

Desenvolvimento de máquina de comando numérico de baixo custo para auxílio nos métodos de ensino e aprendizagem na engenharia. ^{*}

André Marinho^{*} Rafael Pedrisch^{**} João Magalhães^{***}
Ariadny Milena^{****} Artur Vitório Andrade Santos[†]
José Diogo Forte de Oliveira Luna[‡]

^{*} *Coordenação de Engenharia de Controle & Automação, Instituto Federal de Rondônia, RO, (e-mail: andre.marinho@estudante.ifro.edu.br).*

^{**} *Coordenação de Engenharia de Controle & Automação, Instituto Federal de Rondônia, RO, (e-mail: r.pedrisch@estudante.ifro.edu.br).*

^{***} *Curso de Eletrotécnica integrado ao Ensino Médio, Instituto Federal de Rondônia, RO (e-mail: joao.magalhaes@estudante.ifro.edu.br)*

^{****} *Curso de Eletrotécnica integrado ao Ensino Médio, Instituto Federal de Rondônia, RO, (e-mail: ary.milena06@gmail.com)*

[†] *Coordenação de Engenharia de Controle & Automação, Instituto Federal de Rondônia, RO, (e-mail: artur.santos@ifro.edu.br).*

[‡] *Coordenação de Engenharia de Controle & Automação, Instituto Federal de Rondônia, RO, (e-mail: jose.luna@ifro.edu.br).*

Abstract: The present work presents the development of a low-cost computerized numeric command machine (CNC) didactic module. The proposal is fully aligned with the new Brazilian National Curricular Guidelines, which promotes both technical and personal skills. The proposed low-cost CNC laser engraver is able to convey active teaching methodologies and is based on the constructivist theory. The assembly was conducted under a product development methodology and followed the V Model. The research results show the successful completion of the machine assembly and apprenticeship achieved through a questionnaire answered by the students.

Resumo: O presente trabalho objetiva apresentar o desenvolvimento de um módulo didático de máquina de comando numérico computadorizado (CNC) de baixo custo. Isto decorre da necessidade de formação de um egresso com capacidade técnica competente e socialmente responsável, vinculado as propostas de ensino estipuladas pelas DCNs no curso de engenharia. Desenvolveu-se um maquinário de gravação CNC Laser, de baixo custo, utilizando-se de metodologias ativas e a teoria construtivista como base. Para o desenvolvimento, utilizou-se de pesquisas na plataforma Google Acadêmico e metodologia de desenvolvimento de produtos mecatrônicos, o Modelo V. Os resultados da pesquisa mostram o desfecho da montagem da máquina e aprendizagem alcançada em pesquisa feita com os discentes.

Keywords: CNC; Research; Didactic; Low-Cost; Machine.

Palavras-chaves: CNC; Pesquisa; Didático; Baixo-Custo; Máquina.

1. INTRODUÇÃO

Com a necessidade de implementação das novas Diretrizes Curriculares Nacionais (DCNs) nos cursos de Engenharia, os métodos de ensino-aprendizagem, vem se transformando significativamente, cabendo destacar o ensino por competências, as metodologias ativas e o uso de tecnologias nos processos de ensino e aprendizagem (Ministério da Educação, 2019).

Dentro deste contexto, destaca-se que a Educação em Engenharia tem buscado atender demandas da sociedade em todo o mundo, buscando formar egressos das escolas de

Engenharia que sejam profissionais técnicos, competentes e socialmente responsáveis (Filho et al., 2019b).

A formação de egressos com o perfil desejado para atender as demandas da sociedade, demandam maquinários que muitas das vezes possuem custos expressivos para atender a formação exigida do egresso nas escolas de Engenharia de todo país. Nos estudos realizados por (Chien, 2021), observa-se o custo de aquisição de um centro de usinagem para atender a demanda de formação de um Engenheiro Mecânico.

Nakazato (2019), observa que mesmo com os grandes investimentos no setor da educação, a compra de novos equipamentos, principalmente no setor público, é uma tarefa dispendiosa e burocrática. Não só estes fatores, mas

^{*} Reconhecimento do suporte financeiro deve vir nesta nota de rodapé.

também diante de mudanças comportamentais promovidas pela área digital, torna-se cada vez mais desafiador formar egressos nas escolas de Engenharia.

Dentro da proposta a ser desenvolvida relacionado ao desenvolvimento de uma máquina de Comando Numérico Computadorizado (CNC), de baixo custo, Filho (2019), propõe o desenvolvimento de uma máquina com resultados de erro de 0,2% entre peças fresadas.

No trabalho desenvolvido por Gobi (2019), é projetado uma máquina CNC de pequeno porte e baixo custo para utilização nos processos de corte e gravação em micro e pequenas empresas dos ramos gráficos, joias, artesanato, madeira, plástico, entre outros.

