

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E
TECNOLOGIA DE SANTA CATARINA
CAMPUS JOINVILLE
CURSO SUPERIOR DE TECNOLOGIA
EM MECATRÔNICA INDUSTRIAL**

**FABIO SMOKEVICZ
RICARDO DE ARAÚJO**

**DESENVOLVIMENTO DE UMA PLOTTER A
CANETA DE BAIXO CUSTO PARA ESCRITA E
DESENHO EM SUPERFÍCIES PLANAS**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

**FABIO SMOKEVICZ
RICARDO DE ARAÚJO**

**DESENVOLVIMENTO DE UMA PLOTTER A
CANETA DE BAIXO CUSTO PARA ESCRITA E
DESENHO EM SUPERFICIES PLANAS**

JOINVILLE, 2017

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E
TECNOLOGIA DE SANTA CATARINA**

**CAMPUS JOINVILLE
CURSO SUPERIOR DE TECNOLOGIA
EM MECATRÔNICA INDUSTRIAL**

**FABIO SMOKEVICZ
RICARDO DE ARAÚJO**

**DESENVOLVIMENTO DE UMA PLOTTER A
CANETA DE BAIXO CUSTO PARA ESCRITA E
DESENHO EM SUPERFÍCIES PLANAS**

**Trabalho de Conclusão de
Curso submetido ao Instituto
Federal de Educação, Ciência e
Tecnologia de Santa Catarina,
como parte dos requisitos de
obtenção do título de Tecnólogo
em Mecatrônica Industrial.**

Orientador: Michael Klug, Dr. Eng.

JOINVILLE, 2017

Smokevicz, Fabio; Araújo, Ricardo.

Desenvolvimento de uma Plotter a caneta de baixo custo para escrita e desenho em superfícies planas / Smokevicz, Fabio; Araújo, Ricardo – Joinville: Instituto Federal de Santa Catarina, 2017.

Trabalho de Conclusão de Curso - Instituto Federal de Santa Catarina, 2017. Graduação: Curso Superior de Tecnologia em Mecatrônica Industrial. Modalidade: Presencial.

Orientador: Michael Klug, Dr. Eng.

1. Plotter, 2. Escrita, 3. Desenho.

I. Desenvolvimento de uma Plotter a caneta de baixo custo para escrita e desenho em superfícies planas

**DESENVOLVIMENTO DE UMA PLOTTER A CANETA
DE BAIXO CUSTO PARA ESCRITA E DESENHO EM
SUPERFÍCIES PLANAS**

**FABIO SMOKEVICZ
RICARDO DE ARAÚJO**

Este trabalho foi julgado adequado para obtenção do título de Técnico em Mecatrônica Industrial e aprovado na sua forma final pela banca examinadora do Curso Mecatrônica Industrial do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina.

Joinville, 20 de abril de 2017.

Banca Examinadora:

Prof. Michael Klug, Dr. Eng.
Orientador

Prof. Rodrigo Coral, Dr. Eng.
Avaliador

Prof. Ivandro Bonetti, M. Eng.
Avaliador

DEDICATÓRIA

Deus, familiares, amigos, professores e colegas.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradecemos a Deus por nos guiar todos os dias no caminho da dedicação, sabedoria e da persistência para superar todas as dificuldades e desafios encontrados durante essa jornada.

Agradecemos aos nossos familiares e as nossas namoradas pela dedicação, paciência, compreensão e apoio durante várias vezes que nos ausentamos para nos dedicar a conclusão da graduação.

Ao nosso orientador professor Michael Klug por nos apoiar, cobrar e incentivar, visando sempre o nosso máximo desenvolvimento.

Aos demais docentes, laboratoristas e amigos pelo apoio e ideias que de alguma maneira nos auxiliou no andamento e conclusão desse projeto.

RESUMO

O objetivo desse trabalho é projetar e construir uma máquina de escrita a caneta capaz de desenhar e escrever em superfícies planas. Operando em dois eixos cartesianos se torna uma excelente ferramenta para realizar tarefas que normalmente somente seriam realizadas com uma caneta de mão. O fixador da caneta permite uma variedade de tamanhos de canetas, permitindo o uso desde marcadores permanentes até canetas de pontas ultrafinas, melhorando ainda mais a qualidade da escrita ou desenho. Além da finalidade de desenho, a Plotter poderá ser utilizada para confecção de placas de circuito impresso. Todo monitoramento do trabalho é feito através do *software* que mostra a posição exata da caneta no papel, permitindo ao usuário que acompanhe em tempo real toda a operação.

Palavras-Chave: Plotter, Máquina de escrita, Microcontrolador.

ABSTRACT

The purpose of this paper is to design and build a pen-writing machine capable of drawing and writing on flat surfaces. Operating on two Cartesian axes becomes an excellent tool for performing tasks that would normally only be performed with a hand pen. The pen holder allows for a variety of pen sizes, allowing use from permanent markers to ultra-fine stylus pens, further enhancing the quality of writing or drawing. In addition to the design purpose, the Plotter can be used to make printed circuit boards. All monitoring of the work is done through software that shows the exact position of the pen on paper, allowing the user to monitor the entire operation in real time.

Keywords: Plotter, Writing machine, Microcontroller.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Robô cartesiano projetado para realizar dosagens...	26
Figura 2 – Motor de passo NEMA 16	28
Figura 3 – Exemplo de microcontrolador ATmega 328P-Pu	29
Figura 4 – Arduino Uno R3.....	31
Figura 5 – Arduino IDE.....	32
Figura 6 – Movimentação angular de um servo motor	33
Figura 7 – Fonte de Alimentação	34
Figura 8 – Módulo FTDI conversor.....	35
Figura 9 – Módulo Bluetooth RS232 HC-05.....	36
Figura 10 – Driver Motor de Passo A4988	37
Figura 11 – Rolamentos lineares de esferas.....	40
Figura 12 – Esboço da Plotter em SolidWorks.....	42
Figura 13 – Suporte de fixação das guias eixo X.....	44
Figura 14 – Suporte das guias e correia do eixo Y	45
Figura 15 – Esticador da correia	45
Figura 16 – Suporte frontal do eixo Y.....	46
Figura 17 – Suporte com motor fixado na base	46
Figura 18 – Suporte central.....	47
Figura 19 – Suporte fixação da caneta	48
Figura 20 – Suporte na posição de movimentação	49
Figura 21 – Suporte na posição de trabalho	49
Figura 22 – Movimento para trás	50
Figura 23 – Movimento para direita.....	51
Figura 24 – Movimento para esquerda	51
Figura 25 – Movimento para frente	52
Figura 26 – Sistema de transmissão de movimento	52
Figura 27 – LM7805	53
Figura 28 – AMS1117	54
Figura 29 – Circuito placa de controle Proteus	54
Figura 30 – Placa de controle montada	55
Figura 31 – Placa de comando Proteus	55
Figura 32 – Placa de comando montada.....	56
Figura 33 – Módulos Bluetooth e USB conectados.....	56
Figura 34 – Plotter Montada.....	57
Figura 35 – Escolha da imagem – Software Inkscape	58
Figura 36 – Imagem Vetor / bitmap.....	58
Figura 37 – Rasterizar bitmap – Software Inkscape.....	59

Figura 38 – Definição dos parâmetros – Software Inkscape	60
Figura 39 – Escolha da imagem – Software bCNC Master	61
Figura 40 – Controles – Software bCNC Master	61
Figura 41 – Monitoramento – Software bCNC Master	62
Figura 42 – Conexão via bluetooth – Aplicativo Android GRBL..	63
Figura 43 – Controles – Aplicativo Android GRBL.....	63
Figura 44 – Início do trabalho	64
Figura 45 – Acompanhamento do início do trabalho	65
Figura 46 – Durante o trabalho	65
Figura 47 – Acompanhamento do trabalho	66
Figura 48 – Término do trabalho	66
Figura 49 – Trabalho concluído	66

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Especificações técnicas do ATmega 328.....	30
Tabela 2 – Resolução dos Passos.....	37
Tabela 3 – Características de transmissões.....	39
Tabela 4 – Custos do projeto.....	67

LISTA DE SIGLAS, ABREVIATURAS E SÍMBOLOS

Sigla/Símbolo	Significado Original	Tradução
A	Ampère	Unidade de medida de corrente elétrica
AC	Alternating current	Corrente alternada
DC	Direct current	Corrente contínua
DIR	Direção	
EEPROM	Electrically-Erasable Programmable Read-Only Memory	Memória de leitura somente programável apagável eletricamente
FTDI	Future Technology Devices International	
IDE	Integrated Development Environment	Ambiente de desenvolvimento integrado
LED	Light Emitting Diode	Diodo emissor de luz
mm	millimeters	milímetros
PWM	Pulse Width modulation	Modulação por largura de pulso
RIA	Robot Industry Association	Associação da indústria de robôs
SAE	Society of Automotive Engineers	Sociedade de Engenheiros Automotivos
TTL	Time to live	
USB	Universal Serial Bus	Porta serial universal
V	Volts	Unidade de medida de tensão

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	23
1.1. Justificativa	23
1.2. Objetivo geral	24
1.3. Objetivos específicos	24
1.4. Organização do trabalho	24
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	25
2.1. Introdução a robótica	25
2.2. Robôs seriais	25
2.2.1. Robô de coordenadas cartesianas.....	25
2.3. Dispositivos.....	26
2.3.1. Motores de Passo	27
2.3.2. Microcontrolador	28
2.3.2.1. Arduino Uno	30
2.2.3. Servo motor	32
2.2.4. Fonte de alimentação	33
2.2.5. Conectividade USB e Bluetooth	34
2.2.6. Driver do motor de passo.....	36
2.2.7. Correias sincronizadoras	38
2.2.8. Guias lineares	39
3. DESENVOLVIMENTO	41
3.1. Estrutura mecânica	41
3.1.1. Projeto e fabricação	42
3.1.2. Base	43

3.1.3. Guias	43
3.1.4. Suportes	43
3.1.5. Suporte das guias	44
3.1.6. Suportes dos motores	46
3.1.7. Suporte central	47
3.1.8. Suporte da caneta.....	47
3.2. Movimentação	50
3.3. Placa de controle e comando	53
3.4. Conectividade	56
3.5. Projeto Montado	57
3.6. Software de controle	57
3.7. Testes e resultados obtidos	64
3.8. Custos do projeto	67
4. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	68
5. REFERÊNCIAS.....	69
APÊNDICE A – PROJETO MECÂNICO	71

1. INTRODUÇÃO

As impressoras são máquinas muito importantes hoje em dia. A ideia de se criar uma impressora vem desde o tempo das máquinas manuais de escrever (BACELAR, 1999).

