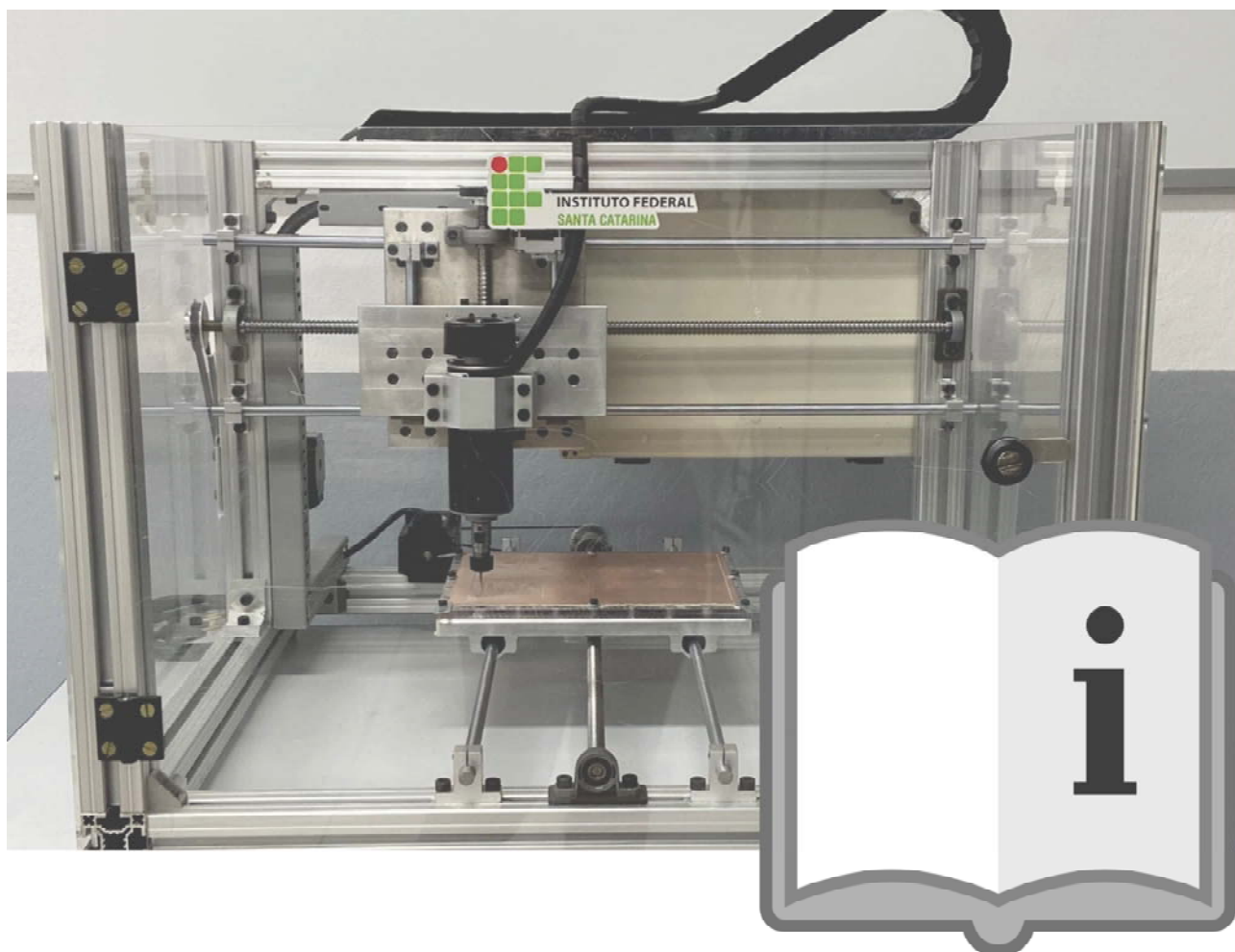




# MANUAL DE INSTRUÇÕES DA FRESADORA CNC PARA PCI



Revisão 1.0

Jaraguá do Sul 26 de julho de 2023



## Introdução

A confecção de Placas de Circuito Impresso (PCI) nem sempre é uma tarefa simples quando se trata de fabricação de circuitos eletrônicos. Na etapa de prototipação, geralmente se deseja a fabricação de uma única PCI, ou uma pequena quantidade delas, o que pode dificultar sua compra junto a empresas especializadas, devido ao custo associado à fabricação de pequenas quantidades e o tempo de espera. Neste sentido, é comum efetuar-se a confecção manualmente, utilizando um processo de transferência térmica para estampar o desenho das conexões desejadas (trilhas e ilhas de solda) na face cobreada da placa e posteriormente realizar a corrosão do cobre exposto. Alternativamente a solução por meio de uma máquina CNC possibilita a fresagem (remoção) do contorno das trilhas fazendo uso de uma ferramenta guiada por uma máquina. A movimentação dos três eixos de uma CNC para PCI é tipicamente realizada a partir de três motores independentes, o que exige *hardware* e *softwares* para comando específico de tais motores. O presente manual apresenta a descrição necessária para auxiliar no uso do equipamento desenvolvido e abrange desde os softwares utilizados para preparação do arquivo da PCI até a operacionalização da CNC para fresamento propriamente.

