

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

POLIANA DE OLIVEIRA

A PLACA ARDUINO COMO UMA OPÇÃO DE FÁCIL ACESSO PARA
DESENVOLVIMENTO DE EXPERIMENTOS VISANDO O ENSINO DE FÍSICA:
EXPERIMENTAÇÃO COM ESTUDOS QUE ENVOLVEM A VELOCIDADE DO SOM

CURITIBA

2015

POLIANA DE OLIVEIRA

A PLACA ARDUINO COMO UMA OPÇÃO DE FÁCIL ACESSO PARA
DESENVOLVIMENTO DE EXPERIMENTOS VISANDO O ENSINO DE FÍSICA:
EXPERIMENTAÇÃO COM ESTUDOS QUE ENVOLVEM A VELOCIDADE DO SOM

Trabalho apresentado como requisito parcial para a conclusão do Curso de Licenciatura em Física, Setor de Ciências Exatas, da Universidade Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Dr. Wilson Alcântara Soares

CURITIBA

2015



ATA DA 3ª SESSÃO DE APRESENTAÇÃO E ARGUIÇÃO ORAL DE
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

Aos 22 dias do mês de dezembro de 2015, as 14 horas, na sala PE03, do Departamento de Física, no Centro Politécnico da Universidade Federal do Paraná, compareceu a acadêmica **Poliana de Oliveira**, **GRR20104386**, aluna do Curso de Licenciatura em Física do Setor de Exatas da Universidade Federal do Paraná, para a 3ª sessão de apresentação e arguição oral do **Trabalho de Conclusão de Curso (TCC)**, intitulado "**A Placa Arduino como uma opção de fácil acesso para desenvolvimento de experimentos visando o ensino de física: experimentação com estudos que envolvem a velocidade do som**", orientada pelo professor Dr. Wilson Alcântara Soares, perante a banca examinadora, que foi assim constituída: **Prof. Dr. Wilson Alcântara Soares**, como Presidente da Banca, **Prof. Dr. Lauro Luiz Samojeden**, como 1º Membro da Banca e a **Profa. Dra. Thais Rafaela Hilger**, como 2º Membro da Banca. Após assistirem a exposição da acadêmica acima nomeada e arguirem-na sobre diferentes aspectos do TCC apresentado, os membros da banca reuniram-se para atribuição da nota final, a qual foi **9,0 (nove)**, de acordo com o **Relatório de Avaliação de TCC**, que acompanha esta Ata, estando a acadêmica **aprovada** na disciplina TCC2, com a recomendação de que todas as sugestões de correções indicadas pela Banca sejam atendidas e que a versão definitiva do TCC seja entregue conforme as regras estabelecidas pelo Colegiado de Curso e no prazo fixado. A nota final foi comunicada a acadêmica. Nada mais havendo a ser tratado, o Presidente da Banca declarou encerrada a sessão e todos os membros da Banca assinaram a presente Ata.

Prof. Dr. Wilson Alcântara Soares
Presidente da Banca

Prof. Dr. Lauro Luiz Samojeden
1º Membro da Banca

Profa. Dra. Thais Rafaela Hilger
2º Membro da Banca

Poliana de Oliveira
Orientanda

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer imensamente ao meu orientador Professor Dr. Wilson Alcântara Soares, por ter me acolhido desde o início e por toda sua dedicação e paciência durante a construção deste trabalho!

Ao meu querido pai, e aos meus avós por todo o incentivo, carinho, por nunca me deixarem desanimar!

Ao Holisses, por sempre estar ao meu lado e ser um grande companheiro, sem você não teria chego até aqui!

Aos meus amigos, por todas as longas horas de estudo e também por todos os momentos de diversão.

A todos professores que tive durante a graduação, por dedicarem seu tempo a nos ensinar um pouco mais sobre esta ciência fantástica!

E a todos que de alguma forma me apoiaram durante todo esse tempo!

À todos o meu MUITO OBRIGADA!

“Sempre me pareceu estranho que todos aqueles que estudam seriamente esta ciência acabam tomados de uma espécie de paixão pela mesma. Em verdade, o que proporciona o máximo de prazer não é o conhecimento e sim a aprendizagem, não é a posse, mas a aquisição, não é a presença, mas o ato de atingir a meta”

Carl Friedrich Gauss

RESUMO

Devido ao elevado custo dos *kits* de experimentação e também por serem sistemas fechados que impossibilitam modificações para a realização de outros experimentos, a falta de um laboratório estruturado, e de tempo para o preparo das aulas, as atividades experimentais, muitas vezes, têm sido deixadas de lado no Ensino de Física, principalmente na rede pública. Este trabalho propõe a utilização de uma metodologia experimental de aquisição de dados por computador, por meio da placa Arduino, Trata-se de uma plataforma de desenvolvimento computacional, a qual possibilita a aquisição de dados experimentais de maneira rápida e precisa, a redução no tempo de coleta de dados e a rápida análise gráfica permitem criar no laboratório um ambiente de construção do conhecimento tendo em vista que o estudante terá tempo disponível para formular suas hipóteses, realizar o experimento e as análises necessárias e ainda reformular as hipóteses caso seja necessário. Serão apresentadas três propostas corroborando a possibilidade do uso e da produção de experimentos em sala de aula, duas para Ensino Médio (EM) e uma para Ensino Superior (ES). Espera-se contribuir para melhoria na aprendizagem dos alunos, de professores que desejem preencher lacunas em sua formação quanto a utilização de tecnologias modernas e também de profissionais que não são da área, mas lecionam a disciplina de Física regularmente em escolas de EM e ES, mas, além de tudo, incentivar a utilização da experimentação de baixo custo, em especial com o emprego de tecnologias, como uma alternativa as adversidades presentes na escola.

Palavras chave: Ensino de Física. Experimentação. Baixo custo. Tecnologia. Arduino.

ABSTRACT

Due to the high cost of testing kits and also because they are closed systems that prevent changes to carry out other experiments, the lack of a structured lab, and time to prepare classes, experimental activities have been set aside often in Physics Education, especially in public schools. This paper proposes the use of an experimental computer data acquisition methodology, through Arduino board. Arduino is a computational development platform, which enables the acquisition of experimental data quickly and accurately in a short time data collecting and rapid graphical analysis in the laboratory allow you to create a knowledge-building environment in order that students will have time available to formulate their hypotheses, conduct the experiment and the necessary analyzes and even reformulate the hypotheses if necessary. Will be presented three proposals supporting the possibility of the use and production experiments in the classroom, two for high school and one for Higher Education. Is expected to contribute to improvement in student learning, teachers wishing to fill gaps in their training as the use of modern technologies and also professionals who are not from the area, but teach the discipline of physics in regular high schools and Education Superior, but, above all, encourage the use of low-cost experimentation, particularly with the use of technology as an alternative adversity present in the school.

Palavras chave: Teaching Physics. Experimentation. Low cost. Technology. Arduino.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	8
1.1 REFERENCIAL TEÓRICO.....	9
1.2 OBJETIVOS E METODOLOGIA.....	10
2 A PLACA DE DESENVOLVIMENTO ARDUINO.....	12
2.1 HISTÓRIA.....	13
2.2 ARDUINO UNO, SHIELDS E SENSORES.....	14
2.2.1 Arduino Uno.....	14
2.2.2 Shields.....	16
2.2.3 Sensores.....	17
2.3 FUNÇÕES.....	19
3 TEORIA APLICADA AOS EXPERIMENTOS DESENVOLVIDOS.....	20
3.1 FUNCIONAMENTO DO SENSOR ULTRASSÔNICO.....	20
3.2 ANÁLISE GRÁFICA: EQUAÇÃO DA RETA.....	22
3.3 MÉTODO DOS MÍNIMOS QUADRADOS (MMQ).....	24
3.4 MÉTODO PARÂMÉTRICO DE AJUSTAMENTO DE OBSERVAÇÕES.....	25
4 CONSTRUÇÃO E PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL.....	28
4.1 MATERIAIS E EQUIPAMENTOS.....	28
4.2 PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL.....	33
5 PROPOSTAS DE EXPERIMENTOS.....	37
5.1 PROPOSTA DE EXPERIMENTO PARA O ENSINO MÉDIO.....	37
5.2 PROPOSTA DE EXPERIMENTO PARA O ENSINO SUPERIOR.....	39
5.2.1 Utilizando MMQ por meio de tabela.....	39
5.2.2 Utilizando MMQ por meio de Planilha Eletrônica.....	41
5.2.3 Utilizando Método Paramétrico de Ajustamento de Observações.....	41
6 CONCLUSÕES.....	44
REFERÊNCIAS.....	48
LITERATURA COMPLEMENTAR.....	49
ANEXO I.....	50

INTRODUÇÃO

Segundo os documentos oficiais, o Ensino de Física deve estar voltado para a formação de um cidadão contemporâneo, atuante e solidário, com instrumentos para compreender, intervir e participar na realidade, logo se deve considerar o conhecimento físico como uma ferramenta para perceber e lidar com fenômenos naturais e tecnológicos (BRASIL, 2002). Para tanto é indispensável ao Ensino de Física a utilização de atividades experimentais, e são diversos os trabalhos onde encontram-se posições que defendem fortemente este ponto de vista, de acordo com Séré, Coelho e Nunes (2003) “Concebe-se a experimentação como uma forma de favorecer o estabelecimento de um elo entre o mundo dos objetos, o mundo dos conceitos, leis e teorias e o das linguagens simbólicas.” As Diretrizes Curriculares para a Educação Básica afirmam que, “a apropriação de conhecimentos científicos se efetiva por práticas experimentais, com contextualização que relacione os conhecimentos com a vida, em oposição a metodologias pouco ou nada ativas e sem significado para os estudantes”. (BRASIL, 2013, p. 167).

Porém, deve-se ter consciência também que as escolas de ensino médio público não estão, em sua maioria, estruturadas para o ensino experimental de física, ora há falta de material, ora de espaço físico adequado, sem levar em conta ainda a falta de carga horária disponível, para que o professor possa preparar estas aulas ou até mesmo a falta informação dos mesmos sobre os recursos disponíveis.

A motivação para o desenvolvimento deste trabalho é por se acreditar que estes impasses não devem ser motivo para exclusão de aulas práticas e tem por objetivo estimular a utilização de experimentos de baixo custo como ferramenta didática em aulas de física no Ensino Médio, e também no Ensino Superior, como forma de disponibilizar a coleta e análise de dados, fazendo uso de um hardware de fácil aquisição e software de código aberto, denominado por Arduino.

Segundo OLIVEIRA & ZANETTI (2015, p. 17), pode-se dizer que,

O Arduino é uma plataforma de hardware open source, projetada sobre o microcontrolador Atmel AVR, que pode ser programado através de uma linguagem de programação similar a C/C++, permitindo a elaboração de projetos com um conhecimento mínimo ou mesmo nenhum de eletrônica. Foi criado com o objetivo de fornecer uma plataforma de fácil prototipação

de projetos interativos, unindo software e hardware, características da computação Física.

1.1 REFERENCIAL TEÓRICO

Os computadores estão presentes na maior parte das áreas do conhecimento humano, desde a construção e operação de grandes usinas à elaboração de uma simples planilha para o controle do orçamento doméstico. No Ensino de Física não é diferente. “Tem-se observado nos últimos anos um aumento significativo de propostas de experiências didáticas em Física assistida por microcomputadores, em que o PC é peça dominante no controle, aquisição e análise de dados” (SOUZA, et al 2001). Cavalcante, Tavolaro & Molisani (2011) e Souza, et al. (2001) apontam que o uso destes equipamentos em salas de aula está limitado pelo custo, em geral, muito alto e também por serem sistemas fechados que impossibilitam um estudo mais detalhado de suas características e modificações que permitam adaptações para outros experimentos.

