

Thiago Ferreira Santos

Uso e Aplicações de Sensores Ópticos para Medição de Distâncias

Alegre – ES, Brasil

2021

Thiago Ferreira Santos

Uso e Aplicações de Sensores Ópticos para Medição de Distâncias

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado a Universidade Federal do Espírito Santo, como parte dos requisitos para obtenção do título de Licenciado em Física.

Universidade Federal do Espírito Santo – UFES
Centro de Ciências Exatas, Naturais e da Saúde – CCENS
Departamento de Química e Física – DQF

Orientador: Prof. Dr. Roberto Colistete Júnior

Alegre – ES, Brasil

2021

Thiago Ferreira Santos

Uso e Aplicações de Sensores Ópticos para Medição de Distâncias / Thiago
Ferreira Santos. Alegre – ES, Brasil, 2021

xiv, 69 f. il. ; 30 *cm*

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Licenciatura em Física), Univer-
sidade Federal do Espírito Santo, Campus Alegre, 2021.

Orientador: Prof. Dr. Roberto Colistete Júnior

1. Sensores Ópticos 2. Sharp GP2Y0A60SZLF 3. STMicroelectronics VL53L0X.

Thiago Ferreira Santos

Uso e Aplicações de Sensores Ópticos para Medição de Distâncias

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado a Universidade Federal do Espírito Santo, como parte dos requisitos para obtenção do título de Licenciado em Física.

Aprovado em:

Comissão Examinadora:

Prof. Dr. Roberto Colistete Júnior
Orientador

Prof. Dr. Cláudio Moisés Ribeiro

B.Sc. Eduardo Amorim Benincá

Alegre – ES, Brasil
2021

Dedico este trabalho aos meus pais, em especial minha mãe que me apoiou incondicionalmente quando decidi matricular-me no curso de Física.

Agradecimentos

Agradeço primeiramente aos meus pais, especialmente minha mãe que me apoiou durante toda a minha trajetória, muito obrigado pelos ensinamentos, conselhos e, principalmente, pelas palavras de conforto durante meus momentos de crise. Ao meu orientador Roberto Colistete Júnior, foi um privilégio ter sido orientado por uma das mentes mais eruditas que tive a oportunidade de conhecer. Muito obrigado pela paciência, dedicação e ensinamentos relacionados aos conceitos e objetos deste trabalho. Também agradeço à Universidade Federal do Espírito Santos por me proporcionar momentos únicos durante a graduação e, principalmente, por alterar a minha vida de forma positiva. Aos meus amigos Clever, Diego e Julio, também dedico os meus agradecimentos, sou grato pela amizade que foi construída ao longo desses anos, logo, muito obrigado por estarem presentes na minha vida durante a minha jornada.

*“Eu posso não ter ido para onde
onde eu pretendia ir, mas eu acho que
acabei terminando onde eu pretendia estar.”*
(Douglas Adams)

Resumo

O vigente trabalho tem como objeto de estudo o uso e aplicações dos sensores ópticos Sharp IR GP2Y0A60SZLF e STMicroelectronics VL53L0X, conectados a microcontroladores BBC *micro:bit* e M5StickC ESP32, a fim de realizar medições de distância com objeto estático ou em Movimento Retilíneo Uniformemente Variado – MRUV, mensurar nível de água de um recipiente, etc. A análise de literatura mostrou que há uma carência de trabalhos envolvendo tais sensores ópticos, onde os sensores estivessem empregados. Os métodos utilizados foram baseados no uso da linguagem de programação MicroPython, montagem dos dispositivos, testes em atividades práticas, análise e tratamento de dados via *software*. Os resultados obtidos se apresentam em concordância com as etapas de execução com um relevante potencial em uso e aplicações para medição de distâncias, possibilitando adaptar roteiros experimentais aos sensores em atividades experimentais em laboratórios de Física, principalmente em determinar posição versus tempo, entre outros.

Palavras-chaves: Sensores Ópticos, Sharp GP2Y0A60SZLF, STMicroelectronics VL53L0X.

Abstract

The object of this work is to study the use and applications of Sharp IR GP2Y0A60SZLF and STMicroelectronics VL53L0X optical sensors, connected to BBC microbit and M5StickC ESP32 microcontrollers, in order to perform distance measurements with a static object or in a Uniformly Varying Rectilinear Motion - UVRM, to measure the water level in a container, etc. The literature review showed that there is a lack of works involving such optical sensors, where the sensors were employed. The methods used were based on the use of the MicroPython programming language, assembly of the devices, tests in practical activities, analysis and data processing through software. The results obtained are in agreement with the execution steps with a relevant potential in use and applications for measuring distances, making it possible to adapt experimental scripts to the sensors in experimental activities in physics laboratories, mainly in determining position versus time, among others.

Key-words: Optical Sensors, Sharp GP2Y0A60SZLF, STMicroelectronics VL53L0X.

Lista de ilustrações

Figura 1 – Sistema por barreiras de um sensor óptico.	15
Figura 2 – Sistema por difusão de um sensor óptico.	16
Figura 3 – Vista frontal com dimensões do sensor Sharp GP2Y0A60SZLF.	20
Figura 4 – Curva teórica do sensor Sharp GP2Y0A60SZLF.	20
Figura 5 – Comparação da vista traseira das versões 5 V e 3 V do sensor de distância Sharp GP2Y0A60SZLF.	21
Figura 6 – Método de triangulação com objetos.	22
Figura 7 – <i>Time-of-Flight</i> Unit VL53L0X: vista frontal e traseira.	23
Figura 8 – Diagrama esquemático de um sensor que utiliza o método <i>Time-of-Flight</i>	24
Figura 9 – Vista traseira e frontal do BBC <i>micro:bit</i>	26
Figura 10 – Processo de amostragem.	27
Figura 11 – Placa de extensão <i>Edge Connector Breakout Board</i>	28
Figura 12 – Módulo <i>Breadboard Power Supply</i>	28
Figura 13 – Módulo de desenvolvimento M5StickC ESP32.	30
Figura 14 – Ajuste não linear da tensão em função da distância.	32
Figura 15 – Aparato experimental conectado.	33
Figura 16 – Ajuste de curva não linear: Tensão (V) em função da Distância (cm). Correlação do gráfico com as equações, (a) – equação 5.1, (b) – equação (5.2), (c) – equação (5.3) e (d) – equação (5.4).	36
Figura 17 – Ajuste de Curva: Distância (m) \times Tempo (s).	37
Figura 18 – Posição (m) em função do Tempo (s) para as configurações de (a) até (e), realizadas na atividade.	40
Figura 19 – ToF HAT VL53L0X como medidor de nível de água.	42
Figura 20 – ToF Unit VL53L0X como medidor de nível de água.	42

Lista de tabelas

Tabela 1	–	Especificação elétrica para determinar incertezas prevista pelo manual do multímetro ADM01 – BSIDE.	31
Tabela 2	–	Valores obtidos a partir da medições.	31
Tabela 3	–	Remoção de ruídos do sensor Sharp GP2Y0A60SZLF para uma distância de 15 <i>cm</i> com um regulador de tensão.	33
Tabela 4	–	Configuração das massas.	38
Tabela 5	–	Valores para o fluxo de ar do compressor e nos orifícios do trilho de ar.	39
Tabela 6	–	Valores médios para a aceleração teórica	39
Tabela 7	–	Valores da aceleração.	39
Tabela 8	–	Medidas de distâncias para a medição da superfície do fluido.	41

Lista de abreviaturas e siglas

PSD	<i>Position Sensitive Devices</i>
LED	<i>Light Emitting Diode</i>
ToF	<i>Time-of-Flight</i>
CAPES	Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior
UFES	Universidade Federal do Espírito Santo
IR	<i>Infra-Red</i>
IR-LED	<i>InfraRed-Light Emitting Diode</i>
CCD	<i>Charge-Coupled Device</i>
SPAD	<i>Single-Photon Avalanche Diode</i>
VCSEL	<i>Vertical Cavity Surface-Emitting Laser</i>
LIDAR	<i>Light Detection And Ranging</i>
USB	Universal Serial <i>Bus</i>

Sumário

1	INTRODUÇÃO	14
2	JUSTIFICATIVA E OBJETIVOS	17
2.1	Justificativa	17
2.2	Objetivos	17
2.2.1	Objetivo Geral	17
2.2.2	Objetivos Específicos	17
3	ARQUITETURA	19
3.1	Sharp GP2Y0A60SZLF	19
3.1.1	Sharp GP2Y0A60SZLF: versões de operação	20
3.1.2	Método de Triangulação	21
3.2	Time-of-Flight Unit VL53L0X	22
3.2.1	Método Time-of-Flight (ToF) ou Tempo de voo	24
3.3	BBC Micro:bit	25
3.3.1	Analogic-to-Digital Converter (ADC)	26
3.3.2	Edge Connector Breakout Board	28
3.4	Breadboard Power Supply	28
3.5	M5StickC ESP32	29
4	IMPLEMENTAÇÃO	31
4.1	Caracterização de Material e Ajuste de Curva	31
4.2	Montagem de Hardware e Remoção de Ruídos	32
4.3	Código-fonte MicroPython: Gravação e Armazenamento de Dados, Detector de Presença, Medidor de Nível de Água	34
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES	35
5.1	Aquisição de Dados e Ajuste de Curva – Objeto Estático	35
5.2	Aquisição de Dados e Ajuste de Curva – Objeto em Movimento Retilíneo Uniformemente Variado (MRUV)	37
5.3	Aquisição de Dados e Ajuste de Curva - Segunda Lei de Newton	38
5.4	Medidor de Nível do Água	40
6	CONCLUSÃO	44
6.1	Trabalhos Futuros	44

REFERÊNCIAS	45
APÊNDICE A – CÓDIGO-FONTE MICROPYTHON: CALIBRAÇÃO DO SENSOR SHARP GP2Y0A60SZLF	47
APÊNDICE B – CÓDIGO-FONTE MICROPYTHON: GRAVAÇÃO E ARMAZENAMENTO DE DADOS	50
APÊNDICE C – CÓDIGO-FONTE MICROPYTHON: DETECTOR DE PRESENÇA	51
APÊNDICE D – CÓDIGO-FONTE MICROPYTHON: MENSURAR DISTÂNCIA DE OBJETOS, DETECTOR DE NÍ- VEL DE ÁGUA E INTERFACE GRÁFICA	52
APÊNDICE E – CÓDIGO-FONTE MICROPYTHON: CÁLCULOS ESTATÍSTICOS	53
APÊNDICE F – CÓDIGO-FONTE MICROPYTHON: MEDIDOR DE NÍVEL DE ÁGUA – TOF UNIT VL53L0X	55
APÊNDICE G – CÓDIGO-FONTE MICROPYTHON: MEDIDOR DE NÍVEL DE ÁGUA – TOF HAT VL53L0X	56
ANEXO A – CÓDIGO-FONTE MICROPYTHON: PYBOARD V1.1 – GRAVAÇÃO E ARMAZENAMENTO DE DADOS	57
ANEXO B – ROTEIRO EXPERIMENTAL: SEGUNDA LEI DE NEW- TON	58

1 Introdução

Os sensores são dispositivos que respondem estímulos físicos, químicos, biológicos de uma maneira bem definida, produzindo um sinal que pode ser transformado em uma grandeza física para fins de efetuar medições, coletar dados, detectar a margem de erro de um sistema, enviar um sinal para um atuador e controlar de forma eficiente as ações de um processo ou sistema eletro-eletrônico (BORGES; CAZER, 2005). Ao associar um sensor com um módulo de transformação do estímulo físico ou químico, o sensor pode ser definido como transdutor ou medidor, que converte um tipo de energia em outro tipo de energia (BALBINOT; BRUSAMARELLO, 2011). Os sensores tentam emular os sentidos humanos: visão, audição, tato, olfato e o paladar. No caso dos sensores ópticos, o sentido humano emulado é a visão (BORGES; CAZER, 2005).

Comumente, os sensores ópticos são denominados de *Position Sensitive Devices* (PSD) por serem um dispositivo de sensoriamento de posição. Os sensores ópticos são utilizados para efetuar medições de distâncias em que o objeto se encontra em relação ao sensor, detectar de objetos, realizar contagem de uma grande quantidade de objetos, detecção de alta velocidade, mensurar/detectar o nível de água em um dado recipiente e uma série de aplicações (MAYER; PARKER, 1994).

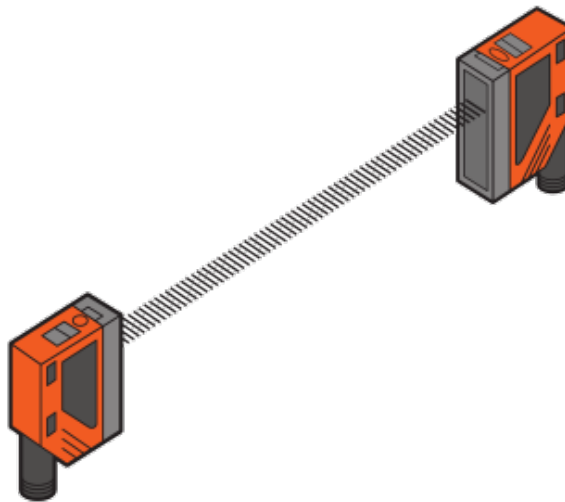
Sua fabricação é baseada na tecnologia da emissão e recepção de irradiação infravermelha ou emissão e recepção de luz artificial, onde os responsáveis pela emissão e recepção da radiação são dois LED's – *Light Emitting Diode*, um emissor e um coletor. Em suma, o LED emissor propaga o feixe de luz, já o LED receptor coleta a radiação de retorno desse feixe, isto é, coleta o feixe após a reflexão do material, superfície, etc (BORGES; CAZER, 2005). Os sensores ópticos operam na faixa do infravermelho, um exemplo de radiação invisível ao olho humano, que é caracterizada por comprimentos de onda entre 730 e 1.000.000 nm (LEITE; PRADO, 2012).

