



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE
CENTRO DE TECNOLOGIA
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECATRÔNICA

DESENVOLVIMENTO DE UM PORTA AMOSTRA
AUTOMATIZADO PARA TRATAMENTO DE
MATERIAIS BIOCOMPATÍVEIS

ELIZEU ANTONIO STOHR JÚNIOR
NATAL- RN, 2016



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE

CENTRO DE TECNOLOGIA

GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECATRÔNICA

DESENVOLVIMENTO DE UM PORTA AMOSTRA AUTOMATIZADO PARA TRATAMENTO DE MATERIAIS BIOCAMPATÍVEIS

ELIZEU ANTONIO STOHR JÚNIOR

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao curso de Engenharia
Mecatrônica da Universidade Federal do
Rio Grande do Norte como parte dos
requisitos para a obtenção do título de
Engenheiro Mecatrônico, orientado pelos
Prof. Dr. Márcio Valério de Araújo e Prof. Dr.
Custódio L. B. Guerra Neto

NATAL - RN

2016



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE
CENTRO DE TECNOLOGIA
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECATRÔNICA

DESENVOLVIMENTO DE UM PORTA AMOSTRA AUTOMATIZADO PARA TRATAMENTO DE MATERIAIS BIOCOMPATÍVEIS

ELIZEU ANTONIO STOHR JÚNIOR

Banca Examinadora do Trabalho de Conclusão de Curso

Prof. Dr Márcio Valério de Araújo

Universidade Federal do Rio Grande do Norte - Orientador

Prof. Dr. Custódio L. de Brito Guerra Neto

Universidade Federal do Rio Grande do Norte - Orientador

Prof. Dr. Danilo Alves Pinto Nagem

Universidade Federal do Rio Grande do Norte - Avaliador Interno

Dedicatória

Dedico esse trabalho a todos que me ajudaram, principalmente aos meus pais que me apoiaram do início vida escolar até agora no fim graduado como engenheiro.

Aos professores que ensinaram o que é de extrema importância para ser um excelente profissional no futuro e que nos passaram o máximo que sabiam para que eu pudesse ser um diferencial no mercado de trabalho.

Também aos meus amigos que nunca entenderam muito bem o que eu faço mas sempre me apoiaram e me deram forças para que eu pudesse concluir mais uma etapa da minha vida.

E também a todos que me ensinaram e ajudaram, pelo mínimo que essa ajuda tenha sido, significou muito para mim.

Agradecimentos

Com toda certeza, esse trabalho não teria os mesmos resultados sem a ajuda de inúmeras pessoas, primeiramente os que me ajudaram psicologicamente, meus pais Elizeu e Maria Socorro, sem esquecer da pessoa que aguentou minhas reclamações por escrever, escrever e escrever Camilla. Agradeço também ao meu orientador, Márcio Valério, que aguentou as minhas mensagens, a todo o momento perguntando alguma coisa que ele já tinha me dito.

Agora falando da vida acadêmica não se pode esquecer dos amigos que estudaram três anos juntos na luta para poder se formar em Ciências e Tecnologia, Antônio, Marcílio, Miguel, Pedro Henrique, Lucas, Valdênio.

Continuando na vida acadêmica não se pode deixar de citar quatro nomes: Mateus, Maurício, Sywlkson e Ricardo, que sem esses, eu não chegaria nem aos pés do profissional que pretendo ser, com toda certeza. E sim tiveram outros nomes como Fernando, Yargo, Ormazabal, Heberton, Higo, Marcksuel, Elitelma.

Também agradeço aos amigos do laboratório de plasma, companheiros de iniciação científica Cleopatra, Arlindo, Ana Karenina e ao nosso orientador Custódio Guerra.

Todos citados aqui ajudaram imensamente durante a minha graduação, meu trabalho de conclusão, e minha evolução pessoal durante cinco anos.

Lógico também que queria agradecer a todos que fazem com que a UFRN seja o que é hoje. Desde a Reitoria até ao funcionário de cargo mais baixo que se possa ter, que sem eles o campus não seria o mesmo.

Resumo

Com o advento da automação o homem conseguiu desenvolver técnicas e equipamentos que o fez produzir mais e melhor, o fez ter condições de vida melhores. O processo de automação não se resume ao âmbito industrial, tem desempenhado um papel fundamental no avanço da engenharia e ciência, extremamente importante na corrida espacial, aviação comercial, indústria de guerra, entre outras aplicações. Entretanto ainda existem equipamentos onde o operador ainda é indispensável, promovendo dados imprecisos, prejudicando o resultado dos produtos finais desejados. Com intuito de resolver um problema de um equipamento gerador de jato de plasma DBD, buscou-se uma maneira de automatizar o processo de deposição a plasma objetivando um tratamento superficial de amostras biocompatíveis. Existem no mercado muitas máquinas de coordenadas, porém o preço não é acessível. A estrutura do equipamento foi feita baseada em uma mesa de coordenadas manual de um microscópio. A movimentação dos eixos do equipamento é realizada por fusos e roscas. Dois motores de passo foram usados como atuadores para possibilitar a movimentação dos eixos. Foram desenvolvidas placas eletrônicas de acionamento desses motores. O equipamento desenvolvido realiza movimentos em uma área de 1500 mm², o necessário para realizar tratamentos em pequenas amostras de materiais. O porta amostra automatizado apresentou-se preciso poderá promover um melhor tratamento superficial de uma amostra. O porta amostra automatizado fará com que os tratamentos de materiais biocompatíveis sejam mais eficientes, além de promover a dispensa o operador.

Palavras-chaves: Automação, Mesa de coordenadas, Inovação, Saúde.

Stohr, E.A. **Desenvolvimento de uma mesa XY para um gerador de plasma dbd** . 2016. xx p. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Mecatrônica – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2016.

Abstract

With the advent of automation, man was able to develop techniques and equipment that made him produce more and better and it made him have better living conditions. The automation process is not just about the industrial scope, it has played a key role in the advancement of engineering and science, extremely important in the space race, commercial aviation, war industry, among other applications. However, there are still equipment where the operator is still indispensable, promoting inaccurate data, damaging the result of the desired final products. In order to solve a problem of a DBD plasma jet generator, a way was sought to automate the plasma deposition process with the aim of getting a superficial treatment of biocompatible samples. There are many coordinate machines on the market, but the price is not affordable. The structure of the equipment was made based on a manual coordinate table of a microscope. The movement of the axes of the equipment is performed by spindles and threads. Two pitch motors were used as actuators to enable the movement of the axes. Electronic drive boards were developed for these motors. The developed equipment performs movements in an area of 1500 mm², which is enough to perform treatments on small samples of materials. The automated sample port was accurate, promoting a superficial treatment of the sample. The automated sample door will make the treatments of biocompatible materials more efficient, besides promoting the dispense of the operator.

Keywords: Automation, Coordeniate table, Innovation, Cheers

Stohr, E.A. **Development of a XY table for a plasma generator dbd** . 2013. 32 p. Conclusion work project (Graduate in Mechanical Engineering) - Federal University of Rio Grande do Norte, Natal, 2016.

Lista de Figuras

Figura 1: Plasma natural.

Figura 2: Jato de plasma frio, a pressão atmosférica

Figura 3: Protótipo Gerador de jato de Plasma (Balbino 2013).

Figura 4: Desenho da mesa de coordenadas manual com altura ajustável (Balbino 2013).

Figura 5: Gráfico de movimento em duas dimensões.

Figura 6: Protótipo.

Figura 7: Acoplamento Motor/Mesa

Figura 8: Mesa de coordenadas

Figura 9: Fuso sem fim.

Figura 10: Acoplador do motor/fuso

Figura 11: Projeção ortogonal do acoplador fuso/mesa.

Figura 12: Bobinas no motor de passo 28BYJ-48

Figura 13: Motor de passo 28BYJ-48

Figura 14: Diagrama de blocos de uma cadeia de processamento utilizando um Arduino.

Figura 15: Estrutura do sensor fim de curso.

Figura 16: Posicionamento final dos sensores fim de curso.

Figura 17: Desenho do sistema elétrico da mesa de coordenadas XY (motores e controlador).

Figura 18: Esquemático do circuito eletrônico de alimentação dos motores de passo.

Figura 19: Circuito eletrônico de alimentação dos motores de passo.

Figura 20: Esquemático do circuito eletrônico dos sensores de fim de curso

Figura 21: Circuito eletrônico dos sensores de fim de curso

Figura 22: Diagrama de blocos do controle da mesa.

Figura 23: Percurso realizado pela mesa (Quadrado de aresta de 2 milímetros)

Figura 24: Imagem formada pelo percurso completo da mesa de coordenadas.

Figura 25: Gráfico (Número de ensaio x Valor real percorrido) para 1 milímetro.

Figura 26: Gráfico (Número de ensaio x Valor real percorrido) para 5 milímetros.

Figura 27: Gráfico (Número de ensaio x Valor real percorrido) para 9 milímetros.

Figura 28: Estrutura do ensaio de percurso completo da mesa.

Figura 29: Resultado do ensaio de percurso completo de quadrado de lado 2 milímetros

Figura 30: Resultado da medição do eixo X do ensaio de percurso completo de um quadrado de lado de 2 milímetros.

Figura 31: Resultado da medição do eixo Y do ensaio de percurso completo de um quadrado de lado de 2 milímetros.

Figura 32: Resultado do ensaio de percurso completo de quadrado de lado 3 milímetros

Figura 33: Resultado da medição do eixo X do ensaio de percurso completo de um quadrado de lado de 3 milímetros.

Figura 34: Resultado da medição do eixo Y do ensaio de percurso completo de um quadrado de lado de 3 milímetros.

Figura 35: Resultado do ensaio de percurso completo de quadrado de lado 9 milímetros

Figura 36: Resultado da medição do eixo X do ensaio de percurso completo de um quadrado de lado de 9 milímetros.

Figura 37: Resultado da medição do eixo Y do ensaio de percurso completo de um quadrado de lado de 9 milímetros.

Figura 38: Resultado do ensaio de percurso completo de quadrado de lado 15 milímetros

Figura 39: Resultado da medição do eixo X do ensaio de percurso completo de um quadrado de lado de 15 milímetros.

Figura 40: Resultado da medição do eixo Y do ensaio de percurso completo de um quadrado de lado de 15 milímetros.

Lista de Tabelas

Tabela 1: Características e Propriedades dos tipos de plasma.

Tabela 2: Parâmetros dos fusos construídos (em milímetros).

Tabela 3: Percurso limitado pelos sensores.

Tabela 4: Tempo gasto no percurso de 1 milímetro;

Tabela 5: Tempo gasto no percurso de 5 milímetro;

Tabela 6: Tempo gasto no percurso de 9 milímetro;

Tabela 7: Média total dos tempos gastos no percursos pré-definidos, em segundos.

Tabela 8: Precisão para um percurso de 1 milímetro.

Tabela 9: Precisão para um percurso de 5 milímetro.

Tabela 10: Precisão para um percurso de 9 milímetro.

Lista de Abreviaturas

1. *JPPA* *Jato de plasma a pressão atmosférica*
2. *LTE* Local Thermodynamic Equilibrium.
3. *N-LTE* Non – Local Thermodynamic Equilibrium.
4. DBD Descarga por barreira dielétrica

Sumário

Dedicatória	4
Agradecimentos	5
Resumo	6
Abstract	7
Lista de Figuras	8
Lista de Tabelas	11
Lista de Abreviaturas	12
Sumário	13
1 Introdução	15
2 Revisão Bibliográfica	17
2.1 Plasma	17
2.2 Tipos de Plasma	17
2.3 Plasma em barreira dielétrica (DBD)	18
2.4 Jato em descarga sem dielétrico	19
2.5 Jato em descarga por barreira dielétrica (DBD-Like)	20
2.6 Aplicações do plasma	20
2.7 Protótipo do gerador de plasma frio a pressão atmosférica	20
2.8 Porta amostra	21
2.9 Mesa de coordenadas	22
2.10 Automação	23
2.11 Posicionamento em duas dimensões	23
2.12 Movimento de uma partícula em duas dimensões	24
3 Materiais e Métodos	26
3.1 Desenvolvimento dos elementos mecânicos	27
3.1.1 Mesa	28

3.1.2 Fusos	28
3.1.3 Acopladores motor/fuso	29
3.1.4 Acopladores fuso/mesa	30
3.2 Montagem dos componentes eletrônicos	31
3.2.1 Motor de passo	31
3.2.2 Microcontrolador Arduíno UNO	32
3.2.3 Sensores de fim de curso	32
3.2.4 Sistema dos motores de passo completo	34
3.2.5 Desenvolvimento dos circuitos eletrônicos	35
3.3 Desenvolvimento da lógica de controle	37
4 Resultados e Discussões	40
4.1 Velocidade do eixo	40
4.2 Precisão do movimento em uma dimensão	42
4.3 Percurso pré determinado em duas dimensões	45
5 Conclusões	51
6 Referências	52

1. Introdução

Estudos na busca por materiais biocompatíveis são de grande importância, e a medida que os biomateriais são desenvolvidos, novas técnicas de processamento e de modificações de superfície surgiram. Dentre os biomateriais utilizados, o titânio tem grande importância devido a sua biocompatibilidade com o meio biológico. Para que o seu desempenho seja melhorado diversos tratamentos de superfície foram desenvolvidos com objetivo de aumentar a superfície de contato e assim, diminuir o tempo de osseointegração. Dentre os diversos tratamentos de superfície, o plasma a baixa pressão, proporciona ótimos resultados na modificação de propriedades físico-químicas de materiais, no entanto, esta técnica necessita de um sistema de vácuo de alto custo e técnica complexa (Alves Jr *et al.*, 2005).

Visando diminuir custos e a complexidade do processo, foram realizados estudos a respeito do plasma em pressão atmosférica. Este é capaz de promover modificações de superfície tanto físicas quanto químicas. Promove também a esterilização superficial e permite o tratamento em materiais não termossensíveis e termosensíveis devido ao fato de operar a pressão atmosférica e temperatura ambiente (Mariotti e Sankaran, 2010; Lu, Laroussi e Puech, 2012).

