

Protótipo CNC: um Novo Recurso para Ambientes Maker como Apoio Didático ao Ensino/Aprendizagem em Cursos de Robótica Educacional

Resumo: Com avanço da tecnologia e o grande volume de conteúdos na web nas últimas décadas, tem-se ampliado a utilização de fresadoras CNC (Comando Numérico Computadorizado) no meio industrial, ganhando considerável atenção na fabricação de peças. Este artigo propõe a construção de um protótipo CNC acessível de baixo investimento destinada à fabricação de PCI (placas de circuito impresso) a fim de instigar o fortalecimento acadêmico do ensino aprendizagem em cursos de robótica educacional, contribuindo para novas prototipagens de baixo custo. Como resultado do ponto de vista didático, este se baseia em um modelo educacional para o apoio do conhecimento e experiências *maker* de novos alunos, demonstrando que esta tecnologia pode ser difundida para diversas escolas, incentivando a pesquisa e o desenvolvimento de novos protótipos.

Palavras-chave: CNC, Arduino, Robótica, Protótipagem, Código aberto.

CNC Prototype: a New Resource for Maker Environments as Didactic Support for Teaching / Learning in Educational Robotics Courses

Abstract: With the advancement of technology and the large volume of content on the web in recent decades, the use of CNC milling machines (Computer Numerical Command) in the industrial environment has increased, gaining considerable attention in the manufacture of parts. This article proposes the construction of an affordable, low-investment CNC prototype for the manufacture of PCI (printed circuit boards) in order to instigate the academic strengthening of teaching and learning in educational robotics courses, contributing to new low-cost prototyping. As a result of the didactic point of view, it is based on an educational model to support the knowledge and experiences *maker* of new students, demonstrating that this technology can be disseminated to several schools, encouraging research and the development of new ones. prototypes.

Keywords: CNC, Arduino, Robotics, Prototyping, Open source.

1. Introdução

Nos últimos anos, a utilização de ferramentas de prototipagem e impressões 3D vem ganhando um grande destaque nos meios corporativos e acadêmicos (Pavan *et al.*, 2020). Para Garcia (2010) sua utilização resulta em uma redução de custo, uma vez que é possível obter protótipos ainda em fases iniciais de forma barata devido aos materiais empregados e evitando também prejuízos no caso de falhas.

As máquinas de Controle Numérico Computadorizado (CNC) são estruturas capazes de construir peças elaboradas computacionalmente a partir de mecanismos automatizados projetados por meio de instruções especificadas em código para o sistema de controle de máquina (Reintjes, 1991). Essas Máquinas são uma evolução do controle numérico, que substituíram o controle de um hardware por um computador com software instalado.

O CNC utiliza-se de um computador para controlar os movimentos dos eixos no corte da fresadora por meio de programas integrados de projeto CAD *. Após a crescente demanda de trabalho manufaturado, as principais CNC's, permitiram enorme ganho na

*CAD, ou projeto e desenho assistido por computador CADD, é uma tecnologia para desenho 3D e documentação técnica que substitui o desenho manual por um processo automatizado.

produtividade, podendo assim operar automaticamente sem a necessidade da constante atenção de um operador (Santos; Vieira e Ribeiro, 2018).

Atualmente, há uma grande quantidade de equipamentos que se utilizam da tecnologia CNC, tais como impressoras 3D, torno CNC, fresadora CNC, máquinas de medição por Coordenadas, entre outros (Polastrini, 2016). Aplicadas em diversas áreas como confecção de próteses (Júnior; Cruz e Sarmanho, 2018), radioterapia veterinária (Veneziani, 2017), no auxílio da criação de modelos geométricos físicos para o ensino de geometria a alunos cegos e/ou baixa visão (Santos e Sganzerla, 2018), e muitas outras áreas de aplicação.

Estas máquinas podem ser utilizadas no aprendizado de programação, eletrônica e processos de usinagem de peças, utilizando comando numérico com manufatura assistida por computador (CAM) do inglês *Computer-Aided Manufacturing*, que consiste no uso de um software que controla ferramentas de máquinas e equipamento ligado no processo de fabricação. Os alunos desenvolvem atividades relacionadas à programação de robô didático, com o objetivo de aprendizado na área de robótica de manipuladores industriais em cursos de tecnologia e mecatrônica industrial. Isso é possível devido ao avanço da eletrônica que tornou mais acessível a utilização de microcontroladores em protótipos CNC provocando redução de custos de produção destas máquinas (Gomes, 2020).

