ARDUINO E SMARTPHHONE
um kit didático para o ensino do efeito Doppler

Valdeci Teles
Edson Carvalho

Produto Educacional

Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física

Sobre os autores

Valdeci Teles possui graduação em Física Licenciatura pela Universidade Estadual do Maranhão (UEMA), Especialização em Ensino de Matemática e Física e Mestrando em Ensino de Física pela Universidade Federal do Maranhão (UFMA). Atualmente é professor da rede estadual - Secretaria de Estado de Educação do Estado do Maranhão (SEDUC-MA) e realiza pesquisas em tecnologias aplicadas à sala de aula.

Edson Carvalho possui graduação em Física Licenciatura pela Universidade Federal do Maranhão (UFMA) e em Engenharia Industrial Elétrica pelo Centro Federal Tecnológico do Maranhão atual Instituto Federal do Maranhão (IFMA), mestrado em Física da Matéria Condensada pela UFMA e doutorado em Física Atômica e Molecular pelo Instituto Tecnológico de Aeronáutica (ITA). Atualmente é professor permanente do Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física em Rede Nacional da UFMA e coordenador do Curso de Licenciatura em Física na modalidade a distância da UFMA.

© Valdeci Teles e Edson Carvalho – 2021.

O material apresentado neste documento pode ser reproduzido livremente desde que citada a fonte. As imagens apresentadas são de propriedade dos respectivos autores e utilizadas para fins didáticos. Por favor, contate os autores caso constate que houve violação de seus direitos autorais. Este documento é veiculado gratuitamente, sem nenhum tipo de retorno comercial a nenhum dos autores, e visa apenas a divulgação do conhecimento científico.

Apresentação

O produto educacional desenvolvido neste trabalho oferece uma proposta experimental associada a uma sequência didática especialmente projetada para contribuir com o ensino do efeito Doppler no ensino básico. Esta proposta surgiu para superar certas dificuldades encontradas pela carência de laboratórios de ensino didático e foi realizada em colaboração com duas turmas do 3º ano de uma escola da rede de ensino do Estado do Maranhão.

O aparato experimental consiste em dois carros robôs controlados por uma plataforma Arduino conectada a uma bateria, sensores e atuadores. As informações sobre o movimento das ondas sonoras são transmitidas a um aplicativo instalado em um smartphone ou tablet que gera gráficos a partir dos sensores presentes nesses dispositivos que além de validar o fenômeno favorece a relação ensino – aprendizagem.

Sumário

1 INTRODUÇÃO 5
2 O QUE É O EFEITO DOPPLER? 7
2.1 Equação do efeito Doppler para um detector em movimento e a fonte parada 9
2.1.1 Equação do efeito Doppler para um detector em movimento e a fonte em movimento 11
2.1.2 Equação geral do efeito Doppler 11
3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA DA PRÁTICA DOCENTE: o construcionismo de Papert 13
4 A PROPOSTA DIDÁTICA 14
4.1 Carro robô controlado por Arduino 14
4.2 A sequência didática 16
4.2.1 Aplicação do produto educacional 17
Referências 24
QUESTIONÁRIO 1: conhecimento prévio 25
QUESTIONÁRIO 2: validação da sequência didática 26

1 INTRODUÇÃO

O objetivo de explicar a natureza e as transformações que ocorrem quer sejam promovidas pelo homem ou por causas naturais perpassa pela compreensão dos conceitos teóricos e desenvolvimento da capacidade de associar esses conceitos com modelos matemáticos, mais precisamente com eventos presentes no seu cotidiano. Porém, quando relacionamos tal prática de transposição de conceitos com a sala de aula verificamos que há problemas que dificultam a aprendizagem dos alunos e os deixam paralisados. Vejamos, por exemplo, o que ocorre quando temos ondas sonoras propagando-se em um meio e se movimentando em relação a um observador, o desafio se torna ainda maior, pois se trata de um fenômeno que não podemos ver, mas apenas ouvir e dependendo de cada situação específica, ouvir sons diferentes originados por uma mesma fonte sonora.

Ao fazermos uma reflexão sobre esse problema, pensamos numa proposta que visa dar ao estudante a possibilidade de perceber por meio de gráficos e outros fatores o que acontece com uma onda sonora ou mesmo várias ondas sonoras ao se movimentarem em relação a um observador ou em relação a elas mesmas. Mais especificamente, fizemos uso de um aplicativo desenvolvido para ser um laboratório virtual denominado PhyPhox, que juntamente com um carro robô controlado via bluetooth possibilita realizar investigações experimentais de forma bem didática sobre o fenômeno do efeito Doppler. Esse carrinho robô foi construído sobre a plataforma de uma placa arduino programada para permitir a instalação de vários sensores que vão interagir com o aplicativo PhyPhox reproduzindo, assim, na tela de um smartphone os gráficos relacionados aos eventos que desejamos estudar. Um detalhe sobre essa interação é que os gráficos são gerados enquanto simulamos possíveis situações de análise, tais como o de posicionar o smartphone sobre o carrinho enquanto ele se afasta de uma fonte sonora ou quando uma fonte sonora sobre o carrinho se afasta de um smartphone em uma posição fixa.

Nossa proposta aqui é ensinar o efeito Doppler através de tecnologias de informação a partir da análise, por meio de gráficos, da frequência Doppler emitida por uma fonte sonora senoidal a uma frequência fixa que é capturada pelo aplicativo. Nesta proposta, todas as etapas de observação do experimento foram realizadas pelos alunos tendo o professor como intermediador e culminou na criação de uma **Sequência Didática** (SE). Esta SE foi planejada a partir das ideias construcionistas de Seymour Papert, que foi um dos primeiros a reconhecer

o papel transformador da tecnologia na sociedade, capaz de influenciar o modo como as pessoas pensam, trabalham e aprendem. Tal prática pedagógica inicia com a aplicação de um questionário sobre ondas sonoras tendo como enfoque situações mais gerais do cotidiano que evidenciasse o efeito Doppler. Pois nesse momento, o objetivo é fazer uma análise prévia de como os alunos interpretavam esses fenômenos para direcionar a aplicação da SE. Para um segundo momento, ajustamos duas aulas sobre o efeito Doppler, em que no final fosse aplicado um questionário com enfoque em situações mais específicas para saber o que os alunos entenderam do conteúdo exposto. Nas aulas seguintes é apresentado aos estudantes o experimento do kit robótico e um novo questionário para acompanhar a evolução da aprendizagem.

2 O QUE É O EFEITO DOPPLER?

Você já parou para analisar o comportamento do som produzido por uma sirene de ambulância, por exemplo, ao se afastar ou se aproximar de nós? Esse é um fenômeno bastante curioso que nos leva, mesmo que instintivamente, a prever aproximadamente a distância que a fonte sonora se encontra do observador, ou seja, de você. Considere as seguintes situações: Se você estiver em repouso em relação à sirene, ouvirá o som da sirene com a mesma frequência, por outro lado, se você estiver se aproximando da sirene, ouvirá o som com uma frequência mais alta e se estiver se afastando dela, ouvirá o som com uma frequência mais baixa. Essas variações de frequência relacionadas ao movimento ou repouso são conhecidas como **efeito Doppler**, proposto inicialmente por Johann Christian Doppler em 1842 e estudado experimentalmente em 1845 por Buys Ballot, usando uma locomotiva que puxava vários trompetistas.