De acordo com Borges e Cazer (2005), os sensores ópticos são divididos em dois tipos, passivos e ativos. Os sensores passivos possuem apenas receptores de alcance, isto é, não emitem feixe de luz, apenas detectam movimentações. Ao detectar um sinal infravermelho, por exemplo, o receptor transforma o referido sinal em uma variação de tensão elétrica ou corrente elétrica para ser interpretado por um circuito eletrônico. Os sensores ativos possuem um emissor e um receptor e sua utilização pode decorrer em ambientes internos e externos, devido a sua faixa de operação e caracterizam-se nos seguintes grupos: sistema por barreira, sistema por difusão e sistema por reflexão.

- **Sistema por barreira**

No sistema por barreira, o elemento emissor de radiação é alinhado frontalmente com o receptor de alcance, ou seja, o emissor e o receptor estão em invólucros separados. O feixe de luz é enviado pelo emissor e é coletado pelo receptor, Figura 1. A saída do emissor muda, uma vez que o feixe de luz é interrompido por um objeto e o receptor não recebe luz. Enquanto o objeto interromper a trajetória do feixe de luz, a aplicação não é influenciada por ângulo, geometria do objeto, reflexão e característica da superfície. No entanto, o sistema por barreira são muito confiáveis em relação aos sensores ópticos de reflexão difusa, que dependem da reflexão da luz do objeto.

Figura 1 – Sistema por barreiras de um sensor óptico.

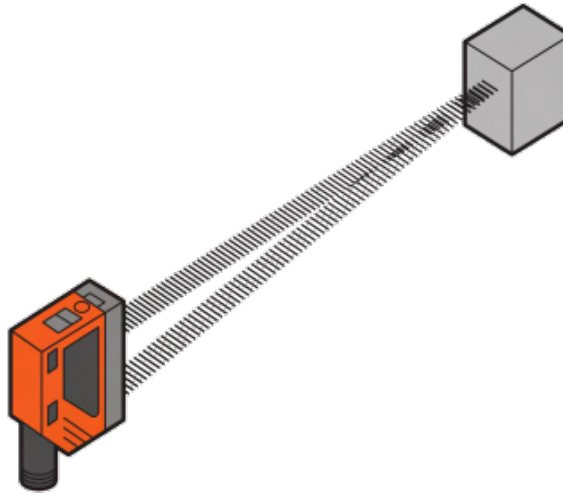


Fonte: (ELETRONIC, 2021)

- **Sistema por difusão**

Sistema por difusão é caracterizado pelo emissor e receptor estarem acoplados ou fixos em um único conjunto óptico, Figura 2. O feixe de luz enviado pelo emissor incide diretamente no objeto, onde a luz é refletida pelo objeto, retornando para a unidade receptora. Contudo, com o tempo de resposta, é possível determinar a distância na qual o objeto está disposto. Sensores por difusão apresentam dependência das características do objeto para apresentar eficiência na reflexão, ou seja, cor do objeto, superfície e ângulo podem apresentar medidas errôneas de distâncias.

Figura 2 – Sistema por difusão de um sensor óptico.



Fonte: (ELETTRONIC, 2021).

- **Sistema por reflexão**

O sistema por reflexão também é caracterizado pelo emissor e receptor estarem acoplados ou fixos em um único conjunto óptico. No entanto, no sistema por reflexão, o feixe de luz é emitido em direção a um espelho prismático. No sistema por reflexão, ao retirar o espelho prismático ou quando houver interrupção do feixe de luz entre o sensor e o espelho com determinado objeto, o receptor não recebe sinal.

Embora existam variados tipos de modelos e séries de sensores ópticos, este trabalho visa apresentar o uso e aplicações para medição de distâncias utilizando os seguintes sensores ópticos: Sharp GP2Y0A60SZLF, *Time-of-Flight Unit* VL53L0X e *Time-of-Flight HAT* VL53L0X, pertencentes ao grupo de sensores de sistema por difusão. Os sensores mencionados são de baixo custo e efetuam detecção direta de objetos sem que seja necessário um segundo invólucro.

2 Justificativa e objetivos

2.1 Justificativa

Os sensores ópticos anteriormente listados, se apresentam como uma ótima escolha por ser de baixo custo e usual em projetos que requerem medições de distância precisas e uma série de aplicabilidades, como por exemplo, medição de distâncias com objetos realizando um movimento retilíneo, detector de presença, medidor de nível de água e adaptações de roteiros experimentais existentes e/ou decorrentes do laboratório de Física da Universidade Federal do Espírito Santo (UFES).

Realizou-se uma análise de literatura no portal de periódicos da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) na área de Física, classificados em A1 e A2 no quadriênio mais recente. Foram selecionadas as classificações A1 e A2, pelo fato de se encontrar na melhor hierarquia de trabalhos. A análise foi efetuada com o propósito de verificar o uso e aplicações dos sensores ópticos de distância Sharp GP2Y0A60SZLF e ToF Unit VL53L0X. Foram analisadas 124 revistas e excluído um total de 112 revistas da análise, pelos motivos de pertencer às outras áreas do conhecimento e por serem repetidas, havendo versão impressa e *on-line*. Entretanto, das 124 revistas analisadas não foi encontrado nenhum artigo, onde o foco estivesse voltado para o uso e aplicações dos sensores propostos neste trabalho. Diante disso, é possível notar uma ausência dos referidos dispositivos em estudos e trabalhos científicos na área de Física disponíveis no portal de periódico, onde foi realizado a análise de literatura.

2.2 Objetivos

2.2.1 Objetivo Geral

O objeto que norteia esse trabalho é promover o uso e aplicações de sensores ópticos para medição de distâncias, visando uma inserção futura de um protótipo funcional em laboratório de Física experimental.

2.2.2 Objetivos Específicos

Os objetivos específicos são baseados na montagem e configuração de *hardwares*, verificação da capacidade de efetuar medição de distâncias e propor aplicações com sensores ópticos.

- Definir configurações de *hardware*: sensor óptico (Sharp GP2Y0A60SZLF, ToF VL53L0X, ToF HAT VL53L0X) e microcontroladores MicroPython (M5StickC

ESP32, BBC *micro:bit*);

- Fazer inserção do protótipo funcional em experimentos de Física (Movimento Retilíneo Uniformemente Variado, Segunda Lei de Newton, etc);
- Realizar testes e medições utilizando as variações dos *hardwares*;
- Realizar análise de dados coletados e/ou decorrentes;
- Desenvolver código-fonte Python e MicroPython e/ou implementar funcionalidades nos *softwares* já existentes;
- Comparar os valores obtidos das distâncias entre os sensores ópticos.

3 Arquitetura

Neste capítulo serão apresentados e discutidos os *hardwares* utilizados neste trabalho. Nas seções 3.1 e 3.2 do capítulo vigente serão destacadas as características dos sensores ópticos, detalhes técnicos, princípio de funcionamento e métodos utilizados por cada sensor para mensurar distâncias; na segunda seção serão detalhados os atributos dos microcontroladores BBC *micro:bit* e M5StickC ESP32, bem como, configurações de uso, detalhes técnicos, uso e importância do conversor analógico-digital contido no BBC *micro:bit*, etc.

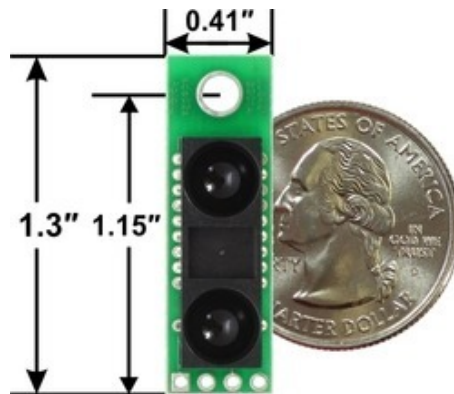
Sensores Ópticos

3.1 Sharp GP2Y0A60SZLF

O sensor Sharp GP2Y0A60SZLF é uma unidade de medição composta por uma combinação de *Position Sensitive Devices* (PSD), *InfraRed-Light Emitting Diode* (IR-LED) e circuito de processamento de sinal (SHARP, 2015). Tal sensor apresenta uma faixa de medição de distâncias entre 10 a 150 *cm* apresentando na saída de dados um valor analógico inversamente proporcional a distância lida, realiza 50-60 leituras por segundo, baixo consumo de energia, taxa de atualização automática da saída analógica de (16 ± 4) *ms* e transmitância eficiente na faixa de emissão de comprimento de onda do LED de $\lambda = (870 \pm 70)$ *nm* (SANTOS; COUTO; COLISTETE, 2018). Outro atributo do sensor Sharp GP2Y0A60SZLF é a saída analógica, onde é possível estabelecer uma conexão com um *Analogic-to-Digital Converter* (ADC) para efetuar medições de distâncias (POLOLU, 2015). As particularidades sobre o uso do ADC serão discutidas posteriormente.

Como mostra a Figura 3, o sensor Sharp GP2Y0A60SZLF é um dispositivo pequeno, compacto e situa-se como uma excelente alternativa para ser utilizado em aplicações, enquanto seu amplo alcance de detecção, resistência a interferência de IR ambiente, variação da refletividade do objeto e temperatura ambiente não influencia facilmente as distâncias detectadas devido ao método de triangulação que o dispositivo adota para efetuar as leituras de distâncias (POLOLU, 2015).

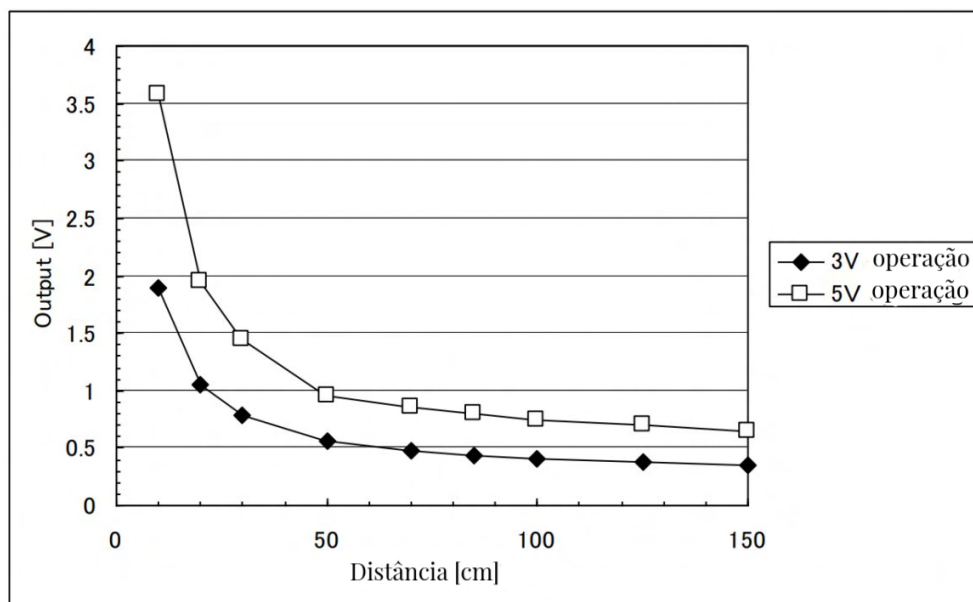
Figura 3 – Vista frontal com dimensões do sensor Sharp GP2Y0A60SZLF.



Fonte: (POLOLU, 2015).

O sensor Sharp GP2Y0A60SZLF tem uma saída não linear, isto é, conforme a distância aumenta linearmente, a saída analógica diminui ou aumenta de forma não linear. A tensão de saída pode ser convertida em uma distância aproximada por meio de um ajuste de curva, ao relacionar o inverso da tensão de saída à distância. A Figura 4 apresenta a curva teórica típica do sensor, um decaimento exponencial que descreve o comportamento das grandezas físicas envolvidas. (ROBOTIC, 2015).

Figura 4 – Curva teórica do sensor Sharp GP2Y0A60SZLF.



Fonte: (POLOLU, 2015).

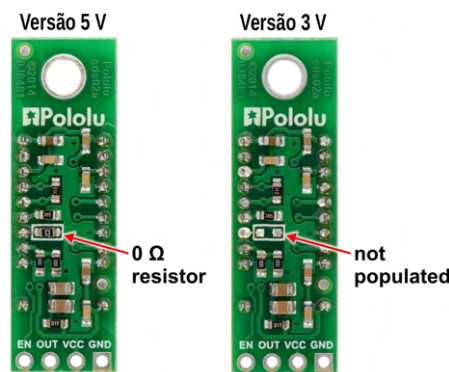
3.1.1 Sharp GP2Y0A60SZLF: versões de operação

De acordo com Pololu (2015) e Sharp (2015), o sensor Sharp GP2Y0A60SZLF possui as seguintes versões de operação:

- Versão 5 V, a tensão de operação recomendada é de 2,7 V a 5,5 V e o diferencial de tensão de saída na faixa de distância total é de aproximadamente 3 V, variando de cerca de 3,6 V a 10 cm a 0,6 V a 150 cm.
- Versão 3 V, a tensão de operação recomendada é de 2,7 V a 3,6 V, e o diferencial de tensão de saída na faixa de distância total é de aproximadamente 1,6 V, variando de 1,9 V a 10 cm a 0,3 V a 150 cm.

