

INSTITUTO FEDERAL DE SANTA CATARINA

JOSÉ AUGUSTO CUSTÓDIO ANTÔNIO
LUCAS ROMÁN

**PROJETO DE MÁQUINA ROUTER CNC HOBBY PARA AQUISIÇÃO DE DADOS
DA USINAGEM**

Joinville

Dezembro/2020

JOSÉ AUGUSTO CUSTÓDIO ANTÔNIO
LUCAS ROMÁN

PROJETO DE MÁQUINA ROUTER CNC HOBBY PARA AQUISIÇÃO DE DADOS DA
USINAGEM

Monografia apresentada ao
Curso Superior de
Tecnologia em Mecatrônica
Industrial do Câmpus
Joinville do Instituto Federal
de Santa Catarina para a
obtenção do diploma de
Tecnólogo em Mecatrônica
Industrial.

Orientador: Michael Klug

Antônio, José Augusto Custódio .

Projeto de Máquina Router CNC Hobby para aquisição de dados / José Augusto Custódio Antônio, Lucas Román – Joinville, SC, 2020.

54 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia de Santa Catarina, Curso Superior de Mecatrônica Industrial, Joinville, 2020.

Orientador: Michael Klug, Dr.

JOSÉ AUGUSTO CUSTÓDIO ANTÔNIO
LUCAS ROMÁN

PROJETO DE MÁQUINA ROUTER CNC HOBBY PARA AQUISIÇÃO DE DADOS DA
USINAGEM

Este trabalho foi julgado adequado para obtenção do título de Tecnólogo em
Mecatrônica Industrial pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de
Santa Catarina e aprovado na sua forma final pela comissão avaliadora
abaixo indicada.

Joinville, 09 de dezembro de 2020.

Prof. Michael Klug, Dr.
Orientador

Prof. Eduardo Makoto Suzuki, Dr.
Avaliador 1

Prof. Jorge Roberto Guedes, M. eng.
Avaliador 2

AGRADECIMENTOS

Agradecemos a Deus por nos guiar e nos abençoar com a sabedoria para que consigamos conquistar nossos objetivos.

Aos nossos familiares que nos deram o suporte e nos auxiliaram no que foi necessário.

Aos professores que apoiaram as nossas ideias, nos orientaram e que contribuíram para a conclusão do projeto.

RESUMO

O trabalho consiste em um projeto de uma CNC com 3 eixos, montagem dos componentes mecânicos e eletrônicos que proporcionem maior robustez e precisão na usinagem dos materiais com as proteções dimensionadas e acionamentos necessários para o equipamento como: fusos de esferas, guias lineares e drives de motores de passo. Com a finalidade da eficiência na operação da máquina é de suma importância a parametrização correta para cada ferramenta de corte e cada tipo de material, assim foi estabelecido realizar o levantamento de: avanço de ferramenta, RPM, consumo de energia elétrica, profundidade de corte e velocidade trabalho máquina. Esses dados serão registrados através de medições e equações, demonstrados em gráficos e tabelas com os valores obtidos.

Palavras-Chave: Usinagem. CNC.

ABSTRACT

The work consists of a project of a CNC with 3 axes, assembly of the mechanical and electronic components that provide greater robustness and precision in the machining of the materials with the dimensioned protections and necessary drives for the equipment such as: ball screws, linear guides and drives stepper motors. With the purpose of efficiency in the operation of the machine, it is of paramount importance the correct parameterization for each cutting tool and each type of material, so it was established to carry out the survey of: tool advance, RPM, electricity consumption, depth of cut and machine work speed. These data will be recorded through measurements and equations, shown in graphs and tables with the values obtained.

Keywords: Machining. CNC.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Fusos e Esferas	16
Figura 2 – Classificação de Fusos e Esferas	17
Figura 3 – Guias cilíndricas e prismáticas	18
Figura 4 – Guias abertas e fechadas	19
Figura 5 – Classificação Guias de Deslizamento	19
Figura 6 – Classificação Guias de Rolamento.....	19
Figura 7 – Motor de Passo	20
Figura 8 – Tipos de Motores de Passo.....	21
Figura 9 – Esquema do Motor de Passo	22
Figura 10 – Placa Eletrônica CNC.....	23
Figura 11 – Placa Frontal em Aço 1045.....	27
Figura 12 – Placa Lateral em Alumínio Extrudado	28
Figura 13 – Placa Lateral em aço 1045.....	29
Figura 14 – Representação dos Eixos na máquina CNC	30
Figura 15 – Vista Completa da Máquina CNC SolidWorks.....	31
Figura 16 – Patins CNC	32
Figura 17 – Fuso montado	33
Figura 18 – Drive TB6600	34
Figura 19 – Painel Elétrico Máquina CNC	36
Figura 20 – Tupia 710W	37
Figura 21 – Máquina Router CNC	37
Figura 22 – Vista Lateral Máquina Router CNC	38
Figura 23 – Fluxograma do processo de Usinagem CNC	39
Figura 24 – Imagem no software Aspire.....	40
Figura 25 – Percurso de Corte	41
Figura 26 – Imagem vetorizada.....	41
Figura 27 – Simulação da Usinagem	42
Figura 28 – Geração código G	43
Figura 29 – Mach3 CNC.....	44
Figura 30 – Mach3 com os eixos zerados.....	45
Figura 31 – Gráfico Consumo Elétrico para Material MDF	46

Figura 32 – Gráfico Consumo Elétrico para Material PVC	47
Figura 33 – Testes em PVC Sólido e MDF	48
Figura 34 – Peças finalizadas com acabamento	48

LISTA DE TABELAS

Tabela 01 – Atributos Básicos do Produto	24
Tabela 02 – Matriz Morfológica.....	25
Tabela 03 – Matriz Morfológica (continuação)	26
Tabela 04 – Parâmetros MDF.....	46
Tabela 05 – Parâmetros PVC Sólido	47

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

CNC – Comando Numérico Computadorizado

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IFSC – Instituto Federal de Santa Catarina

MDF – Medium Density Fiberboard (Placa de Fibra de Média Densidade)

PEAD – Polietileno de Alta Densidade

PROBE – Sensor de Zeramento dos Eixos

PVC – Policloreto de Vinila

PWM – Pulse-Width Modulation (Modulação por Largura de Pulso)

RPM – Rotação Por Minuto

USB – Universal Serial Bus (Porta Serial Universal)

LISTA DE SÍMBOLOS

V – Tensão em volts

m – Metros

mm - Milímetros

min – Minutos

Vcc – Tensão em corrente contínua

Nm – Newton-metro

A – Ampère

Hz – Hertz

RPM – Rotações por minuto

W – Watts

cv – Cavalo-vapor

Ø – Diâmetro

h - Hora

% - Porcentagem

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
1.1	Justificativa.....	14
1.2	Objetivos	15
1.2.1	Objetivo geral	15
1.2.2	Objetivo específico.....	15
2	REVISÃO DE LITERATURA.....	16
2.1	Fusos de Esfera.....	16
2.2	Guias Lineares.....	18
2.3	Motor de Passo.....	20
2.4	Placa Controladora CNC.....	23
3	METODOLOGIA	24
3.1	Pré-projeto	24
4	DESENVOLVIMENTO.....	27
4.1	Estrutura da Máquina	27
4.2	Componentes mecânicos para montagem da máquina	31
4.3	Componentes elétricos para montagem da máquina	33
4.4	Parametrização	38
4.5	Processo de Usinagem	39
4.6	Exemplo de parametrização de corte 6mm em MDF	40
5	ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	46
6	CONCLUSÃO	49
	REFERÊNCIAS.....	50
	ANEXO A – ESQUEMA ELÉTRICO DO PAINEL DE COMANDO	51

1 INTRODUÇÃO

Com o avanço das tecnologias, principalmente durante e após a Segunda Guerra Mundial, precisamos ter soluções mais eficazes e em menor espaço de tempo para solucionar as necessidades humanas. Fatores preponderantes induziram pesquisas como a redução do tempo de vida útil dos produtos e constantes alterações de projeto. Como estas demandas de curto prazo não conseguiam ser supridas pelas máquinas convencionais, houve então a introdução das máquinas operatrizes comandadas numericamente na indústria. [MACHADO, 1989].

A gênese do controle numérico (NC) de usinagem foi na década de 1940, quando as calculadoras de cartões perfurados foram utilizadas para localizar os cortes que foram realizados manualmente. Mais tarde o processo de perfuração de fita, também foi utilizado como um método de entrada de dados, e os orifícios nos cartões deviam ser interpretados como valores numéricos para que a máquina fosse capaz de realizar cortes automáticos. [THORNOX].

Este novo processo foi cada vez mais usado na rotina de manufatura. Com todos os benefícios que haviam obtido deste sistema, surgiram novos fabricantes que inclusive já fabricavam seus próprios comandos. Devido ao grande número de fabricantes, começaram a surgir os primeiros problemas, sendo o principal a falta de uma linguagem única e padronizada. A falta de padronização era bastante sentida nas empresas com mais de uma máquina, fabricadas por diferentes fornecedores, onde cada um deles tinha uma linguagem própria, com a necessidade de uma equipe técnica especializada para cada tipo de comando, elevando os custos de fabricação. [CASSANIGA, 2005].

Em 1958, por intermédio da EIA (Eletronic Industries Association) organizaram-se estudos no sentido de padronizar os tipos de linguagem. Daí para frente foram desenvolvidas outras linguagens para a geração contínua de contornos como AutoPrompt (Automatic Programming of Machine Tools), ADAPT, Compact II, Action, e outros que surgiram e continuam surgindo para novas aplicações. Em 1967, as primeiras máquinas controladas numericamente chegaram ao Brasil, vindas dos Estados Unidos. No início da década de 70, surgem as primeiras máquinas CNC (Controle Numérico Computadorizado), e no Brasil surge as

primeiras máquinas CN de fabricação nacional. A partir daí, observa-se uma evolução contínua e notável concomitantemente com os computadores em geral, fazendo com que os comandos (CNC) mais modernos empreguem em seu conceito físico (hardware) tecnologia de última geração. [CASSANIGA, 2005].

No momento atual existem componentes extrudados, de baixo custo, ótimo acabamento, que com isso viabilizam projetos modernos com um curto espaço de tempo para montagem. Há componentes com uma precisão fantástica, dessa forma, associado com motores que permite a movimentação angular em 1.8 graus, que assim possibilitam desenvolver inúmeras aplicações. Os modernos tornos CNC de cabeçote móvel são máquinas extremamente versáteis, chegando a ter um elevado número de eixos comandados, além de ter a capacidade de trabalhar com ferramentas giratórias. Com isto, estes verdadeiros centros de torneamento, além de usinar peças delgadas, possibilitam a usinagem de peças curtas de elevada precisão e de geometrias complexas. [ERGOMAT].

Associando componentes mecânicos com a automação, de uma forma geral, os trabalhos de usinagem em série tornaram-se extremamente produtivos, graças à evolução de três elementos: máquina-ferramenta, ferramentas de corte e comandos numéricos. [ERGOMAT]. Além dos demais controles que possibilitam o monitoramento, a conectividade, o armazenamento de dados e ajustes para um maior desempenho da aplicação. O desenvolvimento de componentes básicos que antigamente limitavam as aplicações, permite a conectividade e a interação homem/máquina via porta USB. Com isso, facilita o descarregamento de dados, viabiliza otimizar a velocidade de monitoramento em tempo real e com todas essas vantagens, é possível desenvolver equipamentos de fácil manuseio.

Com o objetivo de aperfeiçoar a usinagem dos diferentes materiais, é necessário realizar um estudo detalhado dos parâmetros e ferramentas adequados para cada tipo de trabalho, para assim obter-se um produto de melhor qualidade e reduzindo custos para a fabricação de peças.

