



UNIVERSIDADE FEDERAL DO MARANHÃO
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENSINO DE FÍSICA
MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA

**A FLAUTA-DOCE COMO RECURSO DE ENSINO E APRENDIZAGEM
SIGNIFICATIVA DE ONDAS SONORAS NO ENSINO FUNDAMENTAL**

WELLINGTON SANTOS ARAÚJO

São Luís
2025

A FLAUTA-DOCE COMO RECURSO DE ENSINO E APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA DE ONDAS SONORAS NO ENSINO FUNDAMENTAL

WELLINGTON SANTOS ARAÚJO

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física no Curso de Mestrado Profissional de Ensino de Física (MNPEF), como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Orientadora:

Dra. Raisia Marya Corrêa Souza Diniz

São Luís
2025

**A FLAUTA-DOCE COMO RECURSO DE ENSINO E APRENDIZAGEM
SIGNIFICATIVA DE ONDAS SONORAS NO ENSINO FUNDAMENTAL**

WELLINGTON SANTOS ARAÚJO

Dissertação de Mestrado submetida ao Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física no Curso de Mestrado Profissional de Ensino de Física (MNPEF), como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física

Aprovada por:

Dra. Raísa Marya Corrêa Souza Diniz
Orientadora
Universidade Estadual do Maranhão - UEMA

Dr. Jerias Alves Batista
Membro interno
Universidade Federal do Maranhão - UFMA

Dr. Samir Silva Coutinho
Membro externo
Instituto Federal do Maranhão - IFMA

São Luís
2025

Ficha gerada por meio do SIGAA/Biblioteca com dados fornecidos pelo(a) autor(a).
Diretoria Integrada de Bibliotecas/UFMA

Santos Araújo, Wellington.

A FLAUTA-DOCE COMO RECURSO DE ENSINO E APRENDIZAGEM
SIGNIFICATIVA DE ONDAS SONORAS NO ENSINO FUNDAMENTAL /
Wellington Santos Araújo. - 2025.

129 p.

Orientador(a): Raísa Marya Corrêa Souza Diniz.

Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-graduação em
Rede - Ensino de Física em Rede Nacional/ccet,
Universidade Federal do Maranhão, São Luís, 2025.

1. Ensino de Física. 2. Ondas Sonoras. 3. Flauta
Doce. 4. Aprendizagem Significativa. I. Corrêa Souza
Diniz, Raísa Marya. II. Título.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, pois em vários momentos achei que não ia conseguir, mas com sua infinita graça, força, orientação e bênçãos, Ele me ajudou até aqui.

Agradeço também minha orientadora Prof. Dra. Raisa Marya Corrêa Souza Diniz, pelo apoio, orientação, ensinamentos e incentivo durante o meu mestrado.

Meu reconhecimento também se estende ao Prof. Dr. Eduardo Moraes Diniz, ao Professor Dr. Jerias Alves Batista, por suas contribuições na redação e correção do texto e ao Prof. Dr. Samir Silva Coutinho, pelas primeiras orientações e incentivo.

Agradeço à minha esposa Kátia Regina Mendes Carvalho, pelo amor, compreensão e apoio incondicional que foram essenciais para a realização deste sonho.

Por fim, agradeço a todos os professores e funcionários do Mestrado Nacional Profissional em Ensino De Física, polo 47.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

RESUMO

O ensino-aprendizagem de Ciências no Ensino Fundamental pode ser um desafio, pois é uma etapa em que a criança possui pouca fundamentação matemática. Os conhecimentos prévios, às vezes com erros conceituais, podem atrapalhar o estudo de tais conteúdos, porém, devidamente trabalhadas, servem como âncoras para fixar novos temas, ideia básica dos subsunçores de Ausubel, na Teoria da Aprendizagem Significativa, arcabouço teórico educacional para esse trabalho. Partindo do estudo das ondas sonoras, elaboramos uma cartilha para motivar o professor a desenvolver aulas usando a flauta-doce, instrumento musical acessível e barato, visando apresentar conceitos de ondas sonoras, timbre, frequência, intensidade sonora, altura etc. Esse produto educacional foi desenvolvido no “Colégio Militar Tiradentes XII”, nas três turmas do 9º ano. Foram aplicados três tipos de questionário: o pré-teste, para avaliar os conhecimentos prévios, o pós teste, para buscar indícios de aprendizagem significativa após uma sequência de aulas e outro de autoavaliação ao final da aplicação do produto educacional. Os resultados mostram aumento de respostas corretas em nove das dez questões. Cinco delas entre 8,5% e 16,7% de aumento de acertos, mostrando evolução da compreensão dos conceitos de som, frequência, infrassons, tipos de ondas e nível sonoro. Duas entre 20% e 24,4%, mostrando melhoria no cálculo da frequência, seu uso para distinguir sons e compreensão do conceito de comprimento de onda. A compreensão do intervalo de sons audíveis cresceu pouco, pois já era alto, aumentando apenas 3,1%. A compreensão da faixa de ultrassons praticamente não sofreu alterações, ficando em torno de 64% de acertos. Na autoavaliação, 77,6% dos alunos deram conceito bom a ótimo para sua aprendizagem com o projeto. Um total de 94,8% dos alunos deu conceito de bom a ótimo para o projeto e 94,7% dos alunos deram conceito de bom a ótimo para a metodologia do professor. Os resultados mostram indícios de aprendizagem significativa.

Palavras-chave: Ensino de Física. Ondas Sonoras. Flauta Doce. Aprendizagem Significativa.

ABSTRACT

Teaching and learning science in elementary school can be a challenge, as it is a stage in which children have little mathematical foundation. Prior knowledge, sometimes with conceptual errors, can hinder the study of such content, however, when properly worked on, they serve as anchors for establishing new themes, a basic idea of Ausubel's subsumers, in the Theory of Meaningful Learning, the theoretical educational framework for this work. Based on the study of sound waves, we developed a booklet to motivate teachers to develop classes using the recorder, an accessible and inexpensive musical instrument, aiming to present concepts of sound waves, timbre, frequency, sound intensity, pitch, etc. This educational product was developed at the “Colégio Militar Tiradentes XII”, in the three 9th grade classes. Three types of questionnaires were administered: a pre-test to assess prior knowledge; a post-test to assess evidence of significant learning after a sequence of classes; and a self-assessment at the end of the educational product. The results show an increase in correct answers in nine of the ten questions. Five of them had an increase in correct answers between 8.5% and 16.7%, showing an improvement in the understanding of the concepts of sound, frequency, infrasound, types of waves and sound level. Two of them had an increase in accuracy between 20% and 24.4%, showing an improvement in the calculation of frequency, its use to distinguish sounds and understanding of the concept of wavelength. The understanding of the range of audible sounds grew little, as it was already high, increasing only 3.1%. The understanding of the ultrasound range suffered practically no changes, remaining at around 64% of correct answers. In the self-assessment, 77.6% of the students rated their learning with the project as good to excellent. A total of 94.8% of students rated the project from good to excellent and 94.7% of students rated the teacher's methodology from good to excellent. The results show evidence of meaningful learning.

Keywords: Teaching Physics. Acoustics. Recorder. Meaningful Learning.

LISTA DE FIGURAS

	p.
Figura 2.1 Sistema massa-mola	16
Figura 2.2 Relação entre um MHS e um MCU	17
Figura 2.3 Ondas na superfície da água	19
Figura 2.4 Ondas longitudinais e ondas transversais	19
Figura 2.5 Fonte de MHS gerando uma onda senoidal	20
Figura 2.6 Regiões de expansão e compressão de uma onda longitudinal	21
Figura 2.7 Onda transversal em uma corda	22
Figura 2.8 Onda longitudinal dentro de um tubo	25
Figura 2.9 Tubo cilíndrico contendo um gás	25
Figura 2.10 Ondas com frequências diferentes	27
Figura 2.11 Formas de onda com mesma frequência em instrumentos diferentes.	28
Figura 5.1 Flautas soprano, contralto e tenor	37
Figura 5.2: Flauta soprano	38
Figura 5.3: Partes da flauta	38
Figura 5.4: Partes da cabeça da flauta	39
Figura 5.5: Parte posterior da flauta, com furo	39
Figura 5.6: Escala musical: dó 3 ao dó 4	40
Figura 5.7: Flauta totalmente fechada: nota dó 3	40
Figura 5.8: Posição dos dedos sobre a flauta	41
Figura 5.9: Digitação das notas ré 3, mi 3, fá 3, sol 3, lá 3, si 3	41
Figura 5.10: Digitação da nota dó 4	42
Figura 5.11: Companhia Barrica, São Luís – MA	43
Figura 5.12: Vibração de uma régua	44
Figura 5.13: Compressão do ar em uma seringa	44
Figura 5.14: Cabeça da flauta doce mostrando a janela	45
Figura 5.15: Elementos de uma onda	46
Figura 5.16: Onda transversal	46
Figura 5.17: Onda longitudinal	47
Figura 5.18: Ondas de alta frequência (a) e baixa frequência (b)	47
Figura 5.19: Medição da frequência cardíaca	48
Figura 5.20: Questão: relação entre ondas, corpo humano e saúde	52
Figura 5.21: Ouvido humano	52
Figura 5.22: Digitação da escala musical	53
Figura 5.23: Espectro sonoro	54
Figura 5.24: Teste da AudiTech Solution	54
Figura 5.25: Questão: relação entre ondas e tecnologia	55
Figura 5.26: Simulação de ondas sonoras	56

Figura 5.27: Escala de decibéis	57
Figura 6.1: Aluno respondendo ao questionário pré-teste	58
Figura 6.2: Exibição do vídeo da Companhia Barrica	59
Figura 6.3: Régua em vibração	59
Figura 6.4: Vídeo de cantores: vozes masculinas e femininas	60
Figura 6.5: Bola no prato, causando perturbação na água	60
Figura 6.6: Compressão do ar em uma seringa	61
Figura 6.7: Cabeça da flauta, mostrando a janela e a lâmina	61
Figura 6.8: Professor e aluno produzindo onda em uma corda	62
Figura 6.9: Alunos medindo a frequência cardíaca	62
Figura 6.10: Alunos convertendo unidades de velocidade	66
Figura 6.11: Questão: relação entre ondas, corpo humano e saúde	66
Figura 6.12: Aula sobre o ouvido humano	67
Figura 6.13: Ouvido humano	67
Figura 6.14: Flauta doce barroca soprano de acetato Yamaha	68
Figura 6.15: Partes da flauta doce barroca soprano	68
Figura 6.16: Partes da flauta doce barroca soprano	69
Figura 6.17: Partes da cabeça da flauta doce barroca soprano	69
Figura 6.18: Escala musical	70
Figura 6.19: Escala musical na flauta doce	70
Figura 6.20: Espectro sonoro	71
Figura 6.21: Faixa de frequências de 20 Hz a 20.000	71
Figura 6.22: Questão trabalhada em sala de aula a partir do livro didático	72
Figura 6.23: Resolução e discussão dos exercícios do livro texto	73
Figura 6.24: Simulação de ondas sonoras	73
Figura 6.25: Escala de níveis sonoros	74
Figura 6.26: Alunos baixando o aplicativo do decibelímetro	75

LISTA DE GRÁFICOS

	p.
Gráfico 1: Condições para que haja som	76
Gráfico 2: O que é a frequência de uma onda?	77
Gráfico 3: Sons, de acordo com a frequência	78
Gráfico 4: Como podemos medir o comprimento de onda?	79
Gráfico 5: Aplicação do conceito de frequência	80
Gráfico 6: Sons audíveis pelo ouvido humano	81
Gráfico 7: O que são infrassons?	82
Gráfico 8: O que são ultrassons?	83
Gráfico 9: Tipos de onda quanto à direção de vibração	84
Gráfico 10: Unidade de nível sonoro	85
Gráfico 11: Qual conteúdo ou aula que você mais gostou? Por quê?	86
Gráfico 12: Qual conteúdo ou aula que você menos gostou? Por quê?	88
Gráfico 13: Que conceito você daria ao projeto?	90
Gráfico 14: Que conceito você daria à metodologia do professor?	90
Gráfico 15: Que conceito você daria ao seu aprendizado como aluno?	90

SUMÁRIO

	p.
1 Introdução	13
2 Fundamentos de Física: Ondas e Som	16
2.1 Conceitos básicos do Movimento Harmônico Simples	16
2.1.1 Movimento circular	17
2.2 Ondas	19
2.2.1 Ondas mecânicas	19
2.2.2 Ondas periódicas	20
2.2.3 Equação da onda	22
2.3 Ondas sonoras	25
2.3.1 Qualidades ou características do som	27
3 Fundamentos de Ensino: Teoria da Aprendizagem Significativa	29
3.1 Conceitos iniciais da aprendizagem significativa	29
3.2 Evidências de aprendizagem significativa	32
4 Metodologia de Pesquisa	34
5 Produto Educacional: Elaboração	37
5.1 A flauta doce	37
5.2 Digitação das sete notas musicais na flauta doce	40
5.3 Sequência didática	42
5.3.1 Aula 1: Organizador prévio	43
5.3.2 Aula 2: O que é o som?	43
5.3.3 Aula 3: Características das ondas	45
5.3.4 Aula 4: Velocidade da onda	49
5.3.5 Aula 5: Questões	50
5.3.6 Aula 6: Exercícios do livro texto	51
5.3.7 Aula 7: O ouvido humano e qualidades do som	52
5.3.8 Aula 8: Espectro sonoro	54
5.3.9 Aula 9: Exercícios do livro texto	55
5.3.10 Aula 10: Intensidade e nível sonoro	56
6 Produto Educacional: Aplicação	58
6.1 Primeira aula	58
6.2 Segunda aula	59

6.3 Terceira aula	61
6.4 Quarta aula	63
6.5 Quinta aula	63
6.6 Sexta aula	66
6.7 Sétima aula	67
6.8 Oitava aula	71
6.9 Nona aula	72
6.10 Décima aula	73
7 Resultados e Discussão	76
7.1 Questionário de autoavaliação dos alunos	86
7.1.1 Questões abertas	86
7.1.2 Questões de múltipla escolha	89
8 Considerações Finais	92
Referências	93
Anexo A: Oficina: Flauta doce para o ensino de Acústica	96
Anexo B: Comunicação Oral:	97
Apêndice A: Questionário de conhecimentos prévios	98
Apêndice B: O Produto Educacional	100

1 Introdução

A disciplina Física faz parte do conteúdo da disciplina Ciências, do Ensino Fundamental, juntamente com a Química e a Biologia. Nesse contexto, onde os primeiros conceitos físicos emergem, verificamos que encontrar a motivação para estudar ciências pode ser um desafio.