Os processos de corte e gravação, permitem cortar peças de formas complexas, dependendo da potência do laser em relação ao material e espessura, e não requer a troca de ferramenta cada vez que é substituído o material a ser cortado. São muito utilizados na produção industrial e possibilitam a gravação em diferentes tipos de superfícies, além de outras vantagens e desvantagem, conforme observado por (Cidade et al., 2016)

Na Figura 1, verifica-se uma máquina para gravação desenvolvida por Nagano (2018). A máquina de marcação a laser usa sua fonte de laser de fibra para produzir o laser e, em seguida, através do sistema de galvanômetro de varredura de alta velocidade, pode ser usado para imprimir marcas permanentes na superfície de vários materiais. A eficiência da conversão óptica na marcação a laser de fibra está acima de 70%.



Figura 1. Máquina Laser da Nagano.

Baseado neste contexto, conforme a problemática de aquisição de maquinário e as necessidades de formação de um egresso com capacidade técnica, competente e socialmente responsável, vinculado as proposta de ensino estipuladas pelas DCNs no curso de Engenharia, o trabalho visa o desenvolvimento de uma máquina CNC de corte e gravação de baixo custo para auxílio nos métodos de ensino e aprendizagem na engenharia através da disciplina de Comando Numérico e Máquina Ferramentas do Instituto Federal de Rondônia, Campus Porto Velho Calama.

O trabalho é estruturado da seguinte forma: a seção dois trás um referencial teórico relacionado as DCNs e métodos de aprendizagem ativa que fundamenta o trabalho, em seguida, a seção três apresenta a metodologia do desenvolvimento dá máquina, a seção quatro discute os resultados e, por fim, as conclusões.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 DCN Engenharia

As informações relacionadas as novas Diretrizes Curriculares Nacionais dos cursos Engenharia aprovado em Abril de 2019 (Parecer CNE/CES n° 1/2019) em relação as versões anteriores podem ser encontradas na literatura proposta por (Oliveira, 2019). As novas DCNs, visam o desenvolvimento de competências e habilidade observando a atuação do egresso no mercado profissional, onde mesmo deve saber aprender, saber fazer, saber ser e saber saber.

No artigo 4 da resolução é descrito o que os cursos de Graduação em Engenharia devem proporcionar aos seus egressos ao longo de sua formação. No artigo 6, é possível observar as informações base que devem ser contempladas nos Projeto pedagógico de Curso (PPC). No parágrafo 6, é descrito a necessidade da estimulação do uso de metodologias para aprendizagem ativa, como forma de promover uma educação mais centrada no aluno.

2.2 Aprendizagem Ativa

Na proposta apresentada por (Filho et al., 2019a) é demonstrado na Figura 2 o desenvolvimento do processo baseado em aprendizagem ativa, constituindo a resolução de problemas de ensino de Engenharia. A aprendizagem começa a partir de observações passando por métodos de aprendizagem ativa culminando na resolução de problemas.

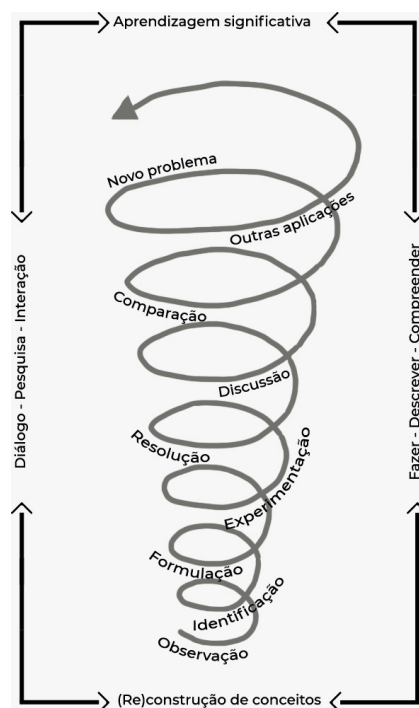


Figura 2. Ciclo de Aprendizagem Ativa proposto por (Filho et al., 2019a)

No processo de aprendizagem ativa o professor tem papel fundamental na condução das atividades de forma que o estudante se sinta valorizado por suas contribuições (Filho et al., 2019a). Nesta proposta os estudantes devem verificar

as informações teóricas relacionadas a prática, produzindo significado para os conceitos em construção.

Existem diferentes métodos e estratégias a serem aplicados em sala de aula com o intuito de promover a aprendizagem ativa. Bergmann (2018) propõe a Sala de Aula invertida como metodologia ativa de aprendizagem. No trabalho desenvolvido por Miranda et al. (2018) pode ser encontrado diferentes formas de ativação de aprendizagem.

