



**Universidade Federal da Paraíba
Centro de Energias Alternativas e Renováveis
Departamento de Engenharia Elétrica**

IGOR SOUZA VAZ

**DESENVOLVIMENTO DE CAIXA COMPORTAMENTAL
PARA ROEDORES DO TIPO LABIRINTO EM T**

**Paraíba - PB
Junho - 2018**

IGOR SOUZA VAZ

Trabalho de Conclusão De Curso do Curso de Engenharia Elétrica da Universidade Federal da Paraíba como parte dos requisitos necessários para a obtenção do título de Engenheiro Eletricista.

**Paraíba - PB
Junho - 2018**

VAZ, Igor S.

Desenvolvimento de Caixa Comportamental Para Roedores do Tipo Labirinto em T.

61 folhas.

Orientadora: Prof. Dr. Thaís Gaudencio do Rêgo

Universidade Federal da Paraíba, 2018

1. Caixa Comportamental. 2. Labirinto em T. 3. Neuroengenharia

IGOR SOUZA VAZ

**Desenvolvimento de Caixa Comportamental Para Roedores do Tipo
Labirinto em T**

**Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Coordenação do Curso
de Engenharia Elétrica da Universidade Federal da Paraíba como parte
dos requisitos necessários para a obtenção do título de Engenheiro
Eletricista.**

Aprovado por:

**Prof. Dr. Thaís Gaudencio do Rêgo (Orientadora)
Universidade Federal da Paraíba**

**Prof. Dr. Alexsandro José Virgínio dos Santos (Avaliador)
Universidade Federal da Paraíba**

**Prof. Dr. Prof. Dr. Juan Moises Mauricio Villanueva (Avaliador)
Universidade Federal da Paraíba**

**Paraíba – PB
Junho – 2018**

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus pais, que me deram apoio e incentivo nas horas difíceis. Sou grato também aos meus amigos, que não me deixaram ser vencido pelo cansaço. Obrigado especialmente para Felipe Alves, por ter me convidado a participar de sua pesquisa e me receber em sua casa nos dias que precisei ficar em Natal. Agradeço a minha namorada Thereza, que me estimulou durante todo o tempo e compreendeu minha ausência nos dias longe. Meus agradecimentos aos meus irmãos, que contribuíram de forma financeira para que eu pudesse me deslocar para Macaíba, onde desenvolvi o projeto deste trabalho.

Sou eternamente grato ao professor André Salles, pela oportunidade e pela orientação neste trabalho. Também sou grato a professora Thaís Gaudêncio, pela orientação deste trabalho, e ao professor José Maurício, que me deu boas dicas para uma das tarefas realizadas.

Agradeço, profundamente, a Felipe e Marcio, meus grandes amigos, por terem me acompanhado em algumas das vezes que me desloquei para Macaíba, tornando a viagem menos desgastante.

Agradeço, por fim, a todas as pessoas que, mesmo de maneira indireta, estiveram presentes na minha vida durante esse tempo e torceram pelo meu sucesso. A todos, o meu muito obrigado!

“Eu não creio que exista algo mais emocionante para o coração humano do que a emoção sentida pelo inventor quando ele vê alguma criação da mente se tornando algo de sucesso.

Essas emoções fazem o homem esquecer comida, sono, amigos, amor, tudo. ”

(Nicola Tesla)

RESUMO

Labirintos em T (*T-Maze*) são caixas comportamentais para roedores, amplamente utilizados pela comunidade científica para estudos de memória e aprendizado. Neste trabalho foi desenvolvido um *T-Maze* com um sistema de recompensas automatizado, que fornece micro doses de água de forma controlada para o roedor, quando o mesmo acerta a tarefa proposta pelo experimento. Para isto, foram utilizados atuadores e sensores de baixo custo; todos controlados utilizando a plataforma Arduino. A estrutura do labirinto e modelagem em 3D do sistema de recompensas foram elaboradas utilizando o software de desenho SketchUp. O objetivo desse projeto é desenvolver um Labirinto em T *open-hardware*, que possa ser reproduzido por outros centros de pesquisa utilizando apenas usinagem simples e impressão 3D.

Palavras-Chaves: Caixa comportamental. Labirinto em T. Neuroengenharia.

ABSTRACT

T-mazes are behavioral boxes for rodents, widely used by the scientific community for memory and learning studies. In this work, a T-Maze was developed containing an automated rewards system that provides micro doses of water to the rodent in a controlled manner, when it gets right the task proposed by the experiment. For this, low cost sensors and actuators were used; all controlled using the Arduino platform. The labyrinth structure and 3D modeling of the rewards system were developed using SketchUp drawing software. The goal of this project is to develop an open-hardware T-maze, which can be replicated by other research centers using only simple machining and 3D printing.

Keywords: Behavioral box. T-Maze. Neuroengineering.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Motor de imã permanente com duas fases.....	2
Figura 2 - Princípio de funcionamento do motor de imã permanente.	3
Figura 3 - Motor de relutância variável.....	4
Figura 4 - Princípio de funcionamento de um motor de relutância variável.	4
Figura 5 - Eixo de um motor híbrido.....	5
Figura 6 - Estator de um motor de passo híbrido.	5
Figura 7 - Organização interna de um motor unipolar.	6
Figura 8 - Organização interna de um motor bipolar.	6
Figura 9 - Mecanismos internos de um servo motor C.C.....	7
Figura 10 - Servo motor desmontado.	8
Figura 11 - Diagrama de blocos do sistema de um Servo-motor.	8
Figura 12 - Posicionamento do motor de acordo com a largura de pulso aplicada.	9
Figura 13 - Sensor óptico por retroreflexão.	10
Figura 14 - Sensor óptico por transmissão.	10
Figura 15 - Efeito piezoelétrico criando onda sonora.	11
Figura 16 - Princípio de funcionamento de um buzzer eletromagnético.....	11
Figura 17 - Diagrama de blocos de um sistema de controle digital.	12
Figura 18 - Labirinto em T.	14
Figura 19 - Exemplo de tarefa em um T-Maze.	14
Figura 20 - Partes de uma bomba de seringa.....	16
Figura 21 - Roedor interagindo com um Nose-Poke.....	16
Figura 22 - Arduino Mega 2560.....	18
Figura 23 - Motor de passo 28BYJ-48.	20
Figura 24 - Componentes do motor de passo 28BYJ - 48.....	20
Figura 25 - Módulo com o CI ULN2003.....	21
Figura 26 - Um par Darlington.	21
Figura 27 - Sensor infravermelho HD-DS25CM-3MM.....	22
Figura 28 - Buzzer CET-12A3.5.	23
Figura 29 - Micro servo 9g SG90.....	23
Figura 35 - Barra rosqueada	26
Figura 36 - Seringa de 20 ml utilizada.	26

Figura 37 - Sistema móvel da Bomba de Seringa projetado.	27
Figura 38 - Roedor com Nose-Poke.	27
Figura 39 - Vista superior com portas removíveis em destaque na cor roxa.....	28
Figura 40 - Configuração do labirinto para experimento 1.	29
Figura 41 - Diagrama de funcionamento de um ensaio de experimento.	29
Figura 42 - Configuração do labirinto para experimento 2.	30
Figura 43 - Configuração do labirinto para experimento 3.	30
Figura 44 - Dimensões do Labirinto em T projetado.	31
Figura 45 - Resultado da estrutura em acrílico.....	32
Figura 46 - Bomba de seringa projetada.....	32
Figura 47 - Conexão dos elementos móveis da bomba.	33
Figura 48 - Componentes da bomba de seringa.	33
Figura 49 - Partes da bomba de seringa a serem impressas em 3D.....	34
Figura 50 - Resultado da bomba de seringa.	34
Figura 51 - 2 tipos de <i>Nose-Poke</i> projetados (menor tamanho à esquerda e maior tamanho à direita).....	35
Figura 52 - Visão interna do maior <i>Nose-Poke</i>	35
Figura 53 - <i>Nose-Poke</i> com escotilha.....	36
Figura 54 - <i>Nose-Poke</i> menor.....	36
Figura 55- <i>Nose-Poke</i> maior para sistema de recompensa.....	37
Figura 56 - Vista lateral direita.....	37
Figura 57 - Vista lateral esquerda posterior.....	38
Figura 58 - Labirinto em T vendido pela empresa MazeEngineers com valor de \$1390.....	39
Figura 59 - Labirinto em T vendido pela empresa Stoelting com valor de \$1295.....	39
Figura 60 - Bomba de Seringa Harvard Model 11 Plus 70-2209, encontrada em média por R\$ 2500.	40
Figura 61 - Bomba de Seringa KDS KD Scientific LEGATO 100, encontrada com valores médios de R\$ 4600.	41
Figura 62 - <i>Nose-Poke</i> Modelo 80116ORM, encontrado com custo de \$350.....	41

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Principais especificações do microcontrolador ATmega2560.	19
Tabela 2 - Principais especificações do motor de passo 28BYJ - 48.	20
Tabela 3 - Especificações do sensor infravermelho utilizado.	22
Tabela 4 - Principais especificações do buzzer CEM-1205C.....	23
Tabela 5 - Principais especificações do servo SG90.	24
Tabela 6 - Custo dos componentes do labirinto em T.	40

LISTA DE ABREVIATURA E SIGLAS

CPU	Central Process Unit
EEPROM	Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory
ICSP	In-Circuit Serial Programming
IDE	Integrated Development Environment
IMD	Instituto Metr�pole Digital
LED	Light Emitting Diode
PWM	Pulse Width Modulation
RAM	Random Access Memory
ROM	Read-Only Memory
SRAM	Static Random Access Memory
T-MAZE	Labirinto em T
UART	Universal Asynchronous Receiver/Transmitter
UFRN	Universidade Federal do Rio Grande do Norte
USB	Universal Serial Bus

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	1
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	2
2.1	Motor de passo	2
2.1.1	Motor Imã Permanente	2
2.1.2	Motor de Relutância Variável.....	3
2.1.3	Motor Híbrido.....	4
2.1.4	Motor Unipolar	6
2.1.5	Motor Bipolar	6
2.2	Servo motor	7
2.3	Sensor infravermelho	9
2.4	Buzzer	10
2.5	Microcontrolador.....	12
2.6	Labirinto em T	13
2.7	Bomba de Seringa.....	15
2.8	Nose-Poke	16
3	MATERIAL E MÉTODOS	17
3.1	Hardwares Utilizados.....	17
3.1.1	Arduino Mega 2560.....	18
3.1.2	Motor de passo 28BYJ-45	19
3.1.3	Sensor infravermelho HD-DS25CM-3MM.....	22
3.1.4	Buzzer eletromagnético CET-12A3.5	22
3.1.5	Servo motor SG90	23
3.2	Softwares utilizados.....	24
3.2.1	SketchUp	24
3.2.2	Arduino IDE	25
3.3	Desenvolvimento do Labirinto em T.....	25
3.3.1	Estrutura do labirinto em acrílico	25
3.3.2	Sistema de Recompensas.....	25
3.3.2.1	Bomba de Seringa.....	26
3.3.2.2	Nose-Poke	27

3.4	Lógica de funcionamento do labirinto	28
3.4.1	Experimento 1	28
3.4.2	Experimento 2	30
3.4.3	Experimento 3	30
4	RESULTADOS	31
4.1	Estrutura do labirinto em acrílico	31
4.2	Bomba de Seringa	32
4.3	Nose-Poke	35
5	DISCUSSÃO	39
6	CONCLUSÃO	42
7	REFERÊNCIAS	43
	ANEXO A	48

1 INTRODUÇÃO

Os roedores começaram a ser utilizados sistematicamente em pesquisa no início do Século 19 e atualmente representam 95% dos modelos animais utilizados em experimentos (BIRKE, 2003). É muito comum a utilização desses animais em experimentos comportamentais, em que o roedor é treinado a realizar alguma tarefa, como por exemplo, discriminar diferentes estímulos, fazer o reconhecimento de objetos ou simplesmente caminhar livremente em um campo aberto.

Para o animal participar dos experimentos, ele deve ser contido em uma região ou câmara, que comumente são chamadas de caixas comportamentais. Devido ao conhecimento acumulado em experimentação comportamental ao longo de todo século passado, muitos modelos de caixas comportamentais foram desenvolvidos (O'KEEFE, DOSTROVSKY, *et al.*, 1971).

Um modelo amplamente difundido, com mais de 60 anos de estudo é o labirinto em forma de T, ou simplesmente Labirinto em T. Essa caixa comportamental tem a forma da letra T, fornecendo ao animal uma escolha direta entre seguir à direita ou à esquerda (OLTON, 1979). Esse tipo de experimento é muito utilizado para estudar memória, aprendizado e tomada de decisão.

Embora a simplicidade experimental do Labirinto em T tenha o tornado amplamente difundido, a instrumentação dessa ferramenta está longe de ser trivial. Um labirinto em T automatizado pode contar com atuadores mecânicos, sensores, *dispensers* e câmeras, sendo que todos os componentes devem estar integrados e sincronizados.

Além disso, muitas vezes é necessário implementar funções específicas para cada experimento, o que torna inviável a aquisição de labirintos genéricos. Com isso os preços de caixas comportamentais são elevados, e com o agravante que poucas empresas prestam esse tipo de serviço.

Desta forma, esse trabalho tem por objetivo o desenvolvimento de um Labirinto em T *open-hardware*, que possibilite centros de pesquisa a reproduzirem o labirinto utilizando apenas usinagem simples e impressão 3D. Será disponibilizado o projeto em CAD, a programação dos sensores e atuadores, bem como os *datasheets* dos componentes.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste capítulo serão apresentados os conceitos dos principais tópicos para o desenvolvimento deste trabalho, abordando o princípio de funcionamento dos mecanismos atuadores do sistema desenvolvido, como motores de passo, servo motores, sensores infravermelho, *buzzers*, microcontroladores, bombas de seringa e *nose-pokes*.