## Programas utilizados:

- *Software* EasyEDA ou KiCad – Desenho da PCB e exportação do arquivo Gerber;
- *Software* FlatCAM - Transformação do Gerber em G-code;
- *Software* Universal Gcode Sender – Leitura do G-code e comunicação com o *firmware* Grbl;
- *Firmware* Grbl – interpreta os comandos do UGS e executa os eixos.

### 1. *Software* FlatCAM

O FlatCam é um *software* utilizado para gerar um código em G-code responsável por comandar a máquina a partir de um arquivo Gerber, excellon ou G-code.

### 2. *Software* Universal Gcode Sender (UGS)

O Universal Gcode Sender é um *software* gratuito, utilizado para fazer comunicação entre a máquina CNC e o computador. Ele efetuará a leitura do código gerado através do FlatCam, e enviará ao *firmware*.

### 3. *Firmware* Grbl

O Grbl é um *firmware* acoplado ao Arduino que receberá as coordenadas enviadas e transformá-las em movimentos dos eixos.

### 4. Notações importantes para o Layout das placas:

- As placas podem ser desenhadas em qualquer *software*, tendo como sugestões o KiCad e o EasyEDA. O KiCad é um programa gratuito e de código aberto, que permite realizar a concepção de layouts e suas conversões para placas de circuito impresso. O EasyEDA é um software, gratuito e com versão online, o qual permite criar esquemas, simular circuitos com sinais digitais, analógicos e mistos e elaboração de layout de PCB. Possui uma vasta biblioteca



de componentes eletrônicos e exemplos prontos. Além disso, projetos existentes feitos nos softwares Altium, Eagle e KiCad podem ser importados e posteriormente editados no EasyEDA.

- Informações importantes sobre a menor medida que conseguimos usinar com sucesso na CNC até o momento:
  - Menor via testada para furos de 0,8mm: 1,6 mm (Figura 1);
  - A menor largura de trilha: 0,6 mm (Figura 2);
  - Menor pad (ilha) de solda sem furo: 1,95x0,6mm(Figura 3);
  - Menor espaço entre trilhas: 0,67mm (Figura 4).

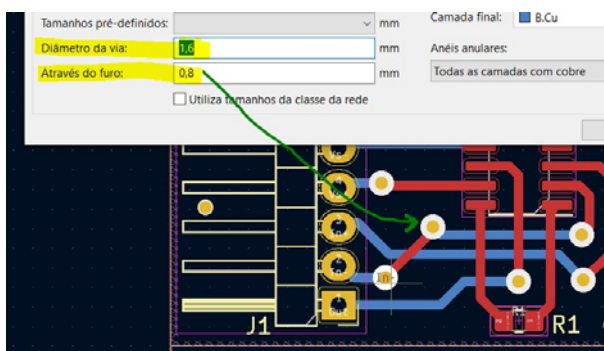


Figura 1

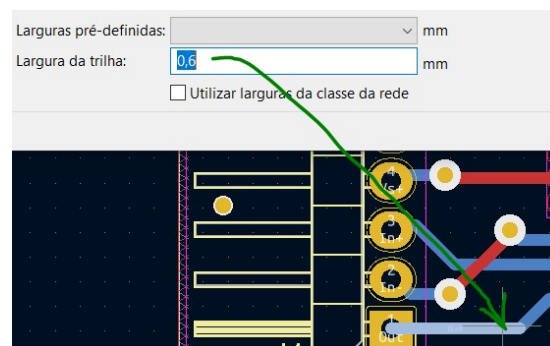


Figura 2

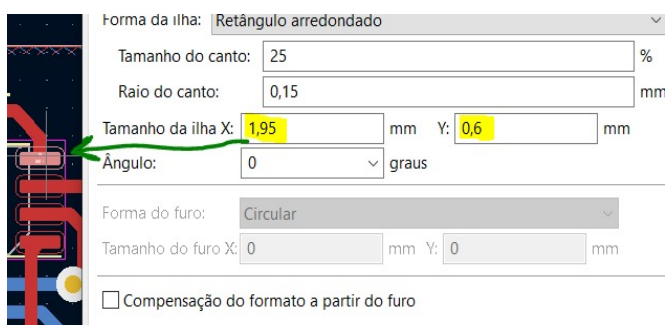


Figura 3

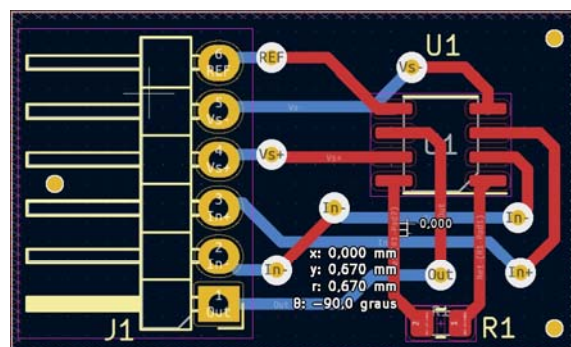


Figura 4

- Para emitir os arquivos gerber, siga as instruções:

#### ■ **KiCad:**

- Na aba “Arquivo” selecione “Arquivos para fabricação” e “Gerbers(.gbr)”;

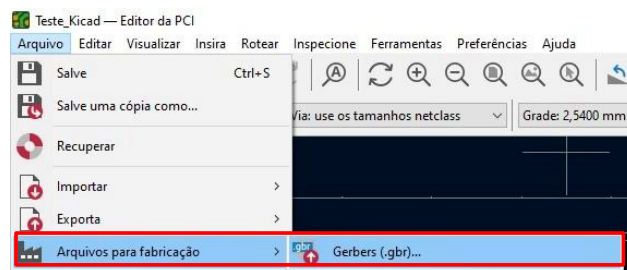


Figura 5: Aba para parametrização e exportação dos arquivos gerbers.



