

Faculdade Evangélica de Goianésia - FACEG
Curso de Engenharia Mecânica

ANDRÉ FERREIRA PIMENTA
YAGO SILVA FERREIRA

**DESENVOLVIMENTO DE PROTÓTIPO DE ROUTER CNC PARA USINAGEM EM
MADEIRA**

Publicação Nº 03

Goianésia - GO
2024

FICHA CATALOGRÁFICA

PIMENTA, ANDRE FERREIRA; SILVA, YAGO FERREIRA... .	
Estudo de um protótipo de router CNC para usinagem em madeira	
Trabalho de Conclusão de Curso– FACEG – FACULDADE EVANGÉLICA DE GOIANÉSIA	
Curso de Engenharia Mecânica.	
1. CNC	2. Protótipo
3. Usinagem	
I. ENM/FACEG	II. Título (Série)

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

PIMENTA, André Ferreira, FERREIRA, Yago Silva. Estudo de um protótipo de router CNC para usinagem em madeira. Artigo, Publicação 03 2024/2 Curso de Engenharia Mecânica, Faculdade Evangélica de Goianésia – FACEG, Goianésia, GO, 11p, 2024.

CESSÃO DE DIREITOS

NOME DOS AUTORES: André Ferreira Pimenta; Yago Ferreira Silva

TÍTULO DO TRABALHO DO ARTIGO: Desenvolvimento de protótipo de Router CNC para usinagem em madeira

GRAU: Bacharel em Engenharia Mecânica ANO: 2024

É concedida à Faculdade Evangélica de Goianésia - FACEG a permissão para reproduzir cópias deste TCC e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte deste TCC pode ser reproduzida sem a autorização por escrito do autor.

Assinado de forma digital
por André Ferreira Pimenta
Dados: 2024.12.16 17:35:19
-03'00'

André Ferreira
Pimenta

André Ferreira Pimenta
76382-030 - Goianésia/GO – Brasil

Documento assinado digitalmente
YAGO SILVA FERREIRA
Data: 16/12/2024 17:56:48-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

gov.br

Yago Silva Ferreira
76390-000 – Barro Alto/GO - Brasil

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO, EM FORMA DE ARTIGO,
SUBMETIDO AO CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA DA FACEG**

Aprovados por:



Documento assinado digitalmente
IVANDRO JOSE DE FREITAS ROCHA
Data: 20/12/2024 10:04:52-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

**Ivandro Jose de Freitas, Mestre (FACEG)
(ORIENTADOR)**



Documento assinado digitalmente
MARINES CHIQUINQUIRA CARVAJAL BRAVO GOI
Data: 16/12/2024 20:10:12-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

**Marinés Chinquinquirá Carvajal Bravo Gomes, Doutora (FACEG)
(EXAMINADOR INTERNO)**



Documento assinado digitalmente
CESAR RAMOS RODRIGUES FILHO
Data: 16/12/2024 20:00:37-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

**Cesar Ramos Rodrigues Filho, Mestre (FACEG)
(EXAMINADOR INTERNO)**

DESENVOLVIMENTO DE PROTÓTIPO DE ROUTER CNC PARA USINAGEM EM MADEIRA

André Ferreira Pimenta¹, Yago Silva Ferreira², Me. Ivandro José de Freitas Rocha³

¹Acadêmico de Engenharia Mecânica/FACEG E-mail: andrepimentamg38@gmail.com;

²Acadêmico de Engenharia Mecânica /FACEG E-mail: yagosilva775@hotmail.com ;

³Orientador(a) e Professor(a) do Curso de Engenharia Mecânica/FACEG E-mail: ivandro.rocha@faceg.edu.br

Resumo: O router CNC é uma máquina automatizada, operada por software, projetada para cortar, gravar e perfurar uma variedade de materiais, empregando uma broca como ferramenta de corte. Este trabalho visa o desenvolvimento integral de um router CNC para usinagem em madeira, incluindo a fabricação das peças estruturais. Materiais de alta resistência e rigidez foram selecionados para a construção do protótipo, garantindo sua capacidade de suportar cargas máximas baseadas na massa do equipamento utilizado junto com o material usado para montar a estrutura. O modelo foi concebido e refinado utilizando o software AutoCAD, permitindo uma detalhada representação virtual do projeto. Conclui-se com o fim do projeto, em um espaço de trabalho de 300x300 milímetros, é amplamente possível a usinagem de peças em madeira, como, nivelamento da peça, criação de formas simétricas que irão servir para molde e posteriormente fundindo estas formas para se ter um exemplar em metal. Este estudo destaca não apenas a montagem física do equipamento, mas também o processo de modelagem e simulação necessário para garantir sua funcionalidade e eficácia, por fim, o custo de projeto foi aproximadamente R\$ 2.400,00 com uma área de usinagem de 300x300 mm, comparado a outras máquinas no mercado em que a área de usinagem é menor e não permite aperfeiçoamentos futuros. .