A diferença entre as duas versões é a inserção de um resistor de zero ohm ($0\ \Omega$) conforme mostrado na Figura 5. A inserção do referido resistor em uma das versões de operação costuma ser chamado de *jumper* ou *shunt*. É possível converter uma versão de 5 V em 3 V removendo o resistor e pode converter uma versão de 3 V em 5 V colocando em curto circuito os dois blocos.

Figura 5 – Comparação da vista traseira das versões 5 V e 3 V do sensor de distância Sharp GP2Y0A60SZLF.



Fonte: (POLOLU, 2015).

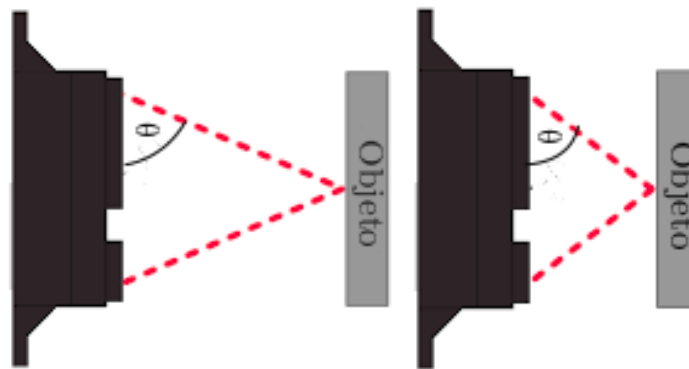
A versão de 5 V pode ser alimentada até 2,7 V e a relação entre a tensão de saída do sensor e a distância é principalmente independente da tensão de alimentação. A principal desvantagem em alimentar a versão de 5 V com uma tensão mais baixa é que a tensão de saída não excederá a tensão de alimentação, portanto, a distância de detecção mínima efetiva pode aumentar. Doutro modo, ao mensurar distâncias mais próximas do limite máximo da faixa, pode se beneficiar do aumento do diferencial de tensão de saída da versão de 5 V, mesmo se estiver alimentando apenas em 3,3 V. No entanto, a versão de operação utilizada no vigente trabalho é a versão de operação em 3 V (POLOLU, 2015).

3.1.2 Método de Triangulação

O método de triangulação refere-se a um procedimento em que uma distância ou posição é determinado a partir de considerações baseadas nas geometrias semelhantes a triângulos. Tal método foi usado por volta de 600 AC pelos gregos e pelo matemático Tales de

Mileto para mensurar a altura das pirâmides de Gizé e também para determinar a distância até um navio no mar (BERKOVIC; SHAFIR, 2012). O sensor Sharp GP2Y0A60SZLF utiliza o método de triangulação, Figura 6, para efetuar as leituras de distâncias, ou seja, ao emitir um pulso de luz, neste caso, infravermelho na faixa de comprimento de onda de $\lambda = (870 \pm 70) \text{ nm}$. O feixe de luz emitido é refletido (ou pode não ser refletido, pois depende das características do objeto), ou seja, o feixe retorna após incidir no objeto/material. Ao retornar, o receptor de alcance infravermelho, por possui uma lente de precisão especial transmite a luz refletida em uma matriz *Charge-Coupled Device* (CCD)¹ linear fechada baseado no ângulo de triangulação. A matriz CCD determina o ângulo e faz com que o telêmetro forneça um sinal analógico para ser lido por um microcontrolador (SHARP, 2015).

Figura 6 – Método de triangulação com objetos.



Fonte: Elaborado pelo autor.

3.2 Time-of-Flight Unit VL53L0X

Unit é uma unidade que emprega o sensor VL53L0X e o módulo de alcance do laser *Time-of-Flight* (ToF), método utilizado pelo sensor para medir distâncias, que fornece medição de distâncias entre o ponto de emissão e o ponto de alcance de um objeto/material independente da sua característica, medindo o tempo de ida e retorno de um sinal de luz artificial fornecido por um laser, Figura 7. O sensor STMicroelectronics VL53L0X pode mensurar distâncias absolutas até 2 m em um intervalo de até 30 ms, estabelecendo uma nova referência em alcance. O referido sensor integra uma matriz chamada Diodo de Avalanche de Fóton Único, (tradução livre do inglês *Single-Photon Avalanche Diode*) ou SPAD, incorpora o *Flight Sense* de segunda geração.

¹ Sensor semiconductor utilizado na captação de imagens ou comportamentos através de um circuito integrado que contém uma matriz de capacitores acoplados (PETERSON, 2001).

Figura 7 – *Time-of-Flight* Unit VL53L0X: vista frontal e traseira.

Fonte: ([M5STACK](#), 2019).

O Vertical Laser de Emissão de Superfície de Cavidade (tradução livre do inglês *Vertical Cavity Surface-Emitting Laser* – VCSEL) do sensor STMicroelectronics VL53L0X, em consonância com os filtros infravermelhos em sua parte interna, permite aferir maior alcance em medições de distâncias e isentar o sensor de possíveis interferências à luz ambiente e até mesmo poluição luminosa. Tal sensor pode ser utilizado em aplicações diversas, como por exemplo, aprimoramento do sistema de foco automático de câmeras, especificamente em cenas onde há baixos níveis de luz ([STMICROELECTRONICS](#), 2018). Aplicações em câmeras que utilizam o método ToF, adotam sistemas de imagem *Light Detection And Ranging* (LIDAR)² sem *scanner* baseados em laser, detecção de objetos para visão de máquina e direção autônoma, rastreamento de movimentos, mapeamento topográfico, reconhecimento de gestos em uma dimensão, entre outros ([HUGHES](#), 2019). É válido ressaltar que a primeira aplicação para este método foi um radar, desenvolvido durante a Segunda Guerra Mundial, usando fontes de micro-ondas e radio frequência, exigindo transmissores e receptores muito grandes. O advento do laser levou ao desenvolvimento de um tempo de voo compacto, sistemas de medição baseados em luz visível ou próximas ao infravermelho. O método ToF utilizado neste trabalho, também foi empregado recentemente nos sensores do drone-helicóptero *Ingenuity* em Marte, algo que entrou para a História da humanidade ([SPARKFUN](#), 2021).

De acordo com [Stmicroelectronics](#) (2018) o sensor STMicroelectronics VL53L0X apresenta as seguintes características:

- Laser de emissão vertical de superfície de cavidade 940 nm;
- Sensor de alcance com microcontrolador integrado;

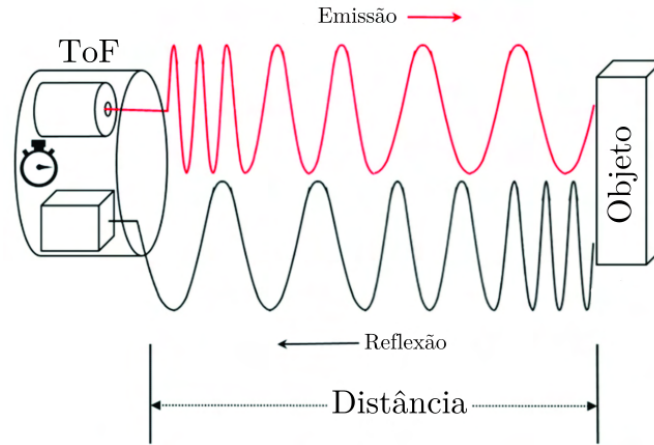
² LIDAR é uma tecnologia que permite obter informações tridimensionais de uma determinada superfície com precisão ([POPESCU](#), 2002)

- Mede a faixa absoluta de até 2 m ;
- Compacto $(4,4 \times 2,4 \times 1,0)\text{ mm}$;
- Interface I2C para controle de dados do dispositivo;
- Endereço I2C programável.

3.2.1 Método Time-of-Flight (ToF) ou Tempo de voo

Os sensores ópticos utilizam diversos métodos para mensurar distâncias, como por exemplo, método de triangulação (discutido na subseção 3.1.2), mudança de fase, etc (VIDAL, 2018). No entanto, o sensor *Time-of-Flight* Unit VL53L0X utiliza o método denominado ToF, tecnologia usada para mensurar distâncias entre o sensor e um objeto, baseado na diferença de tempo de voo entre a emissão de um pulso de luz e seu retorno ao receptor, após ser refletido por um objeto, Figura 8.

Figura 8 – Diagrama esquemático de um sensor que utiliza o método *Time-of-Flight*.



Fonte: (ZHENG et al., 2019).

O tempo de voo refere-se ao tempo que o pulso de luz, ou seja, os fótons se movem entre dois pontos, exceto em alguns casos especiais, onde a fração de luz retro-espalha para o sensor em uma ordem de magnitude muito fraca em relação a fonte de emissão (AREANN et al., 2001). Logo, ao utilizar o método ToF para mensurar distâncias, multiplica-se a velocidade da luz pelo tempo que os fótons levam para viajar do emissor até o objeto e seu retorno ao receptor, e então dividi-se por dois, uma vez que os fótons percorrem a distância duas vezes (ida e retorno) que é representada pela equação (3.1), que determina a distância, onde c é a velocidade da luz e τ é o tempo de voo (VIDAL, 2018).

$$d = \frac{c\tau}{2} \quad (3.1)$$

Há métodos ToF diretos e indiretos, onde cada qual apresenta vantagens e desvantagens em contextos específicos. Os sensores ToF diretos enviam pulsos curtos de luz que duram alguns nanossegundos e medem o tempo de voo que leva para que o pulso de luz emitido retorne, já os sensores ToF indiretos enviam luz modulada contínua e medem a fase da luz refletida para calcular a distância até um objeto (TERABEE, 2020).

Conforme Vidal (2018) as principais vantagens de usar sensores ópticos que utilizam o método ToF são as seguintes: reflectância do objeto não afeta a medição; o sensor pode operar em ambientes ou condições com pouca luminosidade; apresenta tecnologia atual e de fácil uso; oferece recursos em tempo real. Em contrapartida, o sensor que contém a referida tecnologia também apresenta limitações, como por exemplo: dificuldades de operação em ar livre, pois a luz de alta intensidade pode saturar as medições; caso a luz seja refletida diversas vezes, a medição pode ser alterada; objetos de vidro podem distorcer o sinal refletido.

Microcontroladores

3.3 BBC Micro:bit

O BBC *micro:bit*, Figura 9, é um microcontrolador de placa única desenvolvido pela empresa britânica BBC com a finalidade de difundir conceitos de ciência da computação em todas as séries e níveis entre alunos das escolas no Reino Unido (JONES, 2013). Os processadores BBC *micro:bit* começaram a ser distribuídos de forma gratuita no Reino Unido por volta de 2016³ e por conseguinte passaram a ser comercializados de forma global, cerca de um ano depois, impulsionado pela Micro:bit Educational Foundation⁴. O BBC *micro:bit* é um dispositivo de baixo custo com potencial a ser utilizado em Computação Física por ser acessível, interativo, extensível, visualmente atraente e fácil de usar. O BBC *micro:bit* pode ser programado através de um *desktop*, ambientes de programação interativos baseados nas linguagens de programação Scratch editor, MicroPython ou JavaScript (BALL et al., 2016).

O dispositivo em discussão, possui uma série de recursos programáveis e funcionais, nos quais destacam-se:

- Entrada micro USB (Universal Serial Bus);
- Conector de bateria;
- 02 botões (A e B) controláveis – é possível atribuir funções aos respectivos botões;

³ Acesse o endereço eletrônico para obter mais informações sobre a distribuição do BBC *micro:bit* no Reino Unido, <<https://www.bbc.co.uk/mediacentre/latestnews/2016/bbc-micro-bit-schools-launch>>.

⁴ <<http://microbit.org>>

- *Display* embutido;
- Comunicação sem fio, via rádio e *Bluetooth*;
- 25 LEDs (5×5) individualmente controláveis;
- Pinos de conexão;
- Sensor de luminosidade;
- Sensores de movimento (acelerômetro e magnetômetro);
- Sensor de temperatura.

Figura 9 – Vista traseira e frontal do BBC *micro:bit*.



Fonte: ([MICRO:BIT](#), 2015).

O BBC *micro:bit* contém um conversor analógico-digital (tradução livre do inglês *Analogic-to-Digital Converter*) de 10 *bits*, que realiza conversão do sinal analógico para o sinal digital no intervalo de 0 V a 3,3 V, retornando valores entre 0 de 1023. Em razão dessas características, o dispositivo se torna uma opção que viabiliza o processamento de dados e possibilita conversão analógico-digital.