1.1 Justificativa

A usinagem de peças de diferentes tipos de materiais na indústria requer eficiência na fabricação, tendo em vista que a precisão empregada permita que o processo do produto final economize tempo e matéria prima. Existem diversos livros

e materiais que abordam a confecção em aço, porém existe uma carência da literatura em dados técnicos sobre a produção das peças de baixa dureza, como por exemplo: madeira, MDF, PEAD e até mesmo alumínio. Com esses cenários, tem-se uma ampla área de estudos e aplicação de conhecimento a serem desenvolvidos.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo geral

Este estudo tem como objetivo: projetar e fabricar uma router CNC de três eixos. Utilizando fusos de esferas, guias lineares (quadradas), estrutura em aço, perfil de alumínio, motores de passo, tupa e placa controladora via USB para posteriormente executar análise e levantamento de dados, definir especificações adequadas para usinagem de material de baixa dureza.

1.2.2 Objetivo específico

O trabalho pode ser dividido nos seguintes objetivos:

- Projetar e dimensionar componentes para CNC.
- Realizar montagem dos componentes.
- Parametrizar e testar a máquina.
- Produzir peças em MDF até 16mm.
- Produzir pequenas peças em PVC sólido.
- Mostrar consumo elétrico da máquina.
- Testar alguns parâmetros nos materiais MDF e PVC demonstrando dados coletados através de tabelas.
- Determinar avanço e profundidade da ferramenta para cada material.

Inserir conceitos para obter rigidez da máquina (máquina hobby), precisão de usinagem e apontar o melhor desempenho máquina x ferramenta para determinados materiais.

Integrar o dispositivo ao computador através de uma placa controladora USB, podendo assim conectar a qualquer computador ou até mesmo em notebooks, viabilizando a comunicação homem/máquina.

Relatar a importância das guias lineares quadradas para usinagem e para precisão do trabalho final.

2 REVISÃO DE LITERATURA

Neste capítulo serão apresentados os componentes, o funcionamento e os modelos utilizados para montagem de uma máquina Router CNC. A partir destas especificações e análises, podemos desenvolver este projeto.

2.1 Fusos de Esfera

O fuso de esferas é um atuador linear mecânico que transforma o movimento de rotação em movimento linear com mínimo de atrito. É composto por uma haste com eixo em que a rosca possui uma pista helicoidal, assim as esferas deslizam proporcionando grande precisão e capacidade de suportar altas cargas axiais. [KALATEC,2019].

Quando comparado com outros fusos convencionais, este necessita de apenas um terço do torque de transmissão necessário pelos demais, característica que o torna mais adequado para a economia de energia de acionamento. [THK, 2019].



Figura 1 – Fusos de Esfera
[Fonte: BOSCH REXROTH, 2019].

Os fusos geralmente podem ser classificados quanto a forma do atrito entre castanha e parafuso em fusos de escorregamento, de elementos rolantes, epicicloidais ou hidrostáticos. As atuais máquinas-ferramentas controladas numericamente não permitem folgas ou atrito excessivo nas castanhas dos fusos, isso acarreta predominância dos fusos de esferas recirculantes. Os fusos de esferas recirculantes têm alcançado uma padronização semelhante aquela encontrada nos mancais de rolamento, tornando-os elementos de conversão utilizados com mais frequência em máquinas-ferramentas. [STOETERAU,2004].

Podemos classificar os fusos de acordo com os requisitos abaixo:

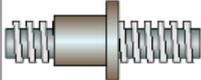
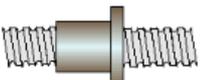
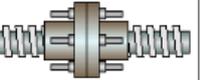
Tipo	Fusos			
	Trapezoidais	Esferas recirculantes	Epicicloidais	Hidrostáticas
Requisitos				
Custo	baixo	médio	alto	Muito alto
Vibrações	médio	baixa	bai	baixa
Exatidão no posicionamento	baixa	alta	alta	alta
Capacidade de transmissão de forças/torque	alta	alta	alta	alta
Facilidade de manutenção	média	média	baixa	baix
Atrito	alto	baixo	baixo	Muito baixo
Vida útil	média	alta	alta	Muito alta

Figura 2 – Classificação dos Fusos de Esfera
[Fonte: STOETERAU,2004]

2.2 Guias Lineares

As máquinas-ferramentas sempre necessitaram de elementos que permitissem a absorção de carregamentos e o movimento dentro de um padrão linear, realizando as mesmas funções dos mancais rotativos empregado nas árvores. O emprego de guias em máquinas-ferramentas, em especial e m tornos, não apresenta uma referência histórica exata, mas os registros apontam que as mesmas já eram empregadas no século XV. Inicialmente fabricadas em madeiras, esse teve seu emprego até revolução industrial, onde foi substituído por ferros e aços fundidos.

As guias são definidas como elementos estruturais que permitem a um componente deslizar ao longo de outro em um padrão dado. Em guias lineares, o padrão de movimento é retilíneo e geralmente restrito a um grau de liberdade.

As guias são um dos elementos fundamentais, tal qual a árvore e outros sistemas, em uma máquina-ferramenta e constituem uma parte delicada da mesma, sendo responsáveis por guiar a ferramenta na região de corte. Como todas as demais partes de uma máquina-ferramenta, estas devem ser construídas suficientemente rígidas, para que as variações de forma que se originam da ação de forças estáticas e dinâmicas ou dos movimentos, não venham a exceder limites estabelecidos, prejudicando tanto a exatidão geométrica quanto dimensional. [STOETERAU,2004].

Tipos

No caso de se desejar movimento retilíneo, geralmente são usadas guias constituídas de peças cilíndricas ou prismáticas. Essas peças deslizam dentro de outra peça com forma geométrica semelhante, conforme ilustrações.

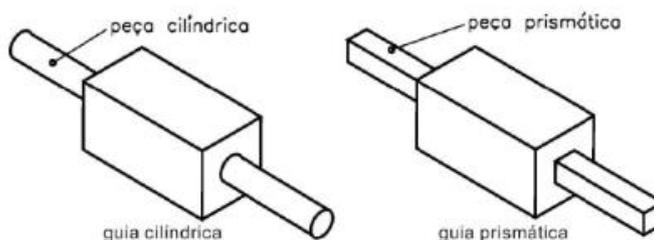


Figura 3 – Guias Cilíndricas e Prismáticas
[Fonte: STOETERAU,2004]

As guias podem ser abertas ou fechadas, como pode visto nas ilustrações a seguir.

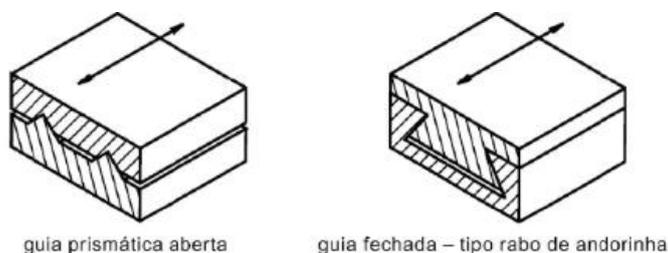


Figura 4 – Guias Abertas e Fechadas
[Fonte: STOETERAU,2004]

As guias se classificam em dois grupos: guias de rolamento e de deslizamento. As guias de deslizamento apresentam-se, geralmente, nas seguintes formas:

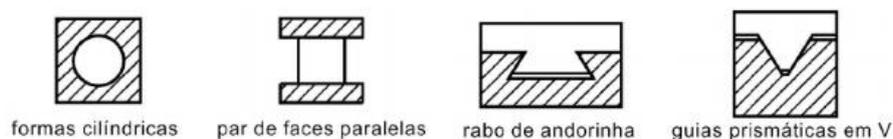


Figura 5 – Classificação Guias de Deslizamento
[Fonte: STOETERAU,2004]

As guias de rolamento geram menor atrito que as guias de deslizamento. Isto ocorre porque os elementos rolantes giram entre as guias. Os elementos rolantes podem ser esferas ou roletas, como ilustrações apresentadas no quadro a seguir.

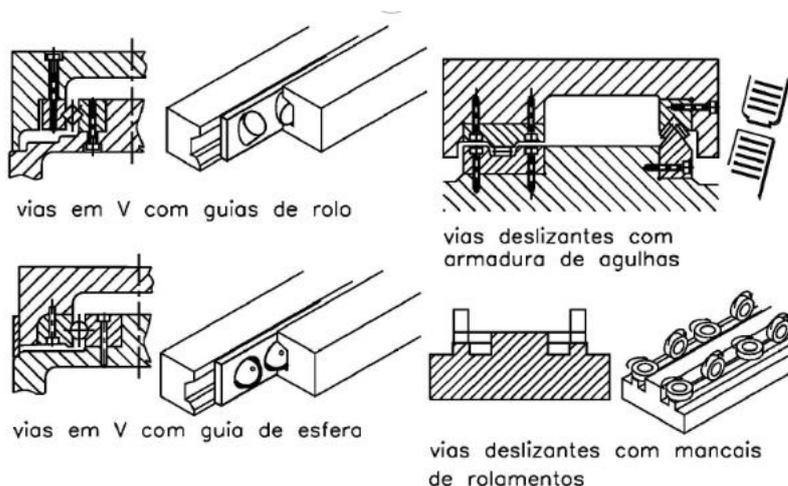


Figura 6 – Classificação Guias de Rolamento
[Fonte: STOETERAU,2004]

Os tipos de guias ilustrados foram utilizados, inicialmente, em máquinas de medição. Atualmente, são largamente empregados em máquinas de Comando Numérico Computadorizado (CNC).

As guias de rolamento foram desenvolvidas para aplicações de transporte de carga médias e pesadas. Sua principal característica é a composição dos rolamentos que permitem combinações de forças axiais e radiais, oferecendo melhor dissipação dos esforços sobre o trilho. O produto oferece a vantagem de instalação simples com baixo custo, por se tratar de rolamentos vedados com lubrificação permanente, são livres de manutenção e de vida útil longa.

2.3 Motor de Passo

A grande vantagem na utilização deste tipo de motor está na simplicidade de sua construção, baixo custo e eficiência em várias aplicações. Podem ser utilizados em, por exemplo, máquinas de rotulagem, dosadoras, equipamentos médicos, impressoras 3D e outros tipos de equipamentos, assim como neste projeto, em máquinas de usinagem CNC.

Um motor de passo é um dispositivo eletromecânico que converte pulsos de energia elétrica em movimentos discretos. O eixo do motor gira em “passos” quando pulsos elétricos são aplicados na sequência correta. A rotação do motor tem relação direta com esses pulsos, a velocidade do motor de passo é definida pela frequência com que esses pulsos são enviados e o número de voltas do eixo é definida pela quantidade de pulsos. O dispositivo que faz o controle desses pulsos elétricos que são enviados para o motor, é chamado driver.

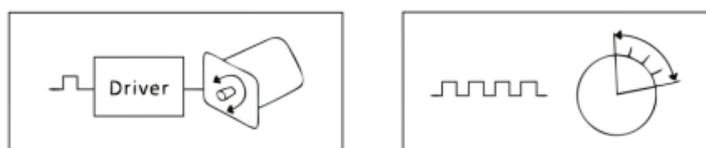


Figura 7 – Motor de Passo
[Fonte: NEOMOTION,2019]

Existem os seguintes tipos de motor de passo:

Relutância Variável (RV): Estator com enrolamentos e rotor com várias polaridades, esse tipo de motor consiste em um rotor dentado de ferro doce e um estator bobinado. Quando as bobinas são energizadas com corrente CC os pólos ficam magnetizados. A rotação ocorre quando os dentes são atraídos para os pólos energizados do estator, completando um passo.

Ímã Permanente (IP): Parecido com o motor de Relutância Variável, porém possui um ímã fixo no rotor, tem esse nome por conta dos ímãs permanentes em sua estrutura. Os polos magnetizados do rotor aumentam a intensidade do fluxo magnético e por causa dos ímãs permanentes esse motor mostra características elevadas quando comparado com o motor de relutância variável.

Híbrido (HB): Ímã permanente no eixo e rotor multidentado. É o tipo de motor de passo mais comum em indústrias. O motor de passo híbrido disponha da melhor performance, de velocidade, resolução de passo e torque. Possui o rotor dentado, como o motor de RV e contém ímãs concêntricos magnetizados axialmente em torno do seu rotor. Isso aumenta as características de torque detent, estático e dinâmico quando comparado com os motores de passo RV e IP. De maneira geral, o motor híbrido é melhor do que os demais em todas as características.