Palavras-chaves: CNC. Programação. Usinagem.

Abstract: The CNC router is an automated, software-operated machine designed to cut, engrave and drill a variety of materials, employing a milling cutter as the cutting tool. This work aims at the integral development of a CNC router, including the manufacturing of structural parts. High strength and rigidity materials were selected for the construction of the prototype, ensuring its ability to withstand maximum loads based on the mass of the equipment used together with the material used to assemble the structure. The model was designed and refined using AutoCAD software, allowing a detailed virtual representation of the project. It is expected that with the end of the project, in a workspace of 300x300 millimeters, it will be possible to machine wooden parts, such as leveling the part, creating symmetrical shapes that will be used for molds and later fusing these shapes to have a metal copy. This study highlights not only the physical assembly of the equipment, but also the modeling and simulation process necessary to ensure its functionality and effectiveness. Finally, the project cost was R\$ 2,319.24 with a machining area of 300x300 mm. Compared to other machines on the market, the machining area is smaller and does not allow for future upgrades.

Keywords: CNC. Schedule. Machining.

INTRODUÇÃO

No século XVIII, na França, foi criado o primeiro torno mecânico, inicialmente de pequeno porte e operado manualmente [1]. Nos processos industriais modernos, um componente fundamental é o robô de Controle Numérico Computadorizado (do inglês *Computer Numeric Control* - CNC). Este dispositivo realiza uma variedade de funções, como corte, escultura, gravação e furação em materiais como metal, madeira e plástico [2].

O desenvolvimento de um protótipo de robô manipulador CNC exige uma análise cuidadosa do projeto e um planejamento preciso da estrutura da máquina. Essa estrutura deve ser robusta e precisa o suficiente para garantir um desempenho ótimo. A análise envolve cálculos relacionados à carga máxima suportada, à velocidade e aceleração necessárias para a operação, bem como às dimensões adequadas dos componentes estruturais [1].

As Routers CNC são amplamente utilizadas em diversos setores industriais devido à sua versatilidade e à

sua presença consolidada no mercado, sendo adotadas tanto por grandes quanto por pequenas empresas. Sua adaptabilidade permite atender às demandas de forma mais rápida, mantendo o nível de qualidade exigido, o que resulta em economia significativa para as empresas, especialmente ao evitar os custos associados à compra de peças externas [3].

Essa tecnologia também é acessível a entusiastas que desenvolvem projetos como hobby e, com o aumento do acesso a impressoras 3D, o movimento "faça você mesmo" (do inglês *Do It Yourself* - DIY) tem crescido, gerando um impacto cultural e econômico significativo. Esse movimento incentiva a reutilização e o conserto de objetos, promovendo uma mentalidade sustentável e reduzindo o consumo de novos produtos. Além disso, o DIY permite a criação de soluções personalizadas que atendem às necessidades específicas de cada indivíduo, o que nem sempre é possível encontrar no mercado [4].

O objetivo deste trabalho é demonstrar o impacto das ferramentas automatizadas no avanço dos processos

industriais e no aprimoramento da qualidade das peças. Peças mais precisas não apenas conservam energia de forma mais eficiente, mas também permitem a criação de linhas de produção mais econômicas, reduzindo os custos de fabricação.

REFERENCIAL TEÓRICO

O trabalho de Borba [5] oferece uma análise técnica abrangente sobre os materiais empregados na construção de máquinas CNC. A obra explora as características, vantagens e desvantagens de uma variedade de materiais, auxiliando diretamente na seleção dos mais adequados para cada parte da máquina, desde a base estrutural até os acabamentos finais. Essa análise permite que os materiais escolhidos atendam às exigências mecânicas e operacionais, assegurando o desempenho, durabilidade e eficiência do equipamento.

Silva [1] apresenta um guia técnico detalhado sobre motores e sistemas de acionamento, abordando o seu funcionamento e procedimentos de manutenção. O autor oferece orientações para a seleção dos componentes elétricos do projeto, tais como motores, drivers, fontes de alimentação e circuitos elétricos. A obra é uma referência valiosa para a otimização do desempenho do sistema de acionamento de máquinas CNC, garantindo estabilidade operacional e eficiência energética.

O livro de Randy [6] oferece uma abordagem técnica introdutória ao uso de *routers* CNC, enfatizando os princípios operacionais e a manutenção desses equipamentos. O autor detalha de maneira clara os procedimentos necessários para a configuração, operação e otimização do desempenho das *routers* CNC em ambientes de produção. A obra é uma referência importante tanto para iniciantes quanto para profissionais que buscam aperfeiçoar o domínio dessa tecnologia inovadora em oficinas.