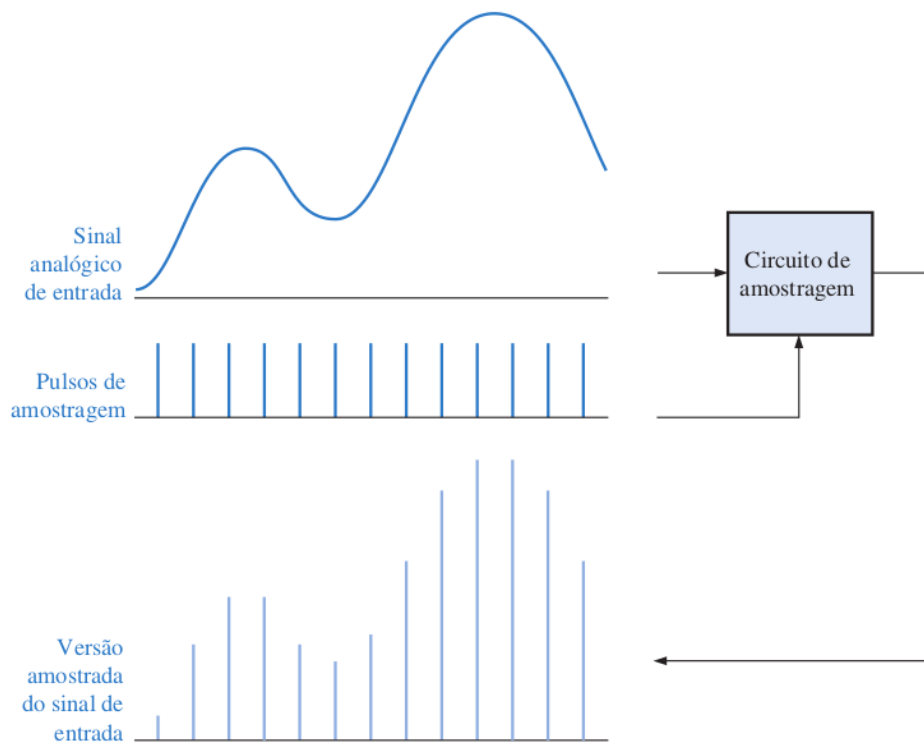
3.3.1 Analogic-to-Digital Converter (ADC)

Ao medir grandezas de qualquer natureza, precisamos de uma representação que permita manipular de forma mais precisa e eficiente os dados, que podem ser representados como analógicos ou digitais. A representação analógica é composta por um sinal contínuo, que varia em função do tempo. Já a representação digital apresenta valores discretos, com números descontínuos no tempo e na amplitude. No entanto, a maioria dos sinais físicos possíveis de medição são de natureza analógica ([TOCCI](#); [WIDMER](#); [MOSS](#), 2014).

Em algumas situações necessita-se de equipamentos/dispositivos que operem com representação digital e processe dados analógicos e a partir dessa premissa faz-se necessário o uso de um conversor analógico-digital. O conversor analógico-digital tem a função de converter o sinal contínuo medido pelo sensor Sharp GP2Y0A60SZLF em um sinal digital, ou seja, representação em bits da entrada analógica. Para ocorrer essa conversão é necessário que o sinal analógico de entrada decorra em duas etapas:

- Amostragem: processo de aquisição de um número suficiente de valores discretos em pontos da forma de onda que definem o formato da onda. A amostragem converte um sinal analógico em uma série de impulsos, onde cada um representa a amplitude do sinal em intervalo de tempo, Figura 10, (FLOYD, 2009).
- Quantização: processo de conversão de um valor analógico para um código, isto é, durante o processo de quantização, o ADC converte cada valor amostrado do sinal analógico em código binário, de modo que quanto mais *bits* forem utilizados para representar um valor amostrado, maior será a fidelidade e precisão do sinal digital produzido (FLOYD, 2009).

Figura 10 – Processo de amostragem.

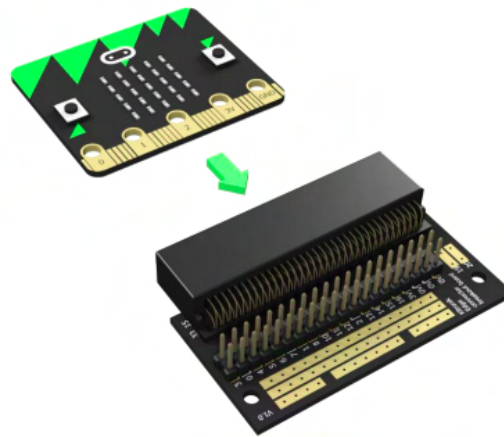


Fonte: (FLOYD, 2009).

3.3.2 Edge Connector Breakout Board

Para efetuar conexões entre o BBC *microbit* e o sensor Sharp GP2Y0A60SZLF foi utilizado a placa de extensão *Edge Connector Breakout Board*, Figura 11, fabricada pela empresa Kitronik. A arquitetura dessa placa de conexão foi projetada exclusivamente ao BBC *microbit* para oferecer uma maneira otimizada de conectar circuitos adicionais e *hardware* ao conector de borda do BBC *microbit* (KITRONIK, 2021).

Figura 11 – Placa de extensão *Edge Connector Breakout Board*.

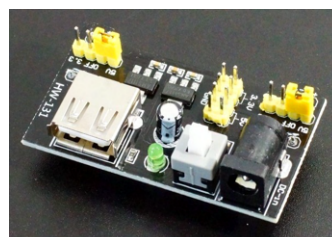


Fonte: (KITRONIK, 2021).

3.4 Breadboard Power Supply

Breadboard Power Supply é um módulo de alimentação de placa de ensaio que fornece barramentos de alimentação em duas configurações, sendo eles 3,3 V e 5 V. A placa possui dois modos de entrada de energia, através do soquete USB e através de um conector elétrico, Figura 12. O módulo também oferece um interruptor liga/desliga para todo o módulo da fonte de alimentação (STMICROELECTRONICS, 2016). Como o sensor Sharp GP2Y0A60SZLF possui uma versão de operação de 3,3 V e o módulo de alimentação também possui uma configuração compatível com o sensor, logo faz-se necessário o uso do tal módulo de alimentação.

Figura 12 – Módulo *Breadboard Power Supply*



Fonte: (STMICROELECTRONICS, 2016).

O módulo de alimentação apresenta os seguintes recursos e configurações:

- Corrente de saída: 700 mA ;
- Coletor macho *berg* integrado para saída GND, 5 V e $3,3\text{ V}$;
- Dimensão: $(53 \times 33)\text{ mm}$;
- LED de energia a bordo;
- Entrada USB;
- Entrada DC barrel;
- Tensão de saída ajustável por meio de *jumper*s.

3.5 M5StickC ESP32

M5StickC ESP32 é um módulo de desenvolvimento portátil baseado em ESP32, fácil de usar e de código aberto, Figura 13. O referido dispositivo é construído de forma contínua em um ecossistema de *hardware* e *software*. Com seu tamanho compacto $(48,2 \times 25,5 \times 13,7)\text{ mm}$, apresenta um desempenho robusto e totalmente adequado em aplicações com espaço limitado, como por exemplo, eletrônicos vestíveis, equipamentos médicos, sensores e outros produtos (ESPRESSIF SYSTEMS, 2019). M5StickC ESP32 faz-se necessário uma vez que é possível conectar-se o sensor *Time-of-Flight* Unit VL53L0X através de um cabo extensível grove.

O dispositivo em discussão, possui uma série de recursos programáveis e funcionais, nos quais destacam-se:

- Bateria lipo embutida;
- Soquete extensível;
- 02 botões personalizados;
- Plataforma de desenvolvimento UIFlow e MicroPython;
- Porta TypeC, GROVE (I2C + I/o + UART);
- Comunicação Wi-Fi;
- Botões, LCD;
- Transmissor IR.

Figura 13 – Módulo de desenvolvimento M5StickC ESP32.



Fonte: ([ESPRESSIF SYSTEMS, 2019](#)).

4 Implementação

4.1 Caracterização de Material e Ajuste de Curva

Inicialmente, foi necessário realizar medições a fim de caracterizar um material com superfície plana de plástico e coloração branca, uma vez que sabemos que materiais planos e claros podem ser detectados com mais eficiência em relação aos materiais escuros ou porosos. As medições tiveram o intuito de verificar o comportamento não linear da saída analógica do sensor Sharp GP2Y0A60SZLF em função da distância. As medições foram realizadas utilizando um multímetro digital ADM01 – BSIDE e as incertezas foram calculadas conforme a recomendação do manual do fabricante, Tabela 1.

Tabela 1 – Especificação elétrica para determinar incertezas prevista pelo manual do multímetro ADM01 – BSIDE.

Alcance	Resolução	Precisão
2 V	0,001 V	$\pm(0,5\% \text{ rdg} + 2 \text{ dgt})$

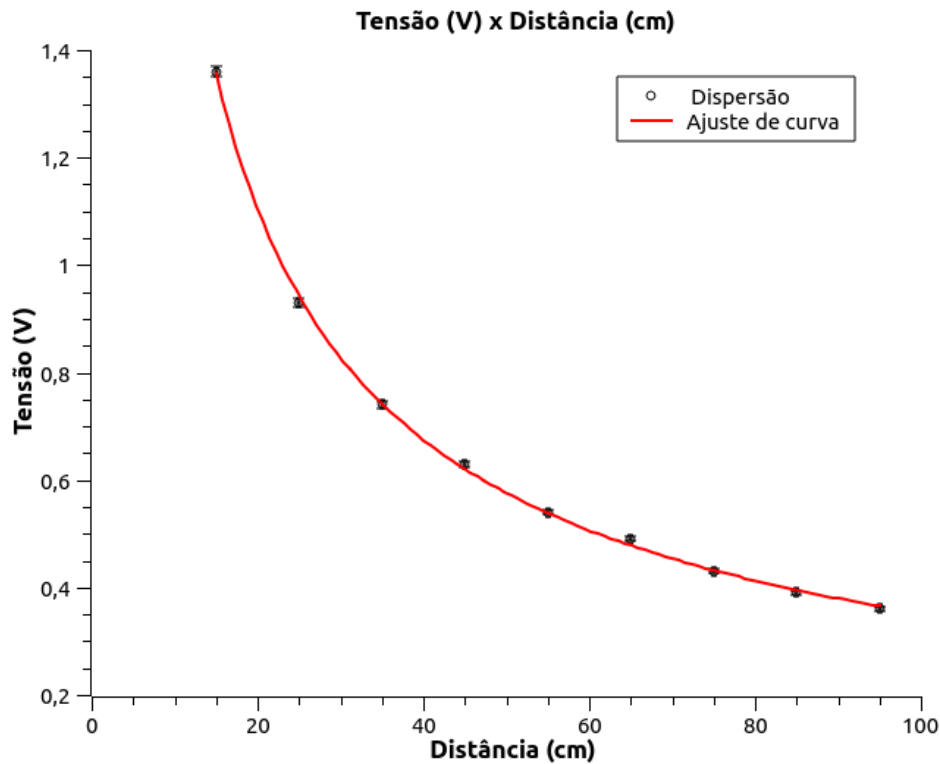
Para determinar o modelo estocástico, o material com superfície plana de plástico e coloração branca foi movido em um ângulo reto a partir de 15 cm, variando a distância em intervalos de 10 cm em relação ao sensor, onde obteve-se as amostras, Tabela 2, onde é possível verificar os valores obtidos mediante as medições, bem como as incertezas.

Tabela 2 – Valores obtidos a partir da medições.

$(d \pm 0,2) \text{ cm}$	Tensão (V)
15	$(1,360 \pm 0,009)$
25	$(0,930 \pm 0,007)$
35	$(0,740 \pm 0,006)$
45	$(0,630 \pm 0,005)$
55	$(0,540 \pm 0,005)$
65	$(0,490 \pm 0,004)$
75	$(0,430 \pm 0,004)$
85	$(0,390 \pm 0,004)$
95	$(0,360 \pm 0,004)$

Partindo das amostras, é necessário avaliar e verificar se o comportamento desses dados se encontram de acordo com a curva teórica prevista pelo sensor. O comportamento do modelo em estudo foi verificado através do uso do *software* SciDAVis, que permite realizar ajuste lineares, não lineares, etc. A Figura 14 apresenta o ajuste não linear da tensão em função da distancia a partir das amostras da Tabela 2.

Figura 14 – Ajuste não linear da tensão em função da distância.



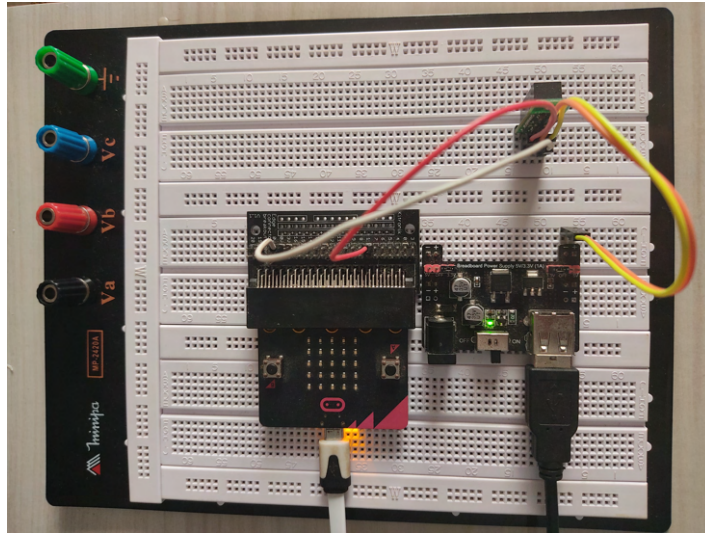
Fonte: Elaborado pelo autor.