O plasma a pressão atmosférica permite a utilização de diferentes configurações, dentre elas existem algumas que se destacam: a configuração por descarga em barreira dielétrica (DBD), sem dielétrico (SD) e descarga em barreira dielétrica – like (DBD-like). Estas, operaram com descargas uniformes e temperatura próxima a ambiente. Isso se deve ao fato de que o plasma formado não está em equilíbrio termodinâmico. Embora a temperatura eletrônica do jato seja alta, a temperatura do gás é próxima da temperatura ambiente (300K) (Choi *et al.*, 2009). Podendo assim, modificar e esterilizar uma superfície sem alterar a estrutura interna dos materiais (Santos, 2010). Outra vantagem desta técnica é a possibilidade de se produzir o plasma em forma de jato, capaz de realizar o tratamento da superfície de forma eficiente, reduzindo desperdícios de energia (Kogelschatz, 2003).

A maioria desses equipamentos geradores de plasma DBD tem a saída do jato fixo, limitando dessa forma, o tratamento na amostra como um todo. Sendo necessário a

presença de um operador para que toda a extensão da amostra não fique sem tratamento. Apesar do controle dos operadores, o tratamento realizado não é homogêneo e ainda expõe o indivíduo a riscos, podendo receber choques elétricos ou inalar altas quantidades de ozônio por longos períodos.

Um grande número de mesas de coordenadas, ainda existentes no mercado, são de acionamento manual, em que o operador deve posicionar a estrutura por meio de volantes. Essas mesas têm como principal desvantagem que o posicionamento correto da peça, a ser trabalhada, diante dessa dificuldade, esse trabalho tem como objetivo o desenvolvimento de uma mesa de coordenadas XY de duas dimensões, que será acoplada a um equipamento gerador de plasma DBD, realizando o tratamento da amostra de maneira uniforme, independente do operador.

2. Revisão Bibliográfica

2.1 Plasma

A palavra “plasma” se aplica a um gás que contém elétrons, íons positivos, íons negativos, átomos e moléculas (Alves Jr, 1995). Ele pode ser produzido em laboratório através da aplicação de uma diferença de potencial entre dois eletrodos. Quando uma diferença de potencial é aplicada em um sistema hermeticamente fechado, a uma pressão baixa, elétrons e íons são acelerados pelo campo elétrico gerado, e assim acabam colidindo com outras partículas e produzindo o plasma de laboratório em baixa pressão (Alves Jr, 1995). A partir da fonte energética e da quantidade de energia transferida para o plasma, suas propriedades podem mudar em termos da densidade eletrônica ou temperatura (Tendero et al., 2006).

Figura 1: Plasma Natural



Fonte: www.oficinadanet.com.br/imagens/post/14532/td_aurora_2.jpg

2.2 Tipos de plasma à pressão atmosférica

Hoje os dois tipos mais estudados do plasma, são: o plasma em equilíbrio termodinâmico local (*Local Thermodynamic Equilibrium* (LTE)) e o Plasma em não equilíbrio termodinâmico (*Non – Local Thermodynamic Equilibrium* (N - LTE)).

No plasma LTE, as transições e reações químicas são atingidas por colisões e não por processos radioativos. Este tipo de plasma também é chamado plasma quente.

Graças à alta temperatura média para que o mesmo possa ser produzido, e ele é utilizado em processos industriais como: soldagem, corte e destruição de resíduos (Lovascio, 2010).

Temos também o plasma N-LTE, que é amplamente utilizado para modificação de superfície em materiais termicamente instáveis, na geração de ozônio e lâmpadas fluorescentes (Conrads e Schmidt, 2000).

Recentemente se obteve o plasma a pressão atmosférica. Essa evolução foi extremamente importante, isso por que o sistema não necessita de uma bomba para criar vácuo, fazendo assim com que a sua produção seja mais barata. O plasma que trabalha em baixa pressão, além de necessitar de um sistema de vácuo, geralmente trabalha com elevadas temperaturas e não pode tratar um material não termossensível, diferentemente do jato de plasma frio a pressão atmosférica. Assim, na última década, grande uma atenção tem sido dada à tecnologia de plasma atmosférico, pois ele pode superar algumas desvantagens presentes no plasma quente, e pode nos levar a melhores resultados na área de tratamento de superfície (Napartovich, 2001; Alexandrov e Hitchman, 2005).

Tabela 1: Características e Propriedades dos tipos de plasma.

	PLASMA LTE	PLASMA N-LTE
NOME USUAL	Plasma quente	Plasma frio
PROPRIEDADES	Alta densidade eletrônica, as colisões inelásticas entre os elétrons e as partículas criam espécies ativas no plasma, enquanto as colisões elásticas aquecem as partículas.	Baixa densidade eletrônica, colisões inelásticas entre elétrons e partículas gera uma atmosfera rica quimicamente.

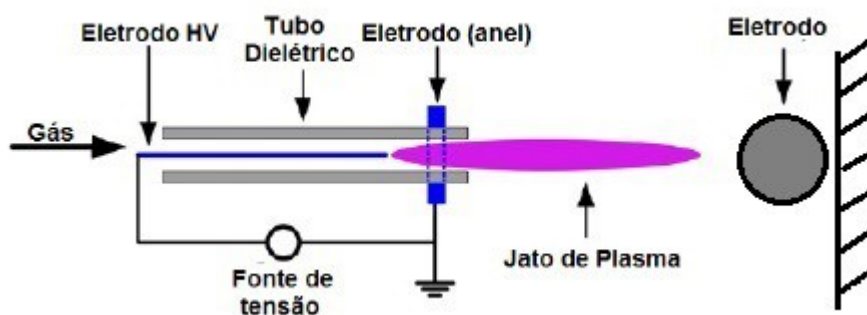
Fonte: Elaborado pelo autor

2.3 Plasma em descarga por barreira dielétrica (DBD)

O plasma produzido a partir da descarga em barreira dielétrica é gerado quando aplica-se uma descarga de alta-tensão na região entre dois eletrodos metálicos quando

pelo menos um dielétrico é inserido entre eles (Figura 2) (Laroussi e Akan, 2007). Quando a diferença de potencial é aplicada entre os eletrodos, cargas elétricas acumulam-se na superfície do dielétrico até que a rigidez dielétrica do gás é rompida, provocando assim uma microdescarga. A ruptura elétrica do gás que preenche o espaço entre os eletrodos leva a formação de um grande número dessas microdescargas que têm diâmetro da ordem de 10^{-4} m. Durando alguns nanossegundos e distribuindo-se uniformemente sobre a superfície do dielétrico (Kogelschatz, 2002).

Figura 2: Jato de plasma frio, a pressão atmosférica



Fonte: Elaborada pelo autor

Assim, os jatos de plasma DBD apresentam diversas vantagens. Em primeiro lugar, devido à baixa potência entregue ao plasma, a temperatura do jato permanece próxima a do ambiente. E esse plasma, também, apresenta uma grande densidade de espécies quimicamente ativas (Laroussi e Lu, 2005). Essas condições são muito importantes para aplicações na área biomédica (Lu, Laroussi e Puech, 2012).

2.4 Jato em descarga sem dielétrico

O jato de nome jato de plasma sem dielétrico (SD), é denominado assim pois não apresenta nenhum componente dielétrico em sua configuração. O mesmo é gerado através de um equipamento formado por um eletrodo interno ligado a fonte de alimentação a rádio frequência (RF) e um eletrodo cilíndrico externo aterrado.

2.5 Jato em descarga por barreira dielétrica (DBD-Like)

Quando o jato de plasma não entra em contato com nenhum objeto condutor elétrico, a descarga é configurada como jato DBD. Entretanto, quando o jato de plasma está em contato com um objeto condutor elétrico, a descarga passa direto do eletrodo HV para o objeto condutor. Para tal circunstância, ele não é mais caracterizado como um jato DBD e sim como um jato sem dielétrico (SD) (Lu, Laroussi e Puech, 2012).

Quando os jatos de plasma DBD-like são usados para aplicações na medicina, o objeto a ser tratado pode ser células ou tecido. Neste caso, estes tipos de dispositivos de jato devem ser usados com cuidado. Porém, essa configuração pode ser usada para tratar materiais condutores, pois mais energia pode ser entregue na formação das descargas. Então, os jatos DBD-like possuem suas vantagens pela possibilidade de alcançar aplicações tanto para tratamento de materiais termossensíveis quanto para materiais não termossensíveis (Lu, Laroussi e Puech, 2012).

2.6 Aplicações do plasma

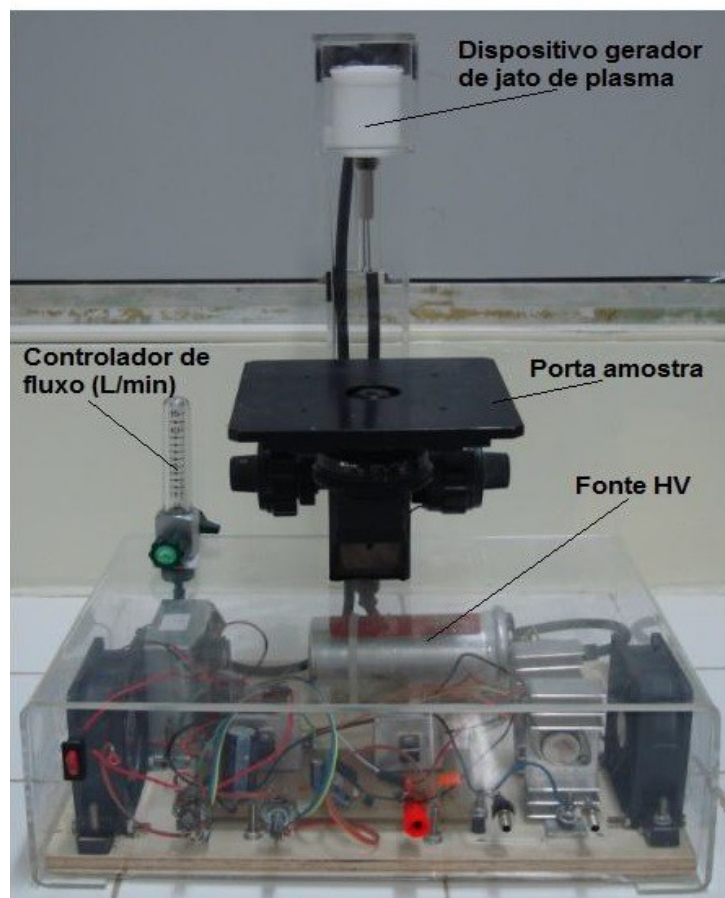
Pesquisas na busca por materiais biocompatíveis estão se tornando mais intensas. E o desenvolvimento de novas técnicas para modificações de superfícies estão se tornando mais comum. O plasma a baixa pressão vem se destacando pela sua versatilidade, com ele obtêm-se bons resultados na modificação das propriedades físico-químicas de materiais, no tratamento contra bactérias, e esteriliza superfícies. Porém, esta técnica necessita de um sistema de vácuo de alto custo e não é capaz de gerar modificações superficiais em regiões pontuais por muito tempo, graças a sua alta temperatura. Além disso, limita seu uso em materiais poliméricos e termossensíveis. Diante disso, foram criadas novas técnicas capazes de gerar um plasma frio a pressão atmosférica (JPPA). Com o objetivo de realizar tratamentos superficiais em biomateriais termossensíveis, foi construído um protótipo capaz de gerar um jato de plasma frio. (Balbino, 2013).

2.7 Protótipo gerador de jato de plasma frio atmosférico

Com o protótipo gerador de jato de plasma frio a pressão atmosférica foi possível controlar parâmetros elétricos, de fluxo de gás e distância de tratamento. O protótipo

gerador de jato de plasma frio a pressão atmosférica é constituído por uma fonte de alta-tensão com controle de tensão e frequência, um controlador de vazão acoplado, um porta amostra e um dispositivo gerador de jato de plasma (figura 3). O protótipo apresentou bom desempenho e robustez. Essa robustez possibilitou o controle de todos os parâmetros de forma ágil, confortável e segura.

Figura 3: Protótipo Gerador de jato de Plasma (Balbino 2013).



Fonte: Balbino (2012)

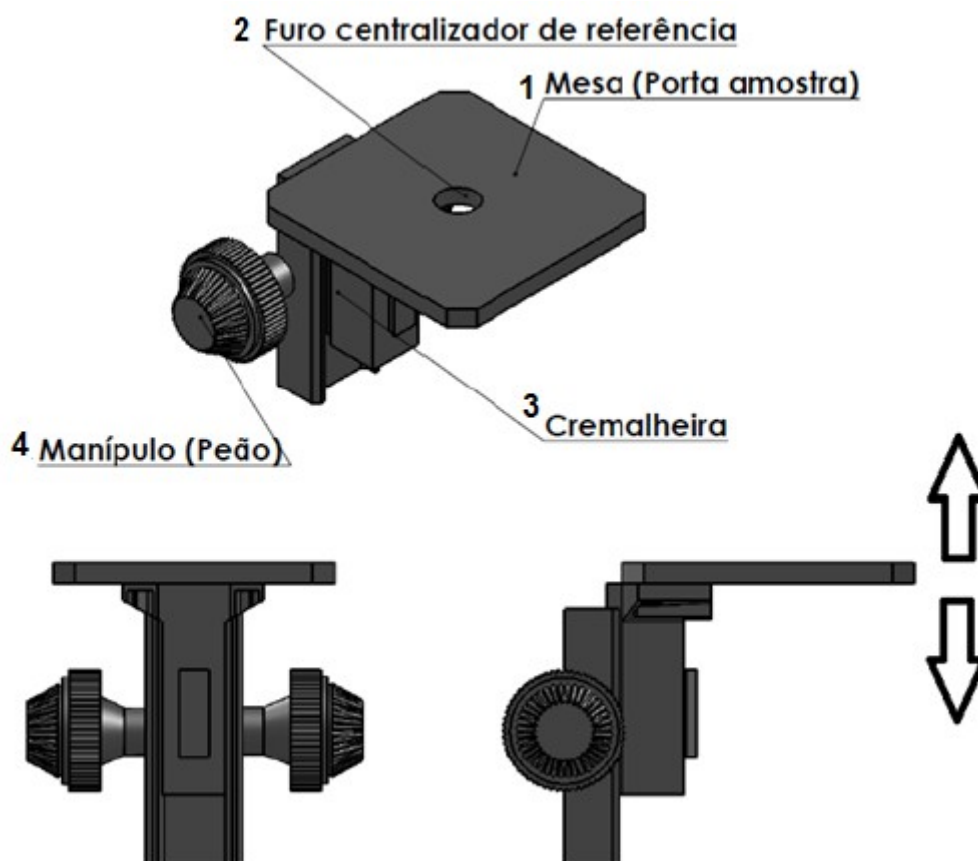
2.8 Porta amostra (mesa de coordenadas manual)

O protótipo foi idealizado para realizar modificação de superfícies de materiais. Diante disto, foi construído um porta amostra capaz de ajustar a distância do jato de plasma para a superfície a ser tratada. Acoplou-se uma mesa com um conjunto pinhão cremalheira capaz de variar em até 100 milímetros (figura 4). O porta amostra é constituído de uma mesa (1), cremalheira (3) e manipulador (4). A mesa (1) do porta amostra

apresenta um furo (2) centralizador de referência para auxiliar o operador a posicionar a amostra no centro do jato de plasma. A mesa (1) serve para suportar a amostra a ser tratada. O manipulô (4) possui uma engrenagem que é acoplada a uma cremalheira.