A primeira impressora foi criada pelo americano Chester Carlson em 1938 (BACELAR, 1999). Utilizando máquinas fotocopadoras ele inventou o processo de reprodução de imagens e textos. Somente em 1953 que foi criada a primeira impressora de alta velocidade, as quais utilizavam o sistema de impressão através de impacto, e por consequência a qualidade da impressão era muita baixa. A evolução das impressoras acompanhou a evolução dos computadores, e então, 1983, surgiu a impressora a laser, ao qual utiliza um raio laser modulado para fazer a impressão, algo moderno para a época (BACELAR, 1999).

A Plotter de caneta é uma máquina versátil, projetada para atender as necessidades de escrita e desenho especializado. Produz escrita como se tivesse sido feita a mão, ao contrário das impressoras a laser e jato de tinta (AXIDRAW, 2016).

1.1. Justificativa

Há uma grande variedade de aplicações em que as impressoras a laser e jato de tinta apresentam limitações, como por exemplo na impressão em diferentes tipos de materiais. Neste sentido, a Plotter a caneta é uma solução eficaz e barata para essas aplicações, capaz de fazer escrita ou desenhos como se tivessem sido feitos a mão, podendo ser utilizada para confecção de convites, cartões, envelopes, assinaturas, entre outros (AXIDRAW, 2016).

A Plotter a caneta também pode ser utilizada para a confecção de placas de circuito impresso, desenhando o layout do circuito diretamente na placa. A Plotter a caneta é uma excelente ferramenta, principalmente pela ausência de produtos similares com preço acessível no mercado nacional.

1.2. Objetivo geral

Projetar e fabricar uma máquina de escrita a caneta de pequeno porte capaz de desenhar e escrever em superfícies planas.

1.3. Objetivos específicos

O projeto desenvolvido foi separado em etapas, onde cada uma tem seu objetivo específico:

- Elaborar o projeto de fabricação de uma Plotter;
- Realizar a montagem da estrutura mecânica;
- Realizar a montagem das placas eletrônicas;
- Realizar testes e análise dos resultados obtidos.

1.4. Organização do trabalho

Este trabalho está estruturado em capítulos, são eles: Capítulo 1 – Introdução, descrevendo um pouco da história das impressoras, Capítulo 2 – Revisão bibliográfica, contendo a teoria necessária para o projeto e construção do projeto, Capítulo 3 – Desenvolvimento do projeto, contendo imagens e teoria da montagem e teste do protótipo e Capítulo 4 – Considerações Finais, contendo as dificuldades encontradas e as sugestões de melhoria.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Introdução a robótica

Podemos dizer que a robótica é a ciência que estuda a construção de robôs. De acordo com GROOVER (1988), o termo “robô” foi usado pela primeira vez em uma peça de teatro, em 1923, pelo escritor Karel Capek e rapidamente se tornou popular na ficção científica. Com a criação dos computadores, logo começou o pensamento do robô agir e pensar de forma autônoma, mas segundo CARRARA (2015) os primeiros robôs foram fabricados para realizarem as tarefas consideradas difíceis e perigosas para os seres humanos.

A *Robot Industry Association* (RIA) define um robô como sendo “um manipulador reprogramável multifuncional projetado para mover materiais, partes, ferramentas ou dispositivos especiais através de movimentos programados para a execução de uma diversidade de tarefas” (LINDER, 2014).

2.2. Robôs seriais

É o tipo de robô mais usado na indústria, sendo basicamente composto de um braço mecânico que é operado por um computador. Podem ter um ou mais graus de liberdade e consistem em elos conectados por diferentes tipos de juntas, as quais geralmente são prismáticas ou rotativas (MERLET, 2006).

Um dos métodos para se classificar os robôs considera os seus atributos físicos e geométricos.

2.2.1. Robô de coordenadas cartesianas

É o tipo de robô mais simples e fácil de manusear, possui juntas que se movem nas direções ortogonais retangulares.

Geralmente usado para trabalhos onde se exige uma grande precisão de posicionamento, apesar de seu volume de trabalho ser limitado (FERREIRA, 2014). Observa-se na Figura 1 um exemplo de robô cartesiano.



Figura 1 – Robô cartesiano projetado para realizar dosagens.
Fonte: <http://www.directindustry.com/pt/prod/nordson-industrial-coating-systems/product-25293-1844428.html>
Acesso em: 08 de abril de 2017.

2.3. Dispositivos

Nesta seção serão listados os principais dispositivos e componentes utilizados para o desenvolvimento desse projeto, abordando todas as características e funcionalidade de cada um.

2.3.1. Motores de Passo

Motores de passo geralmente são usados para aplicações onde se exigem um posicionamento preciso e com uma variação de erro pequeno e não cumulativo, esses motores são de corrente contínua, e com a possibilidade de se controlar sua velocidade, direção e ângulo, pode-se girá-los num ângulo determinado com extrema precisão.

Eles podem ser encontrados em 3 tipos básicos: motor de relutância variável, motor de ímã permanente e motor híbrido. A diferença entre eles pode ser observada na forma de construção e material do rotor (parte móvel), e também no arranjo das bobinas no estator (parte estática) (VIVALDINI, 2009).

Quando as fases de um motor são energizadas de modo sequencial indo passo a passo, o motor irá girar um ângulo específico a cada passo. Em geral, os motores de passo são projetados para produzir um grande número de passos por rotação, 50, 100 ou 200 passos (correspondendo a um deslocamento angular de 7.2° , 3.6° e 1.8° por passo). (FITZGERALD, 2014).

Será utilizado no protótipo o motor de passo híbrido, com relação ao passo desse motor ele possui ângulo de rotação de 1.8° (200 passos/revolução). O motor híbrido combina as melhores características dos motores de ímã permanente ao redor de seu eixo e do motor de relutância variável com seu rotor dentado. O dente do rotor provém um melhor caminho que ajuda a guiar o fluxo magnético, assim dando um torque maior com maior precisão nos passos, que podem variar entre 3.6° e 0.9° , contra 7.5° a 15° para o de ímã permanente.

Os motores de passo podem ser unipolares ou bipolares. Os unipolares requerem uma fonte de alimentação enquanto os bipolares necessitam de duas fontes de alimentação ou uma fonte de alimentação de polaridade comutável. Tanto os motores de passo unipolares quanto os bipolares utilizam fonte de tensão contínua (VIVALDINI, 2009).

Segundo CARRARA (2015) as principais vantagens do motor de passo são: ter a rotação em ambos os sentidos horário/anti-horário, ter variações de precisão angular incrementais, a possibilidade de controle digital, e a repetição de

movimentos precisos.

Esses motores proporcionam a àqueles que pretendem projetar sistemas automatizados, um bom recurso quando a necessidade for controle de torque, posição e/ou velocidade. Compreendendo o funcionamento desses motores é possível também entender fenômenos eletromagnéticos e a geração de movimentos mecânicos. Observa-se na Figura 2 o motor de passo utilizado no projeto.



Figura 2 – Motor de passo NEMA 16
Fonte: Elaborada pelos autores

2.3.2. Microcontrolador

Pode-se dizer que o microcontrolador é um computador que mistura *hardware* com *software*, e pode ser programado para funções específicas, porém em um tamanho reduzido, em um único circuito integrado. Nele contém periféricos de entrada e saída, um núcleo de processador e a memória.

A principal característica do microcontrolador está em reunir em um só chip todos os periféricos necessários para o projeto e fabricação de dispositivos eletrônicos dos mais diversos tipos, desde simples sinalizadores e luzes pisca-pisca até equipamentos médicos sofisticados (Vidal, 2013). Observa-se na Figura 3 o microcontrolador utilizado no projeto.

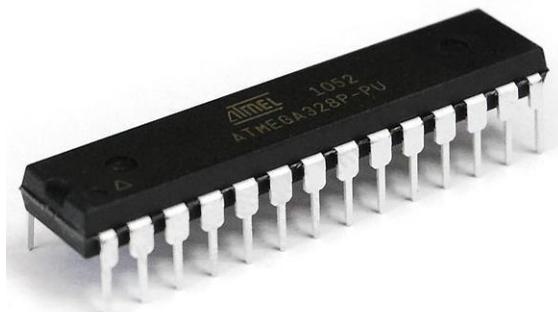


Figura 3 – Exemplo de microcontrolador ATmega 328P-Pu

Fonte - <http://ktechnics.com/shop/atmega328p-pu/>

Acesso em: 08 de abril de 2017.

Para este projeto foi escolhido o microcontrolador da ATmega 328P, responsável por gerenciar o controle do protótipo, que foi integrado a uma placa eletrônica fabricada pelos autores, além de ter uma programação acessível e baixo custo de aquisição.

A placa utilizada neste trabalho é composta por um microcontrolador ATmega 328P-PU, um cristal oscilador (relógio simples que envia pulsos de tempo em uma frequência especificada, para permitir sua operação na velocidade correta), um regulador linear de 5 volts e um regulador linear de 3.3 volts. Além desse e outros componentes eletrônicos, a placa possui 14 entradas digitais, 6 analógicas, um botão reset para reiniciar o microcontrolador, uma conexão *chip* FTDI, que conduz a USB para a serial *chip* FTDI, que pode ser usada como fonte de energia e como ponte na comunicação com um computador, e um conector *jack* que serve para alimentação com uma fonte externa.

Observa-se na Tabela 1 as especificações técnicas do microcontrolador utilizado no projeto.

Microcontroller	ATmega328
Operating Voltage	5V
Input Voltage (recommended)	7-12V
Input Voltage (limits)	6-20V
Digital I/O Pins	14 (of which 6 provide PWM output)
Analog Input Pins	6
DC Current per I/O Pin	40mA
DC Current for 3.3V Pin	50mA
Flash Memory	32 KB (ATmega328) of which 0.5 KB used
SRAM	2 KB (ATmega328)
EEPROM	1 KB (ATmega328)
Clock Speed	16 MHz

Tabela 1 – Especificações técnicas do microcontrolador ATmega 328
Fonte: <https://www.arduino.cc/en/main/arduinoBoardUno>
Acessado em 08 de abril de 2017.

2.3.2.1. Arduino Uno

Este projeto de controle foi baseado em um Arduino Uno, conforme a Figura 4, segundo Michael McRoberts (2011) o Arduino pode ser definido como uma plataforma de computação física ou embarcada, ou seja, um sistema que pode interagir com o ambiente através de *hardware* e *software*. Ele ainda resume o Arduino como um pequeno computador que pode ser programado para processar entradas e saídas entre o dispositivo e os componentes externos conectados a ele. Os componentes de entrada podem ser sensores, botões, potenciômetros, etc. Os componentes de saída podem ser *displays*, *led's*, motores, entre outros.



