placa mãe, respeitando o lado de ligação da placa, caso ocorra uma troca de lados, poderá ocorrer falhas e problemas que poderão queimar algum componente da placa.

Após a montagem ligue a alimentação da placa, respeitando seus limites de 5 Vdc(alimentação dos integrados) e 45 Vdc(alimentação dos motores), conecte os motores na placa, conecte o cabo DB 25 da porta paralela do computador. Configure o software de controle de acordo com a ordem dos pinos da placa mãe.

Quando a alimentação for ligada, os motores devem começar a produzir um ruído, este ruído vem da frequência do *chopper* aplicado nas bobinas dos motores. Este ruído deve ser bem agudo e sem chiados, para fazer a regulação desta frequência, basta regular o potenciômetro linear R45, o recomendado é regular ele ao máximo, quanto mais alta a frequência melhor será o rendimento do motor.

Para regular a corrente de consumo de cada bobina, deve-se olhar a folha de dados do motor e ver a corrente nominal do mesmo, tendo a informação basta acoplar

um amperímetro em série na alimentação do motor e regular o potenciômetro de 20K ohms, ao mesmo tempo em que regule no potenciômetro verifique a indicação de corrente consumida pelo motor no amperímetro, assim que atingir o valor desejado não gire mais este potenciômetro.

Caso o motor não gire ou produza um ruído estranho, a seqüência dos fios do motor deve estar errada.

Ao ligar a placa a energia, poderá ocorrer um travamento de todos os motores e o sistema não funcionar, isso se deve ao fato de que quando o circuito integrado L297 e L298 são alimentados eles travam em nível alto todas as bobinas do motor, assim fazendo que o sistema consuma uma carga maior do que a fornecida, para resolver basta desconectar 2 dos 3 motores e conectá-los em seguida. Isso irá estabilizar o sistema, este problema pode ser simplesmente resolvido implementado uma chave switch em cada eixo, assim ao ligar a máquina, cada eixo pode ser ligado separadamente.

5. Controle

5.1. Softwares de Controle CNC

Existem diversos softwares de controle CNC, eles variam seu controle de dois até nove, e acionamentos diversos de retificas, morças, sucção de cavacos, controle de RPM de “*spindle*”, entre outros. Os softwares de controle mais comuns na plataforma Windows são: MACH2, MACH3, KCAM, todos estes softwares são pagos, e o TURBOCNC que está disponível para download grátis no site <http://www.dakeng.com>. Em plataforma LINUX existe o software EMC2, grátis, disponível para download grátis junto com o sistema operacional LINUX UBUNTU, no site <http://www.linuxcnc.org>. A maioria dos softwares citados tem a comunicação com a máquina CNC através da porta paralela, alguns deles como o KCAM disponibilizam a comunicação via SERIAL e os softwares MACH2 e MACH3 disponibiliza a comunicação com a máquina via USB, mas o mais utilizado é a porta paralela, devido a sua facilidade de operação.

Neste projeto foram escolhidos dois softwares para controle, MACH3 e EMC2.

Na fase inicial foi escolhido a versão demo do software MACH3, pois sua interface é muito mais amigável e sua configuração mais simples. Na medida em que a construção máquina foi sendo concluída foi implementado o sistema operacional LINUX junto com o software EMC2 operando em “REAL TIME”.

5.1.1. Software MACH3

Inicialmente no desenvolvimento e testes do protótipo foi utilizada a versão demo do software MACH2 (Plataforma Windows) que é de domínio privado, desenvolvido pela *ArtSoft CNC Software Company* <http://www.artsoftcontrols.com/>. Exige um computador com as seguintes configurações: Pentium 3 ou superior, 256 MB de memória RAM, resolução de vídeo 1024x768, sistema operacional Windows XP ou 2000. Este software possui uma interface muito amigável e sua configuração é muito simples, bastando apenas alguns dados da máquina desenvolvida.

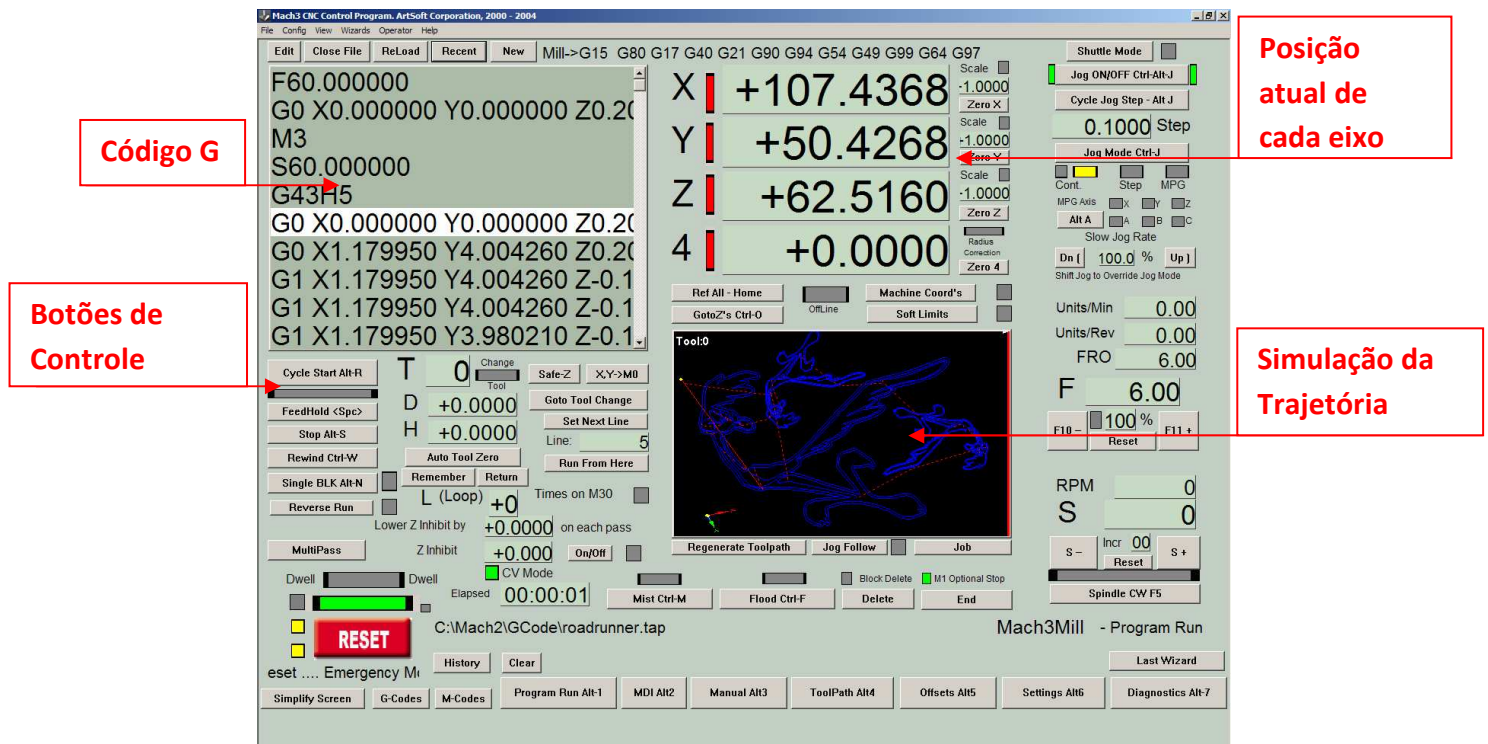


Figura 20 - Tela inicial do software MACH 3

Na sua tela inicial todas as informações necessárias para o funcionamento e operação da máquina estão dispostas de forma muito amigável, bem no canto esquerdo superior existe uma caixa de texto com as linhas do código que está sendo executado, ao seu lado direito, quatro indicadores da posição atual de cada eixo, no centro da tela aparece uma simulação da trajetória da ferramenta na cor azul. No canto inferior, vários botões possibilitam a utilização de outras telas do mesmo software contendo diferentes informações. A mais importante delas, “*Diagnostics Alt+7*” apresenta informações mais detalhadas sobre, estado lógico das saídas de controle e muitas outras, as quais durante a execução de uma peça se tornam bastante úteis.

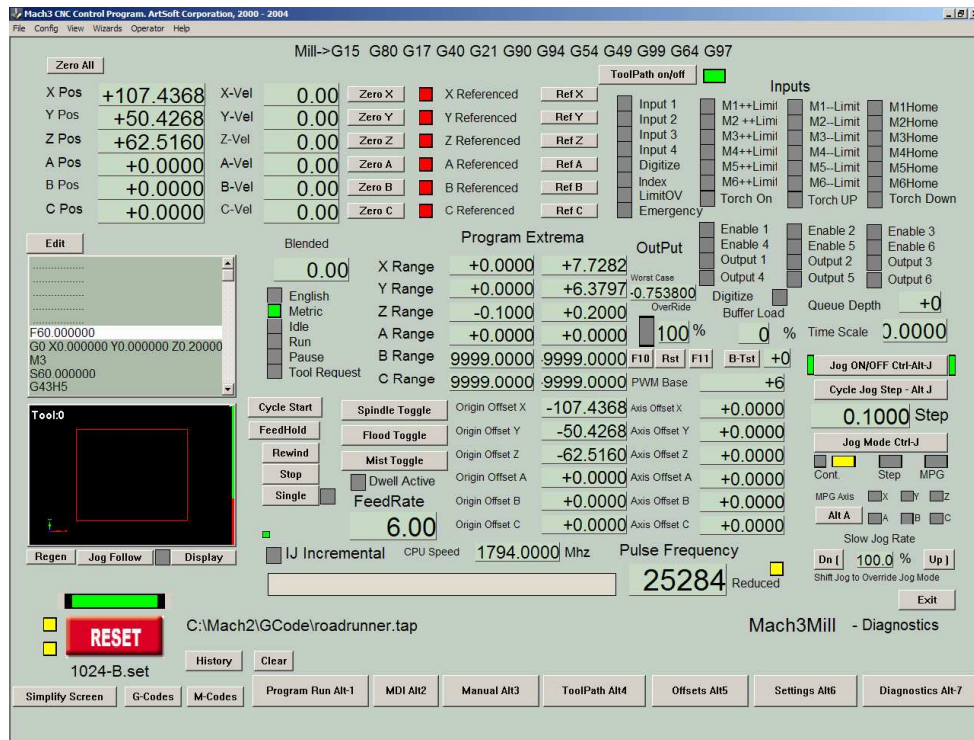


Figura 21 - Tela de Diagnostico do Software MACH3

5.1.1.1. Configurações

Sua configuração é feita através do menu “Config”, onde antes de acionar a máquina, devem-se observar atentamente todas as configurações, principalmente as configurações de passos por unidade, que corresponde a escala dos movimentos mecânicos da máquina, caso o valor esteja errado as dimensões da peça usinada não corresponderão com as do projeto. Os pinos de controle da porta paralela a serem configurados no software estão descritos no “Capítulo 2 – Hardware Elétrico Desenvolvido”.

No menu *Config -> Motor Tuning*, configure os eixos X,Y e Z com os mesmo valores abaixo.

- Eixos Lineares X, Y e Z:
 - Passos por Unidade (Steps p/ Unit): 156.6 steps/mm
 - Velocidade Máxima (Milímetros p/ Minuto): 300 mm/min
 - Aceleração (Milímetros p/ Segundo): 2000 mm/sec

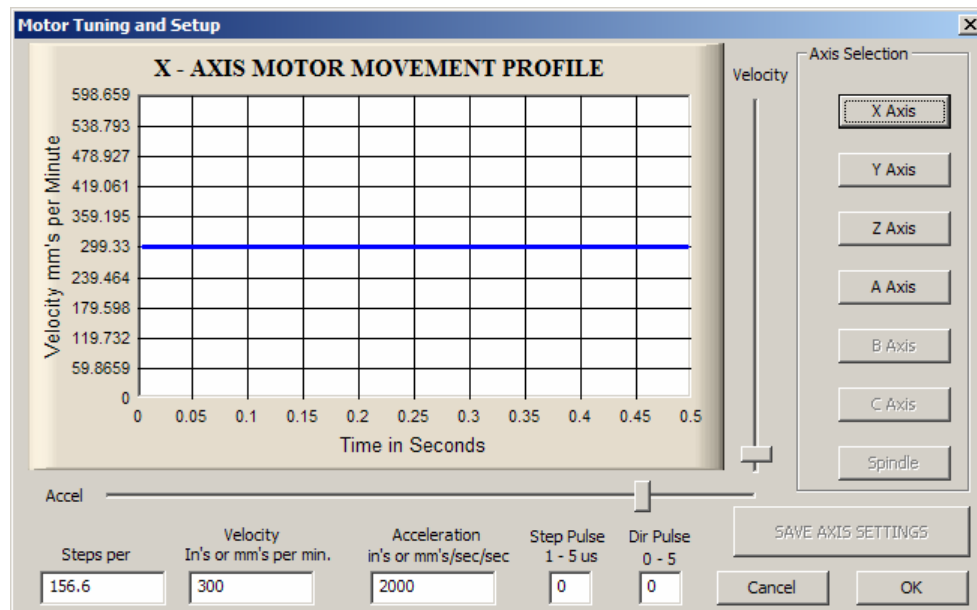


Figura 22 - Tela de configuração dos Motores

No menu *Config -> Port and Pins* deve se configurar qual a porta que irá ser utilizada e os pinos de controle dos eixos, junto com a necessidade de inversão ou não de cada eixo. Abaixo segue as configurações corretas para a máquina construída.

Engine Configuration... Ports & Pins							
Port Setup and Axis Selection							
Signal	Enabled	Step Pin#	Dir Pin#	Dir LowActive	Step Low Ac...	Step Port	Dir Port
X Axis		2	3			1	1
Y Axis		5	6			1	1
Z Axis		8	9			1	1
A Axis		8	9			1	1
B Axis		0	0			0	0
C Axis		0	0			0	0
Spindle		0	0			0	0

Figura 23 - Configuração dos pinos de controle

Deve-se tomar o cuidado de configurar a porta paralela certa na "BIOS" de seu computador, caso a configuração esteja errada, a máquina não receberá os sinais de controle. Para alguma outra configuração, o manual completo deste software está disponibilizado no site do projeto: [HTTP://www.em.pucrs.br/cnc](http://www.em.pucrs.br/cnc)

5.1.2. Software EMC2

Após o desenvolvimento e testes da estrutura mecânica e elétrica da máquina utilizando o software anteriormente citado, foi implementado o software **EMC2** (Plataforma LINUX). Este foi inicialmente desenvolvido pela NIST (*National Institute of Standards and Technology*) nos Estados Unidos, e atualmente disponibilizado como software livre sob a licença GPL, sendo mantido por uma comunidade internacional de usuários. Este software possui um grande diferencial, por se tratar de um software de código aberto. O **EMC2** permite modificações e adaptações de acordo com as características da máquina, possibilitando implementação de novas estratégias de controle. A figura 24 mostra a tela inicial do sistema. O download da versão mais recente deste software pode ser feito no site [HTTP://www.linuxcnc.org](http://www.linuxcnc.org) onde lá esta disposta também toda a documentação à respeito. Uma outra opção também disposta no site para download é baixar a versão o sistema operacional LINUX UBUNTU, que já vem com o software EMC2 instalado e configurado para operar em modo “REALTIME”. O software exige que o computador tenha as seguintes configurações: Pentium 2, 3 ou superior, 256MB de memória RAM e um sistema operacional LINUX, preferencialmente o “LIVE CD”, disponível para download no site do fabricante, já com o EMC2 instalado e configurado para operar em “REALTIME”.



Figura 24 - Software EMC2

5.1.2.1. Configurações

A nova versão do software EMC2 release 2.2.2, conta com diversos recursos que facilitam muito a configuração e operação. Uma das inovações é o programa *EMC2 “Stepper Mill Configuration”*, onde é possível alterar todas as configurações necessárias para o funcionamento da máquina sem precisar alterar direto nos arquivos de texto.