Com isso, surgiu-se o *código G* a partir da necessidade de uma linguagem de programação específica para padronização de controle numérico computadorizado neste segmento, e posteriormente o software livre *grbl* desenvolvido em linguagem C para a utilização em microcontroladores atmega328p na interpretação de códigos G (Jayachandriah *et al.*, 2014), fazendo-se presente o forte poder da programação nas CNCs.

Neste cenário, trabalhos acadêmicos direcionados a diversas abordagens e aplicações de protótipos CNC fizeram-se presentes trazendo a popularização e mais conhecimento dessa tecnologia, sendo aplicado em desenho bidimensional (Pawar *et al.*, 2017), corte e gravação em madeira (Ginting; Hadiyoso e Aulia, 2017), corte em acrílico (Patel; Pavagadhi e Acharya, 2019) e outros protótipos. Porém, mesmo com o aumento de informações e projetos desenvolvidos em ambientes *maker*, ainda existe a demanda por esta tecnologia como prática de novas prototipagens, podendo ser mais presente em cursos de robótica como ferramenta de apoio ao ensino.

Dessa forma, com o objetivo de alavancar o desenvolvimento de novos protótipos em cursos de robótica, justifica-se a importância deste artigo como material de apoio didáticos na elaboração de novos protótipos CNCs de baixo custo, utilizando componentes e materiais acessíveis. Nesse sentido, espera-se que a partir desta prototipagem, alunos de diversos níveis escolares ou mesmo autodidatas possam assimilar as ideias apresentadas neste trabalho, desenvolvendo novas soluções e projetos que auxiliem em diversas aplicações nas áreas de tecnologia, ensino-aprendizagem e cursos de robótica dentro e fora das instituições.

Este artigo está organizado em 6 seções. Na seção 2, foram abordados tópicos relevantes a estruturação e metodologia do passo a passo a ser seguido para a construção do protótipo CNC. Na seção 3, são apresentadas as estruturas, materiais e ferramentas que foram utilizadas para construção do protótipo proposto, bem como os componentes eletrônicos e software. A seção 4 faz uma explanação da relevância da tecnologia CNC em cursos de robótica na esfera da inovação e suas aplicações no contexto educacional. Os resultados dos testes realizados se encontram na seção 5, demonstrando sua eficiência. E finalmente, na seção 6 considerações finais com os resultados dos experimentos.

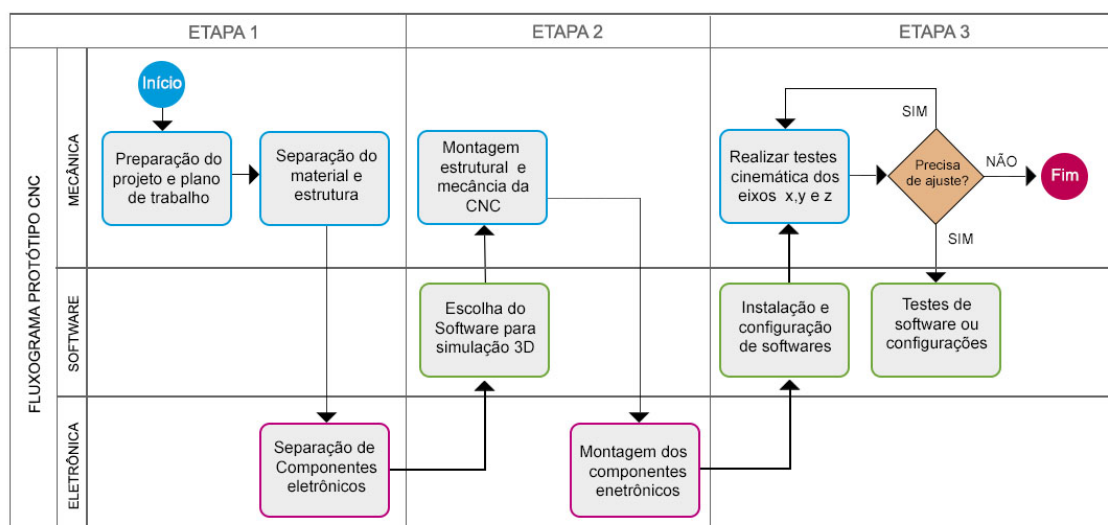
2. Organização e Metodologias

O protótipo desenvolvido neste trabalho ocorreu em três etapas, que serão melhor detalhadas nas seções seguintes deste artigo. Na primeira etapa, foi realizada a preparação e seleção dos materiais e elementos mecânicos bem como componentes eletrônicos. Na segunda etapa, realizou-se a escolha do software de controle para interpretação do código G e montagem estrutural mecânica juntamente com a parte eletrônica dos componentes. Por fim, a terceira etapa consistiu na configuração do software para realização dos testes nos eixos de movimentação. A figura 1 apresenta um fluxograma descrevendo com melhor precisão o sequenciamento de cada etapa desenvolvida na construção do protótipo CNC.