Figura 8 – Tipos de Motores de Passo
[Fonte: ATHOS ELECTRONICS,2019]

Funcionamento do Motor de Passo:

Passo Completo Simples: Esse é o modelo de passo mais simples, já que ocorre somente a ativação de uma bobina, e o polo Norte do ímã é atraído para ela. Nesse modelo, as bobinas são ativadas uma após a outra, de forma com que o motor gire. Esse é, portanto, um motor de quatro passos.

Passo Completo com duas bobinas: Nesse exemplo, é necessário ligar duas bobinas e o rotor fica girando comandado por duas bobinas. Dessa forma, como duas bobinas estão sendo ativadas a cada passo, ele continua ainda com quatro passos. Como estamos ativando duas bobinas, o torque do motor aumenta muito, porém o consumo é o dobro. Assim, o rotor vai girando entre duas bobinas de cada vez, em sequência.

Meio Passo: Assim, é possível dobrar o número de passos ainda com quatro bobinas. O segredo é induzir duas bobinas, depois induzir uma, depois duas e assim sucessivamente.

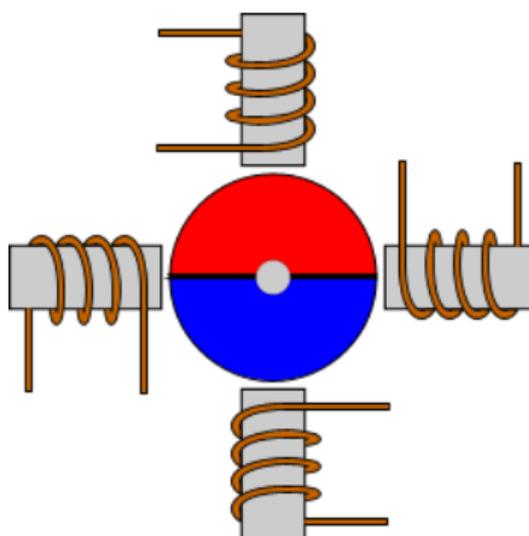


Figura 9 – Esquema do Motor de Passo
[Fonte: ATHOS ELECTRONICS,2019]

2.4 Placa Controladora CNC

O Controle Numérico Computadorizado (CNC) consiste em uma programação que utiliza coordenadas para a compilação de projetos bi ou tridimensionais. Trata-se da integração de máquinas industriais a sistemas computadorizados, possibilitando a execução precisa de projetos desenvolvidos em softwares especializados para desenhos técnicos 2D e 3D. O projeto visualmente desenvolvido em computador é compilado pelo equipamento em coordenadas de texto, que serão seguidas para a reprodução de peças idênticas às desenvolvidas graficamente. Devido à complexidade desse processo, o equipamento requer o uso de uma placa controladora CNC USB, capaz de atuar como porta para a transmissão de dados entre o computador e o equipamento de corte industrial.

A porta utilizada pela placa é USB, comum para diversos tipos de aparelhos, incluindo computadores de 64 ou 32 bits. Outras versões da placa controladora utilizavam a porta paralela PCI devido à grande quantidade de dados a ser transmitida. Porém, a porta PCI exigia o uso de computadores de 32 bits com sistema operacional Windows dedicado exclusivamente à operação da máquina. Com a placa controladora CNC USB, a operação tornou-se mais prática, possibilitando a conexão de computadores diversos, como notebook.



Figura 10 – Placa Eletrônica CNC
[Fonte: Autores,2020]

3 METODOLOGIA

Nesta parte será detalhado o desenvolvimento da máquina, estrutura mecânica, dimensionamento dos componentes elétricos, dispositivos eletrônicos e configuração para montagem da máquina Router CNC, divididos em subitens.

A partir do projeto concluído, com o auxílio do software de controle dos parâmetros é possível definir configurações e coletar dados de setup para usinagem.

3.1 Pré-projeto

Inicialmente, precisamos definir os atributos desejados para fabricação da estrutura mecânica e os componentes utilizados para a montagem da máquina. Desta forma, usamos ferramentas de projetos de máquinas para obtermos a necessidade do cliente, levando em conta o custo-benefício e ciclo de vida do equipamento.

Os atributos de ciclo de vida podem ser divididos nos itens abaixo:

- Fabricabilidade: Feita com peças comerciais
- Montabilidade: Permitir que a montagem da mesma seja sequencial
- Embalabilidade: Caixa de madeira
- Transportabilidade: Permitir transporte terrestre e aéreo
- Armazenabilidade: Lugar limpo e seco
- Comercialidade: Vendas técnicas

Então aplicamos o cruzamento dos atributos da máquina com os requisitos de cliente, conforme tabela abaixo:

Atributos Básicos do Produto						
Ciclo de vida	Funcionamento	Ergonômico	Estético	Econômico	Segurança	Confiabilidade
Produção		Ter facil fixação		Baixo custo	Cumprir NR12	
Montagem		Ter facil montagem		Rapida montagem	Cumprir NR12	
Transporte		Ser transportada montada				Ser resistente ao transporte
Armazenagem						Ser resistente a ação do tempo
Função	Usinar peças materiais de baixa dureza		Bom acabamento	Usinar peças em regime contínuo		
Uso	Usinar área útil comercial	Condição de trabalho atender NR17				Usinagem atender tolerâncias de projeto
Manutenção		Fácil acesso à manutenção		Fácil manutenção		

Tabela 01 – Atributos Básicos do Produto
[Fonte: Autores,2019]

Posteriormente, empregamos a matriz morfológica, técnica idealizada por Fritz Zwicky (1898-1974), que possibilita combinações e propõe cruzamentos de certas características ou funções da máquina com possíveis soluções e ideias. A sua funcionalidade permite visualizar de forma prática o problema e desmembrar as partes com o intuito de criar um número considerável de conclusões. [PRICKEN,2009]

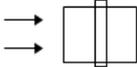
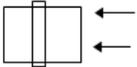
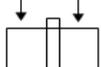
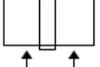
Funções	Princípio de Soluções					
Alimentação Elétrica						
	Monofásico	Trifásico				
Componentes Elétricos						
	WEG	Siemens	Schneider			
Alimentação Material						
	Frontal	Traseira	Lateral Esquerda	Lateral Direita		
Fixação da Matéria Prima						
	Abraçadeiras	Parafusos	Grampo			
Movimentação dos Eixos						
	Fuso de Esfera	Fuso Trapezoidal	Cremalheira			
Ferramenta de Corte						
	Tupia	Spindle				
Guias						
	Chatas	Cilíndricas				

Tabela 02 – Matriz Morfológica
[Fonte: Autores,2019]

Funções	Princípio de Soluções					
Tipo de Controle						
	Placa Serial	Placa USB	Arduino			
Interface						
	Computador	IHM	DSP			
Estrutura						
	Aço	Alumínio	Inox			
Acabamento da Estrutura						
	Pintura	Escovado	Bruto			
Base						
	Fixa	Móvel	Vibra Stop			

Tabela 03 – Matriz Morfológica (continuação)
[Fonte: Autores,2019]

4 DESENVOLVIMENTO

4.1 Estrutura da Máquina

Como todo produto a ser desenvolvido, começamos pelo esboço do projeto. Para definir o material da estrutura foi levado em consideração custo, praticidade, reposição, rigidez, acabamento e com isso, foi determinado boa parte da estrutura da máquina, as bases frontal e traseira tiveram um fator determinante para a escolha do material. Aço 1045 atendeu perfeitamente, devido robustez, peso e facilidade de encontrar no mercado. Foi acatado que em toda CNC necessita de uma base sólida, robusta e pesada, assim garantimos que o movimento e a troca de eixo não sofrerá nenhuma alteração com vibrações.

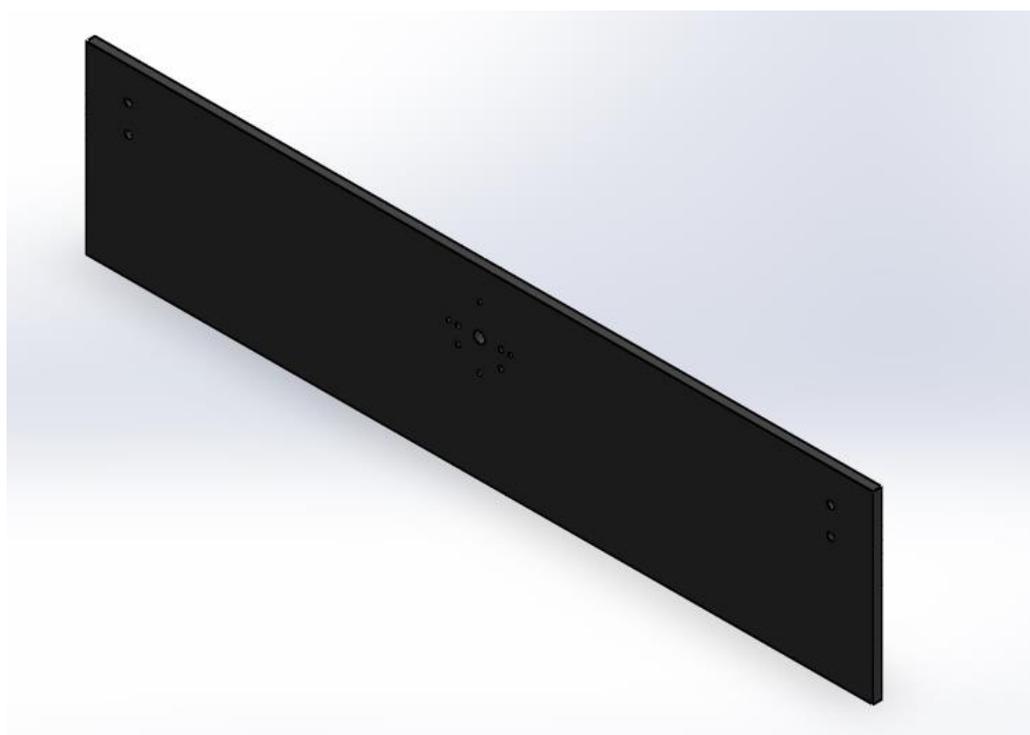


Figura 11 – Placa Frontal em Aço 1045
[Fonte: Autores,2019]

Com a base definida, a próxima parte foi definir o material da estrutura em geral, respeitando alguns atributos como: peso, custo, acabamento, rigidez e material de fácil reposição, abundante no mercado. Com análise feita foi definido perfil de alumínio extrudado, material com ótimo acabamento, dispensando qualquer tipo de pintura, fácil manuseio e com uma rigidez ideal para o projeto, sendo utilizado para interligar a base frontal com a traseira, servindo de suporte para as guias lineares. Foi utilizado o mesmo material no eixo Y para a ligação das placas laterais e também servindo de suporte para as guias do Y.



Figura 12 – Placa Lateral em Alumínio Extrudado
[Fonte: Autores,2019]

As placas laterais têm a finalidade de suportar todos esforços do eixo Y e suportar também o eixo Z, foi analisado novamente o tipo de material para tal finalidade, já que com um agravante maior, o peso, o eixo X é responsável pela movimentação do eixo Y, quanto maior o peso do eixo Y maior será o motor para a movimentação, levando-se em conta a forma física da placa para reduzir a matéria e conseqüentemente o peso das placas, sem desconsiderar a robustez, menor custo,

fácil acesso e acabamento. Foi aplicado no eixo Y e Z placas de alumínio de ½ polegada, suprimindo todas as exigências do projeto.