The screenshot shows the 'EMC2 Stepper Mill Configuration' window. The title bar reads 'EMC2 Stepper Mill Configuration'. The main content area is titled 'Basic machine information'. It contains several input fields and dropdown menus:

- Machine Name:** my-mill
- Configuration directory:** ~/emc2/configs/my-mill
- Axis configuration:** XYZ
- Machine units:** Inch

Below these fields, there is a section for 'Driver characteristics: (Multiply by 1000 for times specified in μ s or microseconds)'. It includes a note: 'Additional signal conditioning or isolation such as optocouplers and RC filters can impose timing constraints of their own, in addition to those of the driver.' The 'Driver type' is set to 'Other'. The following fields are for timing parameters, all with 'ns' units:

- Step Time:** 5000 ns
- Step Space:** 5000 ns
- Direction Hold:** 20000 ns
- Direction Setup:** 20000 ns

At the bottom, there are two rows of fields:

- Parport Base Address:** 0x378
- Min Base Period:** 30000 ns
- Latency test result:** 15000 ns
- Max step rate:** 33333 Hz

A checkbox labeled 'Onscreen prompt for tool change' is checked. At the bottom right, there are three buttons: 'Cancelar' (Cancel), 'Voltar' (Back), and 'Avançar' (Next).

Figura 25 - EMC2 Stepper Mill Configuration

O primeiro passo é configurar as características do “driver” de controle, o sistema métrico e a porta a ser utilizada. Na tela seguinte serão configurados os pinos de controle do “driver”, a informação à respeito dos pinos que o “driver” desenvolvido utiliza esta disposto no “Capítulo 4 – Hardware Elétrico Desenvolvido”.

EMC2 Stepper Mill Configuration

Parallel Port Setup

Outputs (PC to Mill):		Invert	Inputs (Mill to PC):		Invert
Pin 1:	Unused	<input type="checkbox"/>	Pin 10:	Unused	<input type="checkbox"/>
Pin 2:	X Step	<input type="checkbox"/>	Pin 11:	Unused	<input type="checkbox"/>
Pin 3:	X Direction	<input type="checkbox"/>	Pin 12:	Unused	<input type="checkbox"/>
Pin 4:	Unused	<input type="checkbox"/>	Pin 13:	Unused	<input type="checkbox"/>
Pin 5:	Y Step	<input type="checkbox"/>	Pin 15:	Unused	<input type="checkbox"/>
Pin 6:	Y Direction	<input type="checkbox"/>			
Pin 7:	Unused	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> Include custom PyVCP Panel <input checked="" type="checkbox"/> Include custom HAL configuration		
Pin 8:	Z Step	<input type="checkbox"/>	Output pinout presets:		
Pin 9:	Unused	<input type="checkbox"/>	<input type="button" value="Sherline Outputs"/> <input type="button" value="Xylotex Outputs"/>		
Pin 14:	Unused	<input type="checkbox"/>			
Pin 16:	Unused	<input type="checkbox"/>			
Pin 17:	Unused	<input type="checkbox"/>			

Figura 26 - Parallel Port Setup

Logo nas três telas seguintes serão configurados os eixos lineares de movimentação X, Y e Z, e os cursos máximos de movimento de cada eixo.

The screenshot shows the 'EMC2 Stepper Mill Configuration' window with the 'X Axis Configuration' tab selected. The window contains various input fields for configuring the X-axis stepper motor and its movement parameters. At the bottom, there are three buttons: 'Cancelar' (Cancel), 'Voltar' (Back), and 'Avançar' (Next).

Parameter	Value	Unit
Motor steps per revolution:	200	
Driver Microstepping	2	
Pulley ratio (Motor:Leadscrew):	1 : 1	
Leadscrew Pitch:	20	mm / rev
Maximum Velocity:	1	mm / s
Maximum Acceleration:	30	mm / s ²
Home location:	0	
Table travel:	0 to 8	
Home Switch location:	0	
Home Search velocity:	0.05	
Home Latch direction:	Same	
Time to accelerate to max speed:	0.0333s	
Distance to accelerate to max speed:	0.0167mm	
Pulse rate at max speed:	20.0Hz	
Axis SCALE	20.0	

Figura 27 - Axis Configuration

Após finalizar as configurações é só inicializar o software, em sua tela inicial estão ilustrados, no canto inferior o programa da peça a ser usinada, na lateral direita, ferramentas para a movimentação manual dos eixos lineares, no canto superior estão todas as ferramentas necessárias para a operação da máquina CNC.

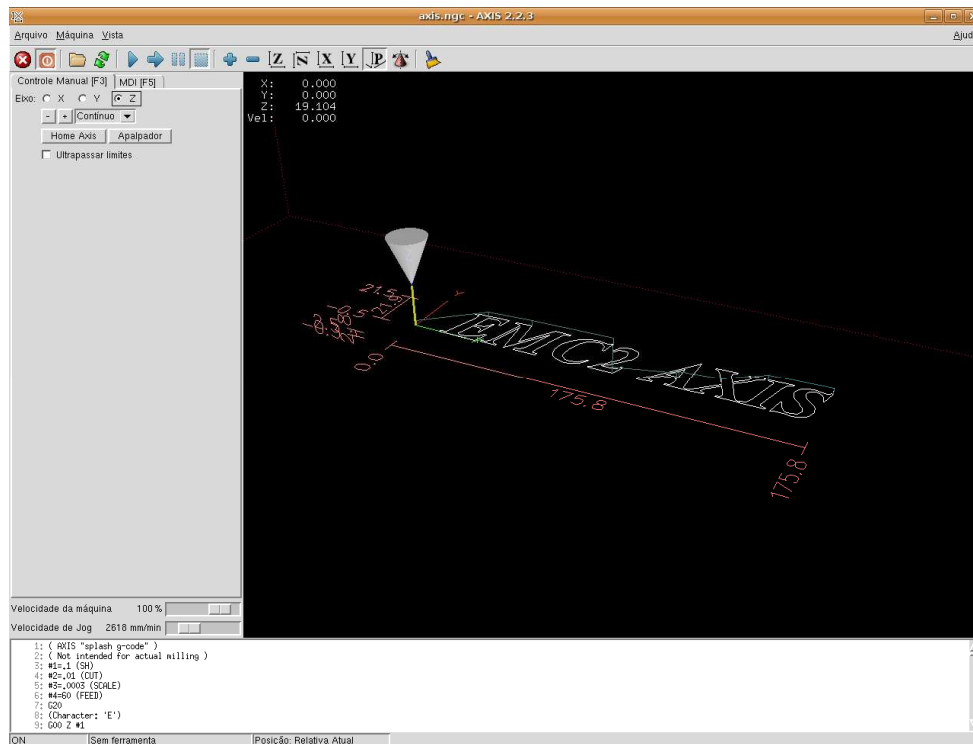


Figura 28 - Tela inicial Software EMC2

As principais vantagens deste software, além de se tratar de um software livre em plataforma LINUX, o controle da máquina é feito em tempo real, existe a possibilidade de alterar o software de acordo com a necessidade da máquina, e não ao contrário. Ele também possibilita o controle de até 9 eixos simultaneamente e é ideal para ambientes acadêmicos.

6. Detalhamento Técnico do Sistema Mecânico

6.1. Características

Antes de iniciar o projeto da estrutura mecânica, foi necessário estabelecer o tipo de estrutura que iria ser projetada, isso leva em conta o tempo, capital a ser investido, disponibilidade de materiais mecânicos, métodos de construção disponíveis, maquinário disponível para possíveis trabalhos, o tipo de trabalho que a máquina vai executar e curso de trabalho de cada eixo linear.

A partir daí foi iniciado o projeto.

Como não dispúnhamos de um capital satisfatório para a compra de matérias próprios para a construção desse tipo de máquina, fomos obrigados a utilizar materiais alternativos, logo foi feito um projeto visando a economia de custos, utilização de materiais alternativos.

Com base nos nossos limites foi feito um projeto mecânico com o software de CAD; ProEngineer, todas as peças foram devidamente projetadas e testadas para que o funcionamento na hora da montagem fosse perfeito, a figura 29, mostra layout do projeto CAD.

Após a modelagem em software CAD, todas as peças foram confeccionadas, de acordo com as especificações e com os materiais disponíveis

O projeto completo da máquina, com todos seus “drawings” se encontram em um arquivo em formato ZIP no site <http://www.em.pucrs.br/cnc>.

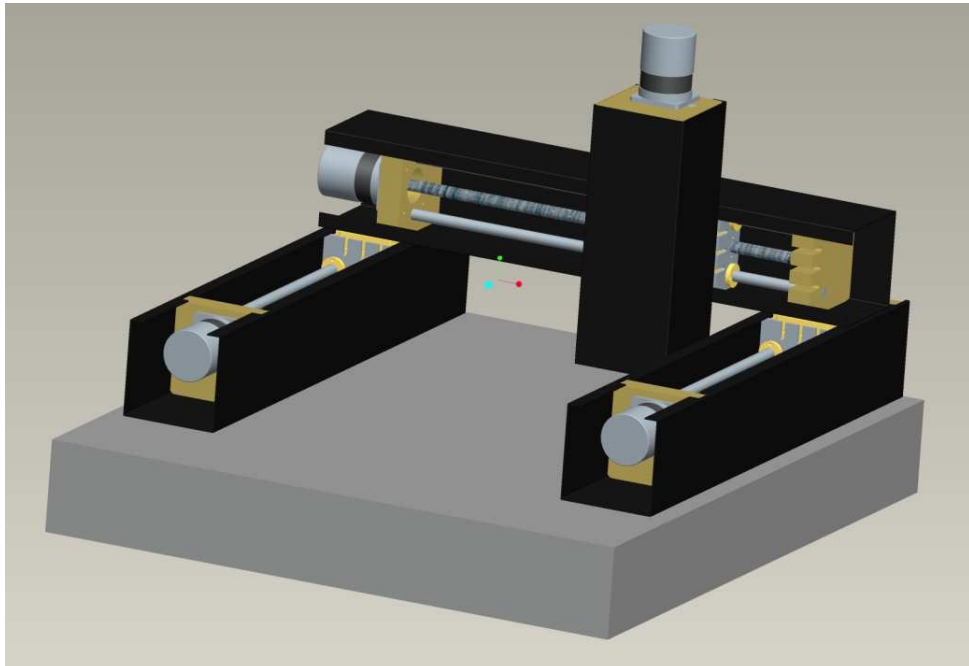


Figura 29 - Projeto do sistema mecânico da fresadora

A estrutura mecânica é composta por 3 eixos lineares, uma mesa, e uma retífica DREMEL, a qual é responsável pela usinagem das peças. O eixo X tem o curso de 290 mm, o eixo Y tem o curso de 290 mm e o eixo Z tem o curso de 50 mm, nas extremidades dos eixos X, Y e Z existe uma chave fim de curso que informa ao computador os limites de curso da máquina. Os movimentos da máquina serão produzidos através dos motores acoplados aos fusos trapezoidais, onde a castanha fica presa em uma espécie de carrinho que desliza sobre dois eixos de aço.



Figura 30 - Partes utilizadas

6.2. Detalhamento das principais peças utilizadas

6.2.1. Mesa de Fixação

Antes de construir a máquina foi detectado a necessidade de uma superfície plana e rígida, para que toda a estrutura a seguir pudesse ser apoiada sobre esta e também seria o lugar onde a peça a ser usinada seria fixada. Devido ao problema de pouco capital, optou-se por uma mesa confeccionada com chapa de madeira formada por lâminas coladas umas sobre as outras, o que atendeu todos os requisitos necessários . As dimensões dessa ,mesa são 670 mm x 770 mm. Abaixo segue imagem mostrando o layout da peça

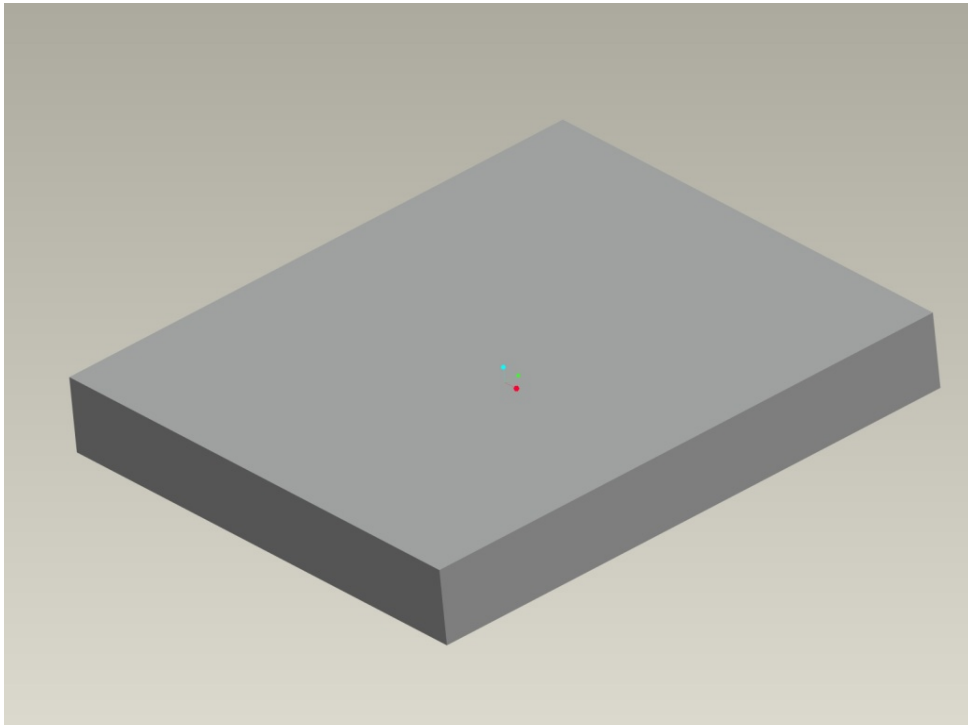


Figura 31 - Projeto da Mesa Base

O anexo 13 contém o “drawing” da mesa base.

6.2.2. Barras de aço para os guias lineares

Para guiar os movimentos de cada eixo, dentre as diversas opções foi escolhido devido a falta de capital, duas barras de aço dispostas sobre mancais em perfeito paralelismo, onde sobre essas barras deslizaram buchas de latão. O ideal para esse tipo de mecanismo seria utilizar guias lineares com buchas de esferas re-circulantes para o deslizamento.



Figura 32 - Barra de aço linear do eixo Z

Essas barras desempenham um papel fundamental para o funcionamento de todo o sistema, pois caso elas estejam com imperfeições em seu perfil ou estejam tortas, o sistema de movimentação não vai funcionar corretamente. Neste projeto foram utilizadas 2 barras para cada eixo linear, eixos X e Y com 550 mm de comprimento e diâmetro de 9.8 mm, no eixo Z são utilizadas 2 barras com 280 mm de comprimento e diâmetro de 9.8 mm.

6.2.3. Mancais de Fixação

Para fixar as barras de aço na mesa de fixação com uma boa rigidez e alinhamento, optou-se por projetar duas peças de madeira, parafusadas na mesa de fixação. Estas duas peças desempenham o papel de manter as barras de aço a uma altura suficiente para que as bases de sustentação possam deslizar livremente e para mantê-las em perfeito paralelismo.

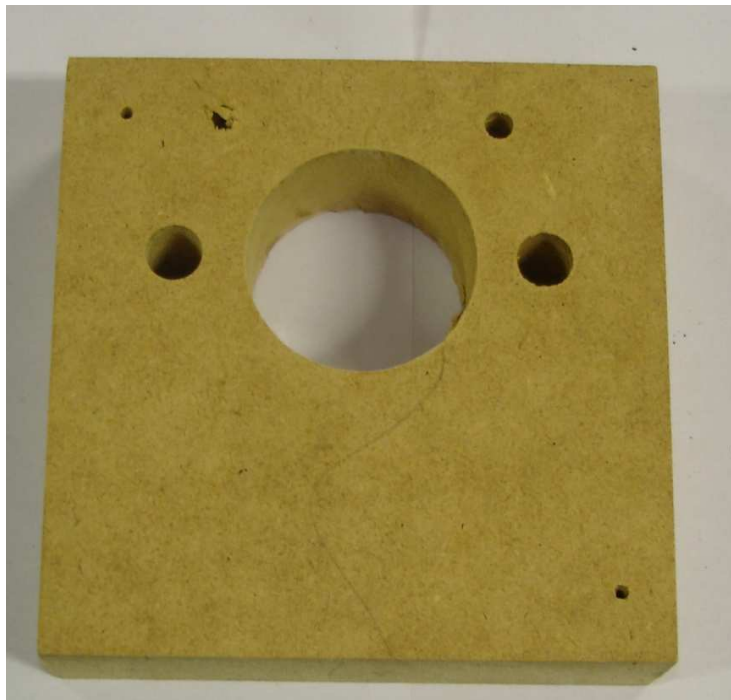


Figura 33 - Mancal de fixação lado do motor



Figura 34 - Mancal de fixação lado rolamento

Estes dois mancais foram projetados com formatos diferentes para satisfazer as necessidades do conjunto. Na hora de confeccionar essas peças, deve-se tomar o máximo cuidado em manter os furos de fixação das barras de aço bem alinhados

tanto a peça seguinte quanto a base de sustentação. Uma dica para confeccionar essas peças é separar elas em conjuntos de pares, uma do lado do motor e uma do lado oposto, prende-las uma sobre a outra e marcar os furos de fixação das barras de aço em uma delas. Após marcar, fure as duas ao mesmo tempo. Assim você terá a certeza de que esses dois furos estão perfeitamente alinhados. Na figura 33 mostra o mancal no qual é fixado o motor de passo e na figura 34 mostra o mancal no qual é posto um rolamento para apoiar o fuso. O ideal para esse tipo de mecanismo seria utilizar mancais confeccionados em alumínio ou aço, com alguma regulagem de altura e paralelismo, obtendo assim maior precisão e rigidez.