2.1 Motor de passo

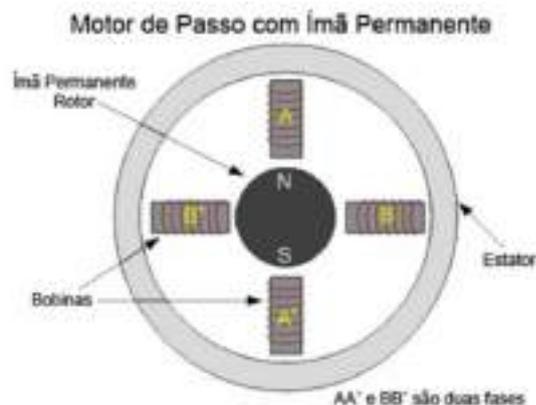
O motor de passo é um motor de corrente contínua síncrono que converte sinais elétricos digitais em movimentos mecânicos angulares discretos no rotor, e tais movimentos são denominados passos (BRITES e SANTOS, 2008). A rotação e o sentido são determinados pela sequência dos pulsos nos terminais do motor, enquanto que a velocidade é determinada pela frequência destes pulsos.

Há três tipos básicos de motores de passo: ímã permanente, relutância variável e híbrido, e estes podem assumir configuração de motor unipolar e motor bipolar (SCARPINO, 2015).

2.1.1 Motor Ímã Permanente

Os motores de ímã permanente possuem um rotor de ímã permanente como visto na Figura 1.

Figura 1 - Motor de ímã permanente com duas fases

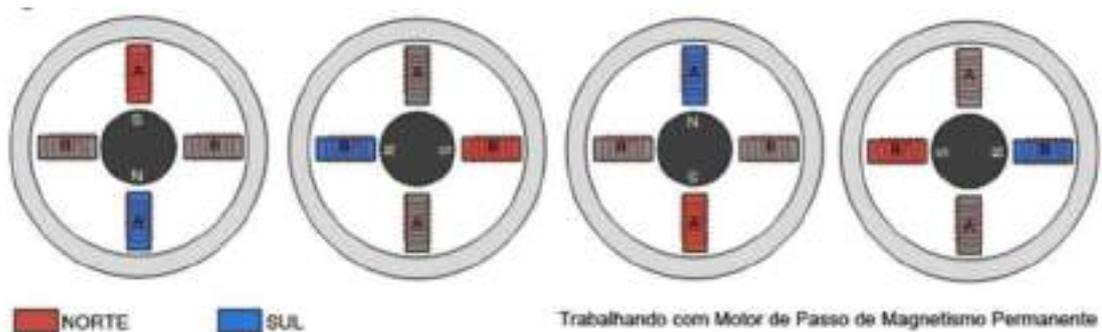


Fonte:(Agnihotri, 2011).

Este tipo de motor tem um ímã permanente montado em um eixo liso, tendo uma estrutura mais simples. Este tipo de motor tem a vantagem de ter um campo magnético permanente que se soma ao campo magnético das bobinas, fazendo com que tenha um torque maior na partida. A desvantagem desse tipo de motor em relação aos outros, é o fato deles terem um passo maior, com menor precisão.

A Figura 2 ilustra o funcionamento deste tipo de motor; quando uma das bobinas é energizada, é gerado um campo magnético orientado em uma direção específica, formando um polo magnético. Esse campo gera uma força que faz o rotor se deslocar, de modo a obter uma menor relutância com o fluxo magnético gerado, fazendo que o campo gerado pelas bobinas do estator e o campo do rotor se alinhem. Desligando uma bobina e energizando outra, faz que o rotor gire novamente para se alinhar ao novo campo.

Figura 2 - Princípio de funcionamento do motor de ímã permanente.

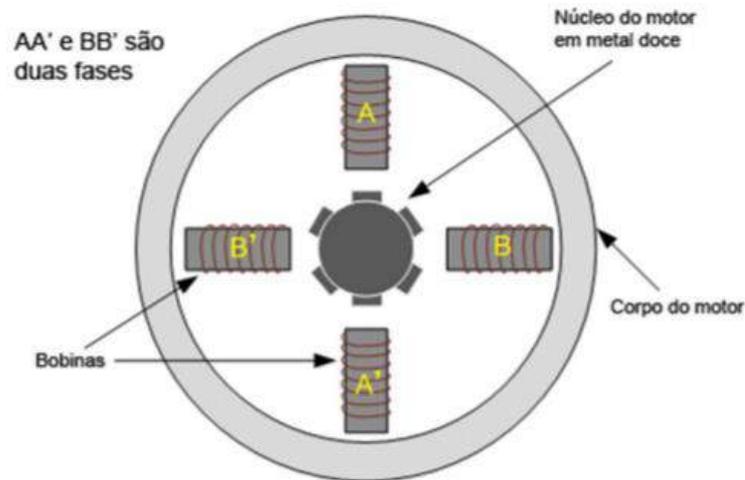


Fonte:(Agnihotri, 2011).

2.1.2 Motor de Relutância Variável

Estruturalmente, os motores de relutância variável têm muito em comum com os motores de ímã permanente (SCARPINO, 2015), ambos têm enrolamentos no estator, no entanto, a principal diferença é no rotor, que ao contrário de um rotor de ímã permanente, não possui ímãs. Em vez disso, o rotor é um disco de ferro com pequenas protuberâncias chamadas dentes, e são feitos de forma que quando estão alinhados a uma fase, ficam desalinhados para a outra fase, como pode ser visto na Figura 3.

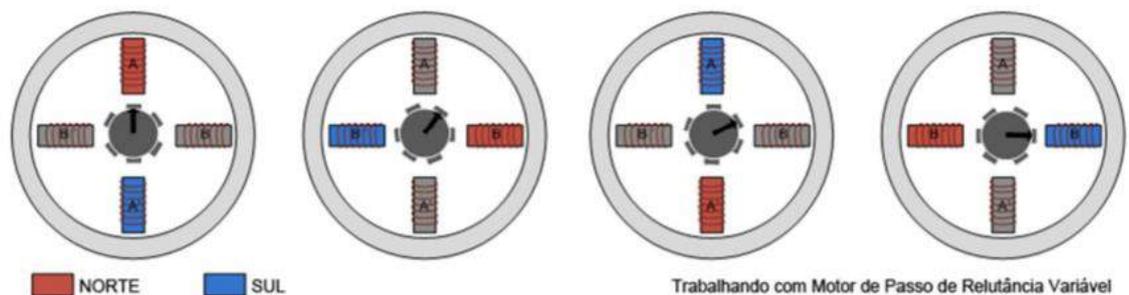
Figura 3 - Motor de relutância variável



Fonte:(Agnihotri, 2011).

Este tipo de motor tem a vantagem de ter uma ótima resolução angular, porém tem um torque muito baixo, impossibilitando diversas aplicações, sendo o tipo menos utilizado (SCARPINO, 2015). Apresenta um funcionamento semelhante ao motor de ímã permanente, como visto na Figura 4.

Figura 4 - Princípio de funcionamento de um motor de relutância variável.

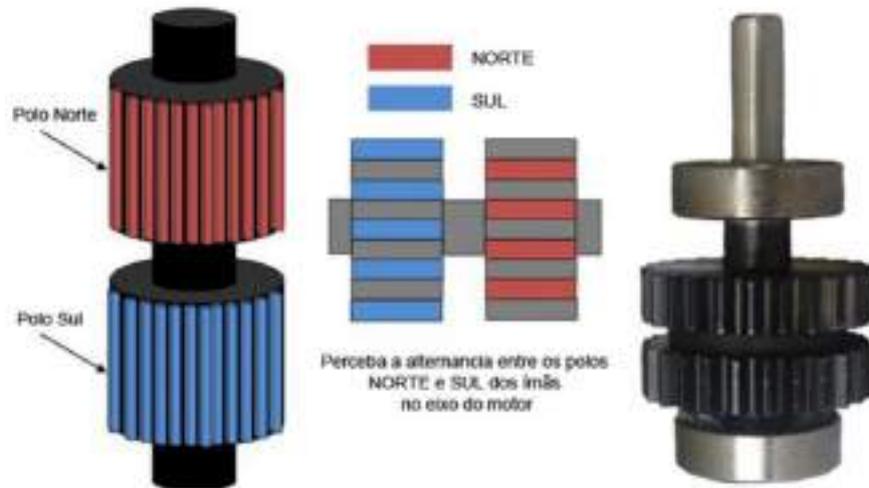


Fonte:(Agnihotri, 2011).

2.1.3 Motor Híbrido

O motor híbrido possui características dos dois tipos, tendo um rotor com ímã, que fornece um torque maior, e possui dentes, que melhoram a resolução angular (SCARPINO, 2015). O eixo do motor é construído com dois grupos de dentes, um com o polo norte saliente e o outro com o polo sul, de modo que os dentes fiquem alternados, como visto na Figura 5.

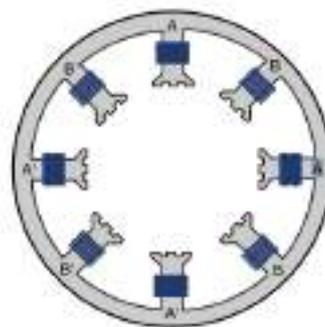
Figura 5 - Eixo de um motor híbrido.



Fonte:(Agnihotri, 2011).

A diferença angular entre os dois conjuntos de dentes determina o ângulo de passo do motor. Quanto mais dentes tiver, melhor será a resolução angular. Os enrolamentos do estator de um motor de ímã permanente ou de relutância variável são muito grandes para atrair ou repelir os dentes de um polo do rotor sem repelir ou atrair os dentes do outro polo do rotor. Por esta razão, o estator de um motor híbrido tem dentes que são aproximadamente do mesmo tamanho que os dentes do rotor (SCARPINO, 2015). Isto é mostrado na Figura 6.

Figura 6 - Estator de um motor de passo híbrido.



Fonte: (SCARPINO, 2015).

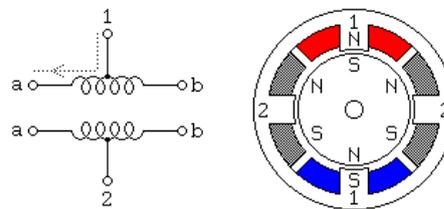
Ainda tem-se a classificação quanto à existência ou não de derivação central nas bobinas que compõem o enrolamento (SCARPINO, 2015):

- Unipolar - cada bobina tem uma derivação central;
- Bipolar - As bobinas não têm derivação central;

2.1.4 Motor Unipolar

Com a derivação em cada uma das bobinas, o número de fases é duas vezes o número de bobinas, pois cada bobina se encontra dividida em duas. Na Figura 7 pode ser visto um motor unipolar de 4 fases (1a,1b, 2a e 2b). Geralmente a derivação central das bobinas é ligada no positivo da fonte de alimentação e as outras extremidades ligadas ao terra por meio de um circuito controlado por driver

Figura 7 - Organização interna de um motor unipolar.

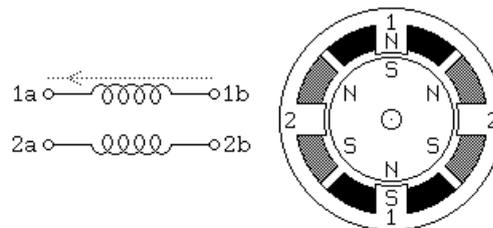


Fonte: (MARTINS, 2013).

2.1.5 Motor Bipolar

Sem a derivação central, o número de fases é igual ao número de bobinas que compõem o enrolamento do motor. Para este tipo de motor as bobinas devem ser energizadas de forma que a corrente elétrica possa fluir na direção inversa a cada dois passos para permitir o movimento contínuo do rotor, ou seja, a polaridade é invertida durante o funcionamento do motor. Na Figura 8 pode ser vista a organização interna de um motor bipolar, tendo as fases 1a e 2a.

Figura 8 - Organização interna de um motor bipolar.



Fonte: (MARTINS, 2013).

O outro tipo de motor utilizado neste trabalho foi o servo motor, visto na próxima seção.

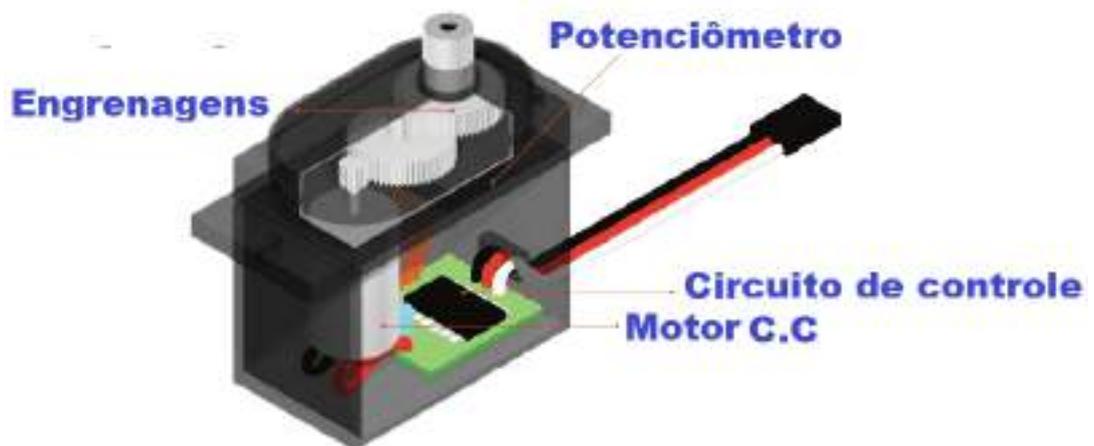
2.2 Servo motor

Servos motores são máquinas elétricas que convertem energia elétrica em energia mecânica e tem como característica principal a precisão de posicionamento de seu eixo. Essas máquinas possuem sistema de controle interno e por terem tamanho reduzido são muito utilizados em aplicações didáticas, robótica e outras diversas aplicações com automação (SANTOS, 2007).