2.3 Comando Numérico Computadorizado

Com o advento das revoluções e crescimento progressivo ao longo dos anos nas indústrias, as máquinas seguiram essa evolução até o nível de modernidade alcançado atualmente (Staib et al., 2019). Um procedimento manufatureiro que teve avanços durante este período de revoluções, foi a usinagem, feita por meio de máquinas fresadoras.

Estes equipamentos beneficiaram-se do desenvolvimento tecnológico e o que, então, era mecanizado, passou a ser computadorizado, surgindo o Comando Numérico Computadorizado (Ramalho, 2016). Previamente a isto a metodologia de controle de máquinas mecânicas, chamava-se de Comandos Numéricos (CN), com registros datados de 1940, funcionava de modo que as calculadoras de cartões perfurados foram empregues para detectar os cortes que foram executados manualmente, tal operação gerava um empecilho aos fabricantes, a necessidade de peças fabricadas em tempo restrito e com elevado nível de exatidão (Felipe et al., 2020).

As máquinas que são controladas por CNC, dispõem de variadas ferramentas, desde brocas até laser, conforme necessidade do demandante ou em conformidade com as especificações de projeto, tornando-se um mecanismo versátil. Seu funcionamento dá-se por ações a serem executadas, que se contém em uma programação com dados alfanuméricos codificados (Felipe et al., 2020). Comumente, são controlados por meio de microprocessadores, ou microcontroladores, que possibilitam programar, de forma simples e rápida (Staib et al., 2019).

As ações contidas em um programa de CNC, são escritos em código G, uma linguagem de programação textual voltado para operação de máquinas, e padronizado pela norma ISO-1056 (Felipe et al., 2020).

A máquina laser para gravação feita neste projeto é controlada por meio CNC, utilizando um microcontrolador Arduíno Uno e programas de código aberto para interpretação do código G.

2.4 Importância da Máquina no Contexto Educacional

É disposto no Projeto Pedagógico de Curso de Engenharia de Controle e Automação do Instituto Federal de Rondônia do Campus Porto Velho Calama, através da Resolução n.º 00/CONSUP/IFRO/2016, da Portaria N.º 083, de 23 DE MARÇO DE 2016 que o curso oferta a matéria de Comando Numérico de Máquinas e Ferramentas, com uma carga horária de 80 horas (Santos et al., 2016). Nestas, os alunos são instruídos a respeito do código G, seguindo as diretrizes da norma ISO-1056 e capacitados a operarem as máquinas disponíveis no laboratório de automação.

Nota-se que a construção dessa máquina, neste contexto vai de acordo com a proposta da DCN e Aprendizagem Ativa, vindo de encontro com as diretrizes da teoria construtivista de ensino de Jean Piaget (1896-1980). Tal teoria, define-se como a tratativa de uma metodologia contemporânea que visa descaracterizar o docente como agente primordial do ensino, e ceder esse papel para o discente. Neste contexto, surge como uma alternativa ao modelo tradicional pedagógico ainda vigente no país, por um sistema que incentiva os alunos a buscar o saber e interagir com seus colaboradores para obtenção e molde do conhecimento. Em contrapartida, os princípios atuais não se preocupam com formação de competências acerca de pensamento crítico por parte dos discentes (Fernandes et al., 2018).

3. METODOLOGIA

3.1 Releitura de Staib

A metodologia de pesquisa utilizada neste trabalho é de categoria quantitativa e qualitativa, de forma que decidiu-se renovar a pesquisa feita por (Staib et al., 2019). Nesta, utilizou-se uma plataforma virtual de trabalhos acadêmicos, o Google Acadêmico para uma análise macro de o quão em voga o tema está desde o ano de 2014. Diferentemente do autor citado, optou-se por empregar somente uma palavra chave na pesquisa, sendo esta CNC, e o caráter renovatório dá-se atualizando a pesquisa até o atual ano de 2022. Os dados obtidos seguem na Tabela 1.

Tabela 1. Trabalhos por ano.

Ano	Trabalhos
2014	30.300
2015	30.400
2016	31.900
2017	35.600
2018	37.700
2019	38.600
2020	37.600
2021	33.200
2022	9.910

Para a pesquisa na plataforma, incluiu-se trabalhos escritos em qualquer idioma e não abrangendo citações. Para uma visualização gráfica destes dados, apresenta-se a Figura 3.

Nota-se que o ápice de trabalhos envolvendo a temática comando numérico computadorizado foi no ano de 2019, apresentando declive após. Destaca-se a consulta de dados foi feita no mês de abril de 2022, de modo que o número para o ano corrente representa apenas os trabalhos produzidos no primeiro trimestre.

Outra observação a salientar, é o declínio dos trabalhos publicados, especificamente de 2020 para 2021. Uma possível causa para este efeito está na pandemia vivida globalmente em decorrência do SARS-COV19, o que acarretou em afastamento dos laboratórios de pesquisa dos centros de ensino e, portanto menor quantidade de estudos realizados na área (Raynaud et al., 2021).