Nesse nível de ensino, ainda há uma fundamentação matemática muito básica, alguma dificuldade de leitura, escrita e interpretação textual por parte dos alunos. Outro problema é a pouca atenção ao estudo dos fenômenos físicos, já que muitos alunos confundem a Física com a Matemática. “O ensino de Física tem enfatizado a expressão do conhecimento aprendido através da resolução de problemas e da linguagem matemática.” (BRASIL, 2002, p. 38). Porém, é importante entender que “a formalização matemática continua sendo essencial, desde que desenvolvida como síntese dos conceitos e relações, compreendidas anteriormente de forma fenomenológica e qualitativa” (BRASIL, 2002, p. 39).

Há ainda um mito de que aprender ciências é para poucos, que apenas alguns irão aprender e continuar os estudos nessa área. Que a ciência é algo desvinculado da realidade, sem relação com o contexto histórico e social.

(...) estamos propondo a necessidade de *ciência para todos*, e não só para os cientistas, e de um conhecimento científico que se aproxime da produção contemporânea, considerando sua interface com outras áreas do conhecimento, sua relevância social e sua produção histórica (DELIZOICOV, ANGOTTI, PERAMBUCO, p. 24, 2017).

Os conhecimentos prévios podem servir de material a partir do qual se pode, e deve, inserir os conceitos físicos e a correta explicação do fenômeno. Conhecimentos prévios servem como âncoras para a fixação de novos temas, uma ideia básica que remete ao conceito de subsunçores, de David Ausubel, em sua Teoria da Aprendizagem Significativa, a qual iremos discutir e que servirá de arcabouço teórico educacional para esse trabalho.

Em Física, por exemplo, se os conceitos de força e campo já existem na estrutura cognitiva do aluno, eles servirão de subsunçores para novas informações referentes a certos tipos de força e campo, como por exemplo, a força e o campo eletromagnéticos. Entretanto esse processo de ‘ancoragem’ da nova informação resulta em crescimento e modificação do conceito subsunçor (MOREIRA, p. 161, 2019).

Como tornar o estudo das Ciências e, especial, da Física, mais atraente, democrático e didático? A Base Nacional Comum Curricular (BNCC) contribuirá nesse sentido, pois

A BNCC por si só não alterará o quadro de desigualdade ainda presente na Educação Básica do Brasil, mas é essencial para que a mudança tenha início porque, além dos currículos, influenciará a formação inicial e continuada dos educadores, a produção de materiais didáticos, as matrizes de avaliações e os exames nacionais que serão revistos à luz do texto homologado da Base. (BRASIL, 2018, p. 5).

A BNCC é um documento que abrange a Educação Infantil, o Ensino Fundamental e Médio. Apresenta **competências gerais** da educação básica (páginas 9 e 10 da BNCC), **competências específicas** para o ensino fundamental (página 326 da BNCC) e **habilidades** para as diferentes áreas, no nosso caso, Ciências no Ensino Fundamental - Anos Finais, nono ano (página 351 da BNCC). Classifica o conhecimento em unidades temáticas e objetos de conhecimento, no caso em estudo, Matéria e Universo.

Buscar-se-á contribuir com a solução desse problema de pesquisa por meio de um conhecimento contextualizado, fazendo interdisciplinaridade entre Física e a Música, buscando a aprendizagem significativa. Assim, o conteúdo escolhido para esse nível de ensino foi “Ondas Sonoras” e o recurso didático, a flauta doce, pois “(...) pensamos no instrumento flauta doce como suporte e ferramenta de apoio a serviço da musicalização, com propostas pedagógicas que acrescentem qualidades ao processo educativo” (CASTRO, p. 9, 2016).

O tema e o recurso foram escolhidos por sua familiaridade e baixo custo de aquisição, além de trazer um aspecto lúdico às aulas. A flauta doce é um instrumento antigo, que surgiu, na forma como a conhecemos, no século XVI. Em sua fabricação atualmente é usado o acetato, bem mais baratas que as de madeira.

O conteúdo escolhido para embasar nosso trabalho é a Acústica, área da Física que estuda as ondas sonoras. O objetivo geral é criar uma cartilha, o produto educacional desenvolvido neste trabalho, que auxiliará o professor a desenvolver aulas usando, dentre outros recursos auxiliares, a flauta doce, um instrumento musical acessível e barato, como recurso didático em sala de aula, para apresentar os conceitos de ondas sonoras, ondas longitudinais, timbre, frequência, intensidade sonora, altura, dentre outros. Para atingir essa meta, foram estabelecidos os seguintes objetivos específicos:

- Aplicar um questionário de conhecimentos prévios às três turmas de nono ano (9º A, 9º B e 9º C) do Ensino Fundamental da Escola Municipal Unidade Integrada Santo Antônio “Colégio Militar Tiradentes XII”.

- Fazer a revisão de literatura.

- Criar uma sequência de aulas utilizando a flauta doce como recurso didático, além de outros materiais auxiliares.

- Organizar uma cartilha como produto educacional.

- Aplicar o produto educacional na sala de aula.

- Proceder a avaliação, após a aplicação do produto educacional, buscando evidências de aprendizagem decorrente do trabalho.

Como o conceito de subsunção é central nessa teoria, um questionário de conhecimentos prévios (Apêndice A) foi aplicado às três turmas do 9º ano do Ensino Fundamental.

As aulas foram desenvolvidas em uma sequência, visando o desenvolvimento do conteúdo dos conceitos mais simples aos mais complexos. Elas foram iniciadas por meio de um organizador prévio, no nosso caso, um vídeo de música popular maranhense visando despertar o interesse dos alunos no tema. Após a sequência de aulas foi realizada uma avaliação na busca de evidências de aprendizagem significativa.

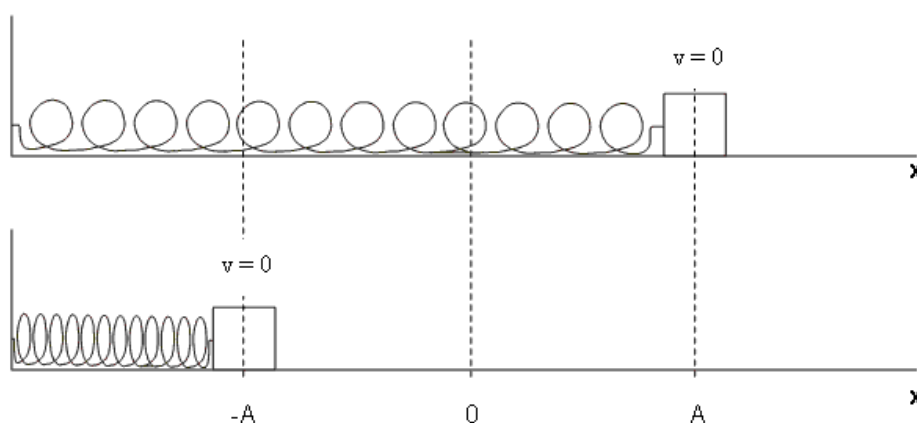
Este trabalho encontra-se organizado em oito capítulos: o primeiro é a introdução; o segundo refere-se aos fundamentos de Física, isto é, Ondas Sonoras; o terceiro trata do referencial teórico da educação; o quarto é referente à revisão de literatura e metodologia de pesquisa, isto é, a busca em periódicos de artigos relacionados ao tema da pesquisa e os instrumentos e métodos utilizados para esse fim, visando verificar o alcance da metodologia; o quinto e o sexto capítulos referem-se ao produto educacional e sua aplicação; no sétimo apresentamos os resultados e discussão e no oitavo capítulo, as considerações finais.

2 Fundamentos de Física: Ondas e Som

2.1 Conceitos básicos do Movimento Harmônico Simples

Para melhor compreender os conceitos de Ondas e Som, convém apresentar o sistema massa-mola, um dos mais simples que executa movimento periódico. Ele consiste em um corpo de massa m , preso em uma extremidade a uma mola, em repouso sobre uma superfície sobre a qual pode deslizar idealmente sem atrito, como um trilho. A mola, por sua vez, está presa a uma parede. Essa mola tem massa desprezível e permite ao corpo oscilar ao longo do trilho, digamos, o eixo x , quando o corpo é deslocado da posição de equilíbrio (Figura 2.1). Essa força de mola é, por isso, chamada força restauradora, pois leva o sistema a voltar à posição de equilíbrio (0).

Figura 2.1 Sistema massa-mola.



Fonte: <https://www.sofisica.com.br/conteudos/Ondulatoria/MHS/massamola2.php>

0: é a posição de equilíbrio.

x : é o deslocamento.

A : é a amplitude do movimento (máximo ou mínimo deslocamento a partir de 0).

Um ciclo completo de oscilação se observa quando o corpo sai da posição de equilíbrio, desloca-se até as amplitudes (A e $-A$) e retorna à posição de equilíbrio. O período T é o tempo correspondente a um ciclo e é sempre positivo. Sua unidade no Sistema Internacional (SI) é o **segundo (s)**. A frequência f é o número de ciclos por unidade de tempo, sendo o inverso do período. Ela é sempre positiva e sua unidade no SI é ciclos por segundo

ou **hertz (Hz)**. O tipo mais simples de oscilação ocorre quando a força restauradora F_{el} é diretamente proporcional ao deslocamento x da posição de equilíbrio. É chamado movimento harmônico simples (MHS) e ocorre quando a mola é ideal e obedece à lei de Hooke, descrita a seguir.

$$F_{el} = -k \cdot x \quad (2.1)$$

F_{el} : força elástica (força restauradora).

k : constante de mola.

x : deslocamento.

A aceleração de um corpo que executa um MHS é

$$a = \frac{d^2x}{dt^2} = \frac{-k}{m}x \quad (2.2)$$

Em casos de amplitude suficientemente pequena, as oscilações do sistema constituem aproximadamente um MHS. Por exemplo, um pêndulo simples deslocado de um ângulo θ . “Medindo o ângulo θ em radianos, temos, para ângulos θ pequenos, $\theta \ll 1 \Rightarrow \sin \theta \approx \theta$ (...) Logo, para pequenos desvios da posição de equilíbrio estável, a (3.3.7) reduz-se, como deveria, à equação de oscilação harmônica” (NUSSENZVEIG, 2014, p. 69).

2.1.1 Movimento circular

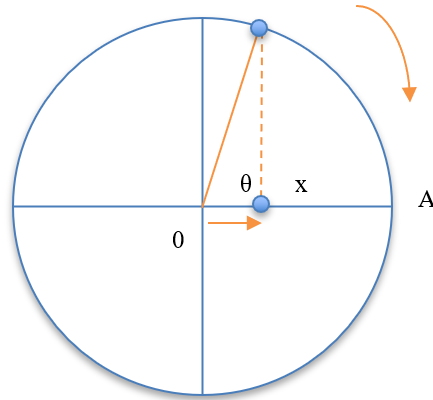
O movimento harmônico simples (MHS) pode ser interpretado como a projeção de um movimento circular uniforme (MCU) sobre um diâmetro do círculo, cujo raio é A (Figura 2.2).

$$\cos \theta = \frac{x}{A} \Rightarrow x = A \cos \theta \quad (2.3)$$

Podemos definir a frequência angular ω como sendo a taxa de variação do ângulo em relação ao tempo, de modo que:

$$\omega = \frac{d\theta}{dt} \Rightarrow \int_{\theta_o}^{\theta} d\theta = \int_0^t \omega dt \Rightarrow \Delta\theta = \omega t \Rightarrow \theta = \theta_o + \omega t \quad (2.4)$$

Figura 2.2 Relação entre um MHS e um MCU.