- A janela “Plote” será aberta, onde serão selecionados os arquivos principais “F.Cu”, “B.Cu” e “Edge Cuts”. Em “Cria arquivos de perfuração...”, selecione “Milímetros” e “Gera um arquivo de perfuração”, então Plote.

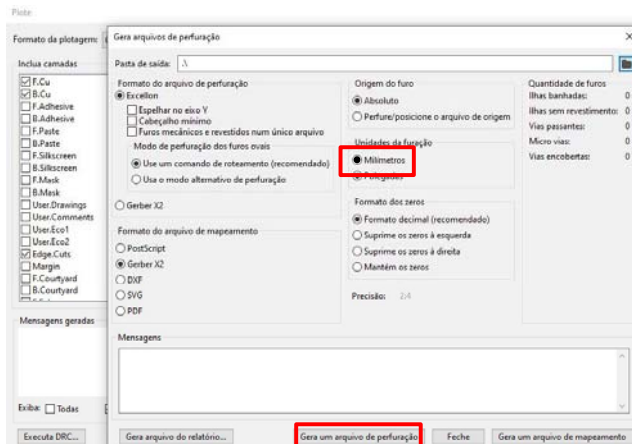


Figura 6: Janela para geração do arquivo drill.

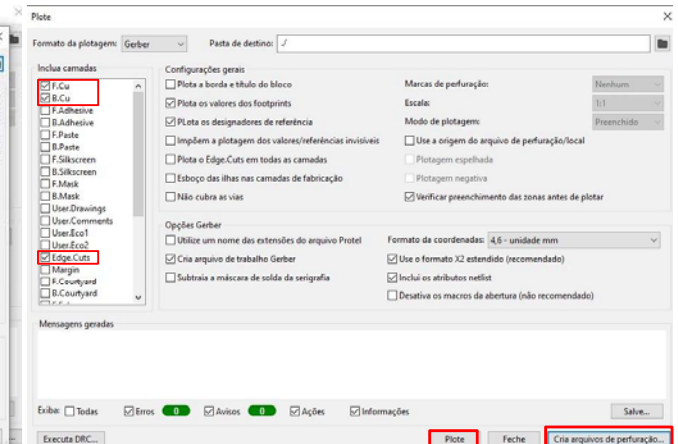


Figura 7: Janela “Plote”.

### ■ EasyEDA:

- Na aba “Arquivo” selecione “Gerar Arquivo de Fabricação(Gerber)”;
- Na janela aberta, selecione Gerar Gerber, por fim, Selecione a pasta de destino dos arquivos.

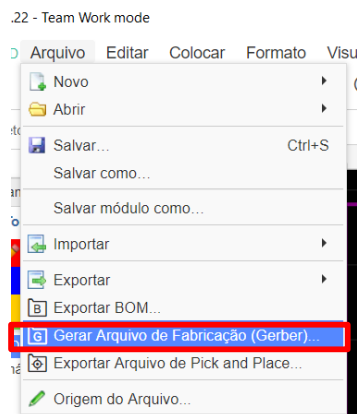


Figura 8: Aba para geração do Gerber.



Figura 9: Janela de geração do arquivo Gerber

Drill_NPTH_Through.DRL	29/06/2023 00:40	Arquivo DRL	1 KB
Drill_PTH_Through.DRL	29/06/2023 00:40	Arquivo DRL	1 KB
Drill_PTH_Through_Via.DRL	29/06/2023 00:40	Arquivo DRL	1 KB
Gerber_BoardOutlineLayer.GKO	29/06/2023 00:40	Arquivo GKO	1 KB
Gerber_BottomLayer.GBL	29/06/2023 00:40	Arquivo GBL	4 KB
Gerber_BottomPasteMaskLayer.GBP	29/06/2023 00:40	Arquivo GBP	1 KB
Gerber_BottomSolderMaskLayer.GBS	29/06/2023 00:40	Arquivo GBS	3 KB
Gerber_TopLayer.GTL	29/06/2023 00:40	Arquivo GTL	2 KB
Gerber_TopSilkscreenLayer.GTO	29/06/2023 00:40	Arquivo GTO	17 KB
Gerber_TopSolderMaskLayer.GTS	29/06/2023 00:40	Arquivo GTS	3 KB
How-to-order-PCB.txt	29/06/2023 00:40	Documento de Te...	1 KB

Figura 10: Arquivos gerados no EasyEDA.

Nome	Data de modificação	Tipo
Teste_Kicad	26/06/2023 15:59	KiCad Board 6.0
Teste_Kicad	19/12/2022 17:12	KiCad Project 6.0
Teste_Kicad	26/06/2023 15:59	KiCad Schematic ...
Teste_Kicad-B_Cu.gbr	26/06/2023 16:01	Arquivo GBR
Teste_Kicad-Edge_Cuts.gbr	26/06/2023 16:01	Arquivo GBR
Teste_Kicad-F_Cu.gbr	26/06/2023 16:01	Arquivo GBR
Teste_Kicad-job.gbrjob	26/06/2023 16:01	Arquivo GBRJOB

Figura 11: Arquivos gerados do KiCad.