Já nesse período, Doppler (1803-53) previu um efeito que se aplica a qualquer fenômeno ondulatório, fenômeno que posteriormente seria muito aplicado e se tornaria fundamental por sua aplicação tecnológica em diversos campos da ciência. Baseado no fato de que haveria uma alteração na frequência de uma onda caso houvesse movimento relativo entre a fonte e observador, Doppler propôs que a diferença de cor observada nas estrelas duplas, era resultado dos seus movimentos em relação à terra, enquanto uma estava se aproximando a outra estaria se afastando do nosso planeta. Posteriormente, com o avanço da ciência e com uso de equipamentos mais precisos, essa proposta se mostrou incorreta para a explicação das cores e para as velocidades das estrelas sendo que naquela época ainda não eram conhecidas a existência da radiação luminosa além do espectro visível que só foi observado no início do século XIX. Mas com relação a previsão de que a frequência percebida pelo observador aumenta quando este se aproxima da fonte e diminui quando se afasta da fonte estava correta e por isso esse fenômeno ficou conhecido como efeito Doppler.

Em 1845 o efeito Doppler foi verificado pela primeira vez quando o holandês Christophorus Henrcus Diedericus Buys Ballot (1817 – 1890) desenvolveu um experimento com ondas sonoras em que um músico tocava uma nota musical em um trem em movimento, enquanto dois conjuntos de músicos posicionados ao lado dos trilhos identificavam a nota que ouviam enquanto o trem se afastava de um grupo e se aproximava do outro grupo de músicos. Já em relação à luz, a confirmação do efeito Doppler veio com a espectroscopia aplicada a

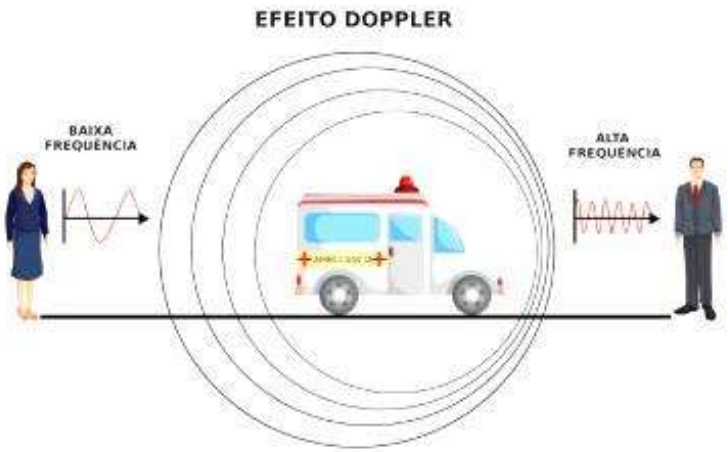
astronomia em 1872, quando o astrofísico Hermann Carl Vogel (1841 – 1907) determinou a velocidade de rotação do Sol por meio do efeito Doppler.

No início do século XX o desvio Doppler foi muito útil para aumentar nossa compreensão do universo proporcionando mudanças significativas nos modelos até então aceitos. Nessa época Edwin Powell Hublle (1889 – 1953) mostrou que o universo abrigava outras galáxias e que estavam se afastando com velocidades cada vez maiores à medida que se distanciam. Essas conclusões foram possíveis quando analisado os espectros de luz das galáxias e o desvio para o vermelho desses espetros, o que estava em harmonia com as previsões de Doppler e Fizeau para corpos celestes que se afastam do observador. A aplicação do efeito Doppler na astronomia tem relevância até os dias de hoje, pois continua sendo usada para lançar luz sobre o universo e ampliar as fronteiras do conhecimento sobre o universo proporcionando novas descobertas.

Bastaria o impacto do efeito Doppler sobre nossa concepção do universo para consagrar sua importância, mas ele possui ainda inúmeras outras aplicações importantes e muito utilizadas na sociedade tecnológica em que vivemos. Mas a aplicação do efeito Doppler não ficou restrito só para a luz e muito menos somente para entender o universo, na década de 1930 foram desenvolvidos os radares que ondas de rádio para determinação de velocidades empregada inicialmente em uso militar, mas que hoje é muito utilizado em uso civil. Durante a primeira guerra mundial foi desenvolvido o sonar para detectar submarinos, utilizando o ultrassom.

O entendimento do efeito Doppler é simples e pode ser observado em vários fenômenos do nosso cotidiano. É observado nas ondas sonoras e nas ondas eletromagnéticas como nas ondas de rádio, nas micro-ondas e na luz visível. No momento, porém, vamos nos concentrar nas ondas sonoras e usar como referencial a massa de ar onde essas ondas se propagam, ou seja, a velocidade da fonte de ondas sonoras S e do detector D dessas ondas em relação ao ar. Num primeiro momento considere que a fonte S e o detector D se aproximem ou se afastem um do outro em linha reta, com velocidades menores do que a velocidade do som (Figura 1).

Figura 1 – Propagação de onda de uma fonte móvel.



Fonte: www.infoescola.com

Se o detector ou a fonte está se movendo, ou se as duas estão se movendo, a frequência emitida f e a frequência detectada f' são relacionadas a partir da expressão:

$$f' = -f\frac{v \pm v_D}{v \pm v_S}, \tag{1}$$

em que v é a velocidade do som no ar, v_D é a velocidade do detector em relação ao ar, e v_S é a velocidade da fonte em relação ao ar .

Para escolher o sinal positivo ou negativo devemos obedecer a seguinte regra geral: quando o movimento tende a aproximar o detector da fonte, o sinal da velocidade deve ser aquele que resulte num aumento de frequência, se o movimento tende a afastar o detector da fonte, o sinal da velocidade deve resultar numa diminuição de frequência.

2.1 Equação do efeito Doppler para um detector em movimento e a fonte parada

Quando o detector estiver se movendo em relação ao ar e a fonte estiver parada em relação ao ar, o movimento altera a frequência com a qual o detector intercepta as frentes de onda e, consequentemente a frequência da onda detectada.

Para entender o que acontece, considere o detector em repouso por um instante. Nesse caso, no intervalo de tempo t as frentes de onda percorrem uma distância vt. O número de

comprimentos de onda nessa distância é o número de comprimento de onda interceptado por D no intervalo de tempo t. Esse número de comprimento de onda é vt/λ e a frequência detectada por D é:

$$f = \frac{\frac{vt}{\lambda}}{t}, \tag{2}$$

que simplificando torna-se

$$f = \frac{v}{\lambda}. \tag{3}$$

Podemos concluir a partir da Eq. (3) que quando o detector e a fonte sonora estão em repouso um em relação ao outro, não existe o efeito Doppler, pois a frequência detectada é a mesma emitida pela fonte.