Figura 4 – Arduino Uno R3

Fonte: <https://www.arduino.cc/en/Main/ArduinoBoardUno> Acessado em 08, março.2017

Para programar o Arduino é utilizado o IDE (*Integrated Development Environment*) do Arduino, conforme a Figura 5, um *software* livre no qual escreve-se o código baseado na linguagem C o IDE permite que você escreva um programa de computador, que é um conjunto de instruções passo a passo, das quais você faz o upload para o Arduino. O Arduino, então, executara essas instruções, interagindo com o que estiver conectado a ele. No mundo do Arduino, programas são conhecidos como *sketches* (MCROBERTS, 2011).

Após feito o *upload* para o microcontrolador, o mesmo possui uma memória *Flash* que se refere a um tipo particular de *EEPROM* (siga em inglês para "Memória Somente de Leitura Programável Apagável Eletricamente"), as memórias *Flash* e *EEPROM* são do tipo não volátil, ou seja, a informação persiste após a alimentação ser desligada.

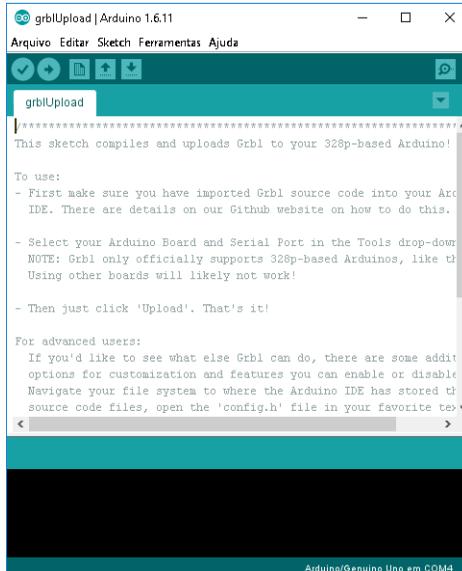


Figura 5 – Arduino IDE
Fonte: Autores

2.2.3. Servo motor

O servo motor é um dispositivo que converte sinal elétrico em movimento proporcional ou deslocamento de uma alavanca. O servo básico consiste de um motor que, por meio de um sistema de redução ou não, aciona um dispositivo de realimentação e uma alavanca. O dispositivo de realimentação serve para indicar a posição da alavanca de modo que o circuito de controle possa levá-la à posição desejada (BRAGA, 2014).

Um servo motor possui um sistema eletrônico de controle e um potenciômetro que está ligado ao eixo de saída. Este potenciômetro possibilita ao circuito de controle monitorar o ângulo do eixo do servo motor. Caso o eixo esteja no ângulo correto, o motor irá parar. Se o circuito detectar que o ângulo está incorreto, o motor é ativado até que o ângulo seja o correto. Nas engrenagens de um servo motor existe um limitador que atua no ângulo de giro do eixo, fazendo com que varie de 0° a 180°. Pode-se observar na Figura 6 a variação angular do servo motor.

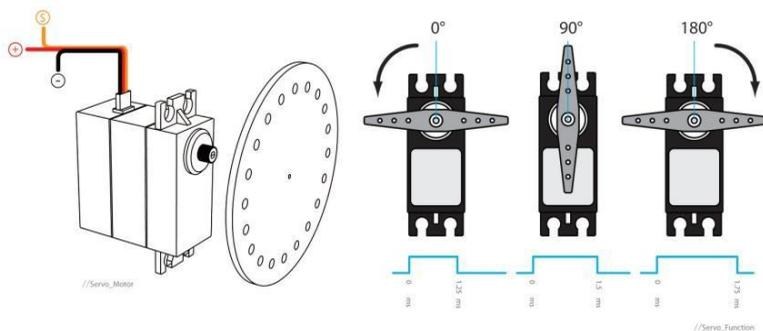


Figura 6 – Movimentação angular de um servo motor

Fonte: <http://pandalabccc.blogspot.com.br/2010/04/servotechlowlightst03-soundsensor.html>

Acesso em: 08 de abril de 2017.

O servo motor é alimentado com 5V e recebe um sinal no formato *PWM* (*Pulse Width Modulation*). Este sinal é 0 V ou 5 V. O circuito de controle do servo motor fica monitorando este sinal em intervalos de 20 ms. Se neste intervalo de tempo, o controle detectar uma alteração na largura do sinal, ele altera sua posição do eixo para que coincida com o sinal recebido. (FEIS, 2013)

2.2.4. Fonte de alimentação

Para alimentação das placas e dos motores foi utilizado uma fonte chaveada de alimentação, conforme a Figura 7, com entrada de 100V a 240V AC e saída fixa de 12V DC fornecendo 3A. A fonte alimentação será convertida em 5 volts para alimentação do microcontrolador ATmega 328 P-PU, do servo motor 9g SG90 e os *drivers* A4988, também convertido para 3,3 volts para alimentação do módulo de conexão *chip* FTDI e módulo *bluetooth*. Os motores de passo serão alimentados diretamente com 12V.



Figura 7 – Fonte de Alimentação
Fonte: Autores

2.2.5. Conectividade USB e Bluetooth

Para transferir os dados do software para a placa de comando foram utilizados um módulo USB e um módulo *bluetooth*, que permitem a conexão com a Plotter de um computador ou até mesmo de um *smartphone*, basta que este possua o *software*/aplicativo instalado.

O protótipo poderá ser controlado através de um computador utilizando um módulo FTDI conversor, que tem a capacidade de converter o sinal USB para sinal serial TTL e RS232, permitindo a comunicação entre o computador e a placa de comando. Esse módulo conversor possui um circuito integrado FT232RL que realiza a conversão dos dados.

Esse módulo recebe os comandos de um computador através da interface de um *software* e repassa via comunicação serial para o microcontrolador, que por sua vez, recebe os comandos do módulo, os interpreta e controla o protótipo. Observa-se na Figura 8 o módulo FTDI conversor.

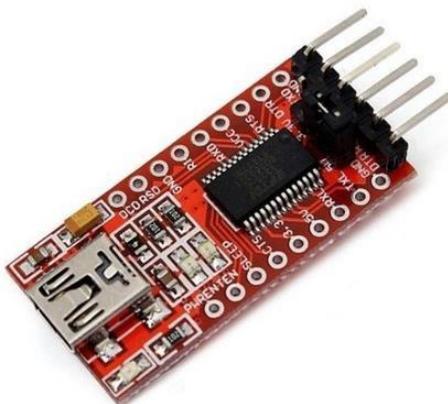


Figura 8 – Módulo FTDI conversor

Fonte: <http://www.jdreletronicos.com.br/pd-1e5e02-modulo-ftdi-conversor-usb-para-ttl-e-rs232-serial.html?ct=&p=1&s=1> Acesso em: 08 de abril de 2017.

A Plotter poderá ser controlada através de um smartphone, que utilize o sistema operacional *Android*. Para isso, há um aplicativo chamado *GRBL Controller*, que possibilita o controle da Plotter utilizando uma interface tipo *touchscreen*, pressionando botões na tela do celular.

Para estabelecer conexão entre o microcontrolador e o *smartphone*, foi necessário a instalação de um módulo *bluetooth* no sistema. Este módulo tem como função receber os comandos do aplicativo *Android* através da interface *bluetooth* e repassar via comunicação serial para o microcontrolador, que, por sua vez, recebe os comandos do módulo, os interpreta e controla a Plotter.

A tecnologia *Bluetooth* foi desenvolvida a fim de proporcionar comunicação sem fio entre dois ou mais dispositivos capazes de enviar e receber ondas de rádio de curto alcance, sem a necessidade de cabos para comunicação entre os aparelhos. Observa-se na Figura 9 o módulo *bluetooth* utilizado no projeto.

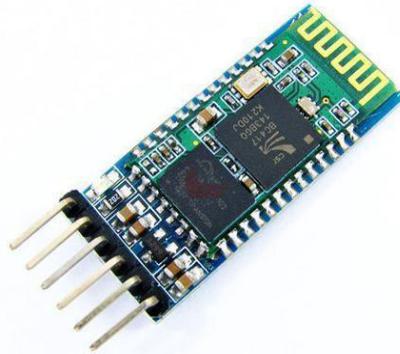


Figura 9 – Módulo Bluetooth RS232 HC-05

Fonte: <http://blog.filipeflop.com/wireless/tutorial-arduino-bluetooth-hc-05-mestre.html>

Acesso em: 08 de abril de 2017.

2.2.6. Driver do motor de passo

Para a movimentação e controle do motor de passo foi utilizado um *driver* que necessita de uma placa geradora, controladora de pulsos. Então para girar o motor é necessário a sequência: Placa Controladora > *Driver* > Motor de Passo.

Foi utilizado para o controle dos motores de passo bipolares, o *driver* motor de passo A4988, com a possibilidade de movimentar os motores por meio de "micro passos", método utilizado em aplicações que exigem um posicionamento exato do motor.

O controle básico de um motor de passo é feito por meio de dois pinos do microcontrolador, ligados aos pinos STEP (passo) e DIR (direção) do módulo, conforme na Figura 10.

Pinagem A4988



Figura 10 – Driver Motor de Passo A4988

Fonte: <http://www.arduinoocia.com.br/2015/03/controle-motor-de-passo-bipolar-driver-A4988.html>
 Acesso em: 08 de abril de 2017.

Uma das grandes vantagens desse *driver* é a possibilidade de utilizar micro passos, função configurável por meio dos pinos MS1, MS2 e MS3. Acionando esses pinos conforme a sequência indicada na Tabela 2, podemos selecionar os modos *full-step*, *half-step*, *quarter step* (1/4), *eight step* (1/8) e *sixteenth step* (1/16).

Pinos			Resolução micropassos
MS1	MS2	MS3	
Low	Low	Low	Full step
High	Low	Low	Half step
Low	High	Low	Quarter step (1/4)
High	High	Low	Eighth step (1/8)
High	High	High	Sixteenth step (1/16)

Tabela 2 – Resolução dos Passos

Fonte: <http://www.arduinoocia.com.br/2015/03/controle-motor-de-passo-bipolar-driver-A4988.html>
 Acesso em: 08 de abril de 2017.

A utilização do modo micro passo reduz o torque do motor, em média, 30% em comparação com o modo de passo completo (*full-step*). Foi utilizado o passo de 1/8, pois apresentou o melhor resultado durante os testes.

2.2.7. Correias sincronizadoras

A utilização de correias e polias para transmissão de movimento é um dos métodos mais antigos, normalmente utilizado para transmissão de potência entre dois eixos (ANDRADE, 2012).