Logo, ao verificar o comportamento do ajuste não linear com o auxílio da equação (5.1), foi possível perceber que o modelo está em consonância com a curva teórica típica do sensor Sharp GP2Y0A60SZLF que foi discutido na Seção 3.1.

4.2 Montagem de Hardware e Remoção de Ruídos

Em outro momento, iniciou-se a conexão entre os *hardwares*, isto é, comunicação entre o sensor Sharp GP2Y0A60SZLF, fonte de tensão, microcontrolador BBC *microbit* e um algoritmo computacional escrito em linguagem MicroPython, que se encontra disponível no Apêndice A, programado para realizar uma série de instruções, como por exemplo, efetuar leituras de distâncias, realizar cálculos estatísticos, além de calibrar o sensor. A Figura 15 apresenta o aparato experimental conectado.

Figura 15 – Aparato experimental conectado.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Foi possível detectar picos de tensão (V) nas amostras, pois parte dos pulsos rápidos de emissão do LED IR utiliza uma corrente elétrica muito alta em um intervalo de tempo muito pequeno, gerando uma variação na tensão no sensor. Contudo, para otimizar o sistema, adotado uma maneira de remover os picos de tensão. Sendo assim, adicionou-se um módulo regulador de tensão com intuito de diminuir os picos de tensão. A Tabela 3 mostra o antes e o depois da remoção de ruídos.

Tabela 3 – Remoção de ruídos do sensor Sharp GP2Y0A60SZLF para uma distância de 15 cm com um regulador de tensão.

Módulo Regulador de Tensão	
Sem remoção de ruídos	$(1,325 \pm 0,020)\text{ V}$
Com remoção de ruídos	$(1,320 \pm 0,010)\text{ V}$

Observa-se uma leve diminuição no valor das incertezas associadas aos sinais após o uso do módulo regulador de tensão, proporcionando confiabilidade nos resultados e, principalmente, por manter os sinais estáveis. Além desse método, há outra forma de minimizar os ruídos, que é via algoritmo computacional. O exemplo de um resultado preliminar, em que se pode ler 20 vezes por segundo, por ser maior frequência de amostragem, entregando valor médio e desvio padrão já com os ruídos eliminados, ou seja, remoção de ruídos via *software* a leitura de distância mudou de $(60,1 \pm 4,2)\text{ cm}$ para $(61,1 \pm 0,5)\text{ cm}$, uma diferença de $3,7\text{ cm}$ para o valor da incerteza. Vide resultado preliminar abaixo.

```

1 50 amostras, 1ms de delay :
2 >>> DistIR_stats.DistIRloopMeanStdDevCorr(50,1)
3 50 ADC readings done after 49975 us.
```

```

4 Mean time for each ADC reading = 999.4999885559082 us, with
  delay of 1 ms
5 50 ADC readings :
6 Mean of distance readings (0–150 cm) = 60.0549840927124
7 Standard deviation of distance readings (cm) = 4.1571302413940
8 Removing ADC spikes from samples...
9 47 ADC readings after removing spikes :
10 Mean of distance readings (0–150 cm) = 61.0729122161865
11 Standard deviation of distance readings (cm) = 0.5381228446960

```

4.3 Código-fonte MicroPython: Gravação e Armazenamento de Dados, Detector de Presença, Medidor de Nível de Água

Nessa seção apresenta-se alguns algoritmos desenvolvidos para implementações nos sensores propostos, isto é, Sharp GP2Y0A60SZLF e ToF Unit VL53L0X. Dentre os algoritmos desenvolvidos, destacam-se:

- Algoritmo computacional, disponível no Apêndice B, que permite gravar e armazenar dezenas de valores em pares ordenados de tempo e posição $[t(s) \mid x(cm)]$, respectivamente, dentro da memória *flash* do microcontrolador BBC *microbit*. Este arquivo em formato *.csv* pode ser copiado para um computador pessoal e, por conseguinte, ser analisado através de *softwares* de análise de dados, visualização gráfica, etc. Esse algoritmo é dedicado ao experimento Segunda Lei de Newton, experimento vigente no Laboratório de Física Experimental I da UFES. Como dito anteriormente, o mesmo emprega gravações e armazenamento de tempo e posição, logo, através de análise e tratamento de dados é possível determinar a aceleração do carrinho que se move horizontalmente no trilho de ar.
- Algoritmo computacional, que consiste em detectar a presença de algum objeto, ou seja, o objeto que interromper o feixe infravermelho do sensor Sharp GP2Y0A60SZLF, onde o microcontrolador acende parte do seus LED's para indicar a presença de um corpo ou material, vide Apêndice C.
- Algoritmo dedicado ao sensor ToF Unit VL53L0X que permite realizar cálculos estatísticos, mensurar a distância de objeto ou nível de água, Apêndice D e E. Tal algoritmo pode ser facilmente adaptado para o sensor ToF HAT VL53L0X, que também utiliza o método ToF.

No entanto, todos os algoritmos desenvolvidos e testados, foram aplicados nos experimentos, cujos resultados serão apresentados no capítulo subsequente.

5 Resultados e Discussões

Este capítulo apresenta os resultados obtidos durante os testes realizados usando os sensores Sharp GP2Y0A60SZLF e ToF Unit VL53L0X em consonância com os algoritmos desenvolvidos e, por conseguinte, discussões sobre os testes realizados.

Sharp GP2Y0A60SZLF

5.1 Aquisição de Dados e Ajuste de Curva – Objeto Estático

Na Figura 14, foi possível perceber a dependência da tensão com a posição após o ajuste não linear dos dados obtidos. Em suma, o método de regressão não linear é uma função matemática que permite determinar valores numéricos para os parâmetros presentes na equação de ajuste. Para tal, foi utilizado quatro equações de ajuste que permitem obter parâmetros com a finalidade de ajustar os pontos experimentais a uma curva teórica, isto é, equação que maximiza o ajuste. Vide equações (5.1), (5.2), (5.3) e (5.4), onde x é a variável independente. É válido ressaltar que os ajustes de curva foram realizados com o auxílio do *software* SciDAVis.

$$y = y_0 + \frac{A}{x^B} \quad (5.1)$$

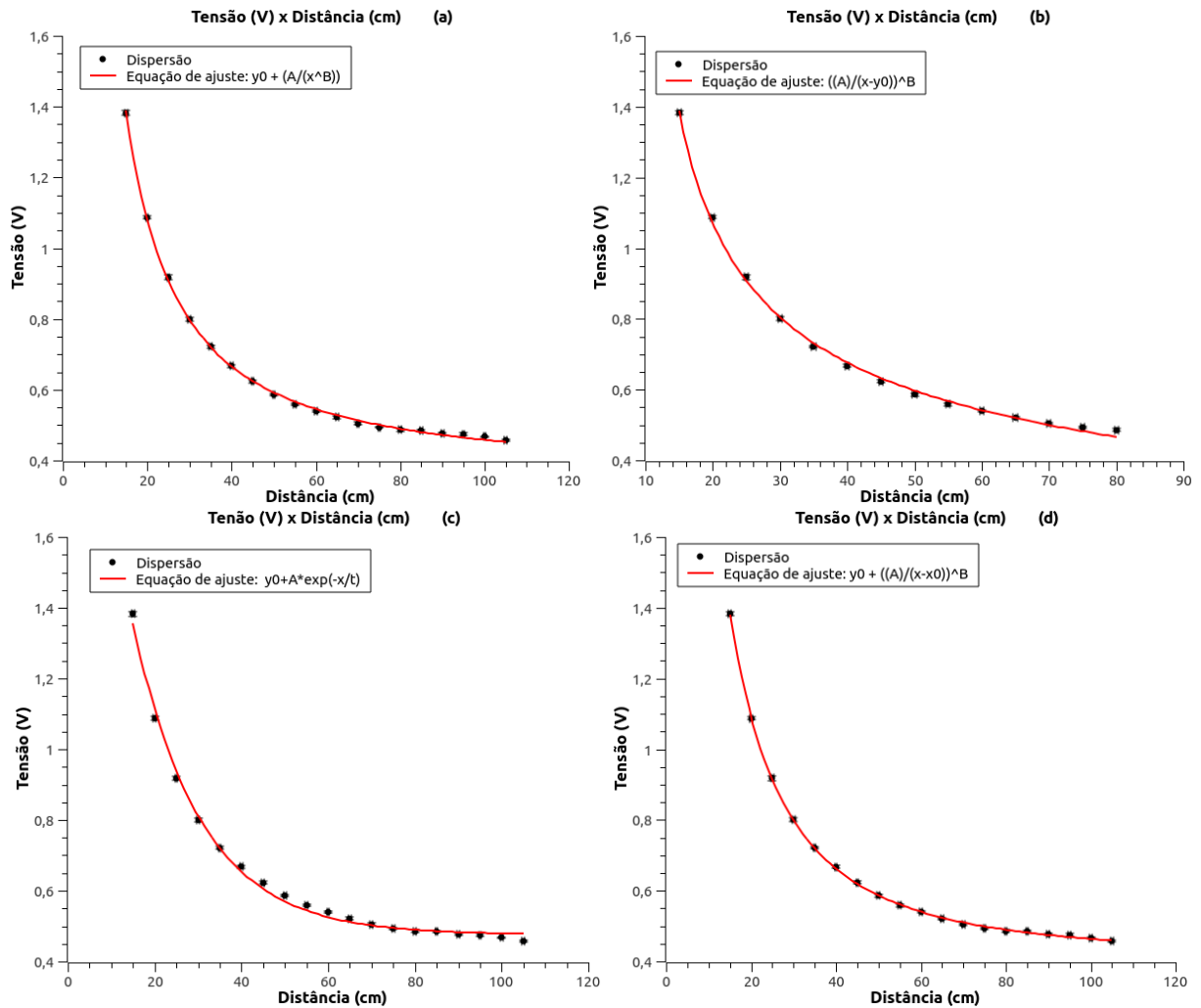
$$y = \left(\frac{A}{x - y_0} \right)^B \quad (5.2)$$

$$y = y_0 + \left(\frac{A}{x - x_0} \right)^B \quad (5.3)$$

$$y = y_0 + A \exp\left(\frac{-x}{t}\right) \quad (5.4)$$

As respectivas equações foram utilizadas para determinar o melhor ajuste para um conjunto de medidas compreendidas no intervalo de 15 *cm* a 105 *cm* (exceto a Figura 16(b), onde o intervalo está compreendido entre 15 *cm* a 80 *cm*), em conformidade com os gráficos apresentados na Figura 16. O modelo obtido descreve o decaimento exponencial da tensão (V) em função da distância (*cm*) em conformidade à curva teórica prevista pelo sensor Sharp GP2Y0A60SZLF.

Figura 16 – Ajuste de curva não linear: Tensão (V) em função da Distância (cm). Correlação do gráfico com as equações, (a) – equação 5.1, (b) – equação (5.2), (c) – equação (5.3) e (d) – equação (5.4).



Fonte: Elaborado pelo autor.

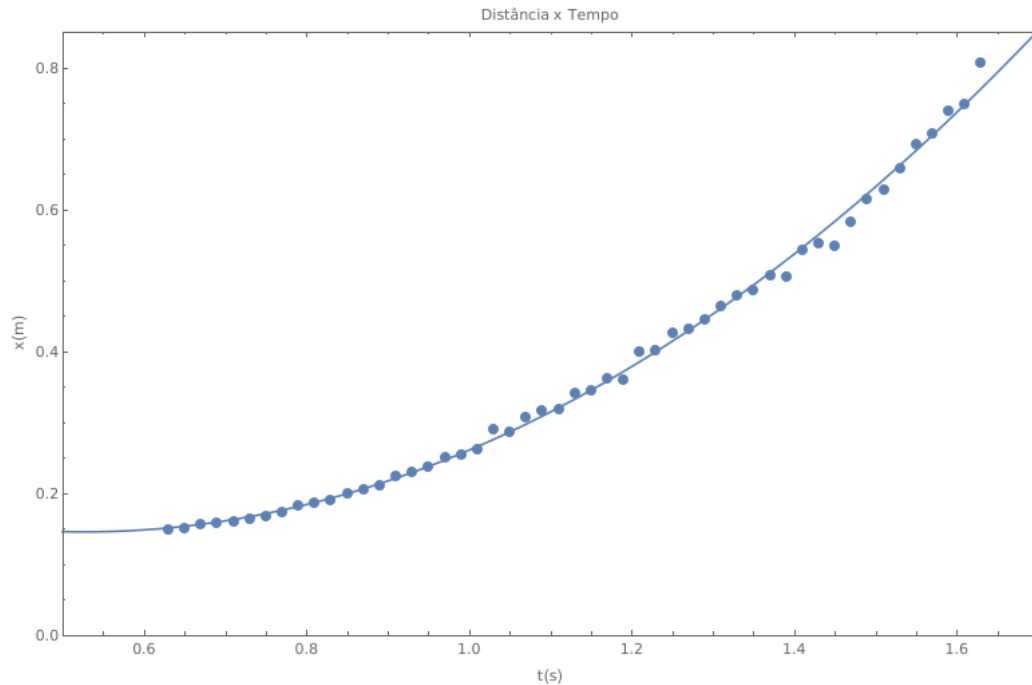
Dentre todas as equações utilizadas nos ajustes de curva não linear, a equação (5.2) se apresenta como a melhor opção para descrever o modelo experimental, uma vez que $\chi^2 = 0,00014$ e $R^2 = 0,9982 = 99,82\%$. A medida estatística χ^2 descreve a proximidade dos pontos experimentais com a curva ajustada, logo, quanto menor o valor de χ^2 , maior será tal aproximação. O coeficiente de determinação, R^2 , é uma medida de ajuste de um modelo estatístico, normalmente apresentado em termos percentuais. O coeficiente de determinação expressa a quantidade da variância dos dados, que é explicado pelo modelo proposto. Portanto, quanto maior o valor de R^2 , mais coeso e explicativo é o modelo em estudo, isto é, melhor ele se ajusta aos dados experimentais.