Por outro lado, o livro de Ford [7] concentra-se na fabricação digital pessoal com *routers* CNC controladas por computador, como o *Shapeoko*. A obra orienta o leitor desde a configuração inicial até a execução de projetos

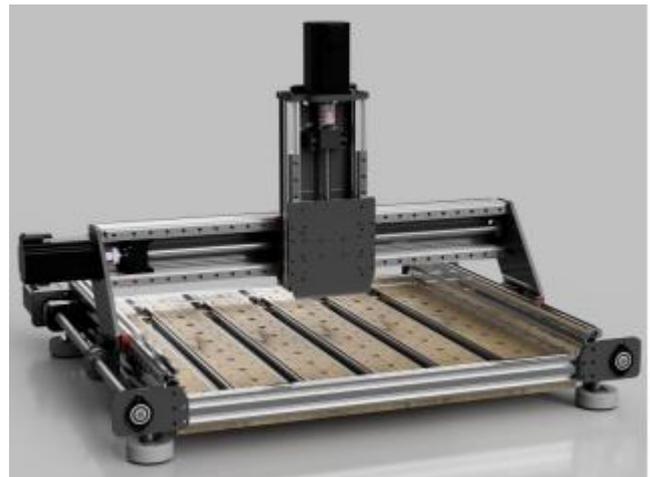
personalizados mais complexos, abordando o uso dessas máquinas de forma prática e eficiente no contexto da fabricação digital. Destaca-se como um recurso técnico essencial para *makers* e entusiastas do movimento "faça você mesmo", demonstrando a versatilidade e eficácia das *routers* CNC na criação de soluções customizadas.

METODOLOGIA

O desenvolvimento do protótipo ocorreu nos laboratórios do Centro Tecnológico da Faculdade Evangélica de Goianésia, situado na cidade de Goianésia-GO. O projeto consistiu na criação de uma máquina CNC de baixo custo e grande eficiência, destinada a pequenas usinagens. A pesquisa foi realizada por meio de um estudo experimental, no qual a máquina CNC foi efetivamente construída, integrando componentes mecânicos, elétricos e de controle, e permitindo a transmissão de desenhos desenvolvidos em software CAD para a execução de usinagem no material, como descrito por Jesus [8].

Foi utilizado um modelo referencial de Router CNC desenvolvido no software AutoCAD como inspiração para o projeto, conforme ilustrado na Figura 1.

Figura 1 - Modelo referencial de Router CNC desenvolvido no software AutoCAD.



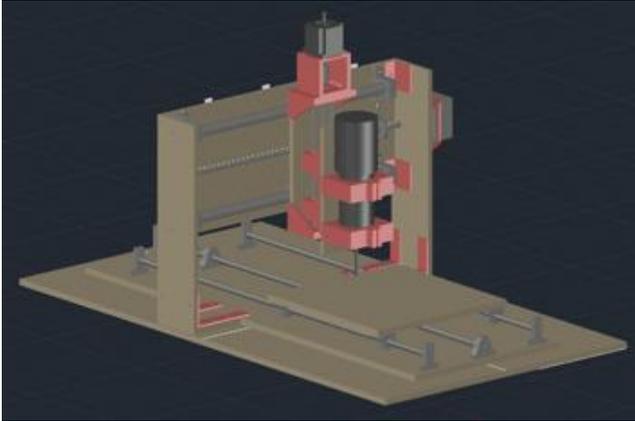
Fonte: Cuzzuol e Siqueira [9].

Construção da Estrutura Física

A escolha dos materiais levou em consideração aspectos como baixo custo, fácil acesso e alta resistência, essenciais para garantir a estabilidade e durabilidade da

estrutura. Com base no modelo de Cuzzuol e Siqueira [9], foi criado um design próprio, mostrado na Figura 2, que permitiu futuras melhorias no equipamento, como a ampliação da área de trabalho, utilizando poucas peças adicionais.