Basicamente a maneira de transmissão de potência utilizando polias e correias é através do atrito. São muito utilizadas pois sua aplicação é simples e muito versátil, tendo assim vários campos de aplicação. Suas principais características são (ANDRADE, 2012):

- Transmitem grande quantidade de energia;
- Baixo custo;
- Absorvem vibrações por causa de sua flexibilidade;
- Possuem rendimento em torno de 0,97 devido ao escorregamento.

A correia sincronizadora é feita de tecido emborrachado e fio de aço, possui dentes e por este motivo não tem escorregamento, transmitindo assim toda a potência (CRUZ, 2008).

Foi utilizado no protótipo a correia sincronizadora GT2, com altura de 1,38mm, altura dos dentes de 0,75mm, largura de 6mm e passo de 2mm.

Observa-se na Tabela 03 as principais diferenças entre as transmissões com correias e corrente.

Tipo	Polias			Correntes
	Planas	Em "V"	Sincronizadoras	
Requisitos				
Custo	baixo	baixo	baixo	baixo
Vibrações	baixo	médio	médio	alto
Sincronismo do movimento	médio	médio	alto	médio
Capacidade de transmissão de forças/torque	média	média	média	alta
Facilidade de manutenção	alta	média	média	alta
Vida útil	alta	alta	média	média

Tabela 3 – Características de transmissões

Fonte: STOETERAU, 2004

2.2.8. Guias lineares

Pode-se definir as guias como sendo elementos estruturais que possibilitam que um componente deslize ao longo de outro. São muito usadas em máquinas-ferramentas pois permitem a absorção de carregamentos e o movimento dentro de um padrão linear, tendo a mesma função dos mancais rotativos.

Há quatro métodos para se classificar as guias:

- Pela forma da seção transversal;
- Pela forma de movimento;
- Pelo grau de liberdade;
- Pela forma de restrição à rotação ao longo do eixo de translação.

No projeto da Plotter foi utilizado rolamentos lineares de esferas (também chamado de bucha de esferas ou guia de eixo), conforme observa-se na Figura 11, são compostos por uma gaiola de polímero com segmentos de pistas feitos de aço temperado para guiar conjuntos de esferas dentro do sistema completo. Esferas recirculantes fornecem deslocamento ilimitado em movimento de baixo atrito (SKF, 2017).

3. DESENVOLVIMENTO

Neste capítulo será descrito todas as etapas do projeto, desde o desenvolvimento, até a fabricação e montagem de uma Plotter, como também, todos os componentes utilizados no projeto, a metodologia aplicada, testes e os resultados obtidos.

Para melhor organização separamos o projeto nas seguintes etapas:

- Estrutura mecânica (Projeto e Fabricação);
- Movimentação;
- Placa de controle e comando;
- Conectividade;
- Fonte de alimentação;
- Projeto Montado;
- *Software* de controle;
- Testes e resultados obtidos;
- Custos do projeto.

As especificações de operação da Plotter relacionam-se a: área de trabalho, velocidade de trabalho e precisão nos movimentos.

3.1. Estrutura mecânica

Uma Plotter requer atenção em algumas características estruturais, a base deve ser totalmente plana e fornecer sustentação para evitar movimentos que possam interferir na qualidade do trabalho.

Todos os elementos de máquina devem ser selecionados rigorosamente para que o movimento seja o mais leve e preciso possível.

Foi determinado no início do projeto alguns requisitos para o projeto:

- Área de trabalho útil: 280 x 250mm;
- Dimensões máximas da Plotter: 550 x 800mm;
- Baixo peso;
- Baixo custo.

3.1.1. Projeto e fabricação

Antes de iniciar o projeto foram realizadas análises em produtos similares já existentes no mercado. Essas análises nos possibilitaram escolher a concepção que melhor se enquadrava nos nossos requisitos iniciais. Com a concepção estrutural escolhida e a área útil definida foi realizado o esboço da estrutura da Plotter no *software SolidWorks* conforme a Figura 12, em cada componente do projeto foi utilizado um processo de fabricação que inclui, usinagem e/ou conformação mecânica.

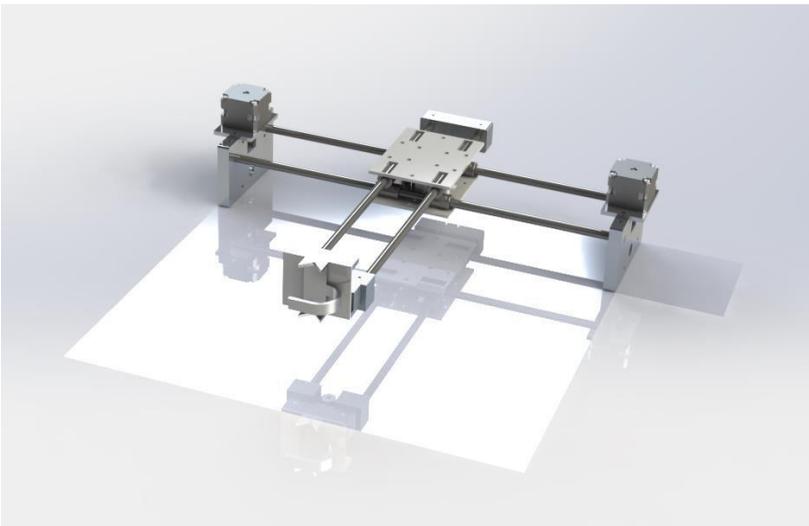


Figura 12 – Esboço da Plotter em SolidWorks
Fonte: Autores

3.1.2. Base

Com a área útil de trabalho já definida, foi realizado a modelagem da base em *SolidWorks*. Nesta etapa foi priorizado a escolha das dimensões da base tendo em vista sua estabilidade e posição dos demais componentes. Com a etapa anterior concluída foi realizada a escolha do material da base, era necessário a escolha de um material leve, porém que não fosse flexível.

- Dimensões da base: 500 x 450 x 4 mm
- Material escolhido: Policarbonato

3.1.3. Guias

O tamanho das guias foi escolhido com base na área útil da Plotter, restando apenas a escolha do diâmetro e o material a ser utilizado. Com base no peso foi determinado o diâmetro para as guias de 8mm, a guia escolhida foi uma barra trefilada com tolerância H7, o material escolhido foi o aço SAE 1045 tendo em vista que as guias precisam suportar o peso da Plotter. As guias foram adquiridas no diâmetro correto de utilização, sendo necessário somente o corte com uma serra manual e realizado a usinagem das pontas em um torno convencional, deixando-as no comprimento correto.

- Tamanho das guias: 420 mm
- Diâmetro das guias: 8 mm
- Material escolhido: Aço SAE 1045

3.1.4. Suportes

Para realizar a fixação das várias peças da Plotter foi necessário a fabricação de suportes diferentes para cada peça. Todos os suportes foram dimensionados visando o menor tamanho e peso possível, mas de modo a não afetarem a fixação e estabilidade da Plotter.

3.1.5. Suporte das guias

Foi determinado um par de guias para cada eixo cartesiano da Plotter, assim necessitando de suportes diferentes. O material escolhido foi o alumínio, por ser leve e resistente, o processo de fabricação escolhido foi a usinagem, usando uma fresadora convencional, onde o material já foi previamente adquirido com a espessura correta, sendo necessário somente o desbaste da peça para atender as dimensões do projeto e realizar as furações de encaixe das guias.

Observa-se na Figura 13 o suporte de fixação das guias utilizadas no eixo cartesiano X.

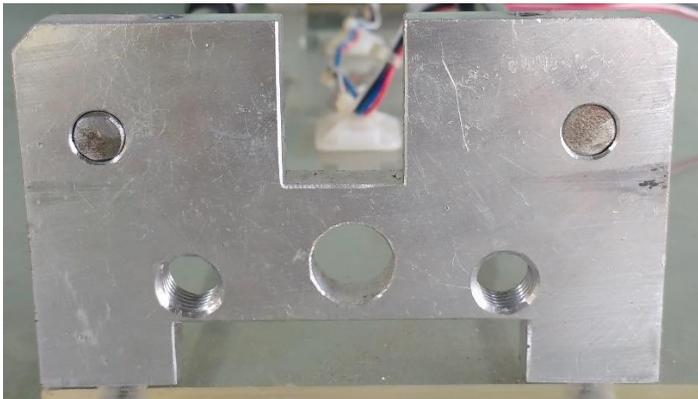


Figura 13 – Suporte de fixação das guias eixo X
Fonte: Autores

Observa-se na Figura 14 o suporte traseiro de fixação das guias utilizadas no eixo cartesiano Y, nota-se que foi realizado dois cortes parciais centralizados, visando a passagem da correia.



Figura 14 – Suporte das guias e correia do eixo Y
Fonte: Autores

Pode-se observar na Figura 15 o suporte que funcionará como um esticador da correia, a regulação da correia será realizada através dos dois parafusos posicionados nas extremidades da peça. Este suporte será fixado ao suporte da Figura 14 através de dois parafusos M6 com sextavado interno. Ambas as peças foram usinadas utilizando uma fresadora convencional.



Figura 15 – Esticador da correia
Fonte: Autores

Observa-se na Figura 16 o suporte frontal do eixo Y, a correia ficará livre para deslizamento, sendo apoiada sobre um rolamento. Assim, mantendo a correia fixa no suporte traseiro e livre para movimentação no suporte frontal, consegue-se o deslocamento nas direções desejadas.



Figura 16 – Suporte frontal do eixo Y
Fonte: Autores

3.1.6. Suportes dos motores

Para realizar a fixação dos motores de passo foi projetado um suporte que será parafusado nas extremidades das guias do eixo X. Observa-se na Figura 17 o suporte já com o motor fixado, este suporte foi fabricado em alumínio, utilizando uma fresadora convencional.

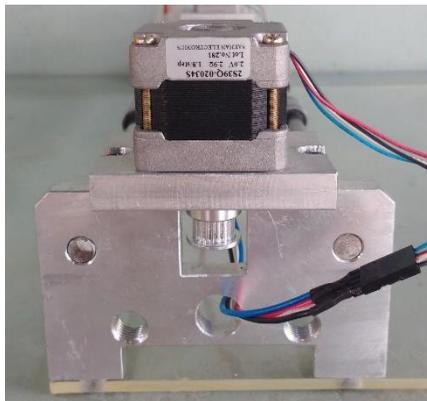


Figura 17 – Suporte com motor fixado na base
Fonte: Autores

3.1.7. Suporte central

Para fazer a união das guias dos eixos X e Y, foi projetado um suporte, conforme observa-se na Figura 18, que será fixado nas guias através de buchas lineares, essas buchas serão encaixadas nos rasgos retângulos, no centro do suporte ficarão 8 rolamentos, fixados em pares, com a finalidade de apoiar a correia ajudando na movimentação dos eixos.

