



APRENDIZAGEM ATIVA NA DISCIPLINA "PRÁTICAS DE LABORATÓRIO": PROTÓTIPO DE UMA CNC PLOTTER DE CIRCUITO IMPRESSO DE BAIXO CUSTO

DOI: 10.37702/2175-957X.COBENGE.2024.5262

Autores: THAIS PEDRUZZI DO NASCIMENTO, TIARA RODRIGUES SMARSSARO DE FREITAS, GUILHERME RAMOS DA SILVA

Resumo: Este trabalho apresenta o projeto de desenvolvimento e construção de um protótipo de uma CNC plotter de circuito impresso de baixo custo, para uso na disciplina "Práticas de Laboratório", onde a aprendizagem ativa é alcançada através da elaboração da solução para o problema da impressão em circuitos de eletrônica. Todo o processo de construção é descrito, e os resultados do ponto de vista do desempenho do protótipo, o material de disseminação do conhecimento produzido e a discussão sobre as habilidades e conteúdos aprendidos são sucintamente relatados.

Palavras-chave: aprendizagem baseada em problemas, circuitos eletrônicos, circuito impresso CNC plotter, Arduino, placa de circuito impresso

APRENDIZAGEM ATIVA NA DISCIPLINA "PRÁTICAS DE LABORATÓRIO": PROTÓTIPO DE UMA CNC PLOTTER DE CIRCUITO IMPRESSO DE BAIXO CUSTO

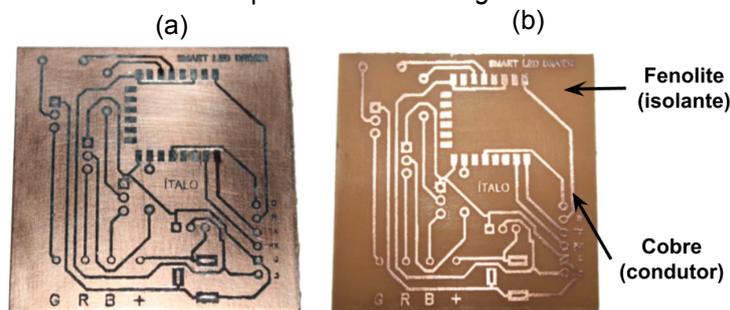
1 INTRODUÇÃO

A disciplina “Práticas de Laboratório”, do curso de Engenharia Elétrica da UFES tem, como objetivos “Entender o funcionamento de componentes elétricos e eletrônicos básicos; montar circuitos eletrônicos simples; usar equipamentos de laboratório para realizar medições de grandezas elétricas” (Universidade Federal do Espírito Santo, 2022). Tradicionalmente, os alunos e alunas da disciplina devem produzir uma placa de circuito impresso (PCI) ao final do semestre. Os estudantes são estimulados a serem protagonistas do aprendizado, uma vez que desenvolvem projetos práticos de problemas reais aplicando conceitos teóricos adquiridos na unidade curricular. Tanto o processo de confeccionar a PCI quanto o desenvolvimento do projeto de eletrônica a ser prototipado permitem aos discentes desenvolverem habilidades como criatividade, pensamento crítico para solução de problemas e a capacidade de trabalhar de forma colaborativa.

1.1 Apresentação do problema - Confeção de Placas de Circuito Impresso

Uma PCI estabelece conexões elétricas e fornece suporte mecânico aos componentes eletrônicos de um dispositivo, sendo constituída por uma base não condutora, como fenolite ou fibra de vidro, e uma ou mais camadas de material condutor, geralmente cobre (Coelho, 2020). Para a criação das conexões elétricas em uma PCI destaca-se - considerada a fabricação de pequena escala - o método subtrativo, em que a gravação (*etching*) do circuito é feita a partir de uma placa virgem. As conexões são desenhadas na placa, como mostrado na Figura 1(a), e o cobre localizado no espaço não preenchido é removido, resultando em uma placa como a da Figura 1(b).

Figura 1 - Placa de circuito impresso antes e depois do processo de *etching*.



Fonte: Adaptada de Coelho (2020).

Khandpur (2006) categoriza o processo de *etching* em: método químico ou mecânico. No método químico, a placa desenhada é imersa em solução capaz de corroer e dissolver o cobre - geralmente utiliza-se o perclorato de ferro. No método mecânico, o metal da superfície é removido seletivamente por uma máquina de fresagem de múltiplos

eixos e uma broca especial. O método químico é menos custoso do que o processo de fresagem do método mecânico, sendo o mais utilizado no contexto didático.

Uma etapa importante do método químico é a transferência do desenho para a placa, em que a tinta deve ser resistente à solução corrosiva. Dentre as técnicas possíveis, considera-se a transferência direta - em que o desenho é feito com um marcador permanente - e a transferência térmica - em que o desenho é impresso em papel fotográfico e transferido para a placa utilizando uma fonte de calor. O método térmico é o escolhido pela maioria dos alunos e professores do curso aqui mencionado. O procedimento para tal método pode ser observado na Figura 2. Observou-se, ao longo dos semestres, problemas recorrentes entre os projetos dos alunos e alunas, sobretudo considerando a etapa de transferência do desenho. Alguns problemas são estufamento do cobre - possivelmente devido à má distribuição de calor na placa - e falhas na transferência, como trilhas incompletas ou defeituosas.