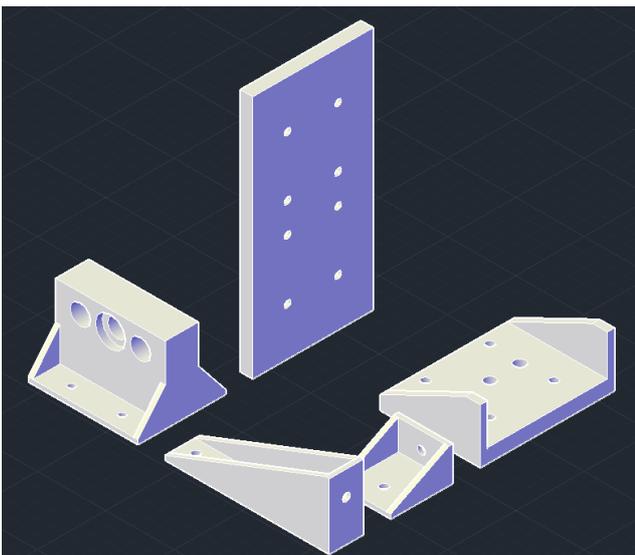
Figura 2 - Modelo de Router CNC desenvolvido no software AutoCAD.



Fonte: Autoria própria.

O MDF (Medium Density Fiberboard) foi escolhido como material principal para a estrutura física do protótipo devido às suas vantagens de baixo custo, leveza, resistência e facilidade de manuseio, montagem e transporte. A estrutura principal foi composta por eixos retificados, suportes impressos em 3D (Figura 3) e peças de madeira.

Figura 3 – Peças criadas no software CAD



Fonte: Autoria própria.

Baseado na estrutura do projeto de Cuzzuol e Siqueira [9], foram realizados cálculos detalhados de resistência de materiais para assegurar que a estrutura suportasse o peso e as forças geradas durante a operação da máquina. Tais cálculos seguiram os princípios descritos no livro de Hibbeler [9], garantindo que os eixos retificados pudessem sustentar adequadamente as peças em movimento. Além disso, foram verificados os suportes e os parafusos sextavados, que desempenharam um papel fundamental na montagem e estabilidade da estrutura.

Os cálculos de dimensionamento incluíram a determinação da área de um cilindro e as equações de equilíbrio para garantir que as forças aplicadas não causassem falhas na estrutura. As equações utilizadas foram as seguintes:

- Área de um cilindro

$$A_t = 2\pi r(r + h)$$

- Equações de equilíbrio

$$\sum F_y = 0$$

$$\sum M = 0$$

- Cisalhamento zero

$$V = w \left(\frac{L}{2} - x \right) = 0$$

- Momento máximo

$$M_{\text{máx}} = wL^2/8$$

Sendo:

A_t = Área total; π = pi; r = raio do cilindro; h = altura. $\sum F_y$ = Somatória de forças em y e em x ; $\sum M$ = somatória do momento. V = Esforço cortante; w = intensidade do carregamento; L = comprimento; x = posição do esforço. $M_{\text{máx}}$ = Momento máximo; w = intensidade do carregamento; L^2 = comprimento.

Esses cálculos garantiram que a estrutura estivesse adequadamente dimensionada para suportar as cargas operacionais sem comprometer a segurança ou a qualidade da usinagem.

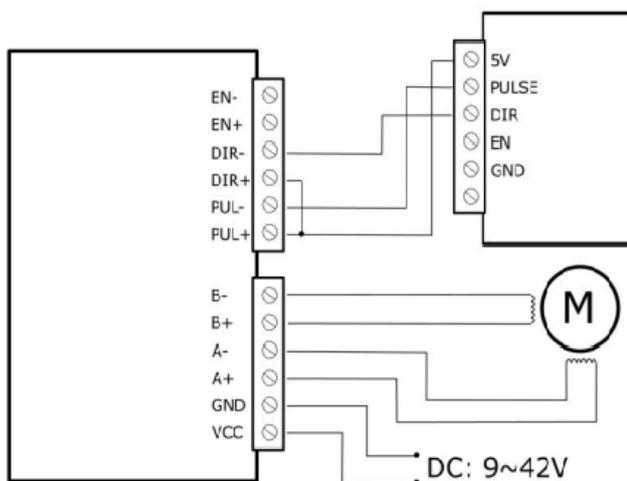
Componentes Elétricos

Após a montagem da estrutura física, a etapa seguinte envolveu a instalação dos componentes elétricos, essenciais para o funcionamento da máquina. Três motores

de passo NEMA foram utilizados, um para cada eixo (X, Y, e Z), conforme a recomendação de Cuzzuol e Siqueira [10]. Os motores de passo foram escolhidos devido à sua capacidade de realizar posicionamentos precisos, possibilitando movimentos controlados de forma incremental, com precisão angular de até milésimos de grau.

Para alimentar e controlar os motores de passo, foram utilizados três drivers TB6600, um para cada eixo. O esquema elétrico do driver é mostrado na Figura 4. Os drivers receberam a alimentação da fonte chaveada e as instruções de movimento da placa controladora, ajustando a tensão e a corrente adequadas para cada motor. O uso de drivers TB6600 foi justificado pela sua capacidade de fornecer maior precisão e estabilidade aos motores, além de evitar sobrecarga durante a operação.