Para a fabricação desse suporte foi escolhido aço SAE 1020, foi utilizado uma serra manual para fazer corte, e depois usinado com uma fresadora convencional a furação, os rasgos e o acabamento.



Figura 18 – Suporte central
Fonte: Autores

3.1.8. Suporte da caneta

Para fixar a caneta foi projetado um suporte que fosse simples, fácil de ser manuseado e que permitisse a movimentação no eixo cartesiano Z. Foi escolhido o material em aço inox por ter uma densidade de peso maior que outros aços, como por exemplo aço SAE 1020, pois durante o trabalho a caneta terá que

levantar ao final de uma linha para continuar em outra, então com o peso a caneta conseguirá plotar sem dificuldades.

O processo de fabricação dessa peça foi com uma esmerilharia para cortar a peça em sua dimensão correta para então utilizar a conformação mecânica, dobrando o material para obter a peça final, A caneta ficará encaixada nos chanfros em V do suporte e será fixada por um manípulo, conforme observa-se na Figura 19.



Figura 19 – Suporte fixação da caneta
Fonte: Autores

Este suporte será parafusado no suporte frontal, mostrado na Figura 8. O acionamento do eixo Z será feito através de um micro servo motor, que ao ser acionado fará com que o suporte levante, permitindo o deslocamento a vazio. Pode-se observar na Figura 20 o conjunto da caneta montado, na posição de movimentação, ou seja, com a caneta levantada. Já na Figura 21 observa-se o suporte na posição de trabalho, ou seja, com a caneta encostando no material a ser plotado.

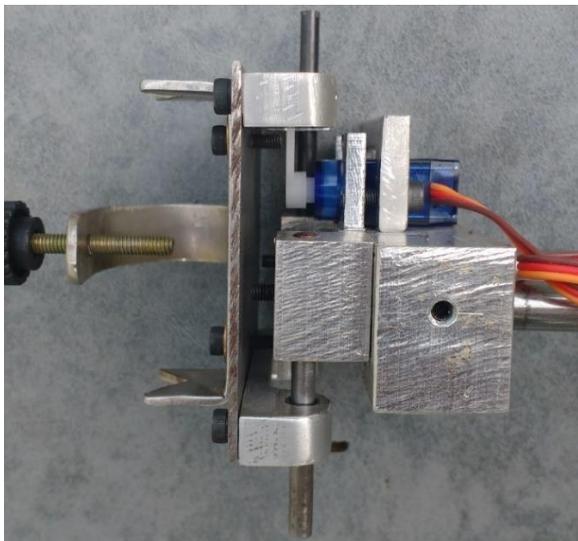


Figura 20 – Suporte na posição de movimentação
Fonte: Autores

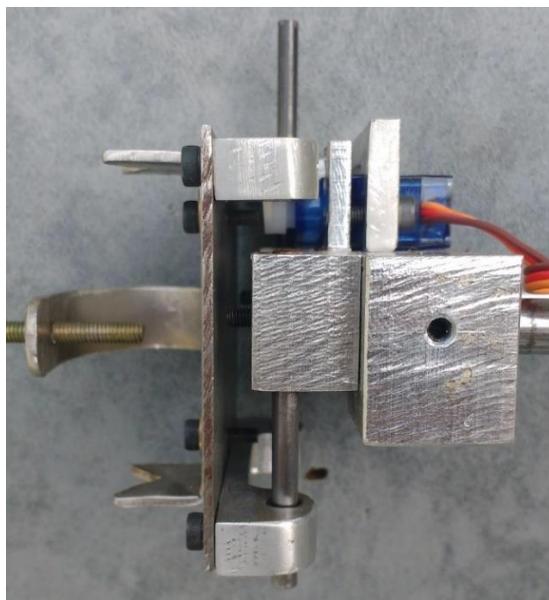


Figura 21 – Suporte na posição de trabalho
Fonte: Autores

3.2. Movimentação

Para realizar a movimentação foi utilizado dois motores de passo posicionados nos suportes das guias. Foi desenvolvido um sistema de polias e correias sincronizadoras que permite uma movimentação simples através da alteração no sentido do motor de passo e ao mesmo tempo oferecendo precisão durante o movimento.

Pode-se observar nas figuras abaixo o sistema desenvolvido, a caneta está representada pelo círculo vermelho. Na Figura 22 observa-se que o motor da esquerda opera no sentido anti-horário, enquanto o motor da direita opera no sentido horário, com esse movimento o braço com a caneta recue, ou seja, se movimentará para trás em relação a área de plotagem. Observa-se também que o sistema de correia possui três polias, duas nas extremidades da base e uma no suporte da caneta. Podemos observar o sentido de movimentação da correia conforme indicado nas setas vermelhas.

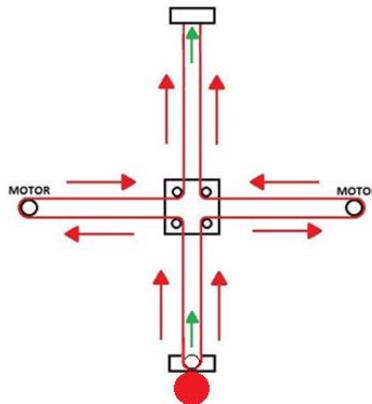


Figura 22 – Movimento para trás
Fonte: Autores

Na Figura 23 observa-se que ambos os motores estão operando no sentido anti-horário, fazendo com que o braço com a caneta se movimente para a direita.

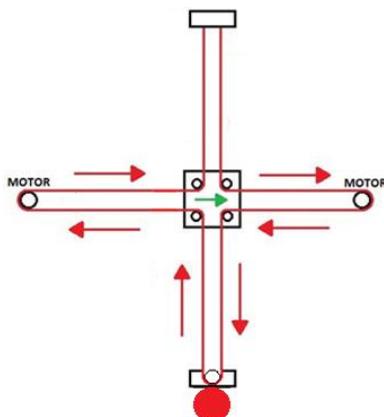


Figura 23 – Movimento para direita
Fonte: Autores

Na Figura 24 observa-se que ambos os motores operam no sentido horário, sendo assim o braço com a caneta se movimentará para a esquerda.

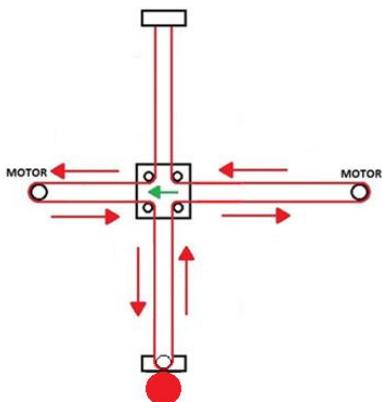


Figura 24 – Movimento para esquerda
Fonte: Autores

Pode-se observar na Figura 25 que o motor da esquerda opera no sentido horário enquanto o motor da direita opera no

sentido anti-horário, com esse movimento o braço com a caneta avançará, ou seja, se movimentará para frente em relação a área de plotagem.

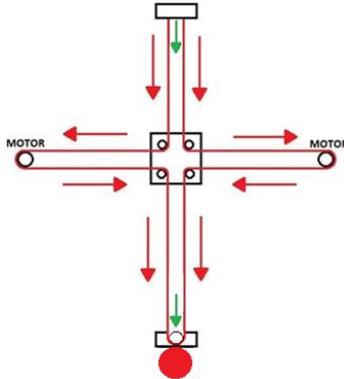


Figura 25 – Movimento para frente
Fonte: Autores

Observa-se na Figura 26 que foram utilizadas buchas lineares nas guias para que os eixos deslizem com facilidade durante o movimento e rolamentos no suporte central para apoiar a correia sincronizadora.

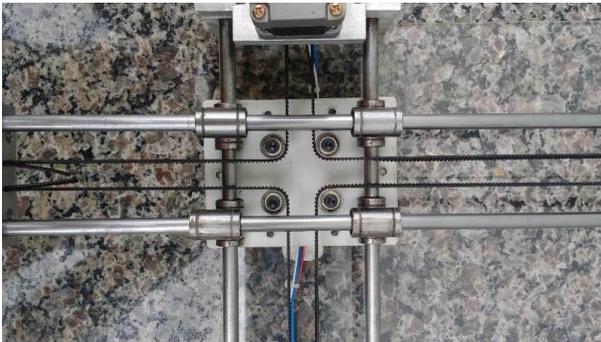


Figura 26 – Sistema de transmissão de movimento
Fonte: Autores

3.3. Placa de controle e comando

Assim como em todos os outros sistemas coordenados, o controle de posição de cada motor é muito importante. No projeto de uma Plotter a precisão deve ser a preocupação principal. Para controlar os dois motores de passo com precisão foi projetada e fabricada uma placa de controle. O principal componente dessa placa é o Microcontrolador ATMEL ATMEGA328P, nela ainda contém capacitores, resistores, diodos, reguladores de tensão entre outros.

Observa-se na Figura 27 o regulador de tensão que foi utilizado, o LM7805. Ele é um regulador compacto, funcional e de baixo custo. Admite tensão de entrada de 7V a 20V e oferece uma tensão de saída de 5V com corrente máxima de 1A. Foi utilizado este regulador para alimentação do microcontrolador.

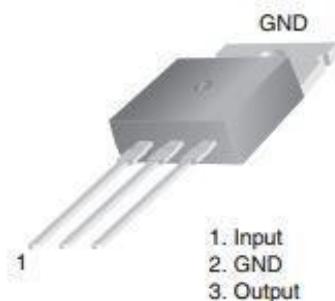


Figura 27 – LM7805
Fonte: Datasheet LM7805

O regulador de tensão AMS1117, observado na Figura 28, é um regulador que admite tensão de entrada de até 15V e oferece uma tensão de saída de 3,3V. Foi utilizado este para alimentação do módulo *USB* e o módulo *bluetooth*.



Figura 28 – AMS1117
Fonte: Datasheet AMS1117

Com base nesses componentes podemos projetar o circuito da placa de controle utilizando o *software Proteus*, conforme observa-se na Figura 29.