Figura 2 - Etapas do processo de confecção de circuito impresso, considerando os métodos químico de *etching*, e térmico de transferência do desenho.



Fonte: Adaptado dos slides preparados pelo PET Elétrica UFES (2024).

1.2 Proposta de Solução

Diante do cenário apresentado, surge a necessidade de uma alternativa para a confecção de PCBs, mantendo os alunos e alunas como agentes de todo o processo. Apresenta-se alguns projetos de desenvolvimento de máquinas do tipo CNC (Controle Numérico Computadorizado) de pequeno porte, para resolver o problema de *etching* das PCBs. Particularmente, destacam-se dois tipos de CNC para isso: as plotadoras (*plotters*), que desenharam o circuito na placa de cobre com uma caneta, e as fresadoras, que desgastam o cobre da placa. As *plotters* são utilizadas para o método químico, e as fresadoras, para o método mecânico. Alguns exemplos de fresadora são as desenvolvidas por Almeida, Gianini e Dornelas (2017), Andrade et al. (2020), Cardoso Júnior et al. (2020), Maia Neto (2019) e Marques e Firmino (2021). E como exemplos de *plotters*, tem-se as desenvolvidas por Hasan et al. (2019), Hyder et al. (2020), além dos projetos apresentados nos canais de Youtube Mr Innovative (2016), Xprojetos (2019), Sritu Hobby (2021) e Brincando com Ideias (2023).

Este artigo apresenta o desenvolvimento do protótipo de uma CNC *plotter* de baixo custo, como uma experiência de aprendizagem ativa para solução de problemas reais. Os conceitos teóricos envolvidos, a construção do protótipo, a descrição de todo o processo e a contribuição que o desenvolvimento desta solução proporciona aos estudantes envolvidos são relatadas neste trabalho.

2 MÁQUINAS CNC

Uma máquina CNC é um equipamento eletrônico que guia ferramentas ao longo de um eixo cartesiano (POLASTRINI, 2016). A sigla CNC - Comando Numérico Computadorizado - diz respeito ao método que controla essas máquinas. Em 1947, a

Parson Corporation, uma empresa americana fabricante de rotores e hélices adaptou uma máquina de usinagem comum, para funcionar com controle numérico por um computador que recebia instruções de controle de um cartão perfurado, dando início às máquinas de CNC (SEAMES,2001, p.2).

2.1 Tecnologia de Controle Numérico

A tecnologia CNC tem evoluído ao longo do tempo, acompanhando os avanços tecnológicos e automatizando cada vez mais os processos de fabricação. Em 1956, o Instituto de Tecnologia de Massachusetts criou uma linguagem chamada Automatically Programmed Tool (APT), projetada para facilitar a programação de máquinas controladas numericamente, simplificando o processo de descrição das operações de usinagem e tornando-o mais acessível para os usuários (MUSEU CAPIXABA DO COMPUTADOR, 2023). Já em 1959, a primeira fresadora CNC foi apresentada, podendo trocar sua ferramenta de corte sem auxílio (GENG, 2015, p.10-2).

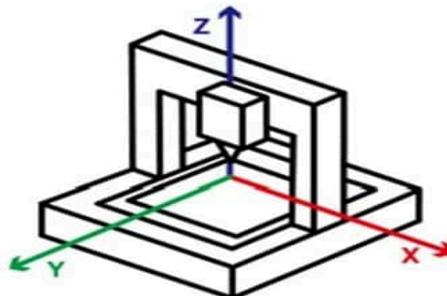
Atualmente, existe uma variedade de máquinas CNC para diversas aplicações industriais: o torno, responsável por moldar peças cilíndricas; o fresamento, utilizado para modelar formas e contornos; e a retificação, que produz peças, todas com precisão. As máquinas de Controle Numérico e mais à frente, as máquinas CNC, são empregadas como base para automatizar processos de produção, dispensando a supervisão direta de um operador e promovendo um aumento significativo na produtividade.

O controle numérico pode ser descrito como a operação de máquinas-ferramenta através de instruções codificadas especificamente para o sistema de controle da máquina (SMID, 2003, p.1). Essas instruções são geralmente formatadas em uma linguagem de programação conhecida como G-code, a qual especifica os movimentos e operações que serão executados pela máquina. O G-code, por sua vez, é criado a partir do modelo de uma peça (ou circuito, ou corte, por exemplo) que se deseja construir. Geralmente, esse modelo é feito por um *software* CAD (Desenho Auxiliado por Computador) e é convertido para G-code por um *software* CAM (Manufatura Auxiliada por Computador).