Consideremos agora o detector em movimento relativo à fonte sonora no sentido oposto a velocidades das frentes de ondas. Como antes as frentes de ondas percorrem uma distância vt, porém, o detector percorre uma distância v_{Dt} de encontro as frentes de ondas. Então, nesse intervalo de tempo t as frentes de ondas percorrem um espaço em relação ao detector igual a $(vt + v_D t)$, e o número de frentes de ondas nessa distância relativa é dado pelo número de comprimentos de ondas interceptado pelo detector nesse intervalo de tempo $(vt + v_D t)/\lambda$. A taxa de interceptação de comprimentos de ondas nessa situação é a frequência f' definida pela equação:

$$f' = \frac{\frac{[(v + v_D)t]}{\lambda}}{t} = \frac{v + v_D}{\lambda}. \tag{4}$$

Considerando que $\lambda = v/f$, temos uma nova equação para a frequência no detector de ondas dada por

$$f' = \frac{(v + v_D)}{\frac{v}{f}} = f\left(\frac{v + v_D}{v}\right). \tag{5}$$

Por essa última equação percebemos que $f' > f$, se v_D for diferente de zero, ou seja, se o detector estiver em movimento.

Se considerarmos o detector se afastando da fonte, as frentes de onda movem-se uma distância $v_t - v_D$ em relação a D num intervalo de tempo t, nesse caso a frequência é dada por:

$$f' = f\left(\frac{v + v_D}{v}\right), \quad f' < f \tag{6}$$

Podemos concluir de modo geral que quando um detector está em movimento em relação a uma fonte sonora, a frequência é dada por:

$$f' = f\left(\frac{v + v_D}{v}\right). \tag{7}$$

2.1.1 Equação do efeito Doppler para um detector em movimento e a fonte em movimento

Agora vamos considerar o detector D parado em relação à massa de ar e a fonte S está se movendo em direção a D com velocidade v_s. Esse deslocamento da fonte altera o comprimento de onda das ondas sonora que estão chegando no detector alterando sua frequência.

Tomemos como $T(= 1/f)$ o intervalo de tempo entre a emissão de um par de frentes de onda sucessivas, O_1 e O_2. Nesse intervalo de tempo, a frente de onda O_1 percorre uma distância vT e a fonte percorre uma distância v_sT. No fim desse intervalo de tempo T, a frente de onda O_2 é emitida. No sentido para onde s está se movendo, a distância entre O_1 e O_2 é dada pela diferença $vT - v_sT$. Esse é o comprimento de onda λ' das ondas que se propagam nessa direção. A frequência f' detectada dessas ondas é dada por

$$f' = \frac{v}{\lambda'} = \frac{v}{v - v_s}T = \frac{v}{\frac{v}{f} - \frac{v_s}{f}} \tag{8}$$

$$f' = f\left(\frac{v}{v - v_s}\right). \tag{9}$$

Por essa equação vemos que $f' > f$ se $v_s \neq 0$.

De forma análoga ao que fizemos no item anterior, do lado oposto ao movimento, o comprimento de onda λ' das ondas é $vT + v_sT$. Então a frequência de detecção é:

$$f' = f\left(\frac{v}{v+v_s}\right);\ f' < f \text{ se } v_s \neq 0. \tag{10}$$

Resumindo, a frequência detectada de uma frente de onda para uma fonte em movimento e um detector em repouso, é dada por

$$f' = f\left(\frac{v}{v \pm v_s}\right). \tag{11}$$

2.1.2 Equação geral do efeito Doppler

Chegamos, portanto a conclusão de que a equação geral do efeito Doppler é

$$f' = f\,\frac{v \pm v_D}{v \pm v_S}. \tag{12}$$

Esta relação se aplica tanto quando a fonte e o detector estão em movimento simultaneamente como também quando um deles se encontra em repouso conforme os passos demonstrados.

De acordo com a revista brasileira do ensino de física (vol 38, nº 3, e3504, 2016), a compreensão do efeito Doppler nos permite entender uma série de tecnologias que fazem parte do mundo moderno. Por esse motivo ele é assunto discutido em livros didáticos de ensino médio e superior. Abordá-lo experimentalmente pode, no mínimo, colaborar para um entendimento mais abrangente do fenômeno por parte do aluno. Em função da carência de laboratórios bem equipados em nossas escolas, propomos uma atividade que pode ser realizada com equipamentos que fazem parte do cotidiano dos alunos tais como tablets e smartphones. Acreditamos que a proposta aborda o efeito Doppler de forma bem interessante, capaz de envolver o aluno no processo ensino-aprendizagem de forma mais dinâmica e significativa.

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA DA PRÁTICA DOCENTE: o construcionismo de Papert

Conhecido como o visionário do uso dos computadores em salas de aula, Seymour Papert foi aluno de Piaget e se valeu do conhecimento que tinha em teorias da aprendizagem para ensinar alguns conteúdos de matemática, disciplina da qual era professor. O título de visionário por idealizar o uso dos computadores em salas de aula ele recebeu ainda na década de 70 ao publicar em 1980 a obra *"Mindstorms: childen, computers, and powerful ideas"*, traduzido para português como "LOGO: computadores e educação". Nesse período o computador era um artigo de luxo para poucos existido no mundo todo cerca de 200 mil unidades.

Papert foi um dos primeiros a reconhecer o papel transformador da tecnologia na sociedade, capaz de influenciar o modo como as pessoas pensam, trabalham e aprendem. O que era visão para Papert hoje é realidade para nós.

Para elaborar sua concepção do construcionismo, Papert estudou a fundo as teorias construtivistas de Jean Piaget e Vygotsky, mas acabou se distanciando da psicologia do desenvolvimento tornando o construcionismo como uma "reconstrução do construtivismo". Para ele o conhecimento deve ser construído pelo mestre e o aluno agindo juntos para um fim comum.

> [...] a educação tradicional codifica o que pensa que os cidadãos precisam saber e parte para alimentar as crianças com esse "peixe". O construcionismo é construído sobre a suposição de que as crianças farão melhor descobrindo "pescando" por si mesmas o conhecimento específico de que precisam: a educação organizada ou informal poderá se certificar-se de que elas estarão sendo apoiadas moral, psicológicas, material e intelectualmente em seus esforços. O tipo de conhecimento que as crianças precisam é o que as ajudará a obter mais conhecimento (PAPERT, 2008, p.135).

Ainda segundo Papert (2008), além de conhecimento sobre "pescar", precisa-se de bons instrumentos de pesca e dentre esses instrumentos de construção do conhecimento ele sugere o uso de computador como uma ferramenta ou recurso a ser utilizado pelo aluno para realizar alguma coisa como construir constructos utilizando blocos de lego ou formas geométricas do ambiente logo.

4 A PROPOSTA DIDÁTICA

O produto educacional desenvolvido neste trabalho oferece uma proposta experimental associada a uma sequência didática especialmente projetada para contribuir com o ensino do efeito Doppler no ensino básico. Tal proposta surgiu para superar certas dificuldades encontradas pela carência de laboratórios de ensino didático e foi realizada em colaboração com duas turmas do 3º ano de uma escola da rede de ensino do Estado do Maranhão.