Fonte: próprio autor.

Substituindo a equação (2.4) na equação (2.3) temos:

$$x = A \cos(\theta_o + \omega t) \quad (2.5)$$

Em (2.5) θ_o representa o ângulo inicial. Derivando a equação (2.5) em relação ao tempo, encontramos a velocidade (2.6) e novamente em relação ao tempo, a aceleração (2.7).

$$v = -A\omega \sin(\omega t + \theta_o) \quad (2.6)$$

$$a = -A\omega^2 \cos(\omega t + \theta_o) \quad (2.7)$$

Comparando (2.7) e (2.5), vemos que:

$$a = -\omega^2 x \quad (2.8)$$

De acordo com a segunda lei de Newton:

$$F = ma_x \quad (2.9)$$

Retomando a equação (2.1) e (2.8), podemos escrever:

$$-k \cdot x = m(-\omega^2 x) \Rightarrow \omega = \sqrt{\frac{k}{m}} \quad (2.10)$$

A equação (2.10) relaciona a frequência angular de um movimento circular uniforme com a constante de mola e a massa do corpo do sistema massa-mola.

2.2 Ondas

Um fenômeno ondulatório pode ser melhor compreendido se levarmos em conta o que aprendemos do MHS. Suponha a superfície de um lago parado. Quando essa superfície é deslocada de sua posição de equilíbrio na direção vertical, uma perturbação se propaga de uma região para outra do lago, na direção horizontal, isto é, surge um pulso. Podemos considerar a água como um meio elástico, à semelhança do sistema massa-mola. Na figura 2.1 mostramos o bloco de massa m preso à parede pela mola. Como a parede tem massa muito maior do que a massa do bloco, consideramos apenas o movimento do bloco. Se deixado na posição $x_0 = 0$, o bloco só se movimenta se houver uma força externa sobre ele. No caso da água, uma molécula de água desempenha o papel da parede e outra molécula de água desempenha o papel do bloco. Como as duas moléculas de água têm massas iguais, ambas se movem quando uma força externa é aplicada a elas. A mola da figura 2.1 é representada pelas forças de atração e repulsão entre as moléculas de água. Na figura 2.3, temos uma bolinha caindo sobre uma superfície de água parada, produzindo, assim, ondas que se propagam no meio (água).

Figura 2.3 Ondas na superfície da água.

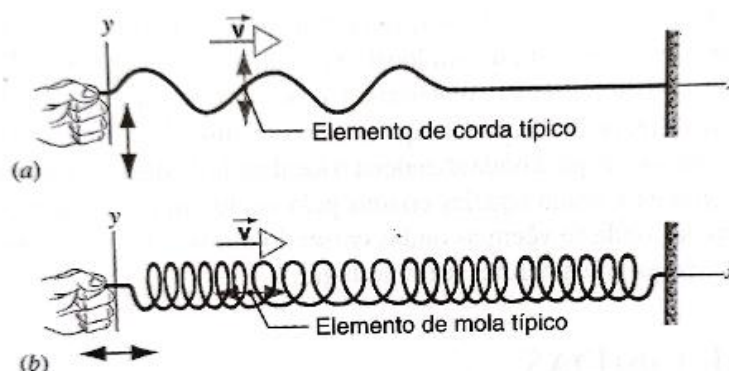


Fonte: próprio autor.

2.2.1 Ondas mecânicas

A onda mecânica é uma perturbação que se desloca através de um meio material. De acordo com a forma de propagação, essas ondas podem ser: transversais, quando o deslocamento das partículas do meio é perpendicular à direção de propagação da onda ou longitudinais, quando o deslocamento das partículas do meio segue a mesma direção de propagação da onda (Figura 2.4).

Figura 2.4 Ondas longitudinais e ondas transversais.



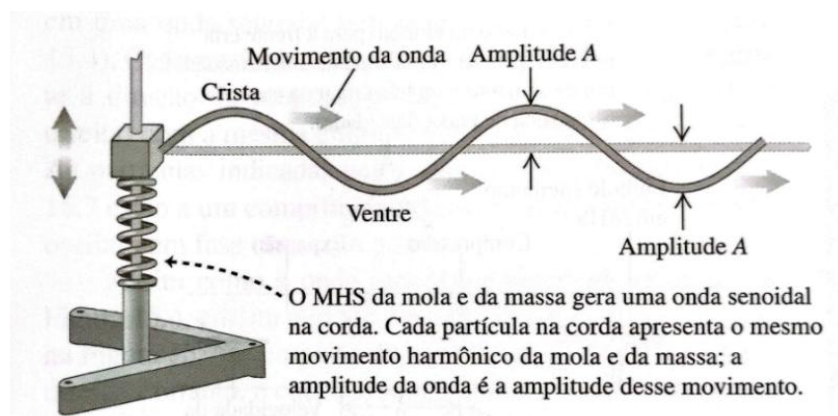
Fonte: RESNICK; HALLIDAY; KRANE, 2003, p. 118.

2.2.2 Ondas periódicas

Vamos delimitar nosso estudo às ondas mecânicas e periódicas, isto é, aquelas que possuem um período constante. Enfatizamos que o meio em si não se desloca, mas sim a onda, a perturbação. Então, quando falamos de velocidade da onda, não estamos falando da velocidade das partículas do meio.

Quando a fonte que gera a onda executa um movimento harmônico simples (MHS), a onda resultante é uma onda periódica, também chamada onda senoidal (Figura 2.5). A amplitude da onda é a mesma do MHS que a gera.

Figura 2.5 Fonte de MHS gerando uma onda senoidal.



Fonte: YOUNG, 2008, p. 105.

Quando uma onda senoidal se propaga em um meio, cada partícula do meio executa um MHS com a mesma frequência da fonte.

λ : comprimento de onda, a distância entre dois pontos equivalentes na onda.

A: amplitude, a altura de uma crista em relação ao nível de equilíbrio.

Para calcular a velocidade da onda, verificamos que ela percorre um ciclo (λ) em um tempo igual ao período (T). Logo:

$$v = \frac{\Delta s}{\Delta t} = \frac{\lambda}{T} \quad (2.11)$$

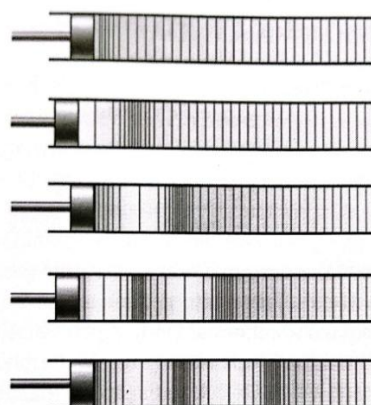
Como o período é o inverso da frequência, temos:

$$v = \lambda f \quad (2.12)$$

Em casos em que v é constante, um aumento na frequência produz uma diminuição no comprimento de onda e uma diminuição na frequência produz um aumento no comprimento de onda. Mas há casos em que a velocidade não é constante, como nos fenômenos da refração e da absorção da luz, por exemplo, que é uma onda eletromagnética.

No caso das ondas longitudinais, como um gás deslocando-se dentro de um tubo, produz-se sobre o fluido um movimento para frente e para trás, alternando-se compressão e expansão em MHS (Figura 2.6).

Figura 2.6 Regiões de expansão e compressão de uma onda longitudinal.



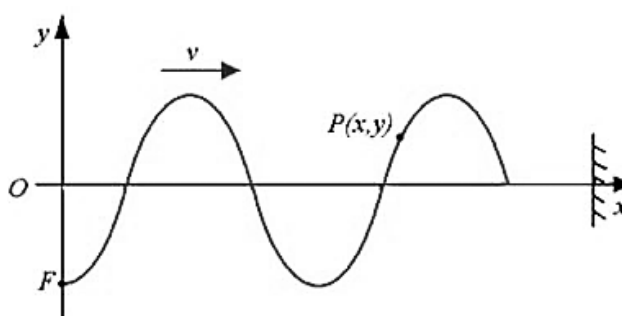
Fonte: Fonte: RESNICK; HALLIDAY; KRANE, 2003, p. 147.

As partículas oscilam com amplitude A. O comprimento de onda é a distância entre uma compressão (ou expansão) e outra. Para nosso estudo, consideraremos a onda longitudinal como sendo periódica.

2.2.3 Equação da onda

Uma descrição mais detalhada do movimento das partículas do meio requer uma função de onda, a qual descreve a posição em função do tempo. Vamos estudar primeiramente as ondas transversais (Figura 2.7) em uma corda esticada (unidimensional). Com uma função de onda do tipo $y(x,t)$, podemos achar o deslocamento, a velocidade e a aceleração da partícula do meio.

Figura 2.7 Onda transversal em uma corda.



Fonte: mundoeducacao.uol.com.br/fisica/onda-periodica-sua-equacao.htm.

Da equação (2.5) sabemos que a posição de uma partícula em função do tempo pode ser descrita como

$$y = A \cos(\omega t + \theta_0) \quad (2.13)$$

Nesse caso, suponha uma partícula executando um MHS com amplitude A , frequência f e frequência angular $\omega = 2\pi f = \frac{2\pi}{T}$. Se agora y também for uma função do deslocamento ao longo de x , (2.13) é do tipo $y(x=0, t)$, um caso particular de $y(x,t)$. A onda se propaga de $x=0$, no tempo t , até x no sentido positivo do eixo x , em um intervalo de tempo $t = x/v$, onde v é a velocidade da onda. Logo, o movimento do ponto $x=0$ no instante t é igual ao movimento do ponto x no instante $x/v - t$, onde fizemos $\theta_0 = 0$, para simplificar.

$$y(x, t) = A \cos\left[\omega \left(\frac{x}{v} - t\right)\right] \quad (2.14)$$

Substituindo $\omega = 2\pi f$ em (2.14), temos:

$$y(x, t) = A \cos\left[2\pi f \left(\frac{x}{v} - t\right)\right] \quad (2.15)$$

Da equação (2.12), sabemos que $v = \lambda f$. Substituindo em (2.15), temos:

$$y(x, t) = A \cos\left[2\pi\left(\frac{x}{\lambda} - tf\right)\right] \quad (2.16)$$

Mas $T = 1/f$. Além disso, podemos definir $\frac{2\pi}{\lambda} = k$, o **número de onda**.

$$y(x, t) = A \cos\left(kx - \frac{2\pi t}{T}\right) \quad (2.17)$$

Sabemos que $\omega = \frac{2\pi}{T}$, logo, podemos concluir:

$$y(x, t) = A \cos(kx - \omega t) \quad (2.18)$$

A equação (2.18) é a função de onda de uma partícula movendo-se no sentido positivo de x , cujo termo $(kx - \omega t)$ é chamado **fase**. A velocidade da onda é aquela com que temos que nos deslocar para que a fase em um ponto permaneça constante, como uma crista se propagando em uma corda, isto é,

$$kx - \omega t = c. \quad (2.19)$$

Derivando em relação ao tempo, fica:

$$k \frac{dx}{dt} - \omega = 0 \Rightarrow v = \frac{\omega}{k} \quad (2.20)$$

A equação (2.20) descreve a **velocidade de fase**.

Podemos, agora, calcular a velocidade e a aceleração de uma partícula em uma onda senoidal. Não podemos esquecer: a velocidade da partícula é diferente da velocidade da onda, ou velocidade de fase. Chamaremos v_y a velocidade da partícula. Usaremos derivadas parciais para encontrar a velocidade v_y e a aceleração a_y de uma partícula do meio, pois $y(x, t)$.

$$v_y(x, t) = \frac{\partial y}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial t} [A \cos(kx - \omega t)] = -A \sin(kx - \omega t) \cdot (-\omega) \quad (2.21)$$

$$v_y(x, t) = A \omega \sin(kx - \omega t) \quad (2.22)$$

O mesmo procedimento para a aceleração a_y :

$$a_y(x, t) = \frac{\partial v_y}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial t} [A\omega \sin(kx - \omega t)] = -A\omega^2 \cos(kx - \omega t) \quad (2.23)$$

Substituindo (2.18) em (2.23), temos:

$$a_y(x, t) = \frac{\partial^2 y}{\partial t^2} = -\omega^2 y \quad (2.24)$$

Se calcularmos as derivadas parciais de $y(x, t)$ em relação a x , poderemos estudar a forma da corda em qualquer tempo.

$$\frac{\partial y}{\partial x} = \frac{\partial}{\partial x} [A \cos(kx - \omega t)] = -A k \sin(kx - \omega t) \quad (2.25)$$

$$\frac{\partial^2 y}{\partial x^2} = \frac{\partial^2}{\partial x^2} [-A k \sin(kx - \omega t)] = -A k^2 \cos(kx - \omega t) \quad (2.26)$$

$$\frac{\partial^2 y}{\partial x^2} = -k^2 y \quad (2.27)$$

Obtivemos (2.27) substituindo (2.18) em (2.26).