2.2 Eixos de deslocamento

Os eixos principais de uma máquina CNC (denominados X,Y e Z) são responsáveis pelos movimentos principais de sua ferramenta de corte ou da peça - Figura 3. Esses três eixos principais permitem que a CNC execute vários tipos de operações de usinagem. Os eixos X e Y representam os eixos que trabalham na peça horizontalmente, enquanto o eixo Z permite a ferramenta realizar movimentos verticais. Além dos três eixos, algumas máquinas CNC podem ser equipadas com eixos de rotação adicionais para realizar outras operações. As CNCs abordadas neste trabalho são de três eixos.

Figura 3 – Exemplo de uma CNC com 3 eixos.



Fonte: Hardware Libre (2024).

2.3 Vetorização para G-code

O G-code é uma linguagem de programação para máquinas CNC. Sua terminologia se associa ao conceito de “código geométrico”, sendo utilizada para dizer a uma máquina o que fazer ou como fazer alguma coisa. Os comandos do G-code instruem a CNC para onde se mover, com que rapidez e que caminho ela deve seguir. A Figura 4 mostra um trecho de código G-code, que será explicado na sequência.

Figura 4 – Exemplo G-code.

```
(Polyline consisting of 2 segments.)  
G1 X-8.88 Y16.90 F3500.00  
M300 S30.00 (pen down)  
G4 P150 (wait 150ms)  
G1 X-11.64 Y16.81 F3500.00  
G1 X-14.24 Y16.11 F3500.00
```

Fonte: Autoria própria

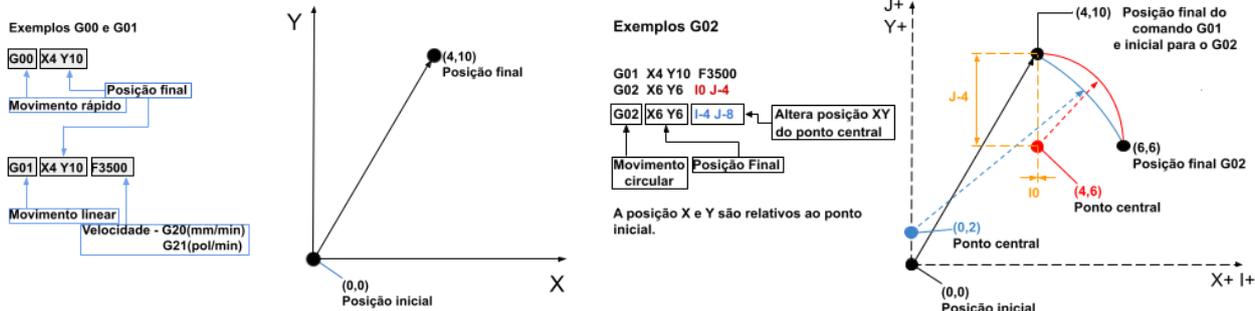
Observa-se que os comandos seguem o padrão “G## X## Y## F##”. O primeiro comando G1 (ou G01), significa “mover em linha reta para uma posição específica”, seguido das coordenadas X, Y (em outros casos X, Y e Z) e por último o F## define a velocidade em que o movimento será executado em mm/min (milímetros por minuto). Por exemplo, a linha “G1 X-11.64 Y16.81 F3500.00” informa à máquina CNC para mover-se em linha reta de sua posição atual até as coordenadas X-11.64 Y16.81 com velocidade 3500 mm/min. O comando G0 (ou G00), por outro lado move a máquina na velocidade máxima de deslocamento de uma posição atual, para um ponto específico ou para a coordenadas específicas pelo comando. A máquina moverá todos os eixos ao mesmo tempo para completar o percurso simultaneamente, resultando em um movimento em linha reta até o novo ponto de posição. A Figura 5(a) mostra um exemplo dos dois comandos sendo utilizados, em que a CNC inicia o movimento no ponto (0,0) e faz uma linha reta até a posição (4,10).

Para realizar um movimento circular, o comando utilizado é o G2 (ou G02). Além dos parâmetros de posição final, é definido também um centro de rotação ou distância do ponto inicial ao ponto central do arco. O ponto inicial é o último ponto do comando anterior. Na figura 5(b), apesar dos dois exemplos de comandos G02 indicarem o mesmo caminho final (X6 Y6), o ponto central dos dois são diferentes. No primeiro comando, em vermelho, o comando indica o ponto central como (I0, J-4), partindo do último ponto (4,10), gerando um ponto central (4,6). O segundo comando em azul, indica um ponto central diferente, dado como (I-4, J-8), partindo do último ponto (4,10), gerando um ponto central (0,2).

Figura 5 - Exemplos de comandos no G-code

(a) Exemplos G00 e G01

(b) Exemplos G02



Fonte: autoria própria.

Outros comandos utilizados são o G03 - funciona como o G02, porém realiza o movimento circular no sentido anti-horário; e o G04 - ordena a máquina a pausar sua posição por um período predefinido. Existem comandos para configurações, como G20 e G21 usados para definir unidades como milímetros ou polegadas, respectivamente. Além dos comandos para definir o plano de trabalho da máquina: G17 (plano XY), G18 (plano XZ) e G19 (YZ).