## 5. Criação dos furos de referência para placas dupla face:

- Para placas **dupla face**, ao confeccionar o layout PCB no *software* é necessário criar **furos de referência**, os quais servirão como referência na hora de espelhar a placa para a fresagem da face Bottom. São necessários 3 ou 4 furos no mínimo, e eles devem ser exatamente simétricos, isto é, devem possuir simetria na sua localização. Por exemplo, para uma placa de 50mm de largura e 100mm de comprimento, decide-se colocar 4 furos, um para cada canto com 5mm de distância da borda, no lado interno da placa, as coordenadas dos furos de referência deverão ser (5,5); (5,45); (95,5) e (95,45), exemplificação na figura 1.
- Nota-se também que no exemplo “a” da figura 1, a placa poderá ser invertida tanto na horizontal quanto na vertical, porém no exemplo “b” só poderá ser invertida na vertical, sendo esta uma notação importante para o momento do espelhamento do bottom no flatCAM, assim como, no momento da fresagem.
- Para a criação dos furos de referência no *software* de escolha, insira-o como um pad como dos componentes, ao final quando for emitir os arquivos gerber, ele exportará no arquivo drill como os demais furos para os componentes, porém precisará do arquivo a parte, pois sua parametrização será diferente, para isso, após emitir os gerbers normalmente, delete todos os demais pads, deixando apenas os referenciais, após emita novamente o arquivo drill, onde constará apenas os pads de referência.

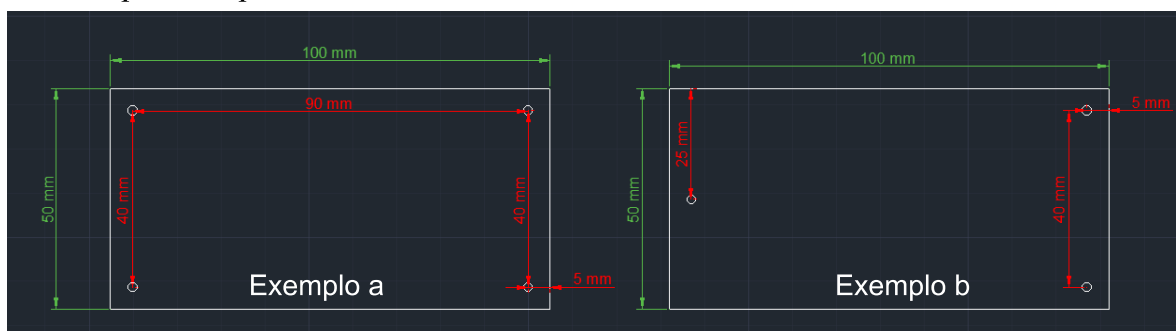


Figura 12 – Exemplos de como os furos de referência podem ser feitos e demonstração da simetria entre eles.

## 6. Utilizando o FlatCAM para transformar gerber em g-code:

### → Abrindo arquivo gerber:

- Inicialmente certifique-se que o projeto esteja parametrizado em mm, para isso entre em “Options”, na caixa de seleção, selecione “Project Option” e verifique se está em mm.
- Na aba “File”, selecione “Open Gerber...”, e abra os arquivos gerber necessários (para placas dupla face, Top e Bottom);
- Para os furos, na aba “File” selecione “Open Excellon”, e abra o devido arquivo *Drill* (.drl);

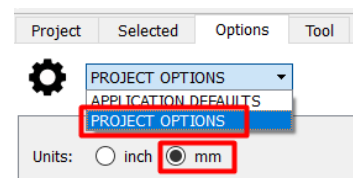


Figura 13 – Projeto parametrizado em milímetros

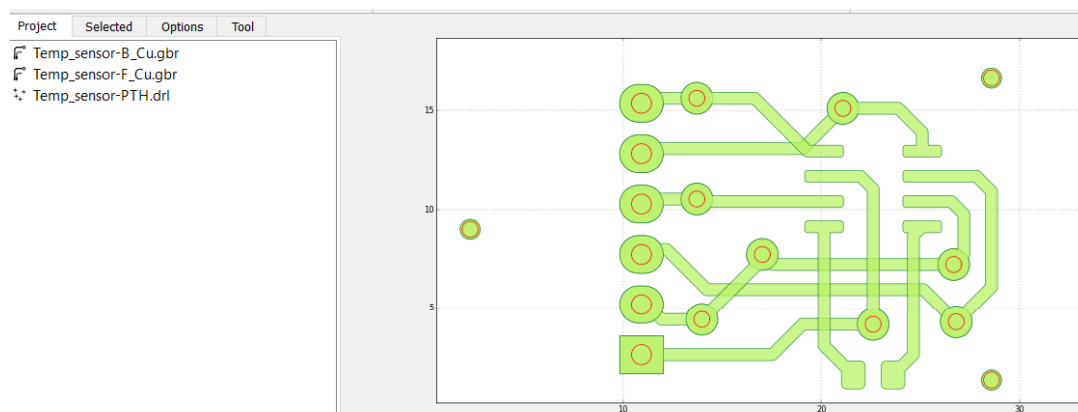


Figura 14 – Todos os 3 arquivos Gerber (bottom, top e arquivo drill) abertos.