Dividindo (2.24) por (2.27), obtemos:

$$\frac{\frac{\partial^2 y}{\partial t^2}}{\frac{\partial^2 y}{\partial x^2}} = \frac{-\omega^2 y}{-k^2 y} = \left(\frac{\omega^2}{k^2} \right) = v^2 \quad (2.28)$$

Substituindo a equação (2.20), $v = \frac{\omega}{k}$, vamos achar:

$$\frac{\partial^2 y}{\partial x^2} = \frac{1}{v^2} \frac{\partial^2 y}{\partial t^2} \quad (2.29)$$

A equação (2.29) é a **equação de onda**, que descreve qualquer onda se propagando em uma corda, seja mecânica ou eletromagnética, periódica ou não (pulso, por exemplo).

2.3 Ondas sonoras

O som, ou onda sonora, é uma onda que se propaga em um meio, que pode ser sólido, líquido ou gasoso. As ondas sonoras mais simples são ondas senoidais, com amplitude, comprimento de onda e frequência bem definidos. “Oscilações harmônicas podem produzir sons audíveis pelo ouvido humano somente num intervalo limitado de frequência, aproximadamente entre 20 Hz e 20 KHz...” (NUSSENZVEIG, 2014, p. 153).

Vamos discutir uma onda sonora ideal que se propaga apenas no sentido positivo do eixo x , como dentro de um tubo (Figura 2.8).

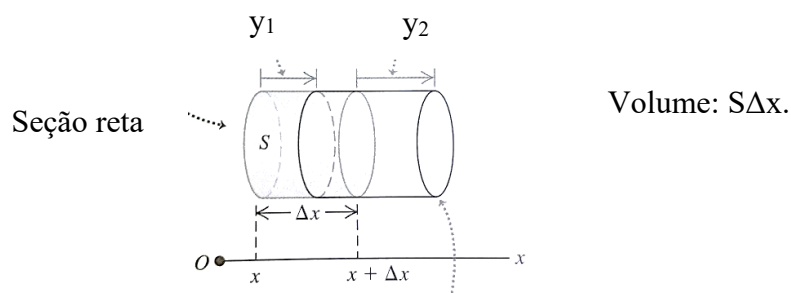
Figura 2.8 Onda longitudinal dentro de um tubo.



Fonte: fisica.netspa.com.br/2020/05/11/fisica-acustica-som.

A membrana do autôfalante da figura está em MHS. Tal onda pode ser representada pela equação (2.18) que fornece o deslocamento instantâneo $y(x, t)$ de uma partícula em um meio, para a posição x no instante t . Nesse caso, temos também uma **amplitude de deslocamento**, A , que é o deslocamento máximo da partícula a partir da posição de equilíbrio. Para essas ondas, uma descrição em termos de flutuações de pressão é mais apropriada que em termos de deslocamento. Tais flutuações são acima e abaixo da pressão atmosférica. Assim, $P(x, y)$ é a flutuação instantânea de pressão em uma onda sonora para cada ponto x no instante t . Suponha um tubo cilíndrico contendo um gás (Figura 2.9).

Figura 2.9 Tubo cilíndrico contendo um gás.



Fonte: adaptado de YOUNG, 2008, p. 141.

Young (2008) afirma que, quando surge uma onda no instante t , a extremidade que estava em x desloca-se para y_1 , e a extremidade que estava em $x + \Delta x$ desloca-se para y_2 . Assim,

- se $y_2 > y_1$ então o volume aumenta e a pressão diminui;
- se $y_2 < y_1$ então o volume diminui e a pressão aumenta;
- se $y_2 = y_1$ então o volume não variou, a pressão não variou: o gás apenas se deslocou.

A variação de volume é

$$\Delta V = S \cdot \Delta y = S(y_2 - y_1) = S[y(x + \Delta x, t) - y(x, t)] \quad (2.30)$$

No limite, quando $\Delta x \rightarrow 0$, a variação relativa de volume é

$$\frac{dV}{V} = \lim_{\Delta x \rightarrow 0} \frac{S [y(x + \Delta x, t) - y(x, t)]}{S \cdot \Delta x} = \frac{\partial y(x, t)}{\partial x} \quad (2.31)$$

Definindo o módulo de compressão,

$$B = \frac{-P(x, y)}{dV/V} \quad (2.32)$$

$$P(x, y) = -B \frac{\partial y(x, t)}{\partial x} \quad (2.33)$$

Ainda segundo Young (2008), o sinal $(-)$ surge porque $\frac{\partial y(x, t)}{\partial x} > 0$, isto é, o deslocamento em y_2 é maior que em y_1 , correspondendo ao aumento de volume e a diminuição da pressão.

Vamos calcular $\frac{\partial y}{\partial x}$ a partir da equação (2.18).

$$\frac{\partial y}{\partial x} = \frac{\partial [A \cos(kx - \omega t)]}{\partial x} = -A k \sin(kx - \omega t) \quad (2.34)$$

Substituindo (2.34) em (2.33) fica:

$$P(x, y) = B k A \sin(kx - \omega t) \quad (2.35)$$

A flutuação de pressão máxima, também chamada amplitude de pressão, é:

$$P_{m\acute{a}x} = BkA \quad (2.35)$$

A amplitude de pressão é diretamente proporcional à amplitude de deslocamento A e inversamente proporcional ao comprimento de onda (λ). Para λ curto, temos número de onda elevado ($k = \frac{2\pi}{\lambda}$) e variações de pressão maiores, pois os máximos e mínimos são comprimidos.

- B elevado: $P_{m\acute{a}x}$ maior para produzir um dado deslocamento.
- B elevado: significa um meio menos compressível.

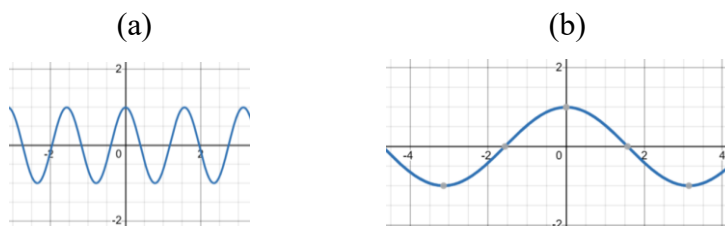
2.3.1 Qualidades ou características do som

Para certa frequência, quanto maior a amplitude de pressão de uma onda sonora senoidal, maior será a **intensidade sonora**. Ela pode ser escrita como segue e ρ é a massa específica do gás (Young, 2008).

$$I = \frac{P_{m\acute{a}x}^2}{2\sqrt{\rho B}} \quad (2.36)$$

A frequência de uma onda sonora, determina a **altura de um som**, a característica que nos permite distinguir um som agudo (Figura 2.10a) de um som grave (Figura 2.10b). Quanto maior a frequência, mais alto o som (mais agudo). Som com maior amplitude de pressão é mais forte, porém mais baixo (mais grave).

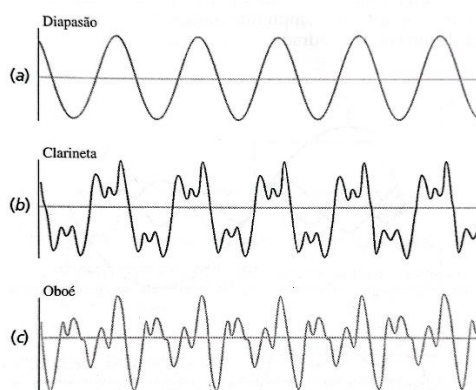
Figura 2.10 Ondas com frequências diferentes (a) som agudo (b) som grave



Fonte: Próprio autor.

Sons produzidos por instrumentos diferentes podem ter a mesma frequência fundamental, mas são percebidos de maneira diferente porque a coluna de ar em um instrumento de sopro vibra também em outros harmônicos, isto é, em frequências múltiplas da frequência fundamental. Essa diferença é chamada **timbre**, e é uma característica de cada instrumento musical (Figura 2.11).

Figura 2.11 Formas de onda com mesma frequência em instrumentos diferentes.



Fonte: TIPLER, 2000, p. 465.

3 Fundamentos de Ensino: Teoria da Aprendizagem Significativa

3.1 Conceitos iniciais da aprendizagem significativa

A teoria da aprendizagem significativa foi desenvolvida inicialmente por David Ausubel e posteriormente por Joseph Novak. No Brasil, o principal expoente nessa linha de pesquisa é o prof. Marco Antônio Moreira. Trata-se de uma teoria cognitivista, isto é, considera a aprendizagem do ponto de vista da estrutura cognitiva do aprendiz, conforme lemos no prefácio de seu livro “Aquisição e Retenção de Conhecimentos: Uma Perspectiva Cognitiva”.

David Ausubel apresenta neste livro uma visão actualizada da sua teoria da aprendizagem, conhecida como *Teoria da Assimilação*. Existe já em português ampla literatura sobre a teoria de Ausubel, nomeadamente os livros mais recentes de J. D. Novak, que tem sido o seu principal divulgador e continuador. Este livro apresenta, no entanto, a vantagem de ser escrito pelo autor principal da teoria, na sua linguagem bem própria (...) (AUSUBEL, 2000, p. 7).

Embora não desconsidere que haja outros tipos de aprendizagem, como a afetiva e a psicomotora, Ausubel concentra seus esforços em estudar e explicar a aprendizagem cognitiva.

Em 1963, na minha obra *The Psychology of Meaningful Verbal Learning*, procedeu-se a uma primeira tentativa de apresentar uma teoria cognitiva de aprendizagem significativa em oposição a uma aprendizagem verbal por memorização. Baseava-se na proposição de que a aquisição e a retenção de conhecimentos (particularmente de conhecimentos verbais, tal como por exemplo na escola ou na aprendizagem de matérias) são o produto de um processo activo, integrador e interactivo entre o material de instrução (matérias) e as ideias relevantes da estrutura cognitiva do aprendiz, com as quais as novas ideias estão relacionadas de formas particulares. (AUSUBEL, 2000, p. 9)

Assim, aprendizagem significativa é aquela que ocorre quando o conhecimento se organiza e integra à estrutura cognitiva do aluno. Porém, para que isso ocorra, é necessário que certos conteúdos e conceitos já estejam presentes nessa estrutura, a fim de que os novas ideias e informações se organizem e se integrem a ela. São os chamados **conceitos subsunçores**, ou simplesmente, subsunçores, isto é, conceitos que o aluno já possui, conhecimentos prévios à inserção do novo conteúdo, e que servem de âncoras, no sentido de fixar os novos conceitos.

Por exemplo, ao estudar pela primeira vez o movimento harmônico simples (MHS), é necessário que esse novo conhecimento seja ancorado em conceitos preexistentes, como posição, velocidade, força e aceleração. Assim, fica mais fácil compreender as particularidades do MHS, uma vez que esses conceitos já são familiares. Porém, se o aluno ainda tem dúvidas sobre o conceito de deslocamento, por exemplo, fica muito mais difícil aprender conceitos novos, como amplitude do movimento e ciclos.

A estrutura cognitiva e os subsunçores não são estáticos. Pelo contrário, apresentam certa dinâmica, pois ao fixar os novos conceitos, a estrutura cognitiva não apenas os assimila, como também se desenvolve, o que Ausubel chama de **reconciliação integrativa**, pela qual “a programação do material instrucional deve ser feita para explorar relações entre ideias, apontar similaridades e diferenças significativas, reconciliando discrepâncias, reais ou aparentes” (MOREIRA; MASINI, 1982, p. 22). Os subsunçores, ao ancorarem novas informações, mesclam-se a elas e evoluem, formando um produto único, um novo subsunçor, mais robusto, num processo definido por Ausubel como **diferenciação progressiva**, pela qual “o assunto deve ser programado de forma que as ideias mais gerais e inclusivas da disciplina sejam apresentadas antes e, progressivamente diferenciadas, introduzindo os detalhes específicos necessários” (MOREIRA; MASINI, 1982, p. 21). Os dois princípios ocorrem de maneira simultânea.

Numa visão ingênua, poder-se-ia crer que bastaria então que o aluno tivesse certos conhecimentos prévios para ancorar os novos conhecimentos em sua estrutura cognitiva para garantir a aprendizagem. Isso não é verdade. O material de estudo, isto é, o novo conhecimento deve ser **potencialmente significativo**, ou seja, deve relacionar-se à estrutura cognitiva do aprendiz de forma não arbitrária e não literal, segundo uma hierarquia de conhecimentos que façam sentido para ele.

“É importante enfatizar aqui que o material só pode ser potencialmente significativo, não significativo: não existe livro significativo, nem aula significativa, nem problema significativo, ..., pois o significado está nas pessoas, não nos materiais” (MOREIRA, 2012, p. 6).