Existem diversos tipos de servos motores disponíveis no mercado, como servo motor assíncrono de corrente alternada, servo motor síncrono de corrente alternada, servo motor síncrono de corrente contínua, servo motor de passo e servo motor linear (TEJA, 2015).

Neste trabalho foram utilizados servos motores de corrente contínua, sendo somente estes discutidos nesta seção. Este tipo de servo é composto por quatro componentes principais: motor de corrente contínua, um dispositivo de detecção de posição, um conjunto de engrenagens e um circuito de controle, como visto nas Figura 9 e 10.

Figura 9 - Mecanismos internos de um servo motor C.C.



Fonte: (DAVIES, 2016).

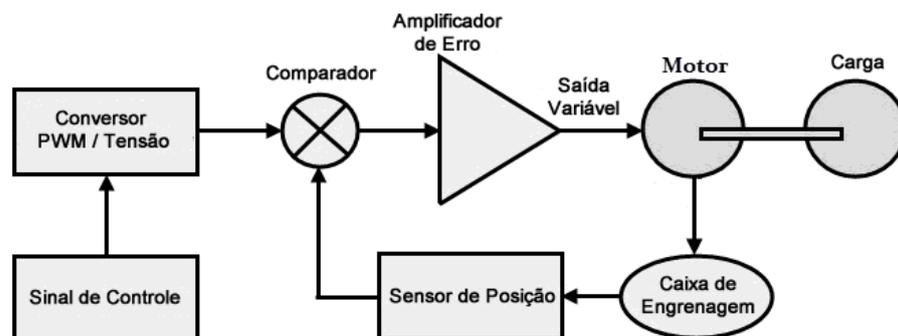
Figura 10 - Servo motor desmontado.



Fonte: (SANTOS, 2007).

Este servo motor possui um potenciômetro que viabiliza a um sistema de controle interno o monitoramento do eixo de saída. O sistema de controle de um servo, é um sistema em malha fechada, ou seja, verifica a saída para determinar uma nova entrada, este esquema pode ser visto na Figura 11.

Figura 11 - Diagrama de blocos do sistema de um Servo-motor.



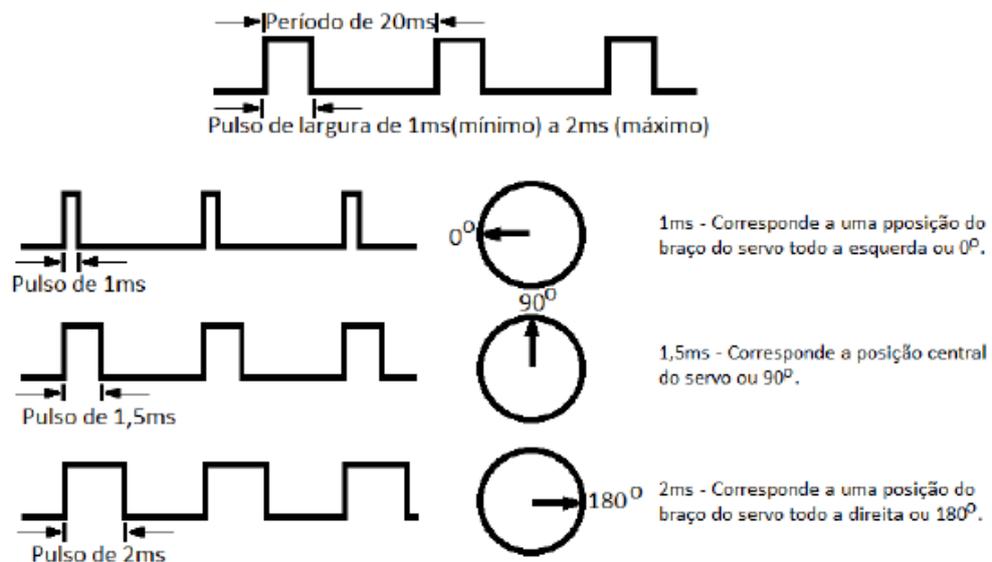
Fonte: (SILVEIRA, 2017).

No caso do servo motor, a saída é a posição em que o eixo se encontra. Se o eixo estiver em um ângulo diferente do determinado, o motor é ativado até que o eixo se encontre na posição correta (SANTOS, 2007).

O circuito de acionamento destes servos funciona à uma frequência de aproximadamente 50 Hz (período de 20 ms). O sinal de modulação por largura de pulso (PWM) gerado pelo sistema de controle deve compreender entre a faixa de 1 ms (5% do ciclo ativo) e 2 ms (10% do ciclo ativo). Deste modo, o circuito de acionamento do motor responderá,

alterando a rotação do motor. Na Figura 12 é mostrado este processo, que dependendo do valor de largura de pulso, o motor responderá movendo-se para determinado ângulo. Variando a largura entre 1 ms e 2 ms o motor se move para qualquer posição entre 0° e 180°.

Figura 12 - Posicionamento do motor de acordo com a largura de pulso aplicada.



Fonte: (SANTOS, 2007).

Os sensores utilizados neste trabalho foram os sensores infravermelhos, vistos na próxima Seção.

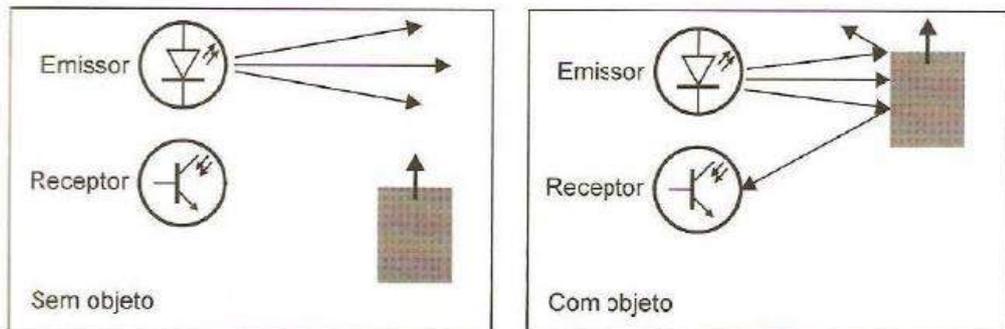
2.3 Sensor infravermelho

Os sensores infravermelhos são largamente utilizados devido a seu baixo custo e diversas formas de aplicação. Basicamente, funcionam através da detecção de presença de objetos em movimento. Um sensor infravermelho possui um conjunto de emissor e receptor. O emissor é responsável pelo envio de sinais infravermelhos, e o receptor detecta estes sinais, e os envia para algum sistema de controle (THOMAZINI, 2005).

Dois tipos de detecção de sinal se destacam entre os três tipos presentes na literatura: detecção por reflexão e detecção por interrupção do feixe, conforme ilustrado nas Figuras 13 e 14, respectivamente. No primeiro, o sinal infravermelho emitido chega no objeto e é refletido, sendo detectado pelo receptor.

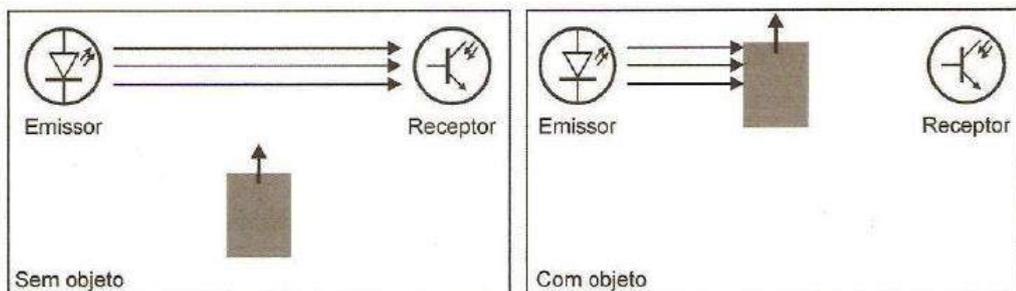
No segundo, por interrupção de feixe, o emissor envia sinais infravermelhos ao receptor constantemente e o sensor detecta a interrupção deste fluxo.

Figura 13 - Sensor óptico por retroreflexão.



Fonte: (THOMAZINI, 2005).

Figura 14 - Sensor óptico por transmissão.



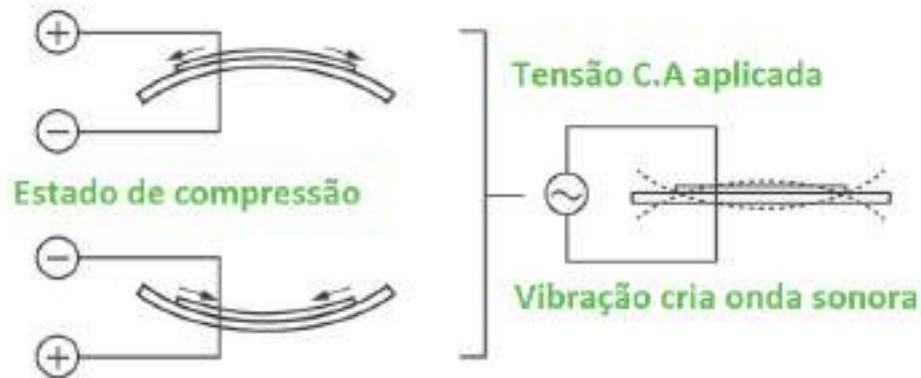
Fonte: (THOMAZINI, 2005).

2.4 Buzzer

O buzzer é um dispositivo de sinalização sonora, usado normalmente em sistemas de alarmes em equipamentos eletrônicos em diversas aplicações como: equipamentos médicos, eletrônica automotiva, ambientes industriais, entre outros.

Existem dois tipos de buzzer, os piezoelétricos e os eletromagnéticos. Os piezoelétricos funcionam com base no efeito piezoelétrico, que é o surgimento de uma tensão elétrica a partir de um esforço mecânico que ocorre em cristais, como os de quartzo. O efeito piezoelétrico também pode ser o contrário, ou seja, gerar um deslocamento a partir de uma variação de tensão elétrica (CUI INC, 2018). No buzzer piezoelétrico este efeito faz um diafragma vibrar quando é aplicada tensão alternada, gerando ondas sonoras, como visto na Figura 15.

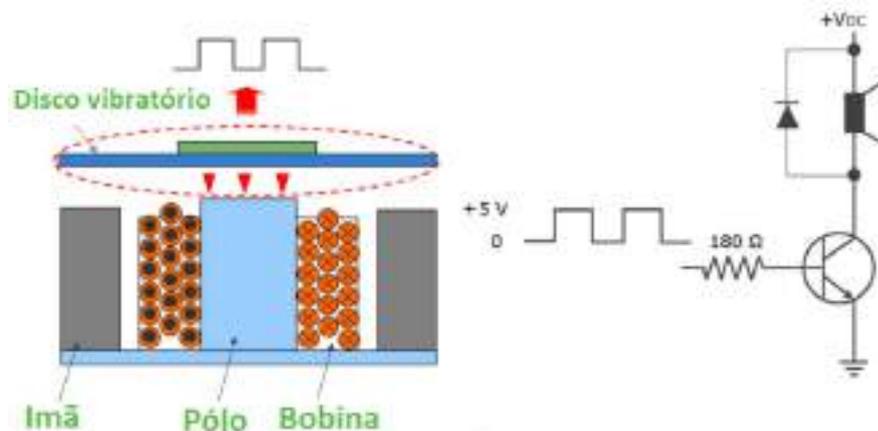
Figura 15 - Efeito piezoelétrico criando onda sonora.



Fonte: (CUI INC, 2018).

Um buzzer eletromagnético utiliza um campo magnético flutuante, gerado por uma bobina alimentada por um circuito oscilador, para deslocar uma placa para cima e para baixo, causando uma vibração que gera uma onda sonora. Na Figura 16 pode ser visto o princípio de funcionamento deste buzzer.

Figura 16 - Princípio de funcionamento de um buzzer eletromagnético.



Fonte: (CUI INC, 2018).

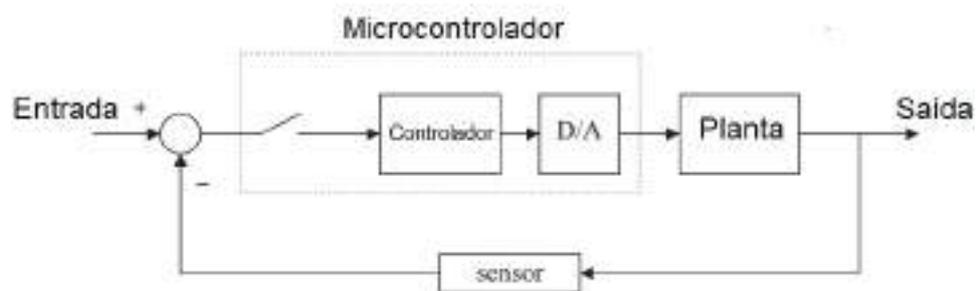
A bobina está localizada no circuito magnético que consiste em um ímã permanente, um núcleo de ferro, um disco de metal altamente permeável e um diafragma vibratório. O disco e o diafragma são atraídos para o núcleo pelo campo magnético. Quando um sinal oscilante é movido através da bobina, ele produz um campo magnético flutuante que vibra o diafragma a uma frequência do sinal de acionamento. Assim, o som é produzido com uma frequência igual

a frequência do sinal que alimenta a bobina. Para realizar o controle dos sensores e atuadores das Seções anteriores, foi utilizado um microcontrolador, visto na próxima Seção.

2.5 Microcontrolador

Um microcontrolador é um computador de chip único que é fabricado especificamente para aplicações de controle de sistemas embarcados. Reúne neste único chip vários sistemas independentes, como contadores, CPU (unidade de processamento central), memórias RAM (memória de acesso aleatório), memórias ROM (memória somente de leitura), entre outros. Estes dispositivos podem ser usados com muita facilidade em aplicações de controle digital devido à seu baixo custo. A maioria dos microcontroladores tem os circuitos internos necessários para aplicações de controle. Por exemplo, um microcontrolador pode ter conversores Analógicos/Digitais para que sinais externos possam ser amostrados e digitalizados. Eles também têm portas de entrada e saída para que dados digitais possam ser lidos ou emitidos pelo microcontrolador (IBRAHIM, 2006). Alguns dispositivos possuem conversores Digitais/Analógicos e as saídas do conversor podem ser usadas para controlar uma planta através de um atuador, como ilustrado na Figura 17.