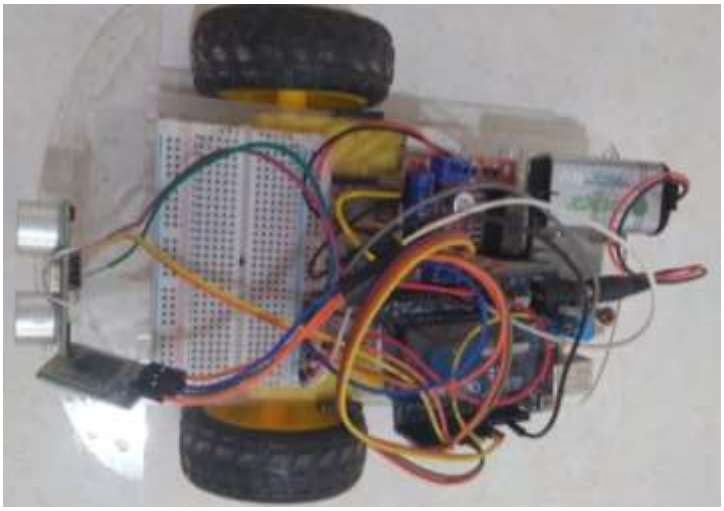
O aparato experimental consiste em dois carros robôs controlados por uma plataforma arduino conectada a uma bateria, sensores e atuadores. As informações sobre o movimento das ondas sonoras são transmitidas a um aplicativo e são geradas por meio de gráficos que além de validar o fenômeno favorece a relação ensino – aprendizagem.

4.1 Carro robô controlado por Arduino

O carro robô utilizado nesta proposta didática foi montado a partir de um kit composto por uma placa de Arduino UNO, um drive ponte H, dois motores e sensores de linha e ultrassônico, montados sobre uma placa de acrílico que funciona como o chassi do carrinho. Apesar de existirem carrinhos prontos que se movimentam de forma autônoma, nossa ideia foi tornar nossa prática colaborativa em sala de aula e poder futuramente integrar a esse robô outras funcionalidades.

Ao Arduino foi carregado um código de programação, anexo I, que enviará os comandos para os demais componentes, a ponte H será responsável pela conexão entre os motores e o Arduino, sendo todo o sistema alimentado por uma bateria de 9 V. Os sensores foram utilizados para determinar a movimentação do carrinho em circuitos previamente determinados possuindo a partir daí certa autonomia no seu movimento dentro de determinado circuito. Como opção adotamos também a possibilidade de controle remoto por celular com o aplicativo Bluetooth RC Controller. A Figura 2 mostra o carro robô montado, cuja proposta de uso é contribuir de forma lúdica para o processo de ensino e aprendizagem do efeito Doppler no ensino básico, que associado ao aplicativo Phyphox possibilitará analisar através de gráficos gerados, em tempo real, a variação da frequência gerada pelo movimento relativo de uma fonte e o observador.

Figura 2 - Carro robô



Fonte: própria

Para a investigação dos fenômenos ligados ao efeito Doppler, o carrinho foi equipado com sensores que lhe permitem seguir linhas e desviar de obstáculos conectados ao Arduino UNO. Como tínhamos a intensão de tornar o seu movimento autônomo, desenvolvemos um aplicativo para celular que permite controlar via bluetooth a velocidade e aceleração do carro em curtas distâncias. Durante o movimento é fundamental manter a velocidade constante, por isso o código gravado no Arduino deve permitir a leitura dos impulsos enviados pelos sensores de linha, o Arduino então envia esses impulsos para a ponte H que será responsável pela regulação do funcionamento dos motores. Uma fonte sonora será fixada no carrinho ou posicionada às margens da trajetória cuja sua função será enviar ondas sonoras para o aplicativo Phyphox instalado previamente nos celulares dos observadores. À medida que a fonte sonora se aproxima ou se afasta dos observadores, o aplicativo ao detectar os deslocamentos de frequência da onda sonora, descreverá em forma de gráficos o efeito Doppler.

4.2 A sequência didática

A fim de estudar o efeito Doppler de forma sistematizada, detalhamos esse fenômeno de forma integrada a atividade experimental tendo como suporte o aplicativo Phyphox para sua constatação, que pode ser captado pelo ouvido humano, mas não entendido imediatamente como ele acontece. Ressaltamos que esse trabalho foi planejado para ser aplicado conforme a realidade geral das escolas brasileiras. Porém, como sua aplicação foi possível somente durante a pandemia da COVID-19, ele teve que ser adaptado para ser aplicado de forma remota, mas não perdendo seu objetivo original.

A sequência didática proposta foi desenvolvida para ser aplicada em quatro momentos, sendo que nos três primeiros foram encontros para trabalhar o conteúdo programático já definidos no cronograma da escola e de forma tradicional, integrado a rotina da escola, na qual fez uso de instrumentos já conhecidos como o quadro branco, o livro didático e outros meios tradicionais. No momento da aplicação dessa sequência didática as escolas estavam funcionando de forma remota, por isso fez-se uso de ferramentas de interação a distância como uma plataforma de vídeo conferência como a sala de aula, mesa digitalizadora como substituição ao quadro branco e alguns aplicativos que permitem o compartilhamento da câmera do celular com o computador. O quarto momento foi dividido em duas partes. Na primeira parte apresentamos os principais conceitos que versam sobre o efeito Doppler através de uma aula expositiva, considerando os pressupostos teóricos tradicionais. Na segunda parte esses conceitos foram trabalhados através da proposta do uso da robótica educacional. Aqui destacamos que o ideal seria que o aluno possa ter a liberdade de manusear o experimento, pois ele precisa utilizar a tecnologia exploratória da testagem da unidade e depois de integração para a montagem e programação do Arduino. Essa etapa é importante para verificar o funcionamento de cada componente do carrinho e de forma conjunta.

A compreensão do efeito Doppler é muito importante pois é um fenômeno que está presente no nosso cotidiano, é aplicado em diversas áreas da vida, inclusive na medicina, mas é pouco comentado pois ainda não é entendido, em grande parte por não ser um fenômeno palpável, visível a olho nu, apesar de ser percebido pelo ouvido humano. Apesar de sua importância, o conteúdo do efeito Doppler quando muito, ocupa uma página nos livros didáticos de ensino médio e fazendo parte dos conteúdos finais, não raro passando desapercebido por muitos professores que não dispõe de tempo dentro do ano letivo para

trabalhar esse conteúdo, ou quando muito, se trabalha de forma superficial sem a discussão que o tema merece.

Com base em tudo que foi exposto, apresentaremos agora os detalhes dessa sequência didática que tem como foco o ensino do efeito Doppler por meio de ferramentas digitais, cujo referencial teórico metodológico está baseado no construtivismo de Seymour Papert, isto é, na possibilidade do aluno interagir diretamente com o seu objeto de estudo através da utilização da tecnologia na sala de aula.

4.2.1 Aplicação do produto educacional

As aulas foram planejadas para serem aplicadas de forma remota, tendo como ponto de partida o que os alunos já conheciam sobre o tema abordado. A justifica pela escolha do formato remoto das aulas, deu-se por imposição da Rede Estadual de Ensino em decorrência das medidas de combate e controle da pandemia da COVID-19. Análise dos conhecimentos prévios dos alunos foram obtidos a partir da aplicação de um questionário, elaborado com perguntas que se relacionam com fenômenos do dia a dia dos alunos e ressaltando alguns conceitos científicos sobre ondas e o efeito Doppler.

A sequência didática foi pensada para ser aplicada em quatro encontros, sendo cada encontro correspondendo a uma aula de 50 minutos. As aulas foram transmitidas de forma síncrona através de uma plataforma de vídeo conferência indicada pela direção da escola. Utilizamos o aplicativo Phyphox e um carrinho robô desenvolvido para essa finalidade como estratégia didática lúdica para o ensino e aprendizagem.