Consideramos a flauta doce como um recurso associado a um conhecimento potencialmente significativo porque o contexto dos alunos favorece o envolvimento com a música. Muitos cantam em igrejas locais, tocam na banda marcial dos bombeiros etc. É necessário, ainda, que os subsunçores sejam suficientemente desenvolvidos, que o aluno os tenha muito claros. Um bom exemplo disso ocorre na Dinâmica, quando mostramos uma

bola em movimento, sem que nenhuma força a impulsione: quando perguntamos à turma por que ela se move, uma resposta comum é que “ela está sob a ação de uma força”. Quando o professor informa que a velocidade da bola é constante e que, por isso, não há forças, o aluno não consegue explicar o movimento. Isso mostra que o conceito de força e sua relação com a segunda lei de Newton não está clara.

Podemos dar outro exemplo de subsunção por meio do conceito de som. Intuitivamente, todos sabemos do que se trata, mas ao estudar o conceito físico, é necessário introduzir a ideia de onda. O subsunção é o conhecimento que o aprendiz possui sobre o som, sua produção e captação, mas relacioná-lo a uma onda não é tarefa fácil. Precisamos ancorar essa ideia nova à sua estrutura cognitiva. Assim, partindo do conceito mais geral de “som”, inicia-se inserindo conceitos mais básicos e específicos, como “perturbação”, “ciclo”, “comprimento de onda”, “frequência” etc.

Essa incorporação de conceitos permite aumentar e elaborar o conhecimento, desenvolver os subsunções iniciais, ampliando-os e modificando-os, enquanto a estrutura cognitiva se desenvolve. Assim, pode-se prosseguir o ensino-aprendizagem, introduzindo conceitos mais sofisticados, como função e equação de onda, uma vez que, agora, o processo de ancoragem está equipado com novos subsunções.

Por fim, há ainda a necessidade de que haja uma predisposição do aluno em entender, em aprender, de compreender a importância do novo conhecimento para sua vida. Além de possuir, obviamente, os subsunções adequados à situação de aprendizagem, pois de nada adianta a predisposição se a estrutura cognitiva não está equipada adequadamente. Sem essas condições não há aprendizagem significativa. Se a visão ingênua não for superada, corre-se o risco de ocorrer uma **aprendizagem mecânica**, isto é, aquela que acontece quando novas informações pouco interagem com as preexistentes e são armazenadas de forma arbitrária, sem relação com os subsunções existentes na estrutura cognitiva. O resultado é a simples memorização. Em alguns casos, esse tipo de aprendizagem pode servir para formar subsunções iniciais onde eles ainda não existem, como quando se vai aprender algo totalmente novo. Assim, observa-se que Ausubel propõe que os conteúdos sejam apresentados inicialmente em sua forma mais geral e abrangente e daí desenvolvidos por meio de conceitos mais simples e específicos. Uma maneira de apresentar esses conteúdos é por meio de **organizadores prévios**, ou seja, “materiais introdutórios apresentados antes do material a ser aprendido em si” (MOREIRA, 163, 2019). No nosso exemplo, pode ser um vídeo sobre ondas, uma música, um texto ou outro recurso ao alcance do professor.

3.2 Evidências de aprendizagem significativa

Coletar evidências de aprendizagem significativa não é uma tarefa trivial. Seja por se tratar de um processo subjetivo do educando, que requer sensibilidade do professor em saber se seu aluno está aprendendo, seja porque nem sempre um aluno que demonstre domínio de fórmulas, memorização de conceitos e facilidade em dar exemplos, realmente aprendeu. Tal tarefa vai além da avaliação tradicional.

“(…) uma longa experiência em fazer exames faz com que os estudantes se habituem a memorizar não só proposições e fórmulas, mas também causas, exemplos, explicações e maneiras de resolver problemas típicos” (MOREIRA, p. 164, 2019).

Devemos elencar objetivos de aprendizagem no início do planejamento de uma aula ou curso. Tais objetivos devem estar em sintonia com o conteúdo a ser desenvolvido. Seu acompanhamento se dá, em geral, por meio da avaliação, que pode ser quantitativa ou qualitativa. Os procedimentos metodológicos, isto é, a descrição de como serão realizadas as etapas da aula ou do curso devem ser claros e de acordo com as competências e habilidades que se deseja desenvolver.

Desafios e atividades podem ser dosados, planejados, acompanhados e avaliados com apoio de tecnologias. Os desafios bem planejados contribuem para mobilizar as competências desejadas, intelectuais, emocionais, pessoais e comunicacionais (MORÁN, 2015, p. 18).

Por meio de um bom planejamento, pode-se recorrer com mais segurança a formas de avaliação que retornarão resultados mais próximos da realidade. É importante salientar que a avaliação deve tentar indicar o que o aluno aprendeu e, por isso, deve-se formular “questões e problemas de uma maneira nova e não familiar, que requeira máxima transformação do conhecimento adquirido” (MOREIRA, p. 164, 2019).

Testes tradicionais e que possuem questões padronizadas são fáceis de resolver e não servem para que o aluno demonstre compreensão dos conteúdos. A sequência das aulas deve levar em consideração ainda quatro etapas fundamentais (MOREIRA, p.170, 2019).

Identificar os conceitos unificadores e organizá-los hierarquicamente, progressivamente, do mais gerais aos mais específicos. No caso de Ondas e Som, sugere-se que tais conceitos sejam ondas, meios de propagação de ondas, tipos de ondas, os quais evoluirão para comprimento de onda, frequência, período etc.

Identificar quais subsunçores o aluno deve possuir para o desenvolvimento do conteúdo de forma significativa. Em nosso caso, são: oscilações, som, voz, música, instrumentos musicais, ou seja, conceitos mais gerais e abrangentes.

Diagnosticar o que o aluno já sabe, quais subsunçores já estão presentes em sua estrutura cognitiva. Em nosso trabalho, aplicamos um questionário de conhecimentos prévios em três turmas de 9º ano da escola-campo, buscando fazer esse diagnóstico (Apêndice A).

Ensinar utilizando recursos que facilitem a aquisição dos conteúdos propostos de maneira significativa. Neste trabalho, será utilizada, dentre outros recursos, a flauta doce, uma vez que se trata de um instrumento muito conhecido, de baixo custo e de fácil manuseio.

Ausubel ainda propõe a **aprendizagem por recepção** e a **aprendizagem por descoberta**. Na aprendizagem por recepção, o conteúdo é apresentado ao aluno em sua forma final pelo professor, enquanto na aprendizagem por descoberta, o conteúdo deve ser descoberto pelo aluno.

Aprendizagem receptiva é aquela em que o aprendiz “recebe” a informação, o conhecimento, a ser aprendido em sua forma final. Mas isso não significa que essa aprendizagem seja passiva, nem que esteja associada ao ensino expositivo tradicional. A “recepção” do novo conhecimento pode ser, por exemplo, através de um livro, de uma aula, de uma experiência de laboratório, de um filme, de uma simulação computacional, de uma modelagem computacional etc. Aprender receptivamente significa que o aprendiz não precisa descobrir para aprender. (...) Aprendizagem por descoberta implica que o aprendiz primeiramente descubra o que vai aprender. Mas, uma vez descoberto o novo conhecimento, as condições para a aprendizagem significativa são as mesmas: conhecimento prévio adequado e predisposição para aprender. (...) É preciso também ter claro que aprendizagem por recepção e aprendizagem por descoberta não constituem uma dicotomia. (...) Quer dizer, o conhecimento não é, necessariamente, construído ou por recepção ou por descoberta. Novamente aí há uma “zona cinza” entre os extremos do contínuo (MOREIRA, 2012, p. 13-14).

Em ambos os casos, deve-se ancorar tais conteúdos em subsunçores relevantes, de modo que a nova informação se incorpore ao conjunto hierárquico de conhecimentos que forma a estrutura cognitiva do aprendiz. Não há, assim, preferência, por parte de Ausubel, de aprendizagem por recepção ou por descoberta: o que é importante é que os conceitos fiquem claros.

4 Metodologia de Pesquisa

Visando descrever o estado da arte da pesquisa em Ensino de Física, buscou-se na base SciELO, artigos que fizessem uso da interdisciplinaridade, Física e Música. Foram encontrados alguns artigos que descrevem a Física dos instrumentos musicais e experimentos envolvendo ondas sonoras. A seguir, alguns artigos selecionados da Revista Brasileira de Ensino de Física (RBEF) para leitura.

Autores	Título	Ano
E.M. Santos, C. Molina, A.P.B. Tufaile.	Violão e guitarra como ferramentas para o ensino de física.	2013
S.A. Nascimento, J.D. Dantas, P. Chaves de Souza Segundo, C.A.S. Santos.	Espectro sonoro da flauta transversal.	2015
N.E. Souza Filho ¹ , B.A. Gonçalves, V.T. Oliveira.	Música para estudantes de engenharia: Síntese sonora de tema de jazz.	2015
D. C. Pizetta, A. B. Wanderley, V. R. Mastelaro, F. F. Paiva.	Uma avaliação experimental do tubo de ondas sonoras estacionárias.	2017
M. V. da Silveira, R. B. Barthem, A. C. dos Santos.	Proposta didático experimental para o ensino inclusivo de ondas no ensino médio.	2019
I. V. de Sousa Jr., J. O. S. Miranda ¹ , A. C. S. Nascimento, F. R. V. Araújo.	Física experimental com Arduino: ondas em uma corda tensionada.	2020
M. L. N. Grillo <i>et al.</i>	A física e a música do fagote	2023

No artigo “Violão e guitarra como ferramentas para o ensino de física” os autores propõem atividades práticas simples para a caracterização de propriedades do som produzido por violões e guitarras, nas quais amostras de som produzidas por esses instrumentos são capturadas e analisadas utilizando uma abordagem espectral. As propriedades físicas relacionadas aos instrumentos também são exploradas, como o comprimento da corda, a densidade linear da corda, a velocidade da onda e a tensão na corda. Os autores ressaltam o caráter didático das atividades, podendo ser realizadas em laboratório ou diretamente em sala de aula.

Em “Espectro sonoro da flauta transversal” os autores analisam o espectro sonoro do instrumento, identificam os harmônicos e reproduzem a forma da onda sonora resultante com base no espectro, usando um programa de computador chamado Spectrogram 16.0. O trabalho apresenta uma maneira de abordar dos conhecimentos de física, mais especificamente da acústica, com materiais de fácil acesso.

No artigo intitulado “Música para estudantes de engenharia: Síntese sonora de tema de jazz” foi usado um sintetizador: um dispositivo que imita sons de instrumentos, a partir de um oscilador. A partir de notas de uma partitura de *jazz* os autores apresentam uma síntese sonora, técnica que utiliza série de Fourier, possibilitando ler uma partitura e reproduzi-la matematicamente no computador. Essa atividade foi desenvolvida na disciplina de Música para Engenharia Acústica I. Embora muitos alunos demonstrassem preferir a abordagem tradicional na disciplina, reconhecem a importância de ter uma boa introdução ao Matlab e da sua utilidade em outras disciplinas do curso de engenharia acústica.

“Uma avaliação experimental do tubo de ondas sonoras estacionárias” é um artigo em que os autores propõem a automatização de um aparato experimental clássico para o estudo de ondas de som estacionárias: um tubo contendo um êmbolo com microfone para captação do sinal e um alto-falante como fonte excitadora, com o objetivo de minimizar interpretações erradas. Os resultados obtidos na configuração de tubo semiaberto e fechado mostraram-se de acordo com a teoria e mostraram quais parâmetros afetavam de forma mais significativa os experimentos em relação à montagem tradicional, permitindo a correta interpretação e observando resultados experimentais normalmente não discutidos.

Já em “Proposta didático experimental para o ensino inclusivo de ondas no ensino médio” vê-se uma preocupação com a inclusão de cegos e surdos, ao se abordar o tema. Por meio de dois experimentos usando Arduino, relacionam frequências invisíveis e inaudíveis, mas que, através de processamento podem ser convertidas em frequências que sensibilizem os sentidos. O primeiro, sensor ultrassônico para ilustrar a limitação da percepção auditiva humana e o segundo, um sensor de barreira usando um feixe de luz infravermelha, invisível ao olho humano, que produz ruído e sinal luminoso indicando a interrupção do feixe.

Em “Física experimental com Arduino: ondas em uma corda tensionada” foi desenvolvido um aparato para estudo do som emitido por cordas vibrantes de aço e nylon utilizando a plataforma Arduino, um sensor de força e um sensor de áudio, para investigar a relação entre esta força e a frequência do som. Foi feita a análise espectral dos sinais de áudio e os resultados mostraram boa concordância com a teoria. Assim, a abordagem adotada

pode ser utilizada tanto no desenvolvimento de aulas experimentais como também em pesquisa na área de acústica.

No artigo “A física e a música do fagote” características do instrumento são apresentadas. Foram feitos experimentos para estudo das ondas sonoras, espectros sonoros, níveis de pressão sonora, radiação sonora e a psicoacústica do instrumento (relação entre os estímulos sonoros e as sensações auditivas). Os autores concluíram que os processos experimentais utilizados podem ser aplicados ao estudo da física de outros instrumentos musicais, permitindo a observação de diferentes tipos de fontes sonoras e assim contribuindo para a motivação no ensino de Física e de Música.