Muitas empresas, em sua maioria estrangeiras, estão investindo fortemente neste segmento do mercado, porém o cidadão comum também pode, com empenho e pouco recurso, investir no desenvolvimento de seus próprios experimentos utilizando o Arduino, inclusive podendo construir a sua própria placa Arduino utilizando poucos componentes disponíveis no mercado. No caso particular, daqueles que atuam no Ensino de Física, este investimento seguramente proporcionará um ganho na qualidade do ensino e, naturalmente, na melhoria da qualidade da aprendizagem por parte do aluno.

Laburú (2005) durante pesquisa com professores de ensino básico, reuniu as atividades experimentais em quatro categorias de ordem: epistemológica, instrucional, motivacional e funcional, concluindo que 81% dos entrevistados optam por experimentos da categoria funcional. A categoria funcional prioriza experimentos que se adaptem ao tempo da aula e nos quais a coleta de dados seja feita de forma simples e que demonstrem fidedignidade com o que se quer observar, que corresponde à proposta de trabalho deste Trabalho de Conclusão de Curso (TCC).

Como alternativa aos problemas citados anteriormente e indo de encontro com a pesquisa realizada por Laburú (2005), Fahad, et al. (2013), propõem soluções

de baixo custo envolvendo diferentes portas de comunicação e periféricos do computador.

De acordo com Cavalcante, Tavolaro e Molisani (2011), a grande contribuição na introdução da metodologia experimental de aquisição de dados por computador é a possibilidade real de uso das técnicas de análise estatística de dados experimentais. A aquisição e registro dos dados é mais rápida e aumenta a disponibilidade de tempo para que o aluno possa efetuar todas as etapas de um experimento, a saber:

- Formular a hipótese;
- Fazer o experimento;
- Comparar e analisar o resultado;
- Reformular a hipótese;
- Fazer os ajustes necessários;
- E refazer o experimento (caso seja necessário).

Neste TCC é proposto o uso da placa de desenvolvimento Arduino como ferramenta de coleta de dados, por ser uma placa baseada em hardware e software livres, logo, além de ter custo muito menor em relação aos kits comerciais ainda possui uma grande versatilidade, pois com uma única placa é possível desenvolver inúmeros experimentos, por ela interfaceada, bastando a conexão com sensores diversos, os quais também estão disponíveis no mercado a baixo custo.

1.2 OBJETIVOS E METODOLOGIA

O objetivo deste trabalho, além de incentivar a utilização de experimentos de baixo custo e por consequência à experimentação no Ensino de Física, é a produção de um experimento utilizando a placa Arduino como uma interface de aquisição de dados. Experimento este que tem como finalidade a determinação da velocidade do som.

Durante a realização deste TCC, pensou-se em um experimento que pudesse ser realizado de forma simples por estudantes de EM e também de ES,

tendo em vista que, com uma coleta de dados mais objetiva, os estudantes deste nível tem a oportunidade um maior aprofundamento na análise dos dados conforme será mostrado nas sessões 3.2 e 3.3. Então, após a escolha de um experimento, dedicou-se à construção do mesmo: tanto o hardware quanto a produção do software. Todo trabalho foi desenvolvido de forma experimental.

2 A PLACA DE DESENVOLVIMENTO ARDUINO

O Arduino é uma plataforma de prototipagem eletrônica, criada em 2005, com o objetivo de permitir o desenvolvimento de controle de sistemas interativos, de baixo custo e acessível a todos. Além disso, todo material (software, bibliotecas, hardware) é *open-source*, ou seja, é livre e, portanto, pode ser reproduzido e usado por todos sem a necessidade de pagamento de direitos autorais. O termo Arduino pode tanto ser usado para descrever a placa física como o sistema como um todo, incluindo software e também os periféricos que podem ser acoplados a placa de Arduino. (MONK, 2015)

“De forma técnica, é uma placa de circuito impresso que possui um microcontrolador programável via USB e um conjunto de ferramentas que facilitam sua programação. Desta forma, é possível criar protótipos de circuitos que fazem recepção e envio de sinais analógicos/digitais para componentes como sensores, atuadores, leds, motores de passo, entre outros” (FAHAD et al. 2013).

De acordo com Bentes (2011), as principais vantagens do Arduino são:

- *Preço acessível*: Verifica-se que o seu preço é mais barato do que outras plataformas de microcontroladores.
- *Multi-Plataforma*: O ambiente de desenvolvimento integrado do Arduino, IDE (*Integrated Development Environment*), é um software que está disponível para os sistemas operacionais Windows, Macintosh OSX e Linux.
- *Ambiente de programação simples*: O ambiente de programação é fácil de usar para iniciantes.
- *Open Source*: Seu código fonte é aberto e pode ser aperfeiçoado por programadores, mesmo os menos experientes.

A placa pode ser utilizada para desenvolver objetos interativos. Com ele podemos manipular o hardware (sensores diversos, sistemas de controle, etc.) através do software.

Em resumo é um kit de desenvolvimento que interpreta as variáveis no ambiente para transformá-las em sinais elétricos, através de sensores ligados aos

terminais configurados como “entrada”, e pode também controlar ou acionar algum outro elemento eletro-eletrônico conectado aos terminais que forem configurados como “saída”. Em outras palavras, é uma ferramenta de entrada, processamento e saída de dados.

2.1 HISTÓRIA

Em 2005, no *Interaction Design Institute* na cidade de Ivrea, na Itália, o professor Massimo Banzi, procurava um meio barato de facilitar a utilização de tecnologia por estudantes de design. (MONK, 2015) Levou seu problema a David Cuartielles, um pesquisador visitante da Universidade de Malmö, na Suécia, que estava em busca de algo semelhante, e assim a ideia do Arduino nasceu. Basearam-se em um hardware de baixo custo e de fácil manipulação, já que os produtos existentes no mercado eram caros e relativamente difíceis de usar. Banzi e Cuartielles decidiram desenvolver um microcontrolador que poderia ser utilizado por seus estudantes de arte e design em seus projetos. Os principais objetivos eram de que o valor não ultrapassasse o de uma pizza e que qualquer pessoa pudesse usar. Contaram com a ajuda de David Mellis, um aluno de Massimo na época, que ficou responsável por criar a linguagem de programação do Arduino e programou o software para executar a placa. David Cuartielles desenhou a placa. Massimo contratou um engenheiro local, Gianluca Martino, que também trabalhou no Design Institute ajudando alunos com seus projetos. Gianluca concordou em produzir uma tiragem inicial de duzentas placas.

A nova placa ganhou o nome de Arduino em referência a um bar local bastante frequentado por professores e alunos do instituto. As placas eram vendidas em forma de kit, a tiragem inicial foi vendida rapidamente e logo mais placas foram construídas. O projeto original foi melhorado e novas versões foram introduzidas. As vendas dos Arduinos oficiais alcançaram, na época, a marca de 300 mil unidades, e eles são vendidos em todo o mundo por intermédio de uma série de distribuidores. (EVANS, NOBLE & HOCHENBAUM 2013)

A FIGURA 1 apresenta algumas versões da placa de Arduino disponíveis no mercado.

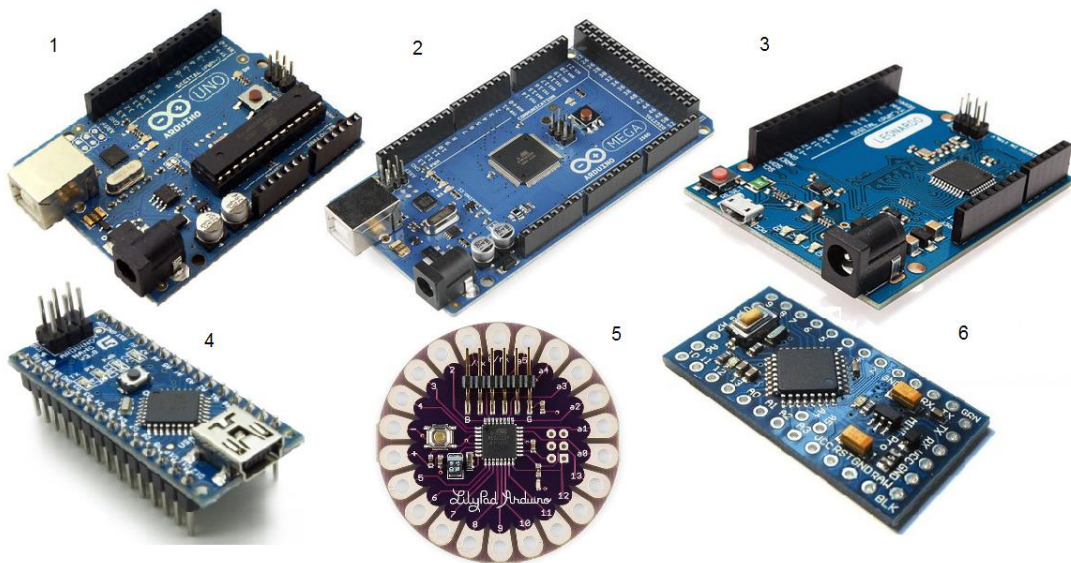


FIGURA 1 – 1 ARDUINO UNO; 2 ARDUINO MEGA 2560; 3 ARDUINO LEONARDO; 4 ARDUINO NANO; 5 LILYPAD; 6 ARDUINO PRO MINI. FONTE: FILIPEFLOP¹ (Adaptação do autor)

Na próxima sessão apresenta-se uma descrição mais detalhada do modelo Arduino Uno o qual foi utilizado para na realização dos experimentos, bem como dos shields e sensores.

2.2 ARDUINO UNO, SHIELDS E SENSORES

2.2.1 Arduino Uno

Devido à sua fácil aquisição e por ser um dos mais utilizados, optou-se por utilizar o Arduino Uno no desenvolvimento deste TCC. O Arduino Uno é uma placa microcontroladora baseada no chip ATmega328. Possui 14 pinos digitais, do pino 0 ao pino 13, configuráveis como entrada ou saída, sendo que, 6 destes pinos (do pino 2 ao pino 7) podem ser configurados como saídas PWM (*Pulse-Width Modulation*). A saída PWM corresponde a uma simulação de saída analógica por meio de uma

¹ Disponível em: <http://blog.filipeflop.com/arduino/tipos-de-arduino-qual-comprar.html>; Acesso em nov. 2015

saída digital. Os pinos 0 e 1, correspondem aos pinos para comunicação serial, o 0 para receber dados seriais (RX) e o 1 para transmitir os dados seriais (TX). Também estão disponíveis mais 6 pinos para entradas/saídas analógicas, os quais podem ser configurados para serem utilizados como entrada/saída digital. Um oscilador de cristal de 16 MHz, uma conexão USB, um conector ICSP (*In-Circuit Serial Programming*) de 6 pinos, um botão de reset e um LED conectado ao pino 13, característica da maioria das placas Arduino. A FIGURA 2 mostra o layout e a disposição dos pinos na placa.