Os anexos 14 e 15 contém os “drawings” dos dois mancais.

6.2.4. Buchas de deslizamento

Para deslizar sobre os eixos, foram projetadas buchas de latão, o material recomendado para a confecção desta peça é bronze, mas por motivos de falta de capital foi utilizado latão.

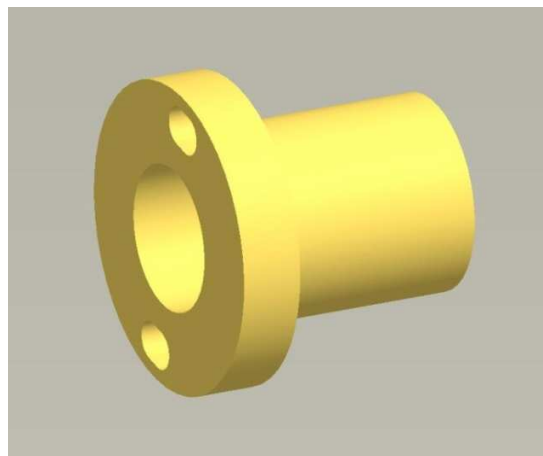


Figura 35 - Bucha de deslizamento

Um detalhe importante no projeto desta peça, são os obilongos junto aos furos de fixação. Eles proporcionam uma regulagem extra na hora da montagem dos eixos lineares, facilitando muito a correção de erros de alinhamento em outras partes do sistema, como os eixos lineares. Para a confecção desta peça foram utilizados um torno convencional e uma fresa.

O anexo 16 contém o “drawing” da bucha de deslizamento.

6.2.5. Castanha e Fuso Trapezoidal

O conjunto de castanha e fuso trapezoidal é uma das partes mais importantes da máquina CNC, essas peças junto com os eixos lineares vão ter um importante papel na definição da precisão do equipamento, quanto menor o passo de rosca desse conjunto maior será a precisão do equipamento e menor será a velocidade de movimentação do eixo. Quanto maior o passo de rosca menor será a precisão e maior será a velocidade de movimentação. Neste projeto foi escolhido utilizar castanhas de bronze com rosca trapezoidal e barras de aço com rosca trapezoidal, ambos com o passo de 3 mm por revolução. Essa escolha foi baseada levando em consideração que todo o sistema de eixos lineares não iria apresentar uma grande precisão, logo não era necessário investir em um sistema ideal, o qual seria um sistema de fusos retificados e castanhas de esferas re-circulantes, que proporcionariam uma precisão enorme, mas com um elevado custo. Na montagem do sistema de movimentação, os fusos são acoplados nos motores de passo e fixos na outra extremidade do eixo com um rolamento, a castanha deve ser fixada no carrinho de movimentação do eixo, tendo o máximo cuidado para que ela fique perfeitamente alinhada com o fuso, caso contrário o sistema não irá funcionar corretamente. Abaixo a castanha confeccionada e o fuso adquirido.



Figura 36 - Castanha confeccionada



Figura 37 - Fuso trapezoidal adquirido

6.2.6. Base de Sustentação do Suporte

Para fixar o suporte que irá deslizar sobre os guias lineares, foi projetada uma peça de alumínio, a qual, além de fixar o suporte, possui regulagens de altura e nivelamento, corrigindo assim possíveis problemas de alinhamento ocorridos durante a montagem.

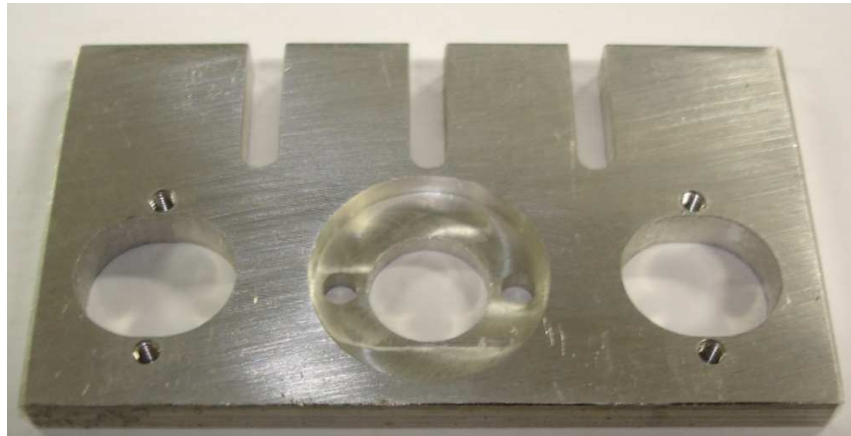


Figura 38 - Base de sustentação

Na figura 38, pode-se observar que os dois furos maiores nas duas extremidades onde serão fixadas as buchas de deslizamento são alongados, de forma que junto com o alongamento do furo de fixação da bucha de deslizamento, formem uma regulagem longitudinal de 3 mm. No centro dessa peça é fixada a castanha e os três rasgos no canto superior da peça servem para fixar o suporte que irá sustentar o eixo adjacente. Deve-se tomar o máximo cuidado em deixar todos os furos extremamente alinhados com os furos dos mancais.

O anexo 17 contém o “drawing” da base de sustentação.

6.2.7. Suporte de Fixação

Para fixar o eixo movimentado sobre o barramento de deslizamento, foi projetada uma peça de madeira que é fixada na base de sustentação, esta peça tem formato simples, o único detalhe nela é a ranhura para que ela possa ser elevada sob a capa de proteção para ser fixada no eixo perpendicular. Deve-se tomar cuidado na

hora da fabricação dessa peça, para que esteja perfeitamente no esquadro, caso contrário a fixação dela travará o sistema.



Figura 39 - Suporte de fixação

O anexo 18 contém o “drawing” do suporte de fixação.

6.2.8. Capa de Proteção

Para proteger os eixos de movimentação linear de possíveis impactos e cavacos, foi projetada uma capa de alumínio dobrado. Na montagem da máquina não se deve apoiar o sistema de eixos sobre a capa e fixa-la na mesa, isso poderá deixar a máquina desnivelada, o ideal é fazer um rasgo na capa para que os mancais possam ser fixada diretamente na mesa, isso garantirá um sistema alinhado.



Figura 40 - Capa de proteção

O anexo 19 contém o “drawing” da capa de proteção

6.3. Eixos Lineares de Movimentação

Cada eixo de movimentação linear é constituído de duas barras de aço com 10 mm de diâmetro, apoiadas em suas extremidades em mancais de madeira. Entre essas duas barras, um fuso com rosca trapezoidal de 3.4 mm de passo responsável em de transmitir o movimento angular gerado pelos motores acoplados.

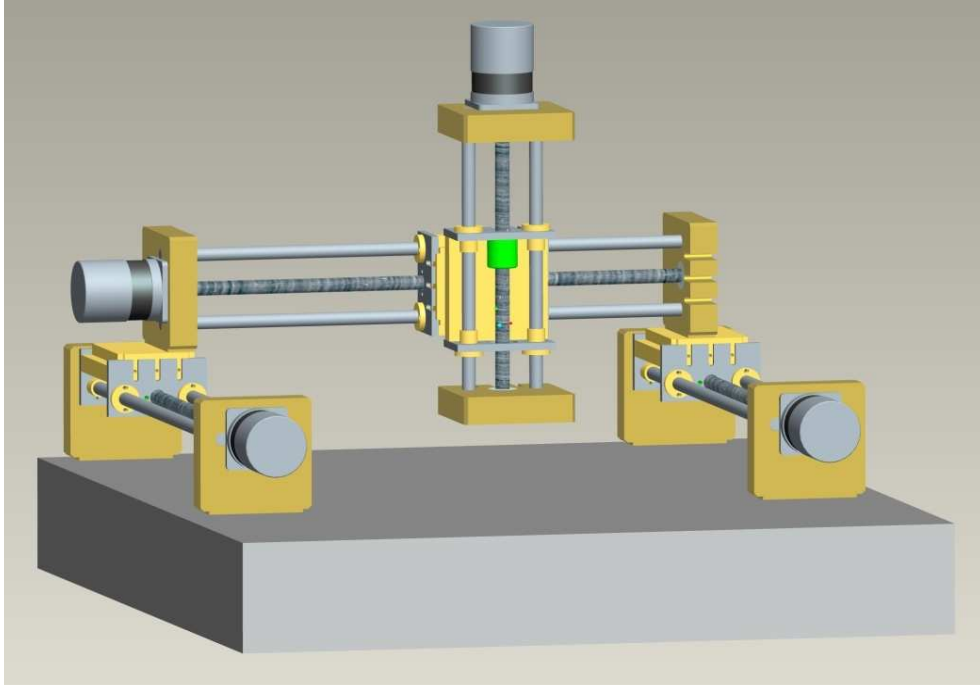


Figura 41 - Proteção dos eixos lineares

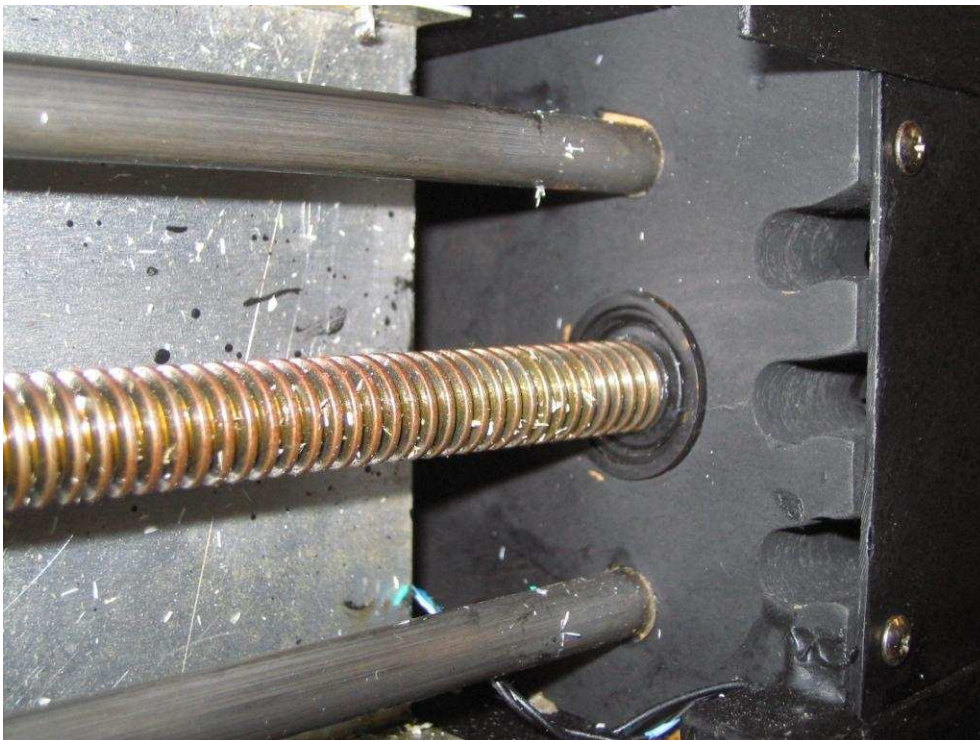


Figura 42 - Detalhe da fixação dos eixos

Para fixar o eixo que “receberá” o movimento, correndo sobre as barras de aço existe um suporte com buchas de latão onde também é fixada a castanha para a transformação do movimento angular dos motores em movimento linear.

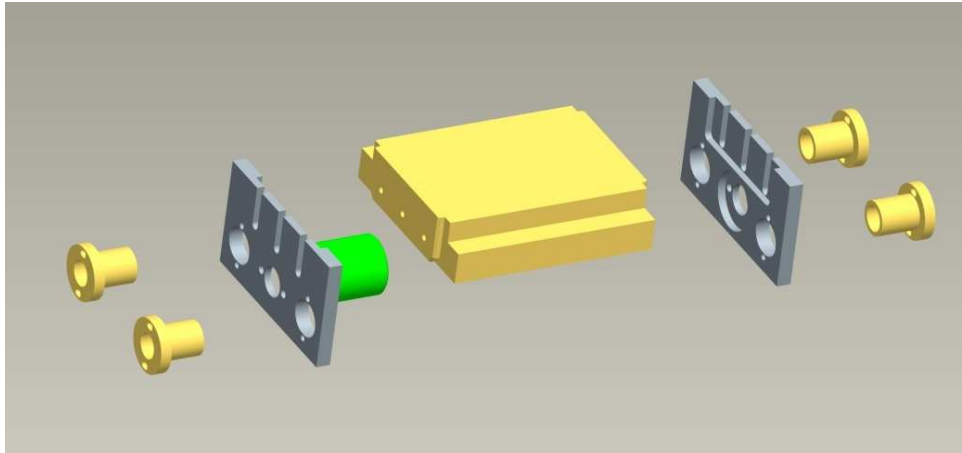


Figura 43 - Projeto do carrinho de movimentação

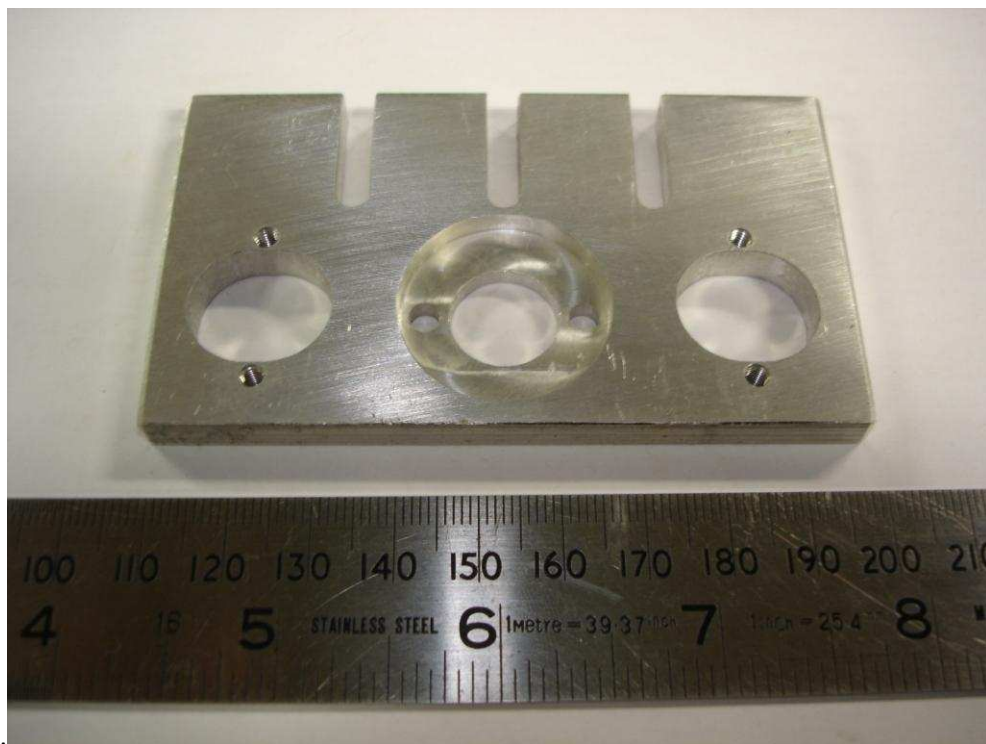


Figura 44 - Chapa confeccionada para a fixação dos suportes

É extremamente importante que as duas barras de aço estejam perfeitamente alinhadas, caso contrário as buchas de latão ficarão trancadas em algum ponto.