5.2 Aquisição de Dados e Ajuste de Curva – Objeto em Movimento Retilíneo Uniformemente Variado (MRUV)

Posteriormente, foi realizada uma série de medições com a utilização do Pyboard v1.1 e aparato experimental para determinar a aceleração do carrinho ao percorrer o trilho de ar. O sensor foi posto em frente ao carrinho a fim de incidir o feixe na bandeira que o carrinho possui para coletar dados em pares ordenados, isto é, tempo e posição $[t(s) \mid x(cm)]$ através de um algoritmo computacional, enquanto o carrinho realizava o trajeto, vide Anexo A. O resultado do ajuste de curva, Figura 17, foi realizado com o auxílio do *software* Wolfram Mathematica, onde foi empregada a equação (5.5) em que o movimento se iniciou com $t_0 > 0 s$, logo foi necessário transladar a parábola em t , sendo assim inserido o t_0 . Logo, via ajuste de curva foram obtidos os resultados para a posição inicial, $x_0 = 0,145 m$, tempo inicial, $t_0 = 0,526 s$ e aceleração do carrinho, $a = 1,03 m/s^2$.

$$x(t) = x_0 + \frac{a(t - t_0)^2}{2} \quad (5.5)$$

Figura 17 – Ajuste de Curva: Distância (m) \times Tempo (s).



Fonte: Elaborado pelo autor.

A Figura 17 apresenta o comportamento da distância em função do tempo, assegurando desta forma de se tratar de um Movimento Retilíneo Uniformemente Variado – MRUV. Entretanto, foi possível identificar a influência do ar ao sair pelos orifícios presentes

no trilho de ar, promovendo oscilações nos valores da posição e, consequentemente, na aceleração do carrinho. Logo, para fins de estudos e/ou análises de dados, o movimento é um MRUV, ou seja, pode-se afirmar que a aceleração se mantém constante.

5.3 Aquisição de Dados e Ajuste de Curva - Segunda Lei de Newton

Os resultados obtidos nessa seção são referentes as análises provenientes da atividade prática ministrada na disciplina de Física Experimental I, intitulada Segunda Lei de Newton, disponível em Anexo B. Foi observado alguns fatores que pudessem interferir na aquisição de dados, como por exemplo, o fluxo de ar do compressor, a velocidade do objeto (neste caso, o carrinho) que viera realizar uma trajetória no trilho de ar, entre outros. Partindo dessa premissa, foram realizadas medições nas massas das anilhas e suporte, em seguida foram estabelecidas as configurações para executar a atividade prática. A Tabela 4 apresenta as configurações das massas, onde a sigla “sup.” refere-se ao suporte.

Tabela 4 – Configuração das massas.

Objeto	Massa (g)	Anilha + Suporte (g)	Configuração
Anilha 1	9,6	18,0	$A1 + \text{Sup.} = (18,0 \pm 0,4) \text{ g}$
Anilha 2	10,2	17,9	$A1 + A2 + \text{Sup.} = (27,4 \pm 0,5) \text{ g}$
Anilha 3	10,2	18,7	$A1 + A2 + A3 + \text{Sup.} = (37,8 \pm 0,8) \text{ g}$
Anilha 4	10,1	18,5	$A1 + A2 + A3 + A4 + \text{Sup.} = (47,9 \pm 1,0) \text{ g}$
Anilha 5	9,5	19,0	$A1 + \dots + A5 + \text{Sup.} = (57,4 \pm 1,1) \text{ g}$
Suporte	8,4	-	-
Carrinho	239,1	-	$(239,1 \pm 4,8) \text{ g}$

Fonte: Elaborado pelo autor.

Em seguida, foi mensurado o fluxo de ar na saída do compressor, utilizando um termo-anemômetro TAR-176, assim como nos orifícios, sendo definido um fluxo com boa configuração para executar a atividade experimental. Nessa perspectiva, foi possível observar que a intensidade do fluxo interferia de forma direta nas amostras, caso o fluxo de ar, fosse demasiadamente alto ou baixo, promovendo uma turbulência ou um atrito dinâmico entre o carrinho e o trilho de ar, e por essas razões afetariam a coleta de dados e, por conseguinte, as amostras seriam também afetadas. O manual de instruções do termo-anemômetro TAR-176 prevê $\pm(2\% + 0,2)$ para a incertezas da velocidade do fluxo de ar na escala de 0,8 a 12,00 m/s. Logo, foi possível gravar e armazenar dados em pares ordenados de tempo e posição [t(s) | x(cm)] em arquivo .csv para posteriormente realizar análise e tratamento de dados.

Tabela 5 – Valores para o fluxo de ar do compressor e nos orifícios do trilho de ar.

Fluxo de ar
Saída de ar do tubo $(4, 40 \pm 0, 29) \text{ m/s}$
Saída de ar dos orifícios $(0, 95 \pm 0, 22) \text{ m/s}$

Fonte: Elaborado pelo autor.

As acelerações teóricas para cada configuração de massa, com suas incertezas associadas, foram calculadas a partir da equação (5.6), onde M é a massa relacionada ao suporte, m é a massa do carrinho juntamente com as anilhas e g é a gravidade local (Alegre-ES), cujo valor aproximado é $(9, 786 \pm 0, 005) \text{ m/s}^2$.

$$a = \frac{Mg}{M + m}, \quad (5.6)$$

Os valores médios obtidos para a aceleração teórica a partir de cinco medições se apresentam na Tabela 6.

Tabela 6 – Valores médios para a aceleração teórica

Configuração + Suporte	Aceleração (m/s^2)
Massa 1 $(18, 0 \pm 0, 4) g$	$(0, 69 \pm 0, 02)$
Massa 2 $(27, 4 \pm 0, 5) g$	$(1, 01 \pm 0, 02)$
Massa 3 $(37, 8 \pm 0, 8) g$	$(1, 34 \pm 0, 03)$
Massa 4 $(47, 9 \pm 1, 0) g$	$(1, 63 \pm 0, 04)$
Massa 5 $(57, 4 \pm 1, 1) g$	$(1, 89 \pm 0, 04)$

Fonte: Elaborado pelo autor.

No entanto, os valores para as acelerações, foram determinadas de forma indireta, ou seja, via *software* de análise e tratamento de dados SciDAVis. A Tabela 7 reúne os valores da aceleração para cada configuração.

Tabela 7 – Valores da aceleração.

Configuração + Suporte	Aceleração (m/s^2)
(a) - Massa 1 $(18, 0 \pm 0, 4) g$	$(0, 729 \pm 0, 006)$
(b) - Massa 2 $(27, 4 \pm 0, 5) g$	$(1, 126 \pm 0, 014)$
(c) - Massa 3 $(37, 8 \pm 0, 8) g$	$(1, 594 \pm 0, 026)$
(d) - Massa 4 $(47, 9 \pm 1, 0) g$	$(1, 868 \pm 0, 022)$
(e) - Massa 5 $(57, 4 \pm 1, 1) g$	$(1, 905 \pm 0, 020)$

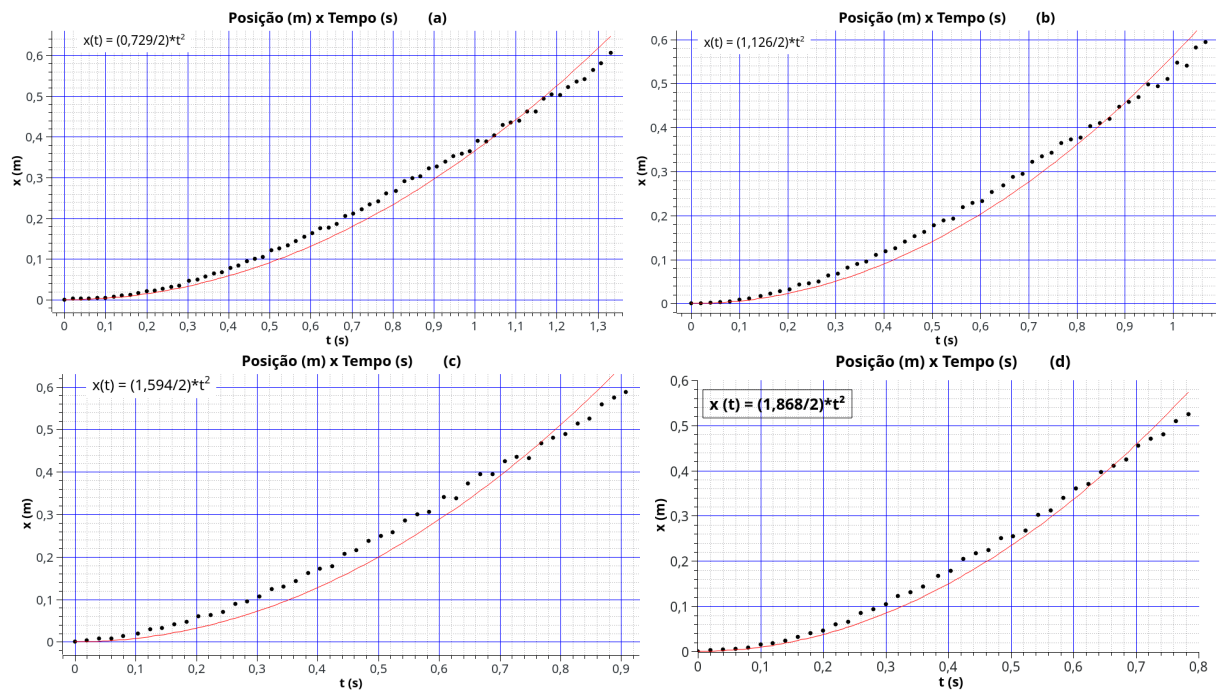
Fonte: Elaborado pelo autor.

Ao analisar as Tabelas 6 e 7 é possível observar que os valores experimentais obtidos indiretamente se aproximam daqueles obtidos teoricamente, principalmente, por retratar o

aumento da massa no suporte, o valor da aceleração aumenta. Como esperado, a medida que o fluxo de ar se mantinha no compressor e nos orifícios, houve interferência na aferição dos dados para a aceleração. Isso justifica e fundamenta, o distanciamento dos valores. Além disso, como previsto, à medida que aumentou o fluxo no compressor, notadamente nos orifícios, implicaram a aferição dos dados para a aceleração. No entanto, o fluxo não prejudicou a inferência e análise de dados, logo, os resultados apresentados nessa seção se mostram fiéis e legítimos.

E, a fim de ratificar a fidelidade das informações descritas em relação ao valores obtidos para as situações mencionadas, realizou-se um ajuste de curva dos dados da distância em função do tempo para o carrinho. Logo, os gráficos apresentados na Figura 18 estão em consonância com os resultados obtidos para as configurações de massas relacionadas à atividade experimental realizada.

Figura 18 – Posição (m) em função do Tempo (s) para as configurações de (a) até (e), realizadas na atividade.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Time-of-Flight VL53L0X

5.4 Medidor de Nível do Água

Foi realizado dois testes com o intuito de mensurar o nível de água de dois, recipientes, uma vez que sensores baseados no método ToF não dependem das características do material para refletir, como discutido na Seção 3.2. Nos testes realizados, utilizou-se os

sensores ToF Unit VL53L0X e ToF HAT VL53L0X. Os testes foram divididos em três etapas, sendo elas:

- Acoplar o microcontrolador M5StickC ESP32 conectado ao sensor ToF HAT VL53L0X em uma garrafa de 500 *ml* com líquido há uma altura de 10 *cm*, com a finalidade de mensurar o nível de água;
- Acoplar o microcontrolador M5StickC ESP32 conectado ao sensor ToF Unit VL53L0X, no entanto, em um recipiente circular com líquido há uma altura de 6 *cm* e, por conseguinte, mensurar o nível de água.

Os algoritmos computacionais, disponíveis nos Apêndices F e G, foram enviados para o microcontrolador através da ferramenta de acesso remoto denominada *rshell* para o microcontrolador, a atender as etapas mencionadas. Foi mensurado com fita métrica, a distância do LED emissor do sensor ToF HAT VL53L0X até a superfície do fluido, logo, foi constatado um valor de $(12,0 \pm 0,2)$ *cm*, em seguida o sensor foi acoplado na parte superior da garrafa a fim de mensurar o nível do fluido, onde obteve-se cinco medidas de distância dada em milímetro, contanto, a conversão para centímetro foi realizada, Tabela 8.