Diante dos passos apresentados entende-se que este trabalho implementa uma pesquisa tecnológica que emprega os mesmos meios da pesquisa científica, mas com um objetivo definido claro: a construção de um artefato (FREITAS, 2018). A pesquisa tecnológica vem ganhando cada vez mais visibilidade de pesquisadores de diversas áreas. Junior (2014) afirma que: "A chamada pesquisa tecnológica vem ganhando cada vez mais espaço na academia, especialmente em áreas como engenharia e computação, campos do saber humano que se ocupam principalmente do desenvolvimento de novos artefatos nem sempre baseados no conhecimento científico clássico".

A pesquisa de natureza tecnológica é aderente ao modelo de desenvolvimento de software e criação de artefatos, produtos recorrentes nas áreas das Tecnologias de Informação e Comunicação (TIC). Dessa forma, a metodologia tecnológica que mais se destaca é a *Design Science Research Methodology* (DSRM) que é amplamente utilizada no desenvolvimento de investigações tecnológicas, com foco na produção de novos artefatos. (Çağdaş e Stubkjær, 2011) afirmam que DSRM se constitui em um processo rigoroso de projetar artefatos para resolver problemas, avaliar o que foi projetado ou o que está funcionando, e comunicar os resultados obtidos. Nesta perspectiva, a DSRM foi escolhida como fundamentação metodológica deste trabalho.

Figura 1. Fluxograma de desenvolvimento e construção



Fonte: Elaborado pelo autor.

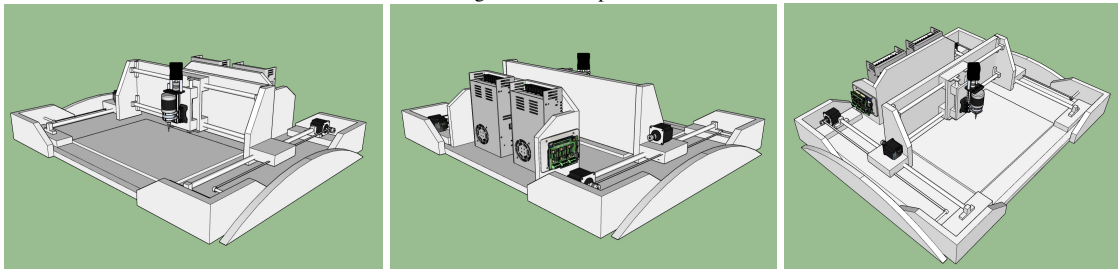
3. Estrutura e Materiais

Para garantia de uma rigidez e usabilidade durante o funcionamento da máquina, é importante a escolha de um material sólido para evitar possíveis instabilidades e

vibrações. Tendo em vista isso, foi utilizado o MDF como opção de baixo custo já utilizados em trabalhos como (Gomes, 2020) e (Khan *et al.*, 2017). Todos os materiais utilizados nesse protótipo CNC se encontram na tabela 1.

A estrutura do protótipo estabelecido foi primeiramente desenhada em um software CAD de desenho 3D, utilizando o *Sketchup Version 2019*, especificando o formato e tamanho de cada peça e suas dimensões que posteriormente serviu como base para construir o protótipo conforme visualizado na Figura 2. Utilizando-se de métodos que evitam a utilização de grandes dimensões na movimentação da fresa nos eixos x, y e z, foram utilizados uma barra fuso Tr8 juntamente com guias lineares de 10mm para o eixo Y, 10 mm para o eixo X e 10mm para eixo z.

Figura 2. Protótipo CNC

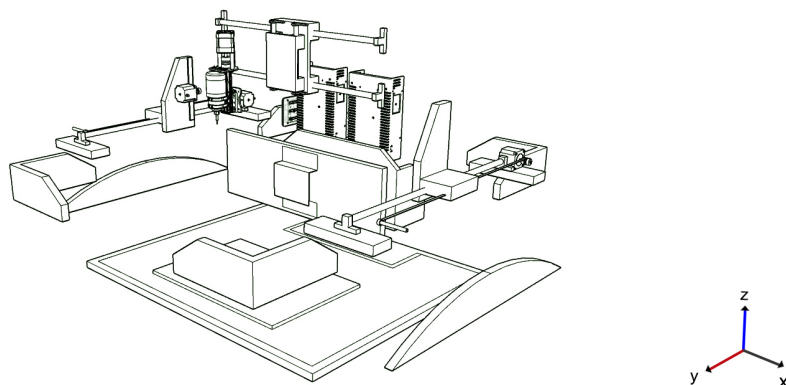


Fonte: Elaborado pelo autor.

