

MNPEF
Mestrado Nacional
Profissional em
Ensino de Física



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CAMPUS BLUMENAU
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO MESTRADO PROFISSIONAL EM ENSINO DE
FÍSICA (MNPEF)

Janice Pockszevnicki

**O SOM E O SENTIDO DA AUDIÇÃO:
UMA PROPOSTA DE INTERDISCIPLINARIDADE ENTRE FÍSICA E BIOLOGIA
PARA O ENSINO MÉDIO.**

Blumenau

2019

Janice Pockszevnicki

**O SOM E O SENTIDO DA AUDIÇÃO:
UMA PROPOSTA DE INTERDISCIPLINARIDADE ENTRE FÍSICA E BIOLOGIA
PARA O ENSINO MÉDIO.**

Produto Educacional submetido ao Programa de Mestrado Profissional em Ensino de Física (MNPEF) da Universidade Federal de Santa Catarina para a obtenção do título de mestre em ensino de física.
Orientadora: Prof^a. Dra. Lara Fernandes dos Santos Lavelli.

Blumenau, novembro de 2019.

SUMÁRIO

1 APRESENTAÇÃO	5
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	6
2.1 ONDAS	6
2.1.1 Classificação das Ondas.....	7
2.2 A PERCEPÇÃO DO SOM: RECONHECENDO FREQUÊNCIAS	9
2.3 PROPAGAÇÃO DO SOM NO MEIO	13
2.3.1 Velocidade do Som.....	13
2.4 CARACTERÍSTICAS DE UMA ONDA	14
2.5 A ORELHA HUMANA E A AUDIÇÃO	15
2.5.1 Fisiologia da Audição.....	19
3 SEQUÊNCIA DIDÁTICA: SOM E O SENTIDO DA AUDIÇÃO	21
3.1.1 Público alvo.....	23
3.2 PRÉ APLICAÇÃO DA SEQUÊNCIA DIDÁTICA E RECURSOS MATERIAIS.....	23
3.2.1 Pré-aplicação da sequência didática.....	23
3.2.2 Recursos didáticos.....	24
3.3 MOMENTO POR MOMENTO	25
3.3.1 1ª Momento: Natureza ondulatória do som.....	25
3.3.2 Objetivos.....	25
3.3.3 Conteúdos.....	25
3.3.4 Descrição da atividade.....	25
3.3.5 Avaliação.....	26
3.4 2ª Momento: Sistema auditivo.....	26
3.4.1 Objetivos.....	26
3.4.2 Conteúdo.....	26
3.4.3 Descrição da atividade.....	26
3.4.4 Avaliação.....	28
3.5 3ª Momento: Propagação do som no meio.....	29
3.5.1 Objetivos.....	29

3.5.2 Conteúdos.....	29
3.5.3 Descrição da atividade.....	30
3.5.4 Avaliação.....	32
3.6 4ª Momento: Percepção do som e a orelha.....	33
3.6.1 Objetivos.....	33
3.6.2 Conteúdos.....	33
3.6.3 Descrição da atividade.....	33
3.6.4 Avaliação.....	33
REFERÊNCIAS	35
ANEXOS.....	36
ANEXO 1 - MATERIAL DE APOIO I - VISUALIZAÇÃO DE ONDAS SONORAS”.....	37
ANEXO 2 - MATERIAL DE APOIO II – PROPAGAÇÃO DO SOM NOS DIFERENTES MEIOS MATERIAIS.	39
ANEXO 3 - MATERIAL DE APOIO III - QUE ANIMAIS ENXERGAM POR MEIO DE SONS E COMO ELES CONSEGUEM FAZER ISSO?	43
ANEXO 4 - MATERIAL DE APOIO IV - PERCEPÇÃO DO SOM E A ORELHA.	46

1 APRESENTAÇÃO

Prezado (a) professor (a)!

Esta sequência didática tem a finalidade de auxiliar professores de Física do Ensino Médio no ensino de ondas sonoras, tendo ênfase a audição humana.

Diversos fenômenos e aplicações que envolvem a natureza do som estão presentes em nosso cotidiano, mas o ensino de ondulatória no Ensino Médio é abordado separadamente nas disciplinas de Física e Biologia. Enquanto a Física não aprofunda a interação entre som e o sistema auditivo, a Biologia apresenta de forma superficial conceitos de frequência, amplitude, timbre, etc. E ao falar em som, é impossível não associá-lo com o sistema auditivo. A sua produção, propagação e sua percepção abordam conceitos físicos e biológicos, bem como artísticos e psíquicos que transcorrem várias áreas do conhecimento humano.

Para a aplicação integral desta sequência deve-se reservar no mínimo 4 aulas de aproximadamente 45 minutos. Tais aulas incluem experimentos de caráter real e virtual. A sequência também pode ser aplicada na forma de oficina. O público alvo consiste em alunos do segundo ano do ensino médio, pois o tema de ondulatória faz parte da ementa desta série.

Esta sequência está baseada na aprendizagem significativa, defendida por David Ausubel, na qual as informações daquilo que o aluno já sabe seriam as mais importantes para a aprendizagem. Partindo das ideias prévias sobre o assunto a ser abordado, se ancora o novo conteúdo através do que o aluno já conhece sobre o tema. Ou seja, é necessário conhecer aquilo que o aluno já sabe e, a partir daí, estabelecer os novos conceitos, onde é possível adotar diferentes estratégias de ensino para facilitar esse processo, para que a aprendizagem ocorra de forma significativa. Tendo em vista que os alunos já possuem alguns conhecimentos prévios necessários, será por estes que se inicia a aprendizagem significativa dos conteúdos relacionados ao som e ao sentido da audição humana.

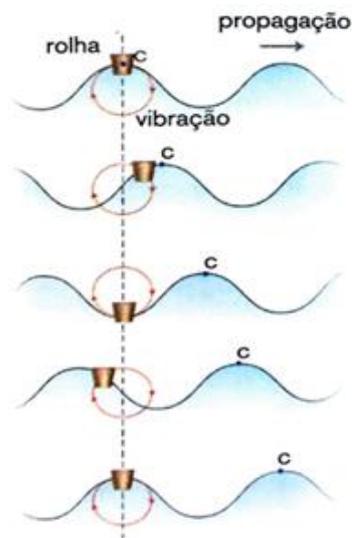
Para lhe auxiliar nesta jornada, as páginas que seguem apresentam uma revisão dos conceitos científicos envolvidos no trabalho sob interdisciplinaridade entre a Física e a Biologia. Além da sequência didática, os roteiros dos experimentos (reais e virtuais), textos a serem utilizados com seus estudantes e *links* para vídeos encontram-se como material de apoio que são facilmente encontrados nos anexos. Bom trabalho!

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 ONDAS

A parte da Física que estuda as ondas é a ondulatória. Podemos definir ondas como a propagação de movimentos oscilatórios que acontecem através da perturbação de um meio. Na natureza, encontramos muitos movimentos oscilatórios através da nossa visão, audição bem como a nossa fala. As ondas transportam energia sem transportar matéria. Conforme ilustra a Figura 1 uma rolha permanece flutuando sobre uma superfície líquida na qual se propaga uma onda.

Figura 1 - Ondas transportando energia sem transportar matéria. A cortiça oscila em torno da mesma posição.



Fonte: Adaptado de BONJORNO, 2016⁷.

⁷ BONJORNO, et al. Física: termologia, óptica, ondulatória. 2º ano. 3.ed. São Paulo: FTD, 2016.

Essas situações nos mostram que uma onda não transporta matéria. A cortiça recebeu energia da onda e por isso se movimentou, sem ser arrastada na direção de sua propagação pela superfície da água.

2.1.1 Classificação das Ondas

As ondas podem ser classificadas quanto à sua natureza e quanto à direção de vibração dos componentes do meio. A seguir, vamos detalhar um pouco melhor essas classificações:

2.1.1.1 Classificação das ondas quanto a sua natureza

As ondas podem ser de natureza mecânica, eletromagnética ou ainda ondas de matéria.

- **Ondas Mecânicas:** transportam energia mecânica, portanto são perturbações que ocorrem em um meio material. Dessa forma, esse tipo de onda não se propaga em meios sem material, ou seja, não se propagam no vácuo. Temos como exemplos de ondas dessa natureza as ondas sonoras e as ondas produzidas em uma corda.

- **Ondas Eletromagnéticas:** são ondas geradas em campos elétricos e magnéticos, não necessitando de um meio material para a sua propagação, ou seja, propaga-se no vácuo. Percebemos que este tipo de onda está muito presente em nosso dia a dia, pois praticamente toda tecnologia que utilizamos funciona através de ondas eletromagnéticas, como as ondas de rádio, o sinal de celular, a luz visível.

- ✓ **Ondas de matéria:** os elétrons podem ser vistos como ondas. Ou seja, ondas de matéria podem ser entendidas como uma extensão do conceito de onda para as partículas massivas, em virtude da dualidade onda-partícula. “Toda a matéria apresenta características tanto ondulatórias como corpusculares comportando-se de um ou outro modo dependendo do experimento específico⁸”. As ondas de matéria podem transportar matéria.

⁸ L. de Broglie, *Recherches sur la théorie des quanta* (Researches on the quantum theory), Thesis (Paris), 1924.

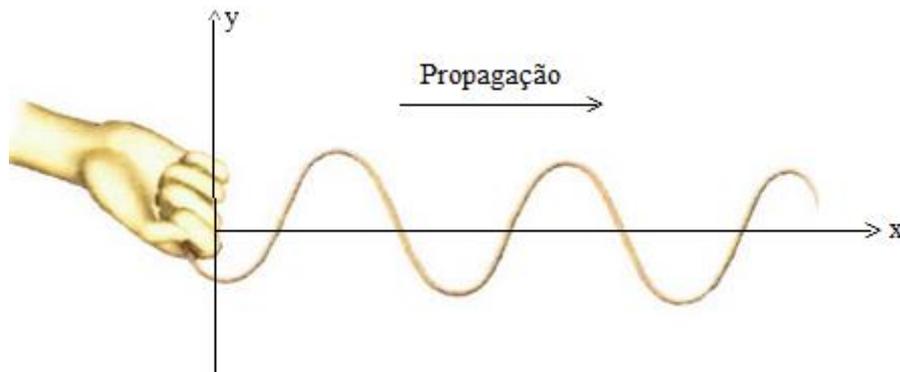
Fique atento! Em filmes de ficção científica como *Star Wars*, *Star Trek* ou qualquer outro, ocorrem explosões de naves que acontecem no espaço e geram um barulhão. No entanto, podemos constatar um erro físico: o som produzido nessas explosões. O som é uma onda mecânica e este tipo de onda não se propaga no vácuo. De fato, as explosões podem acontecer no espaço, porém elas não geram nenhum som.

2.1.1.2 Classificação das ondas quanto à direção de vibração dos componentes do meio

Outro modo de classificarmos as ondas é quanto à direção da vibração das partículas que compõe o meio, podendo ser:

- **Ondas Transversais:** as vibrações dos componentes do meio são perpendiculares à direção de propagação. Como exemplo, temos as ondas mecânicas que se propagam em uma corda e ondas eletromagnéticas.

Figura 2 - Movendo-se a corda para cima e para baixo, tem-se uma onda transversal.



Fonte: Adaptado de GUIMARÃES, 2017⁹.

- **Ondas Longitudinais:** as vibrações dos componentes do meio são paralelas à direção de propagação, como por exemplo, as ondas sonoras. A propagação das ondas sonoras será melhor detalhada mais adiante.

⁹ GUIMARÃES, O. et al. **Física**. 2. ed. São Paulo: Ática, 2016.