Para o exposto, analisou-se a fundo 4 trabalhos de produção nacional, para possibilitar a construção de um modelo

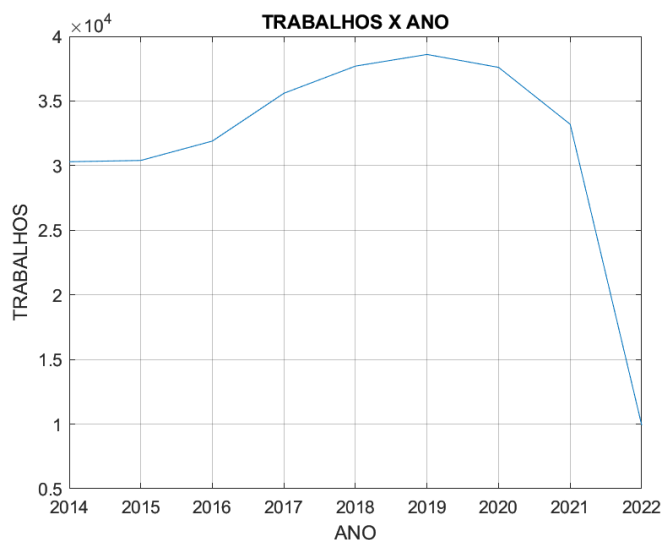


Figura 3. Quantidade de Trabalhos por Ano.

com maior embasamento e modelagem de peças mais precisas, para resultar em uma máquina funcional e eficiente.

3.2 Modelo V

Para a construção da máquina, optou-se por seguir o Modelo V, proposto por (Gausmeier et al., 2013). Exposto como um procedimento estruturado auxiliar a ser utilizado quando o Processo de Desenvolvimento de Produtos (PDP) envolve a manufatura de um produto mecatrônico, separado em três grandes fases: Projeto Mecânico, Projeto Eletroeletrônico e Projeto de Software de Controle (Santos, 2018).

Projeto Mecânico: Para esta etapa, determinou-se que irá abranger a modelagem de desenho assistido por computador, ou Computer-Aided Design (CAD) e uma tabela com os componentes mecânicos utilizados para a construção do modelo, utilizando-se do recurso de montagem de peças distintas do software *SolidWorks*.

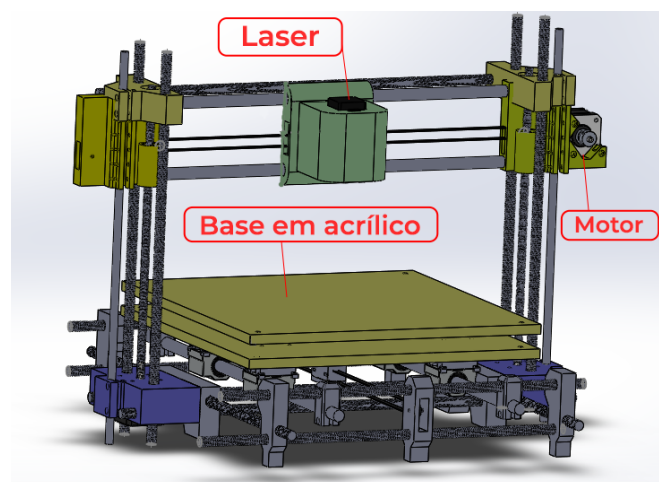


Figura 4. Máquina Modelada em software CAD.

Na Figura 4, observa-se a montagem pretendida da máquina CNC Laser, desenvolvida por modelagem CAD. Para transmissão mecânica do modelo, empregou-se de

correias e polias dentadas, para dar-se a devida fixação e sustentação da máquina, usou-se de eixos retificados e barras roscadas. Salienta-se que a máquina é composta, quase que em sua totalidade, de peças de impressão 3D. Na Tabela 2, estão descritos os materiais usados e suas características, assim como quantidade.

Tabela 2. Componentes Mecânicos e Quantidade.

Peça	Quantidade
Barra Roscada 10 mm	10
Peças de Impressão 3D	-
Correia Dentada	2
Polia Dentada GT2 5 mm	2
Eixo Retificado 8 mm	2
Eixo Linear 12 mm	4
Rolamento Linear 10 mm	2
Correia Dentada GT2 8 mm	2
Castanha de Fuso 8 mm	2
Pillow 12 mm	2
Mesa de Acrílico	1

Projeto Eletroeletrônico: Neste estágio, priorizou-se por demonstrar um fluxograma de funcionamento da máquina CNC, desde a alimentação dos componentes, até alcançar a saída, ou seja, o resultado final do processo, sendo este o material gravado. Na Figura 5 está o fluxograma mencionado.