### → Ajustando a localização da origem:

- Verifique a localização em que os desenhos estão no plano, a coordenada (0,0) do plano do programa consiste na origem definida. Então se a placa estiver deslocada 2 mm da origem, ela irá se locomover 2 mm de onde está para começar a usinagem. Se desejar que a origem da CNC seja a mesma origem da usinagem, alinhe o desenho.

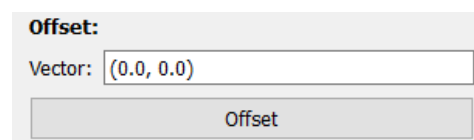


Figura 15 – caixa **offset**.

- Para mover os desenhos para origem, selecione um arquivo por vez (click duplo esquerdo do mouse para abrir a aba “Selected”), no inferior da aba encontra-se a caixa “**offset**”, nela você ajustará a placa através do conjunto de coordenadas. **Exemplo:** se colocar (2,5), ela irá mover-se 2 mm no eixo X e 5 mm no eixo Y.
  - o Para mover apenas um eixo, deixe zerado o eixo que irá permanecer onde está. **Exemplo:** mover 2 mm no eixo X e deixar o Y, utiliza-se (2,0);
  - o Para voltar a coordenada usa-se seu negativo. **Exemplo:** (-2,0);

### → Para placas dupla face:

- Abra o arquivo *drill* dos furos de referência, em “Open Excellon”. É de suma importância a existência de furos guias para quando for “virar” a placa na etapa de fresagem, seja possível manter a placa exatamente no mesmo lugar, visando coincidir o desenho da face Top com o da face Bottom, sendo esses furos criados e exportados do *Software* de criação do layout da placa e adicionados ao projeto como arquivo *excellon*.

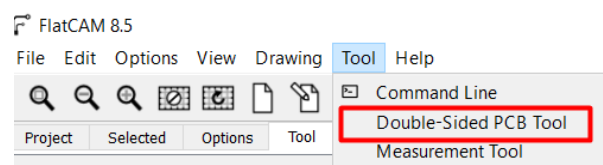


Figura 16 - Aba para espelhamento do Bottom.

- O bottom deverá ser espelhado, para isso entre na aba “Tool”, acesse “*Double-Sided PCB Tool*”, selecione o respectivo arquivo da face bottom. Em “*Mirror Axis*” verifique qual posição permite



que o bottom seja espelhado mantendo os furos de referência no mesmo lugar, e em “*Axis Location*” selecione “*Box*”, na caixa “*Point/Box*”, selecione o arquivo de referência para o espelhamento (Para certificar a simetria, a melhor referência seria utilizar o gerber *Board*, onde utilizará a borda da placa como referência, evitando alguns possíveis erros de simetria), após, selecione “*Mirror Object*”.

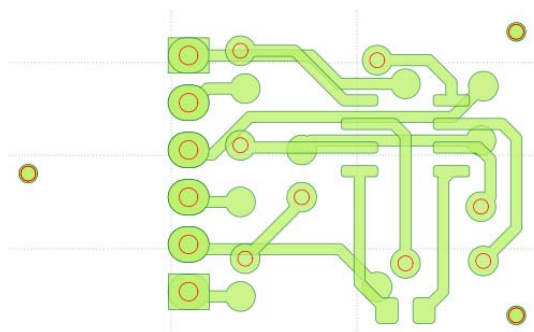


Figura 17 – Layout com a face Bottom espelhada.

## → Configurando para fresagem das trilhas Bottom e Top:

- O próximo passo é configurar para exportar o g-code. Para isso será necessário selecionar o arquivo, como por exemplo, o Bottom, na aba “Selected”, na sequência em “Isolation Routing”, determine o diâmetro da ferramenta em “*Tool dia*” considerando a medida da ponta da ferramenta. Observe as ferramentas disponíveis na seção **Utilizando a CNC.**

- A fresagem apenas irá isolar as trilhas do restante do cobre, para circuitos mais complexos, é necessário maior afastamento das trilhas com o restante de cobre da placa, para isso utiliza-se “*Width (#passes)*”, insira a quantidade de passes desejada, cada passagem se move um pouco mais afastada da anterior, selecione a caixa “*Combine Passes*” para que todos passes fiquem em apenas um arquivo, senão, será criada uma geometria para cada passe. “*Pass Overlap*” consiste na sobreposição entre as passadas. Para 20% preenche-se com 0.20 e para apenas uma passagem, desconsidera-se sobreposição.

**Isolation Routing:**

Tool dia:

Width (# passes):

Pass overlap:

☒ **Combine Passes**

Figura 18 - Isolando as trilhas.



Figura 19 – Exemplo de 20% e 80% de sobreposição respectivamente.