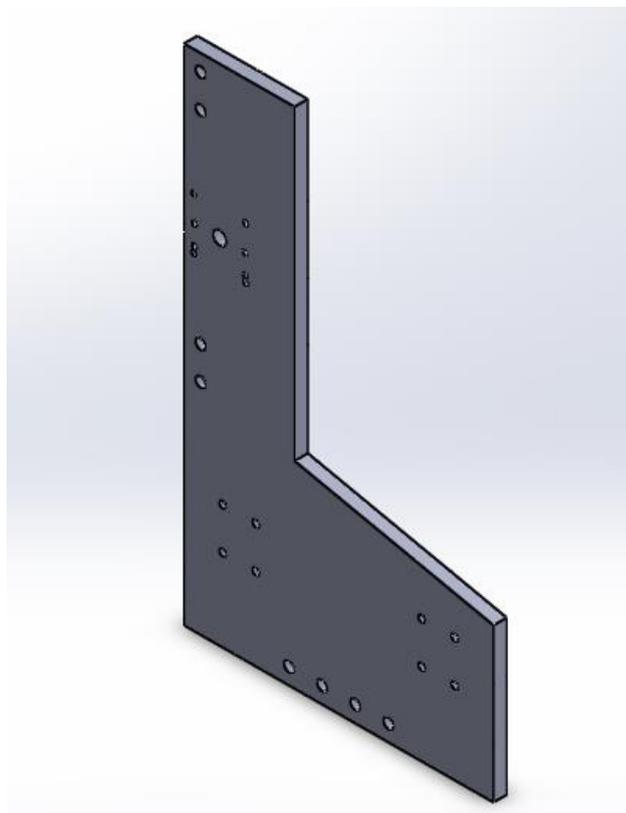


Figura 13 – Placa Lateral em Aço 1045
[Fonte: Autores,2019]

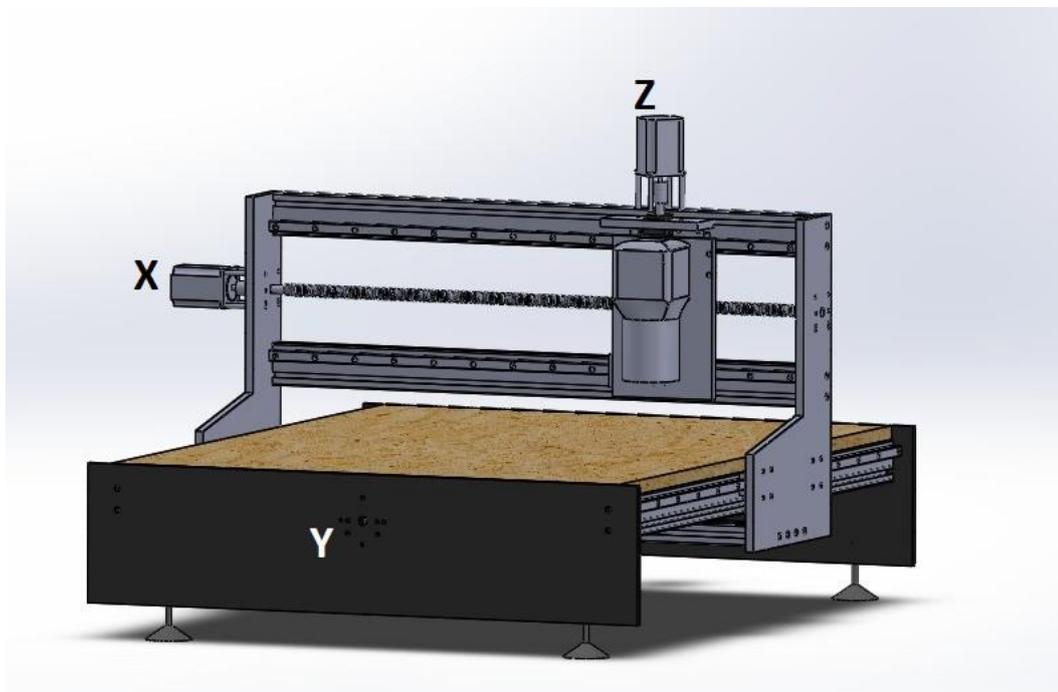


Figura 14 – Representação dos Eixos na máquina CNC
[Fonte: Autores,2020]

Com as estruturas dos eixos X e Y montados e alinhados, foi iniciado a montagem do eixo Z, responsável pelo movimento da ferramenta de corte, que se estabelece na vertical, subindo e descendo a ferramenta. Com os mesmos conceitos dos outros dois eixos, foi mantido os mesmos materiais, placas de alumínio para a fixação das guias e a segunda placa e alumínio para fixação da tupa, assim mantendo a robustez do eixo junto ao peso mínimo e com um material comum no mercado.

O tamanho da máquina de 1000x800mm, a área útil para usinagem de 650x600mm e velocidade máxima 1500mm/min foram definidos de acordo com desenho 3d criado no software Solidworks contendo todos componentes mecânicos projetados.

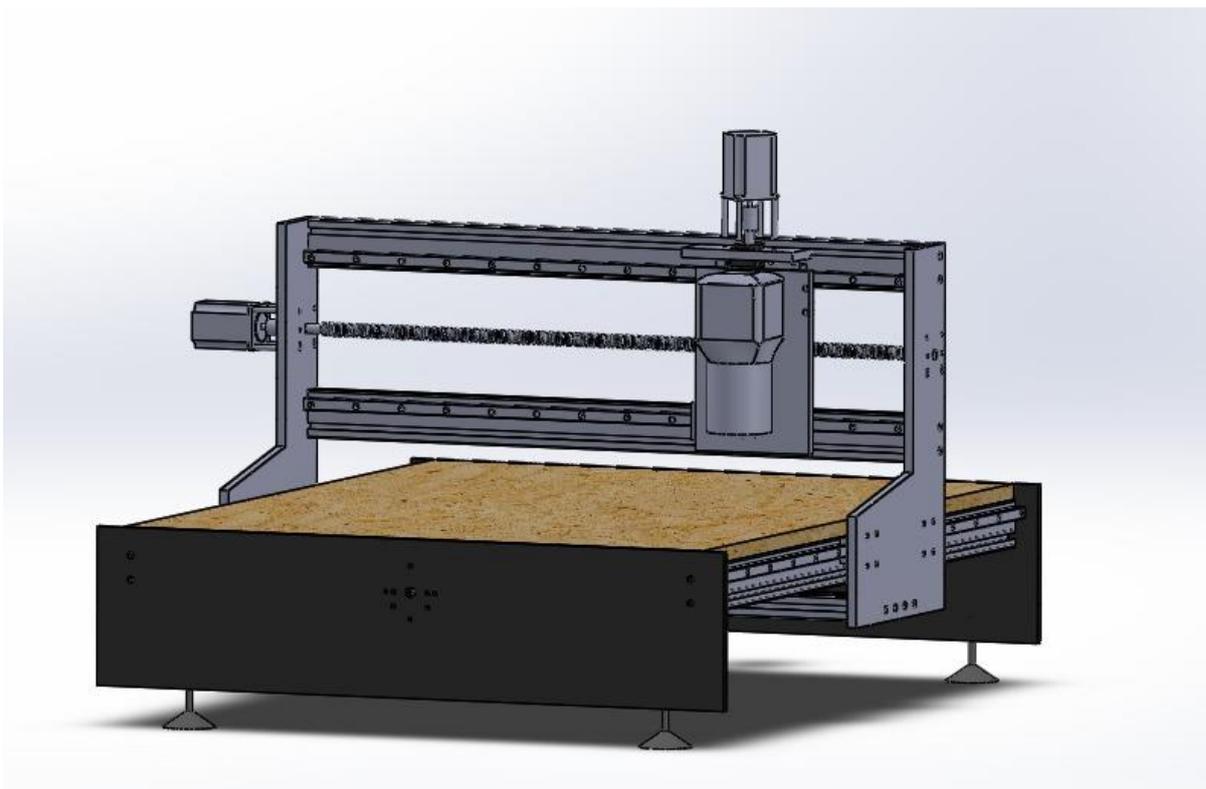


Figura 15 – Vista Completa da Máquina CNC Solidworks
[Fonte: Autores,2019]

4.2 Componentes mecânicos para montagem da máquina

Mesmo projetando uma máquina com um regime de trabalho leve, foi adotado peças e conceitos de CNC's industriais, assim garantindo um bom desempenho, robustez, acabamento e um fácil manuseio. Nesse projeto foi utilizado guias prismáticas ou guias quadradas, com isso, garantimos que não há nenhum movimento rotacional nas guias e patins. Com conceito definido, todas as guias estão completamente apoiadas na estrutura da máquina, desse modo poderá ser utilizado toda a eficiência que o equipamento que oferece. Juntamente com as guias estão os patins ou carrinhos, responsável pelo movimento de toda a carga, peso da máquina, apoiados em cima da peça. Cada patins é constituído com um par de raspadores, responsável pela limpeza das guias. Uma máquina dedicada para corte de madeira é comum o excesso de pó no equipamento, por isso o fabricante já desenvolveu um método para garantir a eficiência das guias, assim utilizando os raspadores, garantindo que não entre poeira nas esferas dos patins, assim aumentando a vida útil do equipamento e seu desempenho. Todas as guias são

furadas para sua fixação, utilizando o perfil de alumínio extrudado, que possui uma cavidade em sua superfície que facilita a fixação das guias e o seu alinhamento, já que acompanha a geometria do perfil de alumínio.



Figura 16 – Patins CNC
[Fonte: Autores,2019]

Guias e estrutura fixadas, é iniciada a fixação dos fusos, juntamente com as castanhas e mancais. Em cada extremidade do fuso é aplicado um mancal de sustentação, com rolamento adequado para aplicação. Esse mancal tem a finalidade de sustentar o fuso e reduzir a vibração ou até mesmo a flambagem da peça. Foram fixados os mancais na estrutura da máquina, centralizado em cada eixo para que haja equilíbrio e minimize ao máximo o esforço do fuso na aplicação. Com os mancais fixados, então o fuso é adicionado e travado nos mancais, já com a castanha. Fuso de esfera transforma movimento rotacional em movimento linear e possui uma vasta área de utilidade e se sobressai em aplicações que exige alto esforço axial e precisão, que com essas características torna-se um componente indispensável para o projeto. Juntamente com as guias, patins, mancais e motor de passo, o fuso de esfera adquiriu um rendimento espetacular, o peso está apoiado nas guias, as vibrações e flambagem são minimizadas pelos mancais e com o motor de passo a precisão é ainda mais fina, acarretando em uma usinagem mais detalhada e fina. Todo fuso possui uma castanha com esferas, nas quais circulam em um caminho helicoidal quase sem nenhum atrito, aumentando o rendimento o fuso de esfera, que por sua vez está sujeito ao acúmulo de poeira, já que a

usinagem em MDF ou até mesmo em madeira bruta, promove uma grande quantidade de poeira e por esse motivo, os fabricantes desenvolveram um anel de plástico com a função de reduzir o acesso da poeira nas esferas internas, aumentando a vida útil do equipamento.



Figura 17 – Fuso montado
[Fonte: Autores,2019]

4.3 Componentes elétricos para montagem da máquina

Associando guias, patins e fuso de esfera, componentes que suportam grandes cargas axiais e com uma enorme precisão, para completar aplicação foi utilizado motores de passo. Motor com um desempenho voltado para precisão, com baixo custo e de fácil instalação, foi adotado para aplicação. O motor de passo utilizado no projeto é um motor síncrono que não possui escovas, que trabalha normalmente com um deslocamento angular, normalmente com um ângulo de 1,8 graus. Dividindo uma circunferência de 360 graus por 1,8 do motor temos 200 partes, 200 frações do mesmo círculo, com isso, temos mais precisão para aplicação, um fator de suma importância na usinagem. Normalmente esses motores trabalham em 24Vcc, podendo chegar até 48Vcc, dependendo do drive utilizado.

Foram usados materiais leves, como alumínio, guias com esferas e fusos de esferas com baixo nível de atrito. Definindo um projeto com componentes de alto rendimento, dessa forma o motor de passo ficou pequeno para a aplicação e o motor com cerca de 2Nm já foi o suficiente para a usinagem.

Todo motor de passo precisa de um drive para controlar o motor, individualmente para cada motor. Foi utilizado no projeto o TB6600 (Figura 18), um drive encontrado facilmente no mercado, baixo custo e muito empregado nesse ramo. Nosso motor utiliza 2A, mas o drive pode ser configurado em até 5A, torna-se recomendado utilizar um drive com uma corrente maior que o motor necessita, assim garantindo que o motor irá entregar o torque total. Não foi aplicado a corrente de 5A do drive, foi configurado em 2,5A, assim não terá sobreaquecimento no motor e nem irá exceder a corrente máxima do drive, aumentando a vida útil de ambos. Os drives de motor de passo também necessitam da configuração de números de pulsos na entrada. No caso do TB6600 há uma subdivisão do passo que aumenta a precisão, sendo necessários 8 pulsos ao invés de 1 para girar 1,8 graus. Para uma volta de 360 graus, são aplicados 1600 pulsos, ao contrário dos 200 convencionais sem o microstep acionado. Associando componentes com finalidade que atende a aplicação e que foram desenvolvidos para o mesmo, conseqüentemente teremos uma máquina com rendimento alto, produção adequada e um ótimo acabamento.