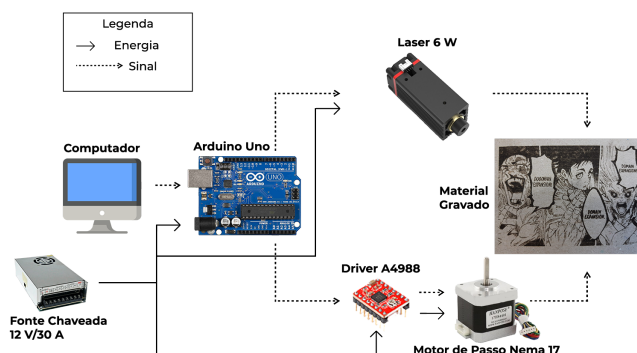


Figura 5. Fluxograma Elétrico

Portanto, observa-se que inicialmente, o computador envia as informações, através do código G e programa apropriado para tal tarefa, da imagem a ser gravada em determinado material, para então o microcontrolador controlar o módulo Laser e os motores de passo. Na Tabela 3, estão presentes os componentes eletrônicos utilizados, assim como suas respectivas quantidades.

Tabela 3. Componentes Eletrônicos e Quantidade.

Componente	Quantidade
Motor de Passo Nema 17 HS4401	2
Fonte Chaveada 12 V 30 A	1
Arduino Uno	1
Laser 6 W	1
Driver A4988	2
CNC Shield para Arduino Uno	1
Jumper	-

Para melhor compreensão do circuito eletrônico e suas ligações, esquematizou-se um diagrama elétrico detalhando

as conexões feitas, observado através do exposto na Figura 6.

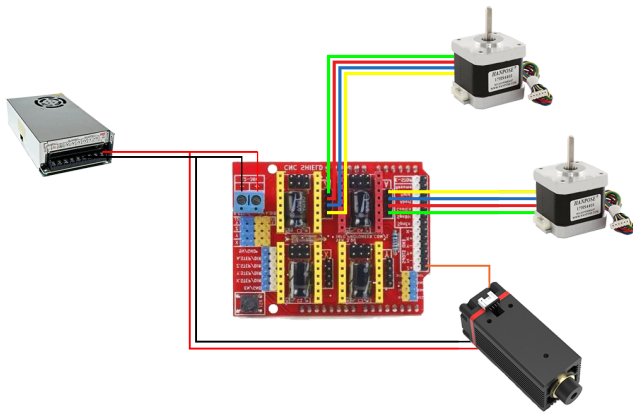


Figura 6. Diagrama Elétrico.

Nota-se que o módulo para controle PWM do Laser foi suprimido no diagrama, porém suas saídas estão representadas, sendo as cores vermelha e preta as de alimentação (12V e GND) e a cor laranja referente ao sinal, que conecta-se ao Z+ do CNC Shield.

Projeto Software de Controle: Para o projeto software de controle destaca-se dois estágios imprescindíveis, o *firmware* e o software utilizados. Para o primeiro, utilizou-se o GRBL, controlador escrito em linguagem C, de alta performance e open-source, para sistemas CNC. Para o segundo, optou-se por software de categoria gratuita e aberto, neste caso o LaserGRBL, capaz de carregar imagens ou vetores e realizar gravações com um processo de funcionamento simplificado, proporcionando técnicas úteis para realização das atividades, tais como a vetorização de imagens de baixa qualidade. Na Figura 7 é possível observar uma imagem exemplo carregada ao software e o código G sendo executado na lateral, consequentemente realizando a gravação.

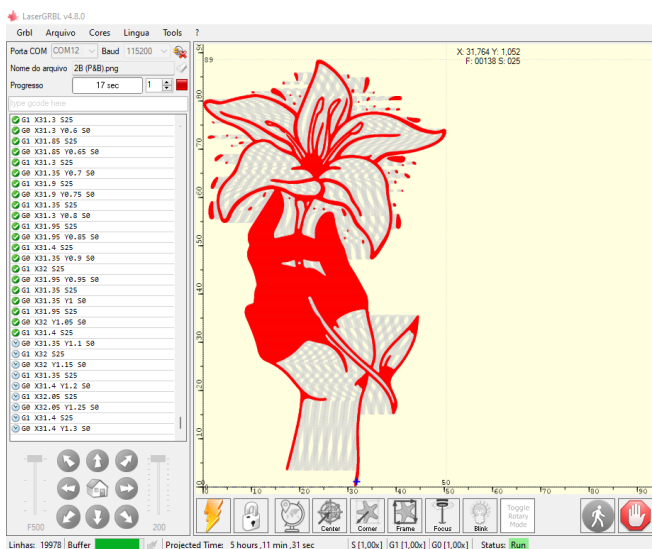


Figura 7. Software LaserGRBL.