Figura 17 - Diagrama de blocos de um sistema de controle digital.



Fonte: (IBRAHIM, 2006).

Microcontroladores também podem ter cronômetro embutido e lógica de interrupção. Usando o temporizador ou as instalações de interrupção, pode-se programar o microcontrolador para implementar um algoritmo de controle com precisão. Os microcontroladores iniciais eram programados usando a linguagem assembly. Como resultado, as linguagens assembly dos microcontroladores fabricados por empresas diferentes eram totalmente diferentes e o usuário tinha que aprender uma nova sintaxe antes de poder programar um novo tipo de dispositivo.

Atualmente microcontroladores podem ser programados usando linguagens de alto nível como C ou C++. Linguagens de alto nível oferecem várias vantagens em comparação com a linguagem assembly:

- É mais fácil desenvolver programas usando uma linguagem de alto nível;
- A manutenção do programa é muito mais fácil se o programa for desenvolvido usando uma linguagem de alto nível;
- Testar um programa desenvolvido em uma linguagem de alto nível é muito mais fácil. Linguagens de alto nível são mais fáceis de usar e menos propensas a cometer erros;
- É mais fácil documentar um programa desenvolvido usando uma linguagem de alto nível;

Apesar das vantagens acima, linguagens de alto nível têm algumas desvantagens. Por exemplo, o comprimento do código na memória é geralmente maior quando uma linguagem de alto nível é usada, e os programas desenvolvidos usando a linguagem assembly geralmente são processados mais rápido do que os desenvolvidos usando uma linguagem de alto nível. Neste trabalho, o microcontrolador usa a linguagem de alto nível C++. Os componentes das Seções anteriores foram utilizados na construção de uma caixa comportamental automatizada, chamada de Labirinto em T.

2.6 Labirinto em T

Labirintos em T, como o apresentado na Figura 18, são amplamente utilizados em experimentos comportamentais com roedores, devido à sua simplicidade estrutural e grande aplicabilidade para estudos sobre memória e aprendizado. Na ciência comportamental, um labirinto em T (*T-Maze*) é um simples labirinto usado em experimentos de cognição animal (OLTON, 1979). Tem a forma da letra T, fornecendo ao sujeito, tipicamente um roedor, uma escolha direta. Os labirintos em T são usados para estudar como funcionam a memória e o aprendizado espacial dos roedores através da aplicação de vários estímulos. Existem vários labirintos de diferentes tamanhos e formas (O'KEEFE, DOSTROVSKY, *et al.*, 1971), sendo o labirinto em T, um dos mais simples, consistindo de apenas duas ramificações - direita ou esquerda. O labirinto só pode ser alterado bloqueando um dos dois caminhos.

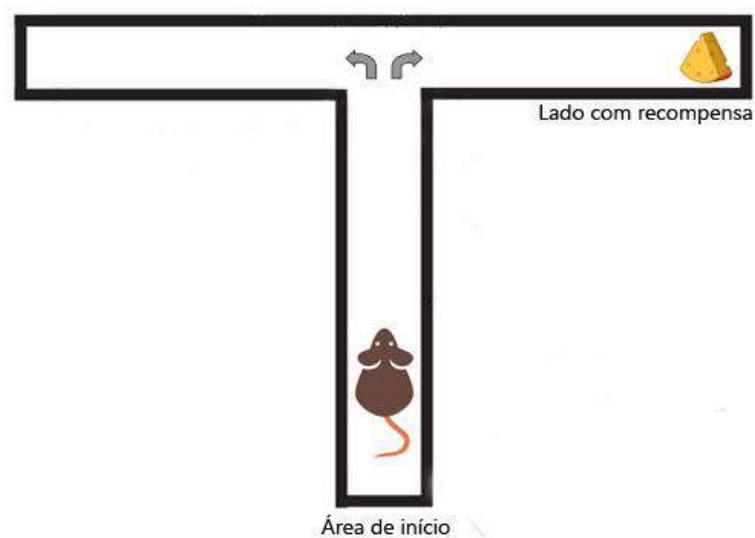
Figura 18 - Labirinto em T.



Fonte: (CIDD,2018).

A ideia por trás do experimento é colocar o rato inicialmente na base do labirinto, e ao colocar uma recompensa, que pode ser algum tipo de comida, água ou algum odor, em um braço ou nos dois braços do labirinto, o rato deve escolher qual caminho seguir, como visto na Figura 19.

Figura 19 - Exemplo de tarefa em um T-Maze.



Fonte: Autoria própria.

Um estudo que pode ser realizado é o de alternância. Se duas tentativas são dadas em rápida sucessão, na segunda tentativa o roedor tende a escolher o braço não visitado antes, refletindo a memória da primeira escolha. Isso é chamado de "alternância espontânea" Esta tendência pode ser reforçada fazendo o animal sentir fome e recompensando-o com um alimento preferido, quando este alterna o lado visitado. Cada ensaio deve ser concluído em menos de 2 minutos, mas o número total de tentativas requeridas irá variar de acordo com os requisitos estatísticos e científicos (DEACON e RAWLINS, 2006). Neste trabalho foi feito um sistema de recompensas baseado na entrega de pequenas doses de água para o roedor, utilizando os componentes visto nas próximas Seções, que são a Bomba de Seringa e o *Nose-Poke*.

2.7 Bomba de Seringa

Pesquisadores desenvolveram originalmente bombas de infusão, das quais as bombas de seringa são um tipo, para a entrega controlada de medicamentos. Christopher Wren inventou a primeira bomba de infusão em 1658, mas as limitações técnicas, as transfusões de sangue e as proibições do governo atrasaram o desenvolvimento. Novos protótipos surgiram no Século 19, e uma bomba de infusão foi usada pela primeira vez para quimioterapia na década de 1950 (LONG, 2018).

Bombas ambulatoriais menores e mais econômicas (ou seja, portáteis e vestíveis) apareceram nas décadas de 1970 e 1980, facilitando o uso prático de bombas de infusão não apenas para pacientes ambulatoriais, mas também em pesquisas baseadas em animais.

Avanços de bombas computadorizados, melhorias de eficiência e miniaturização de bombas nos anos 80 e 90 aumentaram o uso de bombas de infusão na pesquisa. Em particular, a combinação da tecnologia ambulatorial com a comunicação com o PC ajudou os pesquisadores a identificar e solucionar problemas no desempenho problemático da bomba.

O desenvolvimento de “bombas inteligentes” no início dos anos 2000 trouxe maior versatilidade à pesquisa e segurança aos pacientes. As vantagens incluem maior precisão e exatidão, armazenamento digital e acesso a diretrizes de dosagem, programação remota e assim por diante.

Muitos parâmetros podem ser controlados em bombas de seringa modernas. Por exemplo, o controle de pressão facilita o manuseio de líquidos com alta viscosidade ou a introdução de fluidos sob alta pressão. Aquecedores de seringa ou seringas pré-aquecidas

oferecem controle de temperatura. Algumas bombas de seringa permitem que os usuários alternem entre diferentes seringas para regular a faixa de trabalho.

Na Figura 20 podem ser observados os principais componentes de uma bomba de seringa, que são, um motor de passo, um bloco para empurrar o êmbolo da seringa e um suporte para prender a seringa numa posição fixa. O motor ao girar, empurra o êmbolo, que ejeta o fluido da seringa de maneira precisa.

Figura 20 - Partes de uma bomba de seringa.



Fonte: (LONG, 2018).

2.8 Nose-Poke

O *Nose-Poke* é um dispositivo utilizado em experimentos comportamentais com roedores (LIONELLO-DENOLF e MIHALICK, 2006) e (CRYSTAL, 2007). É uma peça responsável por acomodar um sensor ou mecanismo, para quando o roedor inserir o focinho no orifício, durante alguma tarefa, causar uma resposta, como entrega de uma recompensa, ou abertura de uma porta, por exemplo. Na Figura 21, pode ser visto um roedor interagindo com um *Nose-Poke*.

Figura 21 - Roedor interagindo com um Nose-Poke.



Fonte: (LIONELLO-DENOLF e MIHALICK, 2006).

3 MATERIAL E MÉTODOS

Neste capítulo será abordada a metodologia utilizada para a realização do projeto proposto. Os hardwares utilizados, bem como suas características de funcionamento, são apresentados na Seção 3.1. Na Seção 3.2 são apresentadas as ferramentas e tecnologias escolhidas para o desenho dos componentes do sistema. O desenvolvimento deste trabalho teve os seguintes procedimentos metodológicos:

1. Inicialmente, fez-se uma revisão bibliográfica sobre todas as tecnologias e equipamentos que poderiam ser empregadas na execução deste projeto.

A partir desse estudo, escolheu-se as tecnologias:

- Plataforma de desenvolvimento Arduino;
- Sensores infravermelhos;
- Servo motores;
- Motor de passo;
- Buzzers;
- *Software* de desenho SketchUP;

2. Projeto da câmara principal e as demais peças que compõem o labirinto em T utilizando o software SketchUp.

3. Implementação a lógica de programação para o funcionamento do sistema.

4. Montagem do labirinto em T.

3.1 Hardwares Utilizados

Utilizou-se uma placa microcontrolada Arduino Mega 2560 (fabricada na Itália pela Arduino) e seu software de programação Arduino IDE, para controlar os atuadores e sensores presentes no sistema, que tem um motor de passo 28BYJ-45 (fabricado pela Kiatronics em Tauranga, Nova Zelândia), um sensor infravermelho HD-DS25CM-3MM (fabricado pela Omron na China), um servo motor SG90 (fabricado pela TowerPro em Taiwan) e um Buzzer CET-12A3.5 (fabricado pela ChinaSound Electronics, em Changzhou, China).

3.1.1 Arduino Mega 2560

Para controle e integração dos sensores com os atuadores foi utilizada a placa Arduino Mega 2560, ilustrada na Figura 22. Tal placa foi utilizada devido à disponibilidade no laboratório onde este trabalho foi desenvolvido, porém um Arduino Uno também poderia ter sido utilizado, pois tem o número suficiente de portas e memória para o funcionamento da caixa comportamental. A placa pode trabalhar com alimentação externa entre 6 e 20 Volts. Porém, se menos de 7 Volts forem fornecidos, o pino de 5V pode suprir menos de 5 Volts e a placa ficar instável. Com mais de 12V, o regulador de tensão pode superaquecer e danificar a placa. A faixa recomendável é de 7 a 12 Volts.

Figura 22 - Arduino Mega 2560.



Fonte: Autoria própria.

A placa é baseada no microcontrolador ATmega2560 (ATMEL, 2014). Possui 54 pinos digitais de entrada / saída (dos quais 14 podem ser usados como saídas PWM), 16 entradas analógicas, 4 UARTs (portas seriais de hardware), um oscilador de cristal de 16 MHz, uma conexão USB, um conector para alimentação externa, uma conexão ICSP e um botão de reinicialização. A placa contém tudo necessário para suportar o microcontrolador; basta conectá-la a um computador com um cabo USB ou ligar com uma fonte externa para ser utilizada. Na Tabela 1 estão as principais especificações do microcontrolador presente na placa.

Tabela 1 - Principais especificações do microcontrolador ATmega2560.

Tensão de operação	5 V
Tensão de alimentação externa recomendada	7 V - 12 V
Limite para tensão de alimentação externa	6 V - 20 V
Pinos de entradas analógicas	16
Pinos de entrada e saída digitais	54 (dos quais 14 podem ser saídas PWM)
Corrente máxima por pino de entrada/saída	40 mA
Corrente máxima para pino de 3.3 V	50 mA
Memória Flash	256 KB (8KB são usados para o bootloader)
EEPROM	4 KB
SRAM	8 KB
Velocidade de Clock	16 MHz

Fonte: (ATMEL, 2014).

Destas principais especificações, tem-se as seguintes características para Memória Flash, EEPROM e SRAM:

- Memória Flash: é capaz de manter os dados armazenados por um longo tempo sem a presença de corrente elétrica;
- EEPROM: memória não volátil, pode ser programada e apagada diversas vezes, eletricamente;
- SRAM: memória de acesso aleatório que mantém os dados armazenados contanto que seja sustentada sua alimentação;

3.1.2 Motor de passo 28BYJ-45

Neste trabalho foi utilizado o motor de passo 28BYJ-45, visto na Figura 23, fabricado pela Kiatronics. Na Tabela 2 podem ser vistas as principais especificações deste motor.

Figura 23 - Motor de passo 28BYJ-48.



Fonte: (KIATRONICS).

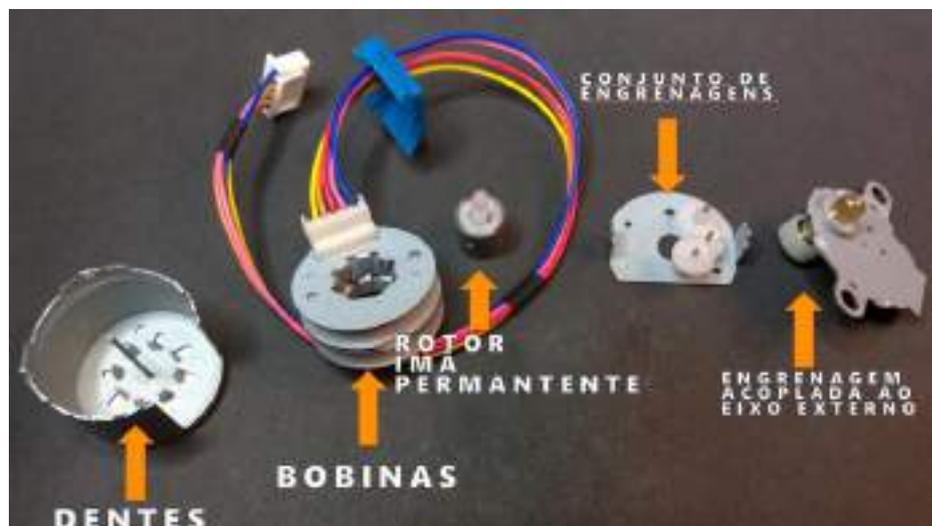
Tabela 2 - Principais especificações do motor de passo 28BYJ - 48.