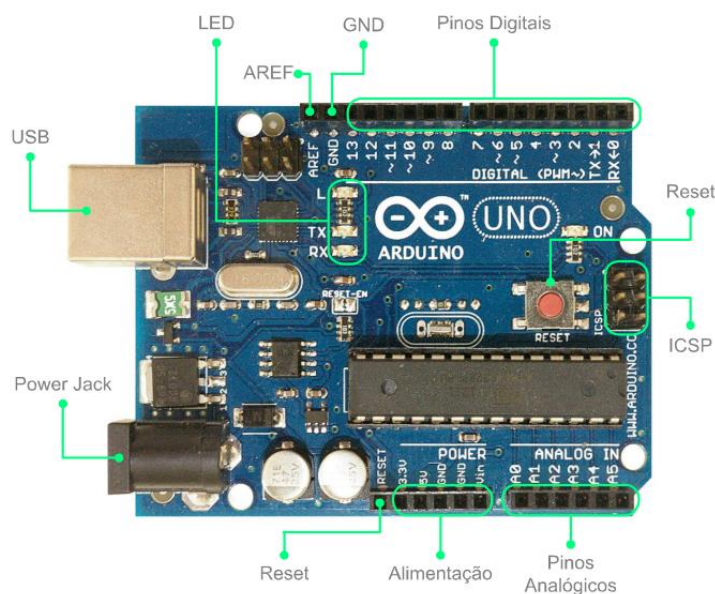


FIGURA 2 – PLACA E PINOS DO ARDUINO UNO. FONTE: Heco Mecatrônica Ltda

A plataforma utiliza uma camada de software, previamente implementada na placa, que é um *bootloader*, e uma interface amigável no computador que utiliza uma linguagem, baseada em C/C++, a qual é também *open source*. Para este ambiente de desenvolvimento, são disponibilizadas bibliotecas que permitem o interfaceamento com outros hardwares, permitindo o desenvolvimento de aplicações simples ou complexas em qualquer área. Para realizar o download da IDE basta ir até a página oficial do Arduino², onde também pode ser encontrado o guia de referências para o usuário. A utilização da IDE do Arduino é simples e auto explicativa.

² <http://www.arduino.cc/>

2.2.2 Shields

Foram desenvolvidas, para algumas placas de Arduino, expansões de hardware que, podem ser encaixadas diretamente na placa principal ou por meio de uma matriz de contato de pontos (*proto-board*), denominadas por "Shields" (escudos). Outro motivo pelo qual optou-se pela utilização do modelo Uno, é devido ao fato da maioria das shields terem sido desenvolvidas para serem encaixadas neste modelo. Através das shields, uma placa Arduino pode ser melhorada ainda mais. Os circuitos contidos nas diversas shields contêm uma eletrônica que adiciona funções que a placa principal não possui. Como exemplos temos, shields para controle de motores, Shields para comunicação Wi-Fi e conexão com internet, entre muitos outros. Vale ressaltar que a shield é completamente dependente do Arduino para funcionar. Algumas shields estão ilustradas na FIGURA 3.

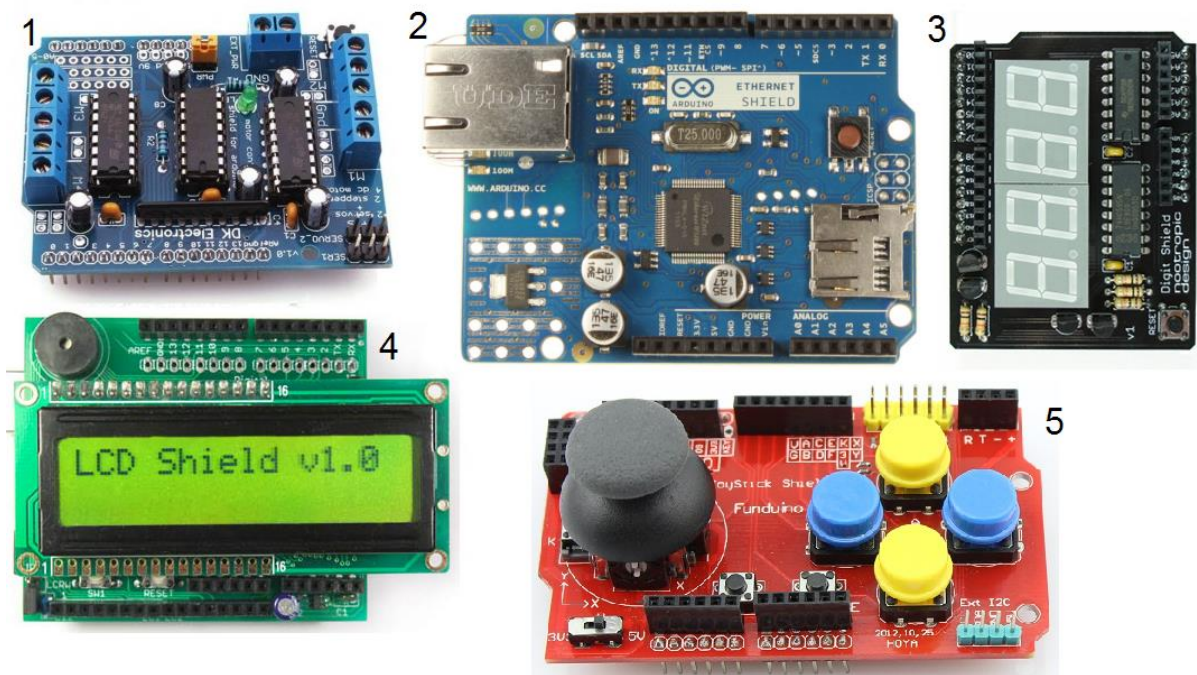


FIGURA 3 – ALGUNS EXEMPLOS DE SHIELDS PARA ARDUINO 1. V1.1 CONTROLE MOTOR, 2. ETHERNET SHIELD, 3. DIGIT SHIELD, 4. DISPLAY LCD, 5. JOYSTICK. FONTE: Imagens do Google (adaptação do autor)

2.2.3 Sensores

Os sensores são dispositivos eletroeletrônicos que convertem medidas realizadas no mundo real em sinais eletrônicos que podem ser utilizados nas placas Arduino (MONK, 2014). Existem diversos sensores feitos para o Arduino, como os que são mostrados na FIGURA 4.

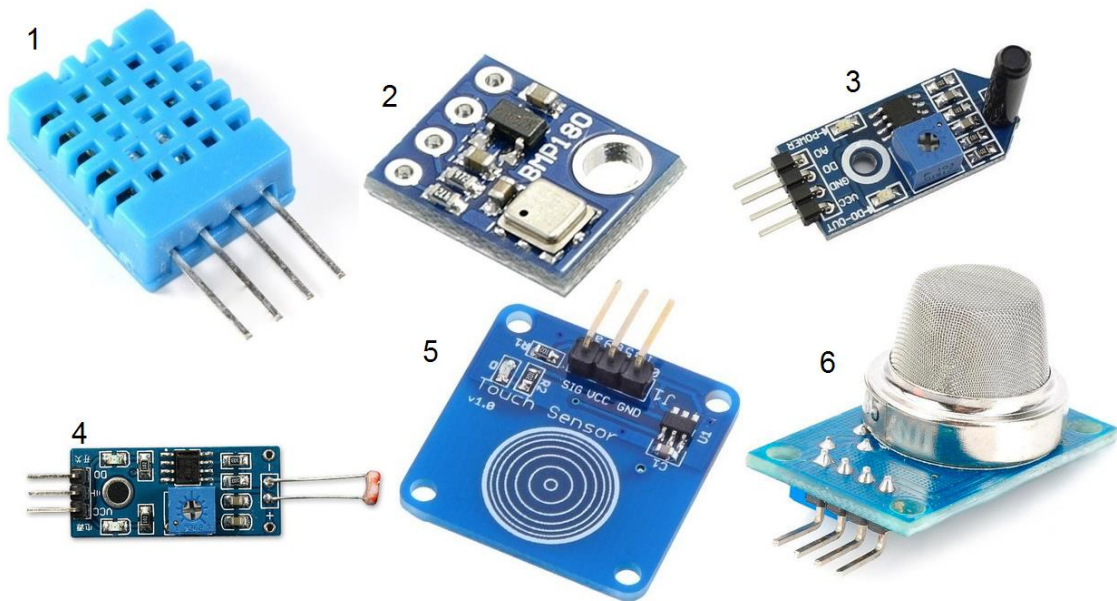


FIGURA 4 - 1. SENSOR DE UMIDADE RELATIVA E TEMPERTURA, 2. SENSOR DE PRESSÃO E TEMPERATURA, 3. SENSOR DE VIBRAÇÃO, 4. SENSOR DE LUZ, 5. SENSOR TOQUE CAPACITIVO, 6. SENSOR DE GÁS MQ-2 INFLAMÁVEL E FUMAÇA. FONTE: Imagens do Google (adaptação do autor)

Neste TCC optou-se por trabalhar com a medida da velocidade do som e, por isso, foi utilizado o sensor ultrassônico HC-SR04. Este sensor é capaz de medir distâncias de 2 cm a 4 m com uma precisão de 3 mm, seu ângulo de detecção é de aproximadamente 15 graus e possui um baixo custo de aquisição. Também pode ser utilizado como um detector de objetos ou ainda na área de robótica é um componente que pode ser usado para encontrar/evitar obstáculos ou corrigir rotas na movimentação de um robô. (BUILDBOT, 2015)

Esse sensor utiliza ondas sonoras ultrassônicas, para determinar a distância entre o sensor e o obstáculo. Este módulo possui um circuito pronto com emissor e receptor acoplados e 4 pinos (VCC, Trigger, ECHO, GND) para medição. O sensor pode ser observado na FIGURA 5.



FIGURA 5 - SENSOR ULTRASSÔNICO HC-SR04. FONTE: Imagens do Google

Na FIGURA 6 é possível ver o diagrama esquemático do HC-SR04.

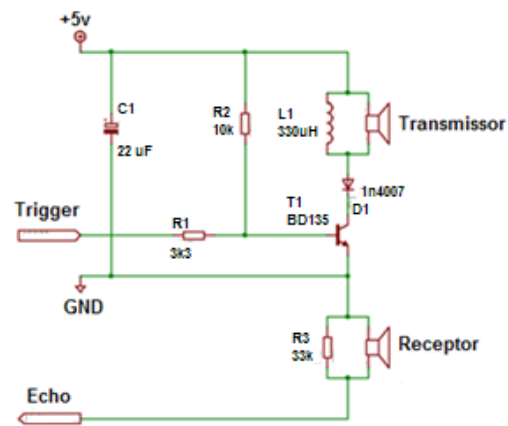


FIGURA 6 – DIAGRAMA ESQUEMÁTICO DO SENSOR ULTRASSÔNICO. FONTE: Gavand (2006).

Os pinos VCC e GND devem ser ligados respectivamente a +5 V e ao 0 V (GND) da placa Arduino. O pino *Trigger* é o responsável pela emissão do pulso ultrassônico e o pino *Echo* responsável pela recepção da onda refletida.

2.3 FUNÇÕES

De acordo com Monk (2013) “uma função é algo um pouco parecido com um programa dentro de outro programa”. São sub-rotinas ou procedimentos, em resumo, são blocos utilizados para montar o programa principal. Podem ser importadas em forma de bibliotecas ou serem escritas pelo programador.

A função pode ser chamada de qualquer lugar do programa, contudo, deve ser declarada antes de ser chamada, atribuindo-lhe um nome seguido de parênteses, depois são definidos entre chaves os procedimentos que a função deve realizar, ou seja, a função contém suas próprias variáveis e sua própria lista de comandos. Ao término dos comandos de cada função o programa retorna imediatamente após a linha no código em que a mesma foi chamada. A função “setup”, por exemplo, é a primeira a ser executada quando o programa é iniciado.

Além das funções básicas “setup” e “loop”, como já foi dito, é possível criar outras funções. No código produzido para a realização dos experimentos este método foi utilizado para separar do programa principal o cálculo da velocidade média e também a medida das distâncias como pode ser observado no ANEXO I.