Para ajudar no alinhamento dos eixos, a bucha de bronze que corre sobre o eixo de aço e é fixada na chapa do carrinho que possui uma regulagem longitudinal para mínimas compensações de desalinhamento, como mostra a figura abaixo.

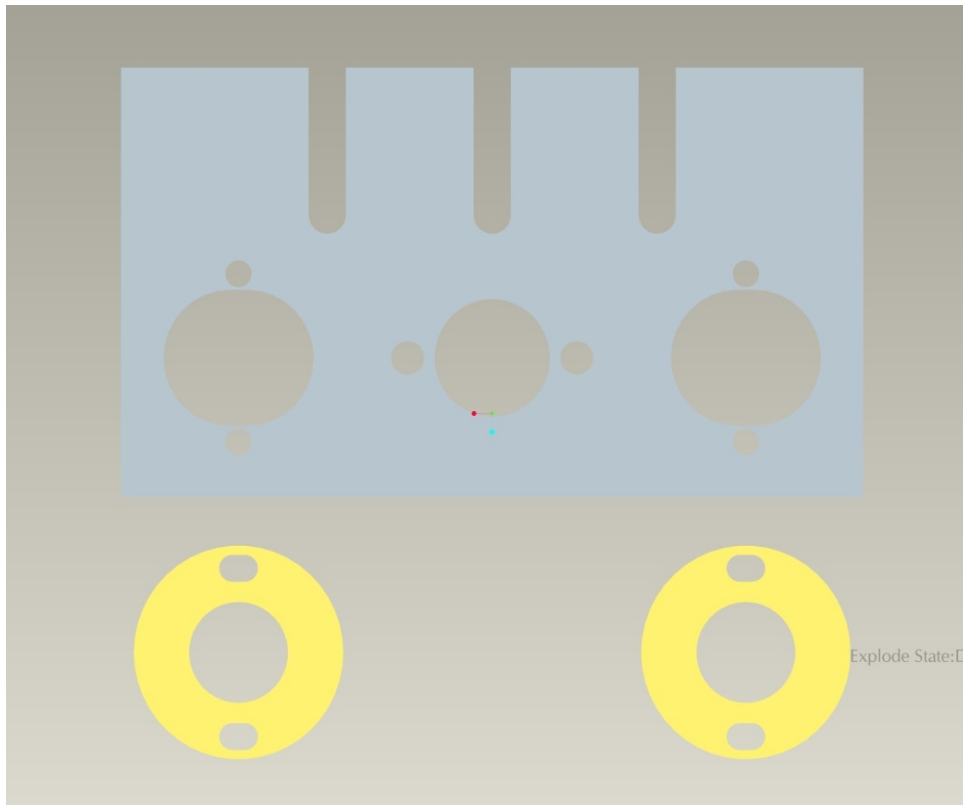


Figura 45 - Detalhe, Obilongos de regulagem

6.4. Montagem da Máquina

Deve-se ter bastante cuidado com o alinhamento dos eixos guia, pois caso estes estejam apenas alguns milímetros fora de alinhamento, todo o sistema de movimentação poderá ficar imóvel.

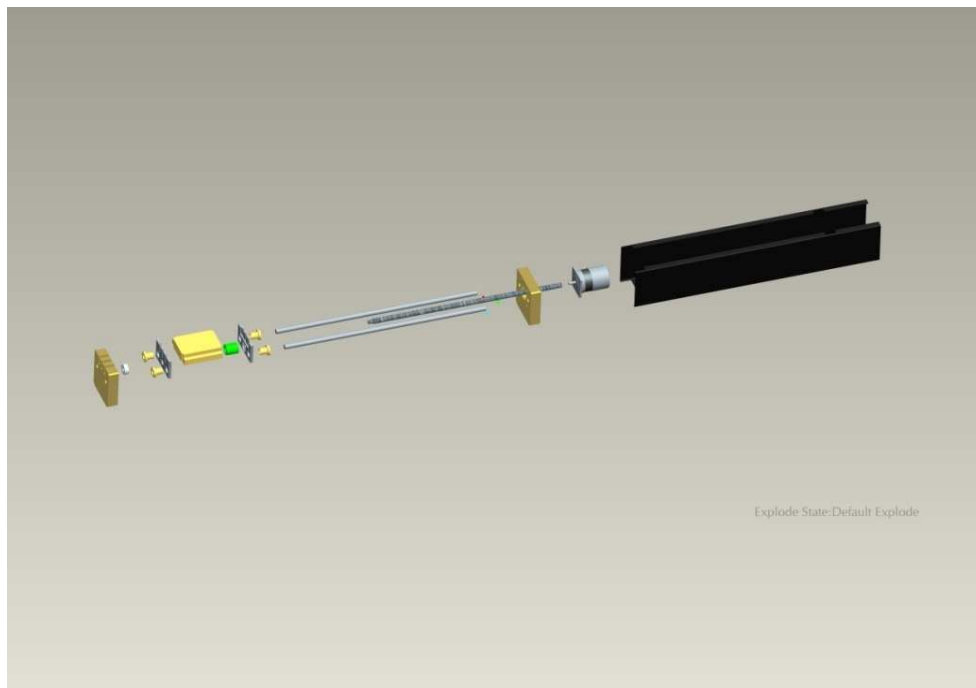


Figura 46 - Vista explodida do eixo X ou Y

Primeiro prenda as barras guia, no mancal de madeira do lado do motor e insira as peças móveis do carrinho para dentro do eixo.

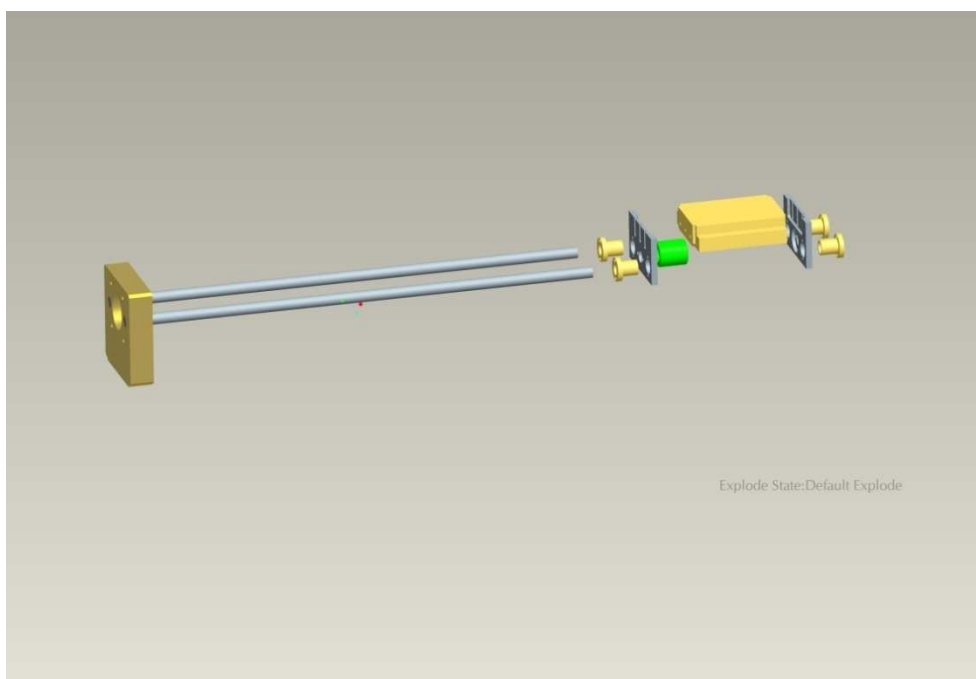


Figura 47 - Montagem das barras guias e carrinho de movimentação

Após encaixar as peças do carrinho sob os eixos, prenda a outra extremidade das barras de aço no outro mancal de madeira, e confira se as barras estão devidamente alinhadas.

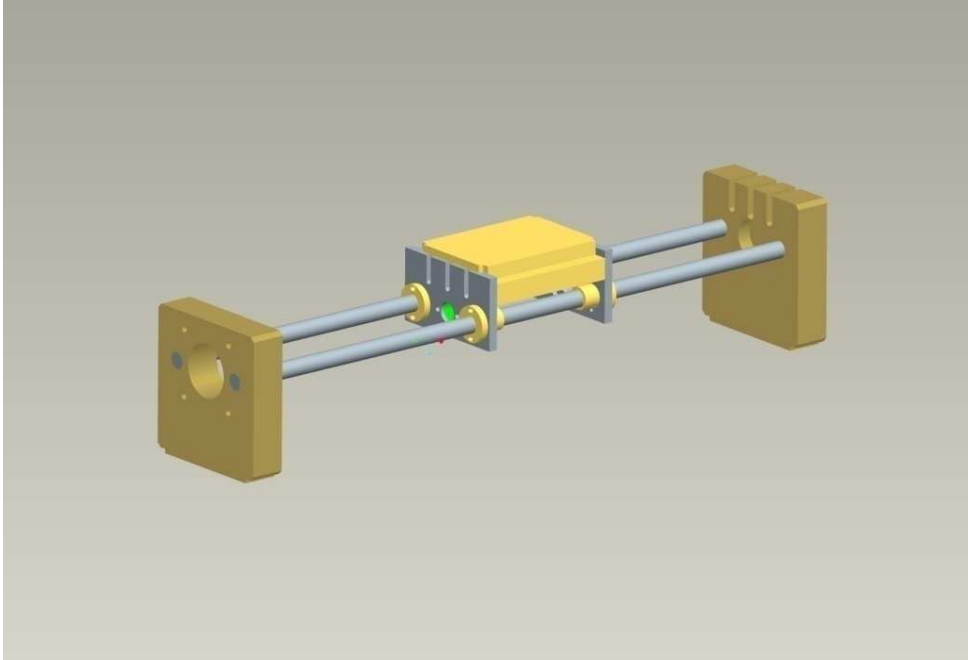


Figura 48 - Eixo de movimentação linear montado

Após todo o sistema estar parafusado e bem alinhado, insira o fuso trapezoidal, fixe-o no motor e prenda o motor no mancal.

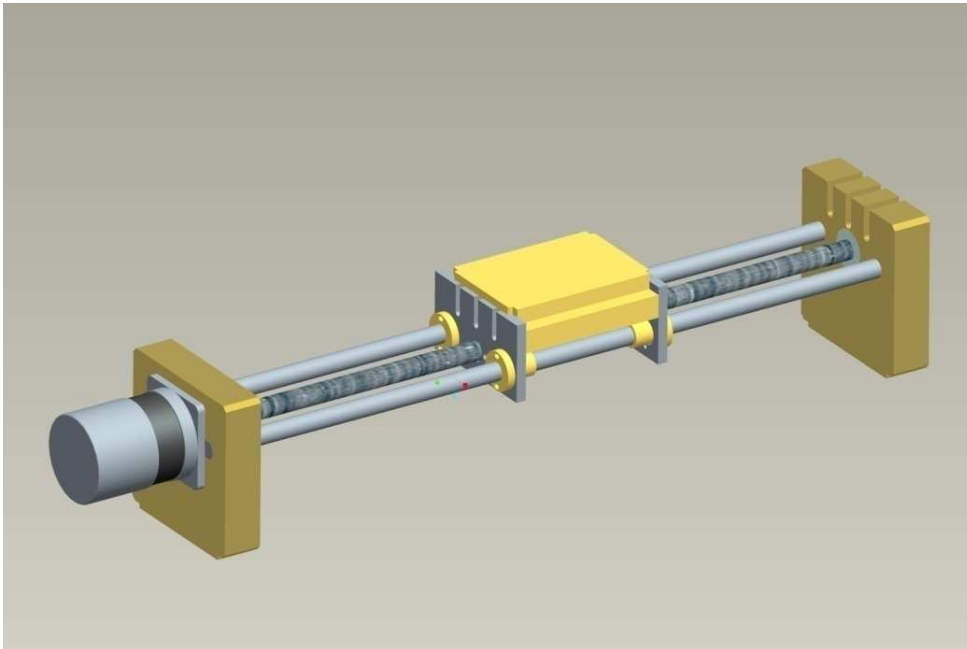


Figura 49 - Eixo montado com o motor e fuso

Agora é só por a capa de proteção e o eixo está pronto. A montagem de todos os outros três eixos é idêntica, apenas o eixo Z que se diferencia pelo seu comprimento.

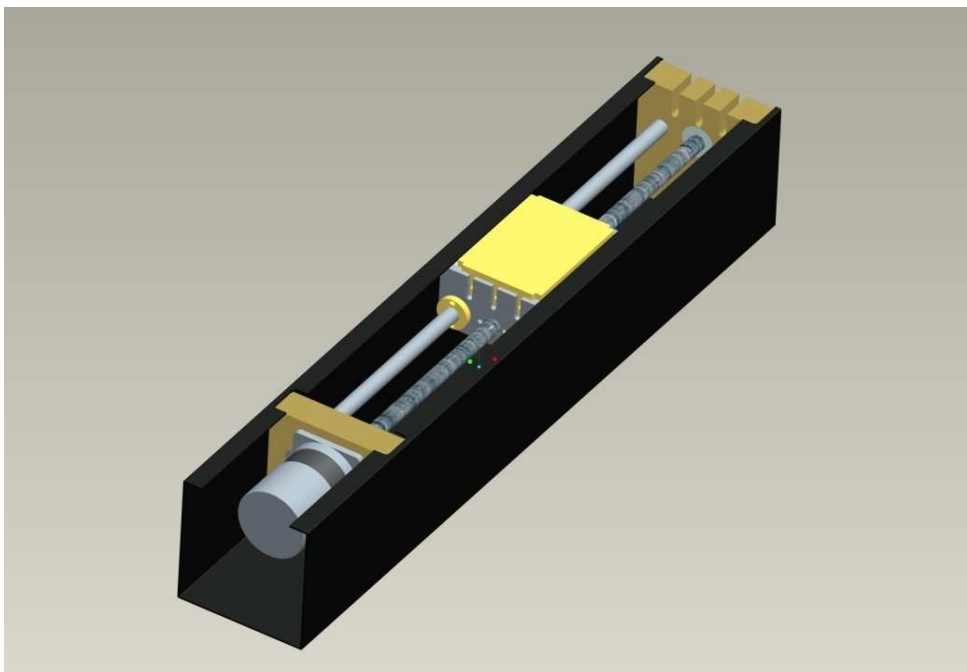


Figura 50 - Montagem concluída

Após ter todos os eixos montados, prenda o par de eixos X na mesa de fixação, tendo o cuidado de manter a paralelismo entre os dois, e também a distancia exata entre os dois, que corresponde ao comprimento do eixo Y.