Figura 3 - O som se propaga no ar como ondas sonoras longitudinais.



Fonte: SILVEIRA, 2017¹⁰.

2.2 A PERCEPÇÃO DO SOM: RECONHECENDO FREQUÊNCIAS

O longo processo de transmissão, em que a energia se transforma diversas vezes, ocorre em um pequeno intervalo de tempo, dando a impressão de que nossa audição é instantânea. A amplificação do som gerada dentro de nossa orelha se dá por meio de um fenômeno conhecido como ressonância. Este fenômeno ocorre entre a onda sonora e as fibras da membrana basilar. Dependendo da frequência do som que chega, somente uma porção dessa membrana será colocada em vibração com maior intensidade.

Considerando uma diversidade de frequências, o som pode ser dividido em grave e agudo. O som grave é o som que possui baixa frequência, enquanto o som agudo é o de alta frequência. Por exemplo, uma voz masculina é mais grave do que a voz feminina. Ou seja, a voz da mulher é mais aguda que a do homem.

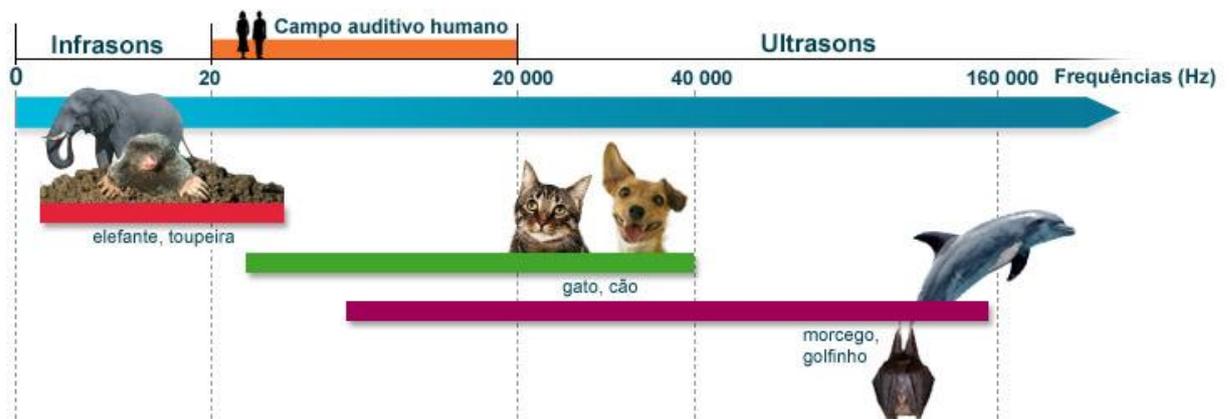
Para a percepção do som grave, as fibras da membrana basilar próxima a cóclea vibrarão com mais intensidade. Já para os sons agudos, a parte inicial da membrana basilar próxima à orelha média será mais estimulada. A parte central da membrana produz os sons intermediários. Por fim, o sistema nervoso reconhece o som captado por sua frequência, por meio da identificação da região de onde partiram os impulsos. Entretanto, essa identificação é

¹⁰ SILVEIRA, Carolina Pinheiro da. **Atividades experimentais para o ensino de Física ondulatória no Ensino Médio e NEJA**. Volta Redonda, 2017.

limitada, pois a audição humana consegue discriminar sons com diferenças de frequências de no mínimo 3 Hz.

Os sons que os seres humanos conseguem detectar são considerados audíveis. Porém nem todas as frequências são possíveis de ouvir. O homem consegue detectar as frequências entre 20 Hz e 20 kHz, conforme a figura abaixo. Ao longo da vida, perde-se a capacidade de ouvir certas frequências, sobretudo as mais altas. Alguns animais como aranhas e elefantes detectam infrassons, outros como o gato, a mosca, o golfinho e os morcegos detectam ultrassons. A Figura 4 ilustra a faixa de frequências sonoras que são audíveis pelo ser humano comparada à de outros animais.

Figura 4 - Faixa de frequências sonoras ouvidas pelo ser humano comparada à de outros animais.



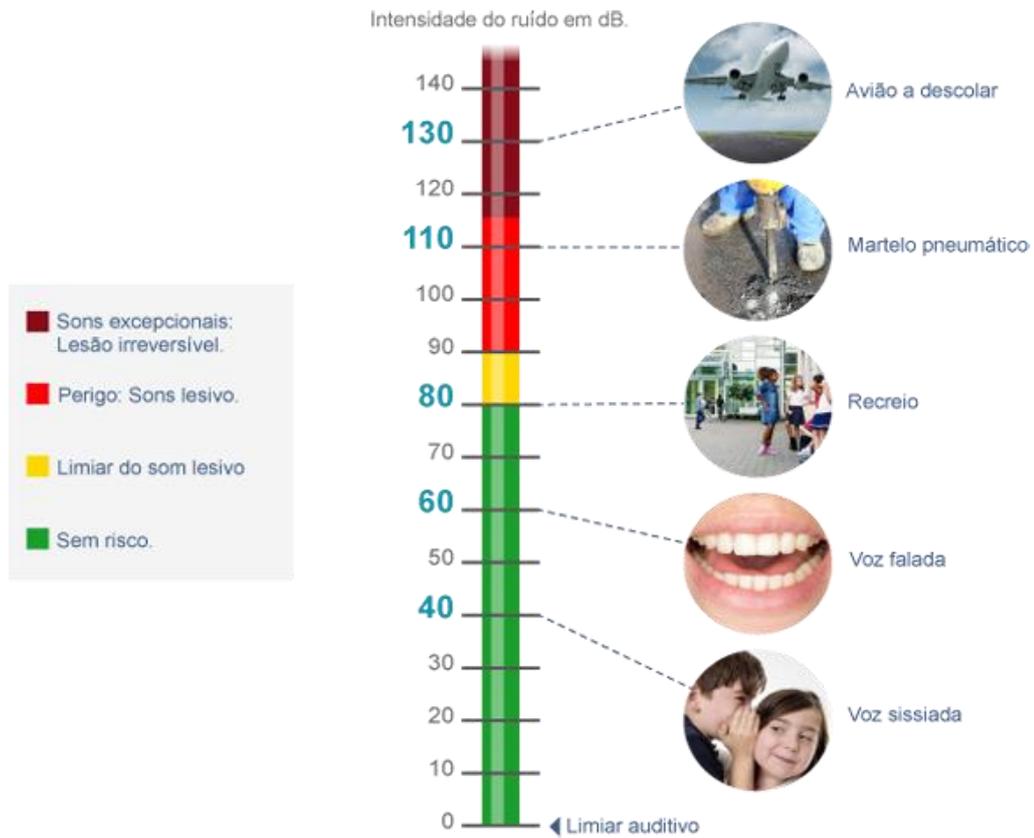
Fonte: PIETROCOLA, 2016¹¹.

A orelha consegue captar os níveis de intensidade sonora que estão compreendidos entre 0 e 120 dB. Um som com a frequência de 1000 Hz é perceptível pela orelha humana se a intensidade sonora for superior a 0 dB e a mesma frequência, a uma intensidade de 120 dB é a mais forte que a orelha pode suportar. Intensidades de sons acima deste valor são nocivos e podem causar danos irreversíveis para a orelha interna.

Na Figura 5, adotando como 0 dB a mínima intensidade audível, pode-se estabelecer uma correspondência entre o nível de intensidade sonora e a intensidade física.

¹¹ PIETROCOLA, M. *et al.* **Física em contextos**. vol. 2. São Paulo: Editora do Brasil, 2016.

Figura 5 - Intensidades dos sons audíveis pela orelha humana.

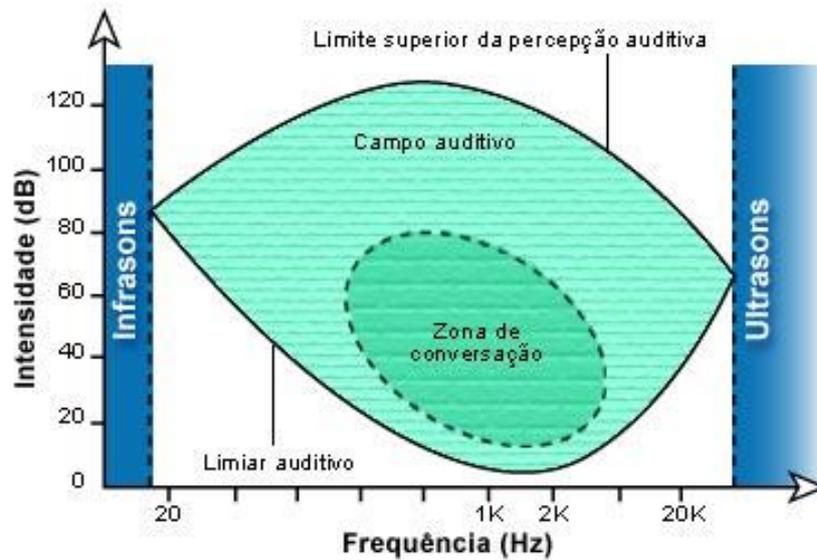


Fonte: PUJOL, 2018¹².

Na Figura 6, está representado o campo auditivo humano bem como a zona de conversação:

Figura 6 - Curvas de audibilidade humana.

¹² PUJOL, R. **Viagem ao mundo da audição**. 2018. Disponível em: <http://www.cochlea.org/po/som/campo-auditivo-humano>. Acesso em 06/09/2019.



Fonte: PUJOL, 2018.

Podemos verificar na Figura 6, os limiares auditivos nas diferentes frequências de uma orelha humana saudável, representado pela curva inferior, enquanto o limiar de desconforto, acima do qual surge dor está representado na curva superior. A região sonora que utilizamos para comunicação através da voz humana está na zona de conversação. Quando esta zona é afetada, pode surgir dificuldades para a comunicação e a surdez se torna perceptível.

A intensidade de um som que chega às nossas orelhas também está associada à pressão que ele exerce sobre a membrana timpânica. A sensibilidade da orelha humana atinge seu máximo entre 2000 Hz e 4000 Hz, ou seja, esse é o espaço de frequências em que o sistema auditivo humano é capaz de perceber sons de menor intensidade. O limiar da dor ocorre quando obrigamos a membrana timpânica a vibrar com amplitudes na ordem de 10^{-3} cm, o que corresponde a uma pressão de 20 Pa (20 N/m² ou 0,2 gf/cm²). As intensidades físicas dos sons audíveis também apresentam grandes variações. O sistema auditivo é capaz de perceber sons desde um suspiro bem fraco até um ruído muito forte. Essa grande variação de intensidades percebidas pela orelha humana é um dos motivos pelos quais se estabelece o nível de intensidade sonora (β), cuja unidade de medida é o bel. Dois sons tem diferença de 1 Bel quando a intensidade de um é cerca de dez vezes maior que a do outro. Entretanto, a unidade mais usada cotidianamente é o decibel (dB), que corresponde a um décimo do bel. Podemos calcular o nível de intensidade sonora para determinada intensidade física da fonte através da seguinte equação:

$$\beta = 10 \log \frac{I}{I_0} \quad \text{Equação 1}$$

Onde I_0 é a intensidade mínima de referência e equivale a 10^{-12} W/m².