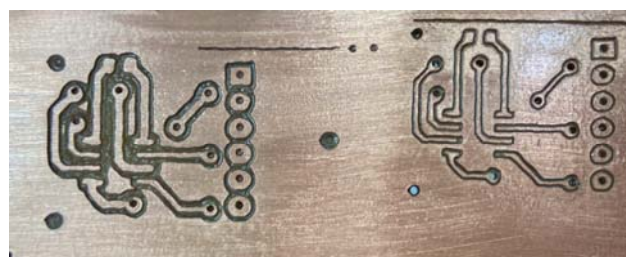


Figura 20 – Comparativo entre circuito fresado com 3 passes e pass overlap 0.15 (PCB da esquerda) e circuito com 1 passe (PCB da direita).

- Após selecione “*Generate Geometry*” onde o respectivo arquivo (*\_iso*) será adicionado na aba “*Project*”. Abrindo o arquivo, encontram-se as configurações da fresagem, “*Cut Z*” consiste na coordenada Z em que a CNC fresará, “*Travel Z*” é a distância de segurança, entre a placa e a fresa, na movimentação de uma trilha para outra. “*Feed Rate*” é a velocidade de execução e “*Tool*

**Create CNC Job:**

Cut Z:

Travel Z:

Feed Rate:

Tool dia:

Spindle speed:

Multi-Depth: ☐

Depth/pass:

Figura 21 – Parâmetros que deverão ser utilizados.



dia” o diâmetro da ferramenta como no tópico anterior. Utiliza-se os dados ao lado que irá corresponder com os ajustes ao longo do manual. Em seguida, selecione “Generate”.

- Um novo arquivo será adicionado e nele será finalmente gerado o g-code. Ao selecionar “Export G-Code”, abrirá o explorador de arquivos para que seja definido o nome e a pasta de destino do arquivo. **Obs: LEMBRE-SE de colocar a extensão “.gcode”, senão o arquivo não será lido pelo Universal Gcode Sender e NÃO coloque nome complexo, pois poderá causar problemas na execução no UGS, alguns exemplos: “bottom.gcode”, “top.gcode”, “furosREF.gcode”.**
- Repita o procedimento para o Top.

#### → Configurando para execução dos furos:

- Selecione o arquivo .drill dos furos, em “Cut Z” determine -1.9 mm que será a profundidade necessária para atravessar a placa, em “Travel Z” determine a distância padrão de segurança 2 mm e para a velocidade “Feed Rate” utilize 70 mm/seg, visto que a broca não possui a mesma resistência que a fresa sendo necessário menor velocidade para a execução. Por fim, clique em “Generate” e será adicionado na aba “Project”) um arquivo (\_cnc). Abra o arquivo “CNC Job Object”, e ajuste o diâmetro da ferramenta para 0.8mm (em “Tool dia”) e exporte o gcode conforme descrito anteriormente.

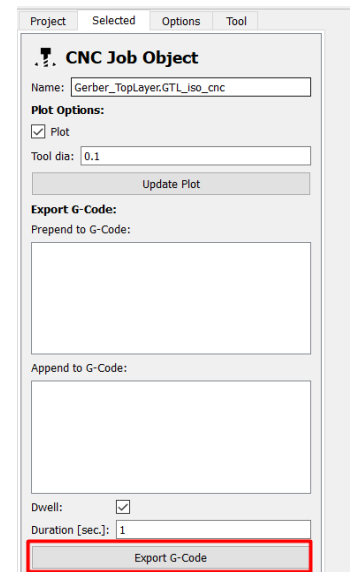


Figura 22 – Exportando G-Code final.

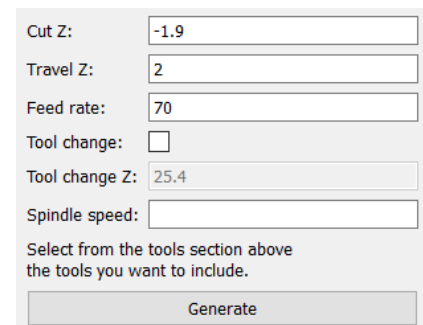


Figura 23 – Parâmetros que deverão ser utilizados.

- Em placas dupla face, o procedimento deverá ser o mesmo para os **furos de referência**, exceto pela profundidade que irá variar conforme a espessura da fita de acoplamento da placa na mesa, se for a fita dupla face tradicional arbitra-se -7mm se for uma fita adesiva de menor espessura utiliza-se apenas -6mm, visto que deverá perfurar a placa e a superfície de madeira para o anexo dos pinos no momento que a placa for virada.

#### → Configurando o corte da placa:

- Para realizar o corte da placa deve-se selecionar o layout, para placas dupla-face selecione a de maior tamanho, e em “Board Cut” faça a seguinte parametrização: em “Tool Dia” preencha com 2mm, o qual é o diâmetro da ferramenta de corte, em “Margin” determine a espessura da margem desejada, e em seguida, “Gap Size” que consiste no tamanho de lacuna no meio do corte para destacar a

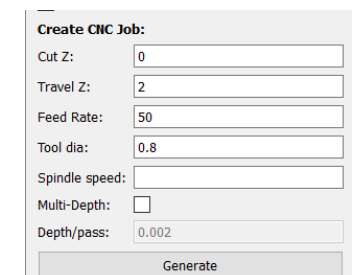


Figura 24 - Parametrização dos furos.