Tabela 8 – Medidas de distâncias para a medição da superfície do fluido.

Medidas	Distância (cm)
1	$(12,9 \pm 0,4)$
2	$(11,5 \pm 0,4)$
3	$(11,7 \pm 0,4)$
4	$(12,4 \pm 0,4)$
5	$(11,8 \pm 0,4)$
Média das distâncias	$(12,1 \pm 0,2)$

Fonte: Elaborado pelo autor.

O aparato utilizado para aferir valores o nível de água, pode ser visualizado na Figura 19. Nessa tocante, é possível notar que o valor médio para a distância é um valor aceitável, uma vez que se encontra muito próximo ao valor da distância que foi constatado via fita métrica.

Figura 19 – ToF HAT VL53L0X como medidor de nível de água.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Seguindo a mesma perspectiva, porém em outra etapa, foi mensurado com fita métrica a distância do LED emissor do sensor ToF Unit VL53L0X até a superfície do fluido a partir do interior do recipiente circular, onde foi constatado um valor de $(4,0 \pm 0,2)$ cm. Utilizou-se o conjunto óptico, Figura 20, para mensurar o nível de água contido no recipiente.

Figura 20 – ToF Unit VL53L0X como medidor de nível de água.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Em seguida, obteve-se cinco medidas de distância exibida pelo sensor ToF Unit VL53L0X em milímetro, no entanto, a conversão para centímetro foi realizada, Tabela 5.4.

Medidas	Distância (cm)
1	$(4,9 \pm 0,2)$
2	$(4,5 \pm 0,2)$
3	$(4,3 \pm 0,2)$
4	$(4,8 \pm 0,2)$
5	$(4,7 \pm 0,2)$
Média das distâncias	$(4,6 \pm 0,1)$

Fonte: Elaborado pelo autor.

Para o sensor ToF Unit VL53L0X é possível notar que o valor médio para a distância também é um valor aceitável, por se encontrar próximo ao valor da distância que foi constatada via fita métrica. Nessa tocante, os testes foram realizados utilizando água, no entanto, pode-se utilizar fluidos com maior viscosidade, uma vez que os sensores que empregam o método ToF não dependem das características dos materiais, diferentemente de outros sensores que não refletem o feixe de luz de forma efetiva ao varia o meio de incidência.

6 Conclusão

O sensores ópticos utilizados para medição de distâncias, apresentaram um notável e relevante potencial em uso e aplicações em determinar posição e tempo, das quais, usabilidades e aplicações podem elevar-se além das atividades propostas no vigente trabalho e contribuir nos processos ensino-aprendizagem. A partir dos procedimentos adotados nas etapas no uso e aplicações dos sensores ópticos foi possível, após os métodos de análise e tratamento de dados, obter as grandezas de interesse como objetos de estudo e, no entanto, além das atividades apresentadas nesse trabalho, os sensores podem ser empregados em atividades experimentais em laboratórios Física, a partir da criação de um roteiro dedicado aos sensores ópticos ou adaptações em roteiros decorrentes relacionados aos experimentos de Colisões Unidimensionais, Queda Livre, etc. Em relação os resultados obtidos, coerentes e indubitáveis com as etapas de execução, é válido e pertinente ressaltar a qualidade e veracidade dos mesmos, demonstrando dessa forma que os sensores ópticos podem ser empregados como um instrumento de ensino. Além disso, os sensores ópticos apresentaram um funcionamento satisfatório, sucedendo acurácia e precisão para uso e aplicações que foram previstas. Avaliando os sensores ópticos utilizados nesse trabalho, percebe-se que ambos preconizam um custo benefício consideravelmente bom, se comparados com as opções de sensores ópticos disponíveis atualmente no mercado.

6.1 Trabalhos Futuros

O protótipo funcional desenvolvido nesse trabalho apresenta um bom funcionamento, no entanto faz-se necessário uma série de melhorias. Tais melhorias podem incluir: testes de robustez; confecção e/ou impressão de caixa sob medida a fim de acoplar o protótipo funcional para que os *hardwares* fiquem firmes e bem posicionados; confecção de placas de encaixe para os *hardwares*, evitando exposição de fiação e problemas com conexão; utilização de outro microcontrolador com maior capacidade de processamento, podendo apresentar mais informações, porém essa implementação aumentaria consideravelmente o custo do protótipo funcional.

Contudo, é possível e pertinente a continuação desse trabalho efetuando melhorias e teste de robustez no aparato experimental e futuros desenvolvimentos com uso de *Internet of Things* (IoT), melhoria na interface gráfica com o usuário e outros sensores ópticos, criando versões desse trabalho usando sensores ópticos com maior alcance, a citar, VL53L3CX (10-500 *cm*, I2C), Garmin LIDAR-Lite v4 LED (0,05-10,0 *m*, I2C) e Garmin LIDAR-Lite v3 (0,05-40,0 *m*, I2C), fazendo poucas alterações nos *hardwares* e *softwares*.

Referências

- AREANN, M.-C. et al. Laser ranging: a critical review of usual techniques for distance measurement [J]. *Opt. Eng.*, v. 40, n. 1, 2001. Citado na página 24.
- BALBINOT, A.; BRUSAMARELLO, V. *Instrumentação e Fundamentos de Medidas*. 9. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2011. v. 2. Citado na página 14.
- BALL, T. et al. Microsoft touch develop and the bbc micro: bit. In: IEEE. *2016 IEEE/ACM 38th International Conference on Software Engineering Companion (ICSE-C)*. [S.l.], 2016. p. 637–640. Citado na página 25.
- BERKOVIC, G.; SHAFIR, E. Optical methods for distance and displacement measurements. *Advances in Optics and Photonics*, Optical Society of America, v. 4, n. 4, p. 441–471, 2012. Citado na página 22.
- BORGES, G. A.; CAZER, A. de O. Sensores Ópticos de Passagem e Medição de Distância. *Brasília: UnB*, 2005. Citado na página 14.
- ELETRONIC, I. *Tecnologia de sensores ópticos*. 2021. Disponível em: <<https://www.ifm.com/br/pt/shared/technologien/magic-cube/sensores-opticos>>. Acesso em: 22/04/2021. Citado 2 vezes nas páginas 15 e 16.
- ESPRESSIF SYSTEMS. *ESP32-PICO Mini Development Datasheet*. [S.l.], 2019. Rev. 1.4. Citado 2 vezes nas páginas 29 e 30.
- FLOYD, T. *Sistemas digitais: fundamentos e aplicações*. [S.l.]: Bookman Editora, 2009. Citado na página 27.
- HUGHES, M. *How Do Time of Flight Sensors (ToF) Work? A Look at ToF 3D Cameras*. 2019. Disponível em: <<https://www.allaboutcircuits.com/technical-articles/how-do-time-of-flight-sensors-work-pmdtechnologies-tof-3D-camera/>>. Acesso em: 22/04/2021. Citado na página 23.
- JONES, S. P. Computer science as a school subject. In: *Proceedings of the 18th ACM SIGPLAN international conference on Functional programming*. [S.l.: s.n.], 2013. p. 159–160. Citado na página 25.
- KITRONIK. *Edge Connector Breakout Board for the BBC micro:bit*. 2021. Disponível em: <https://resources.kitronik.co.uk/pdf/5601b_built_edge_connector_breakout_board_for_the_bbc_microbit_datasheet_v1_1.pdf>. Acesso em: 22/04/2021. Citado na página 28.
- LEITE, D. d. O.; PRADO, R. J. Infrared spectroscopy: a presentation for high school students. *Rev. Bras. Ens. Fís*, SciELO Brasil, v. 34, n. 2, p. 1–9, 2012. Citado na página 14.
- M5STACK. *Time-of-Flight Distance Ranging Sensor Unit (VL53L0X)*. 2019. Disponível em: <<https://shop.m5stack.com/products/tof-sensor-unit>>. Acesso em: 22/04/2021. Citado na página 23.

- MAYER, J. R.; PARKER, G. A. A Portable Instrument for 3D Dynamic Robot Measurements Using Triangulation and Laser Tracking. *IEEE Transactions on Robotics and Automation*, IEEE, v. 10, n. 4, p. 504–516, 1994. Citado na página 14.
- MICRO:BIT. *Micro:bit Educational Foundation (org.)*. 2015. Disponível em: <<https://microbit.org/>>. Acesso em: 23/04/2021. Citado na página 26.
- PETERSON, C. How it works: the charged-coupled device, or CCD. *Journal of young investigators*, v. 3, n. 1, 2001. Citado na página 22.
- POLOLU. *Pololu Carrier for Sharp GP2Y0A60SZLF Analog Distance Sensor, 3V*. 2015. Disponível em: <<https://www.pololu.com/product/2467>>. Acesso em: 10/04/2021. Citado 3 vezes nas páginas 19, 20 e 21.
- POPESCU, S. C. *Estimating Plot-Level Forest Biophysical Parameters Using Small-Footprint Airborne Lidar Measurements*. Tese (Doutorado) — Virginia Tech, 2002. Citado na página 23.
- ROBOTIC, S. O. *Sensors - Sharp IR Range Finder*. 2015. Disponível em: <https://www.societyofrobots.com/sensors_sharpirrange.shtml>. Acesso em: 09/04/2021. Citado na página 20.
- SANTOS, T. F.; COUTO, F. M.; COLISTETE, R. J. Uso de Sensor de Distância Infravermelho em Laboratório de Física. In: PRPPG (Ed.). Vitória: Anais da Jornada de Iniciação Científica da UFES, 2018. p. 11. Citado na página 19.
- SHARP. *Distance Measuring Sensor Unit Measuring distance: 10 to 150 cm Analog output type*. 2015. Disponível em: <https://www.pololu.com/file/0J812/gp2y0a60szxf_e.pdf>. Acesso em: 08/04/2021. Citado 3 vezes nas páginas 19, 20 e 22.
- SPARKFUN. *Introducing the Epigone Drone - Our attempt to fly a drone with some of the same technology as NASA and none of the international scrutiny*. 2021. Disponível em: <https://www.sparkfun.com/news/3810?utm_content=161353764>. Acesso em: 22/04/2021. Citado na página 23.
- STMICROELECTRONICS. *Breadboard Power Supply Module*. [S.l.], 2016. Rev. 15. Citado na página 28.
- STMICROELECTRONICS. *World's smallest Time-of-Flight ranging and gesture detection sensor*. [S.l.], 2018. Rev. 4. Citado na página 23.
- TERABEE. *Times-of-Flight Principle: Indirect ToF Sensors*. 2020. Disponível em: <<https://www.terabee.com/time-of-flight-principle/>>. Acesso em: 22/04/2021. Citado na página 25.
- TOCCI, R. J.; WIDMER, N. S.; MOSS, G. L. *Sistemas Digitais: princípios e aplicações*. 10. ed. São Paulo: Pearson, 2014. Citado na página 26.
- VIDAL, R. N. *Omnidirectional scanner using a time of flight sensor*. Dissertação (B.S. thesis) — Universitat Politècnica de Catalunya, 2018. Citado 2 vezes nas páginas 24 e 25.
- ZHENG, L. et al. Lane-level road network generation techniques for lane-level maps of autonomous vehicles: A survey. *Sustainability*, Multidisciplinary Digital Publishing Institute, v. 11, n. 16, p. 4511, 2019. Citado na página 24.