Outra característica do som é o timbre, que está associado com a característica que nos permite reconhecer o som emitido por uma fonte. O timbre é a qualidade que diferencia dois sons de mesma altura e de mesma intensidade, porém são produzidos por fontes sonoras diferentes. É possível perceber isso, quando ouvimos uma nota musical tocada por um violino e a mesma nota produzida por um piano, por exemplo. Imediatamente identifica-se os dois sons como tendo a mesma frequência, mas com características sonoras muito distintas. O timbre é que nos permite diferenciar esses dois sons instrumentais. Os dois aparelhos musicais, piano e violino, podem emitir sons com a mesma frequência, mas com timbres diferentes, pois as ondas sonoras possuem formas diferentes.

2.3 PROPAGAÇÃO DO SOM NO MEIO

“Como o som chega da fonte até nossa orelha?”

O som pode propagar-se em diversos outros meios além do ar atmosférico. Por exemplo, é possível ouvir dentro da água alguns dos sons da superfície. Na água, a velocidade do som pode chegar a 1500 m/s, bem maior do que no ar. Em um meio sólido, o som se propaga ainda mais rápido: cerca de 5000 m/s. Isso acontece porque tanto na água quanto o meio sólido são constituídos por partículas, e estas encontram-se mais próximas do que no ar. As partículas vão transmitindo vibrações às seguintes e é do movimento de todas essas partículas que resulta o som. Quanto mais próximas as partículas estiverem entre si, mais rapidamente se propagam as vibrações.

2.3.1 Velocidade do Som

Para determinar a velocidade do som, basta calcular quantos metros a onda avança a cada segundo. A velocidade de propagação é determinada de acordo com as propriedades do

meio em que a onda se encontra e de sua fonte. Ou seja, a velocidade de cada onda só se altera se o meio por onde ela se propaga for alterado.

Podemos encontrar a velocidade pela seguinte equação:

$$v = \lambda \cdot f \quad \text{Equação 2}$$

Em que v é a velocidade do som no meio (m/s); λ é o comprimento da onda (m) e f é a frequência (Hz).

Essa equação que nos permite encontrar a velocidade de uma onda também nos permite comprovar do que ela depende. Como o comprimento de onda λ depende do meio em que a onda se propaga e a frequência f depende exclusivamente da fonte, podemos perceber que a velocidade v é dependente de ambos.

Atenção! Quanto mais próximas as moléculas estão em um meio, mais rápido as ondas mecânicas se propagam nele. Na prática isso quer dizer que as ondas mecânicas se propagam mais rápido em sólidos do que em líquidos e gases. O contrário acontece com as ondas eletromagnéticas, que se propagam com sua velocidade máxima no vácuo e muito, lentamente em meios sólidos.

2.4 CARACTERÍSTICAS DE UMA ONDA

As ondas possuem algumas características, como amplitude, comprimento de onda, frequência, período, crista e vale.

Chamamos de amplitude (A) a “altura” máxima que a onda chega. Uma maneira de encontrarmos essa amplitude é chamando o extremo superior de uma onda de “crista” e o extremo inferior de “vale”. A amplitude será sempre a metade da distância entre um vale e uma crista.

O comprimento de onda (λ) é a distância entre o começo e o fim de uma oscilação completa. Também podemos pensar que é o tamanho de cada repetição ou a distância entre duas “cristas” ou a distância entre dois “vales”.

O valor de λ varia de onda para onda e depende do meio em que a onda está se propagando. Caso uma mesma onda mude o meio em que ela se propaga, seu comprimento de onda irá variar.

O período (T) de uma onda é o tempo que a onda leva para completar uma oscilação e sua unidade de medida é dada em segundos. O período é inversamente proporcional à frequência: quanto maior a frequência, menor o período.

$$T = \frac{1}{f} \quad \text{Equação 3}$$

A frequência (f) é o número de ciclos por segundo, ou o número de cristas por segundo. A unidade de medida de frequência é o hertz (Hz). A crista representa o pico de energia máximo de uma onda enquanto o vale representa o pico de energia mínimo de uma onda.

2.5 A ORELHA HUMANA E A AUDIÇÃO

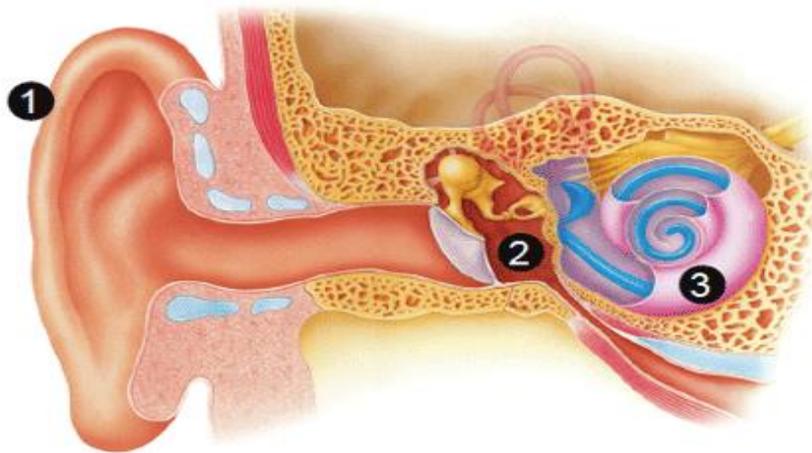
Por que falar da orelha e da audição?

Todos sabemos muito bem que uma boa audição é de fundamental importância no nosso dia a dia. Ouvir os sons da natureza, pássaros cantando, uma boa conversa com os amigos, curtir as músicas que apreciamos ou até mesmo escutar os sinais de alerta: tudo isso está garantido quando se tem uma boa audição. O modo como nos relacionamos com as situações ao nosso redor está diretamente ligado com a nossa audição, o que facilita os relacionamentos e dá abertura para inúmeras experiências sensoriais. Estamos falando de um órgão extremamente sensível e que merece toda a nossa atenção.

A orelha é o órgão que captura os estímulos sonoros externos e transforma as vibrações em impulsos sonoros, enviando-os então para o cérebro. Como detecta quantidades mínimas de energia, estamos falando da estrutura mecânica mais sensível do corpo humano.

Localizada na região temporal do crânio, a orelha é dividida em três partes: orelha externa (1), orelha média (2) e orelha interna (3), conforme mostra a Figura 7:

Figura 7 - Diagrama esquemático da orelha humana.



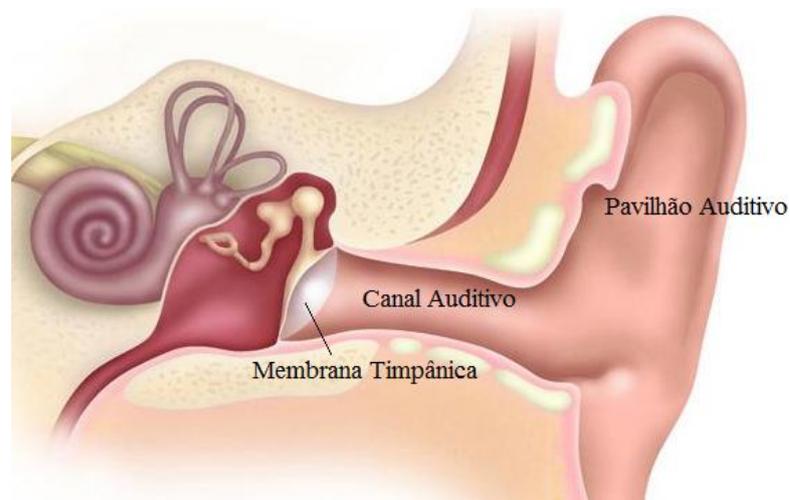
Fonte: CAS RJ, 2013.¹³

A orelha externa é composta pelo pavilhão auditivo, pelo canal auditivo e pelo tímpano. Constituída por cartilagens, seu papel é capturar as ondas sonoras e direcioná-las para o meato acústico externo, o qual atua como um condutor do som até a membrana timpânica. A orelha externa também desempenha o papel de proteger e fornecer ressonância sonora, possibilitando uma melhor transferência de energia.

O canal auditivo tem um comprimento de 2,5 cm aproximadamente e menos de 1 cm de diâmetro, equivalente a um volume total de 1 cm³. O tímpano, que também é conhecido como membrana timpânica, preenche o fundo do canal auditivo e tem formato de um cone com um diâmetro de 1 cm. Possui uma membrana de 0,05 mm de espessura e uma superfície de 85 mm². A cera, que é produzida pelas glândulas ceruminosas da pele do meato, forma uma película que impermeabiliza e protege a orelha da ação de microrganismos e outras impurezas. Na Figura 8, podemos verificar a orelha externa, bem como o canal auditivo.

¹³ CAS RJ, 2013. **Ouvido e perda auditiva**. Disponível em <http://casrio.blogspot.com/2013/03/ouvido-e-perda-auditiva.html>

Figura 8 - Orelha externa.



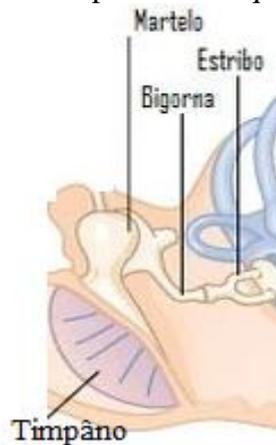
Fonte: HANNING, C, 2018¹⁴.

A orelha média localiza-se logo após a membrana timpânica. Consiste numa cavidade cheia de ar que ocupa um volume de $1,5 \text{ cm}^3$ aproximadamente. É na orelha média que encontramos os menores ossos do corpo humano: o martelo que possui cerca de 23 g, a bigorna, com 27 g e o estribo com 2,5 g de massa. Esses são os únicos ossos do corpo humano que apresentam o mesmo tamanho desde bebê até a fase adulta. Esses ossículos possuem a função de transmitir o som da membrana timpânica para a orelha interna, ou seja, as ondas sonoras agitam a membrana timpânica a qual movimentam o martelo, bigorna e estribo, que conduzem para a orelha interna as vibrações sonoras.

Na Figura 9 podemos verificar a forma desses ossículos.

¹⁴ HANNING, C. 2018. **Orelha externa: estrutura, função.** Disponível em: <https://pt.carolchanning.net/zdorove/117933-uho-naruzhnoe-stroenie-funkcii-vospalenie-naruzhnogo-uha-cheloveka.html>

Figura 9 - Os três ossículos do corpo humano que compõem a orelha média.



Fonte: GUYTON, A. C.; HALL, J. E. 2002.¹⁵

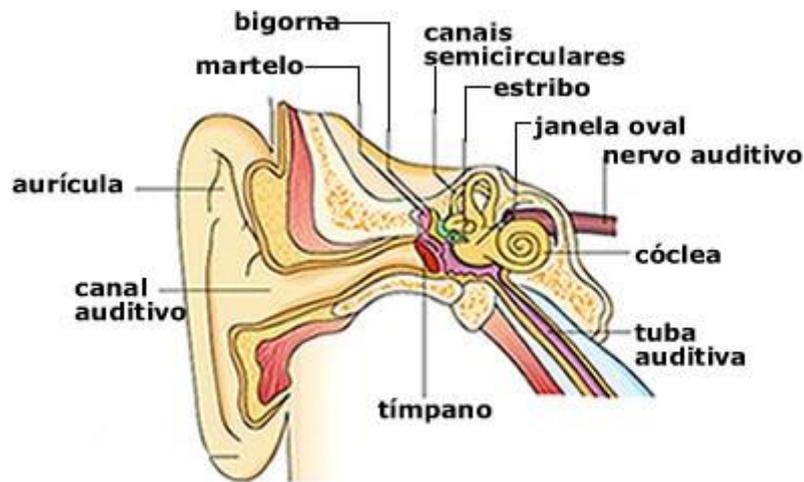
A janela oval marca o início da orelha interna, seguindo um canal que possui um comprimento de cerca de 35 mm. A janela oval transmite suas vibrações para a membrana basilar através da endolinfa, um líquido viscoso que preenche esse canal. Esse canal conduz a cóclea, também chamado de caracol, pois possui aspecto de um caramujo de jardim. A cóclea tem capacidade para avaliar o som, tanto em frequência quanto em intensidade. A parte próxima da janela oval é excitada pelas frequências altas e conforme se direciona para dentro do caracol, a frequência é diminuída.