Essa montagem permite ao usuário girar o manipulô e controlar a distância desejada do jato a amostra, manualmente.

Figura 4: Desenho da mesa de coordenadas manual com altura ajustável



Fonte: Balbino (2012)

2.9 Mesa de coordenadas

Um grande número de mesas de coordenadas, ainda existentes no mercado, são de acionamento manual, em que o operador deve posicionar a estrutura por meio de volantes. Essas mesas têm como principal desvantagem que o posicionamento correto da peça, a ser trabalhada, depende exclusivamente da habilidade e da experiência do operador. Nesse caso, a ausência de um operador experiente, compromete decisivamente à produtividade do ambiente de trabalho, já que o conhecimento acumulado no manuseio da mesa é de fundamental importância para a obtenção de bons resultados (M. F José, C. S, Araújo, 2010). Como alternativa às mesas de posicionamento

manual têm-se as estruturas acionadas por motores elétricos. Essas mesas de coordenadas são normalmente compostas por motores elétricos acoplados a elementos que transmitem um movimento rotacional, do motor, em movimentos lineares para a movimentação de um dos eixos da mesa. Existem inúmeras mesas de coordenadas no mercado, mas nenhuma se adaptou muito bem ao equipamento gerador de jato de plasma DBD.

2.10 Automação

Existe uma busca incessante do homem para melhorar significativamente sua qualidade de vida. Preocupou-se em facilitar seu trabalho, inventou a roda, descobriu o fogo. Com o advento da automação o homem conseguiu desenvolver técnicas e equipamentos que o fez produzir mais e melhor, o fez ter condições de vida melhores. O processo de automação não se resume ao âmbito industrial, tem desempenhado um papel fundamental no avanço da engenharia e ciência, extremamente importante na corrida espacial, aviação comercial, indústria de guerra, entre outras aplicações (De Lima, 2003).

Hoje, há aplicações da automação em toda área biomédica. Substituindo alguns equipamentos que são totalmente dependentes de operadores e não conseguem realizar um trabalho ideal.

2.11 Posicionamento em duas dimensões

Para descrevermos o movimento de uma partícula no espaço, precisamos inicialmente estar aptos a descrever a posição de partícula. Considerando que uma partícula esteja em um ponto A (Figura 5) em um dado instante. O vetor posição $\mathbf{r}$ da partícula neste instante é um vetor que vai da origem do sistema de coordenadas (O, Figura 5) até o ponto A (Figura 5), sabendo também que as coordenadas cartesianas x , y do ponto (A) são componentes x , y do vetor $\mathbf{r}$. Então, usando vetores unitários podemos escrever:

$$\mathbf{r} = x\hat{i} + y\hat{j} \quad (\text{Eq. 1})$$

2.12 Movimento de uma partícula em duas dimensões

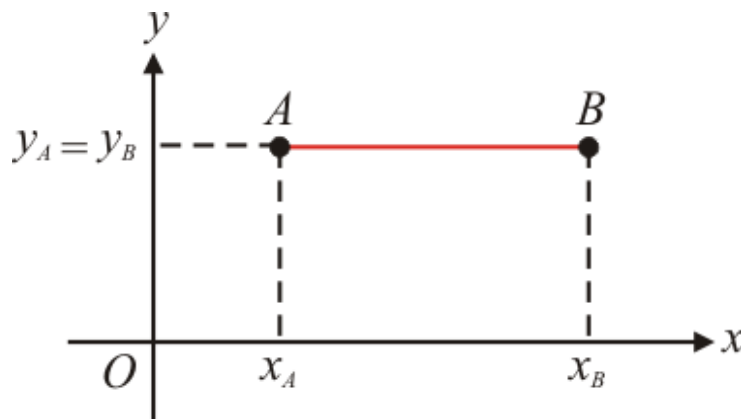
Quando uma partícula se desloca, é necessário que se saiba, o ponto final do movimento ou o vetor movimento que ela se deslocará. E durante o intervalo de tempo (Δt), em que acontece o movimento, a partícula se move de um ponto P_1 até um ponto P_2 , onde a posição é $\mathbf{r}_2$. E essa variação que acontece durante esse intervalo de tempo é dada pela equação 2:

$$\Delta \mathbf{r} = \mathbf{r}_2 - \mathbf{r}_1; \quad (\text{Eq. 2})$$

Onde $\Delta \mathbf{r}$ é o vetor movimento.

Para que o movimento em duas dimensões seja realizado, precisamos de três características, a posição inicial (A), a posição final (B) e a trajetória ($\Delta \mathbf{r}$, linha vermelha), de acordo com a figura 5. Cada posição é composta por duas coordenadas de acordo com a origem escolhida, na posição (A, inicial) temos $A(x_a, y_a)$ e na posição (B, final) temos $B(x_b, y_b)$ e o movimento é realizado quando variamos essas coordenadas de acordo com a trajetória e a posição final.

Figura 5: Gráfico de movimento em duas dimensões.



Fonte: Elaborado pelo autor

Já o sistema das mesas de coordenadas funcionam um pouco diferente do calculo do movimento em duas dimensões, pois o operador sabe a posição inicial, e a trajetória que o eixo deve se movimentar, por exemplo, ir da posição inicial para a posição A (Figura 5). Caso o movimento seja em uma dimensão, de acordo com a equação 3 o calculo do movimento fica:

$$\mathbf{r}_2 = \mathbf{r}_1 + \Delta \mathbf{r} \quad (\text{Eq. 3})$$

como exemplo, o movimento apenas na dimensão x, equação 4:

$$x_b \hat{\mathbf{i}} = (x_a + x_r) \hat{\mathbf{i}}; \quad (\text{Eq. 4})$$

agora se o movimento for em duas dimensões temos que levar em conta as duas coordenadas cartesianas, como mostra a equação 5:

$$x_b \hat{\mathbf{i}} + y_b \hat{\mathbf{j}} = (x_a + x_r) \hat{\mathbf{i}} + (y_a + y_r) \hat{\mathbf{j}}; \quad (\text{Eq. 5})$$

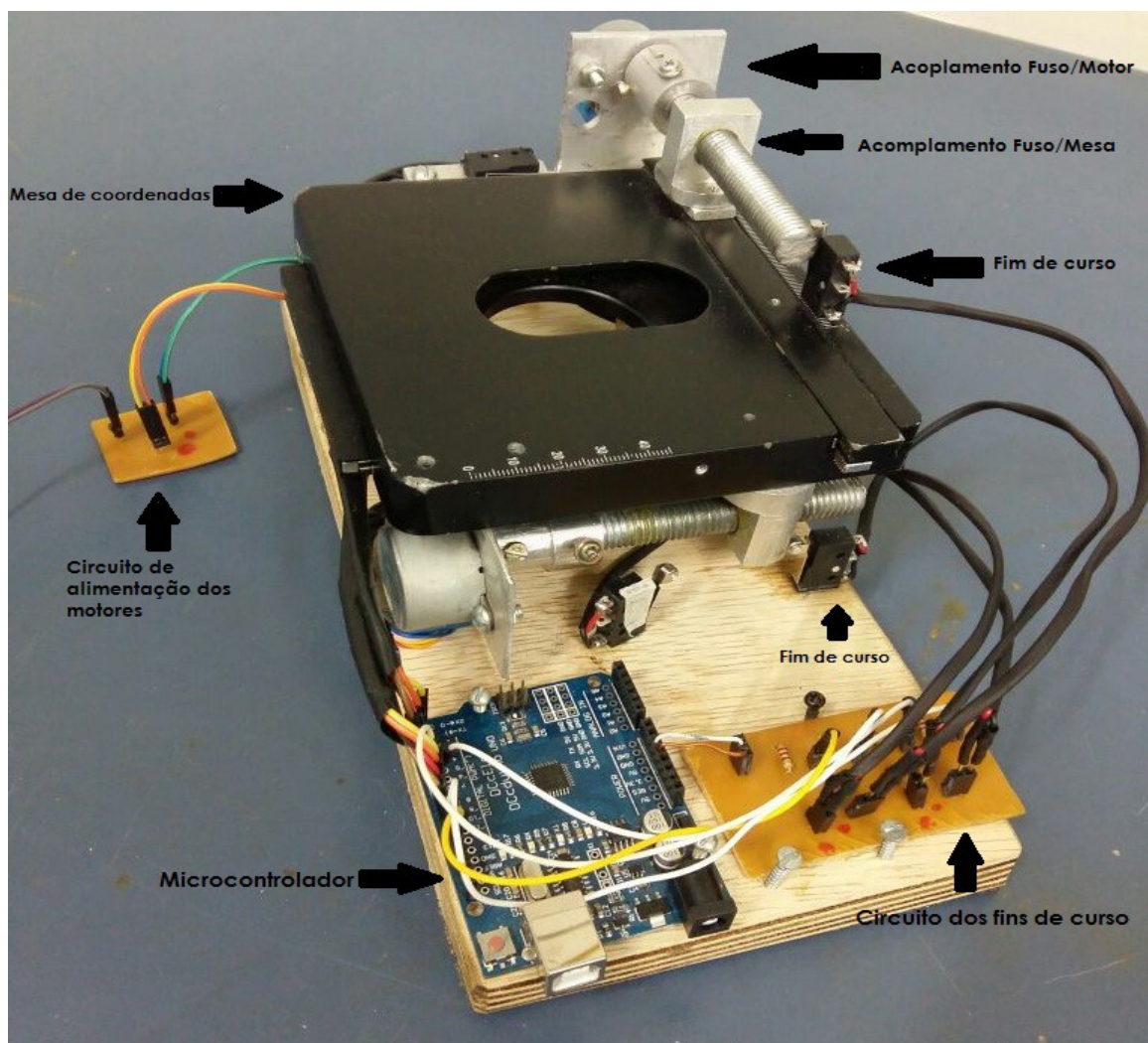
3. Materiais e Métodos

Foram utilizados fusos sem fim e roscas, estes são responsáveis pela transformação do movimento. Também foram construídos acopladores de alumínio para fixação dos motores aos fusos e a mesa.

Também foram utilizados dois motores de passo 28BYJ-48, ligados a DRIVERS ULN2003 e sensores de fim de curso, e também um microcontrolador, ARDUINO UNO, e uma fonte externa de 7 Volts.

Esses elementos foram fixados base de madeira, para dar estabilidade e praticidade nos ensaio de exatidão do projeto, mostrado na Figura 6.

Figura 6: Protótipo.

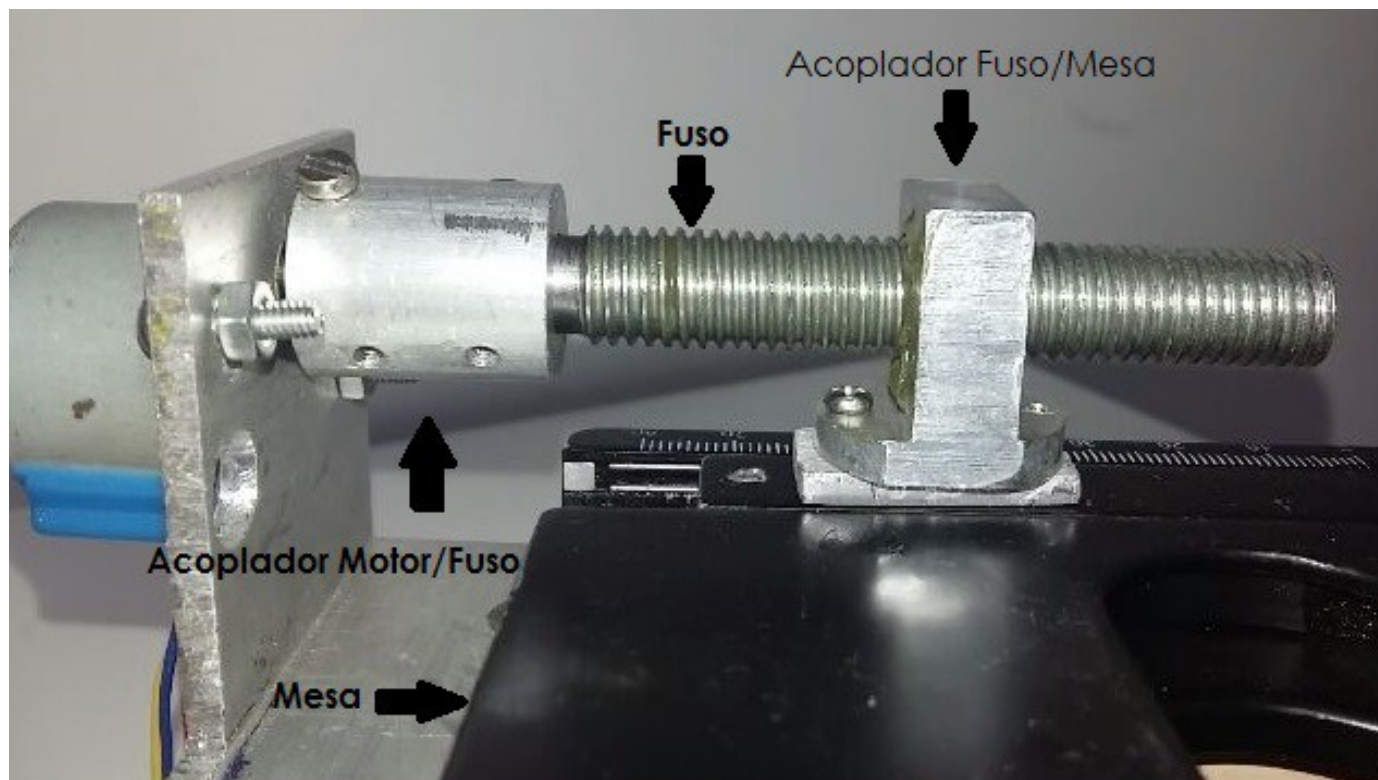


Fonte: Elaborado pelo autor

3.1 Desenvolvimento dos elementos mecânicos

A parte mecânica da mesa é composta basicamente por sete elementos básicos, a mesa de coordenadas, dois fusos, dois acopladores motor/fuso e dois acopladores fuso/mesa.