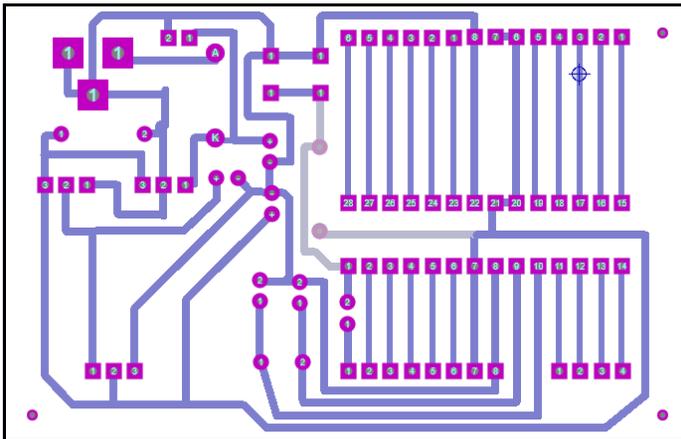


Figura 29 – Circuito placa de controle Proteus
Fonte: Autores

Depois de fazer o projeto do circuito e da placa eletrônica, foi utilizado uma impressora a laser para gerar o *layout* do circuito eletrônico e assim passar para a placa de fenolite através de transferência térmica, para então depois ser feita a corrosão do cobre. Observa-se na Figura 30 a placa de controle já montada, com seus devidos componentes.

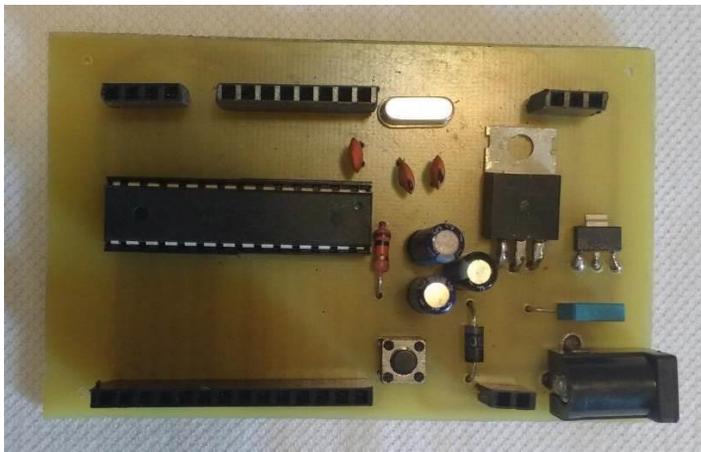


Figura 30 – Placa de controle montada
Fonte: Autores

Para realizar a comunicação entre o computador e a Plotter, foi projetada e fabricada uma placa de comando, onde estão conectados os drives dos motores de passo e os módulos de conectividade. Ela é conectada a placa de controle através de pinos de conexão.

Observa-se na Figura 31 do circuito da placa de controle realizado no *software Proteus*, com seus devidos componentes.

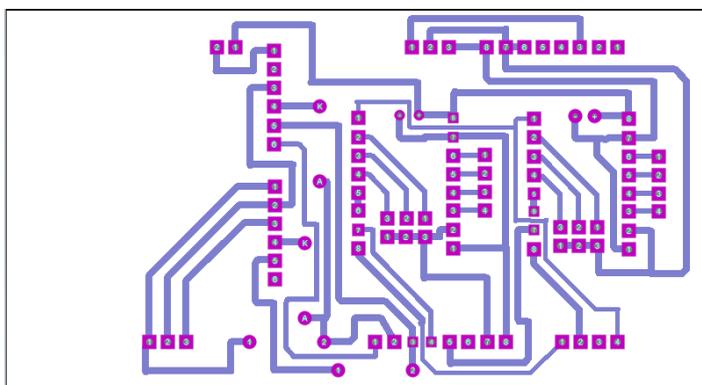


Figura 31 – Placa de comando Proteus
Fonte: Autores

Com o projeto do circuito e da placa eletrônica, foi utilizado uma impressora a laser para imprimir o desenho do circuito eletrônico, para assim passar para a placa de fenolite e depois a corrosão do cobre. Observa-se na Figura 32 a placa de controle já montada, com seus devidos componentes.

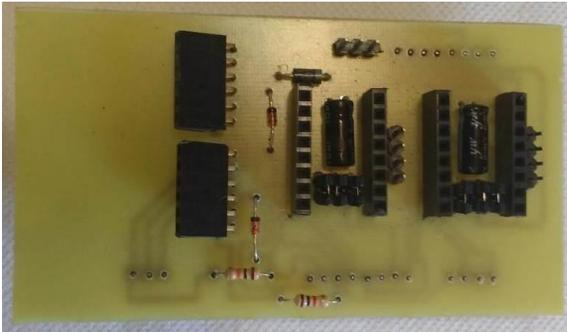


Figura 32 – Placa de comando montada
Fonte: Autores

3.4. Conectividade

Para transferir os dados do *software* para a placa de comando foram utilizados um módulo *USB* e um módulo *bluetooth*, que permitem a conexão com a Plotter de um computador ou até mesmo de um *smartphone*, bastando que este possua o *software/aplicativo* instalado.

Observa-se na Figura 33 os dois módulos conectados a placa de comando.

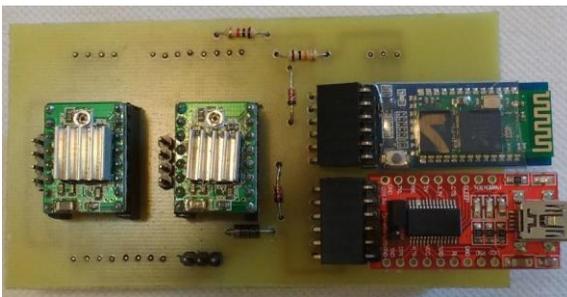


Figura 33 – Módulos Bluetooth e USB conectados
Fonte: Autores

3.5. Projeto Montado

Com todas as peças da estrutura já fabricadas e as placas de circuito eletrônico montadas, pode-se finalizar a montagem da Plotter, primeiramente com a fixação de todas as peças da estrutura mecânica, verificando sempre a fixação e movimentação de cada uma, e após ajustando e fixando a fiação elétrica para que durante o trabalho não aconteça nenhum problema.

Observa-se na Figura 34 a Plotter montada, pronta para trabalho.

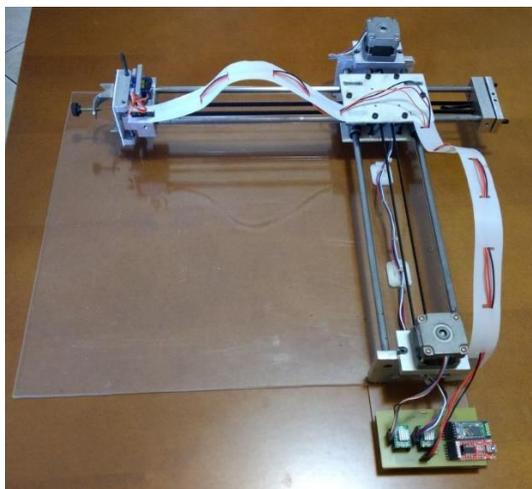


Figura 34 – Plotter Montada
Fonte: Autores

3.6. Software de controle

Utilizando uma conexão via *USB* é necessário utilizar dois *softwares*, um *software* irá realizar o tratamento da imagem, e o outro irá gerar o programa e acompanhar todo o trabalho em tempo real. Para realizar o tratamento das imagens é utilizado o *software* Inkscape.

Observa-se na Figura 35 a imagem escolhida, que precisa ser um formato bitmap, para ser plotada.

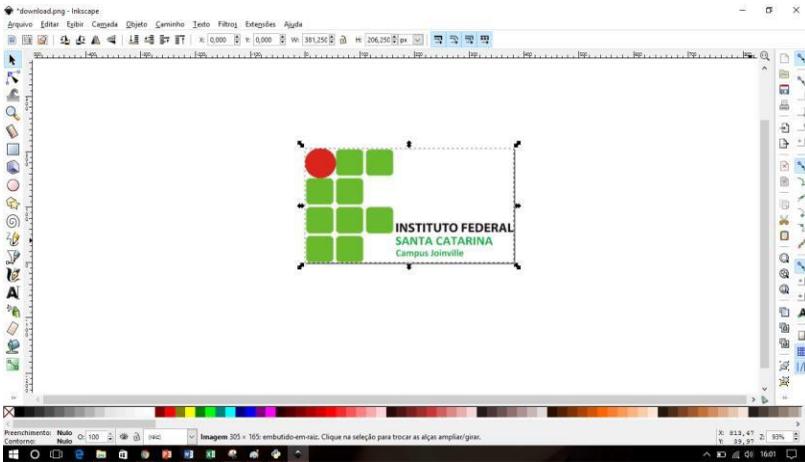


Figura 35 – Escolha da imagem – Software Inkscape
Fonte: Autores

Após a escolha da imagem a ser tratada, é necessário rasterizar o bitmap da imagem. Rasterizar é o termo utilizado para a conversão de uma imagem formada por *pixels*, em uma imagem vetorial.

Para entender o princípio básico de uma imagem formada por pixel podemos observar na Figura 36, visto à distância, forma a imagem desejada. Quando ampliamos a imagem na tela do computador ela altera a resolução. Já a imagem vetorial, é armazenada como um conjunto de equações matemáticas. Essas equações são traduzidas para desenhos e podem ter sua forma ou tamanho alterados sem agredir sua resolução.

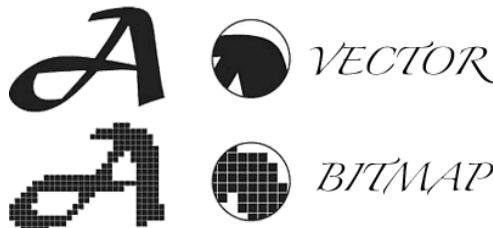


Figura 36 – Imagem Vetor / bitmap
Fonte: <http://www.ailtonsousa.com.br/o-que-e-bitmap/>
Acesso em: 08 de abril de 2017.

Observa-se na Figura 37 a imagem que antes era vetorial e agora passa a ser formada por *pixels*.