2.4 Comparação entre CNC fresadora e *plotter*

Como mencionado na Seção 1, o processo de *etching* de PCIs pode ser realizado utilizando uma CNC fresadora (método mecânico) ou uma CNC *plotter* (para o método químico). Nesta seção os dois tipos de máquina são analisados de acordo com quatro critérios: funcionalidade, custo, nível de dificuldade - de montagem, uso e manutenção - e versatilidade. O Quadro 1 sumariza a comparação.

Quadro 1 - Comparação entre CNC fresadora e *plotter*

Critério	Fresadora	<i>Plotter</i>
Funcionalidade	Corte preciso e remoção de material sólido.	Desenho em materiais planos.
Custo	Alto	Baixo a moderado
Nível de dificuldade	Moderada a Alta	Baixa
Versatilidade	Alta (material e aplicação)	Limitada (trabalhos planos)

Fonte: autoria própria

Funcionalidade

A Fresadora utiliza uma ferramenta de corte rotativa para remover material de uma peça, boa para fabricação de moldes, peças mecânicas e PCIs. O eixo Z é usado para controlar a profundidade de corte e permite que a ferramenta de corte se mova verticalmente em relação ao material a ser fresado. A *plotter* CNC usa um mecanismo de movimentação controlado para desenhar ou cortar materiais planos. Ótimo para trabalhos em superfícies planas. O eixo Z nesse caso, controla a elevação e o abaixamento da ferramenta de desenho ou corte (como uma caneta ou lâmina), usado para iniciar e finalizar o contato com o material.

Custos

A fresadora CNC geralmente é a mais cara, pois necessita de componentes mecânicos bem precisos, robustos e motores de alta potência. A *plotter* é mais barata em relação aos materiais para sua construção, sendo bem útil para modelos caseiros e uso educacional

Nível de dificuldade

A fresadora necessita de um conhecimento técnico, tanto para montagem e manutenção, devido suas peças móveis e ferramentas de corte. Necessita também de um conhecimento médio para operar e programar. A *plotter* CNC é fácil de montar e simples de usar, especialmente para tarefas de desenho. Além disso, tem uma curva de aprendizado muito boa para quem quer aprender do zero. Sua manutenção é simples e barata, por ter menos peças móveis e menos desgaste em relação à fresadora CNC.

Versatilidade

No caso da fresadora CNC, os materiais que podem ser processados são diversos. Por outro lado, a *plotter* CNC é limitada a trabalhos bidimensionais. Excelente para desenhar em PCs, adesivos, sinais e outros tipos de trabalhos planos.

3 DESENVOLVIMENTO DO PROTÓTIPO

A partir da comparação apresentada na Seção 2.4 - entre a fresadora e a *plotter* - optou-se por construir uma CNC *plotter*, porque os materiais necessários já estavam disponíveis na sede do PET da Engenharia Elétrica da UFES. Além disso, a manutenção mais barata e simples também foi uma motivação, por se tratar de um protótipo que ficará disponível para vários alunos e alunas do curso utilizarem. Foi usado como base o projeto de SriTu Hobby (2021), que se trata de um passo a passo detalhado da construção de uma CNC *plotter* utilizando gravadores de CD/DVD e Arduino.

3.1 Componentes utilizados

O protótipo da CNC foi construído utilizando os componentes apresentados no Quadro 2. O Arduino é o controlador principal, que recebe e processa os comandos do arquivo G-code, a placa driver de motor L293D permite o controle dos motores de passo, para mover os eixos X e Y, os drivers de CD/DVD são usados como base para os eixos, além de conter os motores dos eixos X e Y e o servo motor faz o controle do eixo Z.

Quadro 2 – Lista de componentes

Item nº	Nome	Quantidade	Valor unitário ¹	Valor total
1	Arduino UNO	1	R\$ 51,75	R\$ 51,75
2	Placa driver de motor L293D (Motor Shield)	1	R\$ 39,00	R\$ 39,00
3	Gravador de CD/DVD	2	-	-
4	Motor servo (Micro servo SG90)	1	R\$ 17,96	R\$ 17,96
5	Fio de cobre flexível 0.75mm (metro)	2	R\$ 2,30	R\$ 4,60
6	Parafusos M4x35MM	10	R\$ 1,18	R\$ 11,80
7	Porcas para parafuso M4x35MM	40	R\$ 1,18	R\$ 47,20
8	Ruelas para parafuso M4x35MM	30	R\$ 1,18	R\$ 35,40
9	Caneta	1	R\$ 10,00	R\$ 10,00
10	Mola	20	R\$ 1,90	R\$ 38,00
11	Placa metálica 5x5cm	1	R\$ 20,00	R\$ 20,00
12	Placa de espuma ou metálica 10x5cm	1	R\$ 20,00	R\$ 20,00
CUSTO TOTAL				R\$ 295,71