Alimentação	5V C.C
Número de fases do estator	4
Número de pólos do rotor	16
Tipo de rotor	Ímã permanente
Ligação dos enrolamentos	Unipolar
Relação de transmissão	64/1
Ângulo de passo	$5.625^\circ / 64$

Fonte: (KIATRONICS).

Na Figura 24 podem ser vistos os componentes do motor após ser desmontado.

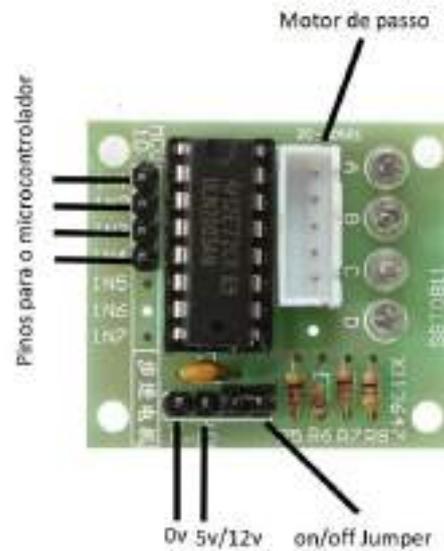
Figura 24 - Componentes do motor de passo 28BYJ - 48.



Fonte: (STATEHAM, 2017)

Para realizar o acionamento deste motor, foi utilizado um módulo com o driver ULN2003, que pode ser visto na Figura 25. É um circuito integrado que permite que, com o Arduino (que suporta corrente máxima de 40 mA por porta), sejam controlados motores que exigem correntes maiores, de até 500 mA. Este módulo aceita alimentação de 5 a 12 volts e possui LEDs indicadores que mostram o acionamento das bobinas.

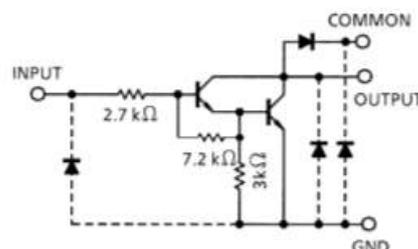
Figura 25 - Módulo com o CI ULN2003.



Fonte: Autoria Própria

O ULN2003 abriga uma série de 7 pares Darlington. Um Par Darlington é basicamente um par de transistores onde o segundo transistor amplifica a corrente de saída do primeiro transistor, ilustrado na Figura 26. Isso proporciona um ganho de corrente mais alto do que um único transistor e permite que a saída de baixa tensão e baixa corrente de um microcontrolador acione o motor de passo de corrente mais alta.

Figura 26 - Um par Darlington.



Fonte: (TEXAS INSTRUMENTS).

3.1.3 Sensor infravermelho HD-DS25CM-3MM

O sensor utilizado neste trabalho é um sensor óptico por transmissão, fabricado pela Adafruit, visto na Figura 27. É composto por um emissor com LED e um receptor com fototransistor,

Figura 27 - Sensor infravermelho HD-DS25CM-3MM.



Fonte: (ADAFRUIT).

Na Tabela 3 podem ser vistas as especificações deste sensor.

Tabela 3 - Especificações do sensor infravermelho utilizado.

Distância de funcionamento máxima	25 cm
Tensão de alimentação	3.3 V - 5.5 V
Tempo de resposta	< 2 ms
Ângulo de emissão / recepção	10°
Corrente de saída no receptor	100 mA

Fonte: (ADAFRUIT).

3.1.4 Buzzer eletromagnético CET-12A3.5

Neste trabalho foi utilizado o buzzer CET-12A3.5, produzido pela ChinaSound Electronics, visto na Figura 28

Figura 28 - Buzzer CET-12A3.5.



Fonte: (CHINASOUND).

Na Tabela 4 podem ser vistas as principais especificações deste buzzer.

Tabela 4 - Principais especificações do buzzer CEM-1205C

Tensão nominal	3.5 V C.C
Tensão de operação	3 ~ 5 V C.C
Consumo de corrente	30 mA max.
Nível de pressão sonora	85 db min
Frequência de ressonância	2048 Hz \pm 500

Fonte: (CHINASOUND).

3.1.5 Servo motor SG90

Neste trabalho foi utilizado o servo motor SG90, visto na Figura 29, fabricado pela TowerPro, devido à disponibilidade no laboratório no qual este trabalho foi desenvolvido, porém outro modelo de servo motor também poderia ter sido utilizado.

Figura 29 - Micro servo 9g SG90.



Fonte: Autoria própria.

Na Tabela 5 podem ser vistas as principais especificações deste motor.

Tabela 5 - Principais especificações do servo SG90.

Tensão de Alimentação	4.8 ~ 5 V
Corrente de Operação	0,1 - 1,2 A
Velocidade de operação	0.1 s/60°
Torque	1.8 kgf-cm
Peso	9 g

Fonte: (TOWERPRO).

3.2 Softwares utilizados

A utilização de ferramentas gráficas computacionais para a concepção e desenvolvimento de uma caixa comportamental automatizada, torna esta tarefa mais eficiente e permite ainda a rápida verificação de diferentes esquemas de adequação ao projeto, buscando a solução mais adequada para o problema em estudo. O *software* gratuito SketchUp é um dos mais utilizados para projetos de Engenharia e Arquitetura e foi usado no desenvolvimento deste trabalho. Para a programação do microcontrolador foi usado o *software* gratuito Arduino IDE, que tem uma interface simples e utiliza uma linguagem de alto nível para programar o microcontrolador presente na placa Arduino Mega 2560.

3.2.1 SketchUp

O SketchUp é um programa de modelagem 3D para uma ampla gama de aplicações de desenho, como arquitetura, design de interiores, engenharia civil e mecânica, e design de videogames. O SketchUp é de propriedade da Trimble Inc., uma empresa de mapeamento, topografia e equipamentos de navegação. Há uma biblioteca on-line de conjuntos de modelos gratuitos (por exemplo, janelas, portas, automóveis), para os quais os usuários podem contribuir com modelos, chamada de *3D Warehouse*.

O programa inclui ainda a funcionalidade de layout de desenho, permite renderização de superfície em estilos variáveis e suporta programas *plug-in* de terceiros hospedados em um

site chamado *Extension Warehouse* para fornecer outros recursos (por exemplo, renderização quase realística).

3.2.2 Arduino IDE

O Arduino IDE é uma aplicação multi-plataforma desenvolvida em Java, baseada em um ambiente de programação de código aberto. A linguagem utilizada é baseada em C e C++ (BUECHLEY e EISENBERG, 2008). Neste trabalho foi utilizada a Versão 1.8.5 do programa.

Uma das funções vistas nessa IDE é o Monitor Serial, que é uma interface de comunicação serial feita entre o Arduino e um computador. O Monitor Serial é uma ferramenta de grande valia, principalmente para depuração de código.

Os dados que são recebidos e enviados trafegam sobre uma taxa de Transmissão (Baud Rate) que é taxa por segundo em que bits (dados) são enviados para a placa Arduino, ou da placa Arduino para o computador. Uma configuração de 9600 baud tem 9.600 bits por segundo, ou 1.200 caracteres por segundo ($9.600 / 8 \text{ bits por caractere} = 1.200 \text{ bytes ou caracteres}$).

3.3 Desenvolvimento do Labirinto em T

O projeto do labirinto em T foi elaborado em três etapas que são descritas nesta Seção:

- Desenvolvimento da estrutura em acrílico
- Criação do sistema de recompensas
- Programação do conjunto de sensores e atuadores

3.3.1 Estrutura do labirinto em acrílico

Para dar início ao projeto foi feita uma revisão bibliográfica de diversos estudos (FLORESCO e GHODS-SHARIFI, 2006), (ELTABLAWY, TORK e OLA, 2014), (RUVALCABA-DELGADILLO, LUQUÍN e RAMOS-ZÚ, 2015), (ANDERSON, BIRNIE, *et al.*, 2014), (FORTRESS e FRICK, 2015), e a configuração de medidas mais utilizada foi usada no projeto, com uma área total de aproximadamente 2,14 m².

3.3.2 Sistema de Recompensas

A recompensa escolhida para este *T-Maze* foram pequenas doses de água, que devem ser fornecidas de maneira precisa e controlada (50 μ l de água por rodada do experimento). Para isto foram utilizadas bombas de seringa em conjunto com *Nose-Pokes*.

3.3.2.1 Bomba de Seringa

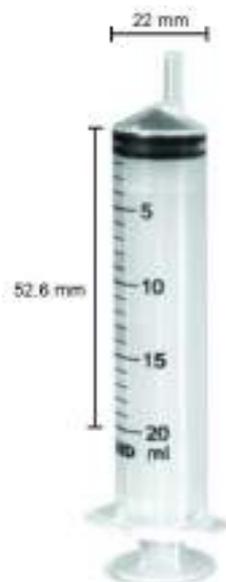
Utilizando o *software* SketchUp, foi desenhada a Bomba de Seringa, composta pelo motor de passo apresentado na Seção 3.1.2, acoplado à uma barra rosqueada com 5 mm de diâmetro e passo de 1 mm, vista na Figura 35. Uma rosca fixa à uma peça móvel é conectada a esta barra rosqueada, sendo essa peça móvel responsável por empurrar o êmbolo da seringa. A seringa utilizada tem volume de 20 ml, com dimensões ilustradas na Figura 36. Dois rolamentos de apoio também foram utilizados para reduzir a vibração quando a barra estiver girando. O sistema móvel da bomba de seringa projetado pode ser visualizado na Figura 37.

Figura 30 - Barra rosqueada



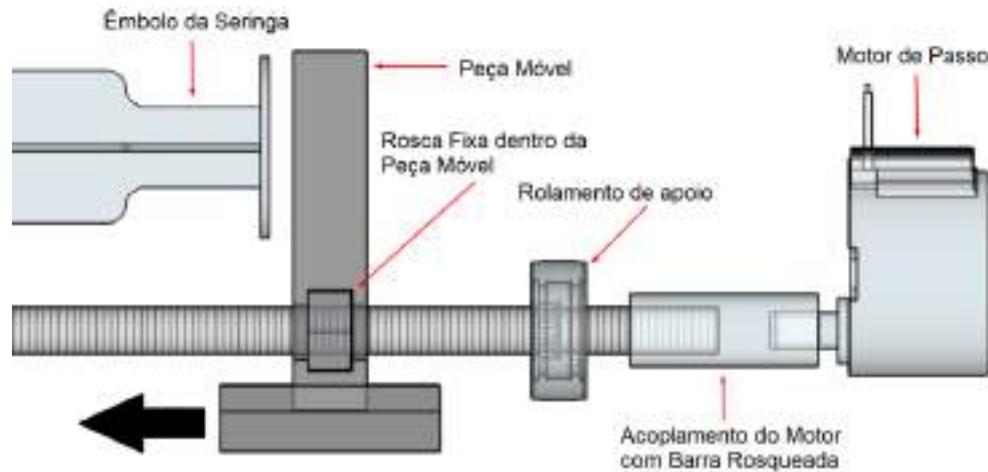
Fonte: Autoria própria.

Figura 31 - Seringa de 20 ml utilizada.



Fonte: Autoria própria.

Figura 32 - Sistema móvel da Bomba de Seringa projetado.



Fonte: Autoria própria.

Para cada volta completa do motor (360°), a peça móvel se desloca 1 mm, que é o passo da barra rosqueada. Assim, a cada 1 mm deslocado pelo êmbolo, equivalem a $380 \mu\text{l}$ ($\frac{(0.022\text{m})^2}{4} \cdot \pi \cdot 0.001\text{m} = 380 \text{ nm}^3 = 380 \mu\text{l}$). Então para $50 \mu\text{l}$, o motor precisa girar 47° .

3.3.2.2 Nose-Poke

O *Nose-Poke* é a peça responsável por acomodar o sensor infravermelho da Seção 3.1.3, para quando o roedor inserir o focinho durante alguma tarefa, ou receber a recompensa, obstruir o feixe de luz emitido pelo sensor e causar uma mudança de estado no sinal de saída do sensor. Na Figura 38 é ilustrado como é esta peça.

Figura 33 - Roedor com Nose-Poke.



Fonte: Autoria própria.

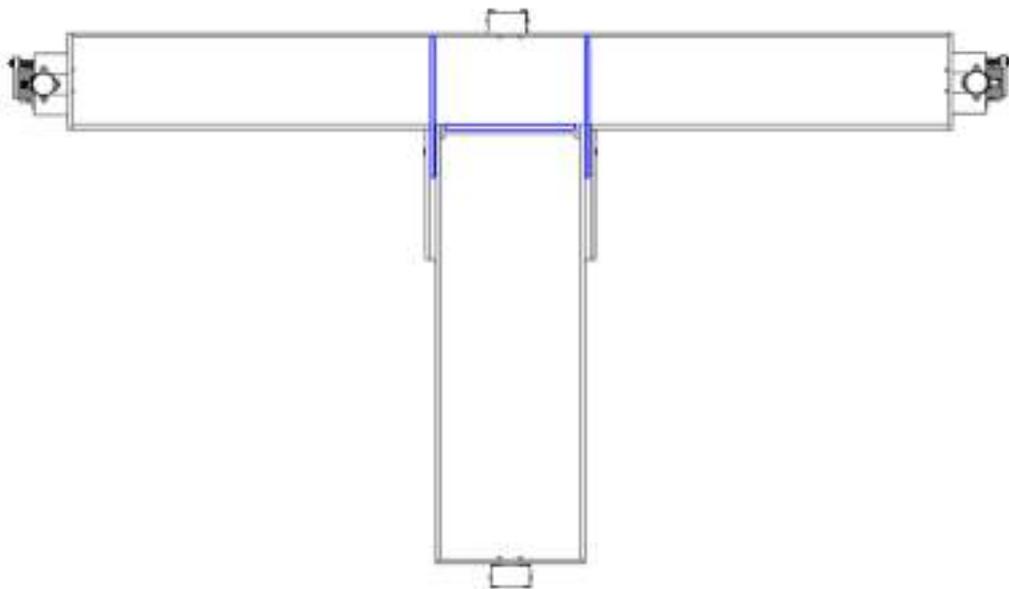
Foram projetados 2 *Nose-Pokes* de tamanhos diferentes, sendo o de maior tamanho, onde o roedor recebe a recompensa através de um tubo conectado à bomba de seringa, e o de menor tamanho apenas para o roedor encostar o focinho durante alguma tarefa, ambos usando o mesmo tipo de sensor.