Figura 7: Acoplamento Motor/Mesa



Fonte: Elaborado pelo autor

3.1.1 Mesa

A mesa de coordenadas XY foi baseada em uma mesa de coordenadas de um microscópio, utilizada para movimentação do material em um plano. Uma mesa de coordenadas de um microscópio é composta por manípulos, uma escala de indicação.

Figura 8: Mesa de coordenadas



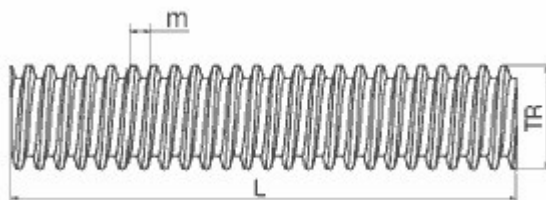
Fonte: Elaborado pelo autor

Foram retirados todos os adicionais da mesa como, lentes, parafusos de fixação, manípulos de controle, pois não eram necessários ao protótipo em desenvolvimento.

3.1.2 Fusos

Para montagem do sistema mecânico foi utilizado um fuso sem fim (Figura 9) junto a uma peça de alumínio com uma rosca interna com objetivo de transformar o movimento rotacional do motor em um movimento linear para podermos deslocar os dos eixos do porta amostra.

Figura 9: Fuso sem fim.



Fonte: Elaborado pelo autor

Foram construídos fusos sem fim responsáveis pelo movimento no eixo x (horizontal) e outro pelo movimento no eixo y (vertical), de parâmetros mostrados na Tabela 2.

Tabela 2: Parâmetros dos fusos construídos.

	FUSO (eixo X)	FUSO (eixo Y)
Comprimento (L)	85 mm	80 mm
Passo da rosca (m)	1,75 mm	1,75 mm
Diâmetro externo (TR)	12 mm	12 mm

Fonte: Elaborado pelo autor

3.1.3 Acopladores motor/fuso

Também foram construídos dois acopladores, que são usados para o acoplamento do motor com um dos lados do fuso. Ambos foram feitos de alumínio e usinados. Como foram utilizados dois motores de passos iguais, e os fusos com os mesmos parâmetros, os dois acopladores foram iguais.

Figura 10: Acoplador do motor/fuso



Fonte: Elaborada pelo autor

Os acopladores são cilindros com 20 milímetros de diâmetro com seis furos, um em uma das faces planas com 10 milímetros de diâmetro e outro na face correspondente oposta com 5 milímetros de diâmetro (Figura 10). Também foram feitos quatro furos para serem inseridos quatro parafusos de pressão, com objetivo de melhorar a fixação do fuso com o motor, e assim evitar folgas indesejadas.

3.1.4 Acopladores fuso/mesa

Os acopladores foram construídos de alumínio e usinados em uma plaina. São peças com um furo rosqueado onde o fuso passa por ela girando e faz a transformação do movimento rotacional do motor em um movimento linear para movimentar o eixo. E cada um dos acopladores foi preso a um dos eixos da mesa de coordenadas.

Figura 11: Acoplador fuso/mesa



Fonte: Elaborado pelo autor

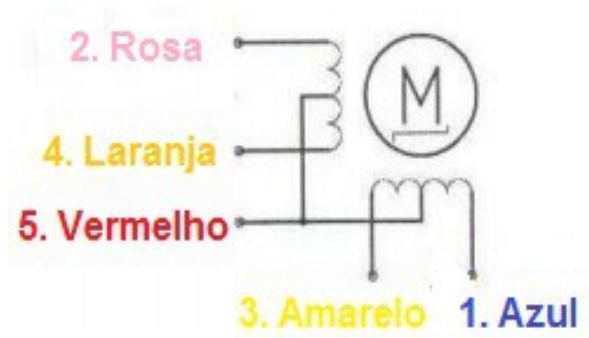
3.2 Montagem dos componentes eletrônicos

3.2.1 Motor de passo

Um motor de passo é um dispositivo eletromecânico que converte os pulsos elétricos em movimentos, de ótima precisão e de fácil controlabilidade.

A rotação dos motores tem várias relações diretas a estes pulsos aplicados na entrada. A sequência dos pulsos aplicados está diretamente relacionada com a direção de rotação do eixo do motor. A velocidade de rotação do motor com a frequência dos impulsos de entrada e o tempo de rotação com o número de impulsos de entrada. Ou seja, para controlar o motor de passo precisa-se aplicar tensão a cada um a das bobinas (Figura 12) em uma sequência e uma frequência específica.

Figura 12: Bobinas no motor de passo 28BYJ-48



Fonte: Elaborado pelo autor

Para o desenvolvimento da mesa automatizada foram utilizados dois motores de passo 28BYJ-48.

Figura 13: Motor de passo 28BYJ-48



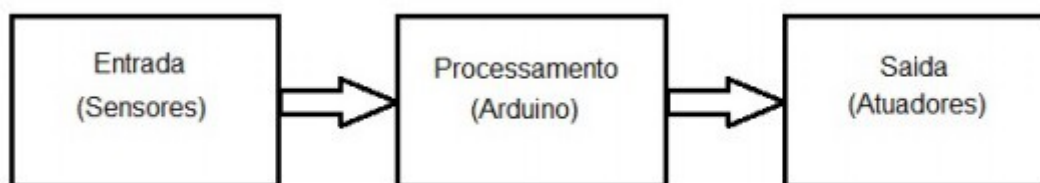
Esse motor de *Fonte: Datasheet motor de passo 28BYJ-48*

passo 28BYJ-48, trabalha com tensão de 5~12 V DC e frequência de 60 Hz. Associado a um *driver* de corrente ULN2003 que permite que o microcontrolador controle os motores com correntes de saída. O modelo possui uma caixa de redução de 1/32, assim a volta completa (girando 360°) do motor pode ser dada por 2048 passos, com uma frequência fixa, isto é, quando a entrada do motor for **1 passo ele gira aproximadamente 1,175°**.

3.2.2 Microcontrolador Arduino UNO

O Arduino é um kit de desenvolvimento, que pode ser comparado a uma unidade de processamento, capaz de mensurar variáveis do ambiente externo, transformá-las em um sinal elétrico correspondente. Pode processá-las computacionalmente. E por fim, ele pode ainda atuar no controle ou no acionamento de algum outro elemento eletroeletrônico conectado ao terminal de saída. A Figura 14 apresenta um diagrama de blocos de uma cadeia de processamento utilizando o Arduino.

Figura 14: Diagrama de blocos de uma cadeia de processamento utilizando um Arduino.



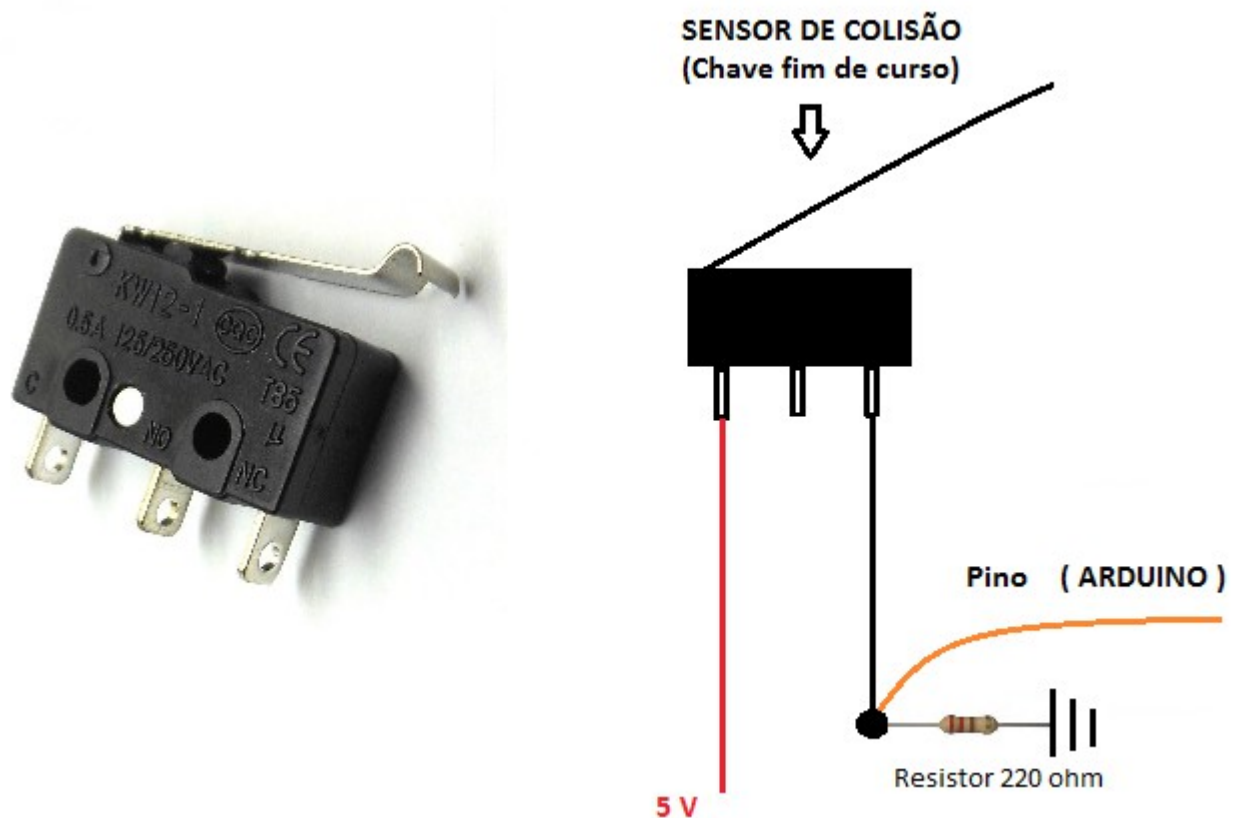
Fonte: Elaborado pelo autor

O Arduino que foi utilizado foi o Arduino UNO, é responsável por transmitir sinais para o acionamento dos motores (portas digitais 2,3,4,5,8,9,10,11) e receber um sinal do sensor de fim de curso para evitar problemas durante o funcionamento do protótipo (portas digitais 6,7,12,13).

3.2.3 Sensores de fim de curso

Sensores de fim de curso são sensores que servem para indicar que uma estrutura ligada ao seu eixo, chegará ao fim do seu campo de movimento. Eles geralmente tem uma estrutura de um *switch*. Quando a haste do sensor é empurrada, os terminais do sensor ficam em curto ou com o chaveamento aberto. (Figura 15).

Figura 15: Estrutura do sensor fim de curso.



Fonte: Elaborado pelo autor

No protótipo existem quatro sensores de fim de curso, dois para identificar o ponto inicial dos eixos e dois para quando for identificado o limite máximo do movimento, para que o motor não seja forçado ou danifique alguma peça. De acordo com a Tabela 3 os sensores de início e de fim de curso foram posicionados nas seguintes distâncias:

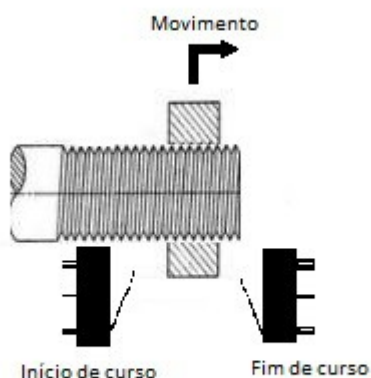
Tabela 3: Percurso limitado pelos sensores

	Curso do eixo X	Curso do eixo Y
Distância (L)	50 mm	30 mm

Fonte: Elaborado pelo autor

Então o sistema dos sensores fim de curso do protótipo:

Figura 16: Posicionamento final dos sensores fim de curso

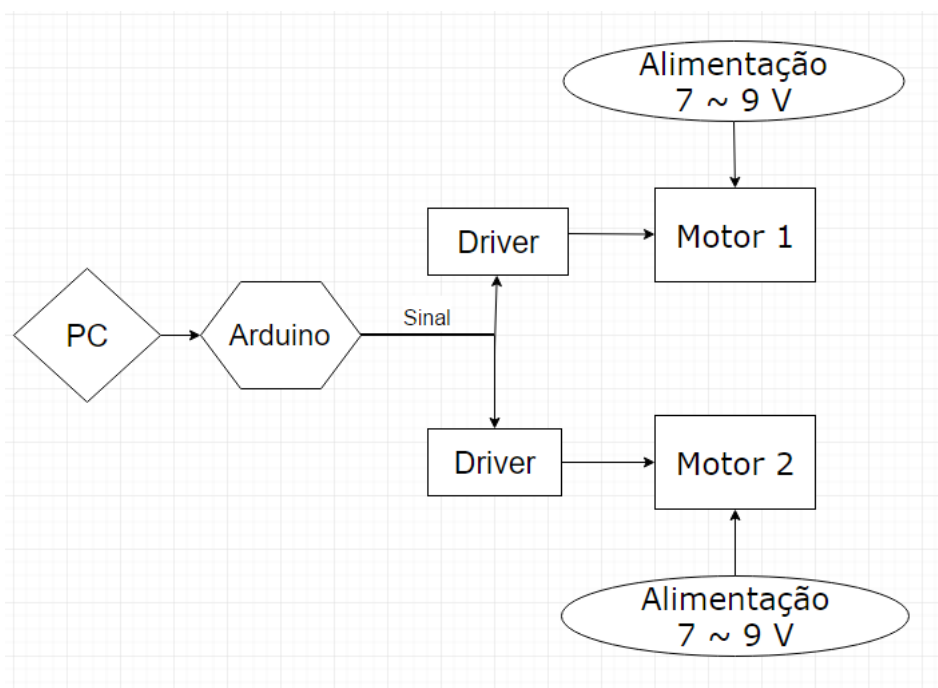


Fonte: Elaborado pelo autor

3.2.4 Sistema dos motores de passo completo

O sistema eletrônico completo, é alimentado por uma fonte de 5 V, ou por uma conexão USB, para alimentar o microcontrolador (Arduíno UNO), e ele é responsável pela alimentação do sistema completo. A fonte distribui 7 V para os motores e os *drivers* de funcionamento. Também é responsável pelo controle da frequência gerada. O *driver* (ULN2003) é responsável pelo controle da corrente de saída para os motores

Figura 17: Desenho do sistema elétrico dos motores da mesa (motores e controlador).