Essa pesquisa mostrou que o tema é relativamente pouco explorado e pode em muito contribuir para o Ensino de Física. Dentre os artigos estudados, observou-se que alguns podem ser aplicados no Ensino Médio, porém, nenhum no Ensino Fundamental. Mesmo os de baixo custo não apresentam preço tão acessível quando o da flauta doce, sem contar a facilidade de traslado do instrumento.

Em um segundo momento, o campo de pesquisa foi escolhido: as três turmas de nono ano (9º A, 9º B e 9º C) do Ensino Fundamental da Escola Municipal Unidade Integrada Santo Antônio “Colégio Militar Tiradentes XII”, na cidade de Raposa - MA. A partir dessa escolha foi elaborado um questionário de conhecimentos prévios com o objetivo de rastrear os subsunçores dessas turmas de alunos, como ponto de partida (Apêndice A). Esse questionário foi aplicado a cerca de 62 alunos presentes das três turmas selecionadas.

Em seguida, iniciou-se a escrita de uma cartilha, contendo as aulas que serão desenvolvidas em uma sequência, visando o desenvolvimento do conteúdo dos conceitos mais simples aos mais complexos. Elas serão iniciadas por meio de um organizador prévio, no nosso caso, um vídeo com uma música folclórica visando despertar o interesse dos alunos no tema. A sequência de aulas na cartilha conta com seções de curiosidades, arcabouço teórico, exercícios, experimentos, exemplos, simulações etc. Possui um encarte contendo detalhes sobre as partes da flauta doce e digitação das notas musicais.

Ao final da aplicação do produto educacional foram feitos dois outros questionários: o pós-teste e o de autoavaliação dos alunos, buscando indícios de aprendizagem significativa. Os resultados do pré-teste, do pós teste e da autoavaliação foram tabulados e tratados em forma de gráfico, também contendo as respostas a perguntas abertas (capítulo 7). O produto educacional foi aplicado no período de 21-10-2024 a 11-11-2024.

5 Produto Educacional: Elaboração

O referencial teórico escolhido este nosso trabalho foi a Teoria da Aprendizagem Significativa. Logo, buscaremos desenvolver uma cartilha, voltada para os professores de Ciências do Ensino Fundamental, embasada nos conceitos principais dessa teoria, desenvolvida por David Ausubel. Como o conceito de subsunção é central nessa teoria, um questionário de conhecimentos prévios (Apêndice A) foi aplicado em três turmas do 9º ano do Ensino Fundamental. O conteúdo escolhido para esse nível de ensino foi “Ondas Sonoras” e o recurso, dentre outros, a flauta doce. Tanto o tema, interdisciplinaridade entre Física e Música, como o recurso principal, foram escolhidos por sua familiaridade e baixo custo de aquisição.

Todos nós sabemos que a flauta é um instrumento facilitador da alfabetização musical, ou seja, da musicalização, e isso ocorre pela pouca dificuldade que nela encontramos para produzir ou extrair um som; também é facilitadora pela pouca complexidade na sua digitação. A flauta doce é uma boa ferramenta porque também possui um tamanho adequado para o público infantil (...). Outro facilitador da difusão desse instrumento é o baixo valor de mercado para as flautas de séries, produzidas para estudantes. (CASTRO, 2016, p. 9-10).

As aulas foram desenvolvidas em uma sequência, visando o desenvolvimento do conteúdo dos conceitos mais simples aos mais complexos, iniciadas por meio de um organizador prévio, no nosso caso, um vídeo com uma música folclórica visando despertar o interesse dos alunos no tema. Em seguida uma sequência de dez aulas de 50 minutos e, por fim, uma avaliação na busca por indícios de aprendizagem significativa. Esperamos que a cartilha possa converter-se em um material potencialmente significativo para alunos e professores.

5.1 A flauta doce

A flauta doce é um instrumento musical de sopro que pertence à família das madeiras, pois originalmente, esse instrumento musical era feito desse material. Hoje é feito de acetato, pois é mais barato e acessível, em várias cores. A flauta doce pertence a uma família (figura 5.1), isto é, existe a flauta doce sopranino, soprano, contralto, tenor, baixo etc.

Figura 5.1 Flautas soprano, contralto e tenor (menor para maior, respectivamente).



Fonte: próprio autor.

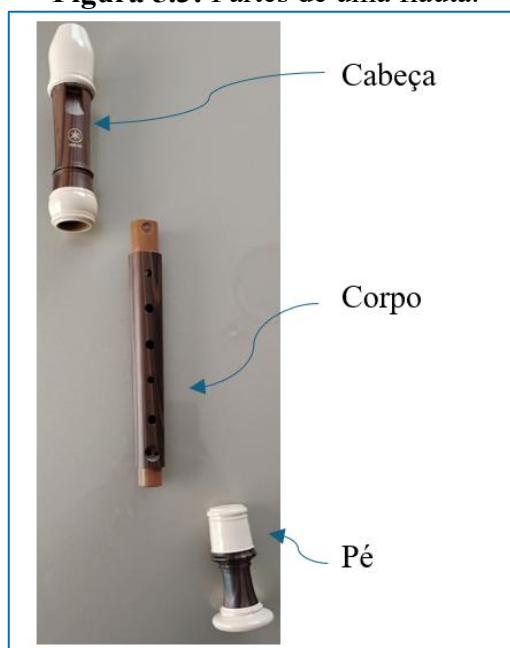
Será utilizada a flauta doce soprano (figura 5.2). Ela pode ser desmontada facilmente e divide-se em três partes: cabeça, corpo e pé (figura 5.3).

Figura 5.2: Flauta soprano.



Fonte: próprio autor.

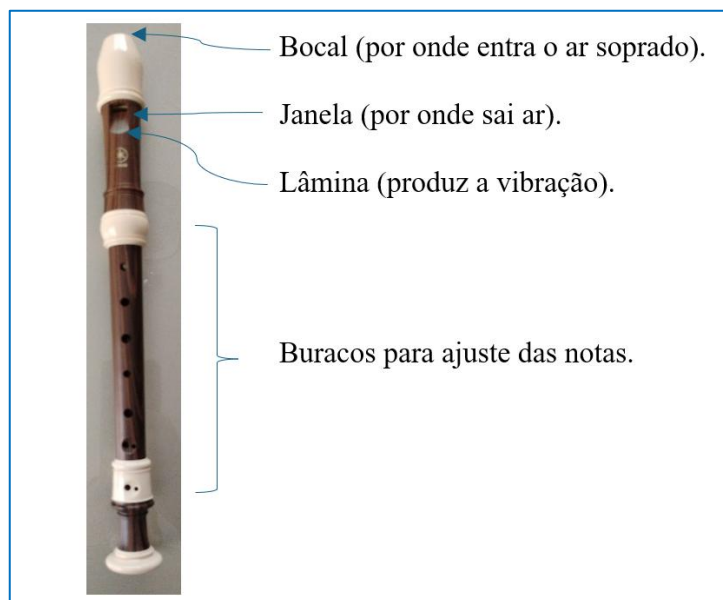
Figura 5.3: Partes de uma flauta.



Fonte: próprio autor.

A cabeça possui uma janela por onde sai o ar soprado, que ataca a lâmina, produzindo vibrações e, por consequência, gerando o som, conforme figura 5.4.

Figura 5.4: Partes da cabeça da flauta.



Fonte: próprio autor.

Na parte de trás da flauta há um furo (figura 5.5) sobre o qual deve-se posicionar o polegar da mão esquerda. Mais detalhes sobre a posição dos dedos na seção 5.2 (digitação das sete notas musicais na flauta doce).

Figura 5.5: Parte posterior da flauta, com furo.



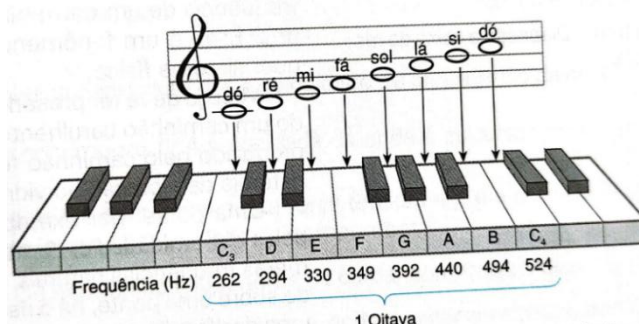
Fonte: próprio autor.

Lembrar de soprar suavemente a flauta, para ela não “apitar”. Um sopro leve como se estivesse dizendo “tuuuuuu”. “(...) devemos apoiar a flauta doce naturalmente sobre os lábios e fechá-los sem contrair. (...) A emissão das notas é feita com um golpe de língua, como se pronunciássemos a sílaba TU (sem o som).” (CASTRO, 2016, p. 31). Quanto mais pressão colocamos no bocal para soprar, maior a intensidade sonora, a qualidade do som relacionada à amplitude de pressão.

5.2 Digitação das sete notas musicais na flauta doce

A seguir, é apresentada a digitação das sete notas musicais na flauta doce, chamada **escala musical**, correspondentes às teclas brancas centrais do teclado (figura 5.6): dó 3, ré 3, mi 3, fá 3, sol 3, lá 3 e si 3. Para esses estudos, não serão necessárias as notas sustenizadas, as teclas pretas do teclado, embora seja possível tocá-las na flauta doce.

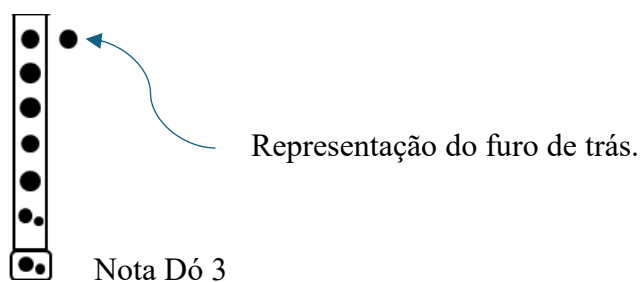
Figura 5.6: Escala musical: dó 3 ao dó 4.



Fonte: PENTEADO e TORRES, 2005, p. 139.

A representação dos furos da flauta em preto significa que devem estar fechados e em branco, que devem estar abertos (figura 5.7).

Figura 5.7: Flauta totalmente fechada: nota dó 3.



Fonte: próprio autor.

A posição dos dedos sobre a flauta deve estar de acordo com a figura 5.8. **Mão esquerda:** polegar sobre o furo de trás; indicador, médio e anelar sobre os três furos superiores. O dedo mínimo da mão esquerda fica suspenso, ele não cobrirá nenhum furo. **Mão direita:** polegar apoia a parte posterior da flauta; indicador, médio, anelar e mínimo sobre os quatro furos inferiores. Ao soprar a flauta, soará a nota dó 3.

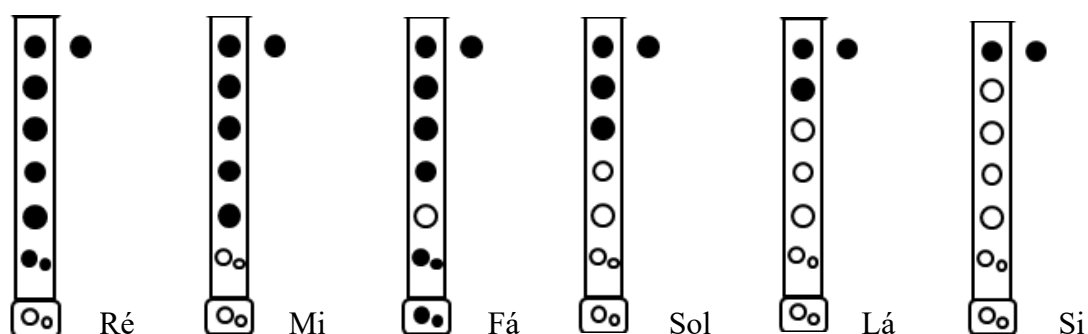
Figura 5.8: Posição dos dedos sobre a flauta.



Fonte: próprio autor.

Para fazer soar as outras notas em sequência, vão se abrindo sucessivamente outros furos, conforme as Figuras 5.9 e 5.10.

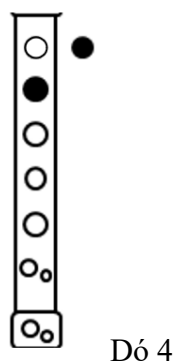
Figura 5.9: Digitação das notas ré 3, mi 3, fá 3, sol 3, lá 3, si 3.



Fonte: próprio autor.

Temos a seguir a representação do dó mais agudo (dó 4), caso o professor deseje ir do dó 3 ao dó 4. Observe que o polegar esquerdo se levanta um pouco para liberar o furo de trás, assim como o indicador da mão esquerda. Uma flauta doce, em geral vendida em qualquer loja de instrumentos musicais a um preço acessível, traz um encarte com instruções para digitação de todas as notas possíveis. Então, se o professor ou aluno quiserem se aprofundar, basta estudá-lo.