O *Nose-Poke* maior também tem uma escotilha que fecha o orifício onde o roedor recebe a recompensa, quando é acionada pelo servo motor SG90.

3.4 Lógica de funcionamento do labirinto

Como pode ser visto na Figura 39, o labirinto possui três portas removíveis, possibilitando algumas configurações para realizar experimentos diferentes.

Figura 34 - Vista superior com portas removíveis em destaque na cor roxa.

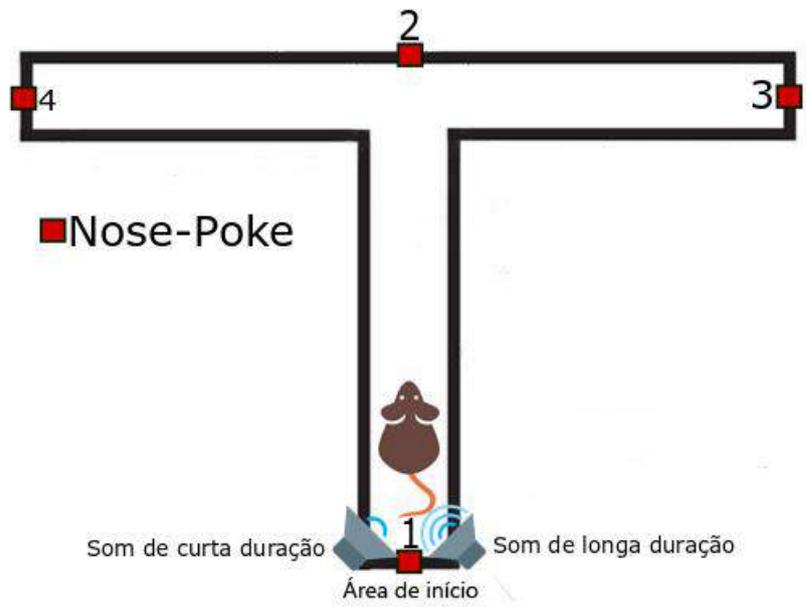


Fonte: Autoria própria.

3.4.1 Experimento 1

Neste experimento, com todas as portas removíveis desconectadas da caixa, o rato deve ser colocado na área de início, como pode ser visto na Figura 40.

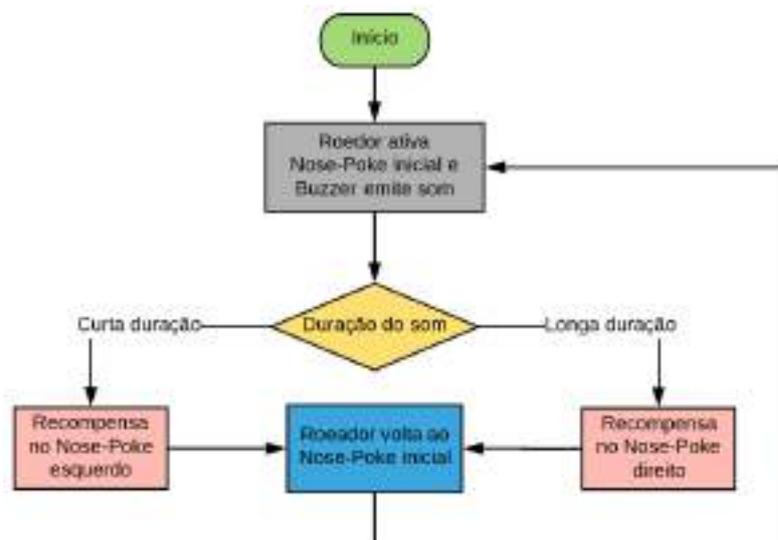
Figura 35 - Configuração do labirinto para experimento 1.



Fonte: Autoria própria.

Quando o rato colocar o focinho no *Nose-Poke* 1, um *Buzzer* irá emitir um som de longa ou curta duração, a depender de uma variável aleatória. Se o som emitido for de curta duração, a escotilha do *Nose-Poke* 4 irá abrir para que o rato possa receber a água como recompensa. Se o som emitido for de longa duração, a escotilha do *Nose-Poke* 3 que irá abrir. Após 10 segundos, a escotilha do *Nose-Poke* de recompensa é fechada e um novo ensaio começa, em que o rato deve voltar para o *Nose-Poke* 1 e inserir o focinho novamente, para que outro som seja emitido. Este esquema é representado no diagrama de blocos da Figura 41.

Figura 36 - Diagrama de funcionamento de um ensaio de experimento.



Fonte: Autoria própria.

3.4.2 Experimento 2

Neste experimento a porta removível do meio é inserida, e o sistema agora assume uma forma mais simples, ilustrada na Figura 42. O processo é semelhante ao experimento anterior, onde agora o Nose-Poke 2 é o que dá início ao ensaio.

Figura 37 - Configuração do labirinto para experimento 2.



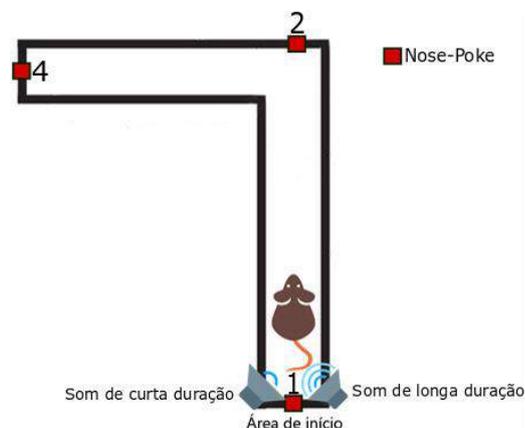
Fonte: Autoria própria.

3.4.3 Experimento 3

Neste experimento, ilustrado na Figura 43, a porta removível da direita é inserida, mas poderia ser a da esquerda e o labirinto assumir a configuração oposta.

Impondo ao rato somente um lado para buscar a recompensa, facilita o aprendizado da tarefa, e geralmente este é o experimento de treinamento para preparar o rato para os experimentos mais complexos. O Buzzer continua a emitir o som de longa ou curta duração de acordo com a variável aleatória, mas neste caso, o roedor terá acesso somente ao Nose-Poke da esquerda, que tem a escotilha de recompensa aberta quando o som de curta duração é emitido.

Figura 38 - Configuração do labirinto para experimento 3.



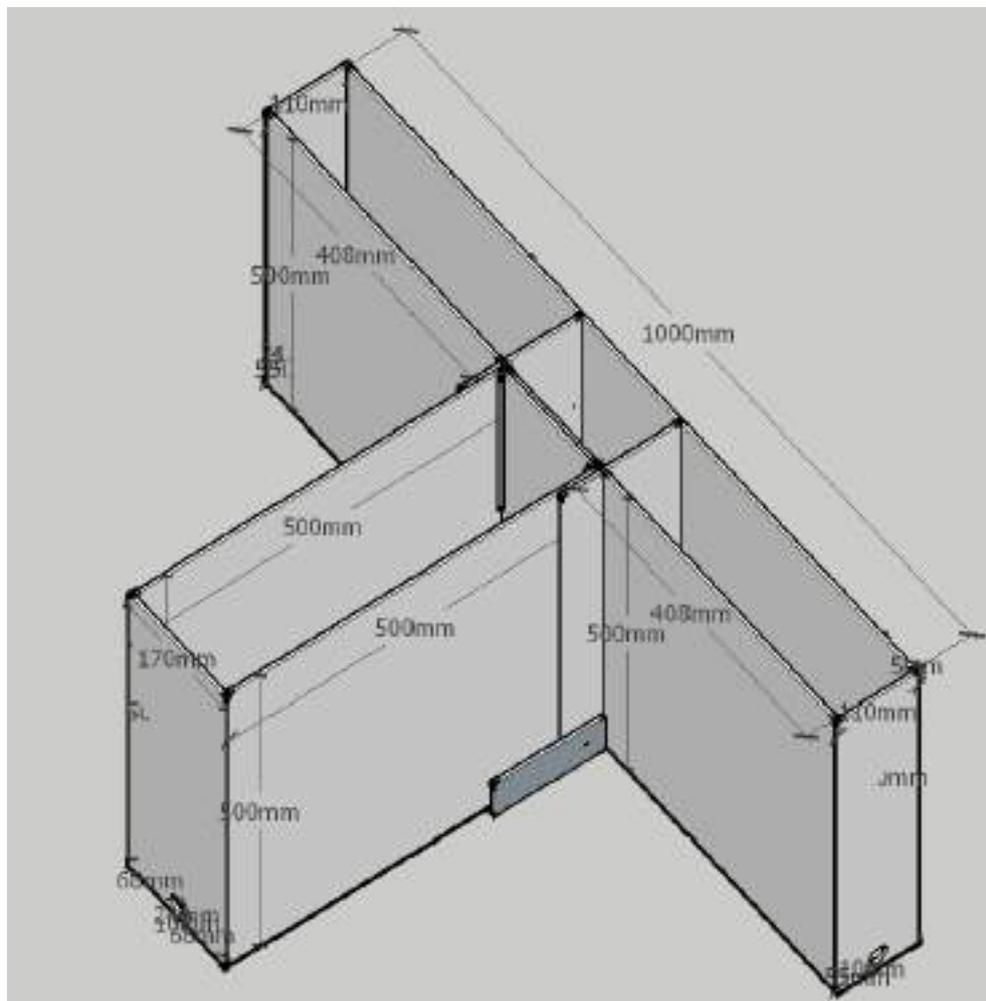
Fonte: Autoria própria.

4 RESULTADOS

4.1 Estrutura do labirinto em acrílico

O resultado em modelo virtual com as dimensões utilizadas pode ser visto na Figura 44.

Figura 39 - Dimensões do Labirinto em T projetado.



Fonte: Autoria própria.

Foi feito um documento de especificações e enviado para uma loja que oferece serviços em acrílico em Natal-RN. Foi escolhido um acrílico opaco na cor preta como indicado na literatura. O resultado final, visto na Figura 45, atendeu a todas as especificações de projeto.

Figura 40 - Resultado da estrutura em acrílico.

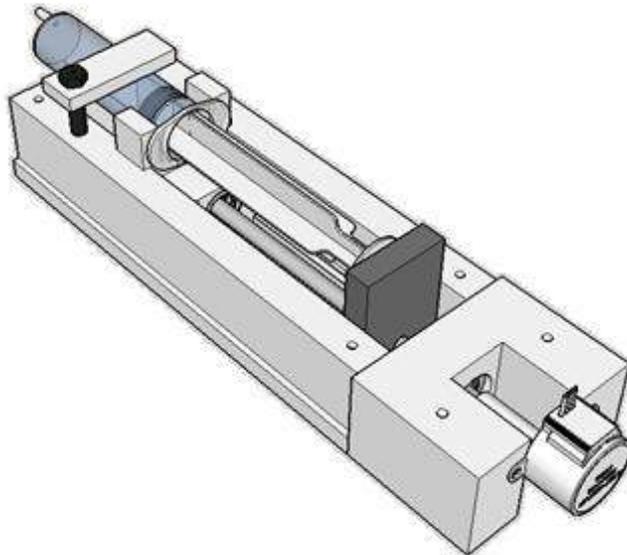


Fonte: Autoria própria.

4.2 Bomba de Seringa

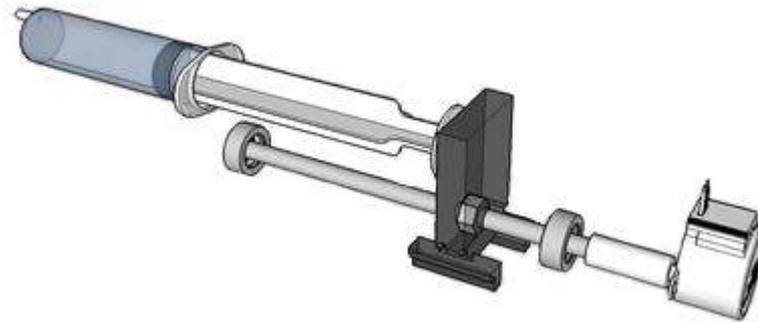
O resultado final em modelo virtual da bomba de seringa pode ser visualizado na Figura 46, e na Figura 47 é apresentada uma visão dos componentes móveis do dispositivo.

Figura 41 - Bomba de seringa projetada.



Fonte: Autoria própria.