Fonte: Autoria própria

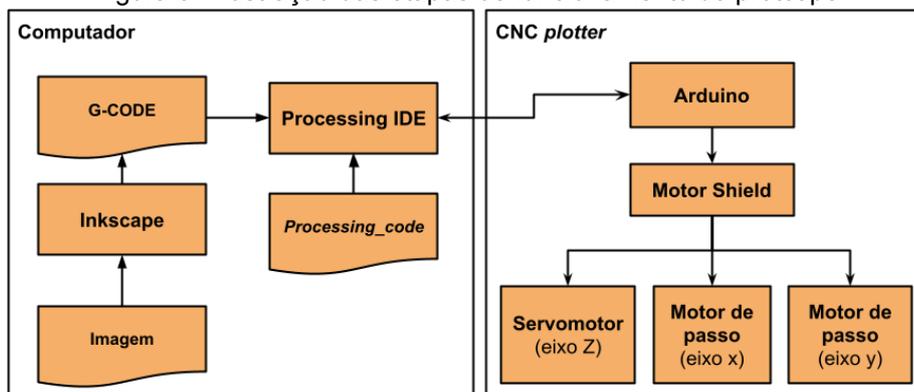
¹ Valor estimado, calculado a partir da média das opções mais relevantes da busca do "Google Shopping", pesquisa feita em 28/05/2024.

3.2 Funcionamento do sistema

O esquemático apresentado na Figura 6 ilustra o funcionamento do sistema. Uma imagem é adicionada no Inkscape e transformada em vetor, utilizando a funcionalidade de traçar bitmap. Em seguida, com ajuda de uma extensão de arquivo, o vetor é traduzido em comandos e salvo em um arquivo G-code. Com o auxílio de um programa auxiliar - que é executado a partir da IDE Processing (PROCESSING, 2024) carregada com o arquivo *processing_code.pde*², os comandos nesse são enviados para o Arduino, que recebe e os processa, orientando os eixos controlados pelo motor shield. Os eixos X e Y são usados para posicionamento do eixo Z, que utiliza uma caneta junto com o servo motor para reproduzir o desenho.

Vale ressaltar que, antes desse processo o Arduino precisa ser configurado para ser capaz de receber os comandos e controlar o *motor shield*. Essa configuração é feita utilizando a IDE do Arduino e o código *CNC_code.ino*³.

Figura 6 - Ilustração das etapas de funcionamento do protótipo.



Fonte: autoria própria.

4 RESULTADOS

Os resultados deste projeto estão divididos em três aspectos: o desempenho do protótipo, o material de disseminação do conhecimento produzido e a discussão sobre as habilidades e conteúdos aprendidos.

4.1 Desempenho do protótipo

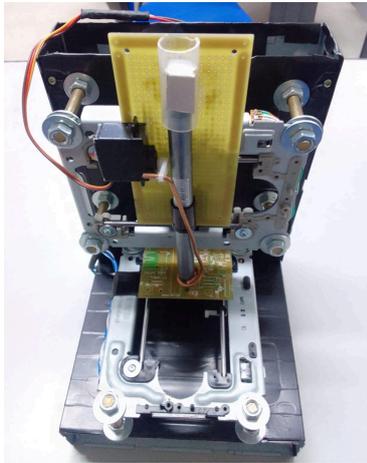
Os testes realizados no protótipo mostram que ele consegue desenhar no papel com uma boa precisão. A Figura 7 mostra a impressora finalizada, na Figura 7(a) pode-se observar a parte da frente, com a caneta, o motor e a superfície a ser desenhada, a Figura 7(b) mostra a parte de trás com o arduino e o *motor shield* acoplado nele, e na Figura 7(c) observa-se a *plotter* em funcionamento.

Figura 7 - Protótipo desenvolvido.

² Todos os códigos mencionados estão disponíveis no GitHub do projeto: <https://github.com/OrgulhoPK/CNCPLOTTER>

³ https://github.com/OrgulhoPK/CNCPLOTTER/tree/main/CNC_code

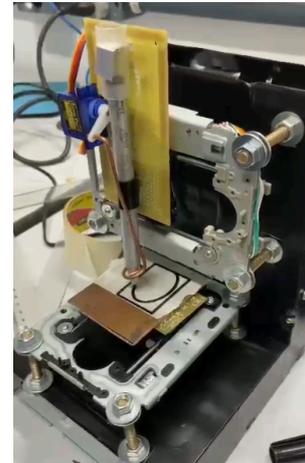
(a) Parte da frente.



(b) Parte de trás.



(c) Em funcionamento.



Fonte: autoria própria.

Algumas limitações foram notadas, em relação ao tamanho do desenho, os drivers CD/DVD possuem um limite máximo de 4x4cm. Em alguns projetos, esse tamanho é reduzido para 3.5x3.5cm, devido à limitação dos motores de passo. Além disso, a precisão dos movimentos é boa para desenhos simples, mas não muito quando a forma é mais complexa.