Figura 18 – Drive TB6600
[Fonte: Autores,2020]

Para a comunicação do computador, drives e motores de passo foi colocado uma pequena placa controladora com porta USB, facilitando a interação dos componentes eletrônicos. É muito comum encontrar no mercado placas para CNC com saída de porta paralela, um modelo mais arcaico de comunicação através de pinos configuráveis, que possui uma comunicação mais lenta. Com o avanço da tecnologia, foi desenvolvida uma placa com saída USB, deixando a comunicação muito mais prática e ágil com o computador e compatível com o MACH 3, programa responsável pela leitura do código G. A placa conta ainda com 4 saídas de 100kHz, podendo controlar até 4 eixos da máquina CNC. Neste projeto foi utilizado apenas 3 eixos. Estas saídas rápidas são ideais para motores de passo, que exigem uma alta velocidade de comunicação. A placa conta ainda com uma saída de 0 a 10V para PWM, duas entradas para sensores de limite, uma entrada do PROBE, que é responsável pelo “zeramento” da ferramenta e uma entrada para botão de emergência, tendo em vista que estas últimas entradas e saídas não foram utilizadas no projeto, com intuito de mostrar passo a passo a usinagem e de forma básica. Desta forma, o componente atendeu todas as exigências do projeto e se mostrou muito eficiente em teste prático na produção de peças.

Devido grande quantidade de componentes eletrônicos instalados na máquina, foi necessário a confecção de um painel elétrico. Por motivos de segurança e proteção, o mesmo foi projetado também com intertravamentos, disjuntores para proteção contra um eventual curto circuito e acionamento para manter tudo em ordem quando for manuseada a máquina. O painel está fixado na estrutura da máquina Router CNC, possibilitando que o computador possa ser inserido no circuito. Painel em aço carbono, o mesmo utilizado em aplicações industriais, componente com botões, leds, contator auxiliar, disjuntor, fonte, bornes, canaletas, cabos e terminais, componentes industriais, garantindo a proteção e a eficiência também parte eletrônica do projeto.

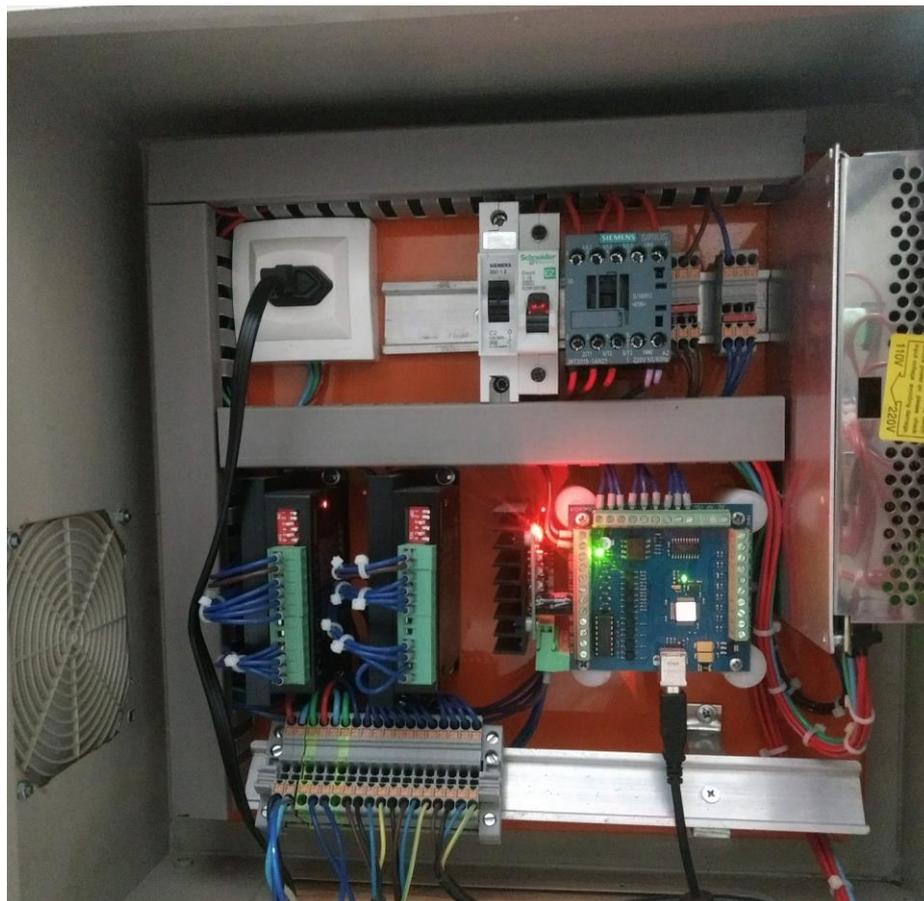


Figura 19 – Painel Elétrico Máquina CNC
[Fonte: Autores,2020]

No eixo Z, que faz o movimento na vertical, responsável pela subida e descida da ferramenta, foi instalado uma tupa de 710w, convertendo temos 0,965cv, quase um 1 cv para usinagem de material de baixa dureza, possibilitando até a usinagem de pequenas peças em alumínio. Levando em consideração o custo-benefício no projeto, ficou viável a instalação da tupa, de modo que, supriu as necessidades do projeto e com um custo razoável. A outra opção seria adotar um Spindle, componente industrial com ajustes via MACH 3, variação de velocidade através do inversor de frequência e níveis de ruído inferiores, porém com custo bem mais elevado, cerca 3 a 4 vezes maior do que a tupa. A tupa possui variador de velocidade manual, podendo ser ajustada de 10.000 a 30.000 RPM, podendo utilizar fresas de 6mm, 8mm e de $\frac{1}{4}$, facilitando a busca de ferramentas no mercado e também foi considerado a robustez do produto, componente com ventilação apropriada. Associando essas características, desempenho e custo, a tupa atendeu todas as expectativas da aplicação.



Figura 20 – Tupia 710W
[Fonte: MAKITA,2019]

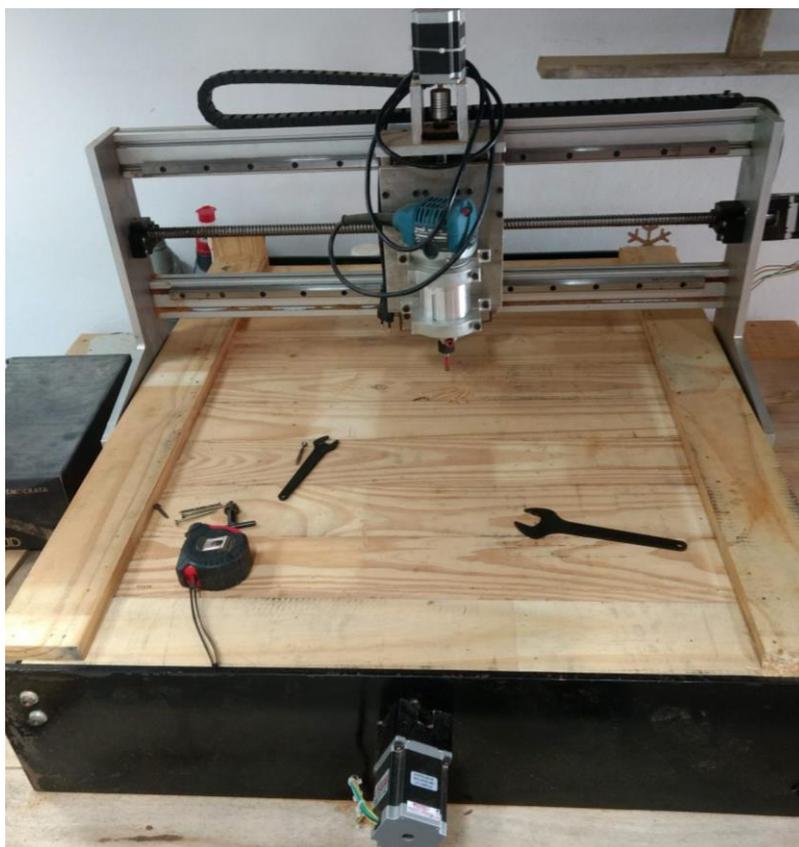


Figura 21 – Máquina Router CNC
[Fonte: Autores,2020]



Figura 22 – Vista Lateral Máquina Router CNC
[Fonte: Autores,2020]

4.4 Parametrização

Toda máquina CNC precisa de uma parametrização para iniciar a usinagem, assim temos o “zeramento” da máquina, que é o posicionamento inicial da ferramenta para iniciar a movimentação dos eixos, no qual é utilizado o código G, linguagem de programação padronizada que é atribuída com diversas informações como: profundidade de usinagem, percursos, velocidades, comprimento e muito mais. Para gerar esse código G foi utilizado o programa Aspire 9. Este software permite importar uma imagem e criar o percurso de usinagem. Com o percurso definido, permite-se parametrizar ferramentas, aumentar ou diminuir a figura de trabalho e após tudo definido o programa gera o código G com todas as informações necessárias pra usinagem.

4.5 Processo de Usinagem

A sequência de tarefas para efetuar a usinagem, inicia-se com a busca da imagem desejada através da internet pelo navegador. Após arquivo definido utiliza-se o programa Aspire, que define o percurso da imagem vetorizada e a ferramenta da usinagem, assim é possível obter-se o código G que será enviado para a máquina CNC através do MACH 3. Após esta etapa, temos todos os atributos necessários para o início da usinagem na máquina CNC Router.

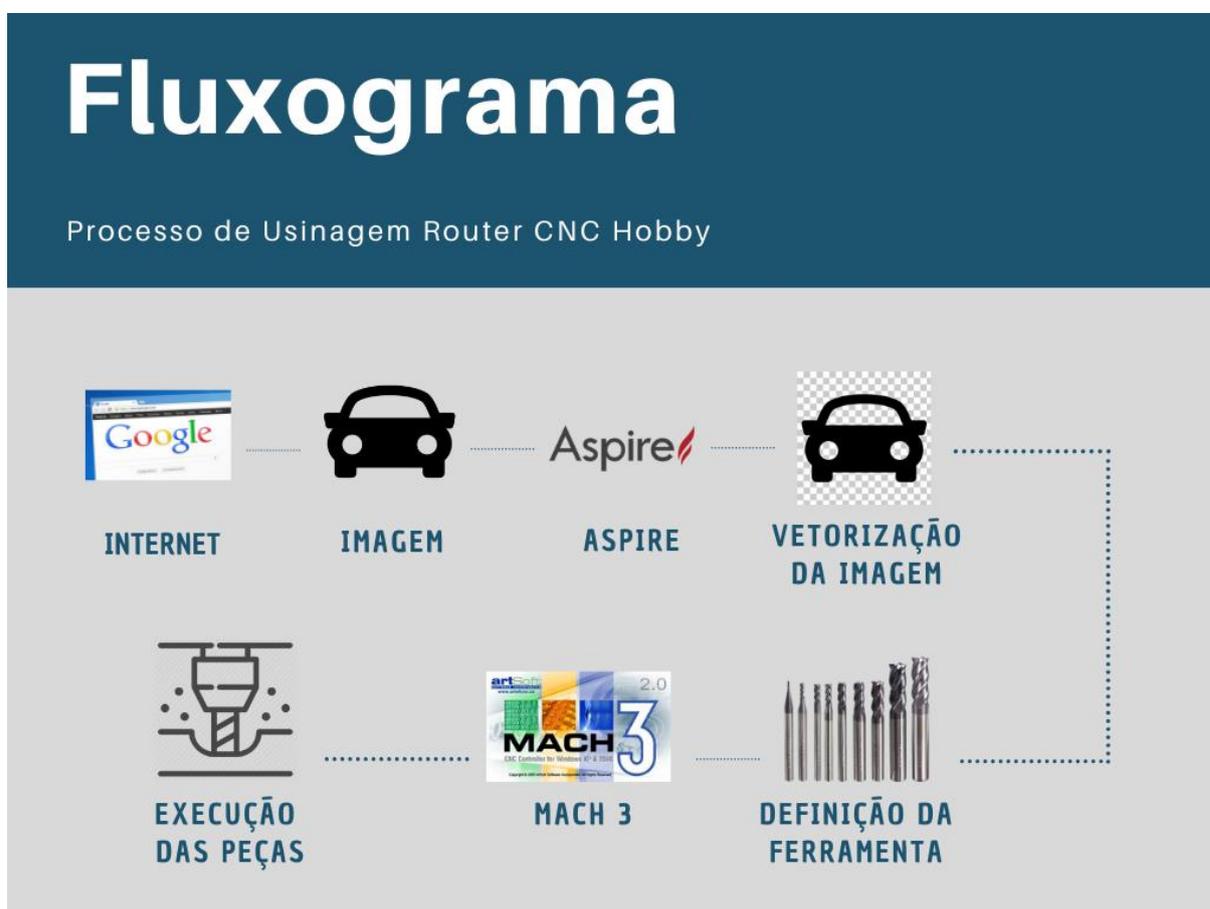


Figura 23 – Fluxograma do Processo de Usinagem CNC
[Fonte: Autores,2019]

4.6 Exemplo de parametrização de corte 6mm em MDF

Com a imagem definida, foi importada para o programa Aspire 9, foi ajustado o tamanho da peça em questão e a espessura do material que será cortado.