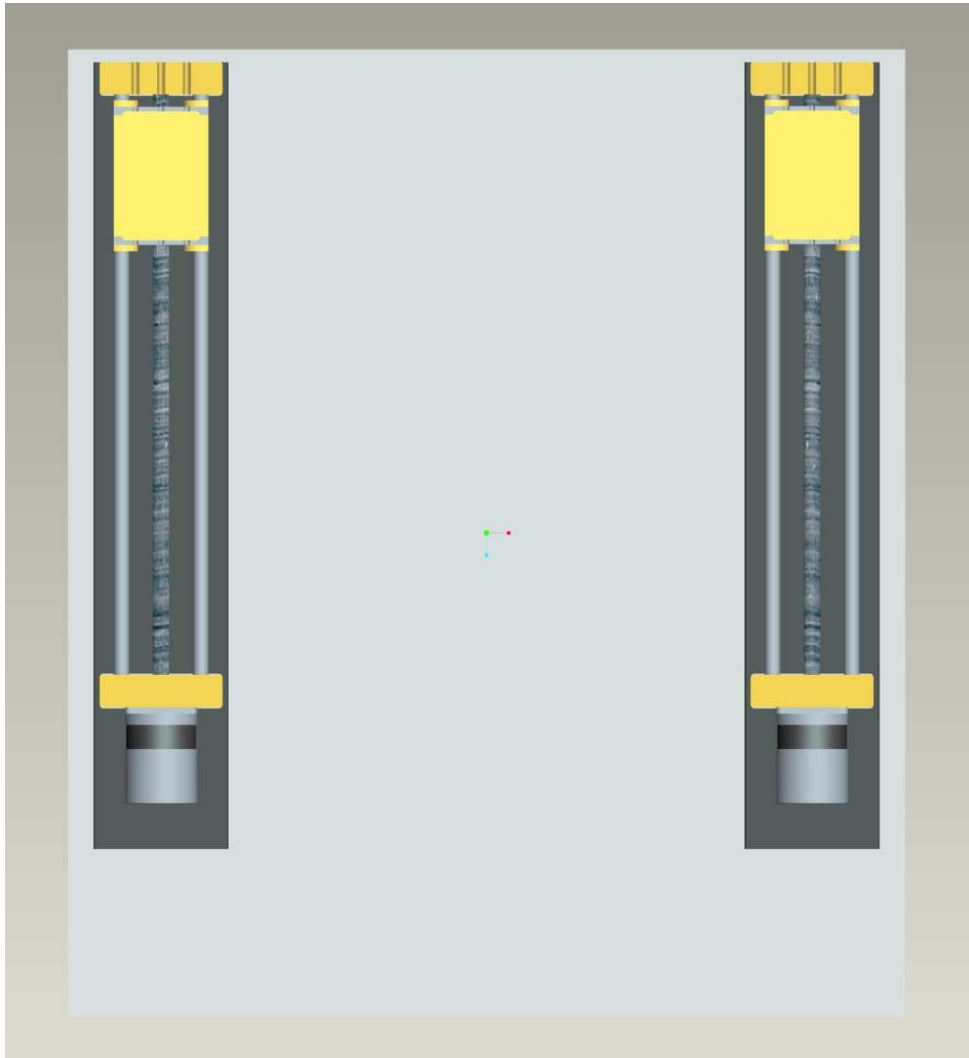


Figura 51 - Eixo X montado sob a mesa de sustentação

Tendo os dois eixos X em perfeito paralelismo, é só montar o eixo Y com seus mancais de madeira em cima dos carrinhos dos eixos X.

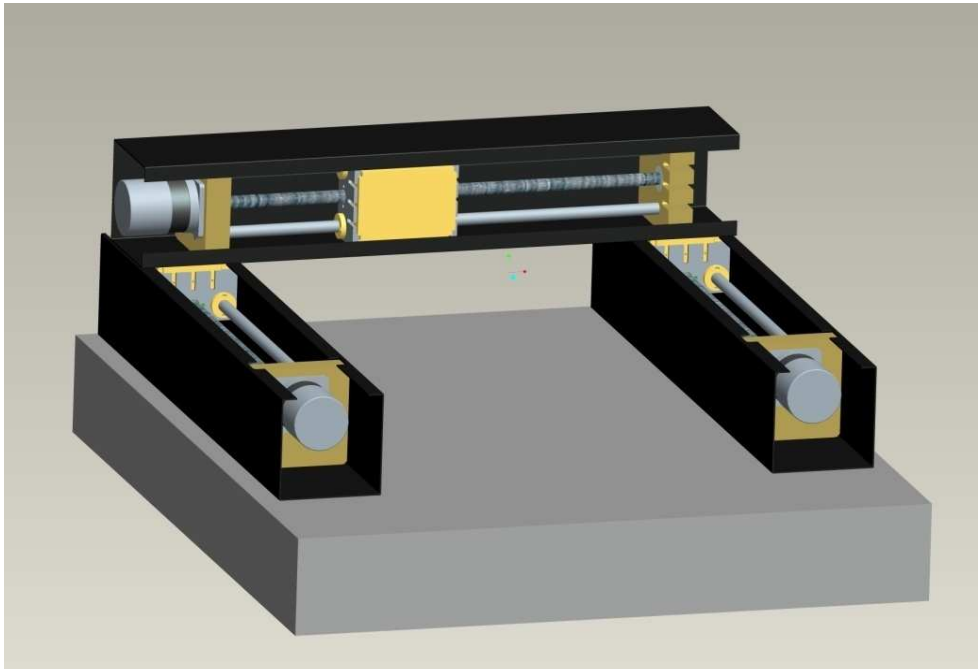


Figura 52 - Eixo Y montado sob o eixo X

Agora fixe o eixo vertical Z, no carrinho do eixo Y, tendo o cuidado de manter ele nivelado em relação à mesa, pois caso contrário, o corte da ferramenta poderá sair torto, prejudicando a estrutura e a usinagem.

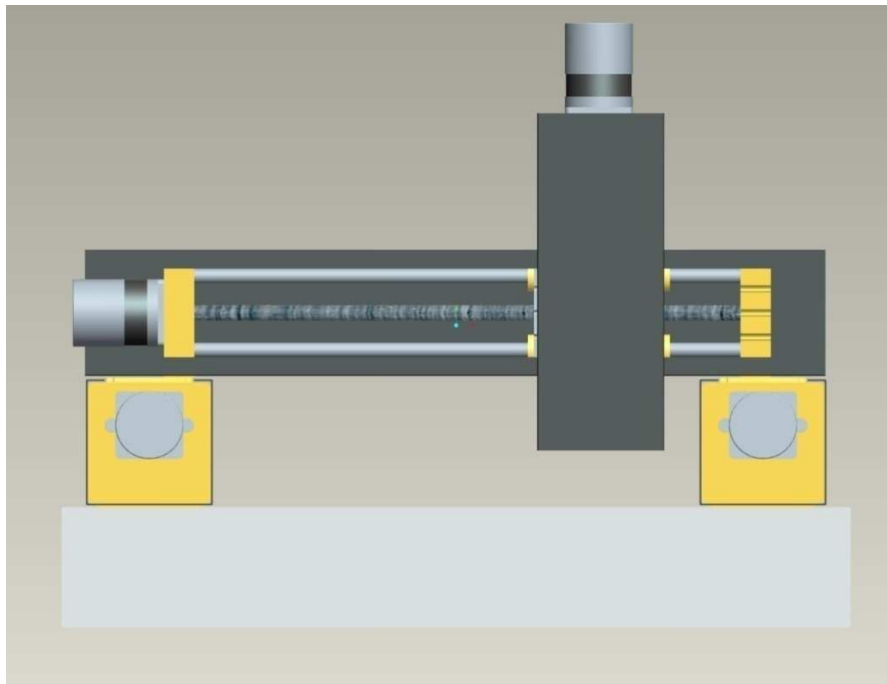


Figura 53 - Montagem completa

Após o termino da montagem da estrutura é só fixar a retifica a ser utilizada para a usinagem, neste caso utilizou-se uma retifica DREMEL.



Figura 54 - Máquina CNC de 3 eixos

6.4.1. Alinhamento dos Mecanismos

Após a montagem da máquina deverá ser feito o alinhamento do sistema. Pois cada componente possui uma regulagem específica, que só pode ser feita quando todo o sistema está montado. Deve-se observar os seguintes pontos para o alinhamento completo do sistema:

- Alinhamento da altura de fixação dos 2 barramentos do eixo X
- Paralelismo entre os 2 barramentos do eixo X
- Igualdade de altura e nivelamento dos 2 suportes de fixação do eixo X
- Alinhamento do esquadro entre o eixo X e Y
- Alinhamento da altura e nivelamento do suporte de fixação do eixo Y
- Alinhamento do esquadro entre o eixo Y e Z
- Alinhamento da altura e nivelamento do suporte de fixação do eixo Z

Para executar o alinhamento do sistema deve-se utilizar os seguintes equipamentos: paquímetro, relógio comparador, apalpador, micrometro, superfície em perfeito estado de paralelismo e nivelamento para ser utilizada como referencia.

Para executar o alinhamento do sistema deve-se observar a ordem de execuções descrita acima. Após a operação de alinhamento a máquina estará hábil a movimentar-se.

6.5. Retifica para a usinagem

Utiliza-se para a usinagem a retifica DREMEL da BOSCH, sua velocidade de corte pode variar de 5000 à 35000 RPM, foi escolhida devido a seu custo, facilidade na fixação e ao vasto numero de ferramentas de corte disponíveis no mercado.



Figura 55 - Suporte para a retifica

Para fixar a retifica no eixo Z foi feito um suporte com uma chapa de alumínio dobrado, este suporte possui um furo no canto inferior, no qual a retifica é encaixada. Devido à falta de rigidez desta chapa foram implementadas mais duas chapinhas de alumínio para reforçar a estrutura. Esta retifica utiliza ferramentas de até 3 mm de diâmetro. O ideal para esse tipo de máquina seria utilizar uma retifica com uma maior potência e um melhor controle de velocidade, ou mesmo fabricar um *“spindle”* com algum motor e um mandril de furadeira.

7. Restrições e Cuidados

Devido a baixa rigidez da estrutura construída, a máquina fica bastante limitada em questões como velocidade de corte e profundidade de corte. A máquina está capacitada a usinar apenas materiais macios como, isopor, polímeros em geral, madeira, acrílico e alumínio.

Sua precisão, devido ao mesmo fator expressado acima, ficou entre 0.5 mm e 1.0 mm e profundidade de corte máxima varia de acordo com a rigidez do material. Para obter uma maior precisão na máquina construída, quase todos os componentes teriam de ser substituídos por componentes de maior qualidade, nesta máquina os principais componentes que ocasionam a falta de precisão são os eixos lineares, os mancais e os fusos trapezoidais, substituindo-os por guias lineares com patins de esferas re-circulantes e fusos retificados com castanhas de esferas re-circulantes, a precisão da máquina dobraria.

Os eixos lineares e os fusos devem estar bem lubrificados para um deslizamento uniforme.

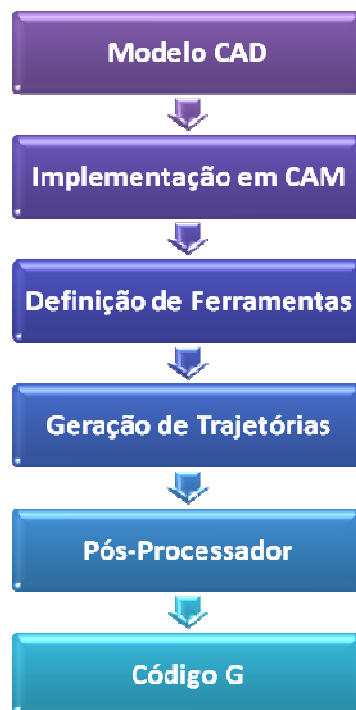
É extremamente importante que a parte elétrica seja bem refrigerada. Pois os CI's de potência e os reguladores de voltagem esquentam muito, caso ocorra um sobre aquecimento eles podem parar de funcionar durante um momento e voltar após seu resfriamento ou até mesmo queimar. Seria interessante implementar um sistema de monitoramento da temperatura de todo o sistema via microcontrolador, e informar todos esses dados via display para operador.

8. Usinagens Possíveis

Devido ao fato de ser uma máquina dinâmica, a CNC construída pode ser utilizada para diferentes tipos de trabalhos: plotagem, usinagens em 3 dimensões, usinagem em 2 dimensões, usinagem de placas de circuito impresso, gravações em diversos materiais, trabalhos de furação, cortes lineares, nivelamento de superfícies, mapeamento de superfície com sensores, dentre muitos outros possíveis. Para executar qualquer trabalho com a máquina basta gerar um código G compatível com o software de controle e a máquina se movimentará. As etapas básicas para gerar um código G para a máquina deve ser:

→ Criar a geometria através de um software CAD (*Computer Aided Desing*), tal como o ProEngineer, SoliWorks, ArtCam, entre outros.

→ Executar a geometria em um software CAM(*Computer Aided Manufacturing*), o qual a partir da geometria criada, gera as trajetórias que a ferramenta terá de executar, os próprios softwares citados anteriormente possuem o módulo CAM instalado. O CAM irá gerar um código neutro, que deverá passar por um pós-processador, que poderá variar de acordo com o tipo de código que cada software de controle utiliza.



Abaixo segue as imagens de alguns trabalhos executados pela CNC construída.



Figura 56 - Usinagem em 3 Dimensões

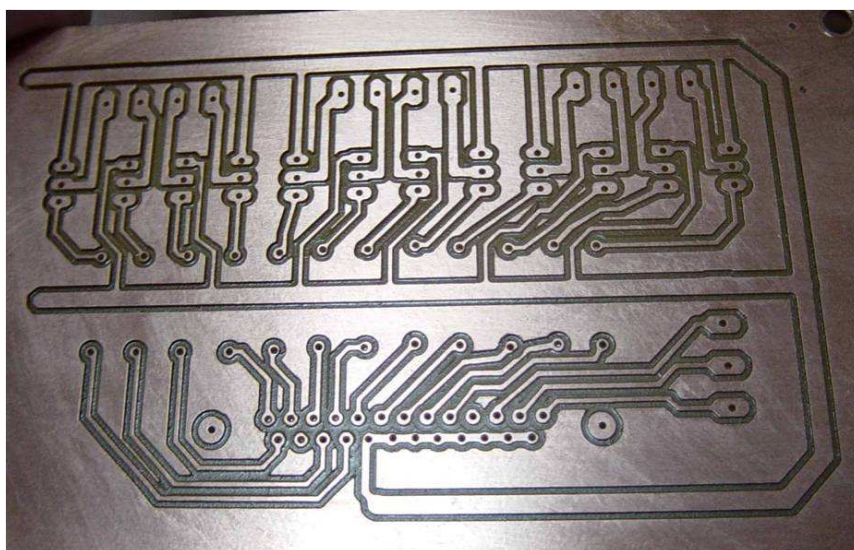


Figura 57 - Usinagem de placa PCI

9. Conclusão

Após dezoito meses de pesquisa e trabalho o Projeto CNC 3 de Eixos foi concluído com sucesso, atendendo todas as expectativas. O custo final de todo o projeto ficou em torno de R\$ 1500,00. A precisão final do equipamento está diretamente associada com os materiais utilizados para a construção do projeto, portanto a precisão atingida não passou de 0,5 mm, que para este projeto é totalmente aceitável.

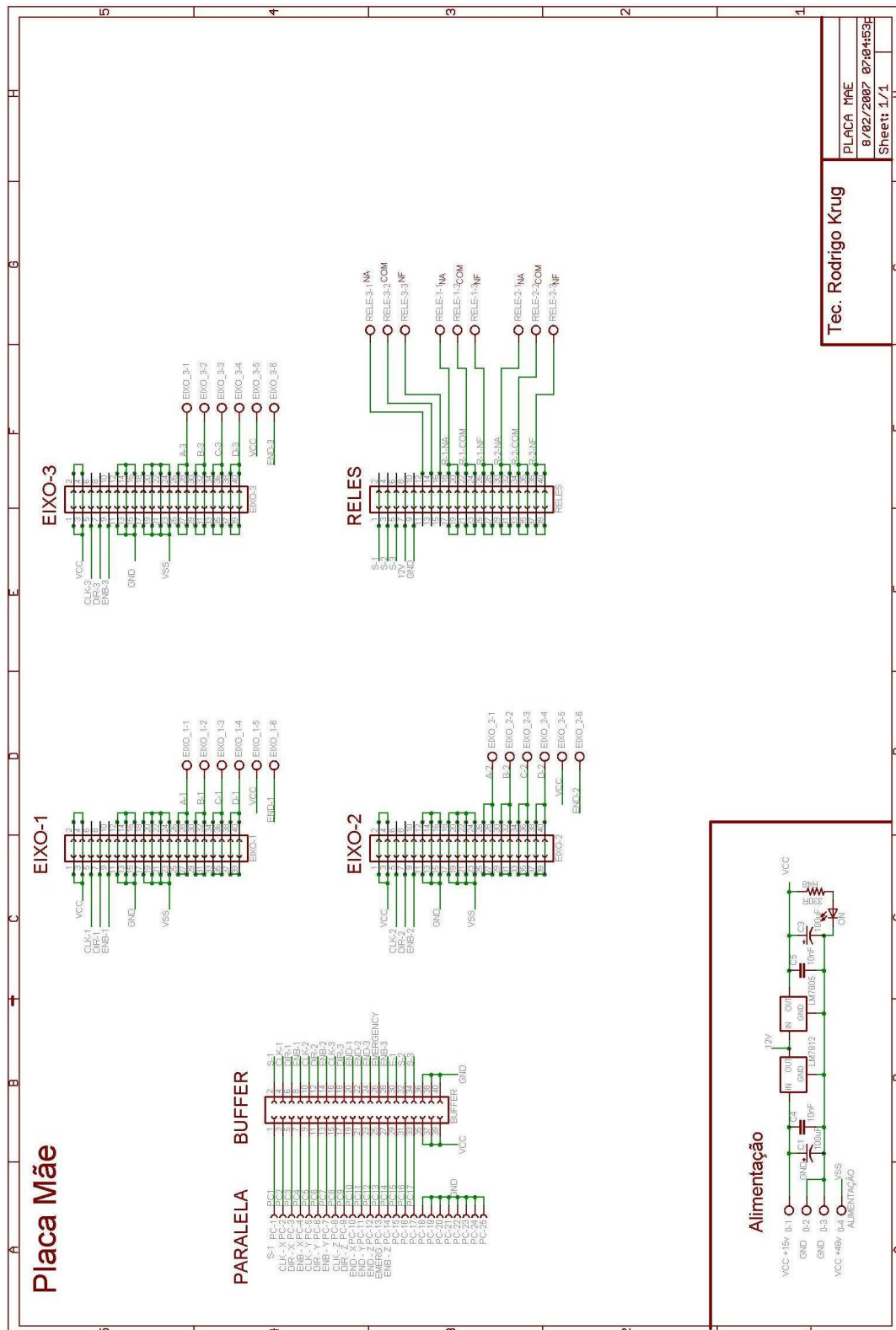
Esse projeto demonstrou-se muito flexível e útil, podendo ser aplicado em pequenas empresas, escolas técnicas e universidades, a fins de aprendizado, pois se trata de uma máquina de baixo custo com manutenção barata, utilizando tecnologias livres, tudo isso colabora no aprendizado do aluno.