Figura 4 - Esquema elétrico do driver.



Fonte: Autoria própria.

A fonte chaveada foi conectada ao sistema para fornecer a alimentação necessária. Essa fonte foi responsável por converter a tensão de entrada (220V) para 12V, necessária para alimentar os drivers e outros componentes eletrônicos. Sua escolha se baseou em sua capacidade de manter a tensão de saída estável, independentemente das variações na entrada de energia, o que evitou danos aos componentes sensíveis do sistema.

Para garantir a segurança da operação, foi instalado um interruptor industrial de liga/desliga. Este interruptor foi conectado diretamente à entrada da fonte

chaveada e permitiu o desligamento rápido de todo o sistema em caso de falha ou emergência, garantindo a proteção do equipamento e dos operadores.

Placa Controladora e Comunicação

A placa controladora utilizada foi a CNC RNR EcoMotion, um dispositivo eletrônico composto por componentes como resistores, condensadores e circuitos integrados. Essa placa recebeu as informações de controle e transmitiu os comandos para os drivers. A comunicação entre o computador e a placa foi realizada via conexão USB, utilizando o software MACH 3, que gerou o G-Code para controlar os movimentos da CNC. O uso da placa CNC RNR EcoMotion foi justificado por oferecer maior capacidade e precisão em relação ao Arduino, sendo uma opção mais adequada para o controle de uma máquina CNC.

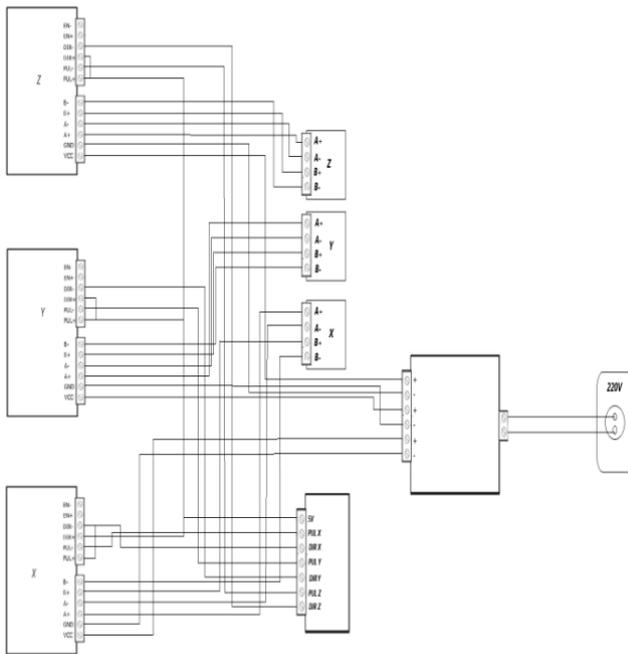
Ferramenta de Usinagem

Para a fase inicial de testes, foi utilizada uma micro retífica como ferramenta de usinagem. Esta ferramenta foi escolhida devido à sua versatilidade e precisão para pequenos trabalhos. Após a realização dos testes, a micro retífica foi substituída por uma tupia, que foi acionada manualmente para realizar cortes e usinagens em materiais de maior densidade. Essa escolha permitiu a adaptação da máquina para diferentes tipos de usinagem, de acordo com a necessidade do material e do projeto.

Conexões Elétricas e Integração Final

Os motores de passo foram fixados à estrutura da máquina, e as conexões elétricas foram estabelecidas entre os drivers e a placa controladora. Fios de qualidade adequada foram utilizados para garantir uma conexão segura e eficiente entre os componentes. O esquema elétrico do sistema foi detalhado e representado na Figura 5, ilustrando como cada componente foi interligado para garantir o funcionamento correto da máquina.

Figura 5 – Esquema elétrico do protótipo.



Fonte: Autoria própria.