O referencial teórico metodológico envolvido na aplicação dessa sequência didática foi baseado na teoria construtivista de Piaget (PIAGET, 1952) e na teoria construcionista de Papert (PAPERT, 1994)

A avaliação dos alunos se deu por análise de sua participação na aula quer seja verbal ou escrita por meio do chat da plataforma de vídeo conferência. Foi feito a gravação das aulas para que se pudesse revisitar posteriormente cada momento dos encontros. Faz-se necessário essa revisão das aulas para que o professor possa diagnosticar o desenvolvimento da aprendizagem dos estudantes, além da possibilidade do professor rever o desempenho das ações pedagógicas em sala de aula.

Antes da abordagem dos conceitos foi enviado um questionário de cultura digital para os alunos com o objetivo de levantar informações sobre suas habilidades e acesso à internet e à aparelhos eletrônicos. Como alguns estudantes relataram não ter acesso adequado a essas ferramentas, elaboramos então um roteiro de estudos como alternativa. Já para os estudantes

que poderiam acompanhar as aulas sem muitas dificuldades, aplicamos um questionário no início da primeira aula. A duração da aplicação desse questionário foi de 15 minutos e contou com a participação de 39 alunos. O principal objetivo desse questionário prévio foi de levantar informações sobre o que os alunos já sabiam do conteúdo para nortear os trabalhos posteriores.

4.2.1.1 Aula 1

Esse encontro teve duração de 50 minutos e exploramos o conceito de ondas sonoras. O objetivo dessa aula foi fazer um levantamento prévio dos conceitos relativos a onda sonoras através de perguntas diretas que pudessem incentivar uma discussão e que estivessem associadas a casos práticos e situações do cotidiano dos estudantes. Nesta aula também informamos aos alunos sobre a aplicação da sequência didática quanto a suas atividades, objetivos e finalidades. O Quadro 1 discrimina a ordem das atividades desenvolvidas na primeira aula.

Quadro 1 – Resumo das atividades desenvolvidos na primeira aula.

Conceito e estratégias associados
- Conceito de ondas - Apresentação do plano de trabalho com o cronograma de atividades. • Discutir com a turma sobre o conceito de ondas, ondas sonoras e o efeito Doppler. ✓ Como você definiria uma onda? ✓ Em sua opinião o que é o efeito Doppler? ✓ O que é necessário para se ter o efeito Doppler? ✓ Em que fenômenos do dia a dia naturais ou artificiais podemos perceber o efeito Doppler? • Apresentação do modelo matemático para representação de ondas. ✓ Classificação das ondas ✓ Comprimento de onda ✓ Determinação da frequência ✓ Velocidade de uma onda ✓ Frente de onda

Habilidades: (EM13CNT301) Construir questões, elaborar hipóteses, previsões e estimativas, empregar instrumentos de medição e representar e interpretar modelos explicativos, dados e/ou resultados experimentais para construir, avaliar e justificar conclusões no enfrentamento de situações-problema sob uma perspectiva científica.

Recursos: Os recursos empregados nesse momento são os tradicionais, como quadro branco, pincel, notebook e datashow.

No momento da aplicação desta sequência didática, devido à pandemia da COVID-19, as aulas estavam sendo ministradas de forma remota, por esse motivo foram empregados outros recursos como internet, computador e mesa digitalizadora.

Descrição das atividades: O professor deve apresentar a SD e o cronograma das atividades previstas.

Avaliação: A avaliação deve ser qualitativa, levando em conta o interesse dos alunos e o engajamento nos trabalhos. Nesse momento o professor não deve fazer correção de possíveis conceitos errados que os alunos tenham sobre o assunto.

4.2.1.2 Aula 2

Esse é um momento de aula expositiva e dialogada que tem por objetivo munir os alunos de conhecimento teórico consistente e corrigir possíveis ideias equivocadas que possuam acerca do tema.

- Tema: Ondas sonoras, ressonância e série harmônicas.

- Duração: Um encontro de 50 minutos

- Desenvolvimento: O desenvolvimento dessa atividade foi norteado pelas respostas de perguntas tais como as descritas no Quadro 2. Nesse momento foi apresentado as equações que definem amplitude e intensidade sonora. A aula foi concluída com a apresentação do vídeo de aproximadamente 13 minutos sobre ondas que se encontra no endereço de domínio público: https://www.youtube.com/watch?v=M2D5-zXlD6A.

Quadro 2 – Resumo das atividades desenvolvidos na segunda aula.

Conceitos e estratégias associadas
Ondas sonoras Altura, Intensidade e Timbre.

- Breve resumo dos principais conceitos de ondas.
- Discutir com os alunos sobre alguns fenômenos do dia a dia.
  - ✓ Como você definiria o som?
  - ✓ De que forma o som se propaga?
  - ✓ O que caracteriza a interferência de ondas sonoras? e quais os seus efeitos?
  - ✓ O que é ressonância?
  - ✓ Apresentação do vídeo sobre ondas: https://www.youtube.com/watch?v=M2D5-zXlD6A

Habilidades: **(**EM13CNT303) Interpretar textos de divulgação científica que tratem de temáticas das Ciências da Natureza, disponíveis em diferentes mídias, considerando a apresentação dos dados, a consistência dos argumentos e a coerência das conclusões, visando construir estratégias de seleção de fontes confiáveis de informações.

Recursos: Os recursos empregados nessa aula são os tradicionais, quadro branco, pincel, notebook, Datashow.

Descrição das atividades: A aplicação dessa Sequência didática se deu de forma remota por isso foi utilizado notebook e mesa digitalizadora para desenhar figuras e resolver alguns cálculos simples. O professor deve reservar pelo menos 15 minutos para apresentar um vídeo aos alunos sobre o Phyphox, compartilhando uma página da internet. O objetivo é despertar o interesse e curiosidade dos alunos sobre essa ferramenta, preparando-os para o passo seguinte.

Avaliação: A avaliação deve ser qualitativa, deve basear-se no interesse e participação dos alunos. O professor deve estar atento às respostas verbais dos alunos para verificar o grau de entendimento do assunto. No final, o professor deve deixar uma atividade para ser respondida e entregue na aula seguinte.

4.2.1.3 Aula 3

Este encontro está divido em duas partes, em que o primeiro momento refere-se a uma aula expositiva e dialogada e depois apresenta-se as ferramentas tecnológicas que serão utilizadas na prática experimental.

Tema: Efeito Doppler

Duração: Uma aula de 50 minutos

Desenvolvimento: Nessa ocasião o professor deve trabalhar o conteúdo que trata do efeito Doppler, relacionando o fenômeno com aspectos do cotidiano dos alunos. Na apresentação das equações deve ser feito exemplos teóricos que identifiquem a mudança de frequência de ondas sonoras cuja fonte esteja em movimento relativo em relação ao observador. Deve-se chamar a atenção para situações do dia a dia como a mudança do som emitido pelo motor de um veículo em movimento, de uma ambulância com a sirene ligada dentre outros.

Quadro 3 – Resumo das atividades desenvolvidos na terceira aula.