No desenvolvimento do programa proposto optou-se por utilizar funções definidas pelo usuário onde foram utilizados 4 botões, os quais foram associados a funções que serão explicadas no capítulo relativo aos procedimentos.

3 TEORIA APLICADA AOS EXPERIMENTOS DESENVOLVIDOS

Nesta sessão serão discutidos o funcionamento do sensor ultrassônico bem como os métodos utilizados para a análise dos resultados, tanto em nível de Ensino Médio quanto em nível de Ensino Superior, sendo que para este serão propostas três formas de análise: Método dos Mínimos Quadrados (MMQ) por meio de uma tabela de uso tradicional em Física Experimental, o MMQ por meio do Método Paramétrico de Ajustamento de Observações (GEMAEL, 1994 e DALMOLIN, 2002), o qual é feito por meio de cálculo matricial, e por meio do MMQ disponível na Planilha Eletrônica Excel quando da utilização da função “Adicionar Linha de Tendência”.

3.1 FUNCIONAMENTO DO SENSOR ULTRASSÔNICO

Para realizar a medição é necessário alimentar o módulo utilizando as tensões elétricas de 5 V e 0 V (GND), disponibilizadas na própria placa do Arduino. No Arduino deve ser gravado um programa que, seguindo as informações disponíveis na literatura, coloca o pino Trigger em nível alto (tensão igual a 5 V) por 10 μ s, tempo este durante o qual o sensor emite a onda sonora ultrassônica que, ao encontrar um obstáculo, adequadamente posicionado, seja refletida de volta em direção ao módulo. Durante o tempo transcorrido entre a emissão e a recepção do sinal o pino ECHO é colocado em nível alto, então, este é o tempo que o som demora para ir até a barreira e voltar, ou seja, para percorrer duas vezes a distância que deseja-se medir, conforme ilustrado na FIGURA 7.

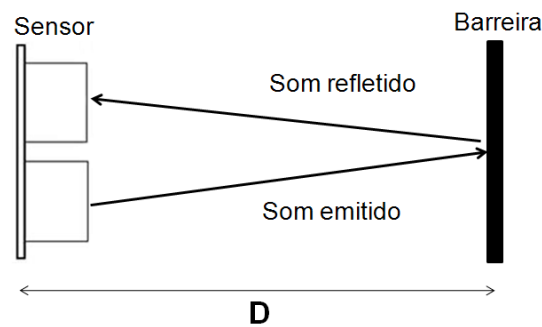


FIGURA 7 - O SOM PERCORRE A DISTÂNCIA "D", DUAS VEZES, PARA RETORNAR AO OBSERVADOR, QUE NO CASO DO EXPERIMENTO É O SENSOR. FONTE: O autor

O cálculo da distância pode ser feito por meio do tempo em que o pino ECHO permaneceu em nível alto, registrado pelo programa gravado na placa do Arduino. O tempo será fornecido em microssegundos, logo, deverá ser feita a adequada conversão de unidade.

$$Distância = \frac{Tempo\ ECHO\ em\ nível\ alto * Velocidade\ do\ Som}{2} \quad (1)$$

No ar, a velocidade do som mais utilizada nas literaturas básicas é 340 m/s. Como o Arduino é uma plataforma que utiliza software livre, alguns exemplos de utilização do sensor de ultrassom disponíveis na Internet também fazem uso do valor de 340 m/s para a velocidade do som, como referência. Neste experimento não será utilizado este valor tabelado para a velocidade do som no ar, pois será realizada a calibração da velocidade do som no momento do desenvolvimento do experimento e, para tanto será feita a medida do tempo para um obstáculo a uma distância fixa de 1 m e, com estes valores, a velocidade do som quando da realização do experimento, é calculada. Este valor é considerado, neste TCC, como sendo a velocidade do som calibrada. Para a calibração da velocidade são calculados cinco valores e, em seguida, é feita a determinação da média aritmética destas medidas.

Após a calibração da velocidade do som são feitas as medidas da distância para várias posições do obstáculo.

3.2 ANÁLISE GRÁFICA³: EQUAÇÃO DA RETA

No experimento proposto para ser aplicado no Ensino Médio, é feita uma análise gráfica onde a distância sensor-obstáculo é representada no eixo das ordenadas e a metade do tempo de propagação no eixo das abscissas.

A análise gráfica é muito útil, pois permite, modelar a lei que rege um fenômeno físico. O conhecimento dessas leis é muito importante para a elaboração de modelos teóricos que expliquem os fenômenos envolvidos.

A equação reduzida da reta é descrita por uma equação do tipo:

$$y = \alpha x + \beta \quad (2)$$

onde, “ α ” é coeficiente angular da reta, “ β ” o coeficiente linear, ambas são as constantes que caracterizam a reta, que também podem ser denominadas por parâmetros da reta, “ y ” é a variável dependente e “ x ” a variável independente. Estes elementos podem ser identificados na FIGURA 8:

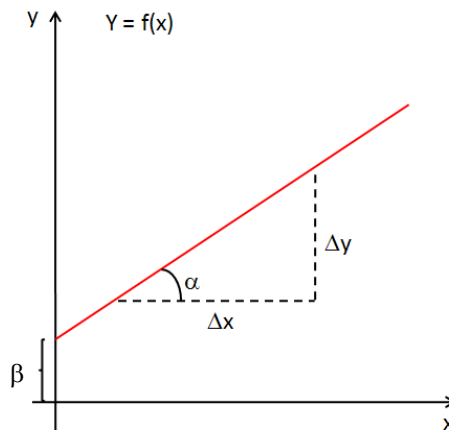


FIGURA 8 - ELEMENTOS DE UM GRÁFICO. FONTE: O autor

O coeficiente angular traduz a inclinação da reta, corresponde ao valor da tangente do ângulo formado entre a reta e o eixo das abscissas e pode ser obtido por:

³ Vide referência: Mazzaro, Kurumoto & Varalda (2009)

$$\alpha = \frac{\Delta y}{\Delta x} \quad (3)$$

Neste trabalho considera-se a velocidade do som como constante após a calibração. A análise é feita considerando que o som se propaga de acordo com o modelo matemático cinemático relativo ao Movimento Retilíneo Uniforme (MRU):

$$S = S_0 + vt \quad (4)$$

Comparando a equação (2) com a equação (4), verifica-se que a correspondência entre as grandezas físicas envolvidas e os parâmetros constantes é:

- $y \rightarrow S$
- $x \rightarrow t$
- $\alpha \rightarrow v$
- $\beta \rightarrow S_0$

Logo, ao se determinar o coeficiente angular da reta representada no gráfico, encontra-se, conseqüentemente, a velocidade do som, e o coeficiente linear corresponde à posição inicial.

O coeficiente linear pode ser determinado por meio da equação da reta que passa por um ponto:

$$y - y_0 = \alpha(x - x_0) \quad (5)$$

Ao se explicitar a variável y , resulta:

$$y = \alpha x - \alpha x_0 + y_0$$

Comparando-se esta última equação com a equação (2), verifica-se que o parâmetro “b” pode ser expresso por:

$$\beta = y_0 - \alpha x_0 \quad (6)$$

3.3 MÉTODO DOS MÍNIMOS QUADRADOS (MMQ)

No método citado no item 3.2, a reta é traçada utilizando um critério de “bom senso”, onde se busca uma reta que melhor se aproxime dos pontos (MAZZARO, KURUMOTO & VARALDA, 2009). Por este método, traçando-se retas diferentes encontram-se valores de α e β também diferentes, em geral muito próximos.

No caso em que for necessário encontrar uma reta que obedeça a critérios estatísticos, para determinar os valores dos coeficientes da mesma, propõe-se o uso do Método dos Mínimos Quadrados, aplicado para uma função polinomial do primeiro grau, o qual é denominado por “Regressão Linear”. Este método pressupõe que a soma dos quadrados dos desvios, em relação à média, seja mínima.

Para a função linear (equação 2), de acordo Mazzaro, Kurumoto e Varalda (2009) os coeficientes linear e angular são determinados por,

$$\alpha = \frac{\sum \delta x \delta y}{\sum \delta x^2} \quad (7)$$

$$\beta = \bar{y} - \alpha \bar{x} \quad (8)$$

Para determinar “x” médio (\bar{x}) e “y” médio (\bar{y}) basta fazer a média aritmética dos valores de “x” e “y” respectivamente, como mostrado na equação (9).

$$\bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + x_3 + \dots + x_n}{n} \quad (9)$$

E para o cálculo dos desvios δx e δy deve-se utilizar a equação (10).

$$\delta x = x_i - \bar{x} \quad (10)$$

Como mostra Campos, Alves e Speziali (2007), também é possível determinar o coeficiente angular por meio da equação (11) e o coeficiente linear com a equação (12).

$$\alpha = \frac{n \sum x_i y_i - \sum x_i \sum y_i}{n \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2} \quad (11)$$

$$\beta = \frac{\sum y_i - \alpha \sum x_i}{n} \quad (12)$$

Para maior aprofundamento é recomendado ver Piacentini, et al. (2013).

Segundo Mazzaro, Kurumoto e Varalda (2009) uma das maneiras de se obter os coeficientes da reta pelo método analítico é feito por meio da seguinte tabela:

TABELA 1 - EXEMPLO DE TABELA PARA UTILIZAÇÃO DO MMQ.

$x ()$	$y ()$	$\delta x_i = x_i - \bar{x}$ ()	$\delta y_i = y_i - \bar{y}$ ()	$\delta x_i \delta y_i ()$	$\delta x_i^2 ()$
---------	---------	-------------------------------------	-------------------------------------	-----------------------------	--------------------

$\bar{x} =$	$\bar{y} =$		$\sum \delta x_i \delta y_i =$	$\sum \delta y_i^2 =$
-------------	-------------	--	--------------------------------	-----------------------

FONTE: Mazzaro, Kurumoto e Varalda (2009)

Com os elementos a serem determinados nesta tabela, aplica-se nas equações 7 e 8, determinando assim os coeficientes angular e linear, os parâmetros, α e β , da função linear que representa o comportamento entre as grandezas em questão.

3.4 MÉTODO PARÂMÉTRICO DE AJUSTAMENTO DE OBSERVAÇÕES

Evidencia-se que este método está sendo apresentado com vistas a aplicação do experimento proposto para ES. A utilização deste método possibilita efetuar as mesmas determinações dos parâmetros, porém, de forma matricial. Segundo Gemael (1994), o ponto mais importante na utilização do método é que ele

permite avaliar a precisão das estimativas sem que as grandezas estimadas sejam, necessariamente, não correlacionadas. Tal análise não é objeto deste TCC e, por isso, não será abordada. Para melhor compreensão deste método recomenda-se também ver Dalmolin (2002).

De acordo com Gemael (1994), neste método, o objetivo é determinar o vetor dos parâmetros ajustados “ X_a ”, a partir de um vetor “ X_0 ”, denominado por vetor dos parâmetros iniciais, escolhido arbitrariamente e que é necessário, no desenrolar do processo matemático, para o cálculo do vetor “ X ” de correção dos parâmetros, de maneira que:

$$\begin{aligned} X_a &= \begin{bmatrix} \alpha_a \\ \beta_a \end{bmatrix} \\ X_0 &= \begin{bmatrix} \alpha_0 \\ \beta_0 \end{bmatrix} \\ X &= \begin{bmatrix} \alpha \\ \beta \end{bmatrix} \end{aligned}$$

Com a escolha do vetor X_0 , determina-se o vetor:

$$L_o = F(X_o) \quad (13)$$

Outro vetor necessário para a aplicação do método é o das observações “ L_b ”, o qual corresponde ao vetor coluna obtido a partir das medidas a serem representadas no eixo das ordenadas:

Conhecidos os vetores “ L_b ” e “ L_o ”, determina-se o vetor “ L ”, dado por:

$$L = L_b - L_o \quad (14)$$

Dentre outras fontes, Dalmolin (2002), apresenta que o método necessita da determinação da matriz “ A ”, correspondente à derivada da função matemática utilizada como modelo na descrição do experimento, em relação aos parâmetros a serem determinados, a qual é expressa por:

$$A = \left. \frac{\partial F}{\partial X_a} \right|_{X_a=X_o} \quad (15)$$

A matriz A é calculada aplicando os valores aproximados dos parâmetros, t_0 nas derivadas parciais do modelo matemático da função linear.