Figura 5.10: Digitação da nota dó 4.



Fonte: próprio autor.

5.3 Sequência didática

A sequência didática a seguir é uma sugestão para o desenvolvimento de aulas sobre Acústica utilizando a flauta doce, podendo ser adaptada para a realidade do professor. Foram planejadas dez aulas de cinquenta minutos, com base na experiência docente, ideal para aplicação do produto sem prejuízo aos demais conteúdos, para aplicar o pré e o pós teste, bem como desenvolver bem o tema.

As aulas foram desenvolvidas em aulas com um horário e aulas com dois horários, na “Escola Militar Tiradentes XII” em três turmas de 9º ano, totalizando três aulas por semana. Caso o professor disponha de menos tempo, ainda poderá aplicar a sequência, pois as aulas foram pensadas individualmente.

Em cada etapa da sequência didática, foram consideradas as competências e habilidades preconizadas na Base Nacional Comum Curricular, BNCC, referentes à disciplina Ciências do Ensino Fundamental – Anos Finais, na área temática Matéria e Energia.

Na BNCC, competência é definida como a mobilização de conhecimentos (conceitos e procedimentos), habilidades (práticas, cognitivas e socioemocionais), atitudes e valores para resolver demandas complexas da vida cotidiana, do pleno exercício da cidadania e do mundo do trabalho (BRASIL, 2018, p. 10).

De acordo com BRASIL (2018, p. 35) o código alfanumérico para as habilidades é escrito com duas letras iniciais EF (Ensino Fundamental), dois números 09 (nono ano), duas letras CI (Ciências) e dois números (posição da habilidade na numeração sequencial daquele ano. Ex. a quinta habilidade de Ciências, nono ano, Ensino Fundamental é EF09CI05.

5.3.1 Aula 1: Organizador prévio

O professor poderá exibir o vídeo de sua escolha, mas a sugestão é que seja de um grupo regional, a fim de valorizar a cultura local e a contextualização do conteúdo, visando à competência geral 3 da BNCC. Foi escolhido o vídeo da Companhia Barrica (figura 5.11).

Figura 5.11: Companhia Barrica, São Luís – MA.



Fonte: <https://www.youtube.com/watch?v=TangZ8OlcCc>

Questões para debate:

Você já conhecia esse grupo da cultura popular?

O que você mais gostou no vídeo?

É possível ver e ouvir vários instrumentos musicais. Quais você consegue identificar?

Como esses instrumentos produzem o som que ouvimos?

COMPETÊNCIA GERAL 3. Valorizar e fruir as diversas manifestações artísticas e culturais, das locais às mundiais, e também participar de práticas diversificadas da produção artístico-cultural.

5.3.2 Aula 2: O que é o som?

Iniciar a aula com perguntas, visando ao levantamento e compartilhamento dos conhecimentos prévios dos alunos. O que é o som? Como o som é produzido? Experimente produzir um som: com a boca, com as mãos, com os pés. Já se perguntou como esse som surgiu?

A seguir, um experimento simples é sugerido. Usando uma régua, presa a uma mesa pela mão, toque em sua extremidade, forçando-a a vibrar, conforme a figura 5.12. Varie o comprimento da régua e repita o processo. Veja o que acontece.

Figura 5.12: Vibração de uma régua.



Fonte: próprio autor.

Espera-se que os alunos percebam que são diferentes os sons produzidos pela régua em diferentes comprimentos. O comprimento da régua influencia o som resultante. Assim se diferencia, por exemplo, a voz masculina da feminina pelo tamanho dos músculos das cordas vocais. “Todo som (...) é causado por alguma coisa que vibra. As vibrações são levadas através do ar na forma de ondas sonoras que se espalham simultaneamente em todas as direções” (BENNETT, 1998, p.9).

Assim, o som é uma onda sonora. Para compreender que são ondas sonoras é preciso começar definindo o que são ondas, isto é, perturbações que se propagam. Dependendo da necessidade de meio para se propagar ou não, as ondas podem ser classificadas em mecânicas ou eletromagnéticas. As ondas mecânicas precisam de um meio elástico para se propagar e as eletromagnéticas, não.

São considerados meios elásticos aqueles que se deformam sob ação de uma força e depois retornam à sua forma original. Ex. borracha, metais, o ar etc. Sugere-se outro experimento simples, usando uma seringa sem agulha, para mostrar a elasticidade do ar. A seringa é formada por um cilindro, o bico e um êmbolo (Figura 5.13).

Figura 5.13: Compressão do ar em uma seringa.



Fonte: próprio autor.

Encher o cilindro de ar puxando o êmbolo com o bico da seringa aberto. Em seguida, fechar o bico da seringa e tentar empurrar o êmbolo para comprimir o ar. Soltar o êmbolo, sem abrir o bico da seringa. O que se observa? Observa-se que o ar se comprime com a força aplicada ao êmbolo e depois retorna ao volume original quando cessa a força. Isso costuma ocorrer com materiais elásticos.

Assim, as ondas mecânicas se propagam no ar. O som é uma onda mecânica e é ele o foco do estudo. As ondas mecânicas podem se propagar em quaisquer meios materiais: gases, líquidos e sólidos. O som se propaga no ar, mas também nas águas e nas paredes.

Finaliza-se a aula com a seguinte atividade (figura 5.14): é possível produzir um som, soprando apenas o bocal da flauta com a janela aberta? Tente. Agora obstrua a janela e tente novamente. Por que isso acontece? Qual a função da janela?

Figura 5.14: Cabeça da flauta doce mostrando a janela.

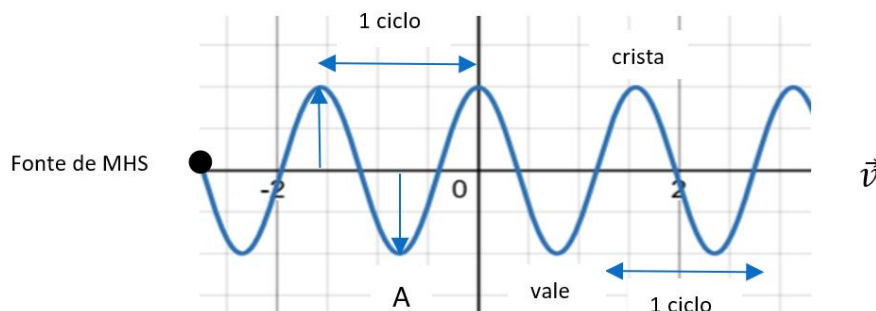


Fonte: próprio autor.

HABILIDADE EF09CI05. Investigar os principais mecanismos envolvidos na transmissão e recepção de imagem e som que revolucionaram os sistemas de comunicação humana.

5.3.3 Aula 3: Características das ondas

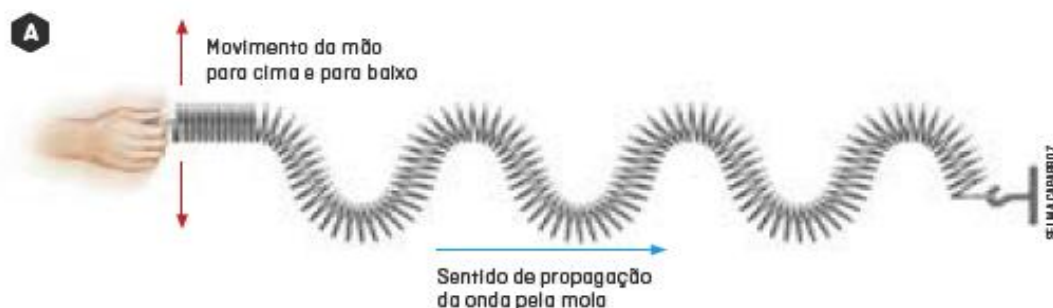
Seja uma onda se propagando em uma corda (figura 5.15). As ondas não deslocam a corda, apenas deslocam alguns de seus pontos. Os pontos da corda que apresentam a mesma configuração estão em posições equivalentes, por exemplo, os pontos do topo da onda. “A parte mais elevada da onda é chamada crista, a parte mais baixa é chamada vale. Um ciclo ocorre quando a onda executa uma oscilação completa, ou seja, um movimento para cima e para baixo em relação a um eixo” (GODOY e MELO, 2022, p. 143).

Figura 5.15: Elementos de uma onda.

Fonte: próprio autor.

Se a onda for estimulada por uma fonte de movimento de sobe e desce (MHS), por exemplo, ela repetirá o movimento dos pontos em intervalos de tempos iguais, obtendo, então, os ciclos. Um ciclo corresponde a uma repetição. Assim, entre um vale e outro ou entre uma crista e outra, tem-se um ciclo e a distância entre esses pontos equivalentes é chamada comprimento de onda (λ). Há, ainda, a amplitude da onda (A), que é a distância de uma crista, ou vale, até o eixo de propagação (linha mais escura na figura 5.15) e a velocidade da onda, \vec{v} . Esse estímulo fornece à corda a energia que se propagada pela onda. Logo, “no movimento ondulatório propaga-se ou transfere-se energia e momento” (ALONSO, 2012, p. 617).

As ondas ainda podem ser classificadas em transversais (A) e longitudinais (B), conforme figuras 5.16 e 5.17. As transversais vibram perpendicularmente à direção de propagação da onda; as longitudinais vibram na mesma direção de propagação da onda.

Figura 5.16: Onda transversal.

Fonte: GODOY e MELO, 2022, p. 63.

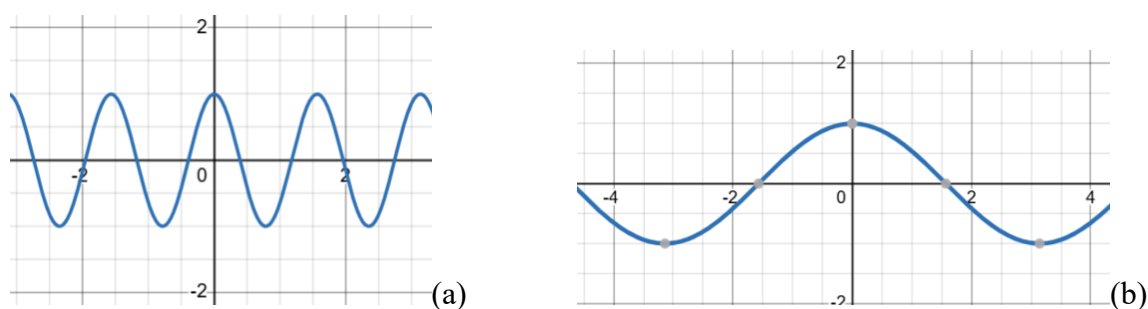
Figura 5.17: Onda longitudinal.

Fonte: GODOY e MELO, 2022, p. 63.

Após a definição de ondas, pode-se estudar um pouco mais as ondas sonoras. Os sons ou ondas sonoras podem ser produzidos por meio de vibrações que se propagam no ar. Essas vibrações podem ser produzidas, por exemplo, por uma corda vibrando, como em um violão, por uma membrana vibrando, como em um tambor ou pandeiro, por uma palheta etc.

O corpo humano tem um aparato para produzir sons. Para conhecê-lo, podemos realizar a seguinte atividade entre os alunos. Peça que ponham as mãos na garganta e recitem as vogais A E I O U. Pergunte a eles: o que você percebeu? Nós também temos um instrumento que gera som em nossa garganta: as cordas vocais. Como a janela no bocal da flauta doce, cuja função é fazer o ar que passa pelo bocal vibrar, as cordas vocais produzem som ao vibrarem com a passagem do ar.

Outras características das ondas são a frequência (f) e o período (T). Frequência é o número de oscilações, isto é, ciclos, por unidade de tempo. Assim, conforme vemos nas Figuras 5.18 (a) e (b), a primeira onda executa mais ciclos que a segunda, no mesmo intervalo de tempo. Logo, a primeira onda possui uma frequência maior que a segunda. A unidade de frequência é ciclos por segundo, ou hertz (Hz), no Sistema Internacional de Unidades (SI).

Figura 5.18: Ondas de alta frequência (a) e baixa frequência (b).

Fonte: próprio autor.

Período é o tempo necessário para completar uma oscilação ou ciclo. A unidade de período é o segundo, no Sistema Internacional de Unidades (SI). Podemos perguntar aos alunos, por exemplo: Qual o período de rotação da Terra? E seu período de translação? Assim, eles podem lembrar que período é um conhecimento prévio, relacionado às aulas de Geografia.

Voltando às figuras 5.18 (a) e (b), observa-se que a primeira onda tem frequência maior que a segunda. Isso significa que ela realiza mais ciclos em menos tempo. Logo, quando maior a frequência, menor o período. Isso significa que frequência e período são grandezas inversamente proporcionais.