Fonte: Elaborada pelo Autor

3.2.5 Desenvolvimento dos circuitos eletrônicos

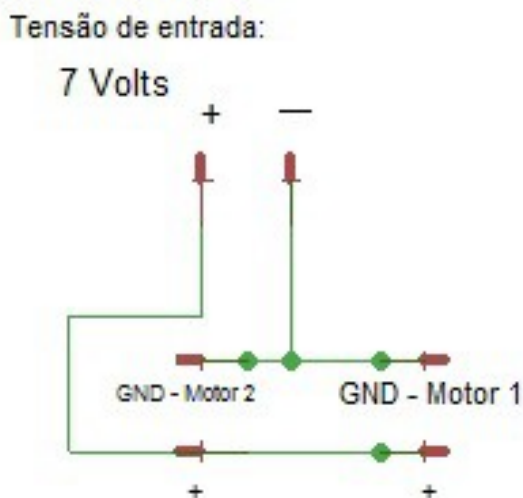
Foram construídos dois circuitos eletrônicos, um para alimentação externa do motor, isso por que o Arduino não transmite corrente suficiente para que o torque dos motores seja suficiente para movimentar a mesa (Figura 18), e outro responsável pelo circuito dos sensores fins de curso (Figural 19).

Para isso foi necessário:

- Elaborar um esquemático no software CAD;
- Impressão a laser do esquemático;
- Passar o esquemático para uma placa de fonolítico, com auxílio de um ferro quente;
- Colocar a placa em um recipiente com ácido percloroeto e aguardar a corrosão total das áreas não cobertas pelo esquemático;
- Limpeza da placa;
- Soldagem dos componentes;

O circuito responsável pela alimentação dos motores é composto apenas por uma entrada positiva (7~9 Volts) e o GND e duas saídas de tensão para os motores:

Figura 18: Esquemático do circuito eletrônico de alimentação dos motores de passo.



Fonte: Elaborado pelo autor

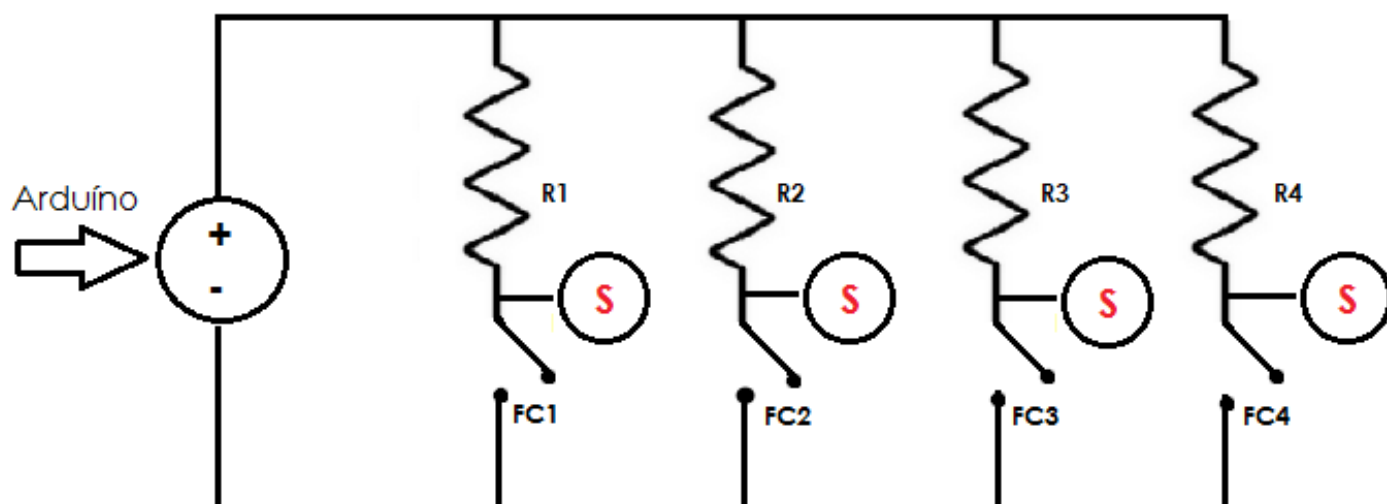
Figura 19: Circuito eletrônico de alimentação dos motores de passo.



Fonte: Elaborado pelo autor

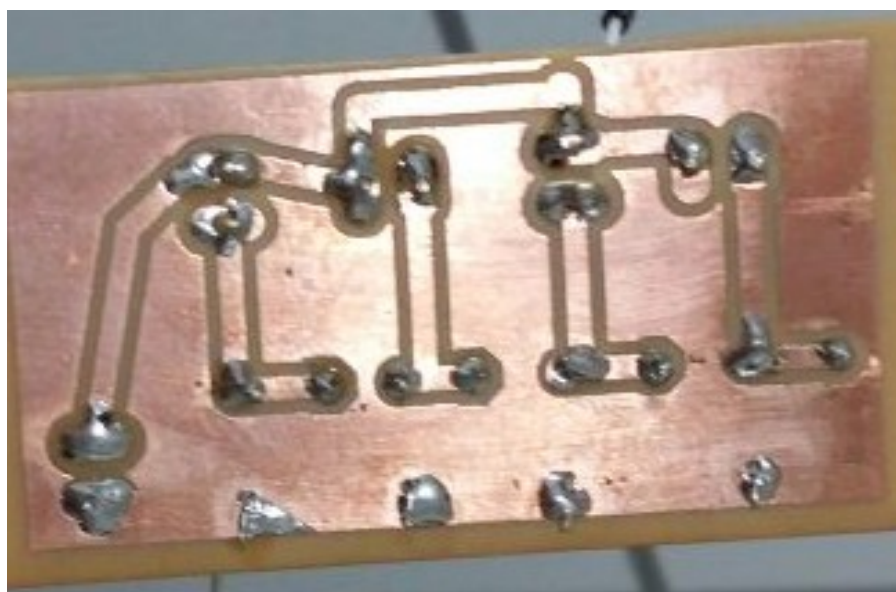
Já o circuito responsável pela alimentação e envio do sinal do fim de curso do Arduino, tinha quatro resistores (R1, R2, R3, R4) de 220 ohms, ligados aos sensores de fim de curso, a tensão de entrada era obtida pela tensão de saída do Arduino (5 Volts). E o sinal de saída do sensor (S) é enviado (*HIGH/LOW*), para uma das portas do Arduino.

Figura 20: Esquemático do circuito eletrônico dos sensores de fim de curso



Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 21: Circuito eletrônico dos sensores de fim de curso



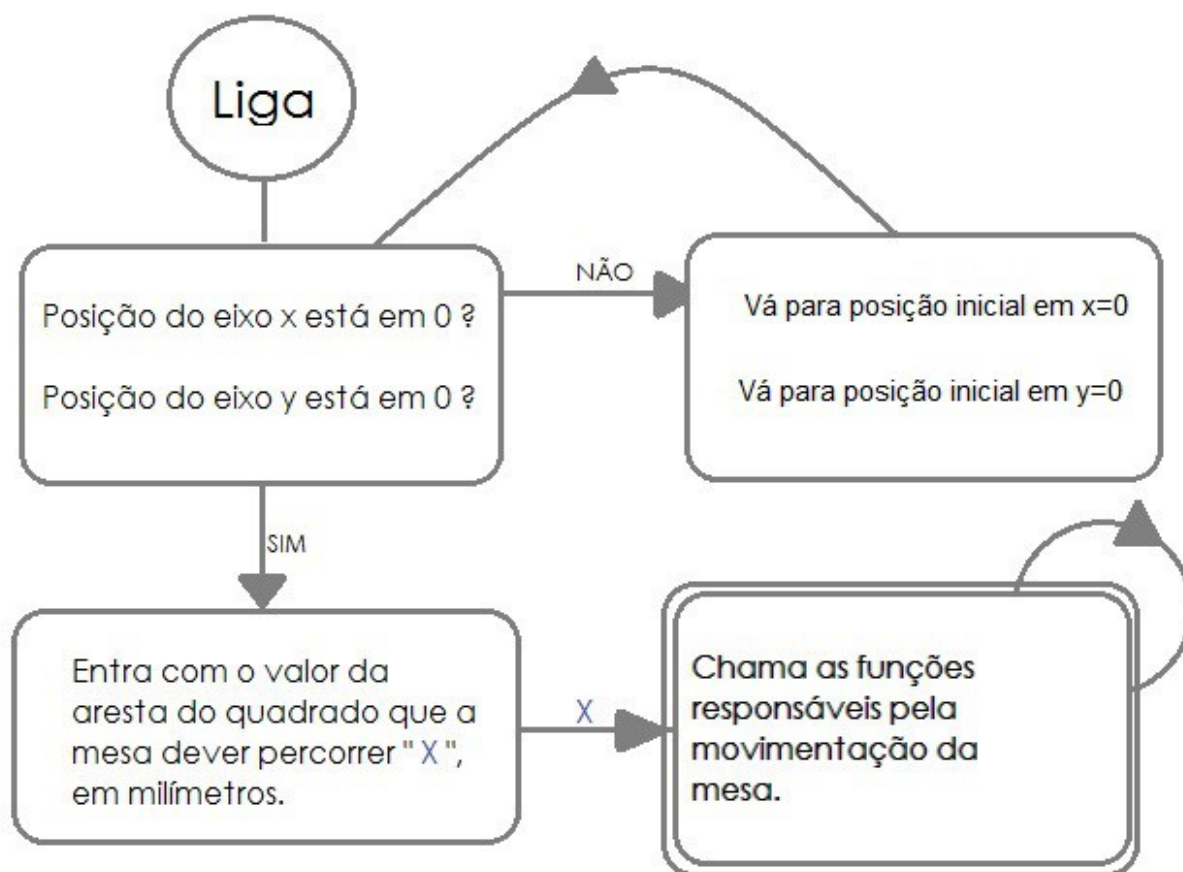
Fonte: Elaborado pelo autor

3.3 Desenvolvimento da lógica de controle

O protótipo é comandado por um microcontrolador Arduino UNO, responsável pelo controle de movimentação do motor e processamento dos dados enviados pelos sensores.

O algoritmo de movimentação da mesa tem o seguinte modelo:

Figura 22: Diagrama de blocos do controle do sistema



Fonte: Elaborado pelo autor

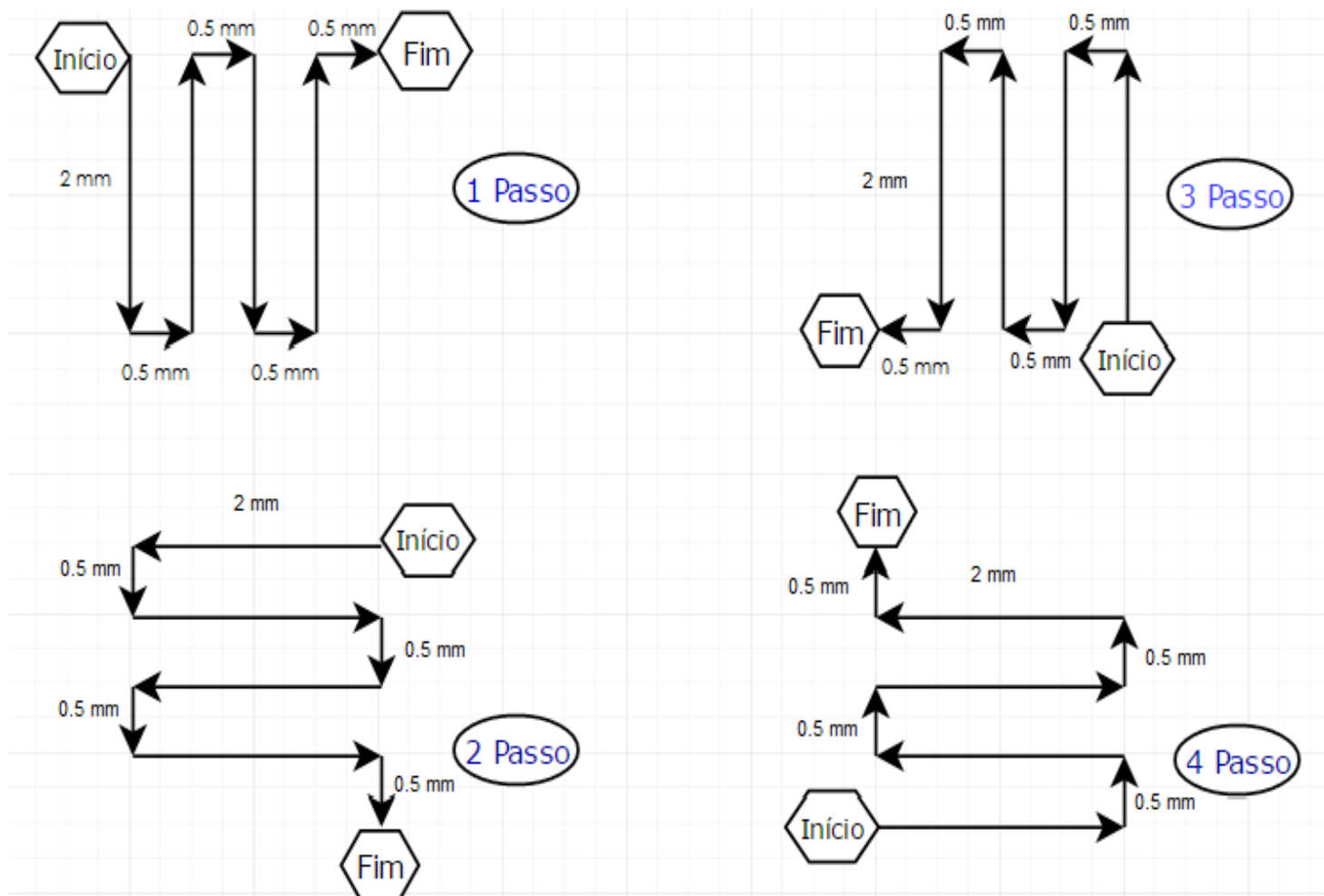
Após acionado, o sistema detecta se a mesa está na posição inicial, isso graças ao conjunto de sensores de fim de curso. Ele é um *switch* normalmente fechado que transmite um sinal "HIGH" quando não está pressionado, e assim a mesa não está na posição inicial. Existem dois, um no eixo X e um no eixo Y. O controlador lê as portas de entrada 6 e 7, caso ainda estejam recebendo um valor de tensão a mesa continua fora da posição inicial 0. Isso acontece até que ambos os sensores não estejam recebendo

tensão nenhuma, quando a entrada das portas 6 e 7 estiver em “LOW”.