Escrevendo matricialmente, resulta:

$$A = \begin{bmatrix} t_1 & 1 \\ t_2 & 1 \\ \vdots & \vdots \\ t_n & 1 \end{bmatrix} \quad (16)$$

A equação matricial utilizada para o cálculo do vetor de correção dos parâmetros é dada por:

$$X = -(A^T P A)^{-1} A^T P L \quad (17)$$

A matriz “P” corresponde à matriz dos pesos das observações efetuadas nos experimentos. Nos experimentos realizados neste trabalho todas as medidas têm aproximadamente o mesmo grau de confiança, logo a matriz dos pesos foi considerada como matriz identidade:

$$P = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \dots \\ 0 & 1 & 0 \\ \vdots & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Então a equação (17) Pode ser escrita como:

$$X = -(A^T A)^{-1} A^T L \quad (18)$$

Após os devidos cálculos matriciais, obtêm-se o vetor de correção dos parâmetros “X” e, a partir dele e do vetor dos parâmetros iniciais X_0 , determina-se o vetor dos parâmetros ajustados “ X_A ”, por:

$$X_a = X_0 - X \quad (19)$$

4 CONSTRUÇÃO E PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

Foi construído um sistema, descrito na sequência, o qual pode ser utilizado de várias maneiras. Uma destas consiste em manter um obstáculo a uma distância fixa do sensor de ultrassom, pode-se medir a distância e o tempo de propagação da onda sonora. Com a utilização da equação da cinemática que rege o MRU, é possível determinar a velocidade do som.

Outra possibilidade de análise é feita por meio de sucessivas mudanças na posição do obstáculo e são efetuadas as medidas das correspondentes distâncias e do tempo de propagação. Pode-se construir uma tabela com a representação das distâncias no eixo das ordenadas e dos tempos no das abscissas.

O que diferencia o experimento a ser aplicado para o EM do ES, é o tratamento a ser aplicado sobre os dados experimentais obtidos.

4.1 MATERIAIS E EQUIPAMENTOS

A TABELA 2 contém os materiais necessários para a construção do experimento:

TABELA 2 - MATERIAIS UTILIZADOS PARA A CONSTRUÇÃO DO EXPERIMENTO

Quantidade	Componente
1	Arduino Uno
1	Sensor de Ultrassom HC-SR04
1	Buzzer
4	Push Button 6X6X5 mm
1	R1 – Resistor 100 Ω
1	R2 – Resistor 330 Ω
1	R3 – Resistor 620 Ω
1	R4 – Resistor 1 k Ω
1	R5 – Resistor 2 k Ω
	Fios (jumper)
	Madeira e MDF para o suporte e o anteparo
	Fita métrica ou trena
2	Cartolina

FONTE: O autor

Com madeira e o MDF construiu-se o anteparo que funciona como barreira para a onda sonora emitida pelo sensor HC-SR04, para posterior detecção da onda refletida na barreira pelo mesmo sensor, e o suporte para fixar o sensor e o *protoboard*. A FIGURA 9 mostra a barreira e a FIGURA 10, o suporte para os equipamentos, ambos foram pintados com tinta spray de cor preta. O sensor e o *protoboard* foram fixados ao suporte por meio de velcro auto-adesivo.



FIGURA 9 – ANTEPARO DE MDF. FONTE: O autor.

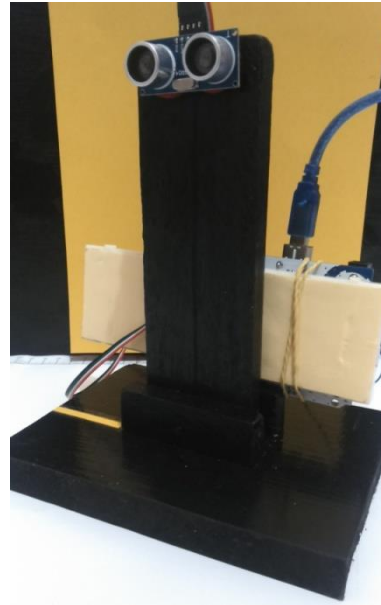


FIGURA 10 – SUPORTE PARA O SENSOR E O PROTOBOARD. FONTE: O autor.

Na FIGURA 10, pode ainda ser observado que há uma marca na base do suporte, a mesma foi feita como referência para facilitar o posicionamento do sensor em relação ao anteparo, para a realização das medidas, tendo em vista que a distância é medida em relação a esta marca.

A montagem do circuito é mostrada pela FIGURA 11, para a elaboração desta imagem foi utilizado o software Fritzing⁴, e como se pode notar, com o mesmo, é possível realizar a construção de imagens bastante interessantes do ponto de vista pedagógico.

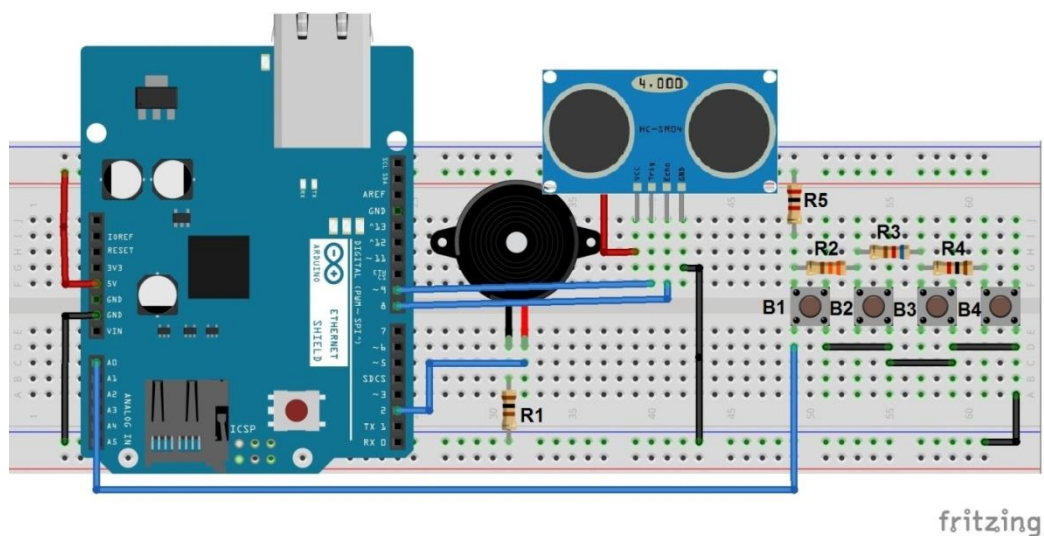


FIGURA 11 – LAYOUT DOS COMPONENTES. FONTE: O autor - Software Fritzing

⁴ <http://fritzing.org/home/>

No sistema foram adicionados botões os quais estão numerados de acordo com funções que foram definidas para o programa computacional desenvolvido para a execução dos experimentos, este pode ser encontrado no ANEXO I.

A FIGURA 12 mostra a montagem física dos componentes realizada no *protoboard* que é utilizado no experimento.

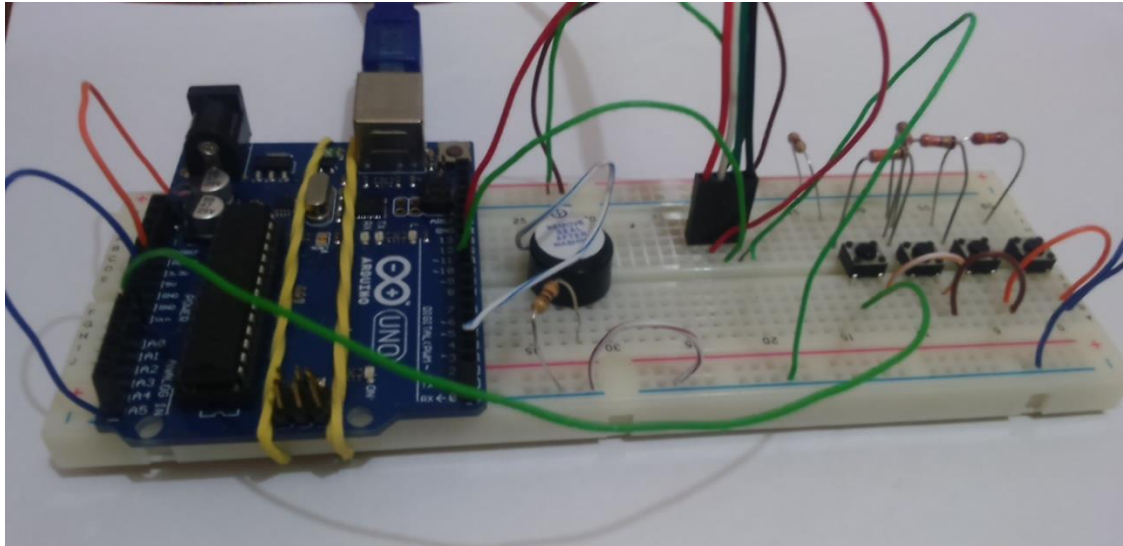


FIGURA 12 – MONTAGEM NO PROTOBOARD. FONTE: O autor

Para facilitar o posicionamento do anteparo foi ser feita uma base de cartolina na qual foi colada uma fita métrica, conforme mostrada na FIGURA 13, de modo que o aluno vá deslizando a barreira sobre ela para ajustar as distâncias. Também foram feitas marcas para o posicionamento do sensor e também para o posicionamento inicial da barreira para a calibração da velocidade do som.



FIGURA 13 – BASE DE CARTOLINA COM A FITA MÉTRICA PARA FACILITAR O POSICIONAMENTO DA BARREIRA, FORAM MARCADAS A POSIÇÃO DO SENSOR E A DISTÂNCIA DE CALIBRAÇÃO. FONTE: O autor

A montagem completa do experimento esta exemplificada na FIGURA 14.



FIGURA 14 – MONTAGEM EXPERIMENTAL. FONTE: O autor

Quando do acionamento do programa, são mostradas na tela de um computador as instruções dos procedimentos relativos às operações que devem ser feitas, em função do botão que for acionado.

4.2 PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

O primeiro passo a ser realizado é a inicialização do monitor serial na IDE do Arduino (ver FIGURA 15), o programa abrirá uma janela na qual serão inicialmente apresentadas as informações sobre o trabalho e logo após as instruções para a realização do experimento e também os dados obtidos.