Para confecção de PCI, uma caneta permanente - geralmente hidrográfica, com a ponta feita de feltro - deve ser utilizada, pois sua tinta é resistente ao perclorato de ferro. Entretanto, o protótipo atual exerce pressão sobre a caneta, para mantê-la em contato com a superfície do desenho. Uma vez que a ponta da caneta é feita de feltro, ela é danificada por essa pressão. Uma solução possível seria substituir o motor shield por uma CNC shield, adicionando um terceiro motor de passo no eixo Z, para melhor controle da distância entre a caneta e a superfície do desenho.

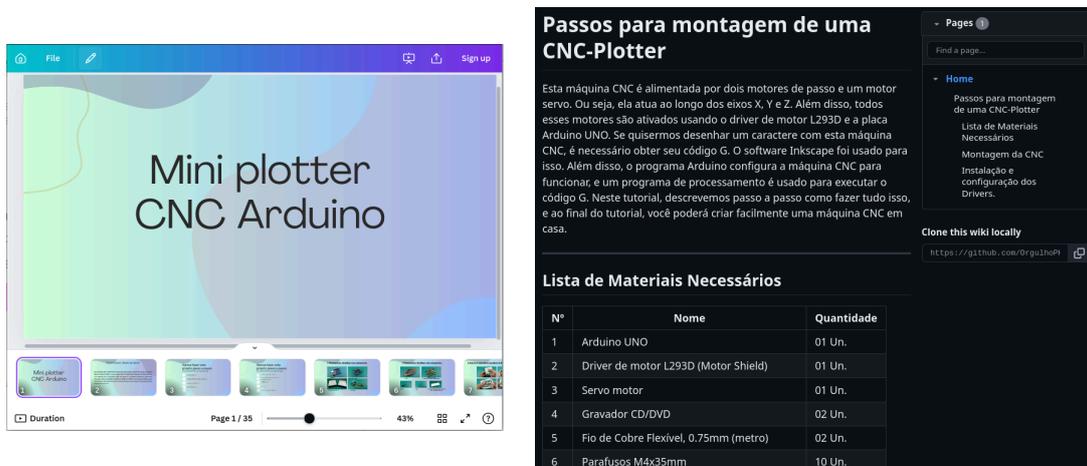
A estrutura precisa de mais estabilidade, para minimizar vibrações e garantir maior precisão. E, finalmente, os motores superaquecem ao finalizar um desenho, uma vez que o programa trava na posição inicial dos motores de passo que aquecem muito, diminuindo a precisão do próximo desenho e/ou correndo risco de serem danificados. A solução atual para esse problema é desligar a impressora por alguns segundos entre a realização dos desenhos.

4.2 Conhecimento produzido - Wiki e Canva

Foram criados dois tutoriais para a montagem de uma CNC *plotter*, como pode ser observado na Figura 8. O objetivo desses tutoriais é disseminar os conhecimentos adquiridos durante o desenvolvimento deste trabalho e, assim, dar subsídios para outras pessoas construírem seus próprios protótipos. Um tutorial foi feito no Canva⁴ e uma Wiki foi feita no Github⁵, onde também estão hospedados os códigos necessários para o funcionamento da CNC.

⁴ https://www.canva.com/design/DAFuiTjEP2M/JYTvOA8e_r8fMpAcpDeQSA/edit

⁵ <https://github.com/OrgulhoPK/CNCPLOTTER/wiki>

Figura 8 – Tutoriais para montagem da CNC *plotter*


Passos para montagem de uma CNC-Plotter

Esta máquina CNC é alimentada por dois motores de passo e um motor servo. Ou seja, ela atua ao longo dos eixos X, Y e Z. Além disso, todos esses motores são ativados usando o driver de motor L293D e a placa Arduino UNO. Se quisermos desenhar um caractere com esta máquina CNC, é necessário obter seu código G. O software Inkscape foi usado para isso. Além disso, o programa Arduino configura a máquina CNC para funcionar, e um programa de processamento é usado para executar o código G. Neste tutorial, descrevemos passo a passo como fazer tudo isso, e ao final do tutorial, você poderá criar facilmente uma máquina CNC em casa.

Lista de Materiais Necessários

Nº	Nome	Quantidade
1	Arduino UNO	01 Un.
2	Driver de motor L293D (Motor Shield)	01 Un.
3	Servo motor	01 Un.
4	Gravador CD/DVD	02 Un.
5	Fio de Cobre Flexível, 0,75mm (metro)	02 Un.
6	Parafusos M4x35mm	10 Un.

Fonte: autoria própria

4.3 Aprendizagem do processo

O conteúdo central que foi aprendido durante o processo foi o funcionamento, história e conceitos das máquinas CNCs. Esse conteúdo, inclusive, se apresenta na Seção 2 deste trabalho.

O processo de desenvolver o protótipo possibilitou a prática da habilidade de solda de componentes eletrônicos, tanto para fazer as conexões necessárias, quanto para “reciclar” os drivers de CD/DVD. A montagem da estrutura proporcionou a prática com montagem mecânica. Além disso, para reutilizar os motores de passos, foi necessário estudar o funcionamento básico dos mesmos, além das suas conexões, incluindo testes usando ferramentas de medição, particularmente o multímetro.