Para a movimentação do eixo Z não é necessário grande variação de curso quando comparado aos outros eixos X e Y. Portanto, com intuito de redução de peso, utilizou-se guias lineares de 20 cm de comprimento, que se mostraram suficientes para conseguir desempenhar o processo de usinagem eficientemente durante a movimentação da fresa.

Dentro de uma perspectiva para melhor projeção 3D e clareza do protótipo a ser desenvolvido, conceitos de metodologias BIM - *Building Information Model* foram utilizados para melhor simulação com intuito de reduzir possíveis erros na fase inicial. Aumentando a eficiência e visualização do projeto de maneira ampla descrito na figura 3.

Figura 3. Projeção Perspectiva explodida



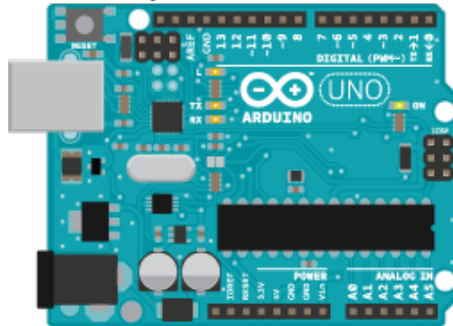
Fonte: Elaborado pelo autor.

3.1. Microcontrolador

A microcontroladora de processamento de dados de código aberto escolhida neste trabalho foi a placa Arduino UNO mostrada na figura 4. A mesma possui quatorze portas digitais de entrada e saída, sendo seis destinadas para PWM (Pulse Width Modulation),

seis entradas analógicas com 32 kb de memória flash, um cristal oscilador de 16MHZ, uma conexão USB, uma entrada de alimentação, uma conexão ICSP e um botão de reset.

Figura 4. Arduino UNO



Fonte: Arduino. Disponível em://www.arduino.cc. Acesso em: 09 mar. 2021

Para (Jayachandraiah *et al.*, 2014), o Arduino atua como cérebro da fresadora CNC. A microcontroladora Arduino UNO pode controlar dispositivos ou receber dados de sensores de maneira digital ou analógica. Após a placa Arduino receber o código G, a mesma é responsável por enviar comandos aos motores de passos que irão controlar os movimentos dos eixos.

3.2. CNC Shield e Drivers A4988

A placa Arduino consegue se comunicar com todo o sistema mecânico por meio da placa CNC *shield*. Estas são placas de circuito que podem ser facilmente conectadas a uma placa Arduino, simplificando a instalação eletrônica de drivers de potência, fonte de energia e demais periféricos. Possuem também, encaixes para o acoplamento direto de até quatro drives de potência, trata-se de uma *shield* de acoplamento dimensionado para Arduino UNO, que contém especificações voltadas a projetos CNC.

Todos os motores de passo são controlados por um conjunto de drivers A4988, que são utilizados para transformar sinais elétricos de baixa potência, recebidos em sua entrada, em pulsos elétricos de maior potência em sua saída. O conjunto de controle do CNC pode ser visualizado na Figura 5.

3.3. Motores de passo

Os motores de passo são muito utilizados em projetos de robótica educacional, bem como em impressoras e drives de disco rígido, podendo ser facilmente aplicados em protótipos e impressoras 3D. Os mesmo são caracterizados em Bipolar e Unipolar (Khan *et al.*, 2017). Pode-se dizer que se trata de um transdutor que converte pulsos elétricos em movimento mecânico de rotação.

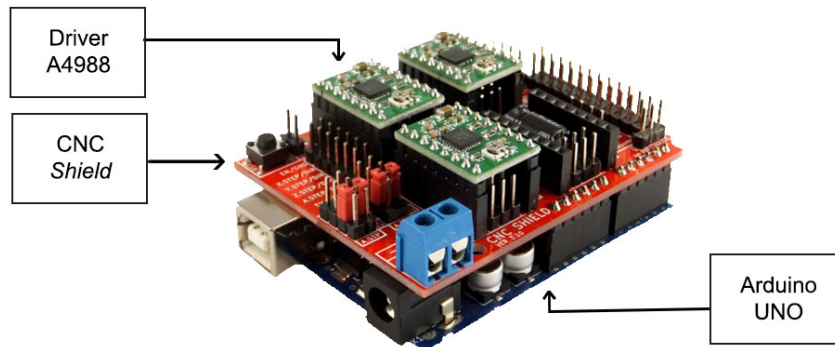
Para o modelo proposto, utilizou-se 4 motores de passos NEMA 17, na configuração bipolar compatíveis com os *drivers* A4988, que apresentam alto torque e velocidade mais eficientes quando comparados aos Unipolar segundo (Khan *et al.*, 2017).