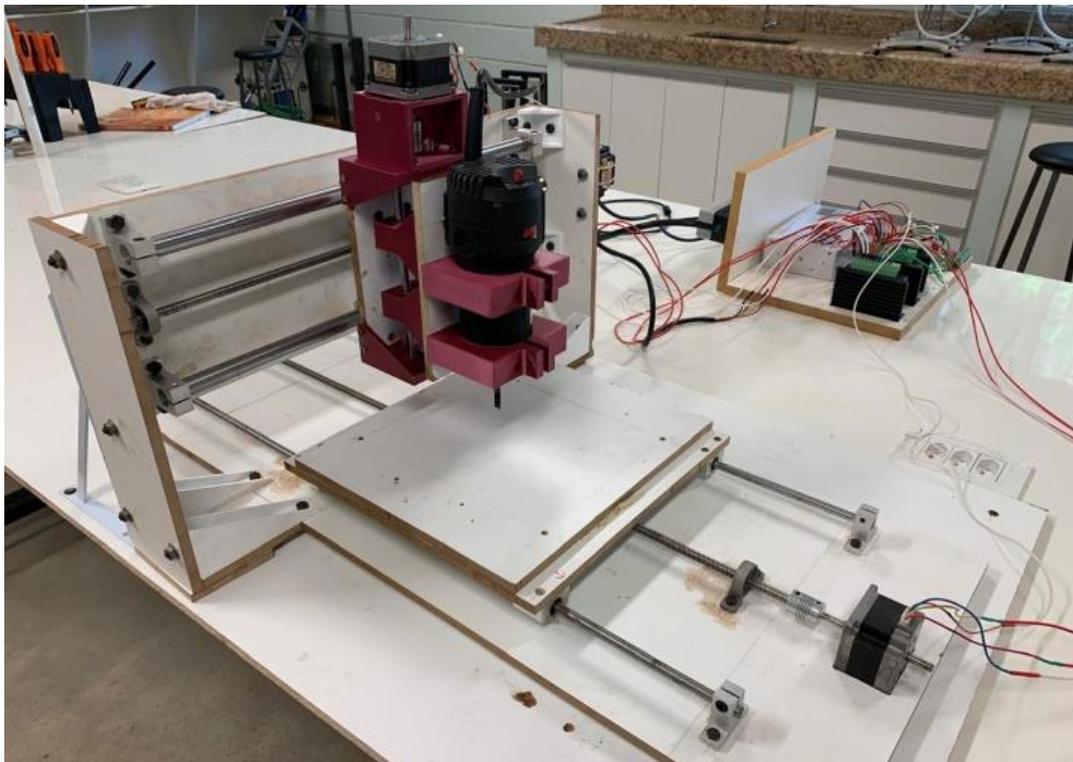
Após a integração de todos os componentes, a máquina foi testada utilizando desenhos simples em G-Code, que foram enviados pelo software CAD para a placa controladora. A CNC foi capaz de interpretar esses

comandos e movimentar a ferramenta de usinagem conforme os parâmetros definidos, comprovando a eficiência do sistema de controle e a precisão dos movimentos.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados esperados deste projeto de pesquisa foram amplamente alcançados, com um grande impacto na redução de custos e na democratização do acesso a tecnologias avançadas. O protótipo desenvolvido, uma máquina CNC de baixo custo mostrado na Figura 6, foi projetado para atender tanto pequenas empresas quanto entusiastas do movimento “faça você mesmo”, permitindo que esses usuários pudessem ter acesso a uma tecnologia de alta precisão sem a necessidade de grandes investimentos financeiros. Com isso, o projeto contribuiu diretamente para a viabilidade de futuras construções semelhantes, tornando o uso de máquinas CNC acessível a um público mais amplo, proporcionando um diferencial no mercado, ao permitir personalizações conforme as necessidades de cada usuário.

Figura 6 - Protótipo desenvolvido de uma máquina CNC de baixo custo.



Fonte: Autoria própria.

O uso de 3D foi essencial na construção do protótipo, especialmente para a fabricação das conexões entre suas partes. As peças impressas garantem precisão nas junções e flexibilidade, permitindo a montagem do equipamento com exatidão e personalização. A simplicidade no design facilita o transporte e o uso por diferentes tipos de usuários. A impressão 3D proporcionou a criação de peças sob demanda como pode ser visto na Figura 7, permitindo ajustes rápidos e testes de componentes sem custos adicionais com moldes tradicionais. Além disso, a tecnologia melhora significativamente o tempo de produção e os custos, viabilizando a criação de componentes complexos de forma econômica.

Figura 7 – Peças criadas sob demanda na impressão 3D.



Fonte: Autoria própria.

A impressão 3D garantiu a integridade estrutural do protótipo, garantindo uma construção robusta e funcional. A tecnologia foi fundamental para o desenvolvimento de um protótipo de baixo custo e alto desempenho, atendendo aos objetivos de acessibilidade e personalização do projeto.

O protótipo, que foi projetado para ser altamente personalizável, possibilitou aos usuários ajustarem a máquina de acordo com suas necessidades específicas, seja para aplicações industriais em pequenas usinagens ou

pessoais. Isso garantiu que o protótipo fosse versátil e capaz de se adaptar a diferentes contextos, ampliando seu campo de atuação. A personalização foi uma das principais vantagens do projeto, uma vez que possibilitou modificações para otimizar a máquina sem comprometer seu custo de produção, mantendo-a dentro de um valor acessível, similar aos modelos disponíveis no mercado. O Quadro 1 apresenta os valores gastos no desenvolvimento do protótipo.