Já na área de eletrônica digital e programação, foi necessário estudar os conceitos básicos de programação em C++ (linguagem em que os códigos para o Arduino são baseados). Outra linguagem de programação que foi estudada foi o Java, que baseia o código em Processing, necessário para conversão do G-code. Outro *software* utilizado foi o Inkscape, desenvolvendo habilidades de edição e criação de imagens.

Do ponto de vista de *soft skills*, pode-se destacar a comunicação, importante para criação da documentação do projeto (Canva, Wiki do Github). Além disso, como o protótipo foi apresentado para alunos de Escolas de Ensino Fundamental e Média, a comunicação oral e interpessoal também foi desenvolvida para realizar essas apresentações. Finalmente, a criatividade foi desenvolvida, para pensar em como solucionar problemas que surgiram durante o processo.

5 CONCLUSÃO E TRABALHOS FUTUROS

Este trabalho abordou o desenvolvimento do protótipo de uma CNC do tipo *plotter* de baixo custo, utilizando materiais de sucata - drivers de CD/DVD - e um Arduino, com o objetivo de melhorar o processo de transferência de circuitos para placas de circuito impresso e, conseqüentemente, facilitar a confecção de PCs no contexto didático. O desenvolvimento do protótipo foi, também, o contexto de uma experiência de aprendizagem ativa.

O custo final estimado do protótipo - R\$295,71 - mostra a viabilidade do mesmo, uma vez que uma CNC para confecção de PCs custa, no mínimo, R\$1500,00. Entretanto,

o protótipo desenvolvido apresentou limitações que precisam ser superadas para que ele seja usado no contexto originalmente proposto. Algumas possibilidades são: (i) trocar a caneta permanente por uma com ponta mais resistente, (ii) ajustar o eixo Z para deixar a caneta mais firme e não causar pressão sobre a ponta ao fazer o desenho, (iii) trocar o servo motor para um motor de passo, proporcionando mais precisão no controle da caneta, (iv) trocar o eixo Z por um laser, alterando a função de desenho direto para retirada de tinta, fazendo o processo inverso e, ainda assim, gravando o desenho na placa, e (v) construir uma fresadora, para desgastar o cobre indesejado.

Ainda que o protótipo tenha limitações para trabalhar com confecção de PCBs, ele funciona adequadamente com canetas esferográficas, podendo ser utilizado para desenho ou escrita em papel, podendo ser utilizado como uma aplicação lúdica. Dessa forma, uma possível proposta seria o desenvolvimento de uma “máquina desenhista” em escolas, como atividade de iniciação à eletrônica, robótica e programação. Os tutoriais desenvolvidos - no Canva e Github - podem orientar professores, alunos e alunas de ensino fundamental e médio.

Do ponto de vista de aprendizagem ativa, pôde-se observar interdisciplinaridade, criatividade, desenvolvimento de *soft skills* como comunicação escrita e oral, além dos conteúdos técnicos diretamente aplicados à construção do protótipo. Dessa forma, compreende-se que foi uma experiência produtiva e sugere-se a aplicação da mesma em outras instituições de ensino.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao MEC e ao FNDE pelo apoio financeiro necessário para a manutenção das atividades do Programa de Educação Tutorial em Engenharia Elétrica Ufes.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, Lucas de Queiros; GIANINI, Diego Ventura; DORNELAS, Geovani Nunes. **A Utilização de Máquinas CNC de Baixo Custo como Ferramenta Didática na Fabricação de PCBs, no Ensino de Engenharia.** Journal Of Exact Sciences - Jes, Paraná, v. 15, n. 1, p. 5-12, dez. 2017.

ANDRADE, José Roberto de Castro; COSTA, Rafael Soares Areal da; SOUZA, Douglas Ornelas de; PECLAT, Maycon Cuervo Violino; CAMPISTA, Charles; SILVA, Letícia Moura da. **PROTÓTIPO DE CNC-PLOTTER DESENVOLVIDO COM MATERIAIS RECICLADOS E DE BAIXO CUSTO.** Revista Jopic, Teresópolis, v. 3, n. 7, p. 171-176, dez. 2020.

BRINCANDO COM IDEIAS. **Vamos Fazer uma CNC Caseira e Barata!![...]**. Youtube, 2023. Disponível em: <https://youtu.be/MCm4-AK1PMQ?si=zYTGhe8elwKReW2->. Acesso em: 26 mai. 2024.

CANAL XPROJETOS. **MINI CNC CASEIRA[...]**. Youtube, 2019. Disponível em: https://youtu.be/T3QTzM-hH-4?si=M_LBgLu1mD0FzHpu. Acesso em: 26 mai. 2024.

CARDOSO JÚNIOR, Edinaldo; OBANA, Fernando; MARINHO, Max; SPEROTTO, Lucas; SILVA, Sara. **REM-CNC Router - CNC multifuncional Fresa e Laser de baixo custo**

construída reutilizando equipamentos de informática e lixo eletrônico. In: ESCOLA REGIONAL DE INFORMÁTICA DE GOIÁS (ERI-GO), 8. , 2020, Evento Online. Anais [...]. Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Computação, 2020 . p. 31-44.