3.4. Software

Todos os movimentos da CNC devem ser controlados por meio de um *software* que consegue interpretar comandos enviados para os eixos. Existem várias opções como o Universal G-code Sender, bCNC, e outras plataformas *Open Source* que são disponibilizadas e mantidas para aplicações de baixo custo. Foi utilizado para este trabalho o Universal G-code Sender por motivo de oferecer uma interface gráfica amigável e simples, além de permitir autonivelamento entre a fresa e área de trabalho. O

mesmo comunica-se com o Arduino por um cabo USB serial, enviando informações de movimento (Fachim, 2013).

Figura 5. Arduino , CNC shield e Drivers A4988



Fonte: Adaptada

de (VEER, 2017)

Para qualquer objeto a ser usinado é preciso um software de modelagem 3D, onde se utiliza do sistema CAD/CAM (*Computer Aided Design/Computer Aided Manufacturing*), para gerar um código de leitura no formato G-code, que será lido pelo software escolhido Universal G-code Sender e transferido para o Arduino, que é responsável pelo controle dos movimentos da fresadora CNC. Para isso foi utilizado o programa Proteus Design Suite na versão 7 que é um software para criação e modelagem de projetos eletrônicos, o mesmo possui uma *suite* de ferramentas, simulação e módulos de projetos de placas de circuito impresso (PCB). Para desenhar o circuito utilizou-se a *suite* ISIS, e o layout da placa foi desenvolvido com o ARES, ambos ferramentas do PROTEUS. Toda documentação do GRBL, pode ser acessado no repositório do GitHub disponível em (JEON, 2021).

Tabela 1. Materiais Utilizados

Mecânica		Eletrônica	
Componentes	Quantidade	Componentes	Quantidade
Material MDF 15mm	1	Moteres de Passo Nema 17	4
Suportes SHF 10mm	12	Arduino UNO	1
Correia GT2-6 3m	3	CNC Shilde	1
Motor spindle 300w	1	Drivers A4988	4
Pilow block 10mm	12	Fonte De Alimentação 24v	1
Guias Lineares 10mm	5	Fonte De Alimentação 48v	1
Suporte Metálico para NEMA 17	4	Cabo de Força (Fonte)	1
Parafuso M5/25	48	Cabo USB	1
Porca	48		
Arruela lisa	48		
Rosca soberba	56		
Acoplador Flexível 5X5mm	1		
Plolia GT2 8MM	3		
Castanha TR8 8MM	1		
Polia tensora lisa GT2 6mm	3		

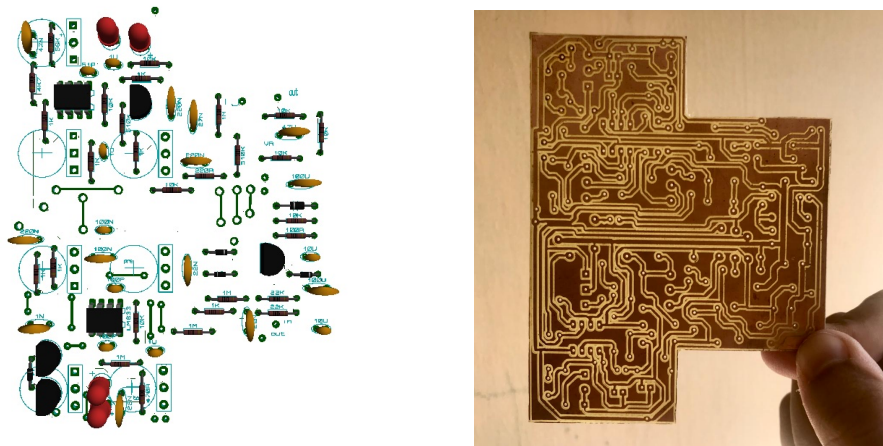
4. Robótica Educacional e Atividades Maker

Na perspectiva da educação, inovação em ciência e tecnologia, a Robótica Educacional surgiu como ferramenta única de aprendizado que pode oferecer atividades práticas e divertidas em ambientes diversos que provocam a curiosidade dos alunos (Eguchi, 2010). Segundo (Zilli *et al.*, 2004), a Robótica Educacional pode desenvolver as seguintes competências: raciocínio lógico; formulação e teste de hipóteses; relações interpessoais; investigação e compreensão; representação e comunicação; resolução de problemas por meio de erros e acertos; aplicação das teorias formuladas a atividades concretas; criatividade; e capacidade crítica.