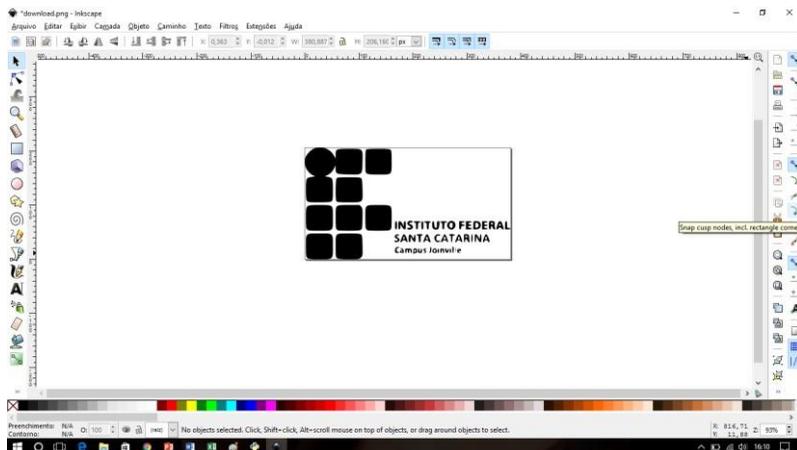


Figura 37 – Rasterizar bitmap – Software Inkscape
Fonte: Autores

Após rasterizar a imagem, é feita a escolha dos parâmetros de controle, onde são determinados vários parâmetros como por exemplo a Velocidade de Avanço. Para esta etapa foi necessário instalar uma extensão ao Inkscape, chamada de *Servo Controller*.

Durante o processo de tratamento da imagem, pode-se escolher se a plotagem será apenas do contorno da imagem escolhida ou se ela terá preenchimentos.

Pode-se observar na Figura 38 a definição dos parâmetros de trabalho.

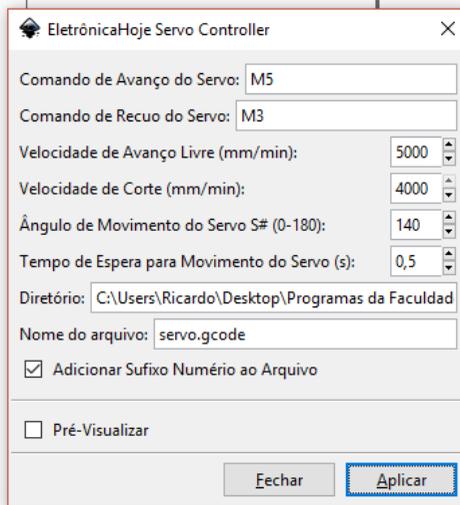


Figura 38 – Definição dos parâmetros – Software Inkscape
Fonte: Autores

Os dois primeiros parâmetros são os comandos para levantar e abaixar a caneta através do micro servo. A velocidade de avanço livre é a velocidade de movimentação da caneta quando não está plotando, ou seja, quando a caneta está levantada. A velocidade de corte é a velocidade da caneta durante a plotagem. O ângulo de movimento do servo é o ângulo escolhido para o micro servo responsável por levantar a caneta. Após determinar os parâmetros e com a imagem já tratada, pode-se utilizar o *software* que irá realizar a programação do trabalho.

O *software* utilizado para gerar a programação e realizar o monitoramento do trabalho é o *bCNC Master*. Inicialmente é escolhida a imagem tratada. Observa-se na Figura 39 que após a escolha da imagem o programa já gera um esboço do caminho que deverá ser percorrido para realização do trabalho.

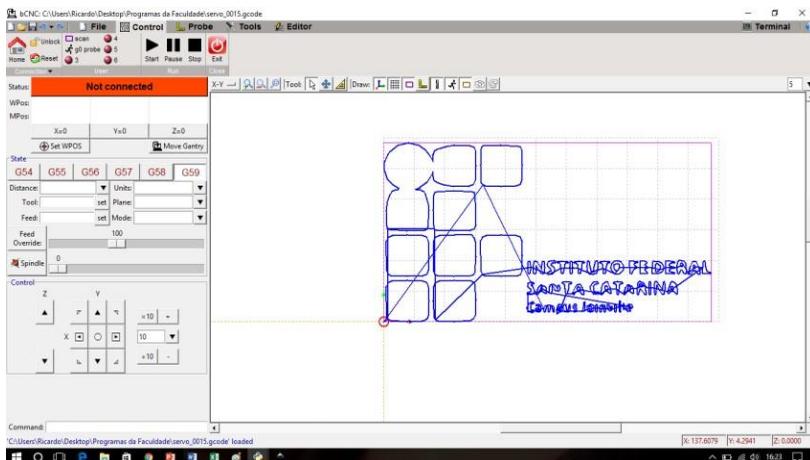


Figura 39 – Escolha da imagem – Software bCNC Master
Fonte: Autores

Observa-se na Figura 40 o *software* já conectado com a Plotter a caneta via entrada *USB*. Antes de iniciar o trabalho é necessário definir o ponto de coordenadas zero, o operador ainda possui controles manuais dos eixos cartesianos da Plotter para posicionar a imagem no local desejado do papel dentro da área útil de trabalho.

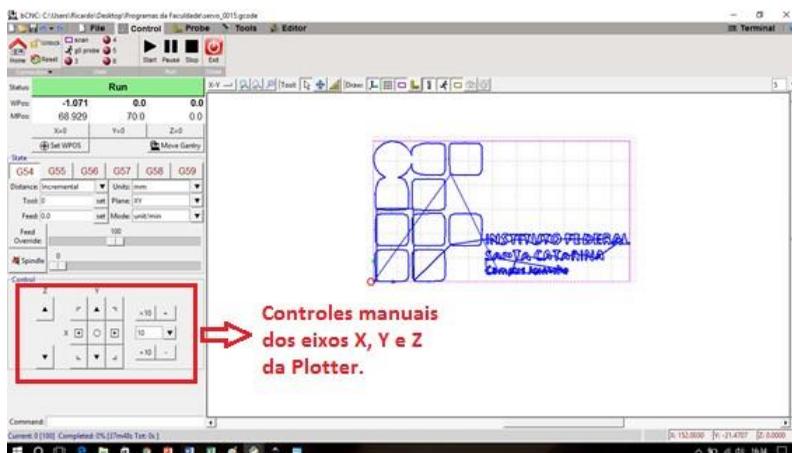


Figura 40 – Controles – Software bCNC Master
Fonte: Autores

Na Figura 41 observa-se que é possível acompanhar o trabalho em tempo real através do *software*, após iniciado o trabalho o *software* permite pausar ou parar o andamento.

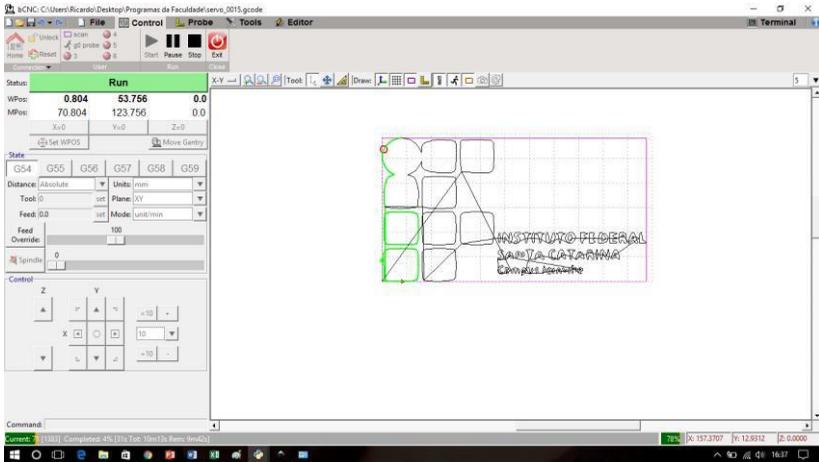


Figura 41 – Monitoramento – Software bCNC Master
Fonte: Autores

Pode-se também controlar a Plotter através de um *smartphone*, utilizando uma conexão via *bluetooth*, neste caso será necessário o uso de um aplicativo.

Observa-se na Figura 42 a conexão via *bluetooth*, e na Figura 43 alguns parâmetros de trabalho, juntamente com os controles manuais da Plotter. Foi utilizado um aplicativo gratuito, o Android GRBL, disponível para *smartphone*.

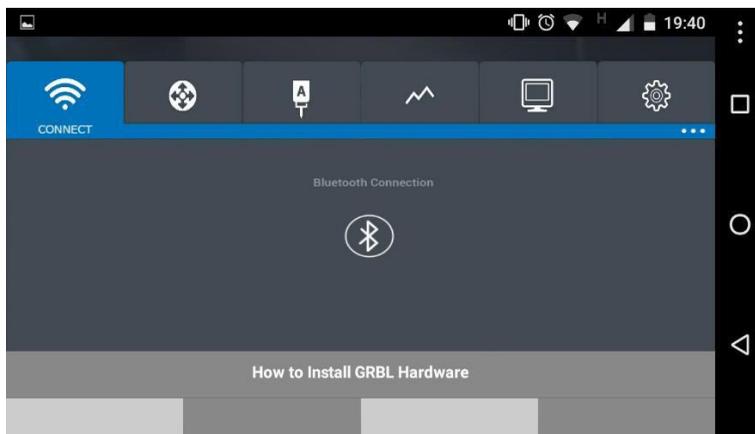


Figura 42 – Conexão via bluetooth – Aplicativo Android GRBL
Fonte: Autores



Figura 43 – Controles – Aplicativo Android GRBL
Fonte: Autores

O aplicativo utilizado está disponível apenas na versão Beta, por isso foi possível somente testar a conexão *bluetooth* com a Plotter e utilizar os controles manuais. Caso seja adquirido um aplicativo completo, poderá ser feita toda a plotagem através de um *smartphone*.

3.7. Testes e resultados obtidos

Para a realização dos testes, foi escolhido a imagem apresentada na Figura 35. Com a imagem tratada e os parâmetros previamente definidos, conforme mostrado no item anterior, inicia-se a plotagem. Observa-se na Figura 44 o início da plotagem.

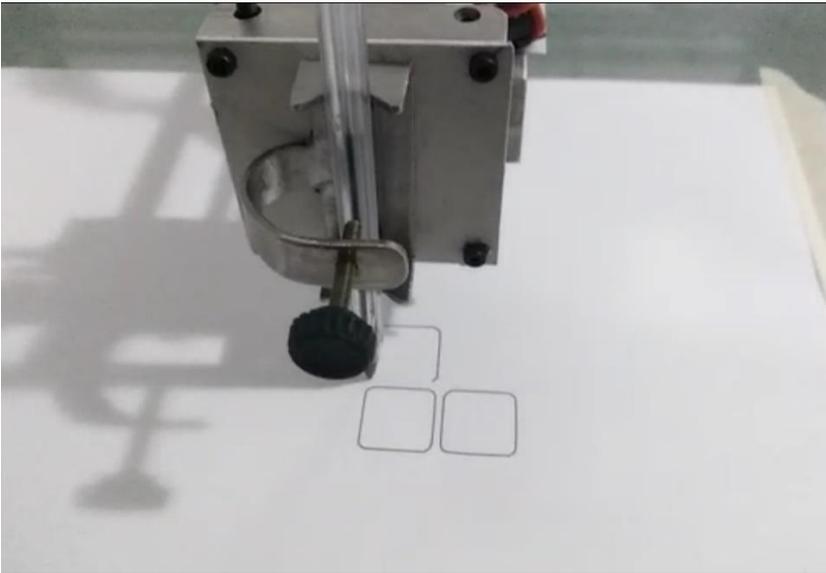


Figura 44 – Início do trabalho
Fonte: Autores

Pode-se observar na Figura 45 o início da plotagem na tela da esquerda, juntamente com a tela de acompanhamento do trabalho, mostrada no *software* bCNC Master.