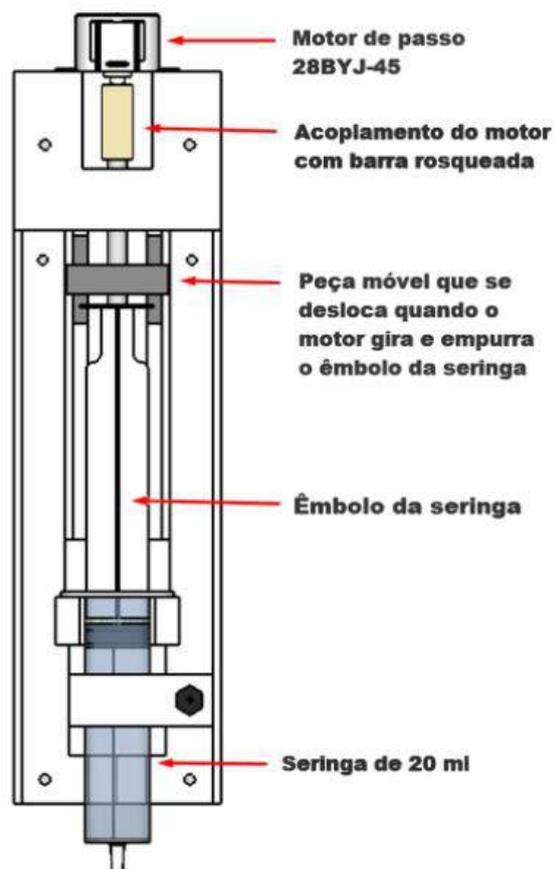
Figura 42 - Conexão dos elementos móveis da bomba.



Fonte: Autoria própria.

A Figura 48 explicita em detalhe os componentes da bomba de seringa desenvolvida.

Figura 43 - Componentes da bomba de seringa.

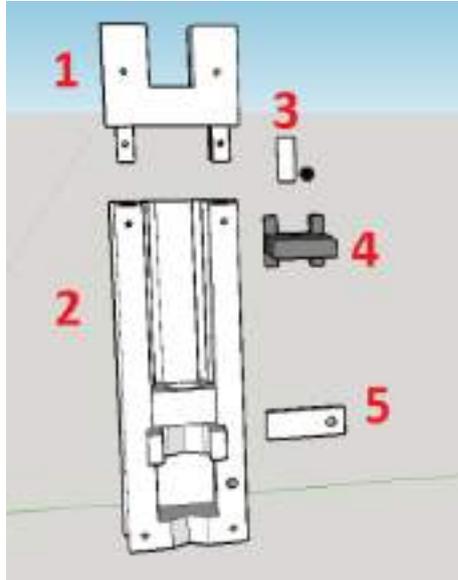


Fonte: Autoria própria.

Após o projeto em desenho, foram separadas as partes a serem impressas em 3D (Figura 49), no laboratório de impressão 3D do Instituto Metr pole Digital (IMD) da UFRN. A peça

maior foi dividida em duas partes (1 e 2 em vermelho na Figura 49), para se adequar as dimensões da impressora 3D disponível (20 cm x 20cm x 20cm).

Figura 44 - Partes da bomba de seringa a serem impressas em 3D.



Fonte: Autoria própria.

O resultado final da impressão 3D em plástico de filamento preto pode ser visto na Figura 50.

Figura 45 - Resultado da bomba de seringa.

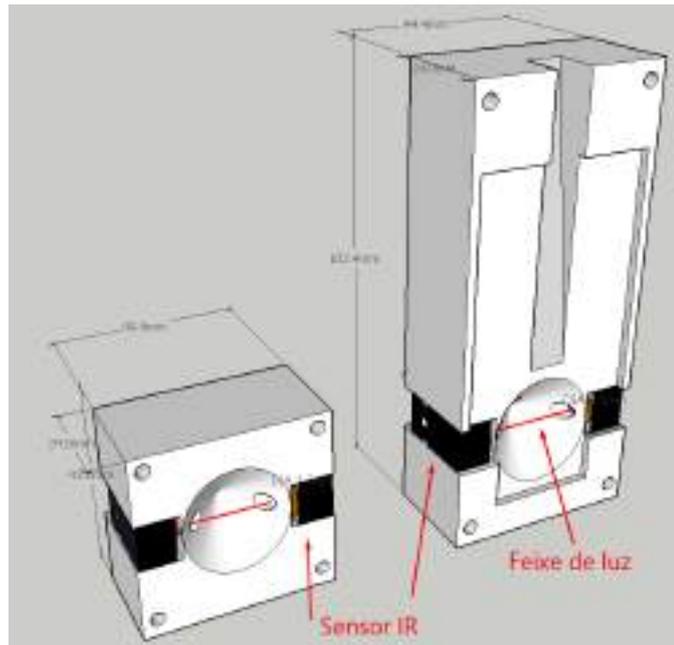


Fonte: Autoria própria.

4.3 Nose-Poke

Na Figura 51 podem ser vistos os modelos virtuais dos dois *Nose-Pokes* projetados.

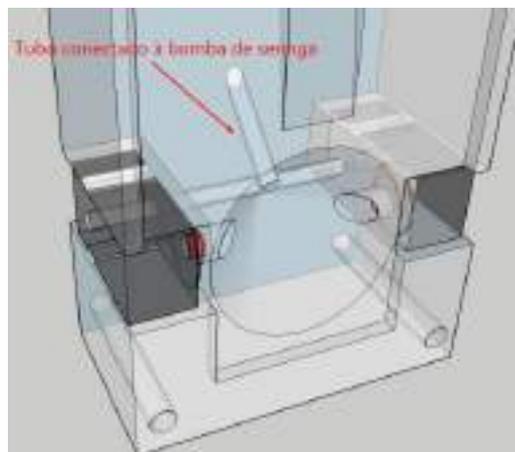
Figura 46 - 2 tipos de *Nose-Poke* projetados (menor tamanho à esquerda e maior tamanho à direita).



Fonte: Autoria própria.

No *Nose-Poke* de maior tamanho, é onde o roedor recebe a recompensa através de um tubo conectado à bomba de seringa, como visto na Figura 52.

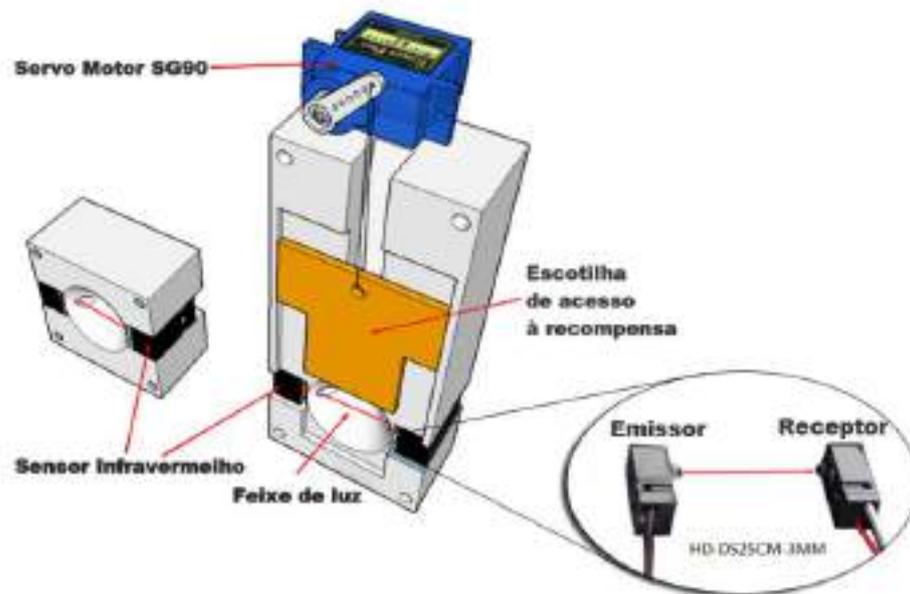
Figura 47 - Visão interna do maior *Nose-Poke*.



Fonte: Autoria própria.

O *Nose-Poke* maior também tem uma escotilha que fecha o orifício onde o roedor recebe a recompensa, quando é acionada pelo servo motor SG90, visto na Figura 53.

Figura 48 - Nose-Poke com escotilha



Fonte: Autoria própria.

Após o desenho no SketchUp, também foram encomendados para impressão em 3D, no laboratório ProtoLab, do Instituto Metr pole Digital (IMD) na UFRN, 2 *Nose-Pokes* do tipo menor e 2 *Nose-Pokes* do tipo maior. Os resultados podem ser vistos nas Figuras 54 e 55 respectivamente.

Figura 49 - Nose-Poke menor.



Fonte: Autoria própria.

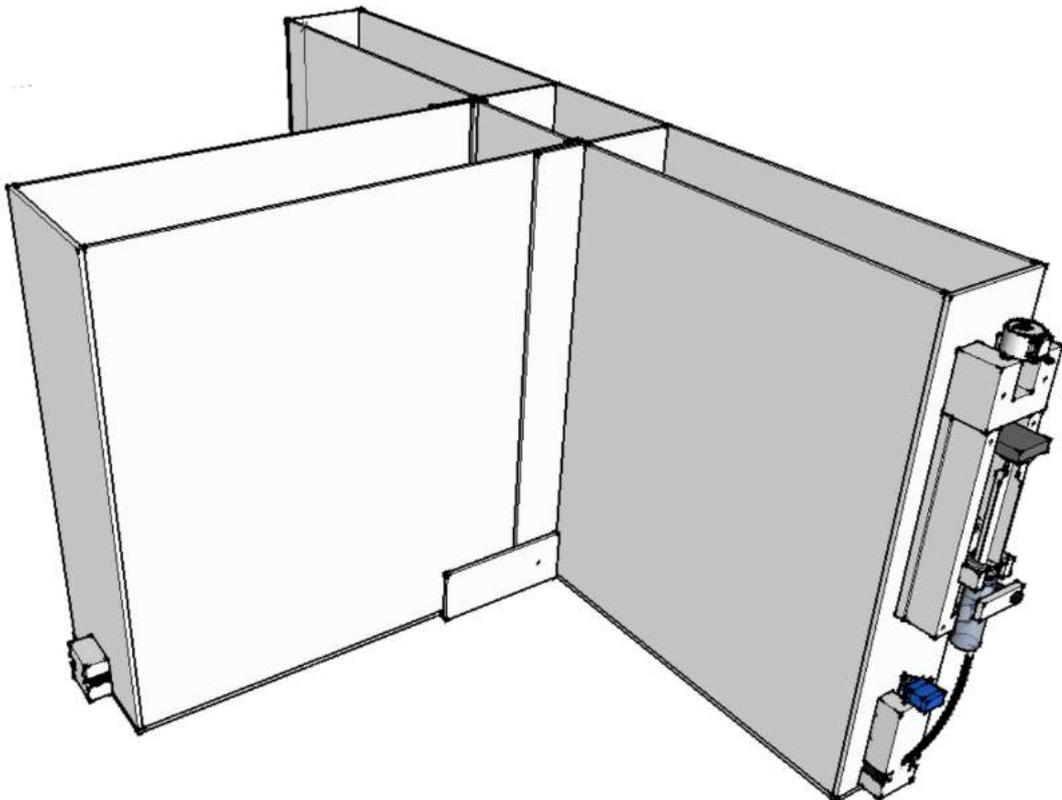
Figura 50- Nose-Poke maior para sistema de recompensa.



Fonte: Autorial própria.

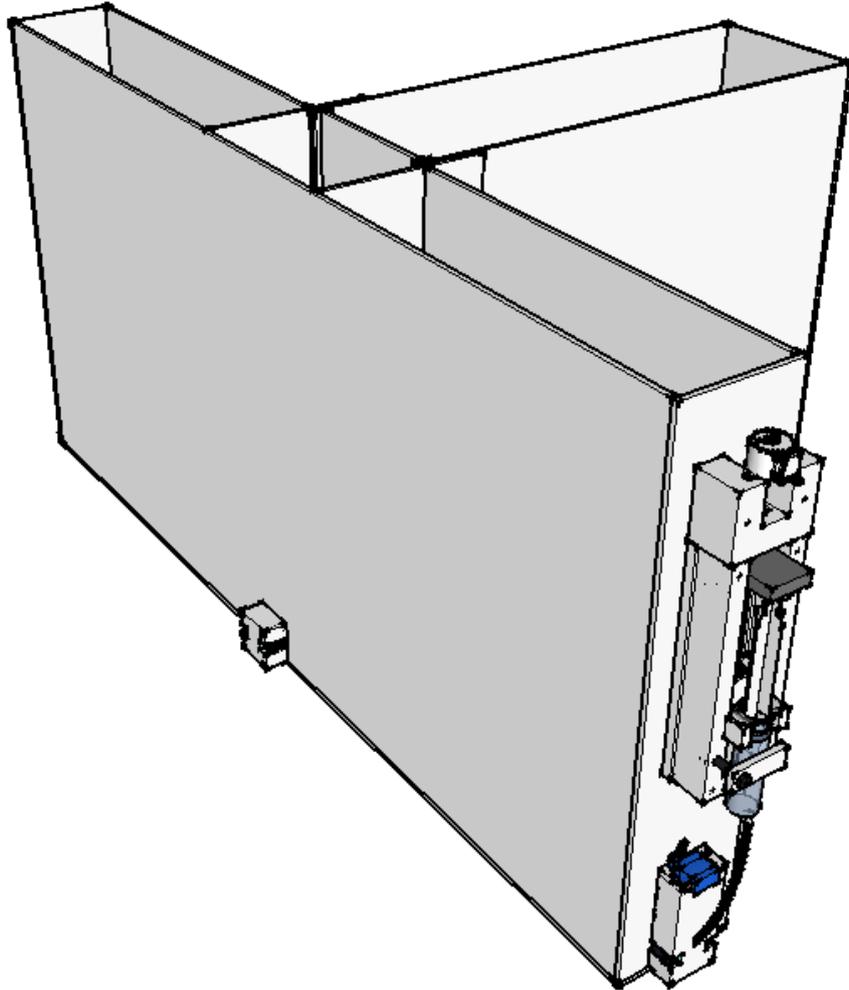
Uma representação final do sistema pode ser vista nas Figuras 56 e 57.

Figura 51 - Vista lateral direita



Fonte: Autorial própria.

Figura 52 - Vista lateral esquerda posterior.



Fonte: Autorial própria.

O código de controle para os sistemas de atuadores e sensores pode ser visto no Anexo A, no final deste trabalho.