Quadro 1 - Valores gastos no desenvolvimento do protótipo.

Produto	Valor Total
MDF 9mm de espessura com 383,8m ²	R\$ 70,00
Pillow Block fechado 16mm	R\$ 89,00
Fuso Trapezoidal 8mmx200mm Fuso Trapezoidal 8mmx800mm Fuso Trapezoidal 8mmx400mm	R\$ 169,54
Acoplamento Flexível 8mmx8mm Acoplamento Flexível 6mmx8mm	R\$ 81,46
Motor de Passo 5 kgf Kit 02 mancais com rolamento 8mm Kit 4 Suportes para Eixo linear 16mm Kit 4 Rolamentos Lineares Lm8uu 8mm Kit iniciante Robótica para Arduino Kit 4 suportes para Eixo Linear 8mm Cooler Fan silencioso 12v	R\$ 439,92
2 Eixos Guia Linear 16mmx450mm 2 Eixos Guia Linear 8mmx200mm 2 Kit com 2 rolamentos lineares PillowBlock 8mm 2 Unidades Guia Linear 8mmx800mm	R\$ 545,76
3 Unidades Relé Driver para motor de passo Tb6600 4 ^a	R\$ 201
Cabo flexível 0,5mm ² com 7 cores, 14 metros	R\$ 68,00
1 Unidade Relé de estado sólido 40da 40 ^a 250v 3-32v	R\$ 67,00
Chave liga/desliga 30 ^a Cs-102 monofásico 250v	R\$ 70,00
Placa Controladora CNC Mach3 Rnr Eco Motion	R\$ 122,32
Fonte Chaveada 20 ^a 110/220v	R\$ 130,61
20 Parafusos m6x130mm	R\$ 10,43
40 Parafusos 3/4 x 2"	R\$ 15,00
Micro Retífica 150W 220V 60 Hz	R\$ 160,30
Kit com 10 Fresas 1mm a 2,4 mm	R\$ 57,20
4 Unidades de impressão 3D, 117x45x25x3mm	R\$ 12,45
8 Unidades de impressão 3D, 22x42x50x3mm	R\$ 8,2
Total	R\$ 2.319,24

Fonte: Autoria própria

Com um valor final de aproximadamente R\$2.400,00, o protótipo representa uma alternativa acessível frente às CNCs comerciais, que muitas vezes apresentam preços elevados. Em termos de eficiência, o protótipo de router CNC desenvolvida demonstrou grande potencial para melhorar a produção industrial,

especialmente em termos de qualidade e precisão. O projeto contribuiu significativamente para a redução de erros e aumento da qualidade das peças fabricadas, resultando em um acabamento superior e menores tolerâncias de erro. Essa melhoria na produção não só aumentou a qualidade dos produtos, mas também ajudou a economizar materiais e energia durante os processos de fabricação, o que trouxe benefícios tanto econômicos quanto ambientais.

A precisão da máquina foi testada em diversas situações. Na Figura 8, é apresentado um dos testes de usinagem, cujo objetivo era escrever uma palavra. Os resultados obtidos confirmaram a adequação da tecnologia, demonstrando sua capacidade de realizar usinagens com alta qualidade.

Figura 8 – Escrevendo uma palavra como teste de usinagem.



Fonte: Autoria própria.

A precisão das peças diminuiu o desperdício de material, alinhando o projeto com práticas sustentáveis. A utilização de materiais recicláveis ou de baixo custo contribuiu para a redução dos impactos ambientais. A flexibilidade da impressão 3D também permitiu modificações rápidas nas peças, o que favoreceu a

adaptação do protótipo às necessidades do projeto. Essa capacidade de ajuste contínuo facilita a experimentação e inovação, sem grandes custos extras.

O projeto proporcionou um aprendizado valioso e uma significativa capacitação para engenheiros e técnicos envolvidos. Eles adquiriram experiência prática não só em projeto e construção, mas também em manutenção e operação de máquinas CNC. O processo de desenvolvimento ajudou a aprimorar habilidades críticas, como a resolução de problemas e a inovação em engenharia mecânica, preparando os envolvidos para desafios futuros no campo da manufatura.

Do ponto de vista educacional, o projeto também teve um grande impacto, pois serviu como uma plataforma para a experimentação e o desenvolvimento de novas tecnologias e métodos no campo da manufatura aditiva e subtrativa. Os entusiastas do movimento DIY foram capacitados a realizar projetos complexos, como a fabricação de peças personalizadas ou reparos domésticos, de maneira mais eficiente e precisa. Essa capacitação possibilitou a realização de projetos inovadores, além de estimular o interesse por áreas tecnológicas como robótica, eletrônica e design de engenharia.