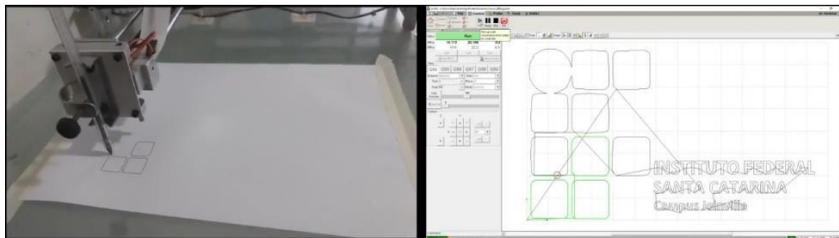


Figura 45 – Acompanhamento do início do trabalho
Fonte: Autores

A seguir pode-se observar nas Figuras 46 e 47 o trabalho de plotagem ao lado esquerdo e o acompanhamento do *software* ao lado direito. O caminho que deverá ser seguido pela Plotter aparece no *software* na cor azul, conforme a plotagem é feita, as linhas já plotadas aparecem na cor verde.

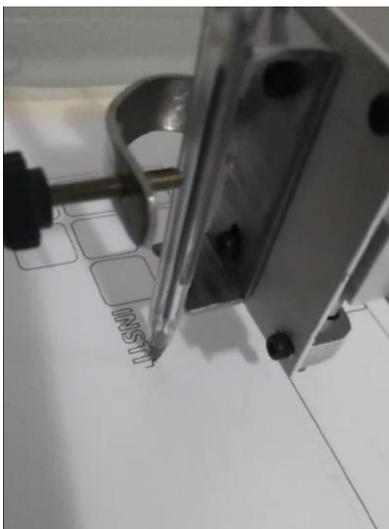


Figura 46 – Durante o trabalho
Fonte: Autores

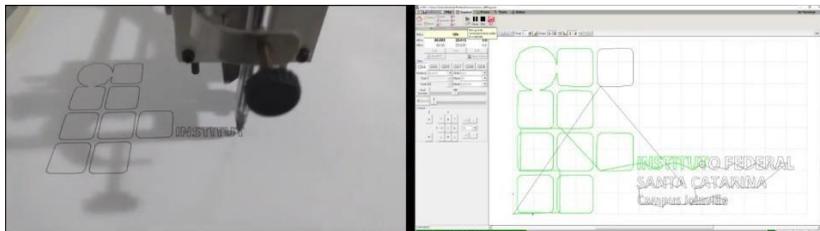


Figura 47 – Acompanhamento do trabalho
Fonte: Autores

Após o término da plotagem a caneta retorna para o ponto zero. Pode-se observar na Figura 48 que todas as linhas no *software* já estão verdes, indicando que o trabalho já foi concluído. Na Figura 49 observa-se a imagem aproximada da plotagem finalizada.

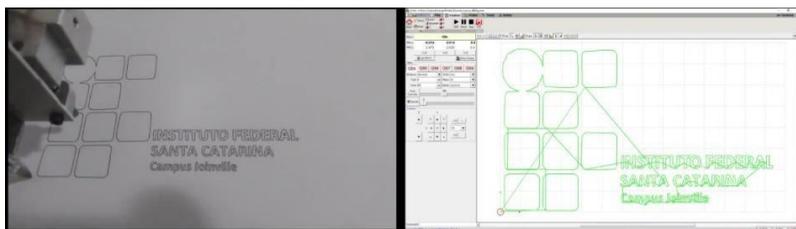


Figura 48 – Término do trabalho
Fonte: Autores

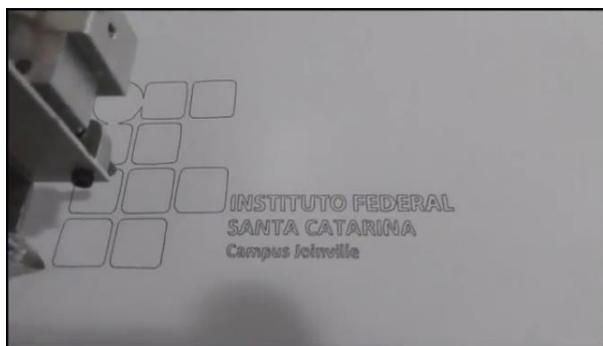


Figura 49 – Trabalho concluído
Fonte: Autores

Ao final do trabalho pode-se observar que os objetivos iniciais foram alcançados, durante os testes pode-se observar que a Plotter a caneta também é capaz de realizar plotagem de *layout* de circuitos eletrônicos diretamente na placa de circuito impresso, a Plotter a caneta projetada é capaz de escrever e desenhar em superfícies planas mantendo a qualidade da impressão. Com baixo custo de fabricação a Plotter é uma ótima ferramenta para impressão.

3.8. Custos do projeto

Foi realizado o levantamento do custo para fabricação da Plotter. Observa-se na Tabela 4 os valores de custo do protótipo, recebemos como doação a placa de policarbonato, as chapas de alumínio e aço SAE 1020 utilizadas para a fabricação das peças.

Quantidade	Descrição	Valor unitário
10	Rolamentos 624 Z	R\$ 1,40
2	A4988 - Driver Motor de Passo p/ Placa Grbl Reprap	R\$ 9,80
1	Micro Servo Motor Tower Pro 9g Sg90 Com Acessórios	R\$ 10,98
2	Motores de Passo Nema 16 - Arduino (Torque 1.2 Kgf)	R\$ 25,00
2	Barra trefilada de 8mm H7	R\$ 14,49
8	Rolamento Linear 8mm	R\$ 5,76
1	2 polias + 2 metros de correia G12	R\$ 49,90
1	Módulo Bluetooth RS232 HC-05	R\$ 33,50
1	Módulo FTDI conversor USB para TTL e RS232 Serial	R\$ 29,00
1	Valor estipulado do material aço 1020 e alumínio para fabricação dos suportes	R\$ 70,00
1	Valor estipulado para a placa de Policarbonato transparente 500 x 500 x 4mm	R\$ 115,00
1	Demais componentes eletrônicos e parafusos	R\$ 25,00
	TOTAL	R\$ 492,04

Tabela 4 – Custos do projeto

Fonte: Autores

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste trabalho de conclusão de curso foi desenvolvido uma Plotter a caneta, onde foram apresentados todo o desenvolvimento, montagem e teste. Analisando os resultados obtidos, os autores consideram que este trabalho atingiu os objetivos propostos, projetando e fabricando uma máquina de escrita compacta, que durante os testes mostrou ser capaz de realizar plotagem em diferentes tipos de materiais, sempre mantendo a qualidade do trabalho final.

Foram encontradas algumas dificuldades durante o processo, como na utilização dos *softwares*, pois oferecem muitos recursos e necessitam de tempo para aprendê-los, mas com ajuda de colegas e professores todos os desafios foram superados. Este projeto abrange as diversas matérias estudadas dentro da mecatrônica, em aulas teóricas e práticas.

Para trabalhos futuros, é recomendado a modificação do suporte que fixa a caneta, permitindo a inclinação da mesma, elevando o nível de qualidade do trabalho e ampliando sua aplicação, é sugerido o desenvolvimento de um aplicativo para ser utilizado por um *smartphone*, para conexão via *bluetooth* que realize todo trabalho de plotagem, pois o aplicativo utilizado no projeto é uma versão beta, permitindo apenas a conexão com a plotter a caneta e os controles manuais.

5. REFERÊNCIAS

ANDRADE, Alan S. **ELEMENTOS ORGANICOS DE MÁQUINAS**, Universidade Federal do Paraná, 2012.

BACELAR, Jorge. **Apontamentos sobre a história e desenvolvimento da impressão**, Universidade da Beira Interior, 1999.

BRAGA, Instituto Newton C. **Os servos (MEC006)**, 2014.
Disponível em: <http://www.newtoncbraga.com.br/index.php/110-mecatronica/robotica/898-os-servos-mec006>
Acesso em: 08 abr. 2017.

CARRARA, Valdemir. **INTRODUÇÃO À ROBÓTICA INDUSTRIAL**, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE, 2015.

CONDIT, Reston e JONES, Douglas W. **Stepping Motors Fundamentals**, Microchip Application Note, 2004.

CRUZ, Antonio J. R. de Souza. **ELEMENTOS DE MÁQUINAS**, 2008.
Disponível em:
<https://wiki.ifsc.edu.br/mediawiki/images/3/35/Sdfg.pdf>
Acesso em: 08 abr. 2017.

FEIS, **Servo Motor**, 2013.
Disponível em:
<http://www.feis.unesp.br/Home/departamentos/engenhariaeetrica/aula-4---servo-motor-13-03-2013-final.pdf> Acesso em: 08 abr. 2017.

FERREIRA, João Carlos E. **Sistemas Integrados de Manufatura, Robôs Industriais**.
Disponível em: <http://www.grima.ufsc.br/sim/apostila/Capit5.pdf>
Acesso em: 08 abr. 2017.

FRITZGERALD, **Máquinas elétricas**, Mc Graw, 2014.

GROOVER, M. P. **Automation, Production Systems and CIM**, McGraw-Hill, 2001.

McROBERTS, Michael **Arduino básico**, ed. Novatec, 2011

MERLET, Jean. P. **Parallel robots**. 2. ed. Holanda: Springer, 2006.

PANDALAB, 2010. **P&A LAB: Servo_TechLow_Light_test03 (SoundSensor + Servo + Dimmer Light)**.

Disponível em :

<<http://pandalabccc.blogspot.com.br/2010/04/servotechlowlighttest03-soundsensor.html>> Acesso em: 08 abr. 2017.

STOETERAU, Dr. Eng. Rodrigo L. **Introdução ao Projeto de Máquina-Ferramentas Modernas**, UFSC, 2004.

VIDAL, Pereira da Silva Jr. **MICROCONTROLADORES PIC 16F E 18F**, Instituto Newton C. Braga 1ª edição, 2013.

VIVALDINI, Kelen Cristiane Teixeira. **MOTORES DE PASSO**, USP, 2009.

APÊNDICE A – PROJETO MECÂNICO