10. Bibliografia

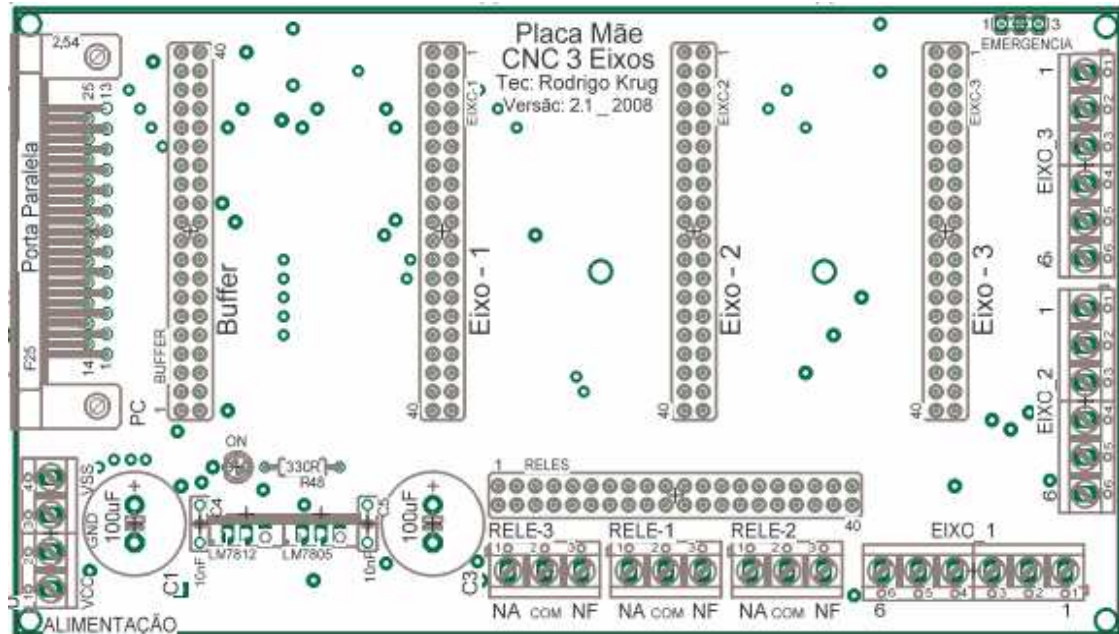
- [1] HENRY DAN FALK, W. S. R. The Enhanced Machine Control - Developer Handbook. New York: [s.n.], 2003.
- [2] VALENTINE, R. Motor Control Electronics Handbook. New York: [s.n.], 2003.
- [3] MORAES, G. Programação Avançada em Linux. São Paulo: Novatec, 2005.
- [4] MELCONIAN, S. Elementos de Máquina. São Paulo: Érica, 2000.
- [5] KRAUSE O. SUDHOHH, D. S. P. Analysis of Electric Machinery and Drive Systems. 2nd. ed. New York: IEEE Press, 2002.
- [6] DINZ, A. E. Tecnologia da Usinagem dos Materiais. 4. ed. São Paulo: Artliber, 2003.

11. Anexos

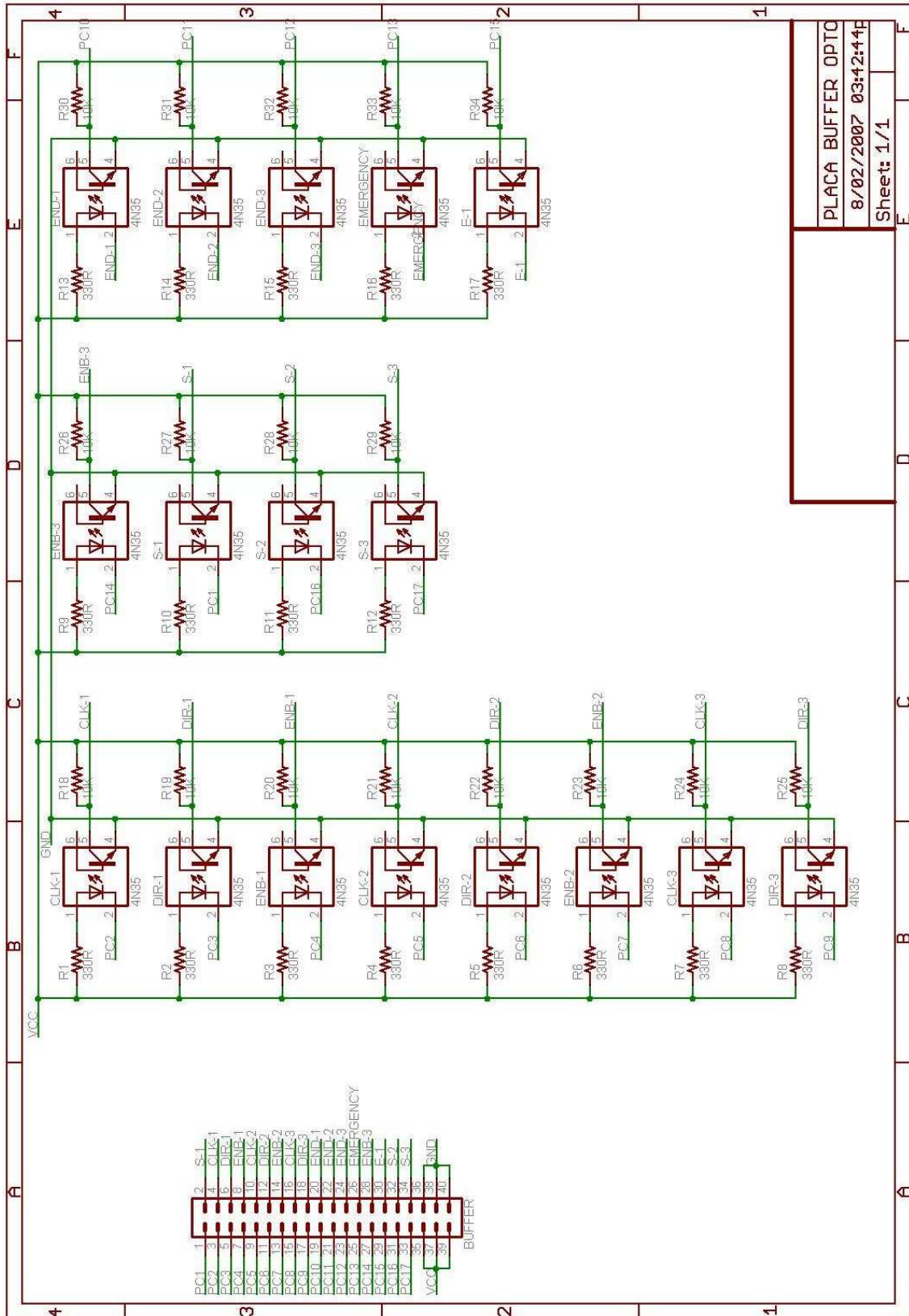
11.1. Anexo 1: Esquema elétrico Placa Mãe:



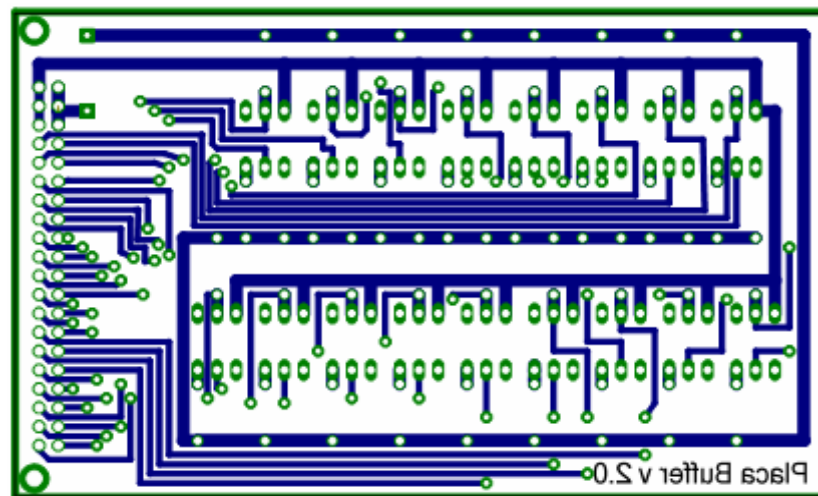
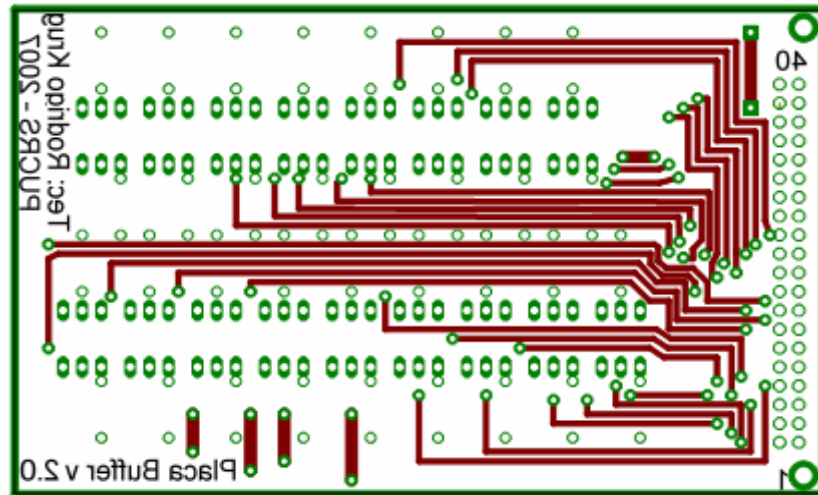
11.3. Anexo 3: Máscara da placa Mãe



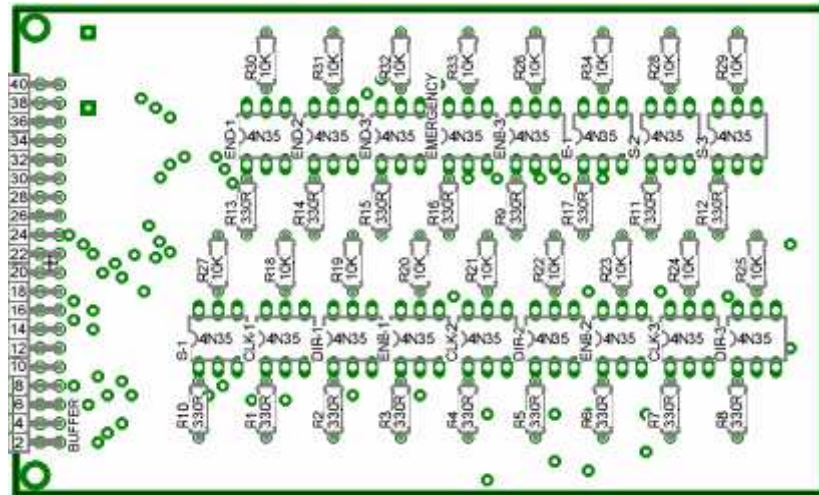
11.4. Anexo 4: Esquema elétrico placa Buffer



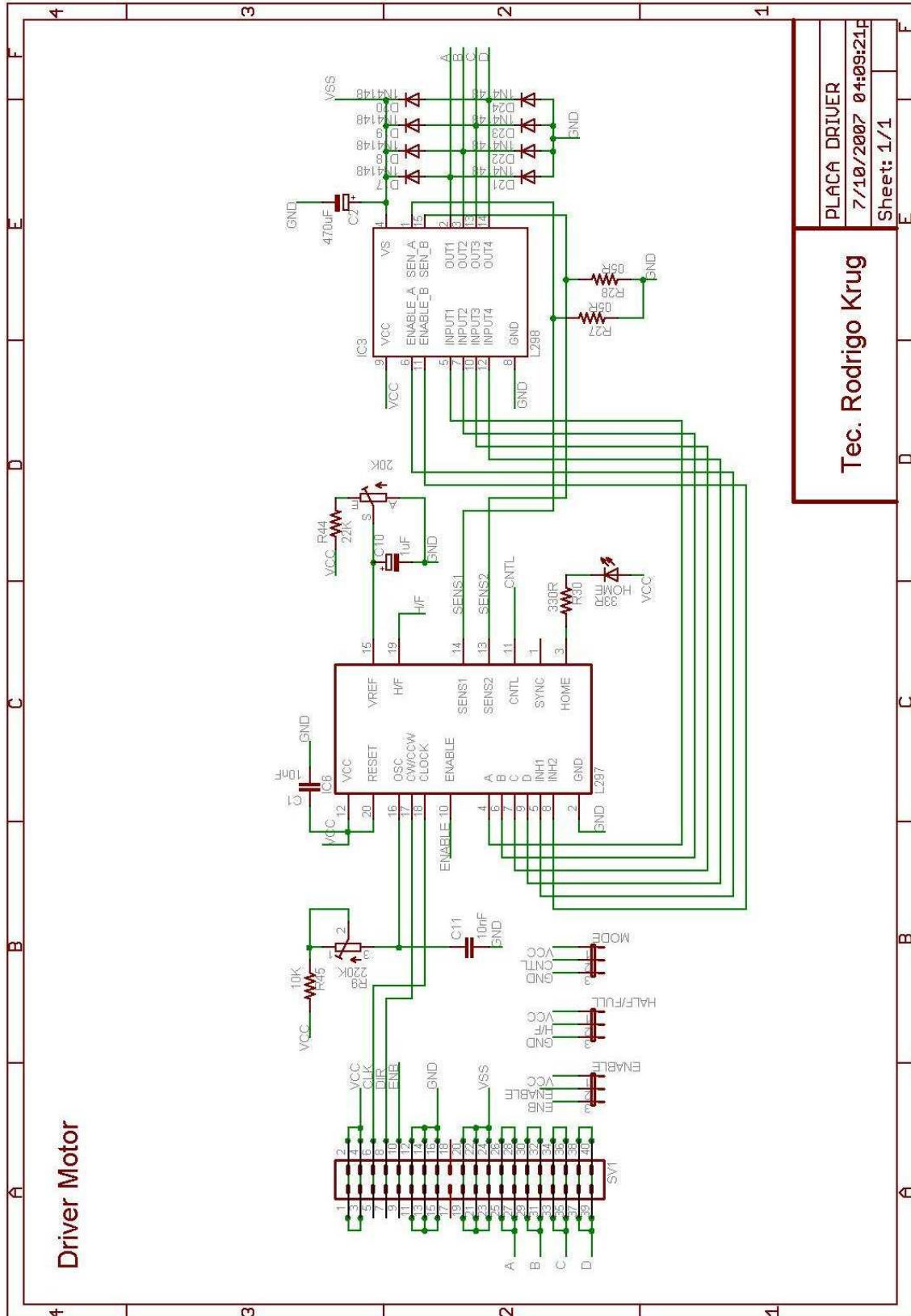
11.5. Anexo 5: Layers para a confecção da placa Buffer