4. RESULTADOS

Primordialmente, ressalta-se que a proposta de desenvolvimento de um módulo didático de máquina CNC Laser para o curso de engenharia de controle e automação, sob um olhar das DCNs e Aprendizagem Ativa nesta seção, separando os resultados obtidos em duas subseções.

A primeira, detalhando o desfecho atingido na montagem da máquina pelos autores do presente trabalho através de fotos da máquina construída, uma tabela com as despesas individuais de componentes e o custo total. Tabela comparativa com trabalhos correlatos, vídeos dá máquina em execução e, assim como fotos de gravações executadas pelo modelo.

A segunda, os resultados obtidos no âmbito educacional, por meio de uma pesquisa feita pela plataforma Google Forms, com perguntas objetivas de múltipla escolha e posteriormente um gráfico para visualizar o impacto do proposto na disciplina de comandos numéricos e ferramentas.

Da máquina: Nesta subseção, será apresentado uma imagem referente a máquina montada, a tabela de custos totais do projeto, assim como será disposto um código QR, endereçado ao LinkTree, uma plataforma online que atua como um repositório de links, neste caso disponibilizados para uma playlist do YouTube, imagens das gravações feitas e fotos do modelo construído.

Evidencia-se, pela Figura 8, que a construção da máquina seguiu as dimensões e requisitos de projeto desejados, pelo demandante e autores, conforme especificado pelo projeto CAD realizado.

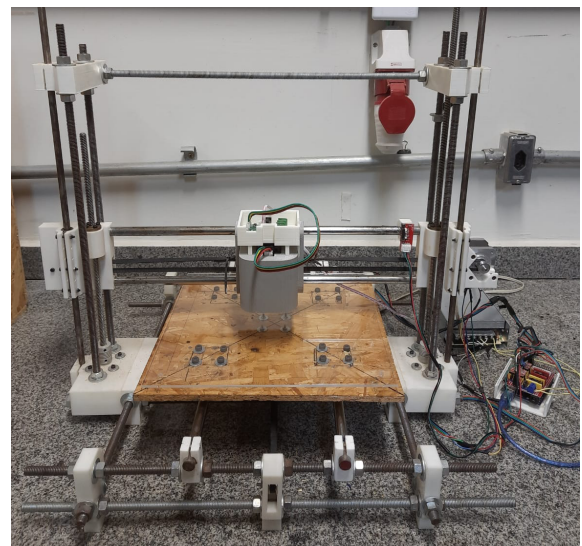


Figura 8. Máquina de Gravação CNC Montada.

O modelo está funcional e operante, tendo sido feitos testes em acrílico escuro, devido ao comprimento de onda do feixe Laser, papel paraná e MDF. A Figura 9 é o código Qr mencionado anteriormente, com todos links necessários disponíveis para análise.

Na Tabela 4 estão descritos os gastos que o grupo teve na montagem da máquina. Observa-se que a meta de ser um maquinário de baixo custo foi alcançada.



Figura 9. Código Qr referente a playlist do YouTube.

Tabela 4. Custos de Projeto.

Material	Quantidade	Preço
Barra Roscada 10 mm	10	R\$ 132,00
Eixo Retificado 8 mm	2	R\$ 50,00
Eixo Linear 12 mm	4	R\$ 112,00
Correia Dentada GT2 8 mm	2	R\$ 20,00
Polia GT2 5 mm	2	R\$ 40,00
Fonte Chaveada 12 V 30 A	1	R\$ 60,00
Laser F1 Panowin	1	R\$ 700,00
CNC Shield para Arduino	1	R\$ 20,00
Arduino Uno	1	R\$ 100,00
Driver A4988	2	R\$ 30,00
Filamento 3D ABS	1	R\$ 50,00
Kit Parafuso, Porca e Arruela	1	R\$ 80,00
Rolamento 12 mm	2	R\$ 30,00
Pillow 12 mm	4	R\$ 100,00
TOTAL		R\$ 1524,00

Na Tabela 5, dispõe-se as comparações entre o presente artigo e alguns trabalhos correlatos no segmento de comando numérico computadorizado.

Da aprendizagem: Para avaliar o impacto da máquina CNC Laser no aprendizado da matéria, fez-se uma pesquisa com alunos de diversos períodos do curso de engenharia de controle e automação do Instituto Federal de Rondônia, Campus Calama. A pesquisa consiste em uma comparação com a turma que cursou comandos numéricos e ferramentas, sem o auxílio da máquina CNC Laser de baixo custo, com as turmas que irão cursar a disciplina. Portanto, analisando os resultados obtidos de uma turma e de outras que virão, através das respostas registradas no formulário. As perguntas podem ser observadas clicando neste link. De posse da resolução da pesquisa, transportou-se esses dados para um software que permita visualização gráfica, o resultado observa-se na Figura 10.