Depois disso o algoritmo espera até o operador digitar um valor em milímetros, para que possa dar início a movimentação.

A movimentação da mesa segue o seguinte formato, para um exemplo de um quadrado de 2 milímetros.:

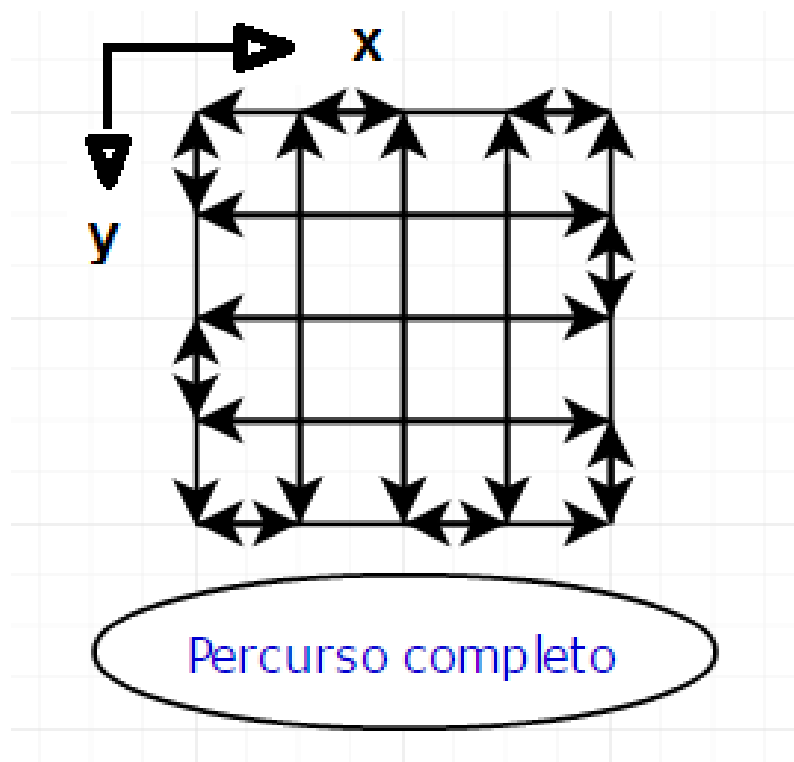
Figura 23: Percurso realizado pela mesa (Quadrado de aresta de 2 milímetros)



Fonte: Elaborado pelo autor

O algoritmo desenvolvido executa quatro passos e volta ao início do sistema e repete isso até o usuário pedir para parar, realizando um movimento no formato de uma “grade”. E percorrendo todo o quadrado de aresta determinada. As medidas do percurso serão realizadas com um páquimetro, da marca Mitutoyo com resolução 0,05 milímetros.

Figura 24: Imagem formada pelo percurso completo da mesa de coordenadas.



Fonte: Elaborado pelo autor

4 Resultados e Discussões

Após a montagem do protótipo, foram realizados alguns ensaio para a verificação de algumas características do equipamento e validação de alguns parâmetros, como: velocidade de locomoção do eixo, controle fiel do movimento em uma dimensão, percurso pré determinado em duas dimensões.

4.1 Velocidade aproximada do eixo

Primeiramente foi feito o ensaio do tempo de movimentação do eixo, e de acordo com a cronometragem foram obtidos os seguintes resultados (Tabela 4,5,6,7):

O ensaio foi feito no seguinte formato: Esperava-se a mesa ir para a origem, e em seguida era enviado um sinal para que ela fizesse um determinado percurso, no caso 1, 5, 9 milímetros, e o tempo que ela gastava era cronometrado, isso cinco vezes cada parâmetro.

Tabela 4: Tempo gasto no percurso de 1 milímetro, em segundos;

1 milímetro	1º	2º	3º	4º	5º	Média	Desvio Padrão
Eixo X (da esquerda para direita)	2,86	2,68	2,50	2,33	2,63	2,60	0,1986
Eixo X (da direita para esquerda)	2,56	2,55	2,81	2,63	2,55	2,62	0,1113
Eixo Y (de baixo para cima)	2,64	2,31	2,46	2,54	2,54	2,49	0,1229
Eixo Y (de cima para baixo)	2,68	2,64	2,43	2,59	2,50	2,56	0,1023

Fonte: Elaborado pelo autor

Tabela 5: Tempo gasto no percurso de 5 milímetros, em segundos;

5 milímetros	1º	2º	3º	4º	5º	Média	Desvio Padrão
Eixo X (da esquerda para direita)	12,34	12,48	12,31	12,49	12,49	12,42	0,0892
Eixo X (da direita para esquerda)	12,14	11,92	12,11	12,28	12,12	12,11	0,1283
Eixo Y (de baixo para cima)	12,40	12,61	12,39	12,60	12,47	12,49	0,1059
Eixo Y (de cima para baixo)	12,04	12,14	12,26	12,08	12,08	12,12	0,0860

Fonte: Elaborado pelo autor

Tabela 6: Tempo gasto no percurso de 9 milímetros, em segundos;

9 milímetros	1º	2º	3º	4º	5º	Média	Desvio Padrão
Eixo X (da esquerda para direita)	22,10	22,02	22,08	22,12	22,06	22,06	0,0509
Eixo X (da direita para esquerda)	22,19	22,17	22,21	22,07	22,16	22,16	0,0538
Eixo Y (de baixo para cima)	22,03	21,93	21,99	22,09	22,86	22,18	0,1479
Eixo Y (de cima para baixo)	22,02	22,19	22,09	22,03	22,00	22,06	0,0770

Fonte: Elaborado pelo autor

Após a cronometragem dos tempos gastos em cada percurso pré-determinado, foi feita uma média de tempos gastos de cada percurso.

Tabela 7: Média total dos tempos gastos no percursos pré-definidos, em segundos.

	1 milímetro	5 milímetros	9 milímetros
Média de tempo total:	2,56	12,28	22,11

Fonte: Elaborado pelo autor

E em seguida foram feitos os cálculos das velocidades dos motores de acordo com a equação 6:

$$v = \frac{\Delta s}{\Delta t} \quad (\text{Eq. 6})$$

Então os motores tiveram uma velocidade média de aproximadamente:

$$V_{\text{média 1milímetro}} = 3,9 \times 10^{-4} \text{ m/s}$$

$$V_{\text{média 5milímetros}} = 4,07 \times 10^{-4} \text{ m/s}$$

$$V_{\text{média 9milímetro}} = 4,07 \times 10^{-4} \text{ m/s}$$

E assim, a velocidade média do movimento da mesa é de aproximadamente:

$$V_{\text{média da mesa por movimento}} = 4,01 \times 10^{-4} \text{ m/s}$$

ou

$$V_{\text{média da mesa por movimento}} = 0,401 \text{ mm/s.}$$

O ensaio realizado nos mostrou que a velocidade da mesa é constante, e que promoverá um tratamento uniforme em todos os pontos da amostra.

4.2 Precisão do movimento em uma dimensão

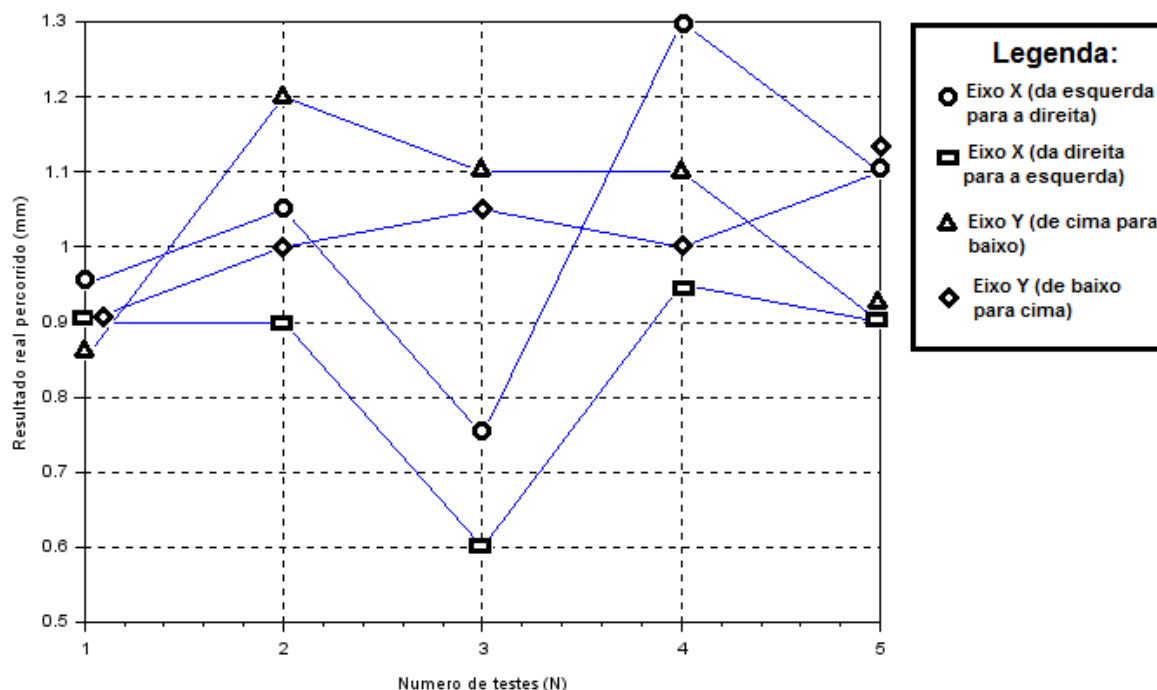
Novos ensaios foram feitos, que comparam a exatidão do projeto, quando for enviado um sinal para o eixo andar 1 milímetro, qual valor real seja percorrido. Esses valores foram obtidos com a utilização de paquímetros de resolução de 0,05 milímetro, da marca Mitutoyo, calibrado em 7 de janeiro de 2014 pelo Laboratório de Metrologia (LabMetrol) da UFRN, com código de calibração: 019-2014. E foram obtidos os seguintes resultados:

Tabela 8: Precisão para um percurso de 1 milímetro.

1 milímetro	1º	2º	3º	4º	5º	Média	Desvio Padrão
Eixo X (da esquerda para direita)	0,95	1,05	0,75	1,30	1,10	1,03	0,201
Eixo X (da direita para esquerda)	0,90	0,90	0,60	0,95	0,90	0,85	0,141
Eixo Y (de cima para baixo)	0,85	1,20	1,10	1,10	0,90	1,03	0,148
Eixo Y (de baixo para cima)	0,90	1,00	1,05	1,00	1,10	1,01	0,074

Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 25: Gráfico (Número de ensaio x Valor real percorrido) para 1 milímetro.



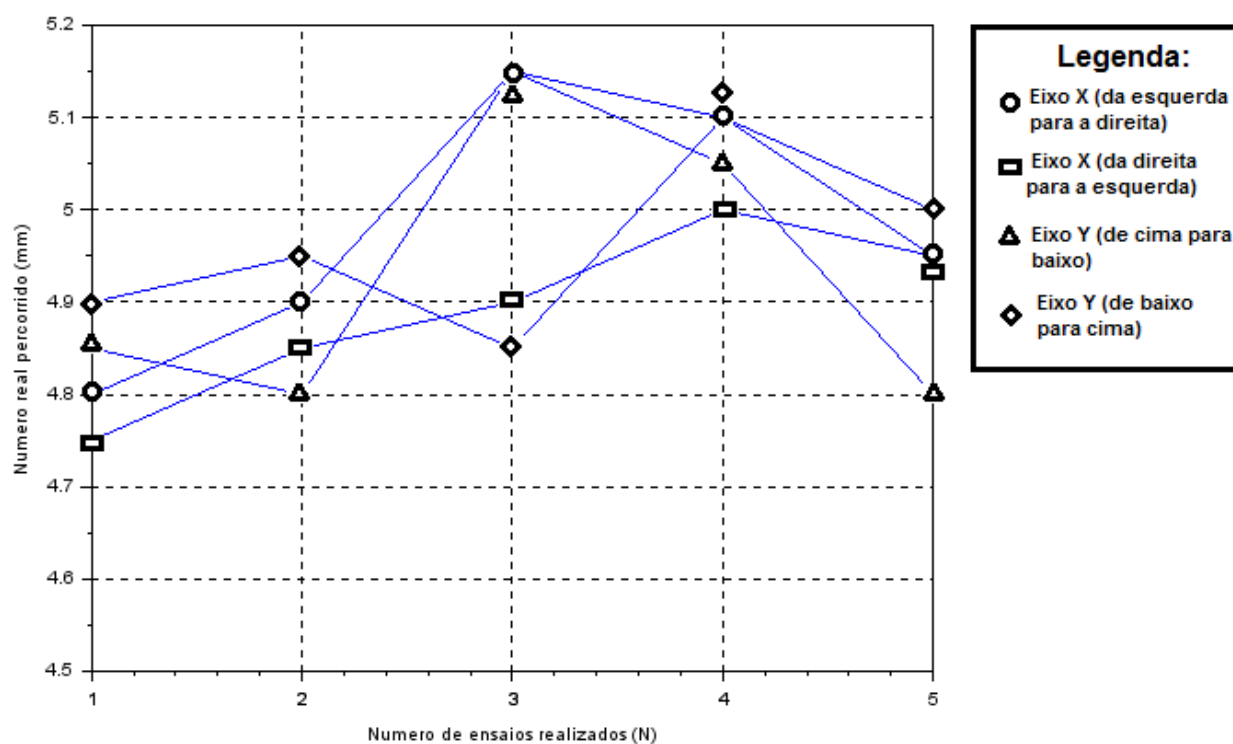
Fonte: Elaborada pelo autor

Tabela 9: Precisão para um percurso de 5 milímetros.

5 milímetro	1º	2º	3º	4º	5º	Média	Desvio Padrão
Eixo X (da esquerda para direita)	4,80	4,90	5,15	5,10	4,95	4,98	0,020
Eixo X (da direita para esquerda)	4,75	4,85	4,90	5,00	4,95	4,89	0,096
Eixo Y (de cima para baixo)	4,85	4,80	5,15	5,05	4,80	4,95	0,145
Eixo Y (de baixo para cima)	4,90	4,95	4,85	5,10	5,00	4,96	0,096

Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 26: Gráfico (Número de ensaio x Valor real percorrido) para 5 milímetro.