5 DISCUSSÃO

Um dos destaques deste trabalho foi a redução de custos para obtenção do produto. Labirintos em T são encontrados comercialmente, com valores médios de \$1300 (dólares americanos), ou aproximadamente R\$ 5000, para valores de conversão na data deste trabalho. Isto sem levar em conta valores de transporte e impostos sobre o produto. Nas Figuras 58 e 59 podem ser observados dois exemplos de Labirintos em T comerciais.

Figura 53 - Labirinto em T vendido pela empresa MazeEngineers com valor de \$1390.



Fonte: (MAZEENGINEERS, 2018)

Figura 54 - Labirinto em T vendido pela empresa Stoelting com valor de \$1295.



Fonte: (STOELTING, 2018).

Na Tabela 6 podem ser vistos os custos dos componentes presentes no Labirinto em T desenvolvido neste trabalho, que teve um custo total de aproximadamente R\$ 1200, cerca de 24% dos valores encontrados em mercado (por conversão direta de Dólar-Real). Além da vantagem de custos, também deve ser levado em conta a customização possível quando se constrói uma própria caixa comportamental, podendo empregar diversos sistemas de recompensas e tarefas específicas para os roedores.

Tabela 6 - Custo dos componentes do labirinto em T.

Componente	Quantidade	Valor (R\$)
Sensor IR	4	30,00
Servo motor	2	20,98
Seringa de 20ml	2	5,60
Motor de passo	2	23,98
Rolamento	4	24,00
Barra rosqueada	1	4,00
Parafusos		5,00
Arduino mega	1	55,49
Buzzer	1	3,90
leitor micro SD	1	4,90
Micro SD	1	12,00
Impressão 3D		140,00
Estrutura em acrílico		900,00
TOTAL		1229,85

Fonte: Autoria própria.

O sistema de recompensas desenvolvido possibilitou também uma grande redução de custos, dado que bombas de seringas comerciais têm um custo médio de aproximadamente \$1000, ou R\$ 3800, para valores de conversão na data deste trabalho. Nas Figuras 60 e 61 podem ser vistos dois exemplos de Bombas de Seringa comerciais.

Figura 55 - Bomba de Seringa Harvard Model 11 Plus 70-2209, encontrada em média por R\$ 2500.



Fonte: (EBAY, 2018).

Figura 56 - Bomba de Seringa KDS KD Scientific LEGATO 100, encontrada com valores médios de R\$ 4600.



Fonte: (KD SCIENTIFIC, 2018).

A bomba de seringa desenvolvida neste trabalho teve um custo de aproximadamente R\$ 60,00, cerca de 2,5% do valor de uma bomba de seringa comercial.

Os *Nose-Pokes* concebidos para o sistema de recompensa, do mesmo modo, proporcionaram uma grande redução de custos, visto que um *Nose-Poke* comercial, além da grande dificuldade de encontrar, pode custar em média \$350, ou R\$ 1300 (Valores para data deste trabalho). Um exemplo de um *Nose-Poke* comercial pode ser observado na Figura 62.

Figura 57 - *Nose-Poke* Modelo 80116ORM, encontrado com custo de \$350.



Fonte: (LAFAYETTEINSTRUMENT, 2018).

6 CONCLUSÃO

Neste trabalho foi desenvolvido um labirinto em T automatizado de baixo custo, com todas as especificações, métodos construtivos e códigos de controle compartilhados com a comunidade científica. Com isso muitos grupos de pesquisa que trabalham com comportamento animal poderão se beneficiar utilizando esta planta. Uma possível melhoria para esta caixa, é desenvolver um sistema automatizado para a abertura das portas, de forma a aumentar as possibilidades e complexidade de experimentos.

7 REFERÊNCIAS

ADAFRUIT. IR BREAK BEAM SENSOR. **adafruit**. Disponível em: <<https://www.adafruit.com/product/2167>>. Acesso em: 11 Julho 2018.

AGNIHOTRI, N. Stepper Motors or Step Motors. **engineersgarage**, 2011. Disponível em: <<https://www.engineersgarage.com/articles/stepper-motors?page=1>>. Acesso em: 10 Julho 2018.

ANDERSON et al. Adrenocortical status predicts the degree of age-related deficits in prefrontal structural plasticity and working memory. **Journal of Neuroscience**, v. 34, n. 25, p. 8387--8397, 2014.

ASHRAF, A. Experimental Ablation. **slideshare**, 2015. Disponível em: <<https://www.slideshare.net/aleemashraf1/experimental-ablation>>. Acesso em: 11 jun. 2018.

ATMEL. Atmel ATmega640/V-1280/V-1281/V-2560/V-2561/V. **microchip**, 2014. Disponível em: <http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/Atmel-2549-8-bit-AVR-Microcontroller-ATmega640-1280-1281-2560-2561_datasheet.pdf>. Acesso em: 11 Julho 2018.

BIRKE, L. Who—or what—are the rats (and mice) in the laboratory. **Society & Animals**, v. 11, n. 3, p. 207--224, 2003.

BOMBA De Seringa St670 Samtronic Nova. **mercadolivre**, 2018. Disponível em: <https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-890967157-bomba-de-seringa-st670-samtronic-nova-_JM>. Acesso em: 11 jun. 2018.

BRITES, F. G.; SANTOS, V. P. D. A. Motor de passo. **Pet Tele Universidade Federal Fluminense**, Niterói/RJ, 2008.

BUECHLEY, L.; EISENBERG, M. The LilyPad Arduino: using computational textiles to investigate engagement, aesthetics, and diversity in computer science education. In: _____

Proceedings of the SIGCHI conference on Human factors in computing systems. Florence, Italy: ACM, 2008. p. 423--432.

CHINASOUND. **edcon.** Disponível em: <<http://www.edcon-components.com/Webseite/LIE/500377/Originale/141-cet12a3.5-42-2.0.pdf>>. Acesso em: 11 Julho 2018.

CRYSTAL, A. L. F. A. J. D. Metacognition in the rat. **Current Biology**, v. 17, n. 6, p. 551--555, 2007.

CUI INC. PRODUCT SPOTLIGHT:PIEZO AND MAGNETIC BUZZERS. **cui**, 2018. Disponível em: <<https://www.cui.com/product-spotlight/piezo-and-magnetic-buzzers>>. Acesso em: 11 Julho 2018.

DAVIES, A. Control a 'LOT' of Servo Motors using a Joystick. **brainybits**, 2016. Disponível em: <<https://www.brainy-bits.com/control-multiple-servos-with-joystick/>>. Acesso em: 11 Julho 2018.

DEACON, R. M.; RAWLINS, J. N. P. T-maze alternation in the rodent. **Nature protocols**, v. 1, n. 1, p. 7, 2006.

EBAY. Harvard Apparatus 11 Plus 70-2209. **ebay**, 2018. Disponível em: <https://www.ebay.com/itm/Harvard-Apparatus-11-Plus-Digital-Syringe-Pump-70-2209-with-Power-Supply/323263980862?epid=1890680134&hash=item4b4408e53e%3Ag%3AE1kAAOSw2QJbBWBa&_sacat=0&_nkw=syringe+pump&_from=R40&rt=nc&_trksid=p2050601.m570.11313.TR1.TRC0.A0.H0>. Acesso em: 18 Julho 2018.

ELTABLAWY; TORK, N. E.; OLA, M. Neuroprotection of Melatonin in Lipopolysaccharide-induced Alzheimer's Disease in rats. **Amyloid**, v. 3, p. 7, 2014.

FLORESCO; GHODS-SHARIFI. Amygdala-prefrontal cortical circuitry regulates effort-based decision making. **Cerebral cortex**, v. 17, n. 2, p. 251--260, 2006.

FORTRESS, A. M.; FRICK, K. M. Pharmacologically manipulating learning and memory. In: _____ **The Maze Book**. [S.l.]: Springer, 2015. p. 165--210.

IBRAHIM, D. **Microcontroller Based Applied Digital Control**. [S.l.]: Wiley, 2006.

IR Break Beam Sensor - 3mm LEDs. **adafruit**, 2018. Disponível em: <<https://www.adafruit.com/product/2167>>. Acesso em: 11 jun. 2018.

KD SCIENTIFIC. KDS KD Scientific LEGATO 100 Syringe Pump. **labx**, 2018. Disponível em: <<https://www.labx.com/item/kds-kd-scientific-legato-100-syringe-pump/4270490>>. Acesso em: 18 Julho 2018.

KIATRONICS. **kiatronics**. Disponível em: <<http://robocraft.ru/files/datasheet/28BYJ-48.pdf>>. Acesso em: 11 Julho 2018.

LAFAYETTEINSTRUMENT. OPEN NOSEPOKE. **lafayetteneuroscience**, 2018. Disponível em: <<https://lafayetteneuroscience.com/products/open-nosepoke>>. Acesso em: 18 julho 2018.

LIONELLO-DENOLF, K. M.; MIHALICK, S. M. An automated olfactory discrimination procedure with rats. **The Behavior Analyst Today**, v. 7, n. 4, p. 560, 2006.

LONG, M. S. what is a syringe pump. **chemyx**, 2018. Disponível em: <<https://www.chemyx.com/support/knowledge-base/getting-started/what-is-a-syringe-pump/>>. Acesso em: 18 Julho 2018.

MARTINS, M. D. S. Stepper Motors. **msmrobotics**, 2013. Disponível em: <<https://msmrobotics.wordpress.com/category/cnc/>>. Acesso em: 11 Julho 2018.

MAZEENGINEERS. T Maze. **mazeengineers**, 2018. Disponível em: <<https://mazeengineers.com/portfolio/t-maze/>>. Acesso em: 18 Julho 2018.

MOUSE Behavioral Phenotyping Core. **Carolina Institute for Developmental Disabilities**, 11 jun. 2018. Disponível em: <<http://www.cidd.unc.edu/research/default.aspx?id=25>>. Acesso em: 11 jun. 2018.

O'KEEFE et al. The hippocampus as a spatial map: Preliminary evidence from unit activity in the freely-moving rat. **Brain research**, 1971.

OLTON. Mazes, maps, and memory. **American psychologist**, v. 34, n. 7, p. 583, 1979.

RUVALCABA-DELGADILLO; LUQUÍN, Y. E.; RAMOS-ZÚ, S. E. Early-life exposure to noise reduces mPFC astrocyte numbers and T-maze alternation/discrimination task performance in adult male rats. **Noise & health**, v. 17, p. 216, 2015.

SAMTRONIC. Bombas de Seringa. **samtronic**, 2018. Disponível em: <http://www.samtronic.com.br/PT_Br/img/box_grande_ST7000.jpg>. Acesso em: 13 Julho 2018.

SANTOS, A. Servo Motores. **pictronics**, 2007. Disponível em: <<http://www.pictronics.com.br/downloads/apostilas/servomotores.pdf>>. Acesso em: 11 Julho 2018.

SCARPINO, M. **Motors for Makers: A Guide to Steppers, Servos, and Other Electrical Machines**. [S.l.]: Pearson Education, 2015.

SILVEIRA, C. B. Servo Motor: Veja como Funciona e Quais os Tipos. **citisystems**, 2017. Disponível em: <<https://www.citisystems.com.br/servo-motor/>>. Acesso em: 11 Julho 2018.

STATEHAM, B. Source Code for driving the 28BYJ-48 Stepper Motor. **github**, 2017. Disponível em: <<https://github.com/BretStateham/28BYJ-48>>. Acesso em: 11 Julho 2018.

STOELTING. t maze. **stoeltingco**, 2018. Disponível em: <<https://www.stoeltingco.com/anymaze/mazes/learning/t-maze.html>>. Acesso em: 18 Julho 2018.

TEJA, R. Servo Motor – Types and Working Principle. **electronicshub**, 2015. Disponível em: <<https://www.electronicshub.org/servo-motors/>>. Acesso em: 11 Julho 2018.

TEXAS INSTRUMENTS. **ti.** Disponível em: <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/uln2003a.pdf>. Acesso em: 11 Julho 2018.

THOMAZINI, D. A. D. A. P. U. B. **Sensores Industriais - Fundamentos e Aplicações.** [S.l.]: Erica, 2005.

TOWERPRO. **towerpro.** Disponível em: <http://www.towerpro.com.tw/product/sg90-7/>. Acesso em: 11 Julho 2018.

ANEXO A

Conforme citado na Seção 3, abaixo estão os códigos em c++ para as duas caixas comportamentais.

Labirinto em T

```
#include <Servo.h>

const int buzzer = 5; //buzzer to arduino pin 9
int IR1 = 2 ;
int IR2 = 3 ;
int IR3 = 7 ;
Servo myservol; // servo da porta central
int pos1;
Servo myservo2;
int pos2;

long Tbase,Te,Td;

int randomNumber = 0;

int x,y;
void setup(){
  Serial.begin(9600);
  pinMode(IR1,INPUT);
  pinMode(IR2,INPUT);
  pinMode(IR3,INPUT);
  //Serial.begin(115200);
  myservol.attach(9); // attaches the servo on pin 9 to the servo object
  myservo2.attach(10);
  pinMode(buzzer, OUTPUT); // Set buzzer - pin 9 as an output
  randomSeed(analogRead(A0));
}

void loop(){
  int IR1value = digitalRead(2);
  int IR2value = digitalRead(3);
  int IR3value = digitalRead(7);
  // Serial.println(randomNumber);

  if(IR1value == 0){
    Tbase = millis();
    tone(buzzer, 5000); // Send 1KHz sound signal...
    delay(1000); // ...for 1 sec
    noTone(buzzer); // Stop sound...
    randomNumber = random(1,3);
    Serial.println(Tbase);
  }

  if(randomNumber == 1){
    myservol.write(180);
    randomNumber = 0;
  }
}
```

```
if(randomNumber == 2){
  myservo2.write(180);
  randomNumber = 0;
}

if(IR2value == 0){
  Te = millis();
  delay(3000);
  myservo1.write(0);
  Serial.println(Te);
}

if(IR3value == 0){
  Td = millis();
  delay(3000);
  myservo2.write(0);
  Serial.println(Td);
}

}
```