Constata-se que há um consenso dentre os alunos que participaram da pesquisa, que a metodologia ativa poderia contribuir para o aprendizado final da matéria.

5. CONCLUSÃO

O presente trabalho trouxe a proposta de elaboração de um módulo didático de uma máquina CNC Laser, que respeite os critérios de construção de ser de baixo custo, de fácil manutenção e replicação simples, para que seja utilizado por outros docentes em outros centros de ensinos e laboratórios como auxílio a aplicação de práticas de metodologia ativa e vindo de encontro com o proposto das novas DCNs. A confecção da máquina abrange, também, um caráter

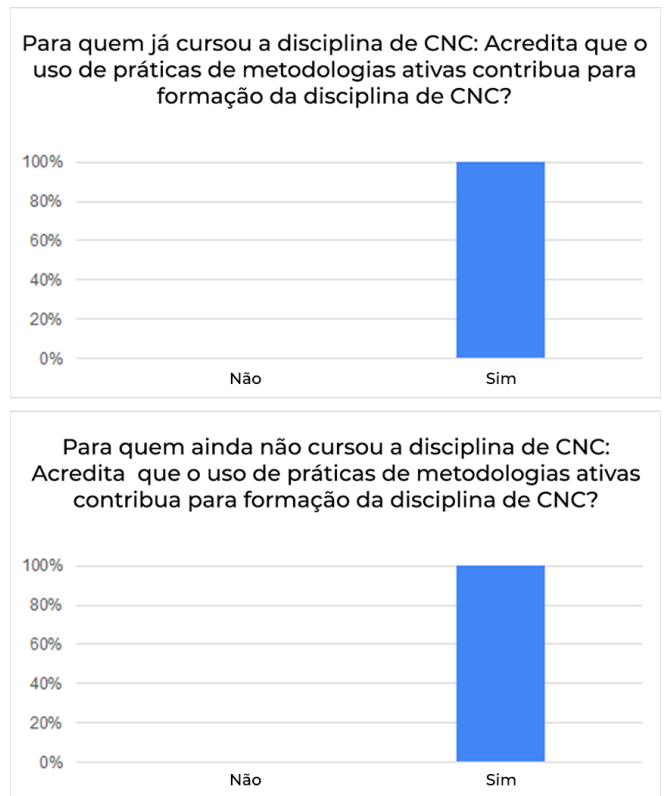


Figura 10. Gráficos com os resultados do questionário.

multidisciplinar, visto que engloba conhecimentos de eletrônica, elementos de máquinas, programação e noções gerais de mecânica. Sua particularidade pedagógica, dá-se pela prática discente na matéria de comandos numéricos e ferramentas.

Sua estrutura em peças de impressão 3D, permitem uma característica de versatilidade, sendo um material com moderada resistência mecânica e fácil replicação, caso algum apresente erro ou falha em seu corpo.

Portanto, os resultados dos testes realizados com a máquina em diferentes materiais, demonstrou aptidão e satisfação dentre os integrantes do grupo. Ressalta-se também, o desfecho no âmbito da aprendizagem, manifestado através das respostas registradas no formulário do Google Forms e a análise feita sobre.

Em trabalhos futuros, poderá ser aplicado os métodos e estratégias de aprendizagem ativa para condução da disciplina de Comandos Numéricos de Máquina e Ferramentas, onde o professor da disciplina pode montar uma matriz de competências e habilidades possíveis de serem desenvolvidas durante a construção da máquina proposta.

Sugere-se algumas modificações e melhorias para trabalhos futuros, como: utilizar uma CNC Router para fabricação de uma placa de circuito impressa (PCI) de baixo custo da CNC Shield, desenvolvimento de um eixo rotatório, para possibilitar gravação em peças cilíndricas; fabricação de uma caixa para comportar a máquina, possibilitando uma proteção visual, olfativa e tátil, renovar a pesquisa feita com a próxima turma que cursar a disciplina e a substituição do computador por um microprocessador, como o Raspberry PI, integrando o sistema com a internet

Tabela 5. Tabela comparativa de desenvolvimento de máquinas CNC.

AUTOR	ÁREA DE IMPRESSÃO	ESTR. MECÂNICA	ELETRÔNICA	CUSTO	PEÇAS DE IMP. 3D
(Gobi, 2019)	56 Cm X 77 Cm	Fuso Trapezoidal	Arduino Uno + Cnc Shield	R\$ 2.301,00	Não
(?)	27 Cm X 25 Cm	Fuso Trapezoidal	Arduino Uno	R\$ 2.135,00	Não
(Sanches, 2009)	-	Fuso de Esfera	-	R\$ 12.000,00	Não
(Dias, 2015)	50 Cm X 60 Cm	Correia Dentada	Arduino Uno	R\$ 5.694,00	Não
Autor	27 CM X 27 CM	Correia Dentada	Arduino Uno + Cnc Shield	R\$ 1.524,00	Sim

e desfazendo-se da necessidade de um operador presente para realizar gravações.

6. AGRADECIMENTOS

Agradeço ao Instituto Federal de Rondônia por fomentar a pesquisa, através do Edital nº 19/2020 - Seleção de Projetos Integradores de Ensino, Pesquisa e Extensão, custeando os materiais necessários e fornecendo local adequado para trabalho. Agradeço aos professores, em especial Artur Vitória e José Diogo, pelo apoio prestado e ensinamentos passados desde o início do curso. E, agradeço aos colegas João Magalhães, Ariadny Milena e Rafael Pedrisch pelo apoio e companheirismo que apresentaram.

REFERÊNCIAS

- Bergmann, J. (2018). Sala de aula invertida: Uma metodologia ativa de aprendizagem. *LTC*.
- Chien, F.I.S.S.Y. (2021). Estudo de viabilidade econômica para a aquisição de um centro de usinagem visando o processo de internalização, universidade tecnológica federal do paraná. *Trabalho de Conclusão de Curso*.
- Cidade, M.K. et al. (2016). Método para determinação de parâmetros de gravação e corte a laser co2 com aplicação na joalheria contemporânea. *Design Tecnologia*, 54–64.
- Dias, M.B. (2015). Proposta de desenvolvimento de uma máquina de corte a laser para facilitar a prototipagem.
- Felipe, M.R. et al. (2020). Simulação e otimização no processo de usinagem cnc (comando numérico computadorizado). *IX JORNACITEC - Jornada Científica e Tecnológica*.
- Fernandes, A.M.M. et al. (2018). O construtivismo na educação. *Id Online Revista de Psicologia*.
- Filho, G.E., Sauer, L.Z., Villas-Boas, V., and Almeida, N.N.D. (2019a). A engenharia e as novas dcns - oportunidades para formar mais e melhores engenheiro. *LTC, 2019*.
- Filho, G.E. et al. (2019b). Uma nova sala de aula é possível: aprendizagem ativa na educação em engenharia. *Rio de Janeiro: LTC*.
- Filho, R.M.P.T. (2019). Proposta de uma arquitetura de máquina cnc com baixo custo de implementação e controle de manufatura sem perda de qualidade de produção. *Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Bacharelado em Ciência da Computação da Universidade Estadual da Paraíba*.
- Gausmeier et al. (2013). Beitz konstruktionslehre: Grundlagen erfolgreicher produktentwicklung. methoden und anwendung. *Springer Berlin Heidelberg*.
- Gobi, N. (2019). Desenvolvimento de protótipo de máquina cnc de baixo custo para processos de corte e gravação em micro e pequenas empresas.
- Ministério da Educação, B. (2019). Estudo de viabilidade econômica para a aquisição de um centro de usinagem visando o processo de internalização, parecer cne/ces no 2, de 24 de abril de 2019b. dispõe sobre as diretrizes curriculares nacionais dos cursos de graduação em engenharia,.
- Miranda, G.J. et al. (2018). Revolucionando a docência universitária: orientações, experiências e teorias para a prática docente em negógiocos. *Atlas*.
- Nagano (2018). Manual de instruções, máquina gravação a laser de fibra. *naganoprodutos.com.br*.
- Nakazato, A.Z. (2019). Desenvolvimento de máquina universal de ensaios mecânicos portátil de baixo custo para fins didáticos utilizando o conceito open-source. *Dissertação apresentada à Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, para obtenção do título de Mestre em Engenharia Mecânica na área de Projetos e Materiais*.
- Oliveira, V.F.d.e.a. (2019). A engenharia e as novas dcns - oportunidades para formar mais e melhores engenheiro. *Available from: VitalSource Bookshelf, Grupo GEN*.
- Ramalho, G.M.F. (2016). Estudo conceitual de uma mini fresadora vertical operada por comando numérico computadorizado (cnc). *Tese de Doutorado. Universidade Federal do Rio de Janeiro*.
- Raynaud, M. et al. (2021). Impact of the covid-19 pandemic on publication dynamics and non-covid-19 research production. *BMC medical research methodology*, 1–10.
- Sanches, J.M. (2009). Desenvolvimento de uma fresadora cnc de baixo custo para fins didáticos. *Tese de Doutorado - Universidade de São Paulo*.
- Santos, A.V.A. et al. (2016). Projeto pedagógico de curso de engenharia de controle e automação do campus porto velho calama. *PORTARIA Nº 244*.
- Santos, A.V.A. (2018). Desenvolvimento de garra robótica antropomórfica com percepção tátil.
- Staib, F.F. et al. (2019). Metodologia construtivista aplicada a engenharia: Projeto e fabricação de uma máquina fresadora cnc. *Anais do 15o Simpósio Brasileiro de Automação Inteligente*.