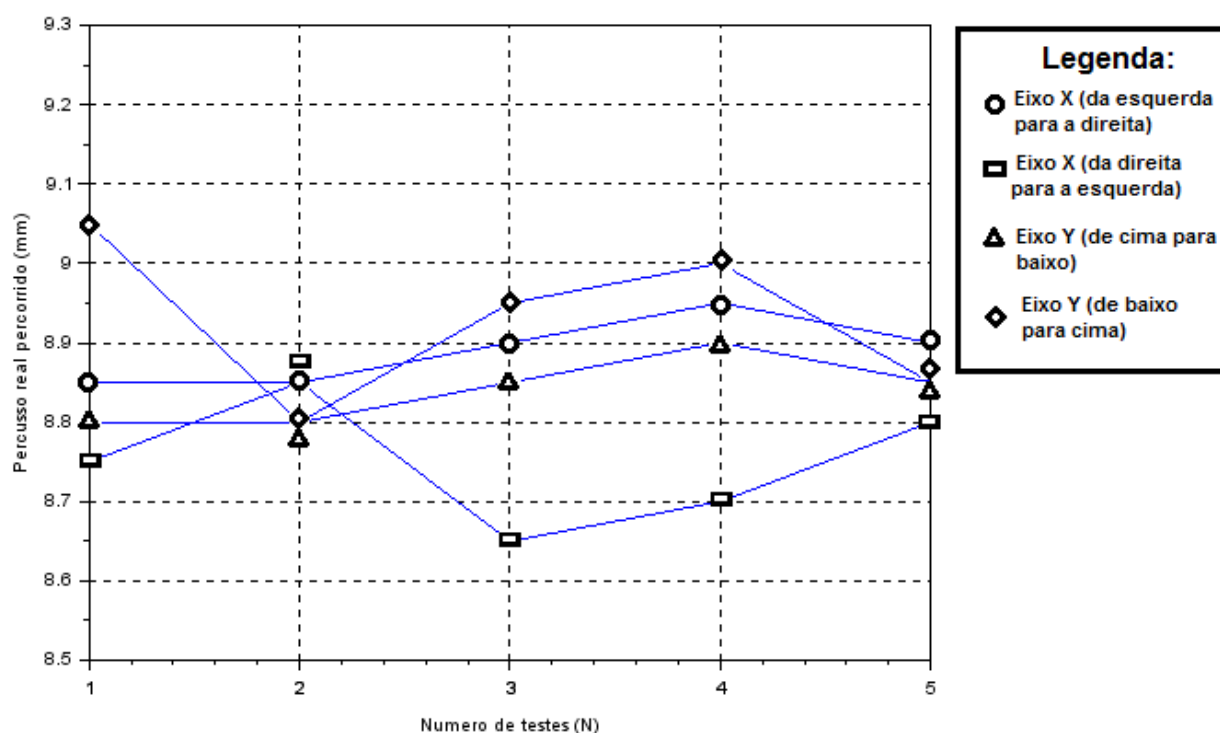
Fonte: Elaborado pelo autor

Tabela 10: Precisão para um percurso de 9 milímetros.

9 milímetro	1º	2º	3º	4º	5º	Média	Desvio Padrão
Eixo X (da esquerda para direita)	8,85	8,85	8,90	8,95	8,90	8,89	0,041
Eixo X (da direita para esquerda)	8,75	8,85	8,65	8,70	8,80	8,75	0,006
Eixo Y (de cima para baixo)	8,80	8,80	8,95	9,00	8,85	8,88	0,090
Eixo Y (de baixo para cima)	9,05	8,80	8,85	8,90	8,85	8,89	0,096

Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 27: Gráfico (Número de ensaio x Valor real percorrido) para 9 milímetro.



Fonte: Elaborado pelo autor

Baseado nos resultados das Tabelas 8, 9, 10 e Figuras 25, 26, 27, observa-se que o motor faz um movimento correto e pré-determinado (1, 5, 9 milímetros), com uma erro insignificante, para os parâmetros do jato de plasma (raio do jato).

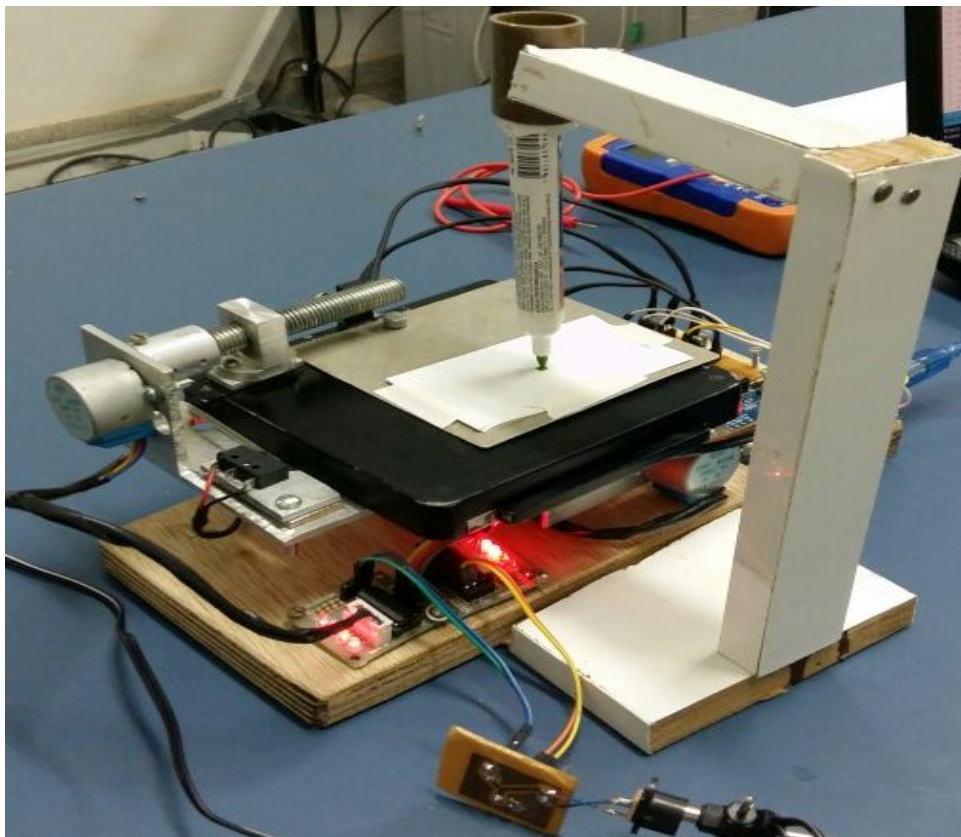
O porta amostra automatizado apresentou resultados de precisão de movimento próximos ao esperado, e observou-se que o movimento pré determinado e realizado por este (porta amostra automatizado) promoverá uma melhor qualidade nos tratamentos de superfície de materiais biocompatíveis.

4.3. Percurso pré determinado em duas dimensões

Para realizar os ensaios de percurso completo em duas dimensões fixou-se a uma base de madeira uma caneta piloto. Foi fixado no porta amostra automatizado uma folha de papel em contato com a ponta da caneta. Promoveu-se o movimento do percurso através de um computador, utilizando a IDE do Arduino. O motor do porta amostra automatizado realizou os movimentos em duas dimensões pré determinadas. Ao final do ensaio realizou-se as medições das dimensões utilizando um paquímetro de resolução de 0,05 milímetro, calibrado pelo Laboratório de Metrologia (LabMetrol) da UFRN, com código de calibração: 019-2014.

Primeiramente foi visto que o porta amostra automatizado realizou o percurso completo pré-determinado (de grade), conforme a Figura 24. E suas dimensões foram próximas ao esperado, de acordo com as imagens 28 a 44, com um erro mínimo.

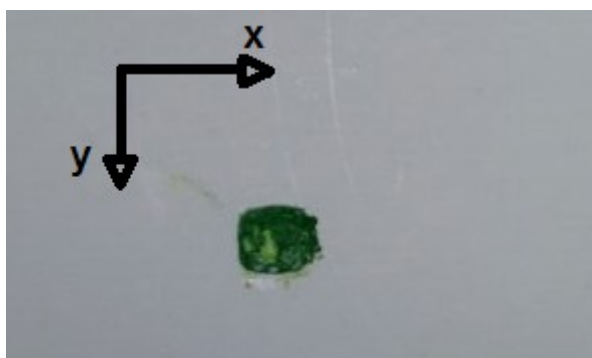
Figura 28: Estrutura do ensaio de percurso completo da mesa.



Fonte: Elaborado pelo autor.

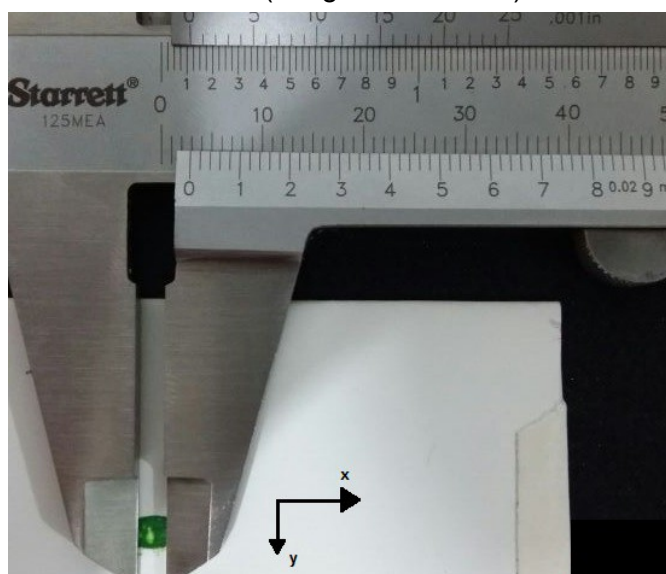
Ensaio para o percurso de 2 milímetros

Figura 29: Resultado do ensaio de percurso completo de quadrado de lado 2 milímetros.



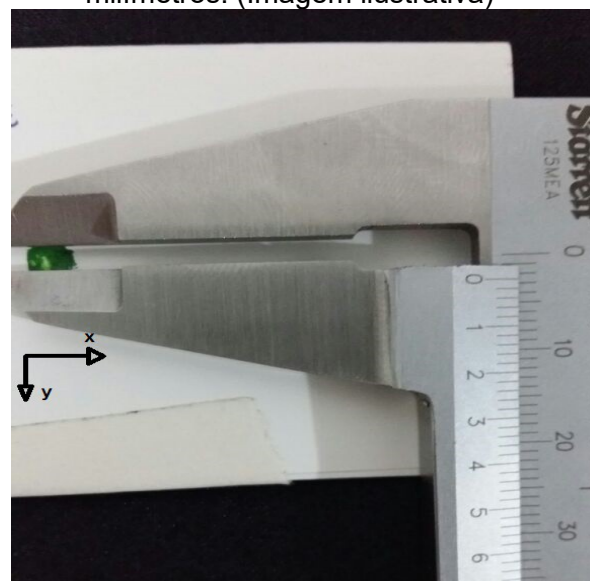
Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 30: Resultado da medição do eixo X do ensaio de percurso completo de um quadrado de lado de 2 milímetros. (Imagem Ilustrativa)



Fonte: Elaborada pelo autor

Figura 31: Resultado da medição do eixo Y do ensaio de percurso completo de um quadrado de lado de 2 milímetros. (Imagem ilustrativa)

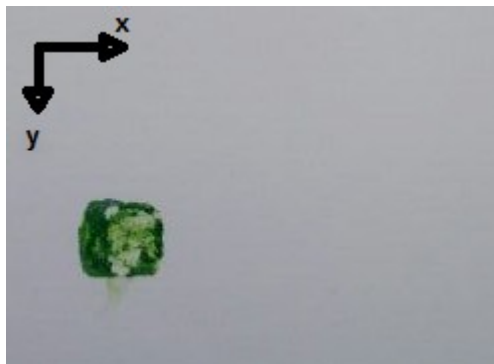


Fonte: Elaborado pelo autor

Os ensaios de percurso completo de 2 milímetros se mostraram positivos apresentando uma imagem no formato de grade, com aproximadamente 2,50 milímetros de aresta.

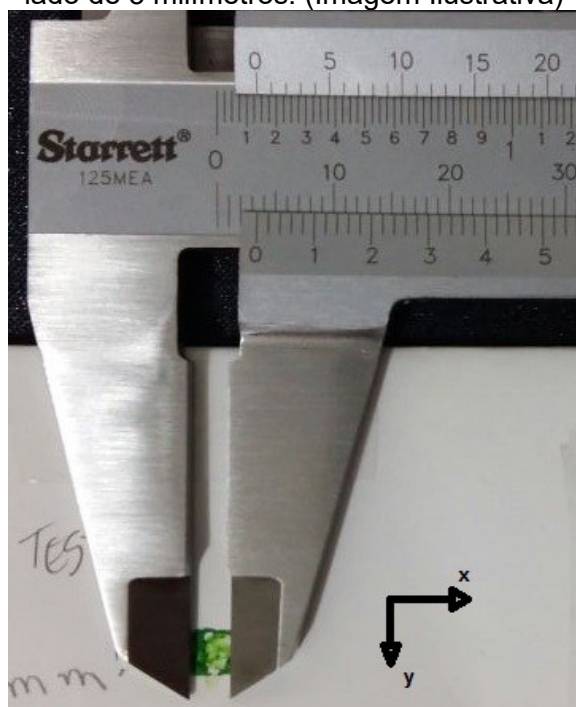
Ensaio para o percurso de 3 milímetros

Figura 32: Resultado do ensaio de percurso completo de quadrado de lado 3 milímetros.