Sobre a membrana basilar (localizada dentro da cóclea) estão distribuídas as células acústicas, conhecidas como Órgão de Corti, que abrangem um número de 18 mil células, de onde aparecem os nervos que dão formação ao nervo acústico e transportam os impulsos elétricos até o cérebro.

Na Figura 10, podemos ver as partes que compõem a orelha interna, bem como todas as partes da orelha.

¹⁵ GUYTON, A. C.; HALL, J. E. **Tratado de Fisiologia**. 10ª ed. Rio de Janeiro: Ed. Guanabara Koogan S.A., 2002.

Figura 10 - Partes da orelha.



Fonte: VARELLA, M. 2019.¹⁶

2.5.1 Fisiologia da Audição

2.5.1.1 Audição Via Aérea

Conforme vimos até aqui, a audição consiste na transformação do som (perturbação mecânica) em impulsos elétricos que são levados ao cérebro. Esse processo passa por várias etapas, conforme descrito a seguir: quando a onda sonora atinge o sistema auditivo, o movimento das partículas do ar chega à orelha externa. Então a vibração se amplifica um pouco e atinge a membrana timpânica, uma superfície esticada que fica presa aos ossos do crânio (parecendo o couro de um tambor). O martelo, ligado à membrana timpânica, também começa a vibrar. Como a bigorna e o estribo estão ligados a ele, de modo semelhante a um sistema de alavancas, esses três ossículos da audição, que ficam em uma pequena câmara cheia de ar, começam a vibrar em conjunto, amplificando as vibrações recebidas da orelha externa para a orelha interna. Dessa forma, temos uma onda produzida no líquido da cóclea, que também é conhecida como caracol, que está dividida longitudinalmente pela membrana basilar, que

¹⁶ VARELLA, M. 2019. **Corpo humano: orelha interna**. Disponível em <https://drauziovarella.uol.com.br/corpo-humano/orelha-interna/>

contém milhares de fibras basilares que podem ser movidas pelas ondas nesse líquido. Essas membranas estão distintas e cada uma é sensível a uma frequência específica. Assim, somente algumas serão acionadas de acordo com as características do som produzido, e então transmitidas ao nervo auditivo. Trata-se de um labirinto membranoso que está cheio de um líquido que recebe as vibrações transmitidas pelos ossículos. Essas vibrações são amplificadas pela janela do vestíbulo, que produz vibrações no líquido contido no labirinto membranoso. A região do labirinto membranoso de mesma frequência de vibração entra em ressonância, aí as dendrites dessa região são excitadas e enviam um sinal correspondente ao cérebro, que decodifica o sinal e nos faz ouvir o som emitido (GASPAR, 2017). Através do vídeo “Uma viagem no interior do ouvido” [00m00s – 01m45s]¹⁷, é possível ter uma melhor clareza do descrito acima.

2.5.1.2 Audição Via Óssea

A audição por via óssea ocorre quando as ondas sonoras chegam até os ossos do corpo humano, fazendo-os vibrar. Podemos sentir essas vibrações quando ouvimos um barulho ao mastigar ou até mesmo ao coçar a cabeça. Esta vibração é transportada pelos ossos até os ossos da orelha média, os ossículos, e daí até a cóclea, o que acarreta ondas nos líquidos internos e assim provoca a percepção da audição.

¹⁷ Disponível em <https://www.youtube.com/watch?v=1SKONN4iso8>. Acesso em 05/10/2019.

3 SEQUÊNCIA DIDÁTICA: SOM E O SENTIDO DA AUDIÇÃO

Para viabilizar a abordagem de temas de som e audição em uma perspectiva interdisciplinar, foi elaborada uma sequência didática. Esta sequência foi baseada nos referenciais teóricos de David Ausubel, que defende que na aprendizagem significativa é importante que exista um elemento pré-existente na estrutura cognitiva denominado subsunçor. Dessa forma, a qualidade da aprendizagem é diretamente proporcional à qualidade da concepção do subsunçor para o estudante, ou seja, quanto maior o entendimento que ele possui das ideias prévias dentro da sua própria estrutura cognitiva, melhor será a sedimentação dos novos conteúdos expostos.

Moreira¹⁸ separa quatro tarefas fundamentais durante a aprendizagem significativa no papel a ser desempenhado pelo professor: identificar a estrutura conceitual e proposicional presentes na matéria ensinada e organizá-los para que possam progressivamente abranger os menos inclusivos; identificar quais os subsunçores relevantes à aprendizagem significativa do conteúdo e que deveriam preexistir na estrutura cognitiva; diagnosticar o conhecimento prévio do aluno; e utilizar em seu ensino os recursos e princípios que facilitem a aprendizagem significativa de forma que auxiliem o aluno a assimilar a estrutura conceitual do conteúdo ensinado e a organizar sua própria estrutura cognitiva. Dessa forma, as atividades a serem desenvolvidas encontram-se no Quadro 1, que resume a maneira com que as aulas que compõem esta sequência didática foram organizadas.

Quadro 1 - Distribuição das aulas que compõem a sequência didática, seus respectivos procedimentos metodológicos e objetivos.

MOMENTO	PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	OBJETIVOS
Pré-aplicação da sequência didática.	<ul style="list-style-type: none"> • Elaboração e aplicação da sondagem das concepções alternativas sobre o tema fazendo uso de um questionário online. 	Avaliar as concepções alternativas dos estudantes sobre o

¹⁸ MOREIRA, M. A. **Teorias da Aprendizagem**. São Paulo: EPU, 2006.

	<ul style="list-style-type: none"> • Avaliação diagnóstica das concepções alternativas para o desenvolvimento das fases posteriores. 	<p>som e o sentido da audição.</p>
<p>1ª Aula: Natureza ondulatória do som.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Realizar experimento demonstrativo; • Debater sobre o experimento; • Explanar sobre tópicos da ondulatória; • Verificação da aprendizagem através de questionamento oral sobre a diferença entre uma onda mecânica e uma eletromagnética. 	<p>Evidenciar os conceitos prévios sobre a natureza ondulatória do som.</p>
<p>2ª Aula: Sistema auditivo.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Utilização do aplicativo “<i>Mozaik education</i>” para visualizar o sistema auditivo em 3D e como se comporta na presença de som; • Explanação sobre a orelha humana e seu funcionamento; • Ver o vídeo: “A natureza do som e o ouvido humano”. 	<p>Entender o funcionamento do sistema auditivo.</p>
<p>3ª Aula: Propagação do som no meio.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Colocar uma música para tocar e perguntar aos estudantes como o som chega até a nossa orelha; • Anotar as respostas no quadro; • Atividade em grupo: realizar experimento para verificar como o som se propaga em diferentes meios. 	<p>Verificar que o som se propaga nos diferentes meios materiais.</p>
<p>4ª Aula: Percepção do som e a orelha.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Através do aplicativo <i>Phet Colorado</i>, realizar uma discussão qualitativa acerca de alguns conceitos de ondas sonoras. 	<p>Associar características físicas da onda sonora com as percepções de sons agudos e graves.</p>

3.1.1 Público alvo

Esta sequência pode ser aplicada a turmas do 2º ano do Ensino Médio, durante as aulas de Física ou pode ser aplicada na forma de uma oficina. É interessante salientar que este público dispõe em sua grade curricular o conteúdo relacionado a ondulatória, facilitando assim a aplicação dessa sequência.

3.2 PRÉ APLICAÇÃO DA SEQUÊNCIA DIDÁTICA E RECURSOS MATERIAIS

3.2.1 Pré-aplicação da sequência didática

Inicialmente, o professor deve coletar as concepções alternativas via formulário *online*¹⁹, objetivando realizar uma avaliação diagnóstica sobre o conhecimento prévio dos estudantes acerca do som e o sistema auditivo, ou seja, através das respostas será possível verificar os subsunçores. A teoria de Ausubel descreve o processo de aprendizagem como um processo de integração e organização do material dentro da estrutura cognitiva do aluno. Tal processo caracteriza-se como uma interação, em que os conceitos já aprendidos formam uma âncora para os novos e são ao mesmo tempo modificados por eles. Ou seja, a aquisição de novos conteúdos depende daqueles já existentes, e a partir destes, o estudante relaciona e compreende os novos. Nesse processo, o professor deve levar em consideração os conteúdos já adquiridos pelo aluno para que assim as novas informações possam atuar na base do conhecimento já estruturado (MOREIRA, 2006).

O questionário pré-aplicado é composto por quatro questões que abordam o som e como ele se propaga até chegar ao sistema auditivo. Esse questionário não é de caráter avaliativo para o estudante, mas sim para que o professor possa ter um melhor desenvolvimento das fases posteriores e assim verificar se a aprendizagem foi significativa para o aluno, pois o conteúdo previamente apreendido pelo estudante representa um forte influenciador do processo de aprendizagem. Daí a necessidade de identificar as concepções prévias dos estudantes. Esse

¹⁹Disponível em https://docs.google.com/forms/d/e/1FAIpQLSfE9GmBtd9ldRgsM5KwtwKPWUOo0dxtRB4bPB--rMn_2EEN4g/viewform?usp=sf_link.

conhecimento anterior serve como um ponto de ancoragem aonde as novas informações irão se integrar com aquilo que o estudante já conhece. Deste modo, novos dados serão assimilados e armazenados pelo aprendiz. O professor deve disponibilizar o link de acesso - https://docs.google.com/forms/d/e/1FAIpQLSfE9GmBtd9ldRgsM5KwtwKPWUOo0dxtRB4bPB--rMn_2EEN4g/viewform?usp=sf_link - e pedir que os alunos respondam com antecedência, permitindo que o mesmo possa verificar as respostas antes de iniciar as aulas ou a oficina. Essas respostas servirão para que o professor possa ter uma orientação sobre o que o aluno sabe até aqui. De acordo com a teoria da aprendizagem significativa de David Ausubel, para que um material seja considerado significativo, deve estar organizado no processo de ancoragem de forma que auxilie a aprendizagem e propicie a aquisição de significados por interação. Tendo em vista que os alunos já possuam alguns conhecimentos prévios necessários, será por estes que se inicia a aprendizagem significativa dos conteúdos relacionados ao som e ao sentido da audição humana.

3.2.2 Recursos didáticos

Para aplicar a sequência didática, sugere-se o uso dos seguintes materiais: quadro branco, canetas para quadro branco, computador, data show, aparelho celular, laboratório de informática.

É importante deixar claro que equipamentos como data show, computador e laboratório de informática não são fundamentais para aplicar esta sequência, pois o uso do aparelho celular permitirá que o estudante possa realizar as atividades virtuais propostas. No entanto, tais equipamentos auxiliam no desenvolvimento das aulas. Para realizar os experimentos, serão necessários alguns materiais que são de fácil acesso. Esses materiais, bem como os roteiros experimentais estão disponíveis nos anexos desta sequência.

3.3 MOMENTO POR MOMENTO

3.3.1 1ª Momento: Natureza ondulatória do som.