Conceito e estratégias associados
Efeito Doppler • Apresentação dos principais conceitos sobre o efeito Doppler. • Explicar as equações do efeito Doppler. • Para uma fonte sonora em movimento de aproximação em relação a um observador? • Para uma fonte sonora em movimento de afastamento em relação a um observador? • Em que fenômenos do dia a dia natural ou artificial podemos perceber o efeito Doppler? • Apresentação do modelo matemático para representação do Efeito Doppler. • Apresentar o aplicativo Phyphox e solicitar que instalem em seus aparelhos de celular. • Apresentar o carrinho contendo o Arduino junto com os demais sensores e explicar como se dará a dinâmica para determinação do efeito Doppler.

Habilidades: (EM13CNT303) Interpretar textos de divulgação científica que tratem de temáticas das Ciências da Natureza, disponíveis em diferentes mídias, considerando a apresentação dos dados, a consistência dos argumentos e a coerência das conclusões, visando construir estratégias de seleção de fontes confiáveis de informações.

Descrição das atividades: Devido a situação de pandemia esse foi mais um momento de aulas remotas ministradas com o auxílio da internet e equipamentos de informática como mesa digitalizadora e computador. Nessa ocasião foi reservado um tempo para auxiliar os alunos na instalação do aplicativo Phyphox não sendo obrigatório. Porém, todos os alunos decidiram por instalá-lo.

Avaliação: A avaliação deve ser dividida em duas partes, sendo uma parte qualitativa e uma parte quantitativa. A parte qualitativa deve basear-se no interesse e participação dos alunos. O professor deve estar atento às respostas verbais dos alunos para verificar o grau de entendimento do assunto. A parte quantitativa deve ser composta de uma atividade que será desenvolvida em sala de aula.

4.2.1.4 Aula 4

A quarta aula compreende à atividade prática, a ser executada em colaboração com os alunos, na qual o professor deverá intermediar a discussão entre eles e explicar os gráficos gerados pelo aplicativo.

- Tema: Determinação do Efeito Doppler

- Duração: Uma Aula de 50 minutos

- Objetivos:

- Fazer medição da frequência de ondas sonoras detectadas pelo aplicativo Phyphox.
- Os gráficos gerados no Phyphox deverão se basear em situações com a fonte sonora fixa e em movimento em relação a um observador.

Quadro 4 – Resumo das atividades desenvolvidos na quarta aula.

Conceito e estratégias associados
• Verificar se os alunos possuem o Phyphox instalado e solicitar que instalem em seus aparelhos de celular. • Apresentar o carrinho contendo o Arduino junto com os demais sensores, explicar a função de cada um e como se dará a dinâmica para determinação do efeito Doppler. • Desenvolver a dinâmica em duas situações: ✓ O carrinho com uma fonte sonora ligada se afasta de um grupo de alunos e se aproxima de outro grupo na extremidade de um deslocamento em linha reta. Pedir que ambos os grupos gerem os gráficos nos seus aparelhos. • Uma fonte sonora em repouso e o carrinho se movendo com um aparelho contendo o Phyphox para gerar gráficos do comportamento das ondas sonoras num movimento de aproximação e depois de afastamento.
• Apresentação e discussão dos resultados ✓ Os grupos de alunos apresentarão os resultados obtidos por medição direta no

Phyphox expressando suas conclusões dessas medidas. • O professor mediará uma discussão acerca do resultado das medições.

Habilidades: (EM13CNT302) Comunicar, para públicos variados, em diversos contextos, resultados de análises, pesquisas e/ou experimentos – interpretando gráficos, tabelas, símbolos, códigos, sistemas de classificação e equações, elaborando textos e utilizando diferentes mídias e tecnologias digitais de informação e comunicação (TDIC) –, de modo a promover debates em torno de temas científicos e/ou tecnológicos de relevância sociocultural.

Descrição das atividades: Nessa ocasião o professor deve orientar as atividades, dar aos alunos autonomia para que possam ser sujeitos ativos no processo e estar atento ao desempenho dos alunos enquanto participam dessas atividades.

Procedimentos e recomendações:

- ✓ O local da prática pode ser o pátio da escola ou mesmo a sala de aula se houver espaço suficiente. Se for utilizar o pátio da escola, deve-se ter máxima atenção para não interferir na rotina da escola.
- ✓ A fonte sonora fixa pode ser uma caixa de som. Sesse caso o celular deve se mover com o carrinho.
- ✓ A fonte sonora móvel pode ser uma micro caixa leve que se movimentará junto com o carrinho. Nesse caso, os alunos devem ficar em repouso nas suas posições com seu *smartphones* com o aplicativo Phyphox ligado para captar a variação da frequência sonora.
- ✓ Deve-se fixar uma distância de cinco metros para o movimento do carrinho.

REFERÊNCIAS

BENTO, E. M. C. Uma nova visão da história da mecânica. **Revista de Ensino de Física**, v. 5, n.1, p. 45-70, 1983.

FARDO, M. L. A GAMIFICAÇÃO APLICADA EM AMBIENTES DE APRENDIZAGEM. **Novas Tecnologias na Educação**, v. 11, n. 1, jul., 2013.

FEYNMAN, R. P. **Lições de física de Feynman** [recurso eletrônico]: edição definitiva/ Richard P. Feynman, Robert B. Leighton, Matthew Sands; tradução Antônio José Roque da Silva, Sylvio Roberto Accioly Canuto. – Dados eletrônicos. Porto Alegre: Bookman, 2008.

GARDNER, Howard. **Estrutura da Mente: A Teoria das Inteligências Múltiplas**. trad. Sandra Costa. Porto Alegre: Artes Médicas Sul, 1994.

HELOU, D. R.; GUALTER, J. B.; NEWTON, V. B. **Os Tópicos da Física**. v. 1, 3. ed. São Paulo: Saraiva, 2016, p. 401.

HEWITT, Paul G. **Física conceitual** [recurso eletrônico]/Paul G. Hewitt; tradução: Trieste Freire Ricci; revisão técnica: Maria Helena Gravina. 12. ed. Porto Alegre: Bookman, 2015.

HOFFMANN, Jussara. **Avaliar para promover:** as setas do caminho. 11. ed. ver. e atual. ortog. Porto Alegre: Mediação, 2009.

KAZUHITO, Y.; FUKE, L. F.; SHIGEKIUO, C. T. **Os Alicerces da Física**. v. 1, 15. ed. São Paulo: Saraiva, 2012, p. 532.

KNIGHT, Randall. **Física 1:** uma abordagem estratégica [recurso eletrônico] / Randall Knight; tradução Trieste Freire Ricci. 2. ed. Dados eletrônicos. Porto Alegre: Bookman, 2009.

LUCKESI, C. C. **AVALIAÇÃO DA APRENDIZAGEM ESCOLAR:** Estudos e proposições. 22ª ed. São Paulo: Cortez, 2011.

RAMALHO, J. F.; NICOLAU, G. F.; TOLEDO, P. A. S. **Os Fundamentos da Física**. v. 1, 10. ed. São Paulo: Moderna, 2009, p.513.

STEAM: RPG Maker MV Bundle, 2015. Disponível em: < http://store.steampowered.com/news/?appgroupname=RPG+Maker+MV+Bundle&appids=363890,426100,403870,405920>. Acesso em: 23 de Ago, 2017.