A figura abaixo mostra a esquerda um ícone que será utilizado para vetorizar o desenho desejado, técnica onde são usadas linhas para aumentar ou diminuir a imagem sem perder a resolução. Após a vetorização da figura, irá aparecer apenas o contorno da figura e será determinado o percurso de usinagem.

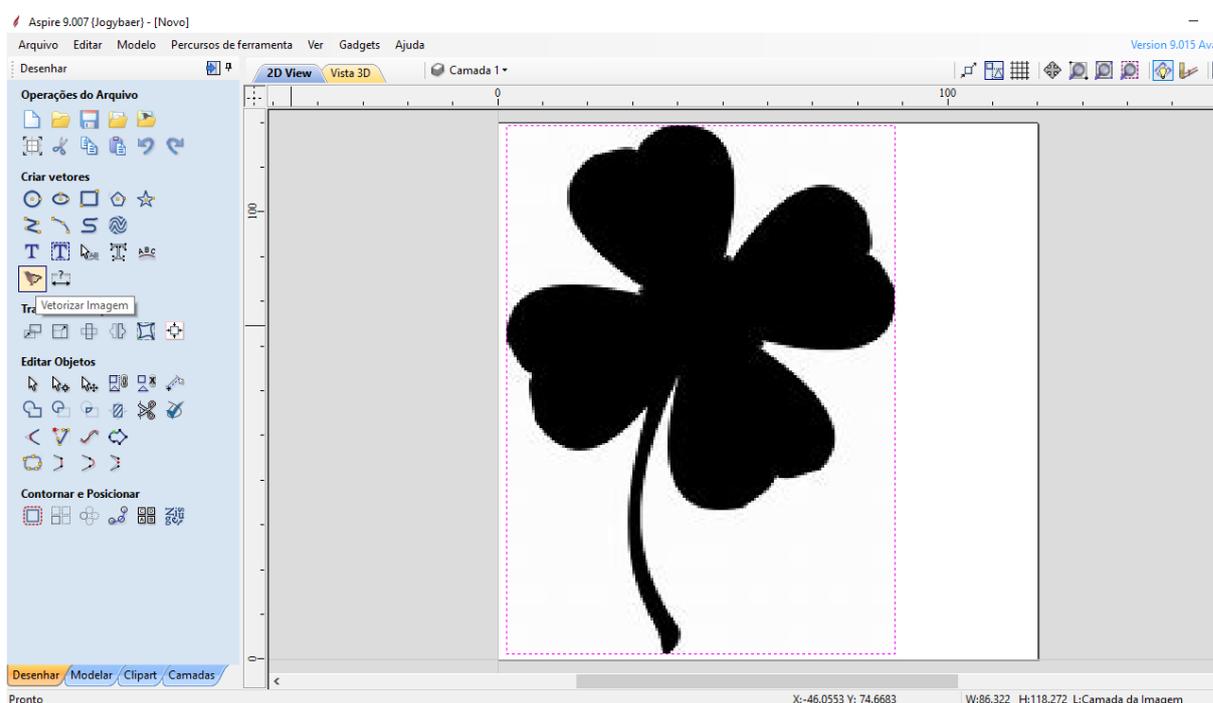


Figura 24 – Imagem no software Aspire
[Fonte: Autores,2020]

Tamanho e percurso definido, próximo parâmetro a ser determinado será a escolha da ferramenta. No ícone abaixo, apresenta-se a estratégia que foi utilizada para indicar a preferência da ferramenta.

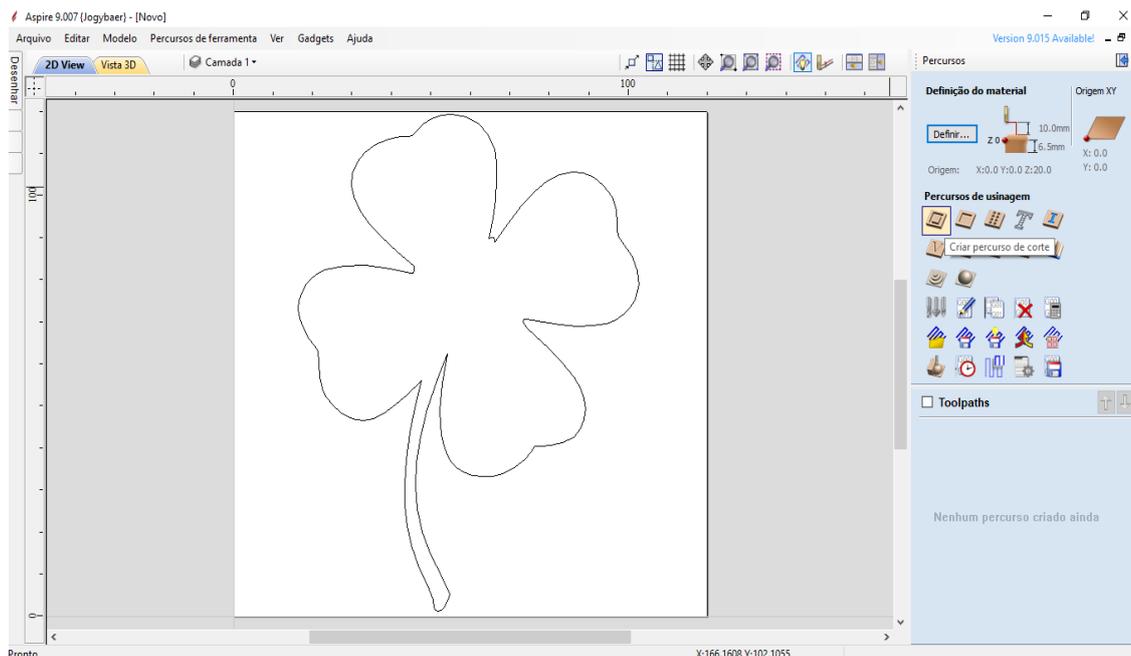


Figura 25 – Percurso de Corte
[Fonte: Autores,2020]

Como a peça em questão será pequena, foi utilizada a menor fresa que temos, fresa de 3mm de diâmetro. O próprio software já simula o percurso e dá as opções de usinagem, por fora da linha, por dentro ou em cima, neste caso foi definido por fora da linha.

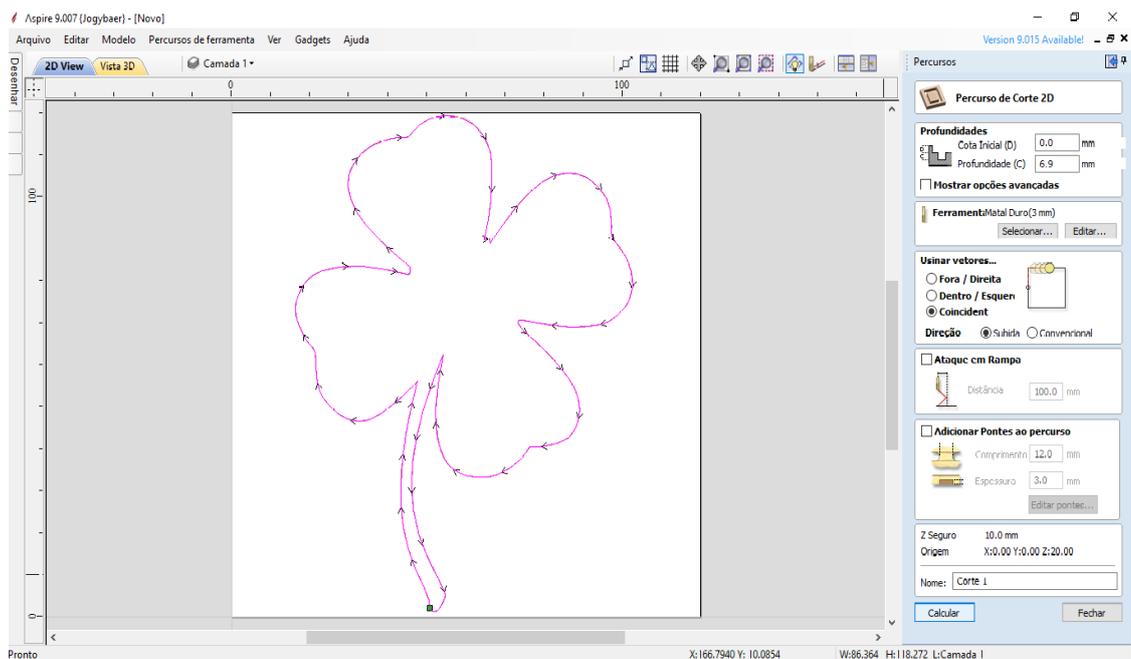


Figura 26 – Imagem vetorizada
[Fonte: Autores,2020]

Após a escolha da ferramenta podemos simular a usinagem, realizar a conferência e verificar se ficou de acordo com o esperado. A simulação abaixo mostra todos os detalhes da usinagem, o vetor está pronto para ser gerado.

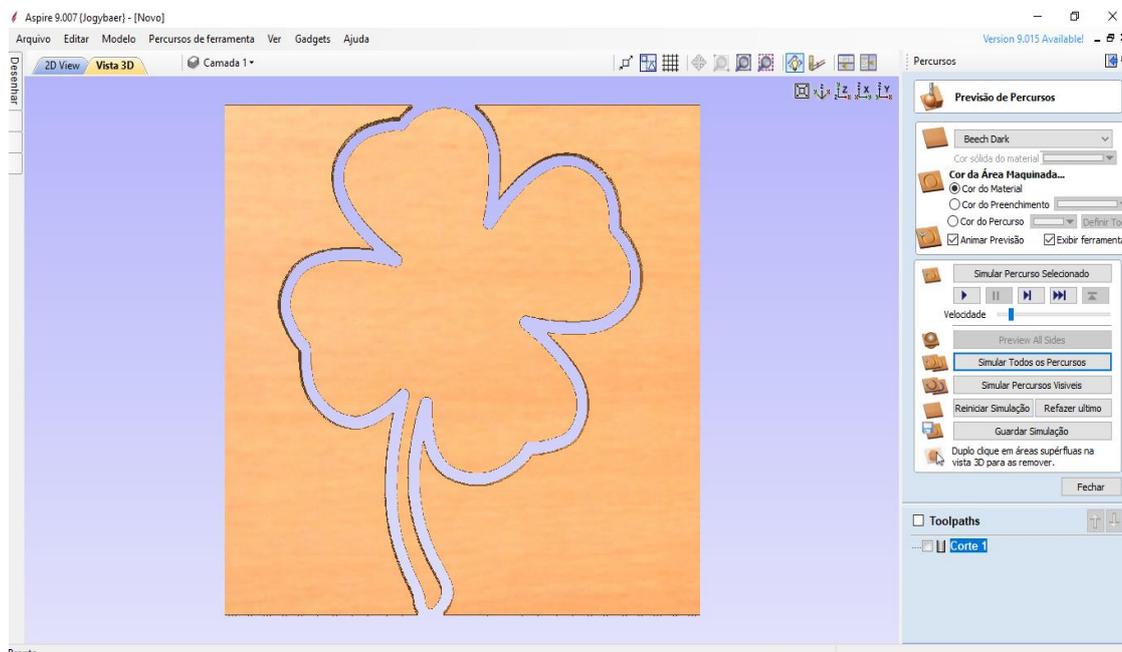


Figura 27 – Simulação da Usinagem
[Fonte: Autores,2020]

No menu principal temos a opção “guardar percurso” conforme imagem abaixo. Corte 1 “flegado”, o pós-processador será selecionado em milímetros, unidade de medida utilizada comumente em nosso país. Clicando em “guardar percurso” é gerado o código G que será descarregado na CNC.