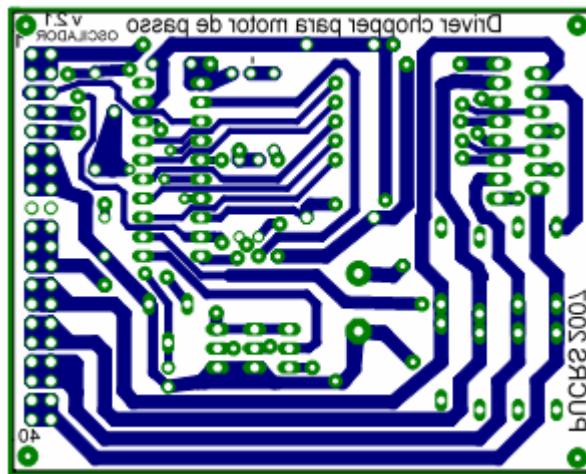
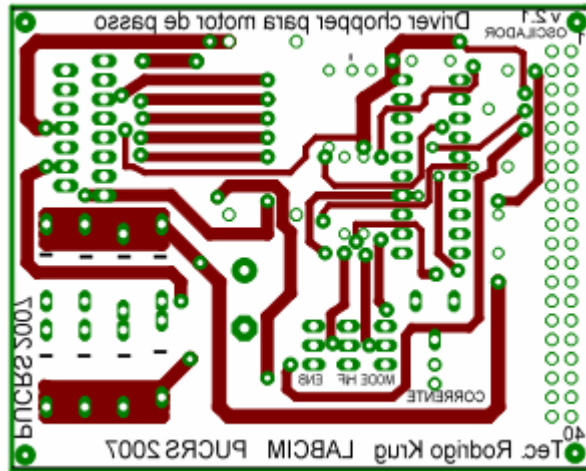
11.6. Anexo 6: Máscara da placa Buffer



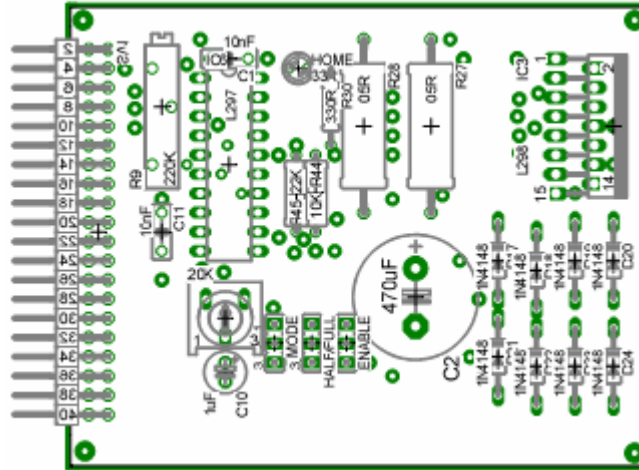
11.7. Anexo 7: Esquema elétrico placa Driver



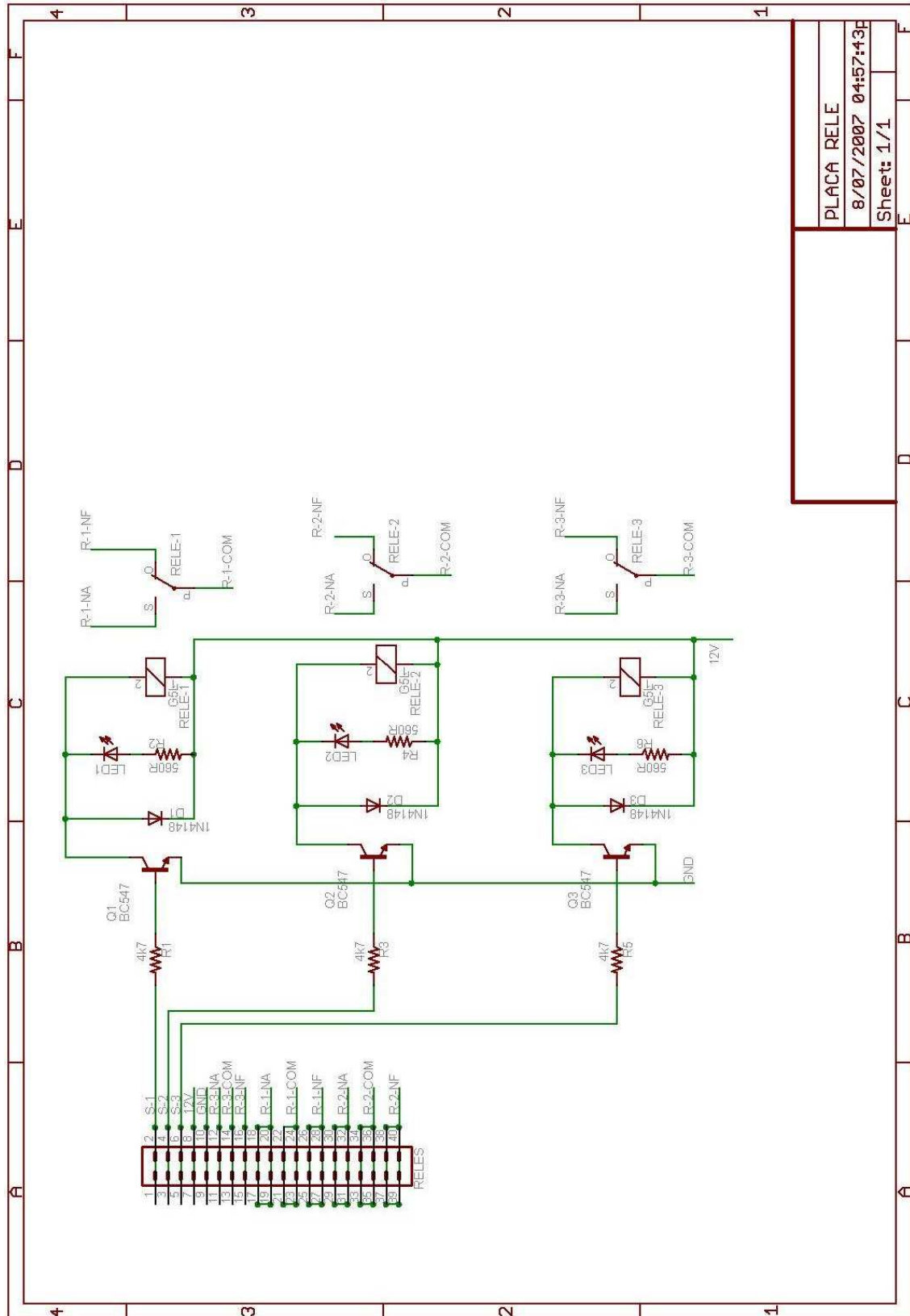
11.8. Anexo 8: Layers para a confecção da placa Driver



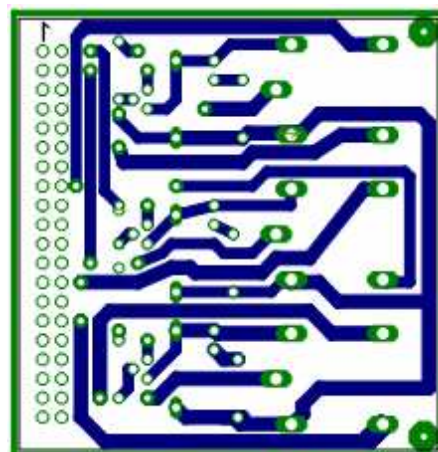
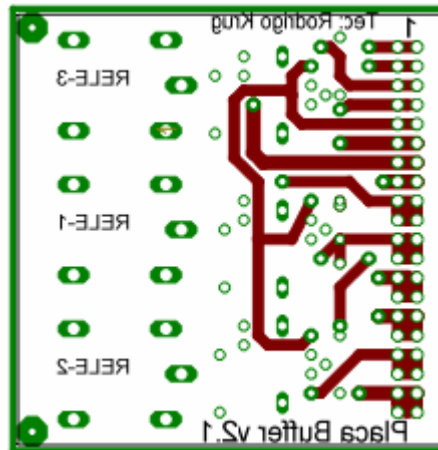
11.9. Anexo 9: Máscara da placa Driver



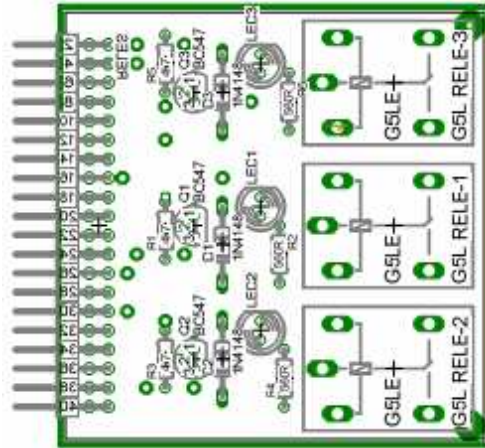
11.10. Anexo 10: Esquema elétrico placa Relé



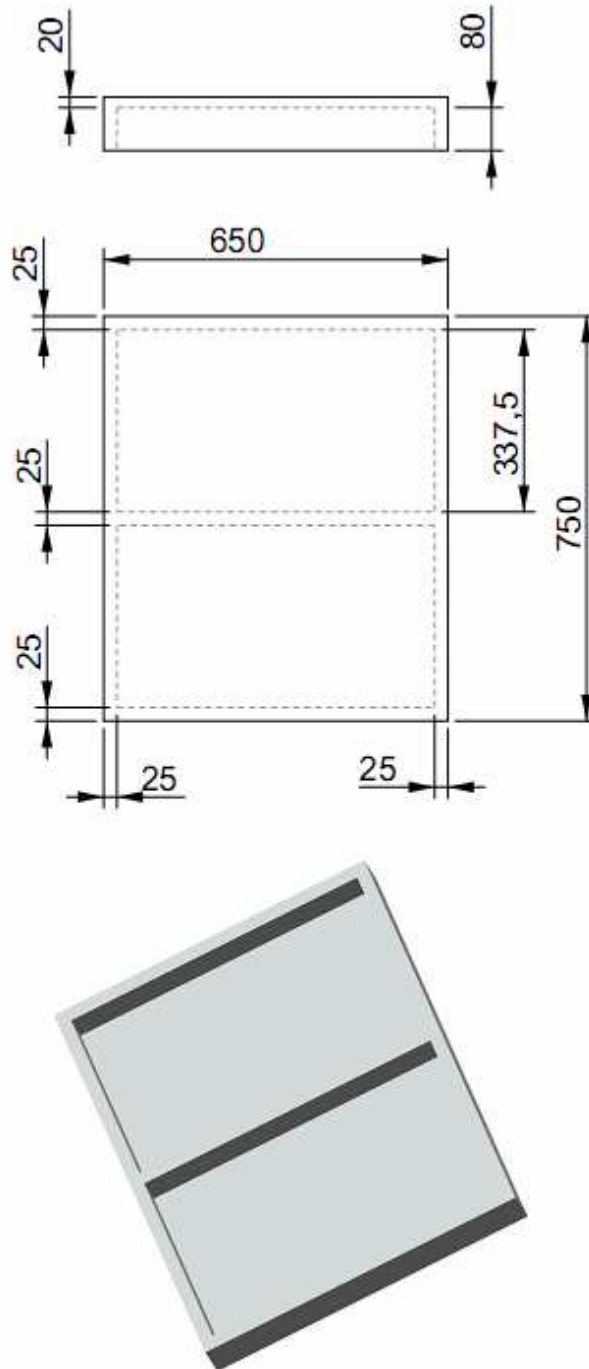
11.11. Anexo 11: Layers para a confecção da placa Relé



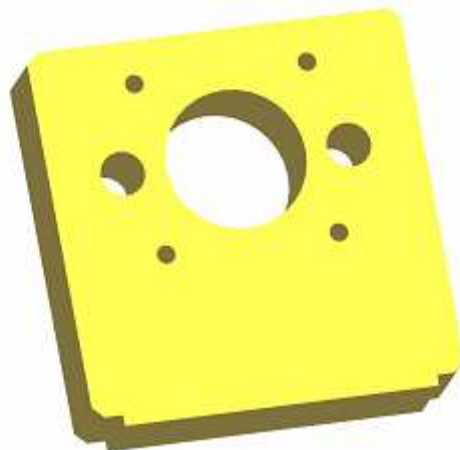
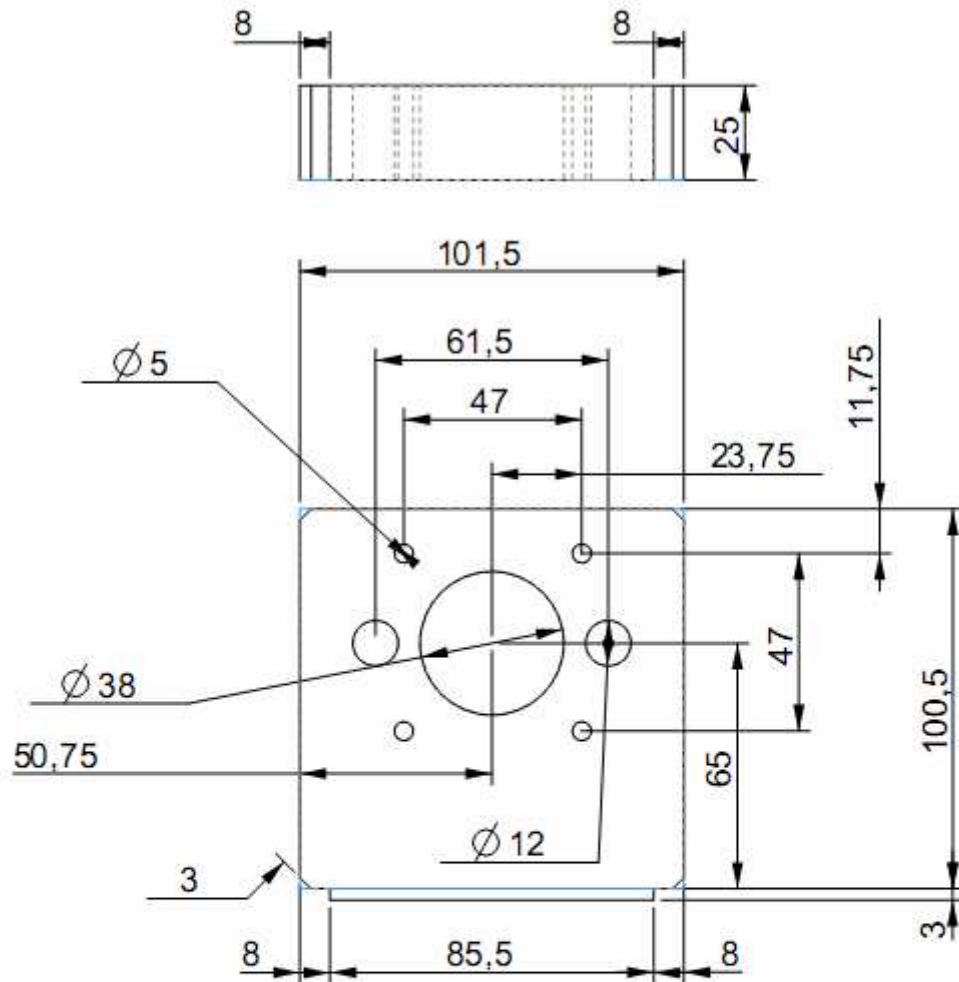
11.12. Anexo 12: Máscara da placa Relé



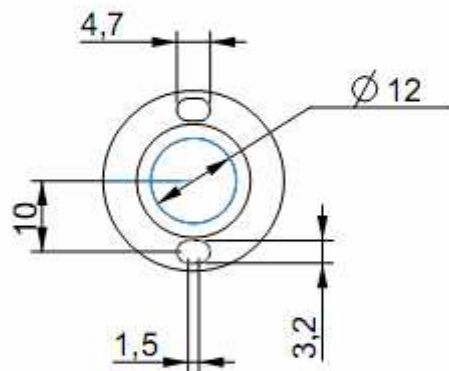
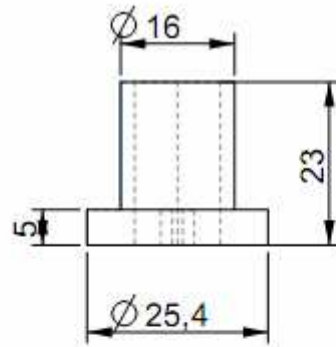
11.13. Anexo13: Drawing da mesa de fixação



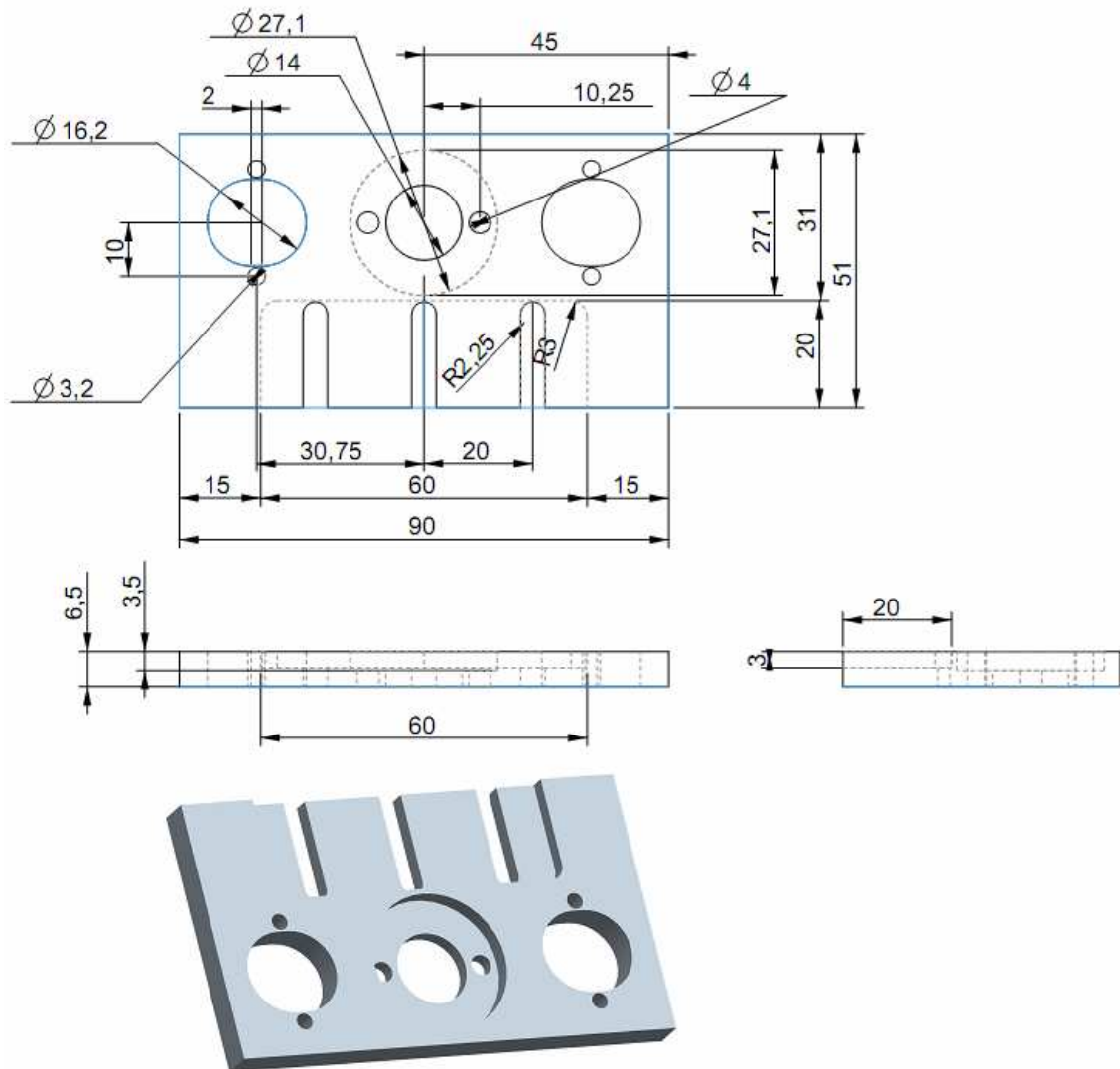
11.14. Anexo 14: Drawing do mancal de fixação lado do motor



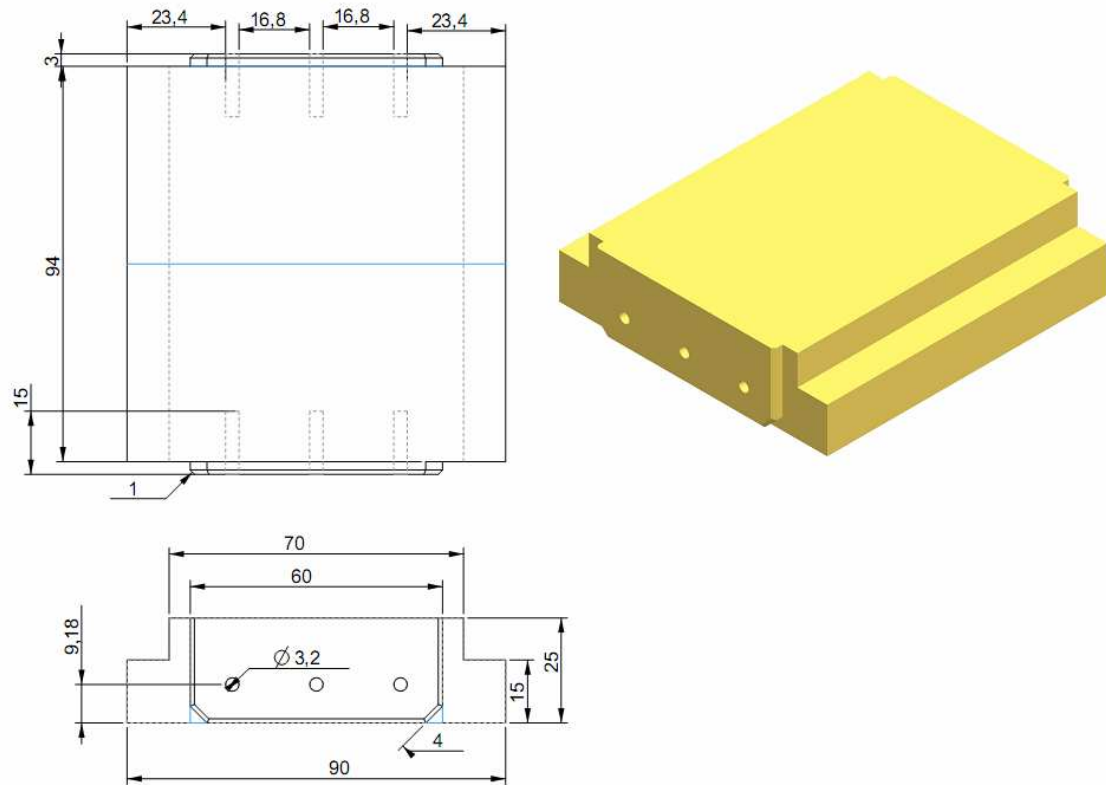
11.16. Anexo 16: Drawing da bucha de deslizamento



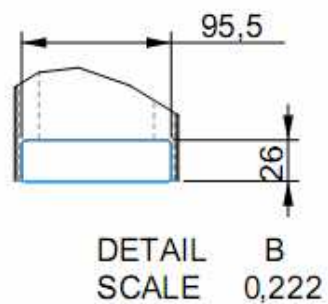
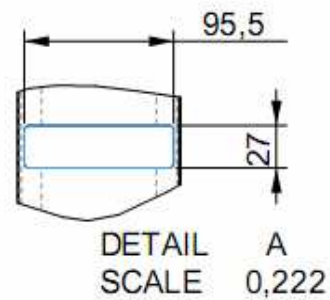
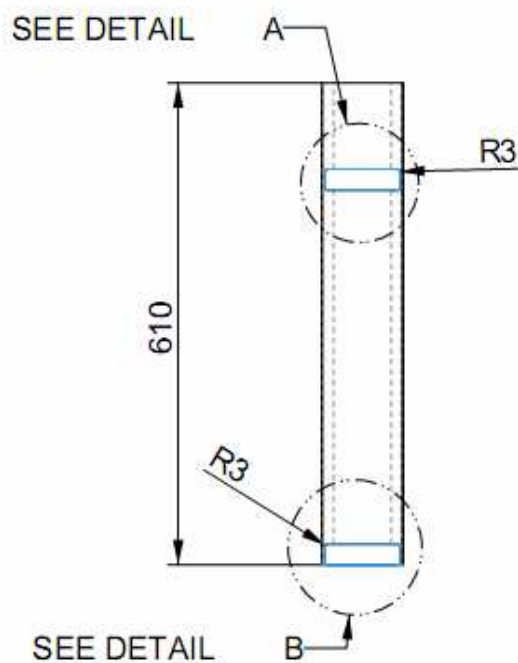
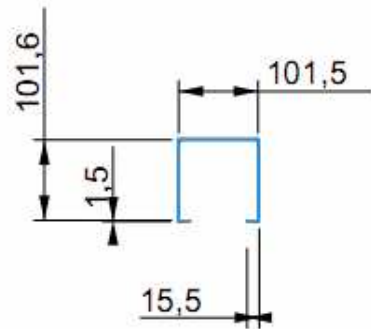
11.17. Anexo 17: Drawing da base de sustentação



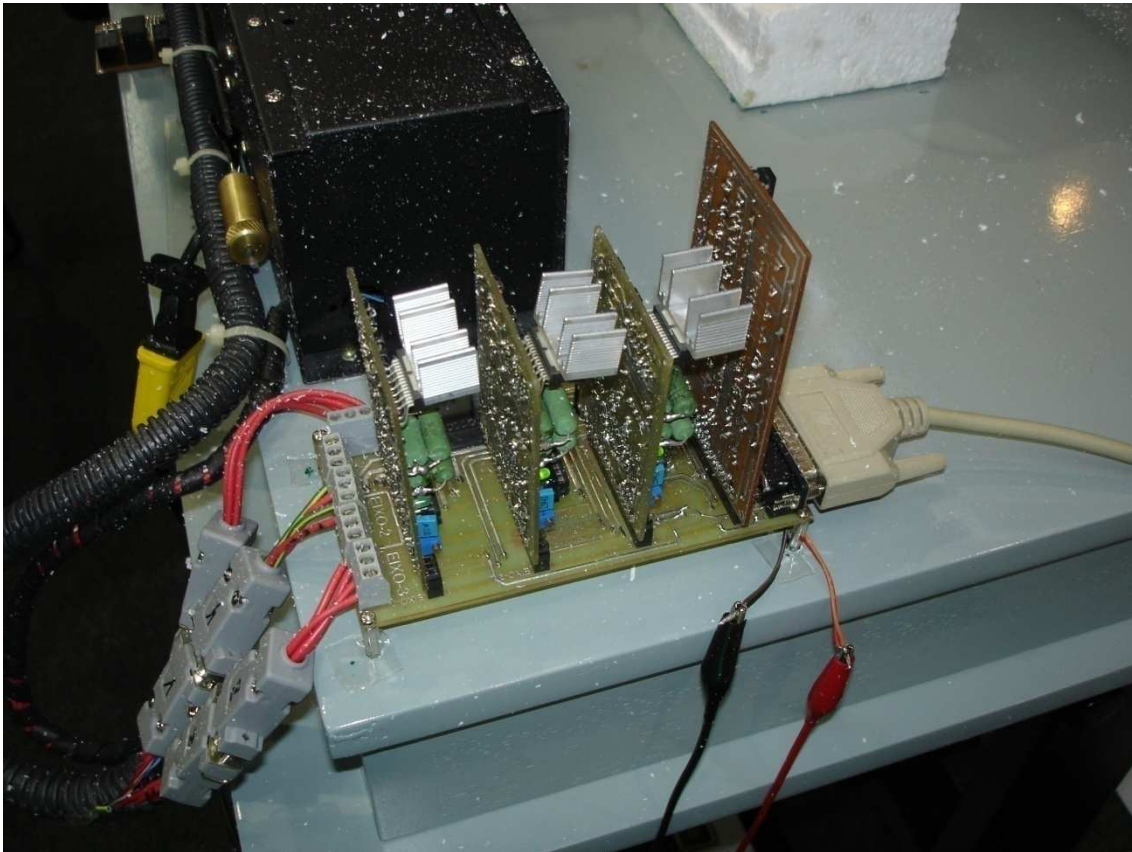
11.18. Anexo 18: Drawing do suporte de fixação



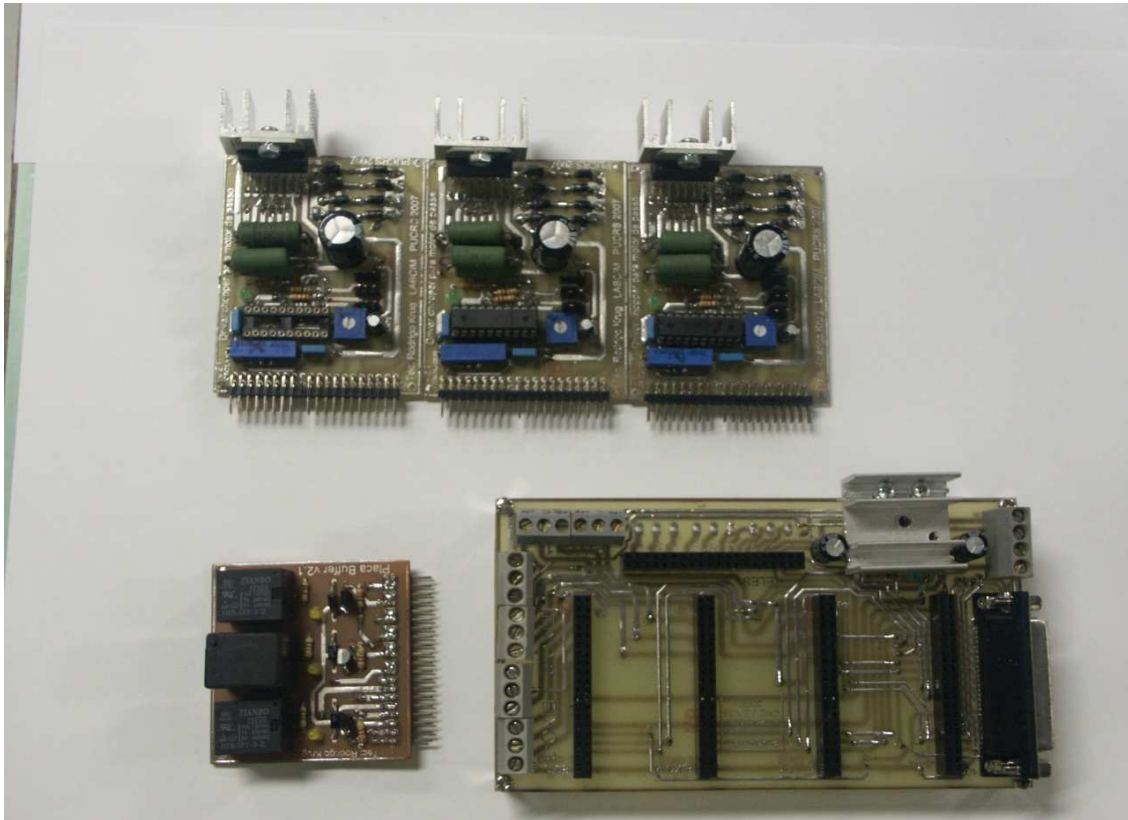
11.19. Anexo 19: Drawing da capa de proteção



11.20. Anexo 20: Imagem do sistema elétrico desenvolvido



11.21. Anexo 21: Imagem do sistema elétrico desenvolvido



11.22. Anexo 22: Imagem da máquina finalizada