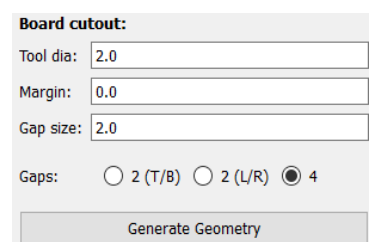


Figura 25 - Parametrização para geometria da placa.





placa, assim como deve-se selecionar a quantidade de lacunas desejadas. Selecione “Generate Geometry”. A margem será criada a partir do limite do desenho do layout.

- Após selecione a geometria gerada e parametrize para corte com os dados da figura 25. E, por fim, exporte o código.

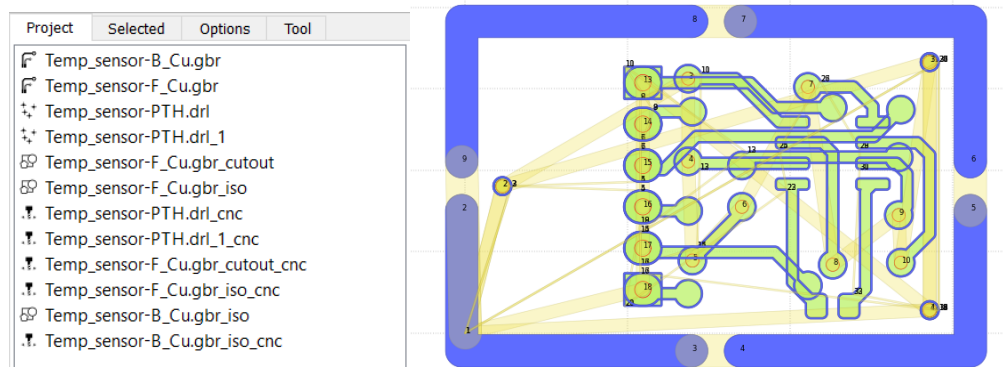



Figura 26 - Ilustração final após todos os passos concluídos.

## 7. Utilizando o Universal G-Code Sender (UGS):

- Abra o Universal G-Code Sender, selecione “File” e abra o arquivo .gcode dos furos, cada arquivo tem que ser aberto e executado por vez. **Obs: outra forma mais simples de já abrir o programa com o respectivo arquivo é através do “abrir com” no UGS, após ter feito isso pela primeira vez basta apenas clicar duas vezes no arquivo que será automaticamente direcionado para o software.** Para evitar que após as trilhas serem fresadas a broca acabe arrancando a ilha de cobre ao fazer os furos, deve-se começar a confecção da placa pelos furos. Após aberto o referido arquivo, conecte o cabo de alimentação do arduino, selecione a porta correta em “Port”, certifique-se que a taxa de transmissão “Baud” esteja em 115200, e por fim conecte no ícone de .

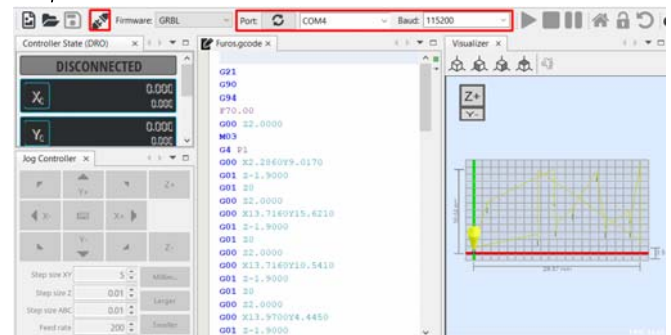


Figura 27 - Imagem do UGS e devidos parâmetros.

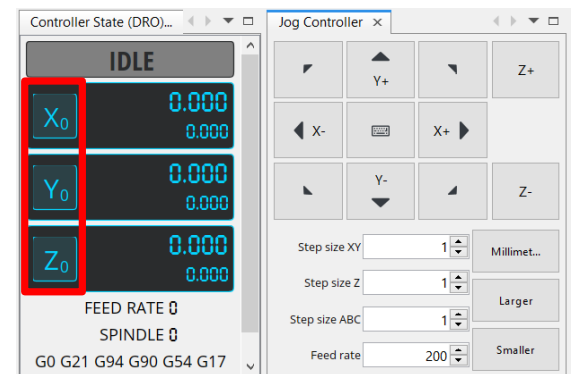


Figura 28 - Botões para o ajuste manual da posição 0.

- Após ativar o programa, os botões para movimentação manual estarão habilitados, permitindo o ajuste da posição 0. Para utilizá-los, ligue a CNC na chave superior do gabinete (um led verde irá acender indicando que está energizada), coloque o valor

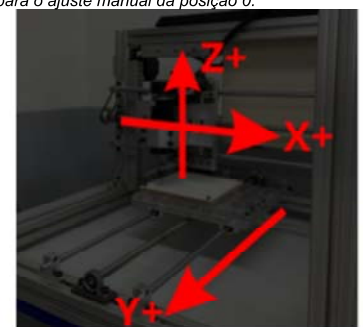


Figura 29 - Orientação dos eixos da CNC.



em milímetros que deseja para movimentar, e após selecionar o respectivo botão de orientação até chegar na posição desejada, para movimentá-la mais rápido utilize “Feed Rate” em 200. Para definir o ponto 0 basta selecionar X0, Y0 e Z0 (Figura 26), onde os valores correspondentes devem ser zerados.