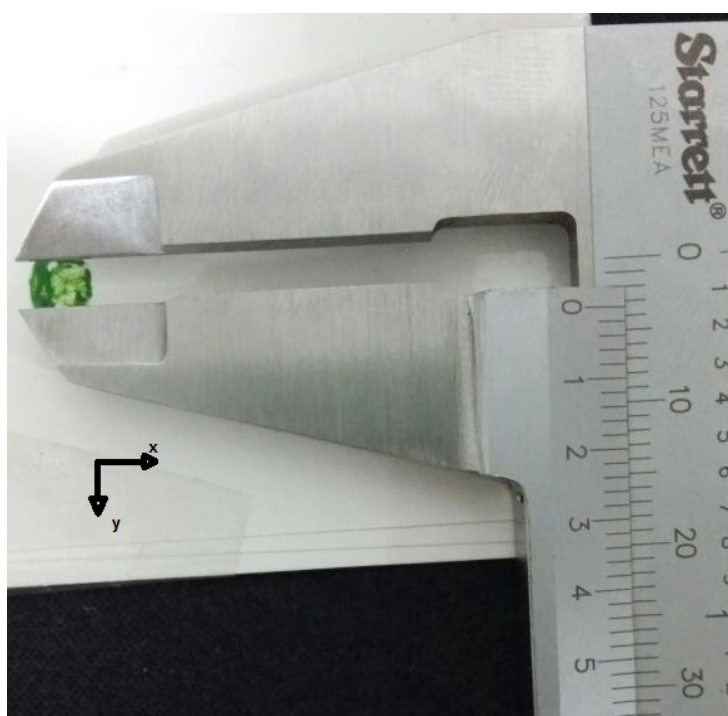
Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 33: Resultado da medição do eixo X do ensaio de percurso completo de um quadrado de lado de 3 milímetros. (Imagem Ilustrativa)



Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 34: Resultado da medição do eixo Y do ensaio de percurso completo de um quadrado de lado de 3 milímetros. (Imagem Ilustrativa)



Fonte: Elaborado pelo autor

Os ensaios de percurso completo de 3 milímetros, também movimentou-se de modo satisfatórios, percorrendo o formato de grade com cerca de 3,5 milímetros.

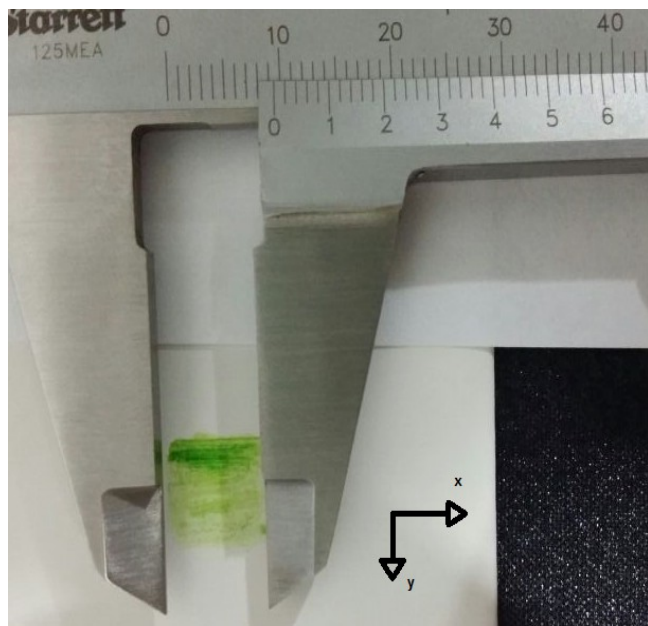
Ensaio para o percurso de 9 milímetros

Figura 35: Resultado do ensaio de percurso completo de quadrado de lado 9 milímetros.



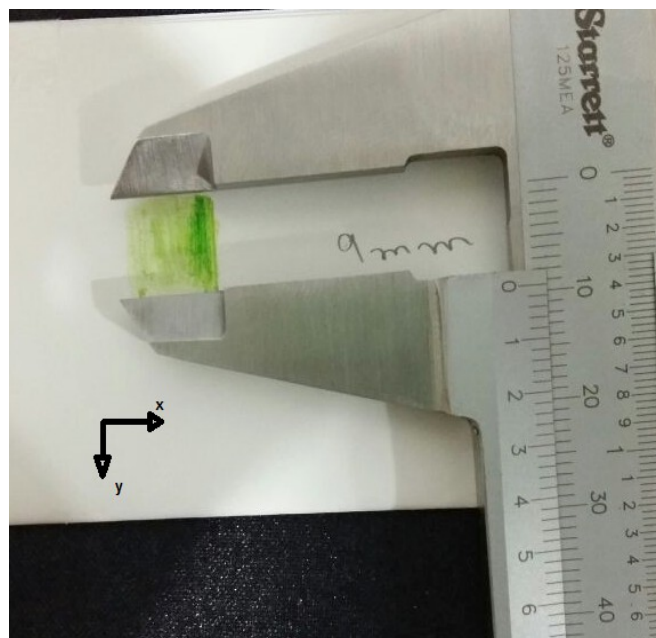
Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 36: Resultado da medição do eixo X do ensaio de percurso completo de um quadrado de lado de 9 milímetros. (Imagem Ilustrativa)



Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 37: Resultado da medição do eixo Y do ensaio de percurso completo de um quadrado de lado de 9 milímetros. (Imagem Ilustrativa)

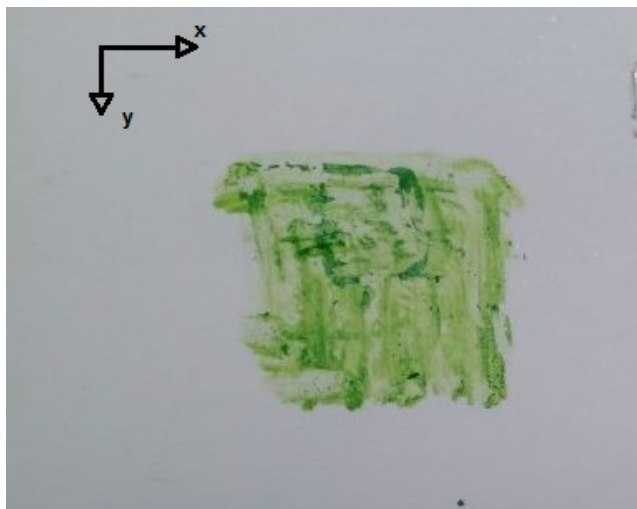


Fonte: Elaborado pelo autor

Os resultados das medições do ensaio de percurso completo de 9 milímetros foram de aproximadamente 9,4 milímetros.

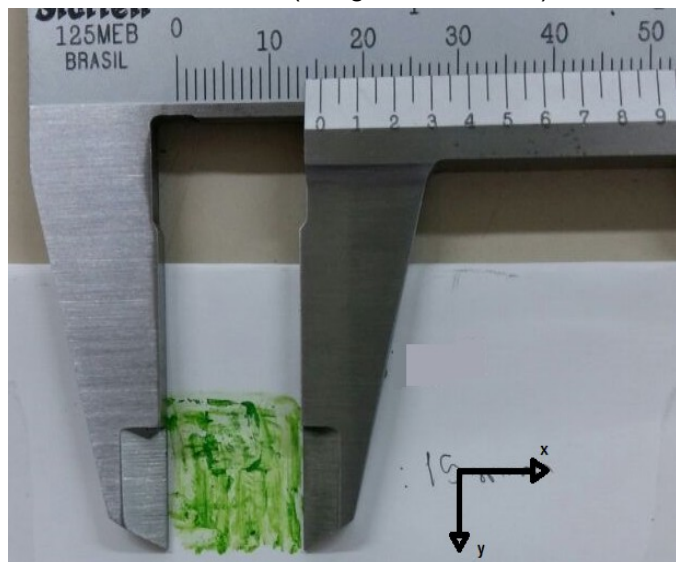
Ensaio para o percurso de 15 milímetros

Figura 38: Resultado do ensaio de percurso completo de quadrado de lado 15 milímetros



Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 39: Resultado da medição do eixo X do ensaio de percurso completo de um quadrado de lado de 15 milímetros. (Imagem Ilustrativa)



Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 40: Resultado da medição do eixo Y do ensaio de percurso completo de um quadrado de lado de 15 milímetros. (Imagem Ilustrativa)



Fonte: Elaborado pelo autor

Os ensaios de percurso completo de 15 milímetros apresentaram os resultados mais próximos ao esperado: 15,05 milímetros.

Como visto nos ensaios, o porta amostra automatizado foi eficaz. Em cada ensaio realizado foram obtidos resultados precisos (comparação entre o resultado esperado Figura 24 e os ensaio para percurso completo Figuras 29 a 40). Os resultados foram alcançados devido à união da velocidade constante dos motores (resultados dos ensaios de tempo, tópico 4.1) e a precisão do movimento em uma dimensão (resultados dos ensaios de precisão do movimento em uma dimensão, tópico 4.2).

Com o sucesso dos ensaios, o porta amostra automatizado o mesmo proporcionará melhores resultados no tratamento de superfícies de materiais biocompatíveis.

5 Conclusões

Fundamentado no que foi exposto, podemos concluir que foi projetado e construído um porta amostra automatizado contendo uma mesa de coordenadas para ser acoplado a um equipamento gerador de jato de plasma DBD. Sua movimentação é baseada em motores elétricos e os ensaios realizados para medição de velocidade nos mostraram que ambos (eixo x e eixo y) tem velocidades constantes, dando uniformidade ao movimento da mesa. O equipamento também mostrou-se eficaz na precisão do movimento pré-determinado, gerando um erro mínimo. Então o porta amostra automatizado promoverá um tratamento mais eficiente em todos os parâmetros, quando relacionados a tratamento de superfície de materiais biocompatíveis, além de promover a dispensa o operador.

Trabalhos Futuros

1. Desenvolver mais um grau de liberdade para o equipamento, um eixo Z;
2. Desenvolvimento de uma interface para melhor controle do dispositivo, intuitiva e mais prática;
3. Substituição dos motores de passo por motores com um torque maior que os que foram usados;
4. Desenvolvimento de um controle que possa se locomover em outras formas trajetórias (círculos, elipses, etc.);

6 Referências

ALEXANDROV, S. E.; HITCHMAN, M. L. **Chemical Vapor Deposition Enhanced by Atmospheric Pressure Non-thermal Non-equilibrium Plasmas. Chemical Vapor Deposition**, v. 11, n. 11-12, p. 457-468, 2005. ISSN 1521-3862. Disponível em: <<http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/cvde.200500026/abstract>>.Disponível em: <<http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/cvde.200500026/pdf>>.

ALVES JR, C. **Nitretação em plasma pulsado: equipamento, preparação e caracterização da camadas nitretadas. 1995.** (Tese de Doutorado). Universidade Federal de São Carlos (UFSCar). São Paulo.

ALVES JR, C. et al. **Nitriding of titanium disks and industrial dental implants using hollow cathode discharge. Surface and Coating Technology**, v. 194, n. 2-3, p. 196-202, 2005. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0257897204009843>>.

TENDERO, C. et al. **Atmospheric pressure plasmas: A review.**v. 61, n. 1, p. 2–30, January 2006 2006. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.sab.2005.10.003>>.

LOVASCIO, S. **COLD PLASMA DEPOSITION OF ORGANOSILICON FILMS WITH DIFFERENT MONOMERS IN A DIELECTRIC-BARRIER DISCHARGE. 2010.** 133 Génie des procédés et Technologies Avancées, Università degli Studi di Bari

CONRADS, H.; SCHMIDT, M. **Plasma generation and plasma sources. Plasma Sources Science and Technology**, v. 9, n. 4, p. 441, 2000-10-31 2000. ISSN 0963-0252. Disponível em: <<http://iopscience.iop.org/0963-0252/9/4/301>>.Disponível em: <http://iopscience.iop.org/0963-0252/9/4/301/pdf/0963-0252_9_4_301.pdf>.

NAPARTOVICH, A. P. **Overview of Atmospheric Pressure Discharges Producing Nonthermal Plasma. Plasmas and Polymers**, v. 6, n. 1-2, p. 1-14, 2001. ISSN 1572-8978. Disponível em: <<http://link.springer.com/article/10.1023/A:1011313322430>>.

JARRIGE, J.; LAROUESSI, M.; KARAKAS, E. **Formation and dynamics of plasma bullets in a non-thermal plasma jet: influence of the high-voltage parameters on the plume characteristics.** *Plasma Sources Science and Technology*, v. 19, n. 6, p.

065005, 2010-10-29 2010. ISSN 0963-0252. Disponível em:

<<http://iopscience.iop.org/0963-0252/19/6/065005>>.Disponível em:

<http://iopscience.iop.org/0963-0252/19/6/065005/pdf/0963-0252_19_6_065005.pdf>.

LAROUESSI, M. **Low Temperature Plasma-Based Sterilization: Overview and State-of-the-Art.** *Plasma Processes and Polymers*, v. 2, n. 5, p. 391-400, 2005/06/14 2005. ISSN 1612-8869. Disponível em:

<<http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/ppap.200400078/abstract>>.Disponível em:

<<http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/ppap.200400078/pdf>>.

LAROUESSI, M.; AKAN, T. **Arc-Free Atmospheric Pressure Cold Plasma Jets: A Review.**

Plasma Processes and Polymers, v. 4, n. 9, 2007. Disponível em:

<<http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/ppap.200700066/pdf>>.

LAROUESSI, M.; LU, X. **Room-temperature atmospheric pressure plasma plume for biomedical applications.** *Applied Physics Letters*, v. 87, n. 11, p. 113902-3, 2005.

Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1063/1.2045549>>.

LAROUESSI, M. et al. **Power consideration in the pulsed dielectric barrier discharge at atmospheric pressure.** *Journal of Applied Physics*, v. 96, n. 5, p. 3028-3030, 2004.

Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1063/1.1777392>>.

KOGELSCHATZ, U.; ELIASSON, B.; EGLI, W. **Dielectric-Barrier Discharges. Principle and Applications** | *J. Phys. IV France*. 1997. Disponível em:

<[http://jp4.journaldephysique.org/index.php?](http://jp4.journaldephysique.org/index.php?option=com_article&access=standard&Itemid=129&url=/articles/jp4/pdf/1997/04/jp4199707C405.pdf)

[option=com_article&access=standard&Itemid=129&url=/articles/jp4/pdf/1997/04/jp4199707C405.pdf](http://jp4.journaldephysique.org/index.php?option=com_article&access=standard&Itemid=129&url=/articles/jp4/pdf/1997/04/jp4199707C405.pdf)>.

NASCIMENTO NETO, ARLINDO BALBINO DO. Desenho e construção de um protótipo gerador de jato de plasma frio à pressão atmosférica para aplicações biomédicas / Arlindo Balbino do Nascimento Neto.— Natal, RN, 2013. 77 f. : il.

DE LIMA, FABIO SOARES. A Automação e sua evolução, 2003. Disponível em:
<http://www.dca.ufrn.br/~affonso/FTP/DCA447/trabalho1/trabalho1_16.pdf>