APÊNDICE A – Código-fonte MicroPython: Calibração do Sensor Sharp GP2Y0A60SZLF

```

1 import pyb
2 import math
3 def DistIRloopMeanStdDevCorr(numADCreadings=50, msdelay=20):
4     adc = pyb.ADC('X4')
5     samplesADC = [0.0]*numADCreadings; meanADC = 0.0
6     samplesDist = [0.0]*numADCreadings; meanDist = 0.0
7     i = 0
8     t1=pyb.micros()
9     while (i < numADCreadings):
10         adcint = adc.read()
11         samplesADC[i] = adcint
12         meanADC += adcint
13         adcv = (adcint*3.3/4095)
14         dcm = ((9.89703)/(adcv - 0.0189332))*(1/0.734319) #(A)
15         samplesDist[i] = dcm
16         meanDist += dcm
17         i += 1
18         pyb.delay(msdelay)
19         t2=pyb.micros()
20         print("\n%d ADC readings done after %u us." % (
21             numADCreadings, t2-t1))
22         print("Mean time for each ADC reading = %15.13f us, with
23             delay of %d ms" % ((t2-t1)/numADCreadings, msdelay))
24         meanADC /= numADCreadings
25         varianceADC = 0.0
26         for adcint in samplesADC:
27             varianceADC += (adcint - meanADC)**2
28         varianceADC /= (numADCreadings - 1)
29         stddevADC = math.sqrt(varianceADC)
30         meanDist /= numADCreadings
31         varianceDist = 0.0
32         for dcm in samplesDist:

```



```

31         varianceDist += (dcm - meanDist)**2
32     varianceDist /= (numADCreadings - 1)
33     stddevDist = math.sqrt(varianceDist)
34 #     print("%u ADC readings :\n%s" %(numADCreadings, str(
35         samplesADC)))
36     print("Mean of ADC readings (0-4095) = %15.13f" % meanADC)
37     print("Mean of ADC readings (0-3300 mV) = %15.13f" % (
38         meanADC*3300/4095))
39     print("Standard deviation of ADC readings (0-4095) = %15.13f
40         " % stddevADC)
41     print("Standard deviation of ADC readings (0-3300 mV) =
42         %15.13f" % (stddevADC*3300/4095))
43 #     print("%u distance readings :\n%s" %(numADCreadings, str(
44         samplesDist)))
45     print("Mean of distance readings (0-150 cm) = %15.13f" %
46         meanDist)
47     print("Standard deviation of distance readings (cm) = %15.13
48         f" % stddevDist)
49 #     Remove spikes from the ADC readings, above (mean + 1.5 times
50         the standard deviation) :
51     print("Removing ADC spikes from samples...")
52     numADCreadingsCorr = numADCreadings
53     cutoffvalueADC = meanADC + 1.5*stddevADC
54     meanADC = 0.0; meanDist = 0.0
55     i = 0
56     while (i < numADCreadingsCorr):
57         if samplesADC[i] > cutoffvalueADC:
58             del samplesADC[i]
59             del samplesDist[i]
60             numADCreadingsCorr -= 1
61         else:
62             i += 1
63     i = 0
64     while (i < numADCreadingsCorr):
65         meanADC += samplesADC[i]
66         meanDist += samplesDist[i]
67         i += 1
68     meanADC /= numADCreadingsCorr
69     varianceADC = 0.0

```

```

62     for adcint in samplesADC:
63         varianceADC += (adcint - meanADC)**2
64     varianceADC /= (numADCreadingsCorr - 1)
65     stddevADC = math.sqrt(varianceADC)
66     meanDist /= numADCreadingsCorr
67     varianceDist = 0.0
68     for dcm in samplesDist:
69         varianceDist += (dcm - meanDist)**2
70     varianceDist /= (numADCreadingsCorr - 1)
71     stddevDist = math.sqrt(varianceDist)
72 #     print("%u ADC readings after removing spikes :\n%s" %(
       numADCreadingsCorr, str(samplesADC)))
73     print("Mean of ADC readings (0-4095) = %15.13f" % meanADC)
74     print("Mean of ADC readings (0-3300 mV) = %15.13f" % (
       meanADC*3300/4095))
75     print("Standard deviation of ADC readings (0-4095) = %15.13f"
       " % stddevADC)
76     print("Standard deviation of ADC readings (0-3300 mV) =
       %15.13f" % (math.sqrt(varianceADC)*3300/4095))
77 #     print("%u distance readings after removing spikes :\n%s" %(
       numADCreadingsCorr, str(samplesDist)))
78     print("Mean of distance readings (0-150 cm) = %15.13f" %
       meanDist)
79     print("Standard deviation of distance readings (cm) = %15.13
       f" % stddevDist)
80 while True:
81     DistIRloopMeanStdDevCorr(50,150)

```

APÊNDICE B – Código-fonte MicroPython: Gravação e Armazenamento de Dados

```

1 from microbit import *
2 import math
3
4 def ADCloopMicroBitDatalogging():
5     adcread = pin1.read_analog
6     datalogfilename = 'adclog.csv'
7     log = open(datalogfilename, 'w')
8     log.write("t (s), d (cm)\n")
9     i = 0; numADCreadings = 200
10    print("%u ADC datalogging t (s) and d (cm) %s..." % (
numADCreadings, datalogfilename))
11    initialtimems = running_time()
12    while (i < numADCreadings):
13        adcint = adcread()
14        timems = (running_time() - initialtimems)/1000
15        adcv = (adcint*3.3)/1023
16        dcm = (9.89703/(adcv - 0.0189332))**(1/0.734319)
17        print("{:.2f} s, {:.2f} cm".format(timems, dcm))
18        log.write("{:.2f}, {:.2f}\n".format(timems, dcm))
19        i += 1
20    log.close()
21
22 def ADCloopBenchmark():
23     while True:
24         if button_a.is_pressed(): #pressionar "A" para iniciar
25             ADCloopMicroBitDatalogging()
26         display.clear()
27
28 display.show(Image.ARROW_W)
29 ADCloopBenchmark()

```

APÊNDICE C – Código-fonte MicroPython: Detector de Presença

```
1 from microbit import *
2 import math
3
4 adcread = pin1.read_analog
5 print("Presence detector")
6 while True:
7     adcint = adcread()
8     adcv = (adcint*3.3)/1023
9     dcm = (9.89703/(adcv - 0.0189332))**(1/0.734319)
10    print(" {:.0f} cm".format(dcm))
11    if (dcm >= 15):
12        display.show(Image.SQUARE)
13        print("Detected object")
14        display.clear()
15    sleep(2000)
```

APÊNDICE D – Código-fonte MicroPython: Mensurar Distância de Objetos, Detector de Nível de Água e Interface Gráfica

```

1 from m5stack import lcd
2 from m5ui import M5TextBox, M5Title, setScreenColor
3 from uiflow import wait_ms
4 import time
5 import unit
6
7 lcd.clear()
8 lcd.setRotation(3)
9 distfield = M5TextBox(40, 20, "0", lcd.FONT_DejaVu40, 0x08feab)
10 mmlabel = M5TextBox(70, 64, "+/- 3 mm", lcd.FONT_Default, 0
    xFFFFFFF)
11 distlabel = M5TextBox(0, 0, "M5Stick VL53L0X Unit", lcd.
    FONT_Small, 0xFFFFFF)
12
13 tof = unit.get(unit.TOF, unit.PORTA)
14
15 while True:
16     distfield.setText(str(tof.distance))
17     delta_tof = 1 + (tof.distance*3//100)
18     mmlabel.setText("+/- " + str(delta_tof) + " mm")
19     print('(' + str(tof.distance) + " +/- " + str(delta_tof) + "
    ) mm")
20     wait_ms(75)

```

APÊNDICE E – Código-fonte MicroPython: Cálculos Estatísticos

```

1 from m5stack import lcd
2 from m5ui import M5TextBox, M5Title, setScreenColor
3 from uiflow import wait_ms
4 import time
5 import unit
6 import math
7
8 lcd.clear()
9 lcd.setRotation(3)
10 distfield = M5TextBox(40, 20, "0", lcd.FONT_DejaVu40, 0x08feab)
11 mmlabel = M5TextBox(70, 64, "+/- 3 mm", lcd.FONT_Default, 0
    xFFFFFFF)
12 distlabel = M5TextBox(0, 0, "M5StickC VL53L0X", lcd.FONT_Small,
    0xFFFFFF)
13
14 tof = unit.get(unit.TOF, unit.PORTA)
15
16 def mean(element):
17     sum_unit = 0
18     for x in element:
19         sum_unit += x
20
21     return sum_unit/len(element)
22
23 def variance(element):
24     mean_unit = mean(element)
25     variance = 0
26
27     for x in element:
28         variance += (x - mean_unit)**2
29
30     variance = variance/(len(element) - 1)
31     return variance

```

```
32
33 def stdev(element):
34     return math.sqrt(variance(element))
35
36 numReadings = []
37
38 while True:
39     for i in range(60):
40         distfield.setText(str(tof.distance))
41         delta_tof = 1 + (tof.distance*3//100)
42         mmlabel.setText("+/- " + str(delta_tof) + " mm")
43         numReadings.append(tof.distance)
44         #print('(' + str(tof.distance) + " +/- " + str(delta_tof
45         ) + ") mm")
46         wait_ms(40)
47     print("MicroPython - VL53L0X unit: statistics distance")
48     print("mean = {:.3f} mm, variance = {:.3f}, stdev = {:.3f} \n
49     \n".format(mean(numReadings), variance(numReadings), stdev(
50     numReadings)))
51     numReadings = []
```

APÊNDICE F – Código-fonte MicroPython:

Medidor de Nível de Água – ToF Unit

VL53L0X

```

1 # M5StickC VL53L0X Unit v0.0.2
2
3 from m5stack import lcd
4 from m5ui import M5TextBox, M5Title, setScreenColor
5 from uiflow import wait_ms
6 import time
7 import unit
8
9 lcd.clear()
10 lcd.setRotation(3)
11 distfield = M5TextBox(40, 20, "0", lcd.FONT_DejaVu40, 0x08feab)
12 mmlabel = M5TextBox(70, 64, "+/- 3 mm", lcd.FONT_Default, 0
    xFFFFFF)
13 distlabel = M5TextBox(0, 0, "M5Stick VL53L0X Unit", lcd.
    FONT_Small, 0xFFFFFF)
14
15 tof = unit.get(unit.TOF, unit.PORTA)
16
17 while True:
18     distfield.setText(str(tof.distance))
19     delta_tof = 1 + (tof.distance*3//100)
20     mmlabel.setText("+/- " + str(delta_tof) + " mm")
21     print('(' + str(tof.distance) + " +/- " + str(delta_tof) + "
    ) mm")
22     wait_ms(100)

```


APÊNDICE G – Código-fonte MicroPython:

Medidor de Nível de Água – ToF HAT

VL53L0X

```

1 # M5StickC VL53L0X Hat v0.0.2
2
3 from m5stack import lcd
4 from m5ui import M5TextBox, M5Title, setScreenColor
5 from uiflow import wait_ms
6 import time
7 import hat
8
9 lcd.clear()
10 lcd.setRotation(3)
11 distfield = M5TextBox(40, 20, "0", lcd.FONT_DejaVu40, 0x08feab)
12 mmlabel = M5TextBox(70, 64, "+/- 3 mm", lcd.FONT_Default, 0
    xFFFFFFF)
13 distlabel = M5TextBox(0, 0, "M5Stick VL53L0X Hat", lcd.
    FONT_Small, 0xFFFFFF)
14
15 tof = hat.get(hat.TOF)
16
17 while True:
18     distfield.setText(str(tof.GetDistance()))
19     delta_tof = 1 + (tof.GetDistance()*3//100)
20     mmlabel.setText("+/- " + str(delta_tof) + " mm")
21     print('(' + str(tof.GetDistance()) + " +/- " + str(delta_tof
    ) + ") mm")
22     wait_ms(100)

```

ANEXO A – Código-fonte MicroPython: Pyboard v1.1 – Gravação e Armazenamento de Dados

```

1 # Autor: Roberto Colistete Jr.
2
3 import pyb
4 import math
5 def DistIRloop(msdelay=20):
6     red = pyb.LED(1)
7     red.on()
8     userswitch = pyb.Switch()
9     initialtimems = pyb.millis()
10    datalogfilename = '/sd/distirlog.csv'
11    log = open(datalogfilename, 'a')
12    log.write("t (s), d (cm)\n")
13    while not userswitch():
14        adcint = pyb.ADC(pyb.Pin('X4')).read()
15        times = ((pyb.millis()) - initialtimems)/1000
16        adcv = (adcint*3.3/4095)
17        dcm = (9.89703/(adcv - 0.0189332))**(1/0.734319)
18        print("%f s, %f cm" % (times, dcm))
19        log.write("%f, %f\n" % (times, dcm))
20        pyb.delay(msdelay)
21    log.close()
22    pyb.sync()
23    red.off()
24 DistIRloop()

```

ANEXO B – Roteiro Experimental: Segunda Lei de Newton

Atividade Experimental: Segunda Lei de Newton

- 01 Trilho de ar (120 *cm*);
- 01 Aparato experimental (sensor óptico, microcontrolador, etc)
- 01 fixador de eletroímã com manípulo;
- 01 chave liga-desliga;
- 01 Y de final de curso com roldana raiada;
- 01 suporte para massas;
- 02 corpos de prova (10 g) com furo central de 2,5 *mm*;
- 02 corpos de prova (20 g) com furo central de 2,5 *mm*;
- 01 cabo de ligação conjugado;
- 01 unidade de fluxo de ar (compressor);
- 01 cabo de força tripolar 1,5 *m*;
- 01 pino para carrinho com fixador para eletroímã;
- 01 carrinho para trilho de ar;
- 01 balança digital ou analógica.

Objetivos

- Verificar experimentalmente a Segunda Lei de Newton por meio de medidas diretas e indiretas da aceleração, quando corpos de provas são submetidos à ação da força peso.

Procedimento Experimental

- Faça a montagem do aparato experimental adaptado com o o protótipo funcional com sensor óptico, microcontrolador, etc;

- Com o auxílio de uma balança meça a massa do carrinho ($M_c \pm \delta M_c$), do suporte ($M_s \pm \delta M_s$) e dos corpos de prova ($M_i \pm \delta M_i$). Anote os respectivos valores.
- Coloque o carrinho no centro do trilho de ar, nivele-o de tal forma que ele fique parado.
- Inicie a atividade prática colocando um corpo de prova de 10 g no suporte e os outros três corpos de prova no carrinho. Anote os valores da nova massa no suporte ($M_s \pm \delta M_s$) e no carrinho ($M_c \pm \delta M_c$) anotando os respectivos valores.
- Repita esse procedimento, para isso permute os três corpos de prova restantes no carrinho, transferindo-os para o suporte. Sendo assim, o carrinho ficará sem nenhum corpo de prova e o suporte com os quatro corpos de prova na última medida.
- Posteriormente, calcule a aceleração média desenvolvida pelo carrinho. Nesse sentido você precisará utilizar da Segunda Lei de Newton, entretanto os resultados obtidos poderão ser comparados via equação da função horária da posição para o MRUV.
- Plotar o gráfico da posição versus tempo.