## 8. Utilizando a CNC:

- Como o primeiro passo é a execução dos furos, deve-se subir o eixo Z cuidadosamente para não bater o motor na placa de fixação do motor, de forma que possa inserir a broca até o limite estabelecido. Desrosqueie utilizando a chave inglesa e a chave de boca (Figura 30), insira a ferramenta e rosqueie novamente (lembre-se de apertar bem com as chaves, pois se a ferramenta estiver frouxa irá quebrar).



Figura 30 - Manuseio do mandril para troca de ferramenta.



Figura 31 - Broca de 0.8mm para furos.

- Em seguida, ligue o motor Spindle na chave lateral direita do gabinete e cuidadosamente desça o eixo Z próximo da superfície da placa, mas sem que encoste, para encostar desça em pouquíssimos milímetros (0.1mm) até que encoste levemente na placa. **Lembre-se de fazer isto com o motor ligado para evitar que a fresa quebre ao bater na placa.** Posteriormente, zere os eixos e mande-a executar o arquivo aberto anteriormente no UGS no ícone “Play”. Quando ela terminar, irá parar na altura de segurança configurada no FlatCAM, então manualmente desça a broca para a posição de origem (se foi configurado para subir 2mm para movimentar-se de uma trilha a outra, ela estará 2mm acima da origem). Zere novamente os eixos que tiverem valores, feche o programa e abra o outro arquivo de furos. Repita o mesmo procedimento e então quando ela terminar suba o suficiente para conseguir retirar a broca e acoplar a fresa, então desligue o motor.

- ★ **Atenção:** Pode-se perceber que o eixo Z possui uma tortura, então é necessário que a localização da fresa e da broca seja a mesma para não ocorrer incompatibilidade entre os furos e o contorno das trilhas. Para isto, após retirar a broca e inserir a fresa V-bit, não aperte o mandril, abaixe todo o valor que havia sido subido para a troca de ferramenta, mais a distância de segurança que ela parou no fim da execução do último arquivo, que no caso seria o ponto zero definido com a broca. Mova 3 mm para algumas das direções de sobra da placa, para que fique fora da marcação da broca, e baixe cuidadosamente com os dedos a fresa até que encoste na placa, então firme o mandril e ligue o spindle novamente. Normalmente ainda não estará



Figura 32 - Fresa V-bit.



encostando na placa, assim, desça 0.1mm e mande-a a voltar os 3mm para a origem, observando a profundidade das trilhas. Cuide para não afundar a ferramenta demais prejudicando a área de cobre das trilhas, e nem posicioná-la de forma insuficiente para remover a camada de cobre impedindo a isolamento, faça este ajuste de forma minuciosa com passo de movimentações de 0.05 mm no eixo Z. Para placas com vários passes é melhor que a fresa esteja apenas riscando a camada de cobre do que fresando demais, pois como ocorrerão várias passadas a isolamento será garantida, mas se o ajuste estiver muito profundo poderá comprometer as trilhas.

- Então a fresa estará pronta para a fresagem das trilhas, feche o atual arquivo e abra o Top. Possivelmente, às vezes, ao conectar novamente o UGS ele apresente valores nos eixos, certifique-se de zerá-los, assim como sempre deixe parametrizado antes de fechar e abrir o programa de novo, pois os valores podem alterar e perder o valor real. E mande-a executar.
- ❖ Para placas dupla face, após a fresagem da face Top para garantir que o ponto 0 não irá se perder, baixe-a novamente até a origem, feche o programa, abra o arquivo bottom. Para o manuseamento da placa erga-a uns 2 mm da placa, movimente a fresa para a lateral e desligue o motor. Retire a placa inverta-a de forma que a face já fresada fique embaixo, retire os pinos da barra de pinos e com auxílio de uma alicate encaixe-os nos furos de referência, lembrando de verificar conforme o esquemático no UGS se o top ao inverter corresponderá as trilhas ao bottom. Coloque fita dupla face na parte fresada e com cautela encaixe os pinos nos furos de referência feitos na mesa, feito isto pressione a placa para colar no lugar certo (Esta etapa é muito importante, pois a placa precisa estar exatamente na mesma posição em que foi feita a face top, para coincidirem as trilhas e furos). Garantindo que a placa esteja bem firme remova os pinos com a alicate, se a placa não estiver firme suficiente pode-se apenas cortar os pinos, mas esta opção pode acabar danificando a fresa ao fresar ao redor dos pinos. Após, ligue o motor Spindle e volte para a origem, com os eixos zerados enfim, mande-a executar a face bottom.
- Para o corte da placa, com o motor desligado, remova a fresa e substitua pela fresa raiada de 2 mm, após apertar o mandril, desça o eixo Z com o motor spindle ligado até encostar na placa, ao encostar na placa, ajuste o “Feed Rate” em 50, e desça o eixo Z 1mm. Zere todos valores e execute o primeiro corte. Ao finalizar, desça o eixo Z até o ponto zero do primeiro corte e mais 1mm, com os parâmetros zerados execute novamente. O corte é feito em duas etapas para que não prejudique a estrutura da máquina e ferramentas. Suba alguns milímetros o eixo Z, desligue o motor e a alimentação da cnc. Enfim, a placa estará pronta, bastando apenas destacá-la e lixar com palha de aço ou lixa de uso geral com granulação 220 para retirada das rebarbas.



Figura 33 - Fresa raiada 2mm.