CONCLUSÃO

O desenvolvimento do protótipo de Router CNC comprovou a viabilidade de construir uma máquina competitiva em termos de custo, desempenho e flexibilidade. Com um valor final de aproximadamente R\$ 2.400,00, o protótipo apresentou-se como uma alternativa acessível em comparação às CNCs comerciais, que frequentemente possuem preços elevados. Além de oferecer uma solução funcional e personalizável, o projeto proporcionou uma experiência prática de grande valor educacional para os envolvidos, promovendo o desenvolvimento de habilidades técnicas desde o design até a montagem e operação da máquina.

O trabalho ressaltou a importância de uma infraestrutura elétrica bem planejada, fundamental para o sucesso de projetos de automação como este, garantindo

desempenho elevado e um baixo índice de falhas. O planejamento adequado permitiu que o sistema operasse de forma eficiente, maximizando sua durabilidade e confiabilidade.

O desenvolvimento do protótipo atendeu não apenas às necessidades específicas do projeto, mas também se estabeleceu como um modelo replicável para futuras implementações na automação industrial. Dessa forma, o protótipo contribuiu para a evolução do setor, promovendo a satisfação dos operadores e a aplicação de soluções tecnológicas mais acessíveis e eficientes.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. SILVA, André da. **FABRICAÇÃO DE UM ROUTER CNC COM UTILIZAÇÃO EM GABARITO DE GRANDE PORTE**. 2022. 59 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Mecânica, Centro Tecnológico, Centro Universitário da Serra Gaúcha, Caxias do Sul, 2022. Disponível em: <https://repositorio.up.edu.br/jspui/bitstream/123456789/4943/1/TCC%20-%20ANDR%c3%89%20DA%20SILVA.pdf>. Acesso em: 28 abr. 2024.
2. FACHIN, Alan; PEREIRA, Athos Gleber. DesenvolProjeto de fresadora CNC com plataforma livre arduinovimento e avaliação de uma tecnologia de baixo custo para programação CNC em pequenas empresas. 2013. 36 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2013. Disponível em: <https://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/87332>.
3. FERREIRA, Murilo Campos. **PROJETO E DESENVOLVIMENTO DE UMA ROUTER CNC DE BAIXO CUSTO**. 2023. 104 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Tecnológica Federal, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Londrina, 2023.
4. SOUZA JÚNIOR, Franciso Fernando de; BESSA, Olavo Fontes Magalhães. *Faça você mesmo (do it yourself): o movimento maker e os benefícios no* processo de fabricação dos produtos. **Brazilian Journal Of Development**, Curitiba, v. 5, n. 1, p. 2288-2308, ago. 2018.
5. BORBA, Breno Conde Santos. **PROJETO E CONSTRUÇÃO DE MÁQUINA CNC ROUTER PARA PROTOTIPAGEM E PRODUTOS**. 2022. 84 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Mecânica, Centro Tecnológico, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Londrina, 2022. Disponível em: <https://riut.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/30680/1/projetoconstrucaorouter.pdf>. Acesso em: 28 abr. 2024.
6. RANDY, Johnson. **CNC Router Essentials: The Basics for Mastering the Most Innovative Tool inYour Workshop**. 2. ed. Nova York: Cedar Lane Press, 2020. 146 p.
7. FORD, Edward. **Make: Getting Started with CNC: personal digital fabrication with shapeoko and other computer-controlled routers**. São Francisco: Maker Media, 2016. 166 p.
8. JESUS, Nataly Cristina Feliciano de. **MÁQUINA CNC PARA DESENVOLVIMENTO DE PROTÓTIPOS PARA PLACA DE CIRCUITO IMPRESSO**. 2017. 39 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Elétrica, Departamento de Engenharia Elétrica e Eletrônica, Taubaté, 2017. Disponível em: <http://repositorio.unitau.br/jspui/bitstream/20.500.11874/5431/1/Nataly%20C.%20F.%20de%20Jesus.pdf>. Acesso em: 01 maio 2024.
9. HIBBELER, Russel Charles. **Resistência dos Materiais**. 10. ed. São Paulo: Pearson, 2019. 768 p. http://w3.ufsm.br/fuentes/index_arquivos/step.pdf.
10. CUZZUOL, Guilherme Santos; SIQUEIRA, João Pedro Radavelli. **PROJETO DE CONSTRUÇÃO DE UMA ROUTER CNC UTILIZANDO RNR ECOMOTION**. 2023. 89 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Mecânica, Instituto Federal do Espírito Santo, Aracruz, 2023.