ZANETIC, João. DOS “PRINCIPIA” DA MECÂNICA AOS “PRINCIPIA” DE NEWTON. **Cad. Cat. Ens. Fís.**, v. 5, número especial, p. 23-35, 1988.

QUESTIONÁRIO 1: conhecimento prévio

Este questionário tem como objetivo verificar o nível de informação e conhecimento prévio sobre os conceitos a serem estudados na sequência didática proposta. Não será atribuída uma nota para suas respostas. Não é preciso identificar-se.

1. O que você entende ser uma onda?

_____

_____

2. Que fenômenos presentes no seu cotidiano você classificaria como uma onda?

_____

_____

3. Na sua concepção o som é um fenômeno ondulatório?

_____

_____

4. Como funciona o ouvido humano?

_____

_____

5. O que você sabe sobre o efeito Doppler?

_____

_____

6. Se você já ouviu falar sobre o efeito Doppler? consegue apontar onde ele é usado e qual sua utilidade?

_____

_____

7. Como funciona o efeito Doppler?

_____

_____

8. Em sua opinião o que acontece com o som de uma sirene de ambulância ligada ao se aproximar de você com certa velocidade?

_____

_____

9. Se ao invés de se aproximar essa mesma ambulância se afastar de você, qual seria sua percepção do som?

_____

_____

QUESTIONÁRIO 2: validação da sequência didática

Este questionário tem como objetivo validar a sequência didática aplicada em sala de aula. Não será atribuída uma nota para suas respostas. Não é preciso identificar-se.

1. Como você definiria uma onda?
a) É um movimento causado por uma perturbação que se propaga através de um meio.
b) É uma alteração no espaço causada pela luz.
c) É todo fenômeno que se repete.
d) É um fenômeno que causa variação na velocidade.
Resposta: a

2. As ondas podem ser classificadas como mecânicas e eletromagnéticas. Das opções abaixo identifique aquela que representa uma onda mecânica.
a) sinal de internet
b) onda de rádio
c) sinal de tv
d) som emitido pela vibração das cordas de um violão
e) ondas luminosas
Resposta: d

3. Com relação às ondas sonoras, pode-se afirmar que:
a) são ondas eletromagnéticas geradas por cargas elétricas oscilantes.
b) são ondas mecânicas bidimensionais que se propagam num plano.
c) São ondas mecânicas longitudinais.
d) São ondas mecânicas transversais.
Resposta: c

4. É possível ouvir o som no espaço?
a) sim devido à gravidade
b) Não, porque no espaço não tem o meio material necessário para o som se propagar.
c) Não, porque o espaço é escuro.
d) sim, porque o som é uma onda.
e) sim, porque o ouvido humano pode captar frequências de 20 Hz a 20.000 Hz.
Resposta: b

5. Um aluno está parado em frente ao portão de sua escola aguardando o horário de entrada e se depara com os eventos a seguir.

I Enquanto aguarda em repouso a abertura do portão ele ouve o disparo do alarme do carro de um dos seus professores.
II Em seguida seu colega de turma passa na rua em frente a escola buzinando sua moto.
III Enfim o ele ouve a sirene da escola anunciando que chegou o momento de entrar, mas o portão ainda está fechado.

Em qual dessas situações o aluno percebe o efeito Doppler?

a) apenas em I
b) apenas em III
c) em I e II
d) em II e III
e) apenas em II
Resposta: e

6. Para alertar um pedestre desavisa em uma rodovia um caminhão em alta velocidade começa a buzinar a alguns metros de distância, passa pelo pedestre e continua a buzinar após ultrapassar o pedestre. Considerando que o som da buzina possui uma frequência própria constante, a frequência ouvida pelo pedestre:

a) aumenta na aproximação e diminui no afastamento do veículo
b) aumenta na aproximação e permanece constante no afastamento do veículo
c) aumenta tanto na aproximação quanto no afastamento do veículo
d) É constante tanto na aproximação quanto no afastamento do veículo
e) diminui na aproximação e aumenta no afastamento do veículo
Resposta: a

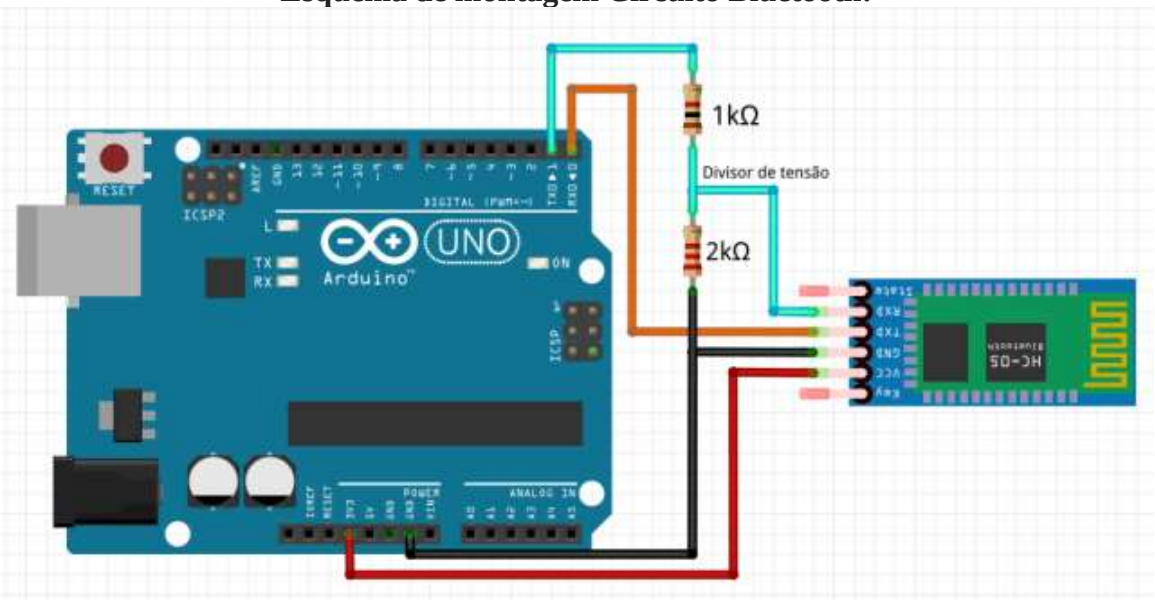
Programação do Arduino

```
#include <Ultrasonic.h>//BIBLIOTECA DO SENSOR ULTRASSONICO.

Ultrasonic ultrasonic(2,3); // (Trig PIN,Echo PIN)

const int motorPin1 = 9; // Pin N1 do L298N
const int motorPin2 = 10; // Pin N2 d0 L298N

const int motorPin3 = 6; // Pin N3 do L298N
const int motorPin4 = 5;// Pin N4 do L298N

int modo = 8;
int modoControlo;

void setup() {
pinMode(motorPin1, OUTPUT);
pinMode(motorPin2, OUTPUT);
pinMode(motorPin3, OUTPUT);
pinMode(motorPin4, OUTPUT);

Serial.begin(9600);

}

void loop() {
modoControlo = digitalRead(modo); //interruptor para selecionar o modo

if (modoControlo == HIGH){
controloAutomato();
}
else{
controloBluetooth();
}
}

void controloAutomato(){ // Funcao automatico quando selecionada, o robot desvia-se
sozinho dos obstaculos

if( ultrasonic.Ranging(CM) >= 8){
analogWrite(motorPin1, 0 );
analogWrite(motorPin2, 150);
analogWrite(motorPin3, 160);
analogWrite(motorPin4, 0);
}
else{
//Recuar durante 900 ms
analogWrite(motorPin1, 155);
```