O experimento é iniciado ao pressionar o botão 1 (B1) (ver FIGURA 11), em seguida o programa pede ao usuário que ajuste a barreira a uma distância de 1 m do sensor para que a velocidade do som seja calibrada e depois pressione o botão 2. Neste momento será feita, pelo sensor, a emissão de 5 pulsos, ou seja, 5 medidas da velocidade do som e em seguida a média aritmética destes valores para melhor precisão do resultado, porém, deve-se observar que o programa não apresentará o valor da velocidade na tela imediatamente, apenas o fará quando o botão 4 (B4) for pressionado, o que deve ser feito apenas após a conclusão da análise para conferência,

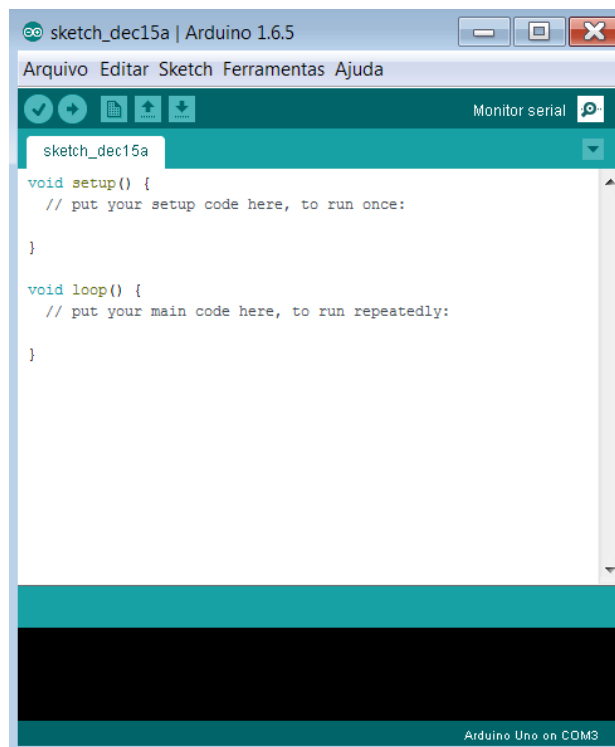


FIGURA 15 - IDE DO ARDUINO, PARA INICIAR O MONITOR SERIAL BASTA CLICAR NO ICONE NO CANTO DIREITO DA TELA. FONTE: Arduino

Após a calibração, o programa exibirá uma mensagem dizendo que já está pronto para realizar as medidas. Na FIGURA 16 pode-se observar o funcionamento do monitor serial e os primeiros comandos realizados.

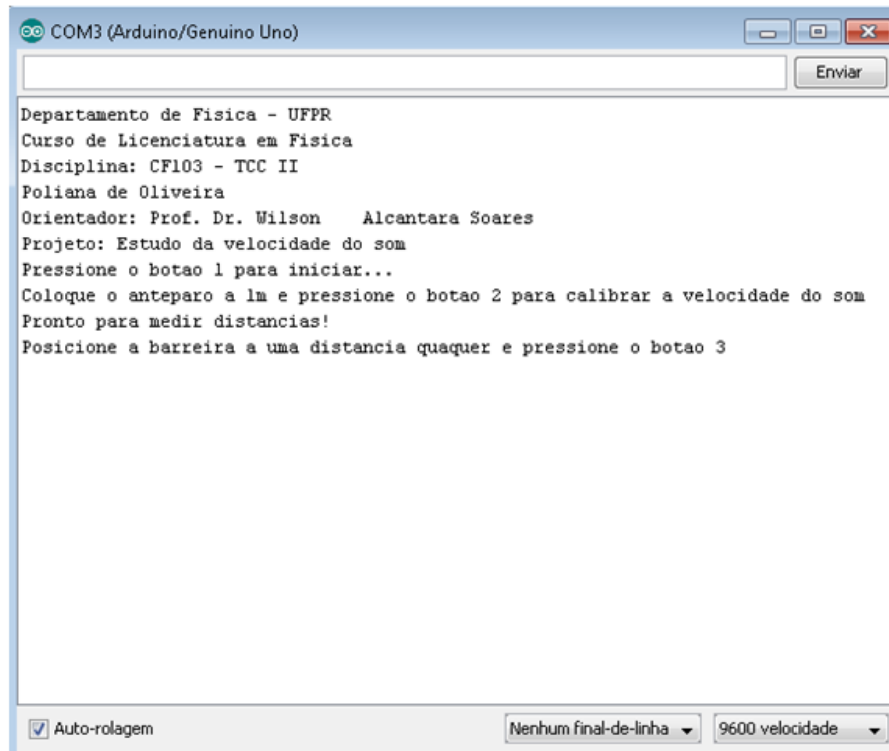


FIGURA 16 – JANELA DO PROGRAMA E OS DOIS PRIMEIROS COMANDOS EXECUTADOS.
FONTE: Software Arduino

Como é possível observar na FIGURA 16, após a calibração basta pressionar o botão 3 (B3) para que o sensor ultrassônico realize a medida da distância desejada. O programa devolverá na tela a distância entre o sensor e a barreira e o tempo (de ida e volta), como mostrado na FIGURA 17. Podem-se realizar quantas medidas forem necessárias apenas reposicionando a barreira e pressionando novamente o botão 3.

Para a proposta deste TCC foi realizada apenas uma medida para cada distância, mas é possível realizar diversas medidas e fazer o cálculo da média dos valores obtidos. Este procedimento é bastante comum no Ensino Superior.

Quando o botão 3 é pressionado também aparece à informação referente ao botão 4, o qual quando pressionado faz com que seja impresso na tela o valor da velocidade do som que foi utilizada. Na FIGURA 18 podemos ver a velocidade obtida no experimento de 351,42 m/s.

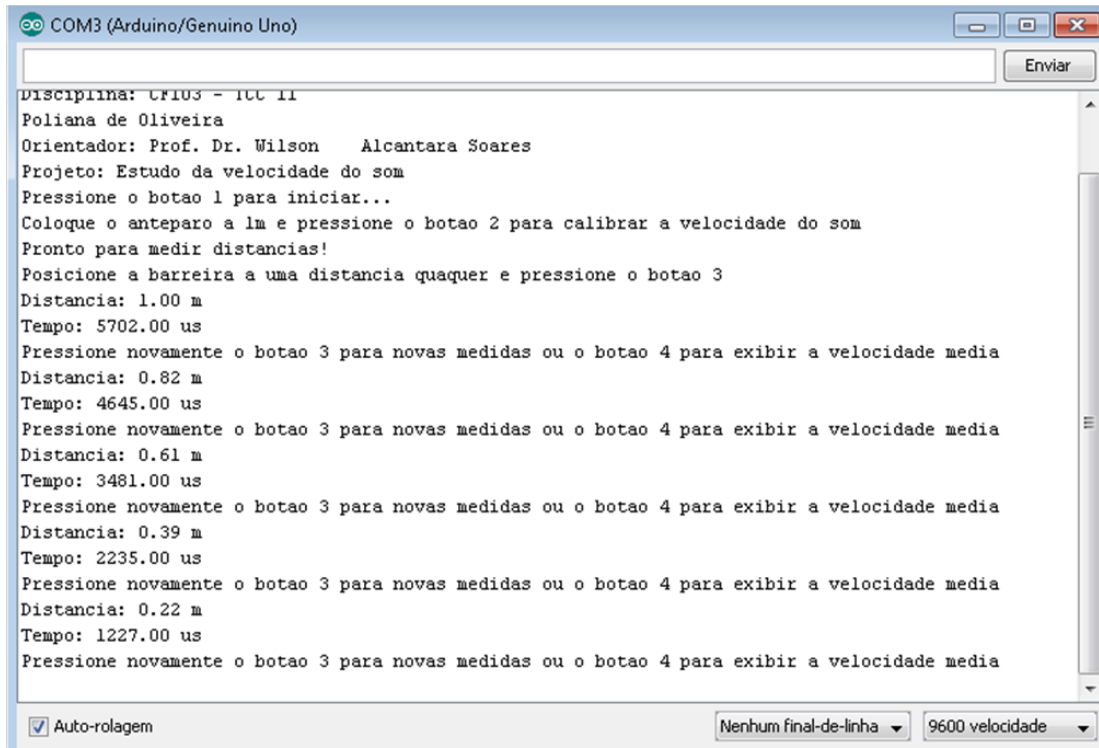


FIGURA 17 – PRESSIONANDO O BOTÃO 3 O ARDUINO REALIZA AS MEDIDAS DE DISTÂNCIA E TEMPO IMPRIMINDO NA TELA PARA O ALUNO. FONTE: Software Arduino

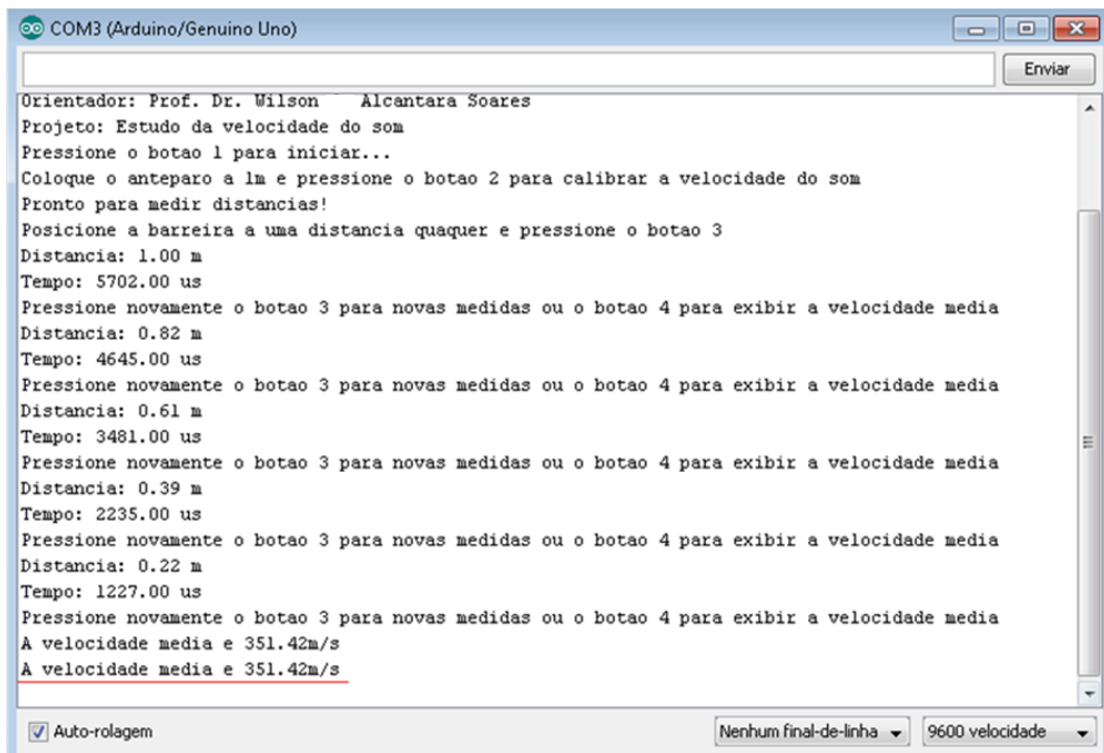


FIGURA 18 – PRESSIONANDO O BOTÃO 4 O PROGRAMA MOSTRA A VELOCIDADE MÉDIA PRÉVIAMENTE CALIBRADA. Fonte: Software Arduino

Após a realização das medidas deve-se então, realizar o processamento e a análise dos dados. Esta deve ser feita de acordo com o nível de escolaridade, a nível médio foi proposta a construção do gráfico em papel milimetrado e a análise dos coeficientes da reta, e para alunos de nível superior a análise pode ser realizada por MMQ e pelo Método Paramétrico.

Podemos perceber que os aparatos experimentais bem como o programa são de fácil manipulação e o experimento pode ser realizado de forma fácil e rápida.

Na próxima sessão serão apresentadas propostas de utilização deste experimento com alunos de ensino médio e também de ensino superior, incluindo o formato de análise dos dados.

5 PROPOSTAS DE EXPERIMENTO

5.1 PROPOSTA DE EXPERIMENTO PARA O ENSINO MÉDIO

Para a realização da prática experimental deve ser feita a divisão dos alunos em grupos, preferencialmente pequenos para que todos possam participar da atividade. O ideal é que se tenha um “*Kit*” para cada grupo, porém, a atividade pode ser realizada de maneira eficiente com apenas um equipamento, pois como mostrado, a coleta de dados é bastante rápida e ela pode ser observada por meio de um sistema de projeção multimídia.

Os dados coletados na sessão anterior, de distância e tempo, foram dispostos na TABELA 3, deve-se notar que os valores de tempo já estão divididos por dois, pois, o tempo fornecido pelo programa corresponde ao de ida e volta do sinal ultrassônico.

TABELA 3 – DADOS COLETADOS DA POSIÇÃO EM FUNÇÃO DO TEMPO

Distância (m)	Tempo (s)
1,00	$2,851 \cdot 10^{-3}$
0,82	$2,3225 \cdot 10^{-3}$
0,61	$1,7405 \cdot 10^{-3}$
0,39	$1,1175 \cdot 10^{-3}$
0,22	$0,6135 \cdot 10^{-3}$

FONTE: Dados experimentais Arduino

Com os dados da TABELA 3 foi construído o gráfico em papel milimetrado mostrado na FIGURA 19.



FIGURA 19 - GRÁFICO DA POSIÇÃO EM FUNÇÃO DO TEMPO. FONTE: O autor

Fazendo o cálculo do coeficiente angular, da equação (3) temos:

$$\alpha = \frac{1 - 0,39}{2,851 \cdot 10^{-3} - 1,1175 \cdot 10^{-3}}$$

$$\alpha = 351,89$$

Pode-se também encontrar o coeficiente linear β , utilizando a equação (6) e isolando-o. Neste cálculo devem-se escolher dois valores de “x” e “y”, ou seja, “d” e “t” para substituir na equação.

$$\beta = 0,61 - 351,89 \cdot 1,7405 \cdot 10^{-3}$$

$$\beta = -0,0025 \text{ m}$$

O valor de β , em teoria, para este caso deveria ser nulo, porém, interpreta-se que devido aos erros inerentes ao ato de medir, é justificado.

De posse dos valores dos coeficientes é possível escrever a equação da reta que descreve o experimento:

$$D = -0,0024 + 351,89 t$$

Após a análise, conclui-se que o valor determinado para a velocidade do som, obtido a partir da análise gráfica é:

$$v = \alpha = 351,89 \frac{m}{s}$$

5.2 PROPOSTA DE EXPERIMENTO PARA O ENSINO SUPERIOR

Para realizar as análises em nível de ES serão utilizados os mesmos dados coletados quando do experimento para o EM. A análise, neste caso, pode ser realizada pela utilização de uma planilha que facilite a determinação dos parâmetros α e β , por meio do uso das equações (7) e (8), pela aplicação do MMQ utilizando a função “Acrescentar Linha de Tendência” disponível em várias planilhas eletrônicas ou utilizando o caso do método matricial denominado por “Método Paramétrico de Ajustamento de Observações”.

5.2.1 Utilizando MMQ por meio de tabela

Deve-se inicialmente transcrever para a TABELA 4 os dados obtidos no experimento (TABELA 3) e em seguida completar com os dados calculados, de acordo como mostrado na TABELA 1, para a realização da análise como descrito no item 3.3.

Após a realização de todos os cálculos da tabela determina-se o valor dos coeficientes, bem como a correspondente equação da reta.

TABELA 4 - DADOS COLETADOS NO EXPERIMENTO E CALCULADOS PRA O MMQ

D (m)	t (s)	$\delta D_i = D_i - \bar{D}$ (m)	$\delta t_i = t_i - \bar{t}$ (s)	$\delta D_i \delta t_i$ (m·s)	δt_i^2 (s ²)
1	$2851 \cdot 10^{-6}$	0,392	$1122 \cdot 10^{-6}$	$4,40 \cdot 10^{-4}$	$1,26 \cdot 10^{-6}$
0,82	$2322,5 \cdot 10^{-6}$	0,212	$593,5 \cdot 10^{-6}$	$1,26 \cdot 10^{-4}$	$3,52 \cdot 10^{-7}$
0,61	$1740,5 \cdot 10^{-6}$	0,002	$11,5 \cdot 10^{-6}$	$2,30 \cdot 10^{-8}$	$1,32 \cdot 10^{-10}$
0,39	$1117,5 \cdot 10^{-6}$	-0,218	$-611,5 \cdot 10^{-6}$	$1,33 \cdot 10^{-4}$	$3,74 \cdot 10^{-7}$
0,22	$613,5 \cdot 10^{-6}$	-0,388	$-1115,5 \cdot 10^{-6}$	$4,33 \cdot 10^{-4}$	$1,24 \cdot 10^{-6}$
$\bar{D} = 0,608$	$\bar{t} = 1729 \cdot 10^{-6}$			$\Sigma = 1,13 \cdot 10^{-3}$	$\Sigma = 3,23 \cdot 10^{-6}$

FONTE: O autor

Utilizando a equação (7) calcula-se o valor de a:

$$\alpha = \frac{1,13 \cdot 10^{-3}}{3,23 \cdot 10^{-6}}$$

$$v = \alpha = 349,85 \frac{m}{s}$$

E fazendo uso da equação (8) encontra-se o valor de b:

$$\beta = 0,608 - 349,85 \cdot 1,729 \cdot 10^{-3}$$

$$\beta = 0,0031 m$$

De posse dos dois valores temos também a equação da melhor reta que pode ser ajustada aos pontos:

$$D = 0,0031 + 349,85 t$$

5.2.2 Utilizando o MMQ por meio de Planilha Eletrônica

Com os dados obtidos na TABELA 3, foi plotado o gráfico utilizando o Excel. Nesta planilha foi aplicada a função “Adicionar Linha de Tendência” para determinar os valores dos parâmetros em questão.

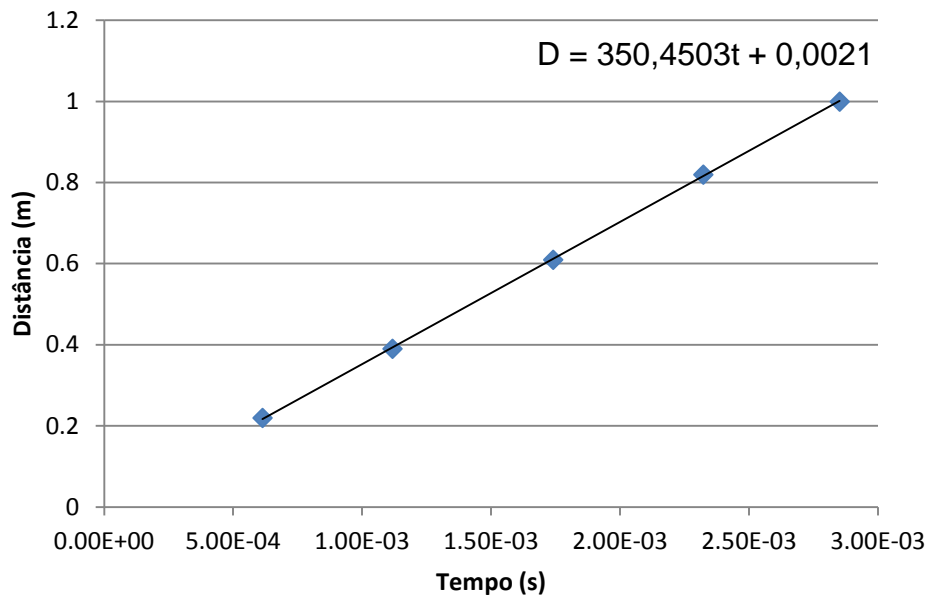


FIGURA 20 - GRÁFICO PLOTADO POR MEIO DE PLANILHA ELETRÔNICA. FONTE: O autor, utilizando Excel.

A equação determinada a partir destes procedimentos foi:

$$D = 0,002 + 350,4 t$$

5.2.3 Utilizando Método Paramétrico de Ajustamento de Observações

Inicialmente é preciso escrever todos os vetores e matrizes. Considerando a matriz dos pesos como unitária pode-se aplicar a equação (18). Todas as operações matriciais foram efetuadas utilizando a planilha eletrônica (Excel), as matrizes devem ser montadas uma a uma realizando as operações em ordem.

1º Passo: Escolher os parâmetros iniciais e determinar o vetor L

$$X_o = \begin{bmatrix} \alpha_o \\ \beta_o \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 2 \\ 4 \end{bmatrix} \text{ parâmetros iniciais}$$

$$L_b = \begin{bmatrix} 1 \\ 0,82 \\ 0,61 \\ 0,39 \\ 0,22 \end{bmatrix} \quad L_o = F(X_o) = \begin{bmatrix} 4,0057 \\ 4,0046 \\ 4,0035 \\ 4,0022 \\ 4,0012 \end{bmatrix} \quad L = L_b - L_o = \begin{bmatrix} -3,01 \\ -3,18 \\ -3,39 \\ -3,61 \\ -3,78 \end{bmatrix}$$

2º Passo: Cálculo da Matriz A e de A^T

$$A = \begin{bmatrix} 2,85 \cdot 10^{-3} & 1 \\ 2,32 \cdot 10^{-3} & 1 \\ 1,74 \cdot 10^{-3} & 1 \\ 1,12 \cdot 10^{-3} & 1 \\ 6,14 \cdot 10^{-3} & 1 \end{bmatrix}$$

$$A^T = \begin{bmatrix} 2,85 \cdot 10^{-3} & 2,32 \cdot 10^{-3} & 1,74 \cdot 10^{-3} & 1,12 \cdot 10^{-3} & 6,14 \cdot 10^{-3} \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

3º Passo: Cálculo de $A^T \cdot A$

$$A^T \cdot A = \begin{bmatrix} 1,818 \cdot 10^{-5} & 0,0086 \\ 0,008645 & 5 \end{bmatrix}$$

4º Passo: Cálculo de $(A^T \cdot A)^{-1}$

$$(A^T \cdot A)^{-1} = \begin{bmatrix} 309642,48 & -535,37 \\ -535,3719 & 1,1257 \end{bmatrix}$$

5º Passo: Cálculo de $A^T \cdot L$

$$A^T \cdot L = \begin{bmatrix} -0,028228403 \\ -16,97729 \end{bmatrix}$$

6º Passo: Encontrar o vetor de correção dos parâmetros X

$$X = \begin{bmatrix} 348,4503 \\ -3,9979 \end{bmatrix}$$

7º Passo: Calcular os valores ajustados X_a

$$X_a = \begin{bmatrix} 350,4503 \\ 0,0021 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \alpha_a \\ \beta_a \end{bmatrix}$$

Assim são determinados os coeficientes:

$$\alpha_a = v = 350,4503 \frac{m}{s}$$

$$\beta_a = 0,0021 m$$

6 CONCLUSÕES

A construção do experimento mostrou-se acessível, tanto no que diz respeito ao custo quanto no que se refere à construção e também por poder ser aplicado para alunos do EM e também do ES. Como ferramenta didática, certamente que o experimento pode contribuir para o aprendizado de alunos, de ambos os segmentos de ensino, bem como para professores que tenham interesse em trabalhar com novas tecnologias.

Devido à pequena variação dos resultados obtidos pelos vários métodos de ajustamento aplicados neste TCC, conclui-se que houve a fidedignidade dos resultados e isto aponta no sentido da pesquisa de Laború (2005), na qual é constatado que a maioria dos professores tem preferência por experimentos em que se tem fácil acesso aos materiais, que são simples e funcionais na sua manipulação, operacionalização, aplicação, preparação, transporte e construção, e que, principalmente, possam ser aplicados no ambiente de sala de aula. Quanto ao Ensino Superior apresenta-se a proposta de uma forma diferenciada para a coleta e análise dos dados que, adicionalmente, foi desenvolvida visando a redução no tempo de coleta e processamento dos dados.

Em ambos os níveis de ensino, o dinamismo deste processo tem grandes chances de provocar a curiosidade e maior interesse por parte estudantes, já que a aula de laboratório tende a tornar-se desafiadora e também possibilita a produção de relatórios muito mais interessantes e produtivos. Mas vale ressaltar que os resultados de uma atividade dependem do planejamento do professor e da disposição dos alunos em sua realização.

O custo total para a construção do experimento foi de aproximadamente R\$ 111,00 (cento e onze reais), porém, este valor torna-se ínfimo se for levado em conta que com a mesma placa Arduino é possível realizar inúmeros experimentos.

Em resumo, pode-se dizer que a utilização do Arduino na construção de experimentos se mostra muito vantajosa por ser de fácil acesso e manipulação bem como versátil para a produção de experimentos diversos. É possível afirmar com toda certeza que o tempo dedicado a realização do projeto foi de grande valia. Como sugestão para trabalhos futuros, poder-se-ia propor um experimento no qual seja

possível a verificação da dependência da velocidade do som com relação à densidade e à temperatura do meio.

A realização deste TCC permitiu um grande aprendizado tanto em relação à utilização do Arduino e a formulação do código, quanto em relação ao método de ajuste dos dados. Infelizmente não foi possível realizar um teste com a aplicação do experimento em sala de aula, mas é o próximo passo para a continuidade do projeto.

Em relação aos resultados obtidos, é possível realizar uma comparação entre os valores obtidos diretamente do Arduino e os valores encontrados para a velocidade do som em cada método de análise, a saber:

- Arduino $\rightarrow v = 351,42 \frac{m}{s}$
- Análise para EM $\rightarrow v = 351,89 \frac{m}{s}$
- Análise utilizando tabela $\rightarrow v = 349,85 \frac{m}{s}$
- Análise utilizando Planilha Eletrônica $\rightarrow v = 350,4503 \frac{m}{s}$
- Análise utilizando Método Paramétrico $\rightarrow v = 350,4503 \frac{m}{s}$

Verifica-se que nos métodos computacionais Planilha eletrônica e Método Paramétrico de Ajustamento de Observações, foram obtidos os mesmos resultados, pois em ambos os casos, os cálculos foram feitos sem arredondamentos. Nos métodos nos quais a análise é feita manualmente percebe-se uma pequena diferença nos resultados, pois não se tem a mesma precisão nos cálculos. Contudo, os resultados foram considerados muito bons, principalmente levando-se em conta o fato de que estes métodos são bastante simples e amplamente utilizados em seus respectivos segmentos de ensino. Eles foram eficientes e são viáveis de serem aplicados em EM e ES.

REFERÊNCIAS

BENTES, L. M. A. Arduino: hardware e software open-source. 2011 Disponível em: <http://www.hardware.com.br/artigos/arduino/> Acesso em: 10/12/15

BRASIL; **Orientações Educacionais Complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais** – PCN+. Ministério da Educação: Brasília, 2002.

BRASIL. Ministério da Educação. Secretaria de Educação Básica. Secretaria de Educação Continuada, Alfabetização, Diversidade e Inclusão. Secretaria de Educação Profissional e Tecnológica. Conselho Nacional da Educação. Câmara Nacional de Educação Básica. **Diretrizes Curriculares Nacionais Gerais da Educação Básica. Brasília, 2013.**

BUILDBOT – Loja virtual. Disponível em: <http://buildbot.com.br/blog/como-utilizar-o-sensor-ultrasonico-hc-sr04/>

CAMPOS, A. A. G., ALVES, E. S., SPEZIALI, N. L. Física experimental básica na universidade. Belo Horizonte. Ed. UFMG, 2007

CAVALCANTE, M. A.; TAVOLARO, C. R. C.; MOLISANI, E. Física com Arduino para iniciantes. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 33, n. 4, 2011.

DALMOLIN, Q. Ajustamento por Mínimos Quadrados. Curitiba, 2002

EVANS, M.; NOBLE, J.; HOCHENBAUM, J. **Arduino em Ação**. São Paulo: Novatec, 2013.

FAHAD et al. Promovendo a robótica educacional para estudantes do ensino médio público do Brasil. In: NUEVAS IDEAS EN INFORMÁTICA EDUCATIVA TISE, 18, p. 739-742, 2013, Porto Alegre.

FILIFELOP – Loja virtual. Disponível em: <http://www.filipeflop.com/>

GAVAND, B. Diagrama esquemático do sensor HC-SR04. Disponível em: <http://www.micro-examples.com>

GEMAEL, C. Introdução ao ajustamento de observações: aplicações geodésicas. Ed. UFPR. P. 117-124, 1994

HECO MECATRÔNICA LTDA. **Guia do Usuário: Arduino Uno**. Catálogo. Disponível em: <http://www.hecomecatronica.com.br/Artigos%20e%20Documentos/Artigos%20Tecnicos/Documentos/01%20arduino%20uno%20-%20guia%20do%20usuario.pdf>; Acesso em: 02/11/15

LABURÚ, C. E. Seleção de Experimentos de Física no Ensino Médio: Uma investigação a partir da fala de professores. **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 10, n.2, p.1-19, 2005.

MAZZARO, I., KURUMOTO, N. K., VARALDA, J. Laboratório de Ensino de Física Básica Experimental I. UFPR. 2009

MONK, S. Programação com Arduino: começando com sketches. Ed. Bookman, Porto Alegre. 2013

MONK, S. 30 projetos com Arduino. 2. ed. Editora Bookman, Porto Alegre. 2014

MONK, S. Programação Com Arduino II: Passos Avançados Com Sketches. Ed. Bookman, Porto Alegre. 2015

OLIVEIRA, C. L. V., ZANETTI, H. A. P. Arduino descomplicado: como elaborar projetos de eletrônica. Editora Érica. 2015

PIACENTINI et al. Introdução ao laboratório de física. 5 ed. Florianópolis. Ed. da UFSC, 2013

Romano, Zoe (Organizador). Site oficial Arduino. Disponível em: <http://www.arduino.cc/>

SÉRÉ, M. G.; COELHO, S. M.; NUNES, A. D. O papel da experimentação no Ensino da Física. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**. v.20, n.1 p. 30-42, 2003.

SOUZA et al. A placa Arduino: uma opção de baixo custo para experiências de Física assistidas pelo PC. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 23, n 1, 2001.

LITERATURA COMPLEMENTAR

AMORIM, G. P. Módulo 7: ajustamento de observações. Curso: Formação Continuada em Georreferenciamento Aplicado ao Cadastro Rural. Espírito Santo, 2005. Disponível em: <ftp://ftp.cefetes.br/cursos/Geomatica/Geraldo/Georreferenciamento/Textos/Geodesia Cartografia.pdf> Acesso em: 15/12/2015

ARAUJO, I. S.; VEIT, E. A.; MOREIRA, M. A. **Uma revisão da literatura sobre estudos relativos a tecnologias computacionais no Ensino de Física**, 2004. Disponível em: http://www.researchgate.net/profile/Eliane_Veit/publication/228567793_Uma_revisao_da_literatura_sobre_estudos_relativos_a_tecnologias_computacionais_no_ensino_de_Fisica/links/549ab0a20cf2fedbc30e1538.pdf

BASCONCELLO FILHO, D. O. **“Curso de Arduino”**. Disponível em: http://www.robotizando.com.br/curso_arduino_o_que_e_arduino_pg1.php. Acessado em: 02/07/2015.

LABURÚ, C. E, SILVA, O. H. M., BARROS, M. A. Laboratório caseiro – para-raios: um experimento simples e de baixo custo para a eletrostática. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**. v.25, n.1 p. 168-182, 2008

ANEXO I

```
int gatilho = 9; // pino TRIG do sensor ultrassônico
int echo = 8; // pino ECHO do sensor ultrassônico
int buzzer = 2;
float tempo; // para armazenar o tempo de ida e volta do sinal em microssegundos
float velocidade; // para armazenar a velocidade calculada
float acumula_vel = 0; //para acumular a velocidade
float vel_media = 0; //para calcular a velocidade media
float distancia; //para calcular a distancia utilizando a velocidade media
int kk = 0; //contador
int botao;

void setup() {
  Serial.begin(9600);
  pinMode(buzzer, OUTPUT);
  pinMode(gatilho, OUTPUT); // configura pino GATILHO como saída
  digitalWrite(gatilho, LOW);
  delayMicroseconds(10); // deixa pino em LOW
  pinMode(echo, INPUT); // configura pino ECHO como entrada
  Serial.println("Departamento de Fisica - UFPR");
  delay(500);
  Serial.println("Curso de Licenciatura em Fisica");
  delay(500);
  Serial.println("Disciplina: CF103 - TCC II");
  delay(500);
  Serial.println("Poliana de Oliveira");
  delay(500);
  Serial.println("Orientador: Prof. Dr. Wilson Alcantara Soares");
  delay(500);
  Serial.println("Projeto: Estudo da velocidade do som");
  delay (1000);
  Serial.println("Pressione o botao 1 para iniciar...");
}
```

```
void loop()
{
  //int botao;
  botao = analogRead (0); //Leitura do valor da porta analógica A0

  if (botao < 100) {// botao 1
    Serial.println("Coloque o anteparo a 1m e pressione o botao 2 para calibrar a
velocidade do som");
    delay(500);
  }
  else if (botao < 200) {// botao 2
    calc_vel_media();
    Serial.println("Pronto para medir distancias!");
    Serial.println("Posicione a barreira a uma distancia qualquer e pressione o botão
3");
    delay(500);
  }
  else if (botao < 400) {// botao 3
    calc_distancia();
    //soma = soma + distancia;
    //kk++;
  }
  else if (botao < 600) {// botao 4

    // mostrar a velocidade media;
    Serial.print("A velocidade media e ");
    Serial.print(vel_media);
    Serial.println("m/s");
    delay(500);
  }
}
```

```

void calc_vel_media() //funcao mede 5 valores para a velocidade e calcula a
velocidade media
{
  do
  {
    digitalWrite(gatilho, HIGH); // disparar pulso ultrassônico
    delay(10);
    digitalWrite(gatilho, LOW);
    tempo = pulseIn(echo, HIGH); // medir tempo de ida e volta do pulso ultrassônico
    velocidade = 2 / (tempo / 1000000);
    acumula_vel = acumula_vel + velocidade; //soma todas as velocidades calculadas
    kk = kk + 1;
  } while (kk < 5);
  vel_media = acumula_vel / 5; //calculo da velocidade média
  kk = 0;
}

```

```

void calc_distancia() //funcao calcula a distancia utilizando a velocidade media ja
calibrada
{
  digitalWrite(buzzer, HIGH);
  delay(300);
  digitalWrite(buzzer, LOW);
  digitalWrite(gatilho, HIGH);
  delay(10);
  digitalWrite(gatilho, LOW);
  tempo = pulseIn(echo, HIGH);
  distancia = (vel_media * tempo / 2000000);
  Serial.print("Distancia: ");
  Serial.print(distancia);
  Serial.println(" m");
  delay(100);
  Serial.print("Tempo: ");
  Serial.print(tempo);
}

```

```
Serial.println(" us");  
delay(1000);  
Serial.println("Pressione novamente o botao 3 para novas medidas ou o botao 4  
para exibir a velocidade media");  
}
```