3.3.2 Objetivos

- ✓ Entender conceito de onda;
- ✓ Diferenciar onda mecânica de onda eletromagnética;
- ✓ Classificar as ondas quanto à natureza, quanto à direção de propagação e quanto à direção de vibração;
- ✓ Caracterizar as radiações eletromagnéticas como ondas que se propagam no vácuo com a mesma velocidade;

3.3.3 Conteúdos

- ✓ Tópicos de ondulatória;
- ✓ Noções gerais de onda mecânica;
- ✓ Classificação das ondas;
- ✓ Ondas mecânicas;
- ✓ Ondas eletromagnéticas.

3.3.4 Descrição da atividade

Nesta 1ª momento, posterior a coleta das concepções alternativas via formulário online, o professor solicita aos estudantes que acompanhem o seguinte experimento demonstrativo: “*Visualizando ondas sonoras*”, descrito no **Material de Apoio I**, disponível no Anexo 1. O objetivo principal dessa proposta experimental é mostrar aos estudantes que uma onda sonora propagando-se no ar é uma onda de pressão, ou seja, uma perturbação da pressão do ar. Essa onda, ao incidir contra uma superfície ou uma membrana elástica, produz vibrações nessa superfície ou que, na maioria das vezes, tem amplitudes imperceptíveis. Nessa montagem, o feixe de luz refletido tem a função de tornar visualmente perceptíveis as pequenas vibrações da membrana elástica como resultado das ondas sonoras provenientes das palmas.

Após ter realizado a atividade experimental demonstrativa, deve ser realizado um debate sobre a demonstração, permitindo que os estudantes argumentem e opinem sobre o mesmo. O debate pode ser iniciado pelo professor com questionamentos como:

O que fez a membrana elástica vibrar?

Como as ondas sonoras chegaram até a membrana elástica?

A partir daí, faz-se uma explanação sobre tópicos de ondulatória, enfatizando o conceito de onda, sua classificação bem como sua propagação. A partir do questionário aplicado para coletar as concepções, aproveite para verificar se ficou claro para os estudantes o tema abordado até aqui, fazendo questões como qual é a diferença entre uma onda mecânica e uma onda eletromagnética.

3.3.5 Avaliação

Será considerado suficiente se os estudantes apresentarem respostas acerca dos questionamentos feitos pelo professor durante o experimento e que se relacione com a natureza ondulatória som.

3.4 2ª Momento: Sistema auditivo.

3.4.1 Objetivos

- ✓ Entender o sistema auditivo;
- ✓ Associar o som com a orelha;
- ✓ Realizar experimento demonstrativo.

3.4.2 Conteúdo

- ✓ A orelha humana e a audição.

3.4.3 Descrição da atividade

Nesse momento, sugere-se aos estudantes a utilização do aplicativo “*O mecanismo da audição - Mozaik Education*”, que contém animações 3D detalhadas sobre o aparelho auditivo e como ele se comporta na presença de som.

É interessante que o professor solicite aos estudantes para que baixem e instalem em seus celulares esse aplicativo antes de iniciar a aula, pois sua instalação pode levar alguns minutos. Para instalar o aplicativo, o estudante deve abrir o *Playstore* ou *Appstore* de seu celular e procurar por “*mozaik 3D app – 3D Animations*”, conforme mostra a Figura 11.

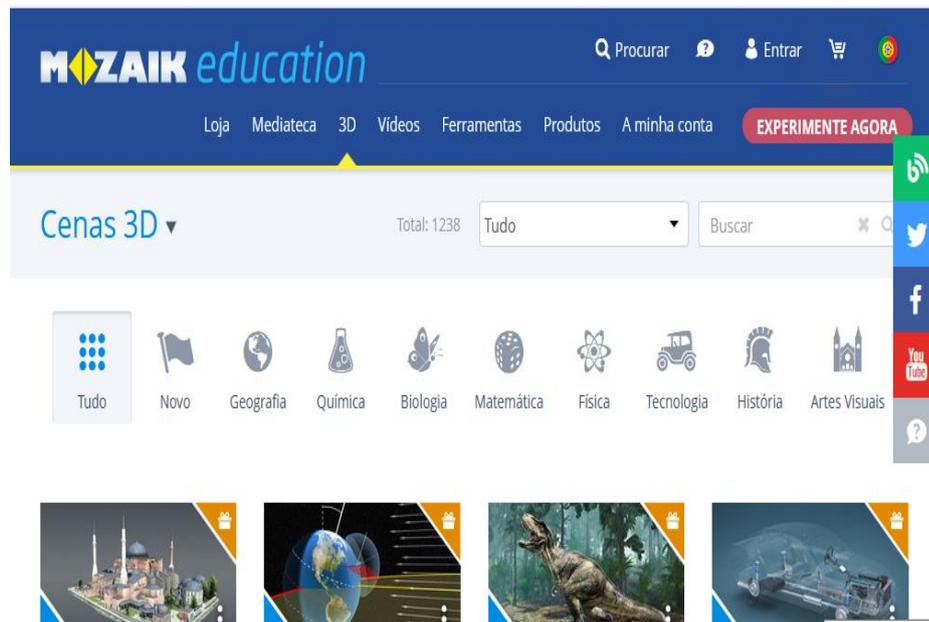
Figura 11 - Aplicativo para baixar na tela do celular.



Fonte: Própria autora, 2019.

Caso o aluno não possua celular, o aplicativo pode ser demonstrado através do computador, projetado via data show. Na Figura 12, observa-se a tela inicial do aplicativo em uma tela de computador.

Figura 12 - Página inicial do *Mozaik Education*.



Fonte: Mozaweb, 2019²⁰.

Após os estudantes interagirem com o aplicativo, podendo verificar detalhadamente como é o sistema auditivo, o professor aproveita esse momento para explicar sobre a orelha humana e seu funcionamento, detalhando em que consiste cada parte e qual a sua função, bem como o som é captado e levado até nosso cérebro. Ao finalizar, o professor deve permitir que os estudantes acessem o aplicativo novamente, agora já sabendo em que consiste o sistema auditivo ao todo. Objetivando reforçar o assunto abordado, pode-se sugerir que os estudantes assistam ao vídeo “A natureza do som e o ouvido humano” [00m00s – 06m09s]²¹, disponibilizando o *link* de acesso - <https://www.youtube.com/watch?v=wsCII5ehL0c> - e permitindo que seja explorado da maneira que o estudante achar mais oportuno.

3.4.4 Avaliação

Será considerado suficiente se os estudantes entenderem o funcionamento do sistema auditivo. É possível avaliar a aprendizagem através de questões como:

- Onde é produzido o sentido da audição? (**R: Orelha**).

²⁰ Disponível em: https://www.mozaweb.com/pt/Extra-Cenas_3D-O_ouvido_e_o_aparelho_auditivo-139742.

²¹ Disponível em <https://www.youtube.com/watch?v=wsCII5ehL0c>. Acesso em 07/07/19.

- Como é dividida a orelha humana? (**R: Orelha externa, orelha média e orelha interna**).
- Como é composta a orelha externa? (**R: Pavilhão auditivo, canal auditivo e tímpano**).
- Quais são os menores ossos do corpo humano? (**R: Martelo, bigorna e estribo**).
- Onde estão localizados esses ossículos? (**R: Orelha média**).
- Onde está situada a cóclea? (**R: Orelha interna**).
- Em que parte da orelha são gerados os impulsos nervosos? (**R: Orelha interna**).
- Qual é o ossículo mais externo, que está ligado ao tímpano? (**R: Martelo**).
- Qual ossículo que faz o fluido existente na cóclea vibrar? (**R: Estribo**).
- O que separa a orelha externa da orelha média? (**R: Membrana timpânica**).

3.5 3ª Momento: Propagação do som no meio.

3.5.1 Objetivos

- ✓ Mostrar que o som se propaga em diferentes meios;
- ✓ Reconhecer que uma onda se propaga sem transportar matéria;
- ✓ Caracterizar as radiações eletromagnéticas como ondas que se propagam no vácuo com a mesma velocidade;
- ✓ Reconhecer os elementos que caracterizam uma onda periódica;
- ✓ Apresentar algumas situações cotidianas nas quais fazemos uso de ondas;
- ✓ Realizar experimentos para verificar a propagação do som nos diferentes meios.

3.5.2 Conteúdos

- ✓ A produção e a propagação do som nos diferentes meios materiais;
- ✓ Velocidade de propagação de uma onda;
- ✓ Características de uma onda;
- ✓ Qualidades fisiológicas do som.

3.5.3 Descrição da atividade

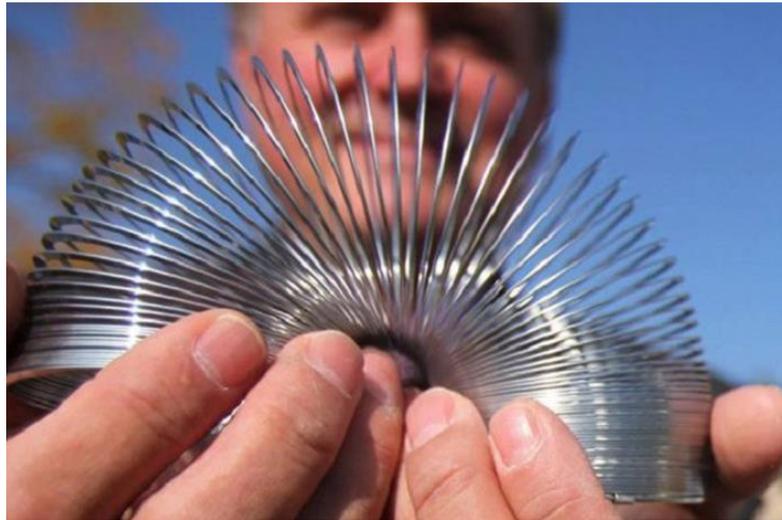
Em um primeiro momento da aula, o professor deve sondar os conhecimentos dos estudantes, indagando sobre o que sabem sobre o som, qual o conceito de som e como ele se propaga. Sugere-se que sejam feitas as seguintes perguntas:

- “O que vocês sabem sobre o som?”
- “O que é som?”
- “Como o som se propaga?”

Poderão surgir respostas como “o som é uma sensação que sentimos que nos permite escutar” ou “o som está relacionado com o barulho” ou ainda “o som é conduzido pelo ar”. É importante que as respostas fornecidas pelos alunos não sejam centradas em “certo” ou “errado”. O professor pode anotar as respostas no quadro branco, a fim de promover uma discussão sobre as mesmas, pois a nova informação estabelece uma ancoragem aos conceitos ou proposições relevantes preexistentes na estrutura do conhecimento do aprendiz. É importante salientar que, a interação realiza-se entre a nova informação e os conceitos já armazenados que são relevantes para essa nova informação.

Depois deste momento, o professor deve colocar uma música para tocar e em seguida questionar “*como o som chega da fonte até os ouvidos*”. Pode aproveitar a ocasião e solicitar para os estudantes citarem diferentes sons e o que os forma, como por exemplo, a garganta vibrando vai gerar um som, a voz. Em seguida, o professor pode comparar o som com molas. Explica que o som é semelhante a uma mola, (Figura 13), pois é formado por ondas que podem comprimir e se expandir, agitando as moléculas que estão presentes no ar até chegar aos nossos ouvidos. E como a mola pode chegar a certa distância, o som também tem limite de propagação.

Figura 13 - Mola maluca que pode ser comparada ao som.



Fonte: Abrin, 2019²².

Atividade Prática²³: Adotando alguns materiais como tambor ou pandeiro, clipes de papel, um diapasão de metal, uma bacia com água, elástico esticado numa base entre dois pregos, um garfo e uma colher de metal, uma régua, o professor deve dividir os estudantes em equipes, orientando que todos deverão realizar todas as atividades, ou seja, as equipes deverão rotacionar entre as estações de forma que todos observem todas as demonstrações, conforme **Material de Apoio II** que se encontra no Anexo 2.

Após todas as equipes participarem de todas as atividades, deve-se realizar uma discussão sobre as demonstrações, questionando quais foram as variedades de meios pelos quais o som se propagou. Nesse momento, o professor explica que o som precisa de um meio para que as ondas possam se propagar e que viaja mais rápido em determinados meios. Questione se o som pode existir no espaço. Saliente sobre os filmes de ficção do tipo “*Star Wars*”, onde ocorrem guerras no espaço que é comum a emissão de sons por explosões. Questione se “É possível escutar esse som?” Deixe os alunos comentarem e ressalte que o espaço é permeado por vácuo, não existindo meio pelo qual o som possa se propagar. Continue indagando quais tipos de ondas foi possível ouvir dos experimentos realizados. Questione: “Para onde as ondas produzidas foram?”. Dê um momento para responderem e explique que todas as ondas

²² Disponível em: <https://www.abrin.com.br/pt-br/noticias/96-mercado/485-mola-maluca-ou-mola-mania-como-esse-brinquedo-foi-parar-nas-maos-das-criancas>. Acesso em 05/10/19.

²³ Adaptado de <https://aulanapratica.wordpress.com/2016/02/23/aula-pratica-as-ondas-sonoras/>. Acesso em 04/12/18).

continuam se expandindo a não ser que bata em um objeto de diferente densidade, um sólido por exemplo. Usando o experimento da água na bacia que bate na borda do recipiente e volta, o professor deve explicar sobre o eco. E aí abordar que alguns animais utilizam este recurso para sua sobrevivência. O eco é de fundamental importância para os morcegos, pois estes emitem um som, chamado ultrassom, que não podemos ouvir, pois está fora de nossa faixa de frequência. Como são seres com visão extremamente limitada, eles conseguem perceber os obstáculos à sua frente através da emissão destes ultrassons. Ao baterem nos obstáculos, essas ondas voltam. Pelo intervalo de tempo entre o som emitido e o refletido, os morcegos conseguem perceber a que distância se encontra dos obstáculos, evitando que eles batam nos objetos, como árvores ou outros, além de ajudar com que localizem suas presas ou seus predadores. Disponibilize o texto do **Material de apoio III** que se encontra no Anexo 3: “Que animais enxergam por meio de sons e como eles conseguem fazer isso?”.

3.5.4 Avaliação

Será considerado satisfatório se os estudantes concluírem que o som viaja por diferentes materiais e que sua velocidade muda dependendo do meio em que se propaga.

Sugere-se verificar se houve aprendizagem através de questões orais como:

- Por que não é possível ouvir o barulho do som no vácuo?

- Se a densidade do ar quente é menor do que a do ar frio, por que o som se propaga com maior velocidade no ar quente?

- Ao dar um grito em uma sala vazia, por que o som é escutado duas vezes sendo que só foi emitido uma vez? Por que não percebemos isso acontecer numa sala com muitos objetos ou pessoas?

Espera-se como respostas:

- Porque o som precisa de um meio material para se propagar.

- Quanto maior a densidade, maior será a velocidade do som.

- Em uma sala vazia, as ondas sonoras batem nas paredes e retornam para quem a emitiu, formando o eco. Em uma sala com muitos objetos ou pessoas, o som sofre mudanças em sua direção e não ocorre o retorno da mesma forma de quando o eco é formado.

3.6 4ª Momento: Percepção do som e a orelha.

3.6.1 Objetivos

- ✓ Demonstrar que os sons parecem distorcidos quando chegam até nós se propagando por outros materiais diferentes.

3.6.2 Conteúdos

- ✓ Percepção de sons graves e agudos.
- ✓ Frequência.

3.6.3 Descrição da atividade

Os estudantes devem ser encaminhados para o laboratório de informática com acesso a internet e realizar a atividade descrita abaixo. O professor deve organizar a turma de acordo com o número de computadores disponíveis, mas o interessante é que todos possam interagir com o experimento de caráter virtual. O aplicativo também pode ser acessado e instalado através do aparelho celular.

Através do aplicativo *Phet Colorado*, vamos verificar e fazer uma discussão qualitativa acerca de alguns conceitos de ondas sonoras. Para isso, os estudantes deverão realizar a atividade proposta conforme **Material de apoio IV** disponível no Anexo 4 e anotar as observações.

3.6.4 Avaliação

Será considerado satisfatório se os estudantes apresentarem respostas relacionadas com som grave e agudo e concluírem que a frequência está diretamente ligada com o mesmo.

Sugere-se fazer questões como:

- Qual a diferença entre o som agudo e o som grave?
- Classifique a voz masculina e a feminina quanto ao som.

- O que ocorre com o som quando você altera a frequência?
- Ao se aproximar de uma fonte sonora, o som se torna mais grave ou mais agudo? E ao se afastar?
- Que relação a pressão tem com o som?

Respostas esperadas:

- Os sons altos ou sons agudos apresentam grandes frequências, e os sons baixos ou sons graves apresentam baixas frequências.
- A voz masculina é grave e a voz feminina é aguda.
- À medida que se altera a frequência, percebe-se que o som se torna mais grave ou mais agudo.
- Ao se aproximar de uma fonte sonora, percebe-se que o som emitido pela fonte é mais agudo e quando a fonte se afasta, o mesmo observador perceberá um som mais grave.
- Ao sofrer uma contração, uma onda faz com que a pressão naquele ponto aumente, e ao sofrer uma expansão, a pressão diminui. Quando chegam até a orelha, o sistema auditivo capta essas variações de pressão no meio, dando a sensação de som.

REFERÊNCIAS

- Animações 3D. **O mecanismo da audição - Mozaik Education**. Disponível em: <https://www.mozaweb.com/pt/lexikon.php?cmd=getlist&let=7>. Acesso em 27/07/2019.
- BONJORNO, et al. Física: terminologia, óptica, ondulatória. 2º ano. 3.ed. São Paulo: FTD, 2016.
- CAS RJ, 2013. **Ouvido e perda auditiva**. Disponível em <http://casrio.blogspot.com/2013/03/ouvido-e-perda-auditiva.html>.
- GASPAR, A. **Compreendendo a Física - Vol. 2 - Ondas, Óptica e Termodinâmica**. São Paulo: Ed. Ática, 2017.
- GUIMARÃES, O. et al. **Física**. 2. ed. São Paulo: Ática, 2016.
- GUYTON, A. C.; HALL, J. E. **Tratado de Fisiologia**. 10ª ed. Rio de Janeiro: Ed. Guanabara Koogan S.A., 2002.
- HANNING, C. 2018. **Orelha externa: estrutura, função**. Disponível em: <https://pt.carolchanning.net/zdorove/117933-uho-naruzhnoe-stroenie-funkcii-vospaleniie-naruzhnogo-uha-cheloveka.html>.
- MOREIRA, M. A. **Teorias de Aprendizagem**. 2ª. ed. São Paulo: E.P.U., 2014.
- NUSSENZVEIG, H. Moisés. Curso de Física Básica vol. 2. Ed.Edgar Blucher: 1981.
- PIETROCOLA, M. *et al.* **Física em contextos**. vol. 2. São Paulo: Editora do Brasil, 2016.
- PUJOL, R. **Viagem ao mundo da audição**. 2018. Disponível em: <http://www.cochlea.org/po/som/campo-auditivo-humano>. Acesso em 06/09/2019.
- SILVEIRA, Carolina Pinheiro da. **Atividades experimentais para o ensino de Física ondulatória no Ensino Médio e NEJA**. Volta Redonda, 2017.
- Simulação do som. **Phet Colorado**. Disponível em: https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulation/legacy/sound. Acesso em 19/07/2019.
- TORRES, Carlos Magno, FERRARO, Nicolau Gilberto, SOARES, Paulo Antônio de Toledo. **Física – ciência e tecnologia**. Vol. 1, 2 e 3. São Paulo: Moderna, 2010.
- VARELLA, M. **Corpo humano: orelha interna**. 2019. Disponível em <https://drauziovarella.uol.com.br/corpo-humano/orelha-interna/>

ANEXOS

ANEXO 1 - MATERIAL DE APOIO I - VISUALIZAÇÃO DE ONDAS SONORAS²⁴”.

Realizando o experimento sobre “Visualização de ondas sonoras” é possível mostrar aos estudantes que uma onda sonora propagando-se no ar é uma onda de pressão, ou seja, uma perturbação da pressão do ar. Essa onda, ao incidir contra uma superfície ou uma membrana elástica, produz vibrações nessa superfície ou que, na maioria das vezes, tem amplitudes imperceptíveis. Nessa montagem, o feixe de luz refletido tem a função de tornar visualmente perceptíveis as pequenas vibrações da membrana elástica como resultado das ondas sonoras provenientes das palmas.

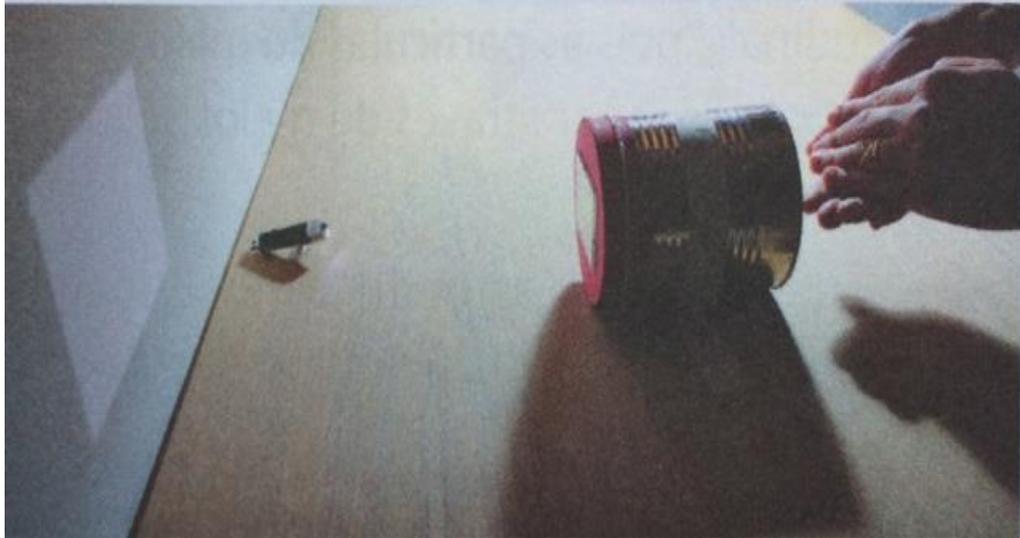
Os materiais necessários para realizar essa atividade são: uma lata vazia de leite em pó; abridor de latas; uma bexiga; um pequeno espelho plano; uma lanterna; barbante; tesoura; cola e fita adesiva.

Procedimento:

Usando o abridor de latas, retire o fundo da lata de leite em pó. Tome cuidado para não se ferir. Com a tesoura, corte uma das laterais da bexiga. Retire a tampa da lata, estique bem a membrana de borracha sobre a borda superior da lata e prenda-a firmemente com o barbante, formando uma espécie de tambor. Usando a cola, fixe o espelho plano no centro da membrana elástica, deixando a superfície refletora do espelho voltada para fora. Depois da cola ter secado, fixe, com a fita adesiva, a lata deitada sobre uma mesa num local que esteja com pouca iluminação e direcione o feixe de luz da lanterna contra o espelho de modo que o feixe refletido ilumine uma parede próxima. Posicione-se diante da extremidade aberta da lata e bata palmas, como mostra a Figura 1. Se preferir, coloque um rádio ligado na frente da abertura.

²⁴ Adaptado de “Proposta experimental” disponível no livro didático de Física – TORRES, Carlos Magno, FERRARO, Nicolau Gilberto, SOARES, Paulo Antônio de Toledo. **Física – ciência e tecnologia**. Vol. 1, 2 e 3. São Paulo: Moderna, 2010.

Figura 1 - Montagem do experimento: “Visualizando ondas sonoras”.



Fonte: TORRES, 2010.

Questione aos estudantes: “O que acontece com o feixe de luz ao iluminar a parede?”

Deixe os estudantes observarem, indagarem e com base nessa demonstração, possam tirar uma conclusão sobre a correlação entre os tipos de ondas envolvidas nessa experiência.

ANEXO 2 - MATERIAL DE APOIO II – PROPAGAÇÃO DO SOM NOS DIFERENTES MEIOS MATERIAIS²⁵.

Esta atividade inclui diferentes estações que deve ser realizada em um laboratório. Para melhor aproveitamento da aula, deixe todas as atividades previamente preparadas com as devidas instruções em cada uma. Caso a escola não disponibilize de um laboratório, essa atividade pode ser realizada na sala de aula.

Nessa atividade, você vai precisar dos seguintes materiais: pandeiro ou tambor, cliques de papel, um diapasão de metal, uma bacia com água, elástico esticado numa base entre dois pregos, um garfo e uma colher de metal e uma régua.

Procedimentos: Divida os estudantes em equipes, orientando que todos deverão realizar todas as atividades, ou seja, as equipes deverão rotacionar entre as estações de forma que todos observem todas as demonstrações.

Atividade 1 – Bata com o garfo na colher e coloque para perto da sua orelha, conforme mostra a Figura 1.

Figura 1 - Estudante batendo garfo com colher próximo a orelha.

²⁵ Adaptado de <https://aulanapratca.wordpress.com/2016/02/23/aula-pratica-as-ondas-sonoras/>. Acesso em 04/12/18.



Fonte: Própria autora, 2019.

Atividade 2 – Coloque a mão ao lado da sua garganta e diga “aahh”, conforme a Figura 2. Verifique o que você sente.

Figura 2 - Estudante sentindo vibração da garganta.



Fonte: Própria autora, 2019.

Atividade 3 – Cuidadosamente, bata com o diapasão em uma superfície sólida e depois coloque as pontas do garfo na bacia com água.

Figura 3 - Após bater o diapasão em uma base sólida, colocou-se em contato com a água.



Fonte: Própria autora, 2019.

Atividade 4 – Toque o tambor e observe o que acontece com os cliques que estão em cima, conforme a Figura 4.

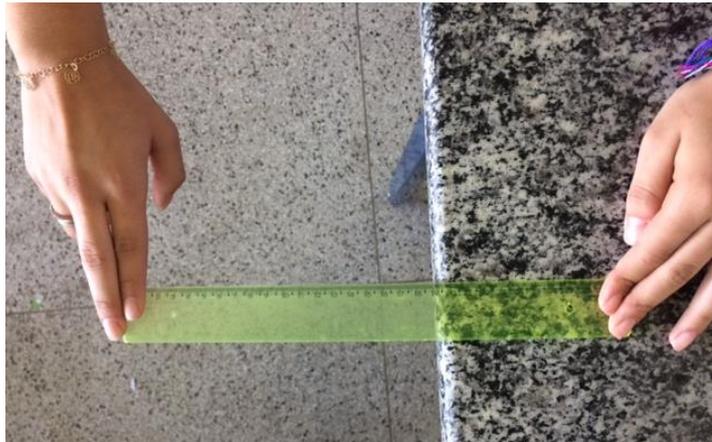
Figura 4 - Tambor com cliques.



Fonte: Própria autora, 2019.

Atividade 5 – Posicione a régua na beira da mesa deixando cerca de um terço da régua para fora, como mostra a Figura 5. Depois, deve-se segurar a régua bem firme e bater na ponta. Observe o que aconteceu.

Figura 5 - Estudante segurando uma régua e batendo na ponta.



Fonte: Própria autora, 2019.

Atividade 6 – Toque o elástico como uma corda de violão, como mostra a Figura 6.

Figura 6 - Suporte com elástico.



Fonte: Própria autora, 2019.

Atividade 7 – Se possível, cada equipe deve produzir um som em uma sala vazia, objetivando perceber o eco.

ANEXO 3 - MATERIAL DE APOIO III - QUE ANIMAIS ENXERGAM POR MEIO DE SONS E COMO ELES CONSEGUEM FAZER ISSO?²⁶

André Santoro

Nos golfinhos, o sistema é ainda mais preciso, pelo fato de, dentro d'água, o som se propagar a uma velocidade 4,5 vezes maior. Os grandes especialistas nesta arte – chamada de ecolocalização ou biossonar – são os golfinhos e os morcegos. Ambos possuem uma visão aguçada, que funciona perfeitamente durante o dia, mas normalmente precisam caçar e se locomover em ambientes com pouca luz. Em tais casos, eles conseguem enxergar sem utilizar os olhos, emitindo sons de alta frequência, em geral inaudíveis para o ser humano. “Essas ondas sonoras batem na presa – e nos obstáculos à frente – e retornam na forma de ecos, que, por sua vez, são decodificados como um mapa pelo cérebro do bicho”, diz a bióloga Eliana Morielle, da Universidade Estadual Paulista (Unesp). Nos morcegos, o grau de precisão é tão elevado que certas espécies conseguem detectar a presença de um fio de apenas 0,5 milímetro de espessura em pleno vôo rasante. Nos golfinhos, o sistema é ainda mais preciso, pelo fato de, dentro d'água, o som se propagar a uma velocidade 4,5 vezes maior.

Assim, eles conseguem identificar peixes pequenos a distâncias de até 200 metros. Existem algumas espécies de pássaros que vivem em cavernas, ou têm hábitos noturnos, que também desenvolveram uma ecolocalização rudimentar, que só serve para a locomoção. E até mesmo um ser humano, acredite, pode utilizar a audição para localizar objetos ou evitar um obstáculo. “Quem é cego de nascença desenvolve a audição a tal ponto que esse sentido acaba substituindo, em parte, a visão”, afirma o biólogo O'Dell Henson, da Universidade da Carolina do Norte, nos Estados Unidos.

Caçada no escuro: Sonar permite ao morcego se orientar em ambientes com pouca ou nenhuma iluminação.

²⁶ Texto extraído da revista Super interessante, publicado em 30 abr 2002. Disponível em <https://super.abril.com.br/ciencia/que-animais-enxergam-por-meio-de-sons-e-como-eles-conseguem-fazer-isso/> Acesso 18/08/2019.

VISÃO AUDITIVA - Existem cerca de 1000 espécies de morcegos e quase todas têm a capacidade de se orientar no escuro por meio das ondas sonoras e seus reflexos. Esse mecanismo de ecolocalização – também chamado de biossonar – só foi descoberto pela ciência em 1938.

BEM DOTADO - Para que o sonar do morcego funcione perfeitamente, o cérebro do animal possui um córtex auditivo (ponto em vermelho) extremamente desenvolvido. O sistema nervoso do bicho é tão sensível que possui até neurônios especializados em detectar a velocidade da sua presa

LANCHE À VISTA - A distância é medida pelo tempo que o som leva para ser refletido. Quanto mais rápido o eco voltar, mais próxima está a presa. A velocidade do inseto é calculada pelo chamado efeito Doppler: quanto maior a velocidade, maior a variação na frequência do som. A partir do ângulo de entrada do som em seu aparelho auditivo, o morcego consegue “visualizar” a presa em três dimensões – altura, largura e profundidade

NAVEGAÇÃO PRECISA - Os golfinhos são capazes de nadar à noite ou em águas turvas graças ao biossonar.

FLECHA NORA - O animal produz o som na traqueia e nas cavidades nasais (acima dos olhos). Em seguida, o sinal sonoro passa por uma camada de tecido gorduroso que serve como uma lente focalizadora: em vez de se dispersar em todas as direções, o sinal é emitido para a frente, acompanhando o movimento do golfinho

IDA E VOLTA - O som que retorna em eco é absorvido, em grande parte, pelas cavidades do maxilar inferior. De lá, os sinais seguem até o ouvido e chegam ao nervo auditivo, que desemboca no cérebro – onde os ecos são interpretados conforme a variação da frequência e outras informações:

1 – Assim que recebe o eco do primeiro som emitido, o golfinho gera outro “clique”. O lapso de tempo entre emissão e recepção permite que o animal calcule a distância que o separa do obstáculo à frente. Essa variação também é útil para que o golfinho avalie outras informações, como a velocidade e o tamanho de uma presa potencial.

2 – O cérebro do golfinho é extremamente ágil para processar as informações relativas à distância e às dimensões do obstáculo à sua frente e à presa que está perseguindo. Essa sensibilidade funciona melhor numa faixa de distância entre 5 e 200 metros – e permite que o animal identifique pequeninas presas de até 5 centímetros.

3 – Mesmo nadando em velocidade, ele consegue se desviar a tempo de prosseguir a caçada. Mas, ao se aproximar do obstáculo ou da presa, o golfinho precisa do auxílio da visão ocular. Estudos recentes provaram que golfinhos que não enxergam com os olhos têm a ecolocalização menos eficiente.

SÓ ELES PERCEBEM - O biossonar é inaudível para o ser humano. Nós não ouvimos a maior parte dos guinchos produzidos pelos morcegos, pois a frequência das ondas sonoras é muito alta. O som mais agudo que um ser humano consegue escutar tem 20 kHz frequência entre 20 e 200 kHz. Os golfinhos também emitem sons que não conseguimos escutar. Cada “clique” emitido por eles dura, no máximo, 128 microssegundos (1 microssegundo equivale a 1 milionésimo de segundo) frequência entre 40 e 150 kHz.

ANEXO 4 - MATERIAL DE APOIO IV - PERCEPÇÃO DO SOM E A ORELHA.

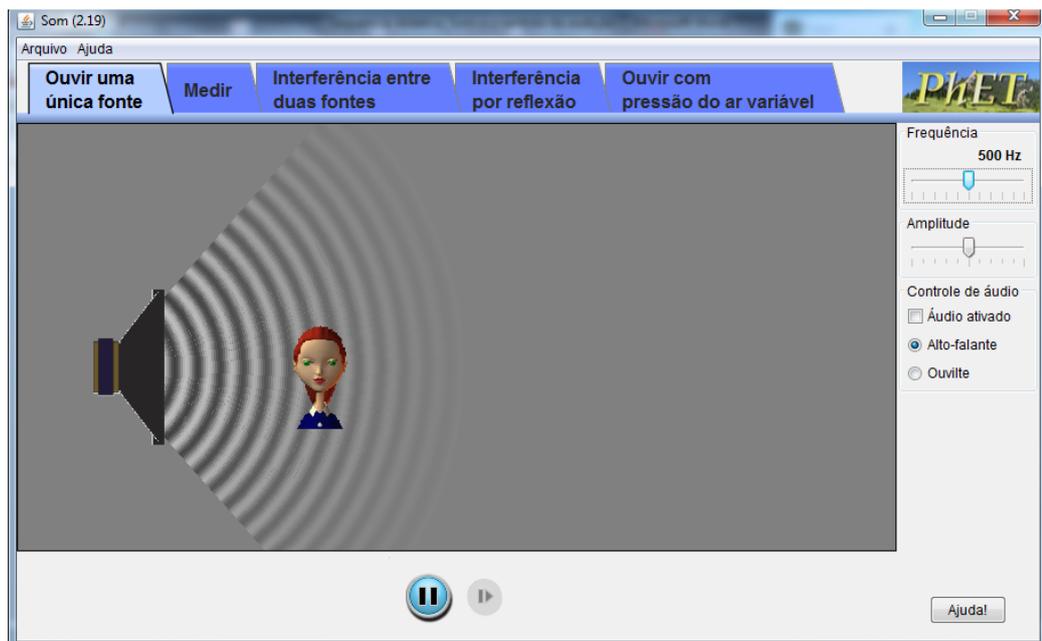


Atividade prática²⁷: Através do aplicativo *Phet Colorado*, vamos verificar e fazer uma discussão qualitativa acerca de alguns conceitos de ondas sonoras. Para isso, os estudantes devem realizar cada uma das atividades propostas abaixo e anotar as observações. É importante ressaltar que o computador necessita do *software Java*

instalado.

1. Utilizando um navegador de internet, solicite aos estudantes que acessem o *link* que levará para a simulação do som: https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulation/legacy/sound.

Figura 1 - Tela da página de execução do simulador do Som.



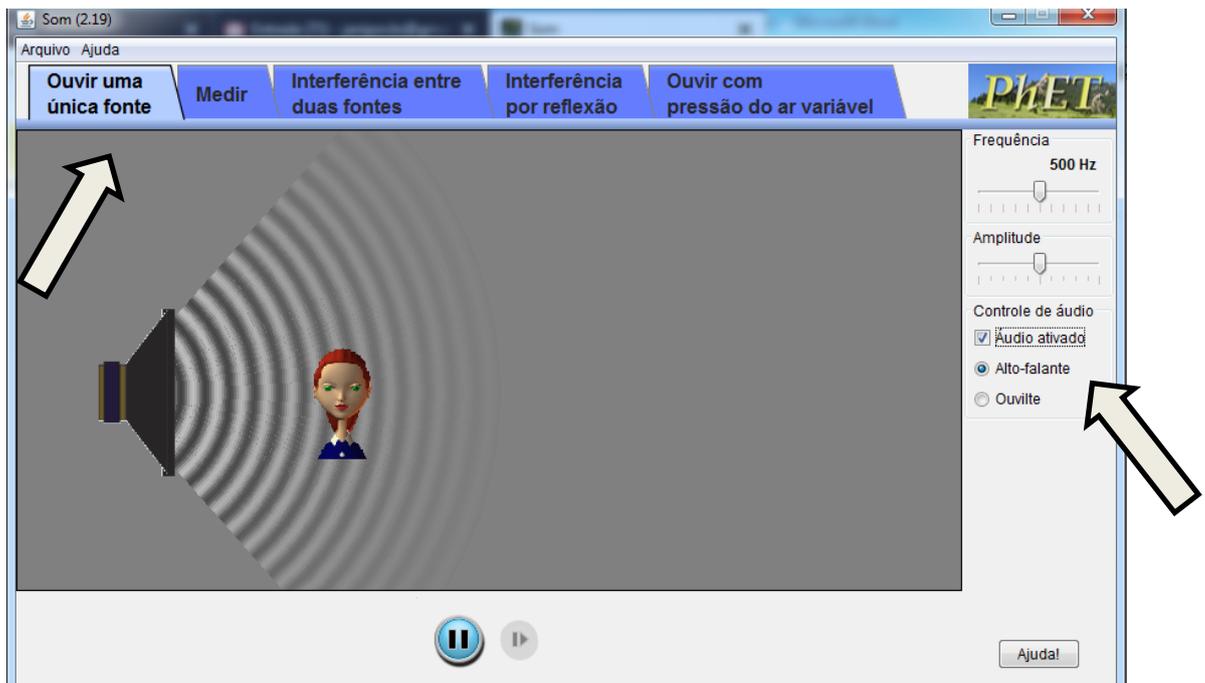
Fonte: Phet Interactive Simulations, 2019²⁸.

²⁷ MONÇÃO, Guilherme Wendell. **Roteiro para Utilização de Aplicativo sobre Ondas Sonoras**. Disponível em https://phet.colorado.edu/pt_BR/contributions/view/4454. Acesso em 06/08/2019.

²⁸ Phet Interactive Simulations, 2019. Disponível em: https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulation/legacy/sound. Acesso em 02/09/2019.

2. Clicar em ouvir uma única fonte, conforme mostra a Figura 2. Na opção controle de áudio, clicar em áudio ativado, e depois em alto falante.

Figura 2 - Tela mostrando onde alterar a frequência.



Fonte: Phet Interactive Simulations, 2019.

No canto direito da tela, encontramos a opção onde é possível variar a frequência e a amplitude da onda. Peça para manter a amplitude constante e variar a frequência. Observar o que acontece e anotar.

Ainda com base na sua observação acima, os estudantes devem responder:

- ✓ Conforme se variava a frequência, o que acontecia com o som? Se tornava alto, baixo ou ambos? Justifique.

3. Agora, os estudantes devem clicar na opção medir, situado no canto superior do aplicativo, conforme a Figura 3.

Figura 3 - Tela mostrando como medir comprimento de onda conforme se altera a frequência.



Fonte: Phet Interactive Simulations, 2019.

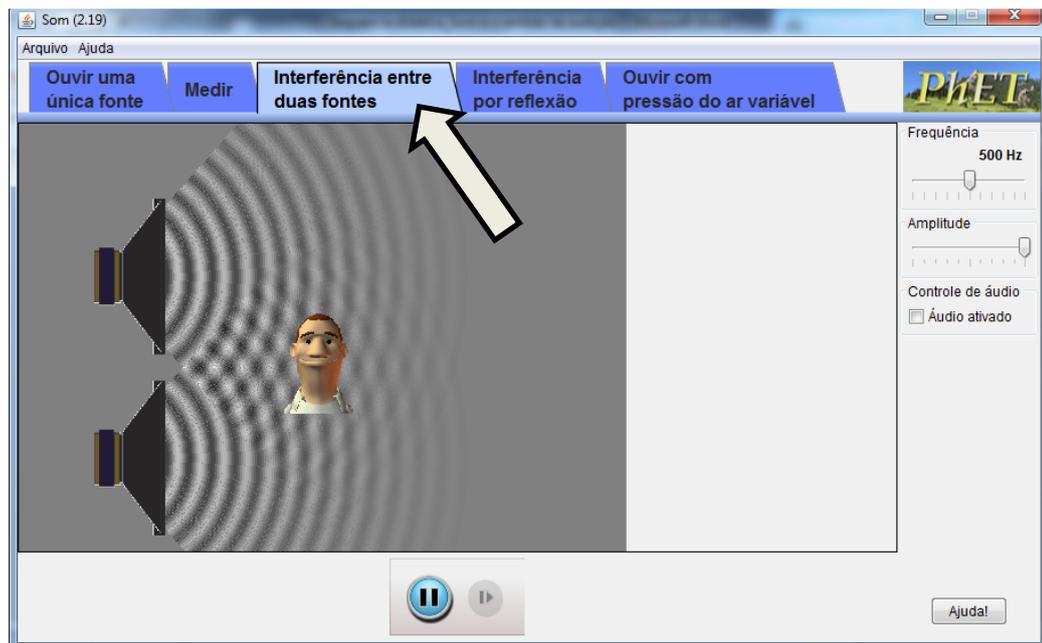
Manter a amplitude constante e variar a frequência. A partir do que foi observado na simulação, solicite aos estudantes para que escrevam sobre a relação entre a frequência e o comprimento de onda.

Em seguida, os estudantes devem responder:

- ✓ Quando a fonte sonora se aproxima do observador, por quê se tem a impressão de que o som é mais agudo e quando a fonte se afasta o som parece ser mais grave?
- ✓ Qual fenômeno está relacionado com a questão acima?
- ✓ Dê um exemplo do seu cotidiano em que você observa o ocorrido.

4. No canto superior do aplicativo, clicar na opção interferência entre duas fontes, conforme a Figura 4:

Figura 4 - Tela mostrando interferência de ondas.



Fonte: Phet Interactive Simulations, 2019.

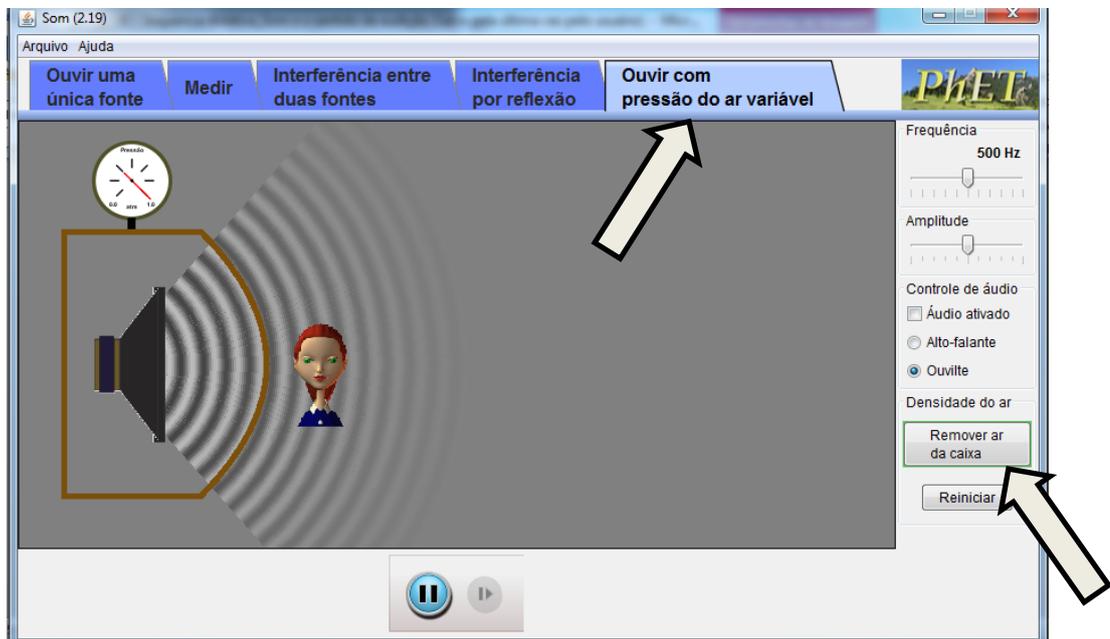
Em seguida, devem escolher uma frequência e um nível de amplitude para a sua onda. Depois, solicite para clicar sobre o observador da simulação e o movimentar para todas as partes, analisando o que está acontecendo ao movimentar o observador e assim descrever o ocorrido. Também é possível posicionar o observador em diversos pontos da tela e observar o que está acontecendo em cada ponto.

E então, responder:

- ✓ Relacionado à interferência sonora, quais são os dois tipos de interferência?
- ✓ E qual a relação de ambas referente a análise da questão acima?

5. Agora, na parte superior do aplicativo, clicar na opção “ouvir com pressão do ar variável”, conforme a Figura 5 e, em seguida, clicar em “remover ar da caixa”, posicionado ao lado direito do simulador.

Figura 5 - Tela mostrando como ouvir com pressão do ar variável.



Fonte: Phet Interactive Simulations, 2019.

Saliente para os estudantes ficarem atentos ao medidor de pressão.

E por fim, devem responder:

- ✓ O que acontece com o som conforme diminui a pressão?
- ✓ Baseado no que você já aprendeu e tendo como apoio o aplicativo, explique a sua resposta da questão acima, dando enfoque nos conceitos físico.