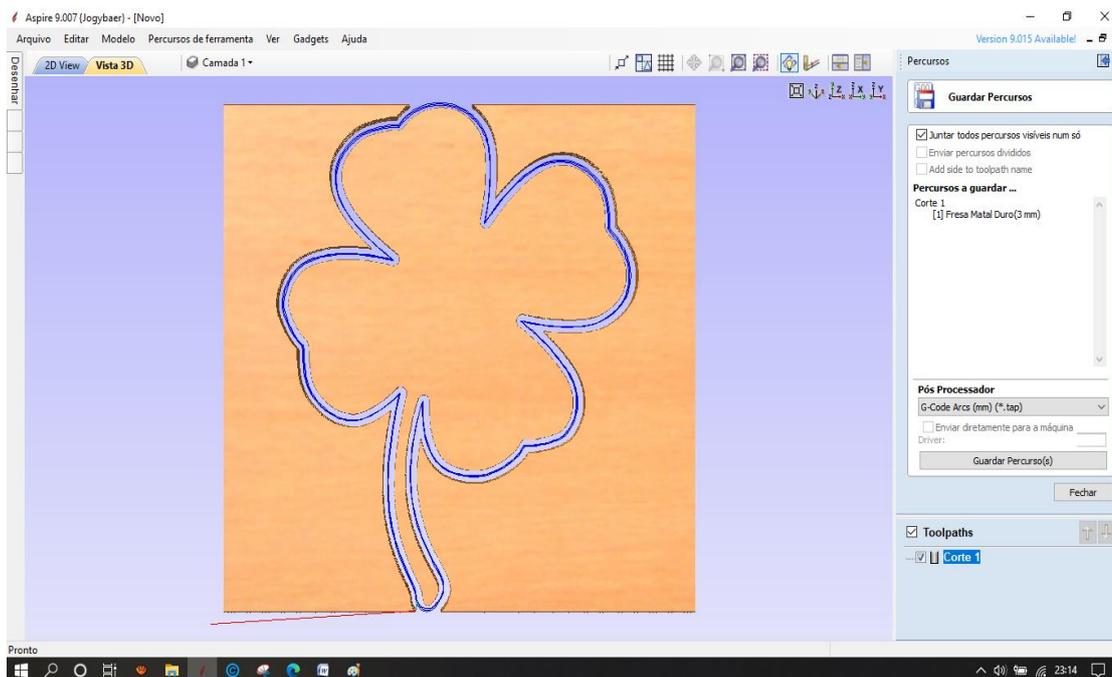


Figura 28 – Geração código G
[Fonte: Autores,2020]

Exemplo de parametrização Mach 3:

Com o código G gerado e salvo no computador, será iniciado o Mach 3, programa responsável por interpretar o código G, assim movimentando a máquina conforme percurso do desenho anterior. Este software interpreta ponto a ponto do desenho, esses códigos são enviados via USB até a placa controladora da CNC e posteriormente chegando nos drives dos motores de passos, assim temos a movimentação da máquina conforme percurso desejado.

Ao abrir o Mach3, temos a tela inicial de acordo com a imagem abaixo, o software permanece travado como máquina e somente após o botão “reset” pressionado está livre para passar os comandos até a CNC.

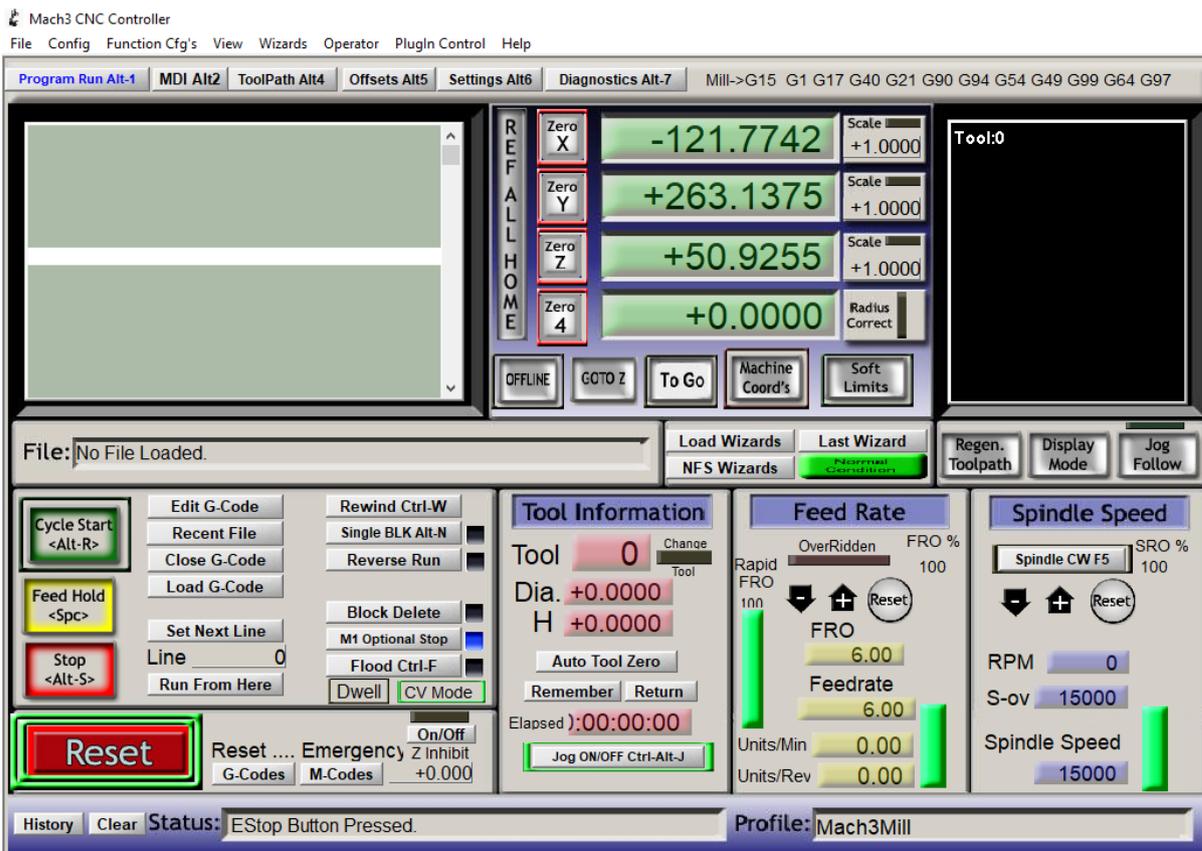


Figura 29 – Mach3 CNC
[Fonte: Autores,2020]

Com o programa já iniciado, é possível movimentar a CNC, então é posicionado o eixo Z no ponto de origem. Esse ponto fica à esquerda e mais próximo possível da parte frontal da máquina, assim é possível aproveitar toda área útil da máquina e as coordenadas dos eixos Y e X serão positivas, já permanecerão no primeiro quadrante. Com a máquina posicionada, será zerado todos os valores em todos os eixos, dessa forma foi determinado o ponto “zero” da máquina ou a “origem” da usinagem.

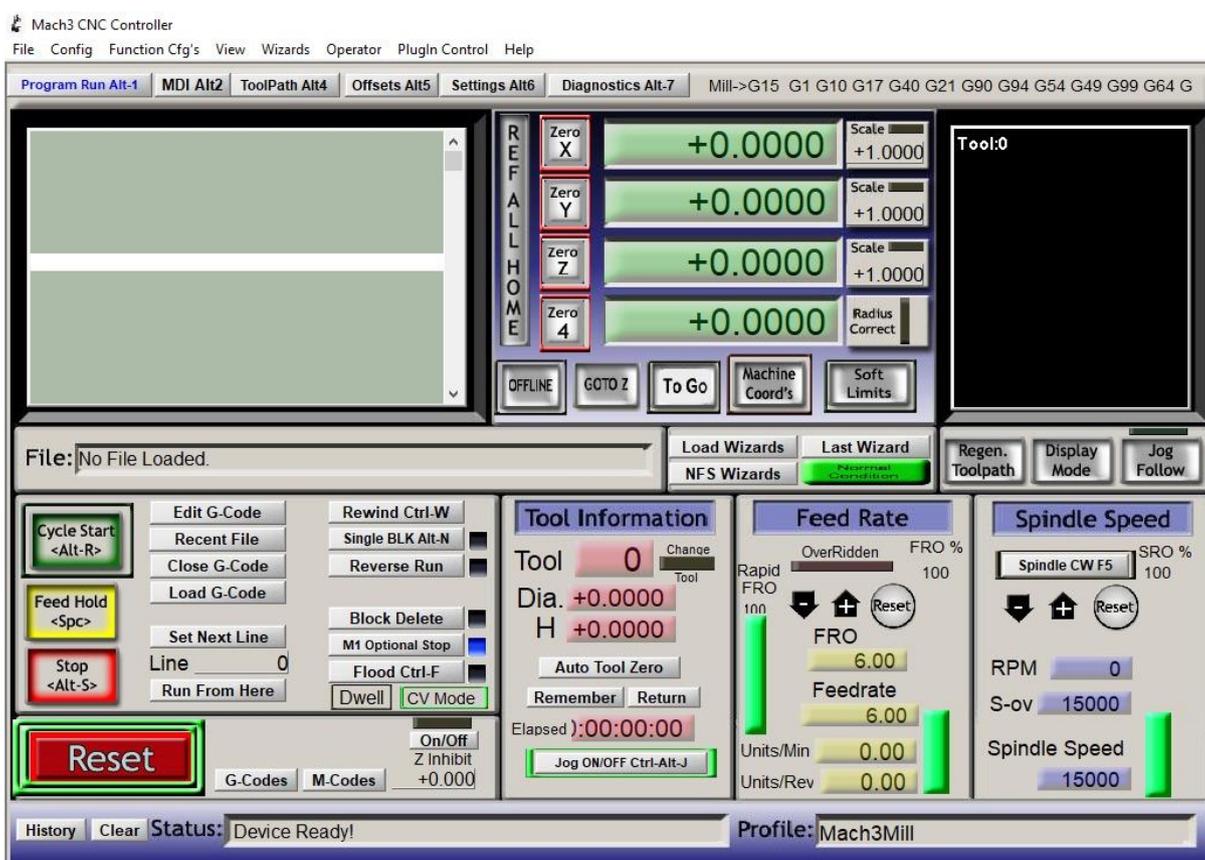


Figura 30 – Mach3 com os eixos zerados
[Fonte: Autores,2020]

Máquina posicionada, eixos zerados, já é possível carregar o código G e iniciar a usinagem. O Mach3 possui um botão “Load G-code”, pressionando esse botão, o programa mostrará as pastas do seu computador e selecionando o arquivo anterior, deve-se pressionar o botão “abrir” para carregá-lo no Mach3. Verificando todos os itens anteriores, permite-se ligar a tupa e clicar na opção “cycle start”, dessa forma a máquina CNC irá iniciar a usinagem.