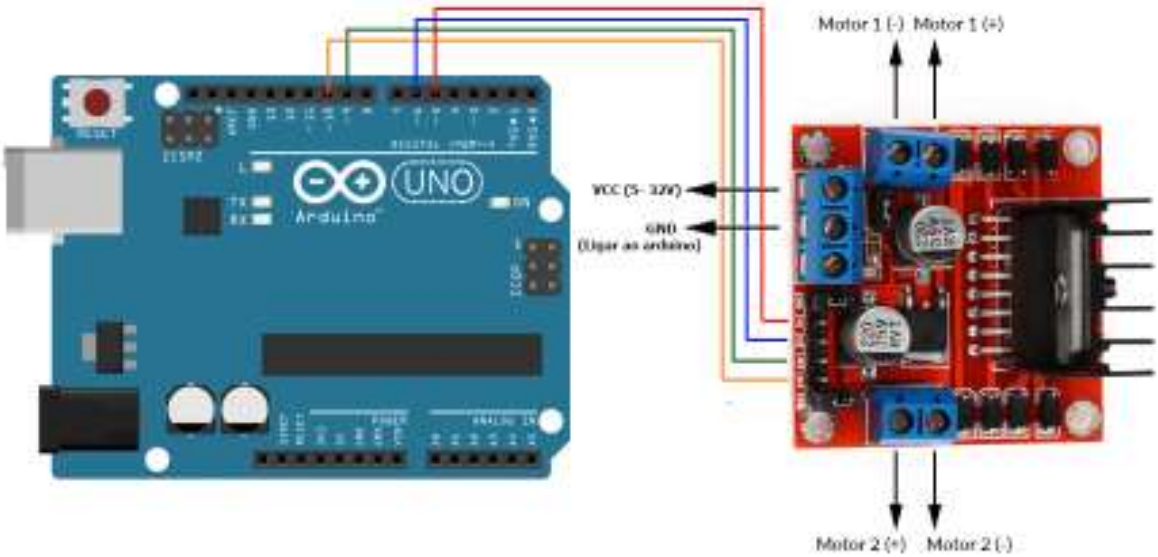
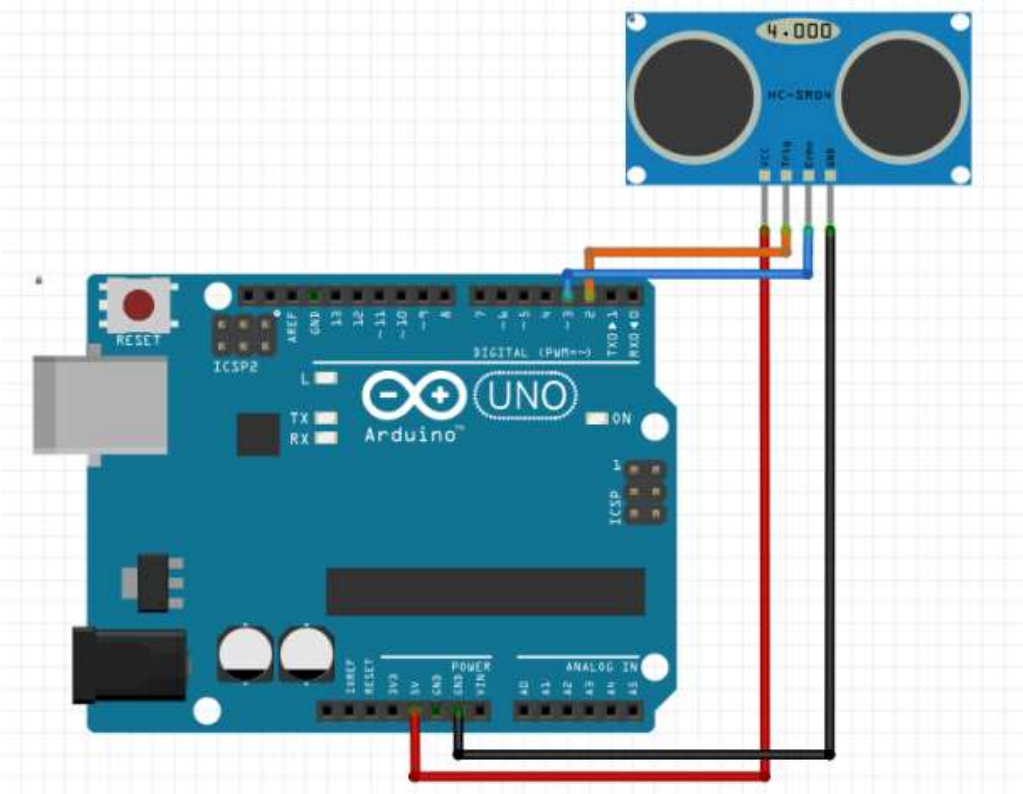
```
analogWrite(motorPin2, 0);
analogWrite(motorPin3, 0);
analogWrite(motorPin4, 160);
delay(900);

//Virar para a direita durante 700ms
analogWrite(motorPin1, 150);
analogWrite(motorPin2, 0);
analogWrite(motorPin3, 160);
analogWrite(motorPin4, 0);
Serial.println("Esquerda");
delay(500);

}
}

void controloBluetooth(){ // Funcao manual ativada, ele aguarda comandos enviados pelo
smartphone para se movimentar
if(Serial.available() > 0)
{
char data;
data = Serial.read();
Serial.write(Serial.read());

analogWrite(motorPin1, 0);
analogWrite(motorPin2, 0);
analogWrite(motorPin3, 0);
analogWrite(motorPin4, 0);


switch (data)
{
case 'F': //FORWARD
analogWrite(motorPin1, 0);
analogWrite(motorPin2, 150);
analogWrite(motorPin3, 160);
analogWrite(motorPin4, 0);
break;
case 'B': //REVERSE
analogWrite(motorPin1, 150);
analogWrite(motorPin2, 0);
analogWrite(motorPin3, 0);
analogWrite(motorPin4, 160);
break;
case 'L': //FORWARD LEFT
analogWrite(motorPin1, 0);
analogWrite(motorPin2, 150);
analogWrite(motorPin3, 0);
analogWrite(motorPin4, 0);
```

```
break;
case 'R': //FORWARD RIGHT
analogWrite(motorPin1, 0);
analogWrite(motorPin2, 0);
analogWrite(motorPin3, 160);
analogWrite(motorPin4, 0);
break;

default: //se o bluetooth não receber informação, ele permanece imovel por razões de
segurança.
analogWrite(motorPin1, 0);
analogWrite(motorPin2, 0);
analogWrite(motorPin3, 0);
analogWrite(motorPin4, 0);
}
}
}
```

Esquema de montagem Circuito Bluetooth:



Esquema de montagem Circuito Motor:



Esquema de montagem Sensor Distância: