

Instituto Federal de Santa Catarina: Câmpus Florianópolis
Departamento de Metal Mecânica
Engenharia Mecatrônica

Prof. Gregory Chagas da Costa Gomes, prof. Nelso Gauze Bonacorso, prof. Claudio
Abilio da Silveira, prof. Evandro Bolzan

Henrique T. Moresco, Lucas M. Mendes, Matheus R. Willemann

Parvus Eternus

Retrofit de Máquina

Av. Mauro Ramos, 950 – Centro, Florianópolis
16 de março de 2022

Sumário

| | | |
|-----|--|----|
| 1 | Definição do Problema | 2 |
| 1.1 | Retrofit de Máquina | 2 |
| 1.2 | Objetivos e Resultados Esperados | 2 |
| 2 | Requisitos e Especificações do Projeto | 4 |
| 3 | Lista de Componentes | 5 |
| 3.1 | Componentes Mecânicos | 5 |
| 3.2 | Componentes Elétricos | 5 |
| 3.3 | Mudanças em relação ao projeto inicial | 6 |
| 4 | Projeto Elétrico | 7 |
| 5 | Projeto Mecânico | 14 |
| 6 | Configuração de <i>Software</i> | 19 |
| 6.1 | Configurações de Entradas e Saídas | 19 |
| 6.2 | Configuração da HAL | 21 |
| 6.3 | Layout da Máquina | 22 |
| 6.4 | Alternativas Consideradas | 22 |
| 7 | Implementação Física | 23 |
| 7.1 | Fixação de Componentes | 23 |
| 7.2 | Testes de Componentes | 24 |
| 8 | Manual de Operação | 27 |
| 8.1 | Preparação da Maquina | 27 |
| 8.2 | Ligar Sistema | 27 |
| 8.3 | Iniciar LinuxCNC | 28 |
| 8.4 | Movimentar máquina | 28 |
| 8.5 | Situações de Emergência | 29 |
| 9 | Resultados Atingidos no Projeto | 30 |
| 9.1 | Objetivos Realizados | 30 |
| 9.2 | Pontos de Melhoria Restantes | 32 |
| 10 | Conclusão | 35 |
| 11 | Referências Bibliográficas | 36 |

1 DEFINIÇÃO DO PROBLEMA

1.1 Retrofit de Máquina

O desafio do projeto consistia no *retrofit* de uma máquina de corte a laser, a qual inicialmente encontrava-se com a fiação não identificada, sensores mal posicionados, *drivers* de deslocamento dessincronizados e sem qualquer documentação para entendimento e operação do equipamento.

Além disso, um dos principais pontos desse projeto é a migração do sistema de operação, o qual inicialmente era Mach 3 e precisava ser trocado para LinuxCNC. Isso implica em adaptações no *hardware* e implementação de *software*.



Figura 1 – Máquina antes do *RetroFit*

1.2 Objetivos e Resultados Esperados

Tendo em vista que este é um projeto de *retrofit*, o principal objetivo era tornar a máquina de corte a laser funcional novamente, para que pudesse realizar processos de usinagem de forma precisa. Além disso, alguns aspectos adicionais são fundamentais e foram considerados como objetivos do projeto.

Dito isso, seguem abaixo os principais objetivos e aspectos do projeto de *retrofit*:

- Maquina de corte a laser com deslocamento em 2,5 eixos, sendo o deslocamento em X e Y usado para o processo de corte e o eixo Z para regulagem de altura e foco do laser;
- Adaptação do sistema e substituição da placa controladora para que o sistema opere com LinuxCNC;
- Tornar máquina mais fácil de ser utilizada, através de uma melhora na interface e desenvolvimento de um procedimento operacional padrão e um manual de operação;

- Maior precisão no processo, melhorando o sistema de sensoreamento;
- Melhora nos aspectos de segurança da máquina, tanto no que diz respeito à mecânica, quanto ao circuito.

2 REQUISITOS E ESPECIFICAÇÕES DO PROJETO

Os requisitos levantados para o *retrofit* da máquina, inicialmente, foram:

- Marcar madeira - De acordo as especificações do laser e como já era utilizado antes do *retrofit*;
- Volume de trabalho de pelo menos 22cm por 22cm (inicial de 22cm por 17cm);
- Documentação do esquema elétrico;
- Identificação de componentes e fios utilizando anilhas;
- Alimentação geral: 220V; *drivers*: 42V; placa: 5V; laser: 12V periféricos: 24V;
- Painel elétrico mais seguro, com tampas nas canaletas e suportes para os componentes fixados;
- Interface clara de uso, com botões e sinaleiras;
- Novo arranjo de sensores de fim de curso e *home*, evitando colisões e melhorando durabilidade e precisão do sistema.
- Sensores ópticos como sensores de *home*, para que não haja contato físico durante a movimentação dos eixos.

Assim, a lista final de especificações ficou:

| Especificação | Valor |
|---|-------------|
| Potência do laser | 2,5W |
| Volume de trabalho | 22cm X 22cm |
| Alimentação: <i>Drivers</i> | 48V |
| Alimentação: Placa | 5V |
| Alimentação: Laser | 12V |
| Alimentação: Periféricos | 24V |
| Sensores <i>home</i> sem contato físico | |
| Identificação e documentação | |
| Elementos de segurança e suporte | |

Tabela 1 – Especificações

3 LISTA DE COMPONENTES

3.1 Componentes Mecânicos

| Componente | Nome | Tipo | 1 Volta do Motor |
|---------------------------|-------------------|-----------|------------------|
| Guias de trilho | 3856697 | Movimento | 70mm Y 66mm X |
| Guias de fusos de esferas | | Movimento | 5mm |
| Amortecedor p/ porta (2) | Hardt 50N | Movimento | |
| Contato p/ home (3) | Chapa de aluminio | Suporte | |
| Suportes p/ sensores (9) | Peça impressão 3D | Suporte | |

Tabela 2 – Componentes Mecânicos

3.2 Componentes Elétricos

| Componente | Nome | Tipo | Tensão de Trabalho | Corrente |
|----------------------|-------------|----------|--------------------|----------|
| Fonte <i>Drivers</i> | Akiyama300W | Potência | 220V -> 42V | 7,1A |
| Fonte 24V | S25-24 | Potência | 220V -> 24V | 1,1A |
| Fonte 5V | NES-15-5 | Potência | 220V -> 5V | 3A |
| Fonte 12V | MCM12V | Potência | 220V -> 12V | 5A |

Tabela 3 – Fontes

| Componente | Nome | Tipo | Tensão de Trabalho | Corrente |
|------------------------|-----------------|-------------|--------------------|-------------|
| Motores (4) | AK23/10F8FN1.8 | Acionamento | 5.4V(S)/2V(P) | 1A(S)/2A(P) |
| Laser de corte | Módulo laser | Acionamento | 12V | 208mA |
| Drivers (4) | STR8-5000-158 | Potência | 24V a 75V | 2.5A a 8A |
| Fusíveis (4) | | Segurança | | 7A |
| Disjuntor | K32a1c20 | Segurança | 220V | 16A |
| Contadora | CJX2-1810z | Sinal | 220V-sinal 24V | 18A |
| Relés | JZD1RC3 | Sinal | 24V | 6A |
| Botão com LED | M20-1B M20-IL | Sinal | 24V | <20mA (LED) |
| Sensores mecânicos (6) | Uso padrão NC | Sinal | 1A | 125Vac |
| Botão Cogumelo | sa1000 | Sinal | 10A | 660V |
| Botões comuns (2) | LA39J-11B | Sinal | 600Vac | 10A limite |
| Chave geral | | Sinal | 220V | 16A |
| Sensores Opticos (3) | PHCT203 | Sinal | 30V e 6V | 60mA e 70mA |
| Soquete dos Reles | PRT8M-1 | Suporte | 12V a 24V | 6A |

Tabela 4 – Componentes Elétricos

3.3 Mudanças em relação ao projeto inicial

Após as listas anteriores terem sido consolidadas, e durante a execução do projeto, surgiram outras mudanças e adaptações que precisaram ser feitas nos componentes. Foram elas:

1. A fonte de alimentação dos *drivers* anteriormente era de 48V modelo 'SCN-800-48', mas foi substituída por 2 fontes de 42 V, 300 W Akiyama, pois queimou (causa desconhecida);
2. Foi substituído o *driver* do eixo 'B' por outro de mesmo modelo, pois o original estava inoperante (sem código de erro, mas nenhuma movimentação nos eixos quando comandado de forma idêntica aos outros, o *driver* funcionava somente no modo *self-test*).

4 PROJETO ELÉTRICO

A partir dos componentes definidos anteriormente, o projeto elétrico consiste no painel onde estão alocados e na sua conexão com os atuadores, componentes mecânicos e o operador. O projeto deste painel está dividido em 4 páginas:

- Alimentação → Rede, fontes de alimentação, parte de potência dos drivers, motores e laser;
- Sensores → sensores e circuitos auxiliares de indicação de falha;
- Atuadores → parte de sinal e acionamento dos *drivers* e ventiladores;
- IHM → Placa LinuxCNC, botões do painel e bobinas dos relés;

Antes de apresentar as páginas vale destacar que o circuito de operação dos sensores foi previamente testado em bancada. Já os demais circuitos tem como base o painel inicial da máquina. Para a montagem foi usado o software *QEletroTech*, consultando como fazer nos manuais em [2](#).

∞

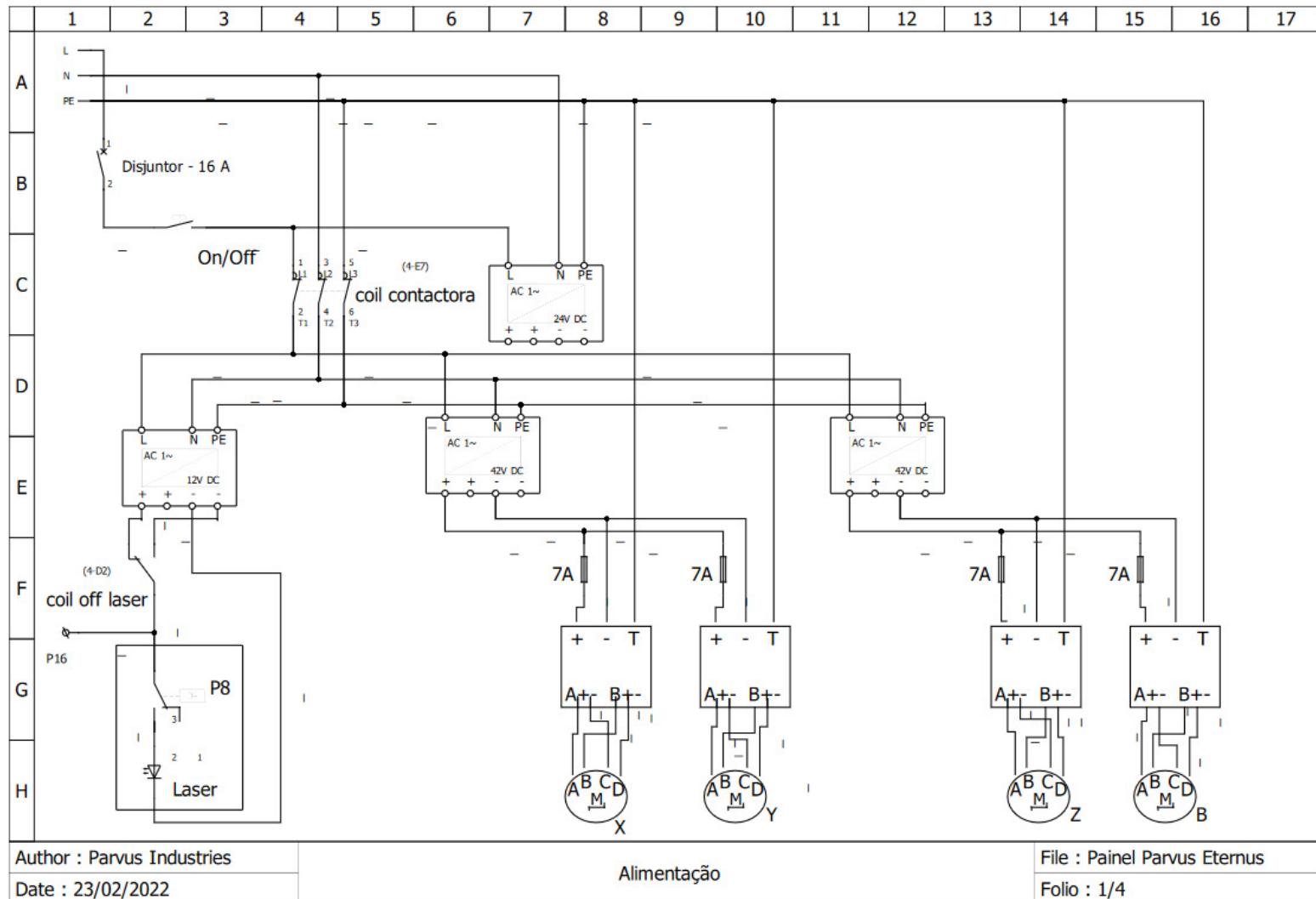


Figura 2 – Pagina 1 - Alimentação

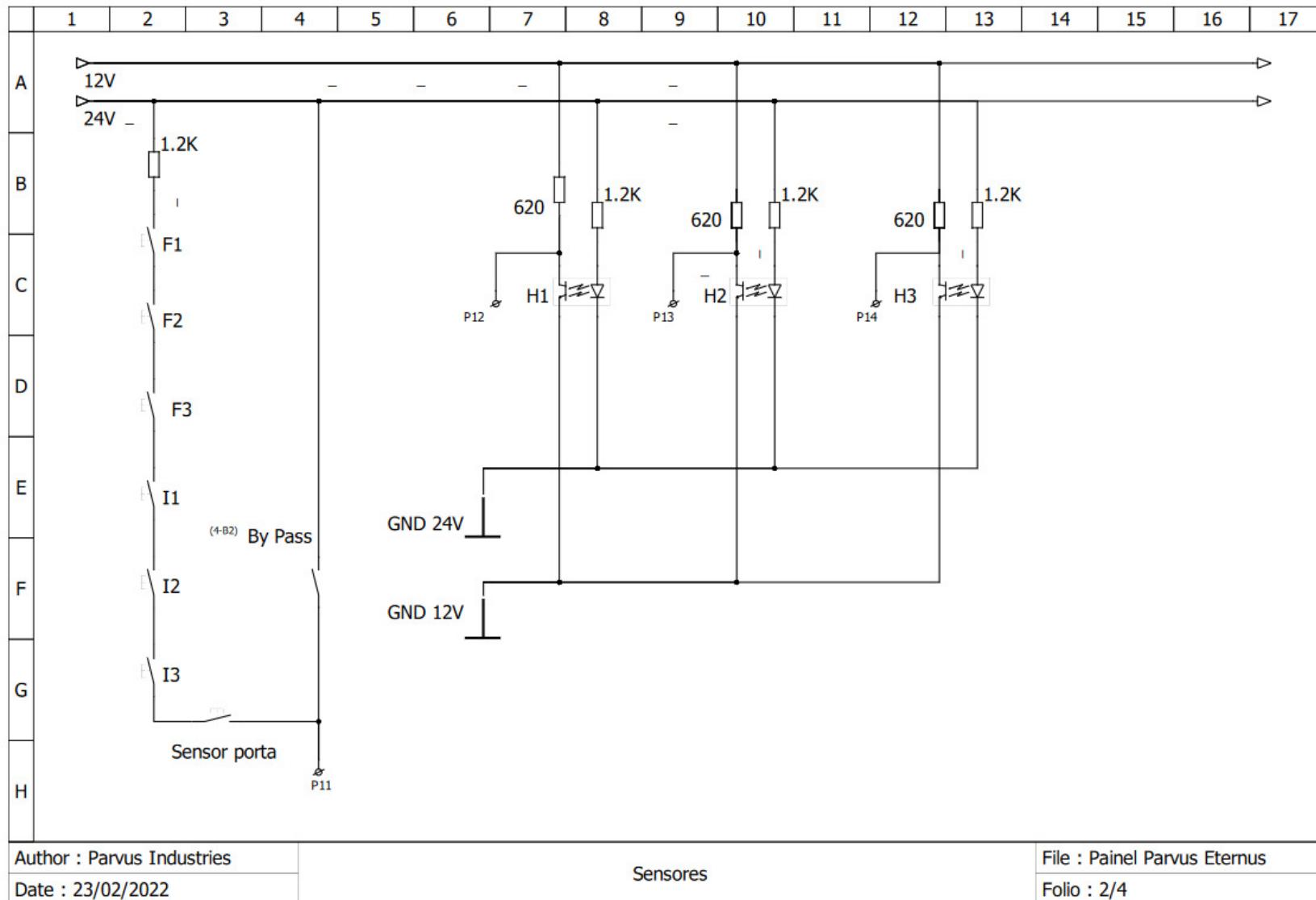


Figura 3 – Pagina 2 - Sensores

10

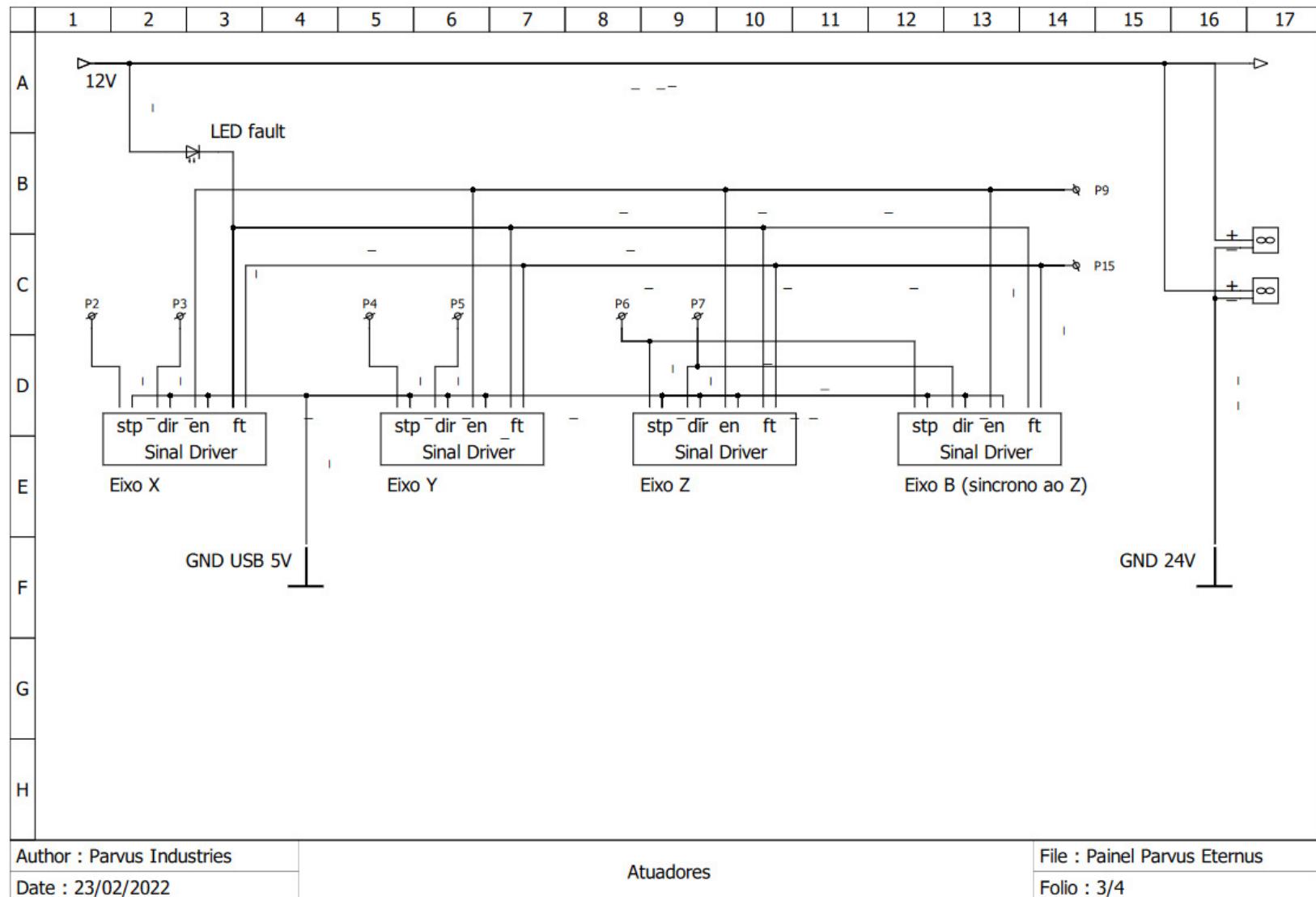


Figura 4 – Pagina 3 - Atuadores

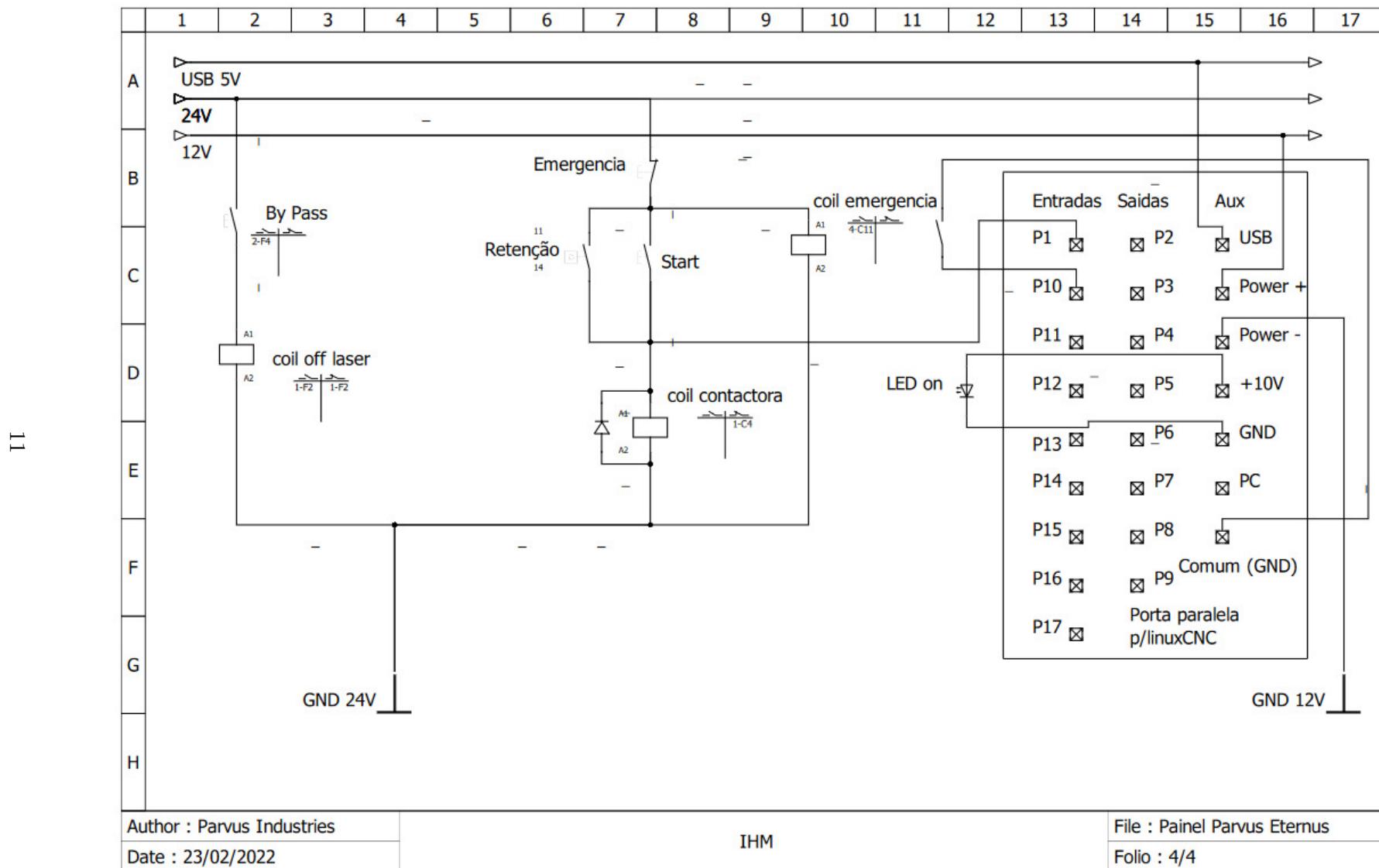


Figura 5 – Pagina 4 - IHM

Dentro do projeto elétrico vale ressaltar, na parte de alimentação (figura 2), que para energizar as fontes de 42V e a de 15V, responsáveis pelo acionamento do laser e motor, é preciso chavear a contactora apertando o botão de *start* da máquina. Outro ponto importante do circuito é a ligação em série dos sensores de inicio e fim de curso (na página 3), permitindo que, assim que qualquer um deles seja desarmado, seja interrompido o sinal no pino P11 e o LinuxCNC perceba a que um limite de operação foi violado.

Na parte de acionamento dos *drivers* (figura 4) vale destacar que o do eixo B recebe sinais síncronos ao do eixo Z, visto que os dois comandam os motores que movem os fusos reguladores da altura do laser. Além disso, um outro aspecto importante do projeto é o papel do botão de emergência (na página 3), quando pressionado ele desenergiza as fontes de 15V e 42V, dessa forma os motores e laser param de funcionar, mas a placa de interface segue ativa para que o operador possa identificar o problema que causou a emergência.

Finalmente, com o esquema elétrico bem definido, tem-se abaixo a disposição física prévia dos componentes na caixa de comandos e o painel após a montagem:

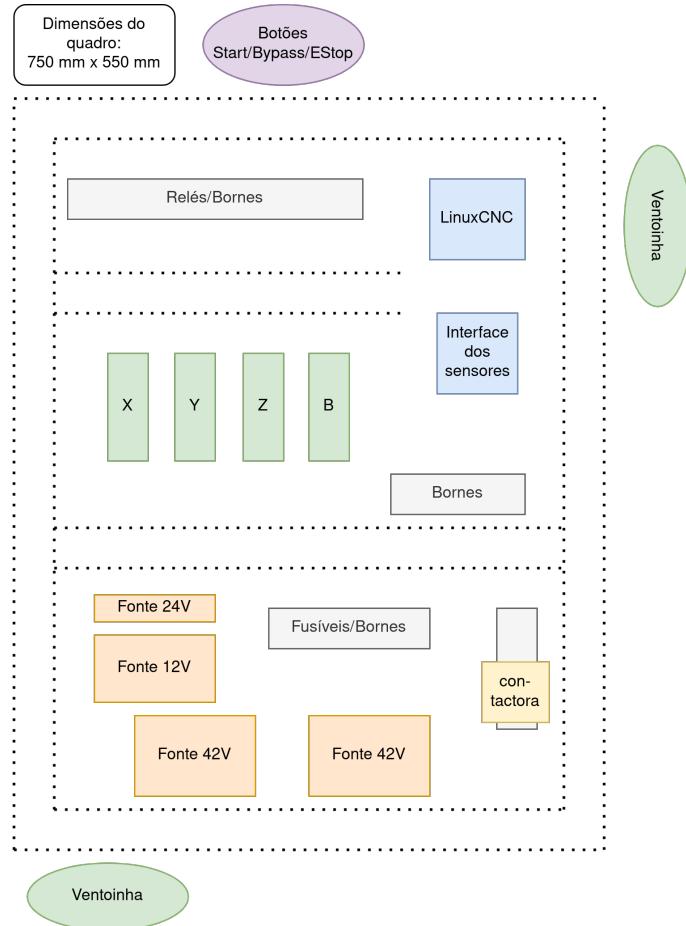


Figura 6 – Arranjo dos componentes no espaço físico do gabinete

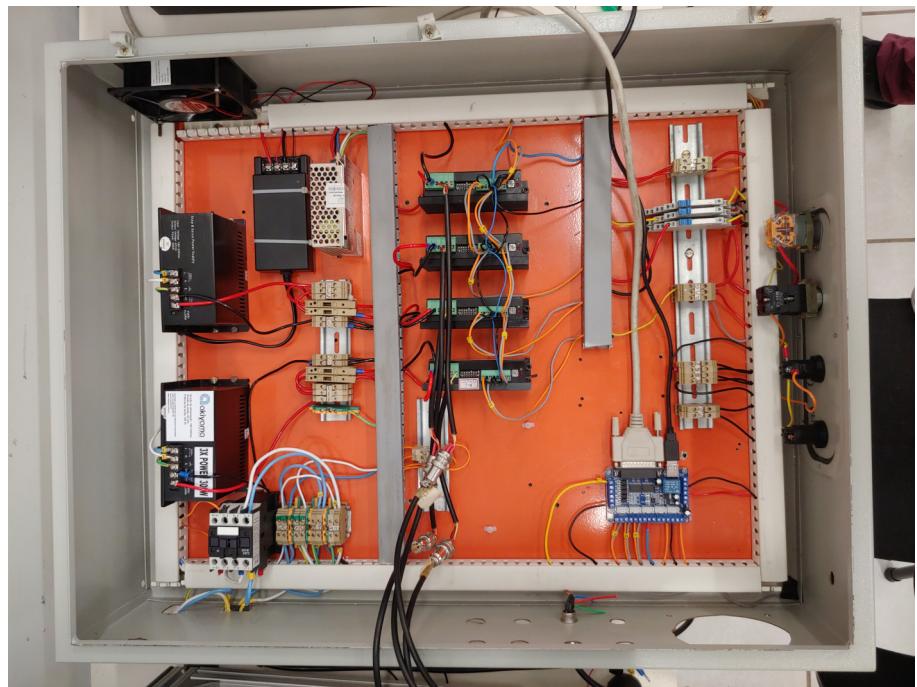


Figura 7 – Painel elétrico montado

5 PROJETO MECÂNICO

No que diz respeito à porção mecânica do projeto, foram levantados itens individuais que deveriam ser trabalhados. Estes estão listados abaixo, junto com suas explicações, as opções de solução, e a solução escolhida e implementada para cada caso.

1. Rever sensores de fins de curso e *home*:

- Os sensores antigos da máquina, tanto de *home* quanto de fim de curso, eram todos mecânicos de chave simples, sem rolete, e estavam posicionados de forma não ideal, causando mais impacto mecânico do que necessário nos suportes e nos próprios sensores;
- As soluções pensadas foram, para os sensores *home*, de substituí-los por sensores sem contato físico no acionamento, podendo ser sensores indutivos, capacitivos, ou ópticos;
- Para os fins de curso, foi pensado num sistema com sensores ainda mecânicos, porém com rolete, e onde fosse alterada a parte do carro que encosta no rolete para que esse contato fosse feito por um plano inclinado, de forma a reduzir o impacto. Além disso, foi também pensado em utilizar os mesmos sensores simples antigos, porém reposicionando-os de forma que o movimento do carro fosse tangencial ao botão do rolete, também reduzindo o impacto;
- Assim, as soluções escolhidas foram: O uso de sensores ópticos para os *home*, por serem sensores menores e mais baratos, além de não serem prejudicados pelo tipo de operação da máquina; E para os fins de curso, foi escolhida a solução que continuava com os mesmos sensores mecânicos antigos reposicionados, também por ser a opção mais barata e simples, sem necessidade de alterações no carro da máquina e sem necessidade de comprar componentes extras;
- Os suportes projetados para os sensores estão ilustrados nas figuras de [9](#) a [13](#).

2. Rever motores/*drivers* do eixo Z:

- O eixo Z da máquina possuía dois motores, posicionados no topo da máquina, que acionam duas guias lineares de fuso de esferas, os quais movimentam a subida e descida da mesa onde fica preso o laser. Além disso, cada um dos motores era controlado por um *driver* distinto. Assim, o desafio era garantir que ambos os motores sempre funcionassem sincronizadamente, com risco de danificar a mesa do laser caso houvesse assincronia durante o movimento;
- As soluções pensadas foram ligar ambos os motores em um único *driver*, retirar um dos motores e um dos *drivers* e ligar os dois eixos das guias lineares por correia sincronizadora, manter o arranjo e garantir a sincronia através do controle por *software* ou ligando a placa controladora em ambos os *drivers* do eixo Z em paralelo;
- Ambas as ideias, de ligar os motores em um único *driver* e de acionar ambas as guias com um único motor, envolveriam pesquisar e entender melhor os motores e a forma como eles estavam ligados aos *drivers*, de forma a decidir se seria melhor ligá-los em paralelo ou em série, ou descobrir se um único motor teria capacidade de gerar o torque necessário para acionar duas guias; Além de que as duas soluções envolveriam mudanças físicas maiores e adição de novas peças à montagem da máquina;

- Sincronizar os *drivers* apenas conectando os sinais de passo e direção deles em paralelo era a solução mais prática, uma vez que não envolveria nenhuma mudança direta do projeto antigo, especialmente em vista que os usos anteriores da máquina não encontraram problemas nesse quesito, e considerando que os motores são de passo e que é o eixo de menor movimentação, o que reduz muito a chance de assincronia; Assim, esta foi a solução escolhida.

3. Montagem do painel elétrico na máquina e da fiação entre eles:

- A máquina e o gabinete do painel elétrico eram dois objetos grandes e soltos um do outro, o que dificultava muito o transporte do projeto e causava mais necessidade de espaço onde ele fosse montado. Além disso, os cabos entre as duas partes eram excessivamente longos e mal dimensionados;
- Disso, foi percebida a necessidade de modificar de alguma forma a relação física entre o gabinete e a máquina;
- As soluções desejadas eram de transferir o painel para um gabinete menor, fixá-lo em uma das laterais da máquina, e refazer a fiação entre os dois, usando conectores, trilho porta-cabos e protetores de cabo adequados;
- Foi notado que trocar o gabinete por outro menor seria inviável, devido a impossibilidade de reduzir o tamanho total do painel significativamente. Porém, os outros pontos almejados continuaram como objetivos.

4. Melhorar área de trabalho:

- A área de trabalho da máquina, limitado pelos fins de curso, era, inicialmente, retangular (22cm no eixo X por 17cm no eixo Y) e não aproveitava bem o espaço interno dos perfis de alumínio por ineficiência na montagem das guias do eixo Y. Foi notado também que o motor acionador do eixo X estava excessivamente afastado do eixo da guia, causando precarização da montagem do acoplamento dos eixos, devido ao tamanho não ideal da flange dessa ligação, que causava colisão do motor com a chapa traseira da máquina;
- Para aumentar o curso do eixo Y no sentido para frente da máquina, a solução foi de desparafusar a base das guias nos perfis laterais e trazer a montagem dos eixos em si alguns centímetros para frente, fixando novamente após a mudança;
- Para aumentar o curso do eixo Y no sentido para a traseira da máquina, foram pensadas algumas soluções: usar uma caixa de acoplamento angular para reposicionar o motor a 90° da posição original; usar um jogo de duas rodas dentadas e uma correia sincronizadora para reposicionar o motor a 180° da posição original; ou usinar a flange original de forma a aproximar o motor da guia o máximo possível;
- Como todas as soluções envolviam alterações na flange, e as duas primeiras envolviam adquirir peças novas (e possivelmente não resultariam em ganho suficiente de curso devido ao tamanho de tais peças), foi decidido pela utilização da terceira solução, que manteria o uso dos componentes antigos porém resolveria os problemas de espaço. A situação inicial da flange está mostrada na figura 8

5. Melhorar tampa da máquina:

- A carcaça da máquina possui duas tampas: uma no topo, para acessar o laser, e uma na frente, para introduzir ou retirar o objeto a ser usinado. Nenhuma das

duas era acionada, e a principal (frontal) tinha dobradiças simples e era fechada manualmente, e mantida fechada por parafusos com porcas do tipo para perfil de alumínio (sem estas travas, a porta cairia pela ação da gravidade);

- Assim, foi visto necessidade de melhorar de alguma forma a maneira com que a porta principal operava. As soluções pensadas foram de trocar a tampa por uma porta de correr que corresse lateralmente ou verticalmente, ou acionar a porta com pistões pneumáticos e uma eletroválvula, ou utilizar pistões à gás não-acionados (do tipo usado em portas de armário de cozinha) para amortecer o movimento e manter a porta fechada;
- Com o objetivo de manter as mudanças ao mínimo, principalmente evitando a necessidade de incluir um sistema de alimentação de ar comprimido para o uso de eletroválvulas e pistões pneumáticos, foi escolhida a solução com pistões à gás não-acionados, que só necessitariam da compra e instalação de dois pistões de amortecimento na porta antiga.



Figura 8 – Montagem antiga da flange de conexão motor-guia

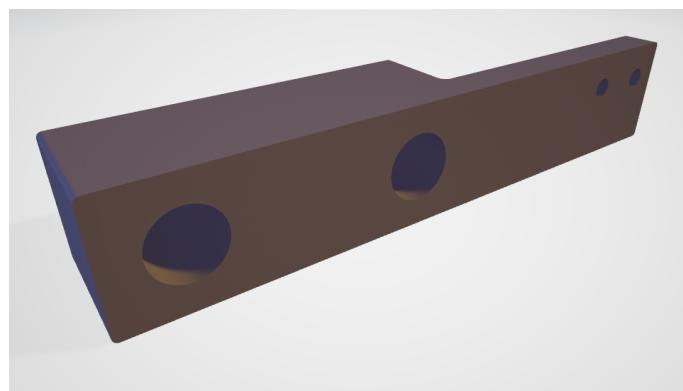


Figura 9 – Suporte para fim de curso - Lado direito

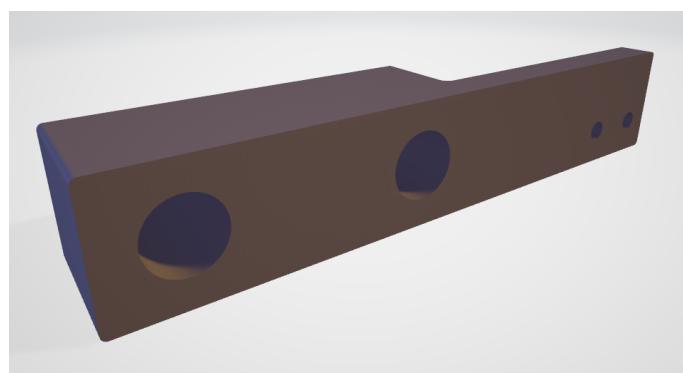


Figura 10 – Suporte para fim de curso - Lado esquerdo

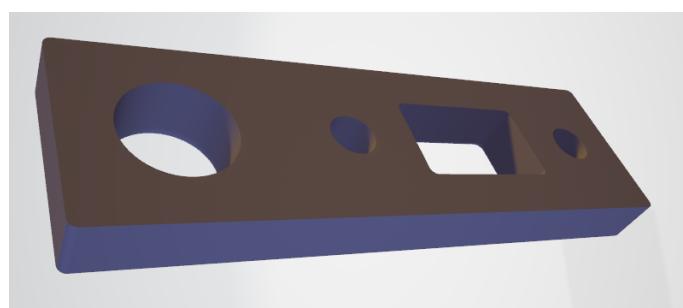


Figura 11 – Suporte para sensor *home* - Eixo X

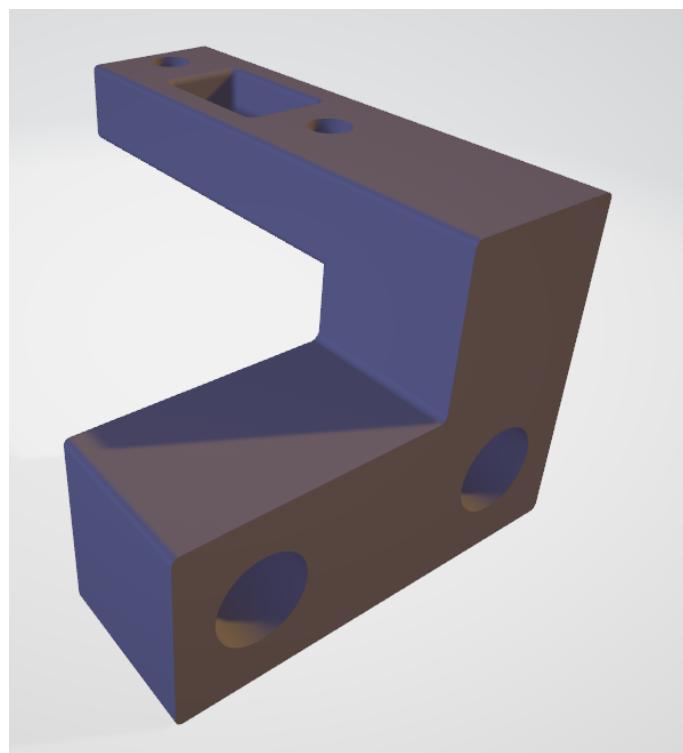


Figura 12 – Suporte para sensor *home* - Eixo Z

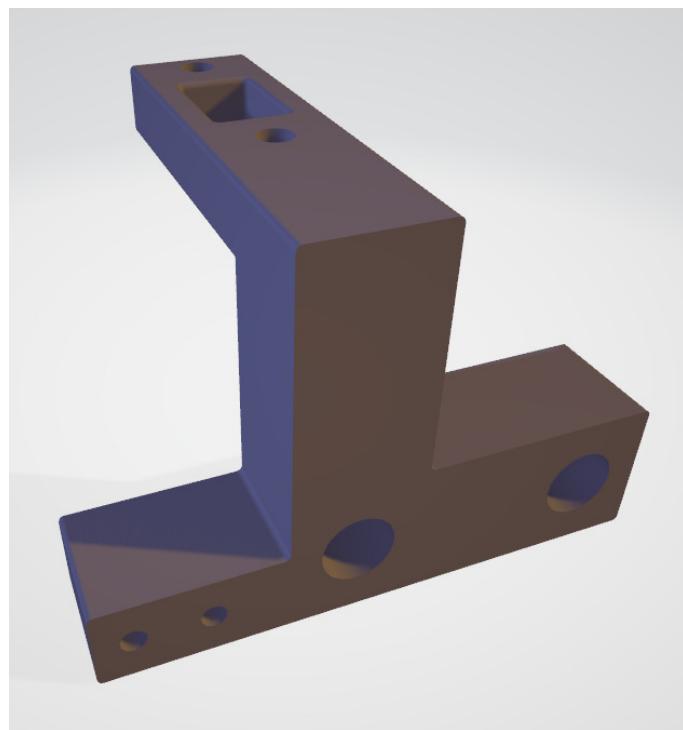


Figura 13 – Suporte para sensor *home* e fim de curso - Eixo Y

6 CONFIGURAÇÃO DE SOFTWARE

Da parte de software, o principal componente utilizado foi o sistema operacional LinuxCNC, na plataforma x86_64 (PC), que controla/comanda a máquina por meio de uma interface tipo porta paralela.

Sua configuração é composta principalmente por parâmetros que descrevem os eixos da máquina e suas interfaces, como:

- Dimensões dos eixos e/ou volume de trabalho, velocidade máxima de trabalho, dimensão do passo;
- Configuração dos eixos (cartesianos, rotativos, delta, etc);
- Configuração dos pinos de comunicação.

6.1 Configurações de Entradas e Saídas

A principal forma que o LinuxCNC envia e recebe sinais da máquina é através de uma ou mais portas paralelas. A porta paralela possui diversas configurações padrão, que atribuem funções aos pinos, como na tabela 5, que mostra as configurações possíveis para entradas e saídas nos pinos desta interface.

| Grupo | Pino | Layout | | |
|----------|------|--------|-----|-----|
| | | out | in | x |
| Controle | 1 | out | out | in |
| | 2 | out | in | out |
| | 3 | out | in | out |
| | 4 | out | in | out |
| Data | 5 | out | in | out |
| | 6 | out | in | out |
| | 7 | out | in | out |
| | 8 | out | in | out |
| | 9 | out | in | out |
| | 10 | in | in | in |
| Status | 11 | in | in | in |
| | 12 | in | in | in |
| | 13 | In | in | in |
| Control | 14 | out | in | in |
| Status | 15 | in | in | in |
| Control | 16 | out | out | in |
| | 17 | out | out | in |

Figura 14 – Configurações porta serial, fonte: [1](#)

Tabela 5 – Configurações porta serial

Após avaliada a demanda por sinais de entrada e saída, a configuração final obtida foi:

| Nome Pino | E/S | Porta da placa | Observação |
|--------------------|-----|----------------|---|
| Botão <i>Start</i> | in | 1 | <i>Cycle start</i> |
| Passo X | out | 2 | |
| Direção X | out | 3 | |
| Passo Y | out | 4 | |
| Direção Y | out | 5 | |
| Passo Z | out | 6 | |
| Direção Z | out | 7 | |
| Laser | out | 8 | |
| <i>Enable</i> | out | 9 | Configurado como ESTOP OUT invertido |
| ESTOP | in | 10 | Botão, Invertido |
| Intertravamento | in | 11 | or de todos as formas de erro, LinuxCNC: all-limits |
| <i>Home X</i> | in | 12 | Ótico |
| <i>Home Y</i> | in | 13 | Ótico |
| <i>Home Z</i> | in | 14 | Ótico |
| <i>Fault</i> | in | 15 | 'Ou' com estop |

Tabela 6 – Pinos de entrada e saída

6.2 Configuração da HAL

A Configuração das entradas e saídas da máquina foi feita principalmente por meio da ferramenta **stepconf**, incluída com o ambiente do LinuxCNC, como na figura 15.

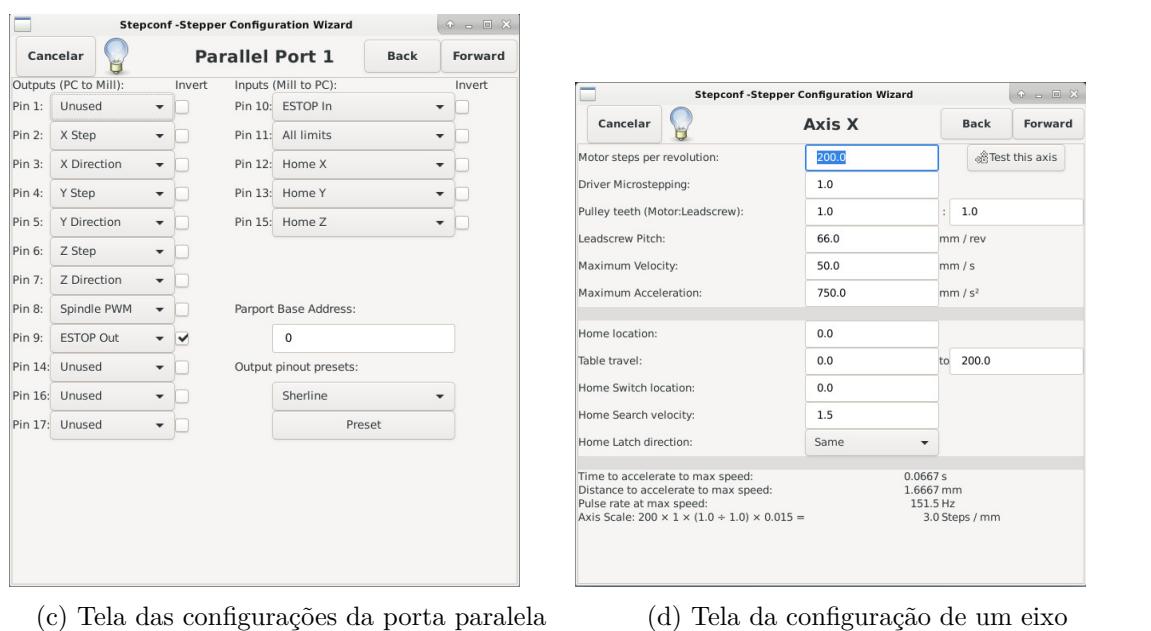
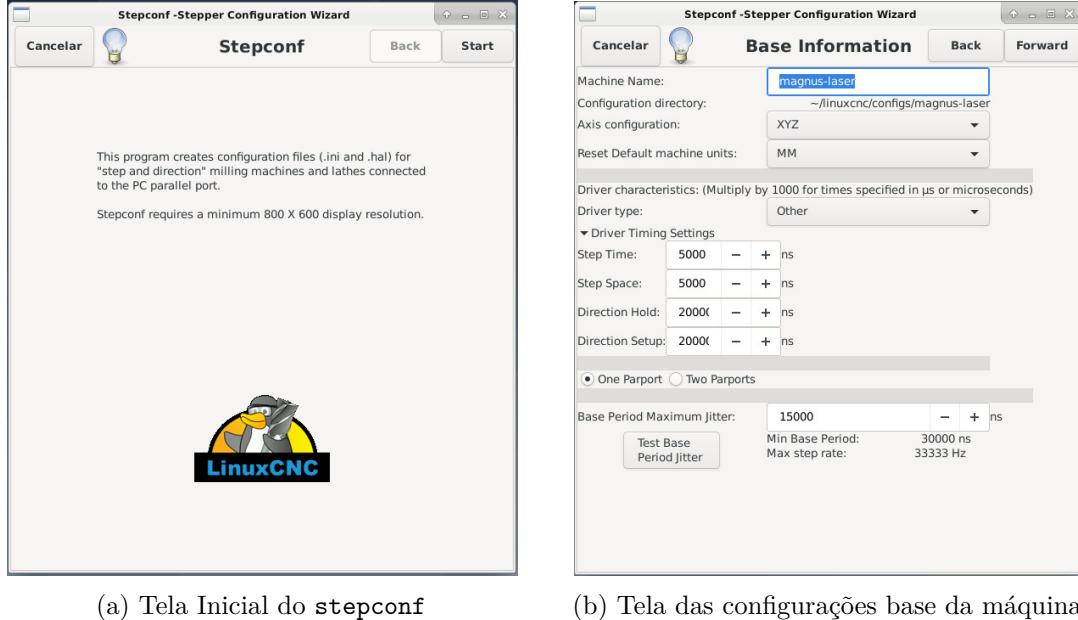


Figura 15 – Principais telas do **stepconf**

A principal alteração feita foi que, como a contagem de entradas e saídas necessárias para esta aplicação somente era compatível com o layout 'X', que não é exposto para uso através da interface gráfica, foi inicialmente gerado a configuração base e depois feito a edição manual dos arquivos HAL para alterar a configuração da porta serial, dos pinos e além disso configurar para que a entrada do sinal de *fault* dos *drivers* esteja conectada em

'ou' com o sinal ESTOP.

No Início do arquivo foi alterado a linha:

```
#loadrt hal_parport cfg="0 out"
loadrt hal_parport cfg="0 X"
```

De modo a alterar a porta serial para o modo 'X'. Para inserir a porta OU citada anteriormente:

```
#####
# manually added
loadrt or2 count=1
addf or2.0 servo-thread

# or all the errors into estop
#
# fault      ----/----/
#           / OR /--- estop
# estop-btn ----/----/
#
net estop-btn or2.0.in0 <= parport.0.pin-10-in
net fault      or2.0.in1 <= parport.0.pin-15-in
net estop-ext <= or2.0.out
#####
#
```

Foi colocado este segmento de código logo ao fim da configuração dos pinos.

A interface escolhida foi a AXIS, mostrada na figura 24.

6.3 Layout da Máquina

Como a máquina possui 3 eixos, foi selecionado uma configuração de 3 eixos, mas na realidade, é mais próximo de uma máquina 2.5 D, que somente opera em planos pré-definidos, pois após ajustado a altura em Z de trabalho, o resto da operação é somente em XY.

6.4 Alternativas Consideradas

Também foi considerado o uso do *machinekit* (*fork* do LinuxCNC) através de uma placa *BeagleBone Black* [5], pois seria possível inserir a placa dentro do painel elétrico da máquina. Devido à falta de suporte oficial e limitações do hardware da *BeagleBone*, foi decidido que não seria viável. A justificativa principal seria que ela possui somente uma CPU de um único núcleo e apenas 1GB de RAM, o que teriam performance insuficiente para uso da interface gráfica em conjunto dos componentes de tempo real do sistema de modo satisfatório.

7 IMPLEMENTAÇÃO FÍSICA

7.1 Fixação de Componentes

A montagem do novo painel elétrico, conforme o esquema desenvolvido, foi feita visando utilizar ao máximo os furos抗igos, apenas abrindo roscas neles (para poder parar de utilizar porcas com os parafusos, facilitando eventual manutenções e trocas de componente) e eventualmente criando novos furos. Poucos dos conjuntos furo/parafuso são de tamanho M3, alguns são de tamanho M5, e a maioria é de tamanho M4.

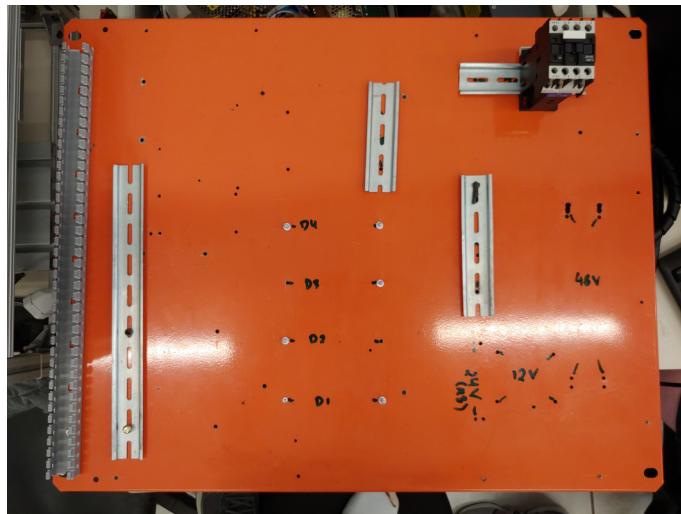


Figura 16 – Painel com componentes removidos

Já dos componentes no interior da máquina, os que foram alterados foram os sensores, como explicado na sessão 5. A impressão 3D das peças de suporte para os sensores foi feita nos laboratórios do IFSC com auxílio do professor Aurélio, e a fabricação dos contato de *home* foi realizada pelos alunos da equipe, com materiais e equipamentos do laboratório de fabricação mecânica da instituição.

Um componente do painel totalmente novo, a fabricação da placa de circuito auxiliar para integração dos sensores foi feita pelos alunos, com materiais do Laboratório de Projeto Integrador, figura 17, e seria fixada no painel de forma similar à placa de integração de LinuxCNC.

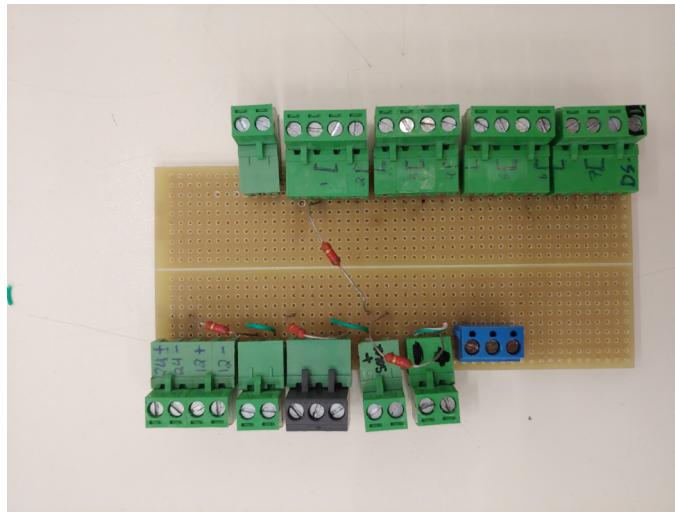


Figura 17 – Placa construída para conexão dos sensores

7.2 Testes de Componentes

Os primeiros testes realizados foram de validação de componentes individuais, como as fontes, as ventoinhas e a contadora. Após montagem parcial do painel, foram feitos testes minimalistas dos *drivers*, utilizando as fontes e um Arduino UNO (com um programa simples de controle de passo e direção) para acionar os motores.

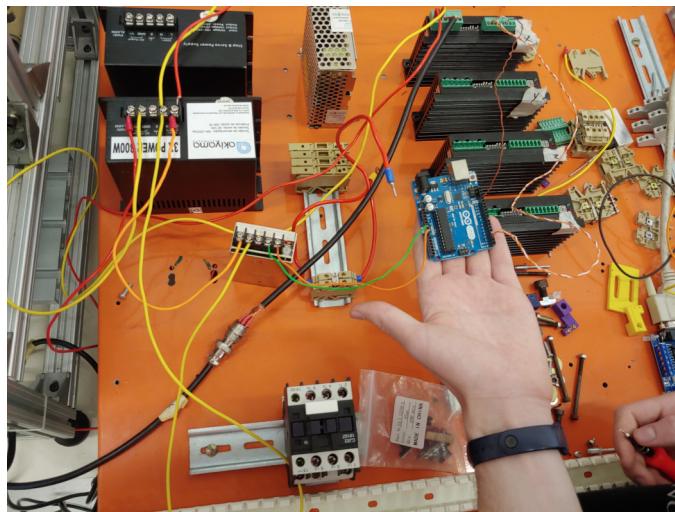


Figura 18 – Processo de teste dos *drivers*

Durante essa etapa, ocorreu a queima da fonte original de 48V, a sua substituição por duas fontes de 42V, foi notado que um dos *drivers* estava com defeito, e foi feita sua substituição por outro de mesmo modelo.

Posteriormente, foi realizado um teste de validação do cabeamento e ligações para os sensores de *home*, ligando um deles diretamente na placa controladora. Figuras de 19 a 21.

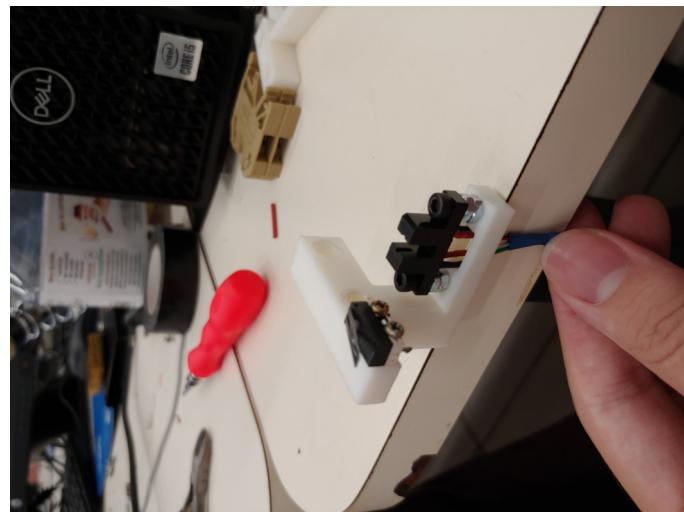


Figura 19 – Montagem do sensor óptico fora da máquina

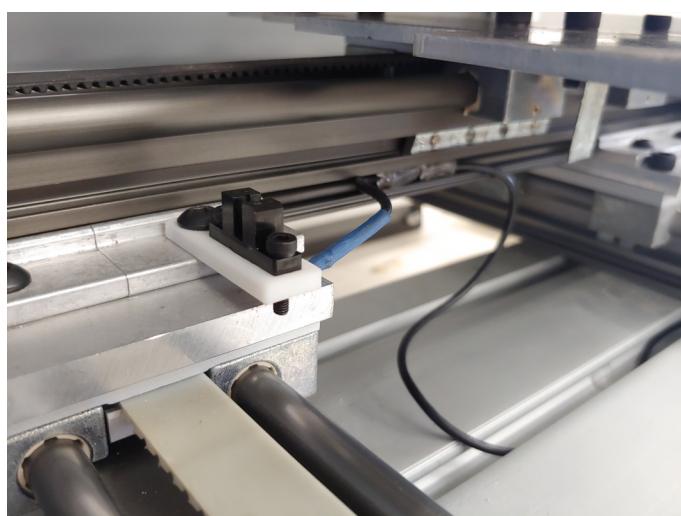


Figura 20 – Montagem do sensor óptico no eixo X

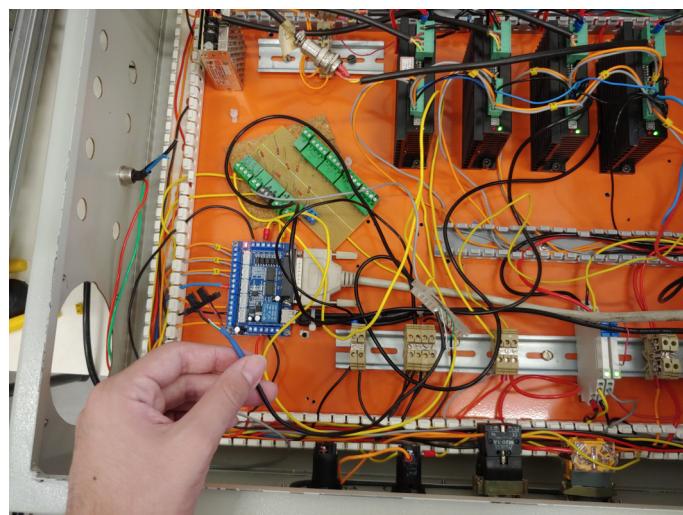


Figura 21 – Processo de teste do sensor óptico

8 MANUAL DE OPERAÇÃO

Essa parte terá instruções do procedimento para ligar e controlar a máquina, com imagens dela montada e também orientações do sistema de segurança.

8.1 Preparação da Maquina

Antes de ligar a máquina é preciso checar se todos os motores e a alimentação do laser estão conectados ao painel, além de verificar se a mesa está posicionada dentro dos limites do fim de curso, caso não esteja é preciso ajustar manualmente.

Com tudo organizado, segue-se para a etapa de conexão da máquina com a rede de energia, para isso basta ligar o plugue na lateral da máquina a uma rede monofásica de 220V, além de conectar a entrada USB no computador com o sistema operacional LinuxCNCao lado da máquina.

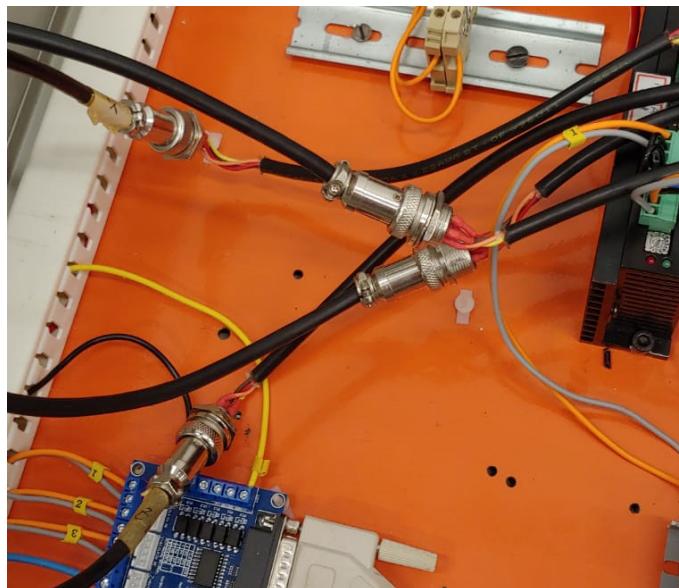


Figura 22 – Ligação dos motores nos *drivers*

8.2 Ligar Sistema

Para energizar a máquina é preciso trocar a posição da chave geral para ligado e rotacionar e liberar o botão de emergência, caso esteja pressionado. Com isso a maquina já terá energizado o circuito auxiliar dos sensores.

Em seguida, é momento de ligar o computador com o sistema operacional LinuxCNCE, só então, apertar o botão de ligar da máquina, que é o botão verde da botoeira. Ao apertar esse botão os *drivers* são ligados, deixando os motores de passo prontos para operação, além disso o laser é alimentado e fica apenas aguardando um comando do sistema operacional para realizar a usinagem a laser.

Com o acionamento realizado, será preciso direcionar esforços para o processo de configuração da usinagem dentro do LinuxCNC.



Figura 23 – Botoeira da máquina

8.3 Iniciar LinuxCNC

Para acessar o sistema de comando da máquina, baseado em LinuxCNC, é necessário:

- Ligar computador e entrar com usuário e senha definidos durante instalação (atualmente 'parvus', 'parvus').
- Clicar o ícone do sistema, chamado de `magnus-laser` que está à área de trabalho, isto irá abrir a interface do sistema.
- Se estiver acionado, desligar botão de emergência
- Ligar a máquina
- Agora a máquina está pronta para operação

8.4 Movimentar máquina

Com a máquina ligada dentro do software é possível realizar a movimentação dos eixos e definir caminhos a percorrer. Para realizar essa movimentação basta usar o menu superior esquerdo para selecionar o eixo e clicar nos botões abaixo dele para movimentar no sentido que for preciso. Na parte inferior é possível regular os principais parâmetros do processo, como velocidade.

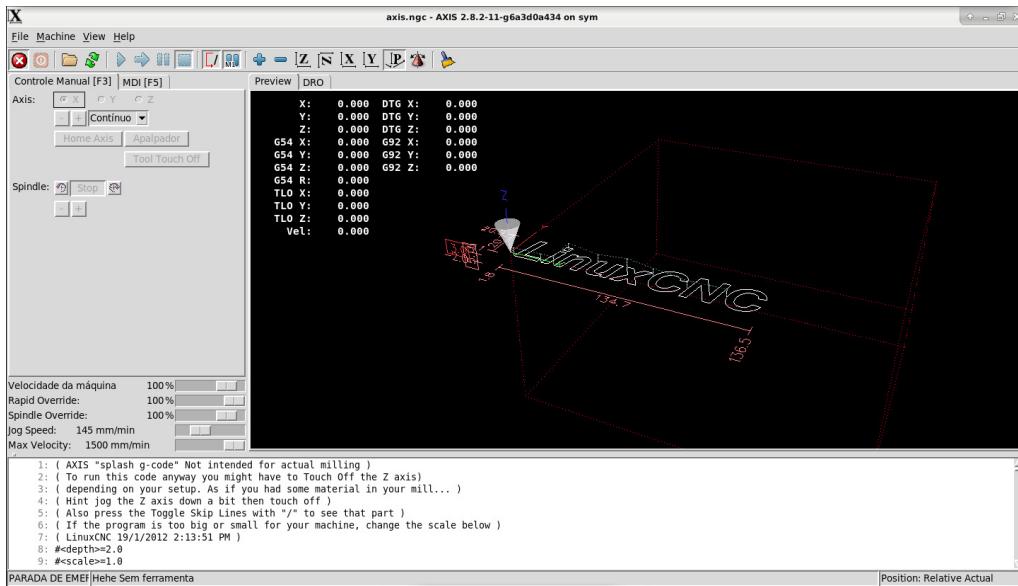


Figura 24 – Interface AXIS

8.5 Situações de Emergência

Caso ocorra algum erro como violação de fim de curso ou sobreaquecimento do material gravado, pode ser preciso uma parada imediada da máquina. Nesse caso, basta apertar o botão de emergência localizado na botoeira vista na figura 23 (botão cogumelo a direita na figura), assim os motores e laser pararão de funcionar.

No caso de uma violação dos fins de curso, pode-se também pressionar, e manter pressionado, o botão de *by pass*. Esse botão cancelará o sinal de que o fim de curso foi violado e desligará o laser, assim o operador pode mover a maquina para uma posição dentro do campo de uso.

9 RESULTADOS ATINGIDOS NO PROJETO

Ao longo do desenvolvimento do projeto, ocorreram diversas pequenas atualizações na lista de objetivos, com alguns sendo modificados, outros adicionados, e alguns deixados de lado por impossibilidade de serem concluídos em tempo hábil dados os prazos estabelecidos, dificuldades enfrentadas por problemas de documentação na máquina recebida, redução do semestre e, em alguns momentos, impossibilidade de trabalho em conjunto devido as restrições impostas pela pandemia. Senso assim, nas sub-sessões abaixo estão listados os objetivos que foram realizados com sucesso, e os que não puderam ser concluídos.

9.1 Objetivos Realizados

Dos pontos e objetivos que foram finalizados, tentou-se detalhar todos nos parágrafos abaixo. Porém é importante destacar que eventualmente, algum detalhe menor, ou que faz parte de outro item, pode não ter sido registrado diretamente aqui.

Os suportes para os sensores, projetados pela equipe como idealizado na sessão [5](#) e impressos em 3D, estão mostrados na figura [25](#).

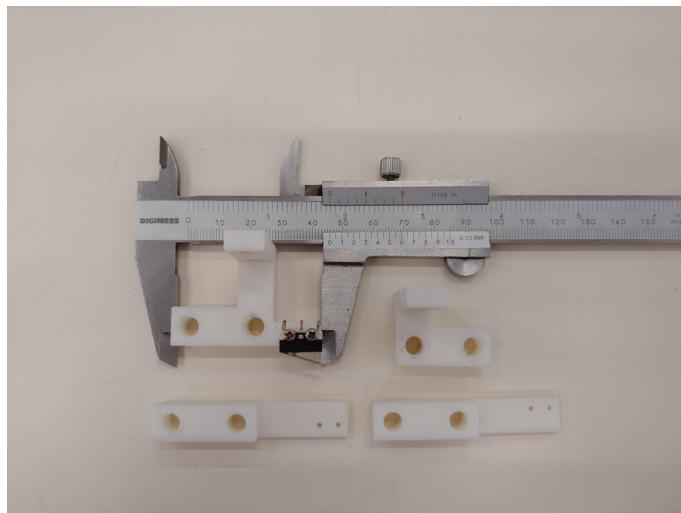


Figura 25 – Suportes para os sensores, impressos

Das mudanças mecânicas na máquina, as alterações na flange do motor do eixo X, que foi encurtada para resultar no ganho de curso desejado descrito no item [4](#) da sessão [5](#) do projeto, estão evidenciadas na diferença entre as figuras [8](#) e [26](#).

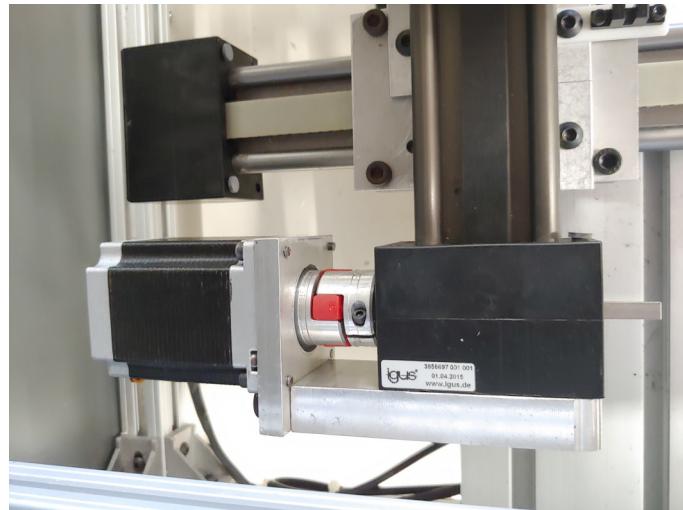


Figura 26 – Estado atual da flange do motor do eixo X

Com relação aos sensores, destaca-se a aquisição e testagem dos sensores ópticos, além de terem sido feitas as fiação pertinentes. Junto a eles, também foram concluídas as chapas de alumínio fixadas no carro móvel da máquina, de forma a servirem como contato para acionar os sensores de *home*, que foram usinadas de forma a serem presas com parafusos. Os conjuntos sensor/chapa dos eixos X e Y em movimento estão mostradas nas figuras 27 e 28.



Figura 27 – Montagem da chapa com o sensor óptico, eixo X



Figura 28 – Montagem da chapa com o sensor óptico, eixo Y

Além dos pontos já destacados, uma das entregas mais importantes foi a redefinição e remontagem do painel elétrico. Esse desenvolvimento possibilitou ter um projeto bem registrado e que prevê diversos itens de segurança, como disjuntor, parada de emergência, chave geral e função de *by pass*. Outro aspecto positivo do novo projeto foi a redução do número de componentes utilizados, sem contar que a nova montagem deixou o painel organizado e mais fácil de realizar manutenção futuramente, como observado na figura 7.

Voltando ao esquemático, ele inclui alguns componentes além dos que estão em funcionamento, como os sensores de fim de curso. Isso pode facilitar implementações futuras.

Um dos resultados mais importantes atingidos foi a configuração de *software* do LinuxCNC, que teve como principal objetivo substituir o *software* Mach3, pois depende de licença e é proprietário, o que é contraproducente em um ambiente de ensino por demandar um gasto adicional e ser de funcionamento opaco. Além disso, ele somente opera em plataforma Windows, dificultando a utilização de vários computadores mais antigos que são perfeitamente viáveis no LinuxCNC. Em contrapartida o LinuxCNCé muito mais configurável e flexível para o usuário, permitindo customização completa de todos os seus elementos.

Outro aspecto relevante da implantação do LinuxCNCé que ele já está configurado para as especificações e dimensões da máquina, sem contar que prevê os componentes de sensoreamento, que fisicamente ainda não estão conectados.

9.2 Pontos de Melhoria Restantes

À medida que o projeto avançava e o tempo disponível acabava, foram sendo percebidas algumas melhorias e outros pontos do planejamento inicial que não poderiam ser implementados para a entrega final. Estes itens foram abandonados pela equipe de

forma a poder utilizar o tempo restante nas demais questões do projeto, de forma a chegar no melhor produto final possível dadas as circunstâncias, e estão detalhados à seguir:

1. Finalizar a implementação dos sensores:

- Os sensores ópticos, para *home*, foram adquiridos, testados, soldados nos fios devidos e fixados nos suportes respectivos, porém como a placa de intermédio entre os sensores e a placa controladora não pôde ser concluída, os sensores ficaram com sua fiação solta dentro da máquina, sem serem levados até o painel. Já os sensores de fim de curso, a maioria está com a fiação pronta, porém continuam com o problema similar de não estarem implementados em conjunto com a placa controladora;
- Assim, como ponto de melhoria futura, seria o de repensar a forma de interface entre os sensores e a placa controladora, talvez refazendo a placa em questão por completo e utilizando conectores que facilitem a manutenção dos sensores posteriormente.

2. Implementar atuadores, ou pelo menos amortecedores de movimento, na porta principal da máquina:

- Atuar a porta poderia ser um passo para automatizar todo o processo de fabricação com a máquina, permitindo integração com um braço robótico que introduziria e retiraria as peças usinadas. Na falta disso, por ser muito complexo para o escopo, o objetivo era de apenas instalar pistões à gás para amortecer a abertura e fechamento da porta, além de impedir que ela abrisse 180º e ficasse caída, e também impossibilitar o desmonte da mesma;
- A opção inicial de atuar a porta já não estava listada como objetivo, apenas o amortecimento. Este, porém, foi abandonado após a compra dos pistões, por perceber que a instalação seria mais complexa do que se imaginava inicialmente;
- As alterações implementadas na porta foram a adição de um sensor de porta fechada (na porta frontal e na porta de topo), de forma que a máquina parasse caso fosse aberta, e uma pequena mudança nos trincos da porta para facilitar o travamento dela, na forma da colagem das porcas de perfil nos parafusos dos trincos.

3. Adicionar sinaleiras ou outro método de indicação que avisasse erros ao operador, e pudesse diferenciar os tipos de erro:

- Algum método de sinalização externa que serviria para indicar ao operador qual erro está ocorrendo, de forma a facilitar a correção dos erros durante a operação. Erros como porta aberta, *drivers* em *fault*, fim de curso acionado ou botão de emergência pressionado possuem, cada um, uma forma diferente de correção;
- A mudança não foi implementada pois não foram adquiridos os componentes para tal, e também por falta de tempo;
- Para facilitação, o sinal de porta aberta está ligado junto com o sinal de fim de curso atingido, então não há diferenciação na sinalização entre eles na interface do LinuxCNC, porém já os diferencia do sinal de *fault* e do sinal de parada de emergência, que estão juntos em outro pino. A placa controladora ainda tinha entradas sobrando que poderiam ser utilizadas para isso, e com mais tempo e com componentes adicionais, poderia ter sido implementado completamente.

4. Introduzir no painel elétrico um disjuntor de proteção geral:
 - Seria uma adição pequena, de segurança, para impedir queima de componentes elétricos do painel no caso de um surto de sobrecorrente ou sobretensão;
 - Não foi implementado pois acabou não sendo adquirido o componente e foi deixado de lado em favor de mudanças mais importantes.
5. Fixar o gabinete do painel na lateral da máquina:
 - Seria uma mudança visada para facilitar o transporte da máquina e reduzir o espaço necessário para utilização da mesma;
 - Para fazer isso, seria necessária uma série de novas furações no fundo do gabinete, e talvez também na parte inferior do mesmo, para a fixação na máquina e potencial adição de pés de apoio, para que o peso do gabinete não ficasse apenas sobre parafusos na lateral. Assim, seria um trabalho que necessitaria de uma quantidade maior de tempo. Além disso, esse posicionamento alternativo também traria um problema extra, que faria com que a entrada de ar do gabinete ficasse voltado para a mesa e em proximidade excessiva com ela, exigindo assim que a entrada de ar fosse deslocada para outro local, o que também levaria ainda mais tempo.
6. Alterar o local de saída dos cabos que vão da máquina ao painel:
 - Relacionado com o item anterior, serviria para o melhor aproveitamento da proximidade maior entre máquina e gabinete, e também para aproveitar e melhorar o buraco de saída na parede superior da máquina;
 - Como o item anterior foi abandonado, o item atual tornou-se inviável.
7. Integrar fonte de alimentação da placa controladora:
 - A placa controladora atualmente está sendo alimentada por um cabo USB ligado ao computador;
 - inicialmente, a equipe foi levada a crer que a placa funcionaria normalmente recebendo alimentação de 24V somente, porém durante os testes foi descoberto que ela também exige a alimentação pela entrada USB;
 - Assim, idealmente seria aproveitada a fonte de 5V que estava anteriormente presente no projeto, facilitando o cabeamento do painel, uma vez que o cabo USB é mais complicado de ser utilizado com a porta do painel fechada.

10 CONCLUSÃO

Com o projeto concluído, deve-se retomar tudo aquilo que foi feito, desde o entendimento da situação problema, até a remontagem da máquina após o *retrofitting*.

Um dos principais desafios do projeto desenvolvido foi o entendimento da máquina na versão recebida, sendo necessário identificar como estava montada a fiação do painel elétrico e o funcionamento dos eixos, visto que não estava disponível nenhum material prévio a respeito. Somente depois de um pleno entendimento foi possível realizar o *retrofitting*.

Com esse desafio superado, foi possível estipular as melhorias precisas e especificações que a máquina precisaria cumprir para realizar usinagem. Dessa forma foram feitas importantes entregas, como o ajuste no sensoriamento da movimentação dos eixos e a remontagem do painel elétrico, junto a uma documentação do esquemático.

Outro grande desafio enfrentado foi a implementação do controle da máquina pelo sistema LinuxCNC, o qual exigiu a troca das placas de interface no painel elétrico e também a configuração do sistema operacional para as dimensões e recursos do equipamento que está sendo comandado.

Dessa forma, tendo em vista as dificuldades já citadas e também as que o momento de pandemia proporcionaram, como redução do semestre, restrição de trabalho temporariamente de alguns membros da equipe por contaminação, foi entendido pelos membros que o projeto permitiu uma evolução consistente no funcionamento da máquina.

Além disso, o presente documento registra todas as especificações, componentes, projeto elétrico, configurações de software e pontos de melhoria futuros. Dessa forma, próximos projetos podem ter seu caminho facilitado para aprimoramento dessa máquina ou desenvolvimento de outras similares.

11 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Material Professor Cláudio Abílio da Silveira, Aula "LinuxCNC: Porta paralela, Motmod e Kins".
2. Manual QEletroTech: <https://download.tuxfamily.org/qet/manual_0.7/build/index.html>.
3. Documentação LinuxCNC, Versão corrente (2022): <<https://linuxcnc.org/docs/2.8/html/>>.
4. Documentação interface AXIS LinuxCNC: <<https://linuxcnc.org/docs/html/gui/axis.html>>.
5. Placa Beagle Bone: <<https://beagleboard.org/bone>>



Documentação do projeto