Ainda na perspectiva educacional, o impacto que a evolução tecnológica vem causando no perfil dos alunos com o surgimento de novas tecnologias e ferramentas que auxiliam no processo de ensino aprendizagem multidisciplinar em cursos de robótica, podem ajudar a melhorar a capacidade de raciocínio lógico dos alunos (Barbero e Demo, 2011). Neste sentido, as novas possibilidades tecnológicas vem transformando o ambiente físico da sala de aula em um espaço para experimentação e estímulo da criatividade, fazendo da tecnologia um facilitador do processo de ensino-aprendizagem (Blasca *et al.*, 2010).

Com o surgimento de modelos de projetos em ambientes educacionais direcionados a experimentação de novas prototipagem juntamente com o movimento Maker, a Robótica Educacional ganhou um papel central do ponto de vista pedagógico, propiciando atividades práticas de ensino, favoráveis à sua aplicação (Miranda; Sampaio e Borges, 2011), descritos em trabalho como por exemplo de (Vilhete *et al.*, 2002), (Schons; PRIMAZ e WIRTH, 2004) e (Alves; Blikstein e Lopes, 2005).

Figura 6. Circuito projetado no *software* Proteus



Fonte: do Autor

A metodologia aplicada neste trabalho (DSRM), assim como o que é vivenciado em espaços maker's, baseiam-se em práticas construtivistas, assumindo a importância de diferentes aspectos envolvidos no processo de ensino-aprendizagem do conhecimento construtivista introduzida por Jean Piaget e desenvolvida por Seymour Papert (Papert, 1994). Desta forma, a aprendizagem humana não é o resultado de uma transmissão de conhecimento, mas sim de um processo ativo de construção do conhecimento em experiências do mundo real em contato ao pré conhecimento pessoal (Piaget, 1997).

Cada vez mais os componentes eletrônicos e plataformas de prototipagem, como Arduino e Raspberry Pi (RPi), que são ferramentas utilizadas para o auxílio prático e teórico em disciplinas de robótica, programação e eletrônica (Perez *et al.*, 2013).

Com isso, novas ideias ganham formas com a facilidade e uso (usabilidade), que (microcontroladores, sensores, kits programáveis...) ganham espaço dentro das escolas, tornando o uso dessas ferramentas constantemente mais comum provocando diferentes aplicações (Rafalski; Silva e Júnior, 2019).

5. Testes e Resultados

Para realização dos teste de cinemática dos eixos x y e z, utilizando o *software* Universal G code Sender, obteve-se resultados considerados satisfatório no momento da movimentação e deslocamento da fresa, tendo em vista que toda a estrutura desenvolvida em MDF suportou a velocidade a cima de 120 mm/min, demonstrando rigidez estrutural suficiente para desempenhar trabalhos de usinagem em placas de circuitos impresso com precisão, assim como impressões em placas de qualquer outro tipo de forma para outros fins.

Antes da realização de cada teste, foi realizado o nivelamento entre a fresa com broca de 0,7mm e superfície da mesa de impressão, para que registrasse a localização e profundidade bem como a localização exata do material que seria trabalhado.

Após estas etapas, como exemplo de teste de qualidade, foi desenhado e modelado um circuito no *software* Proteus de maneira profissional para identificar possíveis falhas que poderiam ocorrer durante o processo de impressão na placa. Contudo, mostrou-se bastante eficiente em sua execução com resultados satisfatório podendo ser visualizados na figura 6.

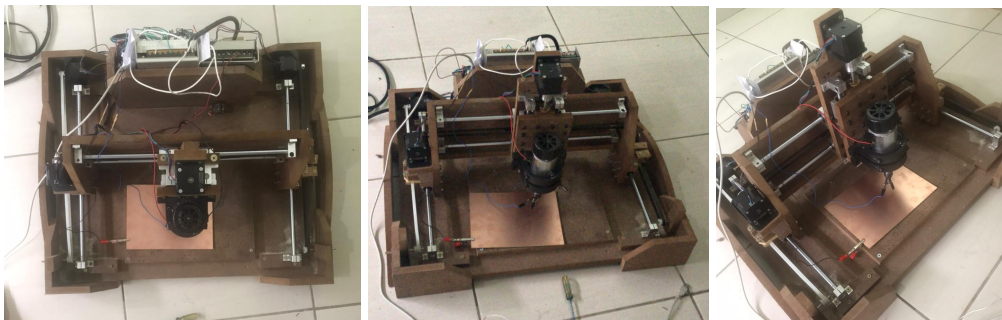


Figura 7. CNC didática desenvolvida

Através da produção de um PCB, pode-se observar na figura 6 com precisão os resultados das trilhas impressas juntamente com os pontos de perfuração executados pelo eixo Z ao serem finalizados.

6. Considerações Finais

A máquina desenvolvida demonstrou bastante eficiente para ser usada como modelo guia em cursos de robótica educacional, sendo considerada uma opção acessível também para estudantes e pesquisadores. A mesma permite que através de sua construção seja possível estudar e compreender as principais funcionalidades e entendimento do funcionamento, bem como identificar possíveis problemas. A figura 7 mostra o resultado do protótipo desenvolvido.

As CNCs acabam fabricando peças mais rapidamente que as impressoras 3D, pois o tempo de execução para finalizar uma única peça muitas das vezes lavam horas, tendo uma produtividade menor. Dessa maneira a construção e elaboração de um protótipo CNC se torna mais viável em ambientes *maker* dependendo do objetivo final. Sendo as CNCs utilizadas como ferramenta didática em curso de robótica e ensino de programação

fortemente aplicada utilizando microcontroladoras Arduino, agregando aos alunos um conhecimento amplo abrangente, abrindo diversas aplicações no campo de novas ideias e inovação.

Dependendo do tipo de software que é utilizado para trabalhos de impressão 3D, o próprio pode entre outras aplicabilidades imprimir desenhos e outras formas até mesmo em 3D. Também fazer cortes de polímetros finos e papel, com gravação em madeira e superfícies metálicas comprovando outras funcionalidades variadas.

Desta forma, reforça-se a motivação original deste trabalho, uma forma de estudantes e pesquisadores a provocarem novas ideias e protótipos dentro do ensino aprendizagem de robótica educacional e eletrônica.

Referências

- Alves, A. C.; Blikstein, P.; Lopes, R. de D. Robótica na periferia? uso de tecnologias digitais na rede pública de são paulo como ferramentas de expressão e inclusão. In: **Anais do Workshop de Informática na Escola**. [S.l.: s.n.], 2005. v. 1, n. 1.
- Barbero, A.; Demo, G. B. The art of programming in a technical institute after the italian secondary school reform. **Proceedings ISSEP 2011**, 2011.
- Blasca, W. Q.; Maximino, L. P.; Galdino, D. G.; Campos, K. d.; Picolini, M. M. Novas tecnologias educacionais no ensino da audiologia. **Revista Cefac**, SciELO Brasil, v. 12, n. 6, p. 1017–1024, 2010.
- Çağdaş, V.; Stubkjær, E. Design research for cadastral systems. **Computers, Environment and Urban Systems**, Elsevier, v. 35, n. 1, p. 77–87, 2011.
- Eguchi, A. What is educational robotics? theories behind it and practical implementation. p. 4006–4014, 2010.
- Fachim, A. Projeto de fresadora cnc com plataforma livre arduino. 2013.
- FREITAS, V. M. d. S. V. Guia para a escrita de artigos científicos: uma perspectiva da pesquisa tecnológica. **Instituto Federal Catarinense -IFC**, 2018. Disponível em: <http://redes.sombrio.ifc.edu.br/wp-content/uploads/sites/7/2020/09/Guia-de-artigos-cienti%CC%81ficos-FREITAS-JUNIOR-e-SOUSA.pdf>.
- Garcia, L. **Desenvolvimento e Fabricação de uma mini-empresa 3D para cerâmicas**. Tese (Doutorado) — Dissertação apresentada à Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade ..., 2010.
- Ginting, R.; Hadiyoso, S.; Aulia, S. Implementation 3-axis cnc router for small scale industry. **International Journal of Applied Engineering Research**, v. 12, n. 17, p. 6553–6558, 2017.
- Gomes, J. C. Construção de fresadora de baixo custo controlada computacionalmente, para aplicações didáticas. **REVISTA EIXO**, v. 9, n. 2, p. 13–26, 2020.
- Jayachandraiah, B.; Krishna, O. V.; Khan, P. A.; Reddy, R. A. Fabrication of low cost 3-axis cnc router. **International Journal of Engineering Science Invention**, v. 3, n. 6, p. 1–10, 2014.
- JEON, S. **Jeon**. 2021. Disponível em: <https://github.com/grbl/grbl/wiki>.
- Júnior, J. L. R.; Cruz, L. M. d. S.; Sarmanho, A. P. S. Impressora 3d no desenvolvimento de pesquisas com próteses. **Rev. Interinst. Bras. Ter. Ocup**, v. 2, n. 2, p. 398–413, 2018.
- Junior, V. e. a. F. A pesquisa científica e tecnológica. **Revista Espacios**, Caracas, Venezuela, v. 35, n. 9, p. 12 – 22, 2014. Disponível em: <http://www.revistaespacios.com/a14v35n09/14350913.html>.
- Khan, T. A.; Samiu, M. S. H.; Sani, M.; Haque, M.; Uddin, J. **A micro controller controlled 3 Axis CNC Machine for engraving and designing**. Tese (Doutorado) — BRAC University, 2017.

- Miranda, L. C. D.; Sampaio, F. F.; Borges, J. A. dos S. Robofácil: Especificação e implementação de um kit de robótica para a realidade educacional brasileira. **Revista Brasileira de Informática na Educação**, v. 18, n. 03, p. 46, 2011.
- Papert, S. **The children's machine: Rethinking school in the age of computer (Reprint ed.)**. [S.l.]: New York: Basic Books, 1994.
- Patel, M. P. N.; Pavagadhi, M. S. D.; Acharya, S. G. Design and development of portable 3-axis cnc router machine. **International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)**, v. 6, n. 3, p. 1–452, 2019.
- Pavan, G. F. *et al.* Impressão 3d: ferramenta de prototipagem rápida para elaboração de metodologias e kits didáticos relacionados à educação. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 3, p. 13013–13021, 2020.
- Pawar, A. S.; Halunde, M. J.; Nayakawadi, S. M.; Mirajkar, M. P. 3 axis drawing machine. **International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)**, v. 4, n. 03, p. 693–697, 2017.
- Perez, A. L. F.; Darós, R. R.; Puntel, F. E.; Vargas, S. R. Uso da plataforma arduino para o ensino e o aprendizado de robótica. 2013.
- Piaget, J. **The principles of genetic epistemology**. [S.l.]: Psychology Press, 1997. v. 7.
- Polastrini, H. Desenvolvimento de uma máquina cnc de baixo custo com software e hardware abertos. **Relatório (Graduando em Engenharia Elétrica), Instituto Federal de Minas Gerais**, 2016.
- Rafalski, J. d. P.; Silva, M. A. d. F. da; Júnior, R. R. M. V. Relato de experiências em espaços makers nas escolas do ensino fundamental. **RENOTE**, v. 17, n. 1, p. 276–285, 2019.
- Reintjes, J. F. **Numerical control: Making a new technology**. [S.l.]: Oxford University Press, Inc., 1991.
- Santos, D. A. dos; Vieira, S. K. S. F. L.; Ribeiro, F. A. A. Cnc de baixo custo para impressao de circuitos em placas para pedais de guitarra. **ANAIS ELETRÔNICOS ENUCOMPI 2018**, 2018.
- Santos, J. L. dos; Sganzerla, M. A. R. Impressora 3d de baixo custo para auxiliar cegos e/ou baixa visão na construção de sólidos geométricos: Projeto mark. **Revista de Iniciação Científica da ULBRA**, v. 1, n. 16, 2018.
- Schons, C.; PRIMAZ, E.; WIRTH, G. A robótica educativa na instituição escolar para alunos do ensino fundamental da disciplina de língua espanhola através das novas tecnologias de aprendizagem. 2004.
- VEER, K. **Connecting Grbl**. GitHub, 24 Abril, 2017. Disponível em: <https://github.com/grbl/grbl/wiki/Connecting-Grbl>.
- Veneziani, G. R. Desenvolvimento de um objeto simulador canis morpheic utilizando impressora 3d para aplicação em dosimetria na área de radioterapia veterinária. 2017.
- Vilhete, J.; Gonçalves, L. M.; Garcia, M. F.; Garcia, L. T. Uma abordagem prático-pedagógica para o ensino de robótica em ciência e engenharia de computação. v. 1, n. 1, p. 428–439, 2002.
- Zilli, S. d. R. *et al.* A robótica educacional no ensino fundamental: perspectivas e prática. Florianópolis, SC, 2004.