4 ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

O teste em MDF foi realizado com 3 ferramentas com diâmetros distintos, para evidenciar o consumo elétrico da máquina. A corrente medida com todos os componentes necessários para movimentação da ferramenta, notebook, tupa e motores. A primeira ação foi realizada movimentando apenas um eixo, foi observado a corrente elétrica consumida pelo equipamento. Em seguida foi realizado novo teste com a mesma ferramenta, agora com uma figura que movimentaria os 3 eixos, foi utilizado um círculo. Foi notado uma pequena alteração na corrente elétrica nesse último teste. Considera-se o pico maior para cada ferramenta.

PARÂMETROS USINAGEM CNC							
Material: MDF							
FRESA (ϕ)	ROTAÇÃO (rpm)	AVANÇO (mm/m)	PROFUNDIDADE (mm)	PASSO LATERAL (%)	TENSÃO NOS MOTORES (VCC)	CORRENTE ELÉTRICA (A)	CONSUMO ELÉTRICO (kW/h)
3 mm	15.000	1500	2	42	48	1,2	0,264
6 mm	15.000	1500	2	50	48	1,5	0,33
11,5mm	15.000	1500	2	55	48	1,8	0,396

Tabela 04 – Parâmetros MDF
[Fonte: Autores,2020]

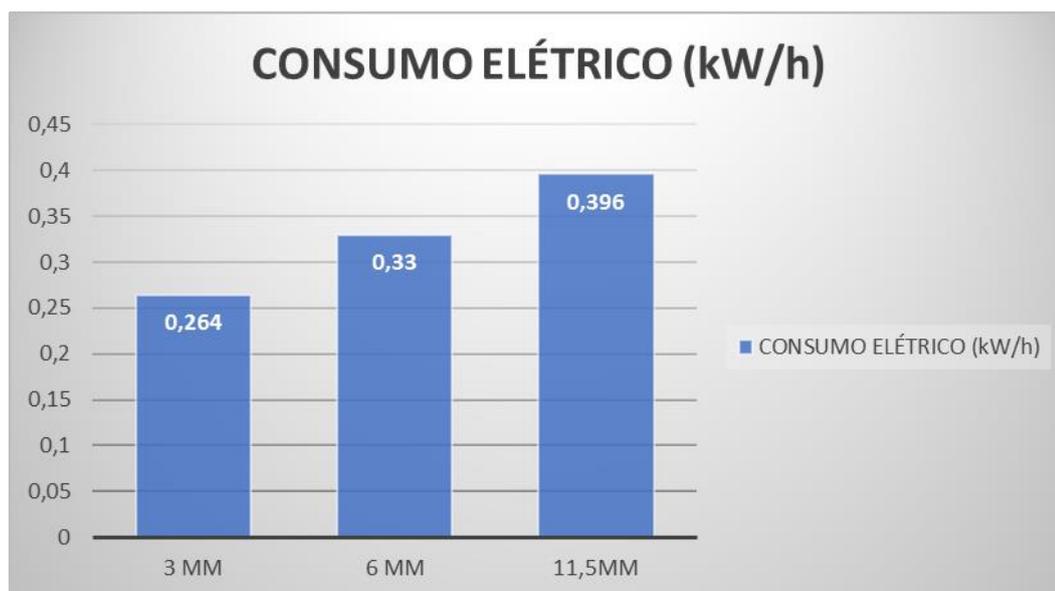


Figura 31 – Gráfico Consumo Elétrico para Material MDF
[Fonte: Autores,2020]

No teste do PVC sólido, foi utilizado o mesmo método da análise anterior e mesma ferramenta, com uma profundidade maior no material a corrente ficou igual ou menor do que no teste do MDF, devido a dureza do produto.

Material: PVC Sólido							
FRESA (ϕ)	ROTAÇÃO (rpm)	AVANÇO (mm/m)	PROFUNDIDADE (mm)	PASSO LATERAL (%)	TENSÃO NOS MOTORES (VCC)	CORRENTE ELÉTRICA (A)	CONSUMO ELÉTRICO (kW/h)
2,5mm	20.000	1500	3	55	48	1,1	0,242
6mm	20.000	1500	3	46	48	1,4	0,308

Tabela 05 – Parâmetros PVC Sólido
[Fonte: Autores,2020]



Figura 32 – Gráfico Consumo Elétrico para Material PVC Sólido
[Fonte: Autores,2020]



Figura 33 – Testes em PVC Sólido e MDF
[Fonte: Autores,2020]



Figura 34 – Peças finalizadas com acabamento
[Fonte: Autores,2020]

5 CONCLUSÃO

No projeto detalhado foi definida a concepção ideal da máquina, sob o aspecto de material moderno, com acabamento e eletrônica atual via USB. A associação dos componentes atuais gerou uma robustez maior do que esperada. A máquina ficou com peso ideal para que na troca de movimento entre eixos não houvesse trepidação ou qualquer vibração indesejada. Com a estrutura adequada e associada com as guias lineares e fuso de esfera. O projeto apresentou uma precisão na usinagem bem aceitável para os materiais utilizados. A eletrônica garantiu que a interação homem e máquina não houvesse falhas, por falta de comunicação e trocas de dados.

Nos testes com MDF, a máquina apresentou ótimo desempenho, corte com ótimos acabamentos, sem vestígios de queima de madeira ou de marcas de rasgos no material. Consumo dentro dos testes, apresentou abaixo do esperado, devido ao componente estarem alinhados, posicionados de uma maneira que não exige torque máximos dos motores. Teste em PVC sólido apresentou dados muito parecidos ao teste em MDF, baixo consumo, corte limpo, expulso do material adequado, nesses dois testes o resultado do projeto foi satisfatório. Estrutura da máquina apresentou ser compatível, sem excesso de vibrações ou trepidações, motores dos eixos não apresentaram nenhum esforço excessivo. No teste em alumínio não foi satisfatório o resultado do projeto, com isso foi suspenso qualquer produção de peças deste material na máquina. O esforço excessivo da tupa no teste foi visível, gerando assim superaquecimento e extremo barulho no momento do corte.

No projeto cabem ainda estudos e melhorias, com isso aumentando a área de atuação no aumento da gama de produtos e otimizando processos de usinagem. No geral, máquina ficou com resultado bem satisfatório, já que foi produzida de modo manual, sem auxílio de máquinas automáticas. Em função da complexidade na montagem de uma máquina CNC, o projeto abrange diversas áreas da mecatrônica industrial, desde a montagem mecânica e estrutural até a eletrônica utilizada na precisão e comunicação para a fabricação da peça desejada através de um computador. Todavia, a modernização e melhoria da máquina router CNC se encontra à disposição para facilitar ainda mais o usuário, gerando economia e proveitos ao mercado.

REFERÊNCIAS

MACHADO, Aryoldo. **O Comando numérico: aplicado às máquinas-ferramenta**. São Paulo, Editora Ícone, 3ª Edição, 1989.

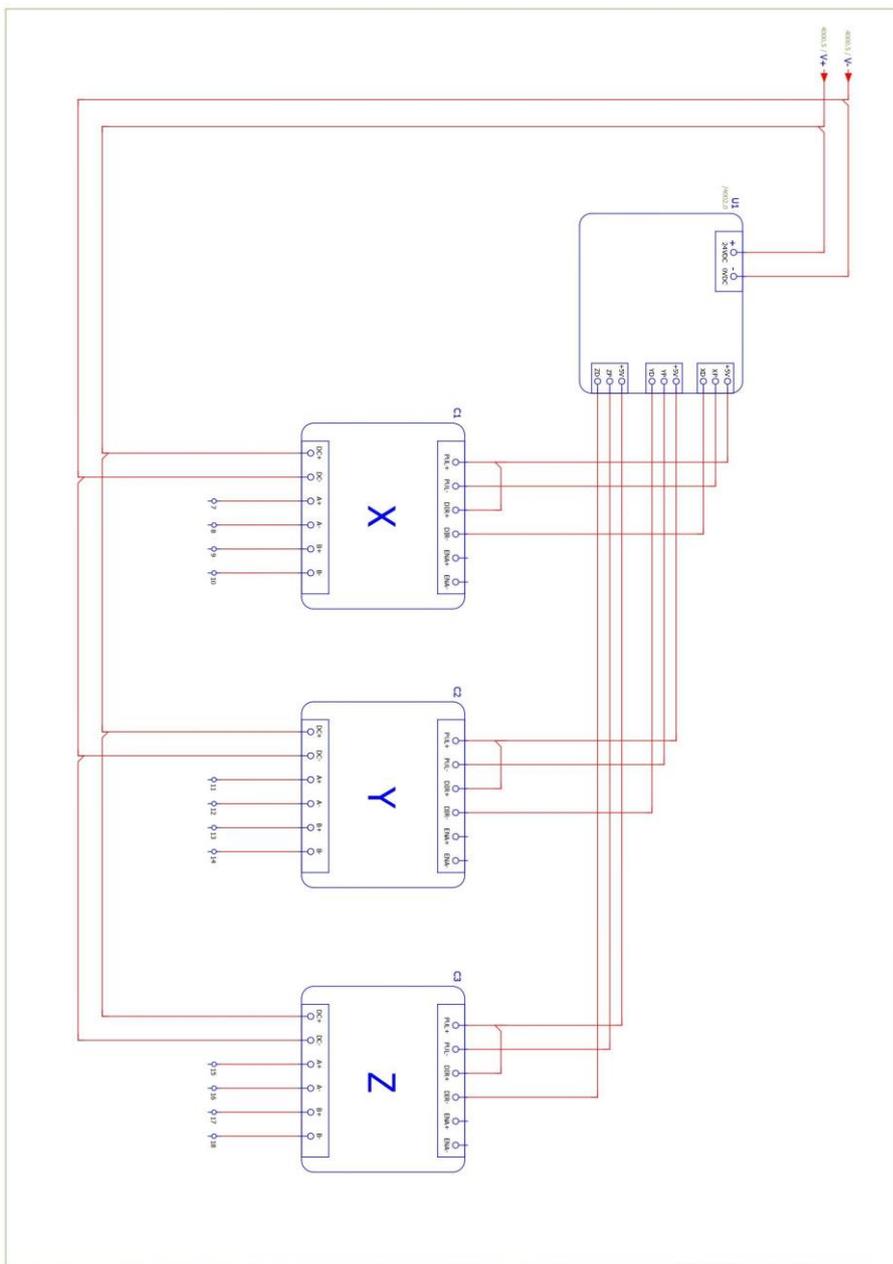
CASSANIGA, Fernando A. **Fácil Programação do Controle Numérico**. Editora CNC, 1ª Edição, 2005.

THORNNOX CNC. **Usinagem em Torno CNC**. São Paulo, 2020. Disponível em: <<https://www.thornnox.com.br/usinagem-torno-cnc.php>>. Acesso em 24 out. 2020.

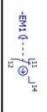
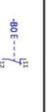
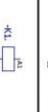
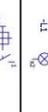
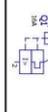
FERRARI, Alfredo V. F. **A Evolução dos Tornos automáticos: do came ao CNC**. São Paulo, 2003. Disponível em: <https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/4866683/mod_resource/content/1/AF%20Folder%20Evolution%20Ferrari%201.pdf>. Acesso em 24 out. 2020.

PRICKEN, Mario. **Publicidad creativa**. Barcelona: Gustavo Gili, 2009

KALATEC AUTOMAÇÃO. **Catálogos de Produtos CNC**. Campinas, 2020. Disponível em: <<https://www.kalatec.com.br>>. Acesso em 24 out. 2020



LEGENDA

	Interruptor de parada de emergência / botão de parada de emergência
	Botão de apertar, contato NA através de pressionamento
	Botão de apertar, contato NF através de pressionamento
	Acionamento eletromecânico, geral / bobina do relê geral
	Contato de auxiliar NA
	Contato de auxiliar NA
	Lâmpada / Lâmpada Piloto, geral
	Disjuntor motor / chave de sobrecarga do motor com mecanismo do interruptor sem linha
	Tomada fêmea, tripolar
	Fonte de alimentação CA - CC - 24VDC
	Motor de corrente alternada para ventilador / exaustor
	Placa eletrônica de controle CNC
	Drive motor de passo