COELHO, Ítalo. **Como fazer uma placa de circuito impresso de forma caseira.** 2020. Disponível em: <https://www.makehero.com/blog/como-fazer-uma-placa-de-circuito-impresso/>. Acesso em: 26 maio 2024.

GENG, H. **Manufacturing Engineering Handbook**, Second Edition. New York: McGraw Hill Education, 2015

HASAN, Md. Mahedi; KHAN, Md. Rokonzaman; NOMAN, Abu Tayab; RASHID, Humayun; AHMED, Nawsher; REZA, HASAN, S.M. Taslim. Design and implementation of a microcontroller based low cost computer numerical control (CNC) plotter using motor driver controller. In: **2019 International Conference on Electrical, Computer and Communication Engineering (ECCE)**. IEEE, 2019. p. 1-5.

HYDER, Syed Fazle; IBRAHIM, Mohammed; ADAN, Mohd Zeeshan; MOHAMMED, Fazal. CNC PLOTTER MACHINE. **International Research Journal Of Engineering And Technology**, [S.L], v. 7, n. 5, p. 5300-5305, maio 2020.

HARDWARE LIBRE. **All types of CNC machines according to use and characteristics.** Disponível em: <https://www.hwlibre.com/en/types-cnc-machines-uses/>. Acesso em: 26 maio 2024.

KHANDPUR, R. S.. **Printed Circuit Boards Design, Fabrication, and Assembly.** [S.L.]: McGraw-Hill, 2006. 717 p.

MAIA NETO, Paulo Olímpio. **PROJETO E FABRICAÇÃO DE UMA MÁQUINA CNC ROUTER PARA PROTOTIPAGEM DE CIRCUITOS IMPRESSOS.** 2019. 55 f. TCC (Graduação) - Curso de Ciência e Tecnologia., Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Caraúbas, 2019.

MARQUES, Alan Aparecido, FIRMINO, Elton Eduardo. **CNC router de pequeno porte e baixo custo.** 2021. 33f. Trabalho de Conclusão de Curso (Técnico em eletroeletrônica) - Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza, Escola Técnica Estadual - ETEC Trajano Camargo, Limeira.

MR INNOVATIVE. **How to make Mini CNC plotter machine at home using Arduino, L293d Motor shield & old DVD drive.** Youtube, 2016. Disponível em: <https://youtu.be/opZ9RgmOlpc?si=vUYoUgSUaVx70KJV>. Acesso em: 26 mai. 2024.

MUSEU CAPIXABA DO COMPUTADOR. **A linguagem Automatically Programmed Tools APT de 1959.** 2023. Disponível em: <https://museucapixaba.com.br/hoje/linguagem-automatically-programmed-tools-apt-de-1959/>. Acesso em: 26 maio 2024.

PET ELÉTRICA UFES. **Confecção de Placas de Circuito Impresso**. Disponível em: <https://peteletrica.ufes.br/aula-placas/>. Acesso em: 30 maio 2024.

POLASTRINI, Fernando Henrique. **DESENVOLVIMENTO DE UMA MÁQUINA CNC DE BAIXO CUSTO COM SOFTWARE E HARDWARE ABERTOS**. 2016. 101 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Elétrica, Instituto Federal de Minas Gerais, Formiga, 2016.

PROCESSING. **Create with code, everywhere**. Disponível em: <https://processing.org/download>. Acesso em: 01 jun. 2024.

PROYECTO.F. **Mini cnc arduino motor shield I293d**. Youtube, 2016. Disponível em: <https://youtu.be/i5PR1rl-pwM?si=djNqEB81nKSxxviH>. Acesso em: 26 mai. 2024.

SEAMES, Warren. **Computer Numerical Control: Concepts & Programming**. Boston: Cengage Learning, 2001.

SMID, P. **CNC Programming Handbook: A Comprehensive Guide to Practical CNC Programming**. Norwalk, Industrial Press Inc., 2003.

SRITU HOBBY. **How to make a DIY mini Arduino CNC drawing machine using two CD / DVD ROMs**. YouTube, 2021. Disponível em: <https://youtu.be/KsZn5lQo1DY?si=1zhwB-7vtE--GnrV>. Acesso em: 26 mai. 2024

UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO. **Projeto Pedagógico do Curso de Engenharia Elétrica**. Vitória, 2022.

ACTIVE LEARNING IN THE DISCIPLINE "LABORATORY PRACTICES": PROTOTYPE OF A LOW-COST PRINTED CIRCUIT CNC PLOTTER

Abstract: *This work presents the project of development and construction of a prototype of a low-cost CNC printed circuit plotter, for use in the discipline "Laboratory Practices", where active learning is achieved through the elaboration of the solution to the problem of printing in electronic circuits. The entire construction process is described, and the results from the point of view of the prototype's performance, the material for disseminating the knowledge produced, and the discussion about the skills and contents learned are succinctly reported.*

Keywords: *problem based learning, electronic circuits, printed circuit CNC plotter, Arduino, printed circuit board.*