Proponha aos alunos a atividade de medição da frequência cardíaca. Mãos sobre o pulso, medir quantas pulsações são observadas em um intervalo de tempo, por exemplo, um minuto (figura 5.19). Como a frequência é o número de oscilações, isto é, ciclos, por unidade de tempo, verificar quantas batidas (oscilações) o coração executa em um minuto. Assim, se poderá obter a frequência cardíaca em batimentos por minuto.

Figura 5.19: Medição da frequência cardíaca.



Fonte: próprio autor.

COMPETÊNCIA ESPECÍFICA 2. Compreender conceitos fundamentais e estruturas explicativas das Ciências da Natureza, bem como dominar processos, práticas e procedimentos da investigação científica, de modo a sentir segurança no debate de questões científicas, tecnológicas, socioambientais e do mundo do trabalho, continuar aprendendo e colaborar para a construção de uma sociedade justa, democrática e inclusiva.

5.3.4 Aula 4: Velocidade da onda

A velocidade é o deslocamento percorrido pelo tempo gasto. Assim, podemos escrever:

$$v = \frac{\Delta s}{\Delta t} \quad (5.1)$$

A unidade de velocidade no SI é o metro por segundo: m/s. Assim, a velocidade do som fica:

$$v = \frac{\lambda}{T} \quad (5.2)$$

onde λ é o comprimento de onda e T é o período. Como $f = \frac{1}{T}$, temos

$$v = \lambda \cdot f \quad (5.3)$$

No caso das ondas, sua velocidade depende de alguns fatores, como o meio de propagação, a temperatura do meio etc. A velocidade do som na água, por exemplo, é diferente da velocidade do som no ar. No ar, em condições normais de temperatura e pressão, a velocidade de propagação do som é de aproximadamente 340 m/s. Isso significa que o som percorre 340 metros no tempo de um segundo. Já na água, à temperatura de 20°C, a propagação do som é aproximadamente quatro vezes mais rápida, algo em torno de 1480 m/s. Podemos perguntar aos alunos “Onde a velocidade do som no ar é maior, de acordo com a tabela 1?”

Tabela1 - Velocidade do som em alguns meios

Material	Velocidade
Borracha	54 m/s
Ferro	5130 m/s
Granito	6000 m/s

Fonte: GODOY e MELO, 2022, p. 64.

Outro fator que influencia a velocidade das ondas é sua natureza, ou seja, se a onda é mecânica ou eletromagnética. Um exemplo é a luz, uma onda eletromagnética que percorre 300 milhões de metros por segundo, ou 300 000 quilômetros por segundo (300 000 km/s).

Para efetuar a conversão de km/h para m/s, devemos transformar cada unidade de medida separadamente. Por exemplo, 1260 km/h:

$$v = 1260 \frac{km}{h} = 1260 \frac{1000 m}{3600 s} \rightarrow v = \frac{1260000 m}{3600 s} \rightarrow v = 350 \frac{m}{s}$$

De maneira prática, para converter para m/s uma velocidade medida em km/h, basta dividir a velocidade por 3,6. Caso a transformação seja no sentido inverso, de m/s para km/h, multiplicar por 3,6. Sugerem-se as seguintes atividades: A velocidade de rotação da Terra é de aproximadamente 1670 km/h no equador. Qual seria sua velocidade em m/s? Agora toque a flauta e emita a nota lá 3. Sendo sua frequência igual a 440Hz, qual seu comprimento de onda no ar?

COMPETÊNCIA ESPECÍFICA 6. Utilizar diferentes linguagens e tecnologias digitais de informação e comunicação para se comunicar, acessar e disseminar informações, produzir conhecimentos e resolver problemas das Ciências da Natureza de forma crítica, significativa, reflexiva e ética.

5.3.5 Aula 5: Questões

Esta aula pode conter questões teóricas e de cálculo, com o intuito de aprofundar o tema. A seguir, sugerimos algumas questões típicas para discussão.

- 1) Qual a diferença entre período e frequência?

Período: intervalo de tempo necessário para a execução de um ciclo.

Frequência: quantidade de ciclos a cada unidade de tempo.

- 2) Suponha que uma onda realize 5 ciclos por segundo. Qual a sua frequência em Hz? Qual o seu período?

Um ciclo por segundo equivale a um hertz (Hz). Logo, 5 ciclos por segundo serão 5 Hz. A frequência e o período são grandezas inversamente proporcionais. Então,

podemos escrever: $f = \frac{1}{T}$, ou ainda, $T = \frac{1}{f}$. Se $f = 5 \text{ Hz}$ então, quanto vale T ? $T = \frac{1}{5} = 0,2 \text{ s}$. Cada ciclo dessa onda leva 0,2 segundos para se completar.

- 3) Seja o período de uma onda igual a 4 segundos. Qual sua frequência?

$f = \frac{1}{T} \therefore f = \frac{1}{4} = 0,25 \text{ Hz}$. Esse resultado significa que essa onda só executa um quarto de ciclo por segundo, já que gasta 4 segundos para executar o ciclo completo.

- 4) Uma onda periódica cujo comprimento de onda é igual a 5,0 cm propaga-se em uma corda com velocidade igual a 200 m/s. Quanto vale sua frequência?

$$\lambda = 5 \text{ cm} = 0,05 \text{ m no SI.} \quad v = \lambda \cdot f. \text{ Logo: } f = \frac{v}{\lambda} = \frac{200}{0,05} = 4000 \text{ Hz.}$$

- 5) A frequência de uma onda é 5,0 Hz e sua velocidade é 0,25 m/s. Calcule seu comprimento de onda e seu período.

$$v = \lambda \cdot f. \text{ Logo: } \lambda = \frac{v}{f} = \frac{0,25}{5} = 0,05 \text{ m} = 5 \text{ cm. Mas } T = \frac{1}{f}, \text{ portanto } T = \frac{1}{5} = 0,2 \text{ s.}$$

$$\text{A velocidade é dada por: } v = \frac{\lambda}{T} = \frac{0,05}{0,2} = 0,25 \text{ m/s.}$$

COMPETÊNCIA ESPECÍFICA 6. Utilizar diferentes linguagens e tecnologias digitais de informação e comunicação para se comunicar, acessar e disseminar informações, produzir conhecimentos e resolver problemas das Ciências da Natureza de forma crítica, significativa, reflexiva e ética.

5.3.6 Aula 6: Exercícios do livro texto

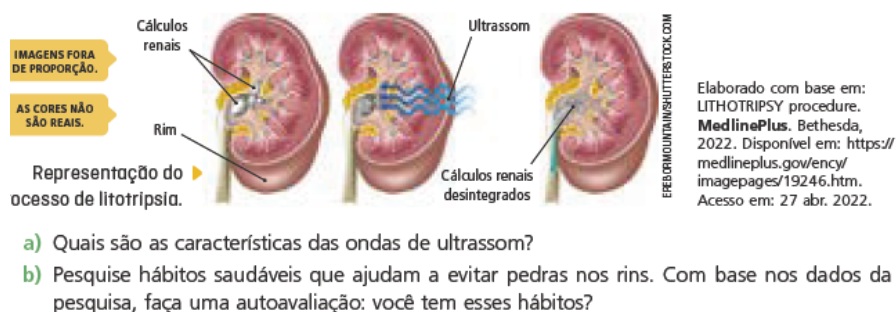
Esta aula foi planejada para realização de exercícios do livro texto. A sugestão é que o professor selecione questões contextualizadas e que estimulem o debate entre os alunos. Aqui, apresenta-se uma questão retirada do livro texto dos alunos “Ciência e Vida”, da editora FTD (figura 5.20). Sugerem-se outras questões do livro texto adotado pela escola em que o professor leciona ou questões elaboradas pelo próprio professor que, no entanto, produzam indagações e a troca de informações, pois de acordo com Moreira (2012):

As atividades colaborativas, presenciais ou virtuais, em pequenos grupos têm grande potencial para facilitar a aprendizagem significativa porque viabilizam o intercâmbio, a negociação de significados, e colocam o professor na posição de mediador (MOREIRA, 2012, p. 23).

Figura 5.20: Questão: relação entre ondas, corpo humano e saúde.

Leia o texto, observe o esquema a seguir e, depois, faça o que se pede.

Quando certos sais presentes nos alimentos se unem, crescem em tamanho e permanecem nos rins, podem provocar uma condição popularmente conhecida como pedra nos rins. Grande parte dessas pedras, ou cálculos, é identificada por meio de ultrassonografia. Se as pedras forem bem pequenas, o tratamento pode ser feito com alta ingestão de líquidos, o que ajuda a eliminá-las pela urina. Entretanto, há cálculos que, por causa do tamanho, precisam ser tratados por meio de ultrassom, que os quebra em pedaços menores, que, então, podem ser eliminados pela urina. Esse processo é chamado litotripsia.



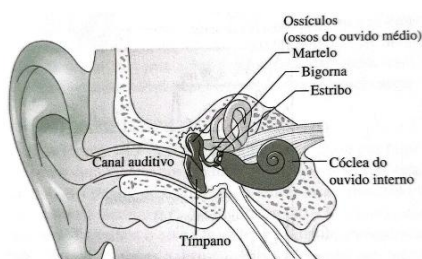
Fonte: GODOY e MELO, 2022, p. 75

COMPETÊNCIA ESPECÍFICA 7. Conhecer, apreciar e cuidar de si, do seu corpo e bem-estar, compreendendo-se na diversidade humana, fazendo-se respeitar e respeitando o outro, recorrendo aos conhecimentos das Ciências da Natureza e às suas tecnologias.

5.3.7 Aula 7: O ouvido humano e qualidades do som

É a orelha que capta as vibrações das ondas sonoras, direcionando-as ao tímpano, uma membrana elástica que vibra na mesma frequência da onda. É a membrana que estimula três ossos bem pequenos: martelo, bigorna e estribo, transmitindo os estímulos sonoros à cóclea, onde os cílios os convertem em estímulos elétricos. O nervo auditivo transmite tais estímulos nervosos, que são conduzidos ao encéfalo, onde a informação é processada (figura 6.13).

Figura 5.21: Ouvido humano.



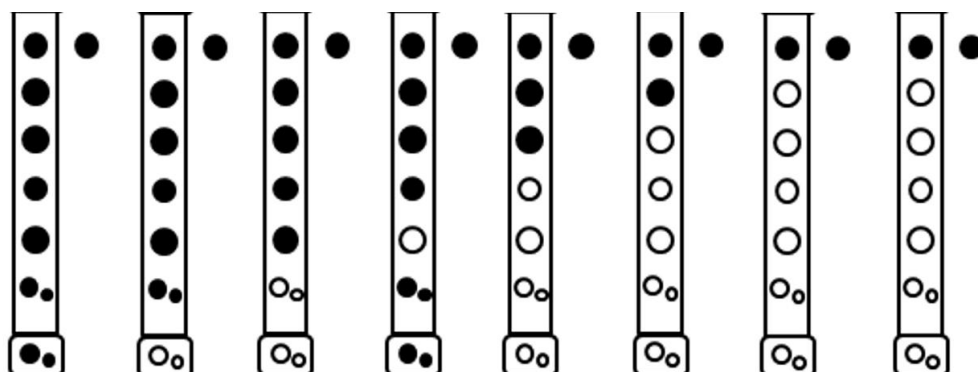
Fonte: YOUNG, 2008, p. 143.

Esse processo é bem complexo, mas nos permite ouvir e perceber certas características ou qualidades do som. Vamos estudar algumas delas.

a) Altura

Ondas sonoras de altas frequências são agudas (som alto). Ondas sonoras de baixas frequências são graves (som baixo). Essa característica é chamada altura do som, que possibilita diferenciar um som grave de um som agudo. As pessoas confundem volume, da TV, por exemplo, com altura. Altura se relaciona com grave e agudo. Volume se relaciona com a intensidade do som. Sugerimos a seguinte atividade com a flauta doce: tocar a escala musical e verificar a diferença entre sons graves e sons agudos (figura 5.22).

Figura 5.22: Digitação da escala musical.



Fonte: próprio autor.

b) Intensidade

Quanto mais pressão colocamos no bocal para soprar, maior a intensidade sonora, a qualidade do som relacionada à amplitude de pressão.

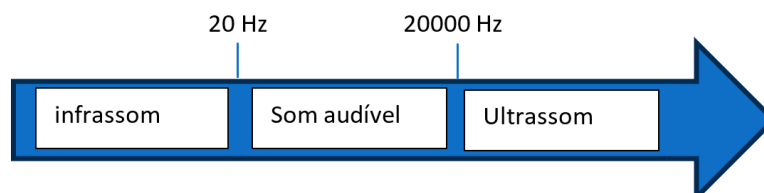
c) Timbre

Outra característica sonora importante é o timbre, que nos permite distinguir os mesmos sons produzidos por instrumentos diferentes: as mesmas notas em um teclado e em uma flauta, soam diferentes. Logo, o timbre é uma característica de cada instrumento musical.

5.3.8 Aula 8: Espectro sonoro

Em geral, o ser humano é capaz de identificar ondas sonoras com frequências entre 20 Hz e 20000 Hz, chamadas frequências audíveis ou, comumente, som (figura 5.23).

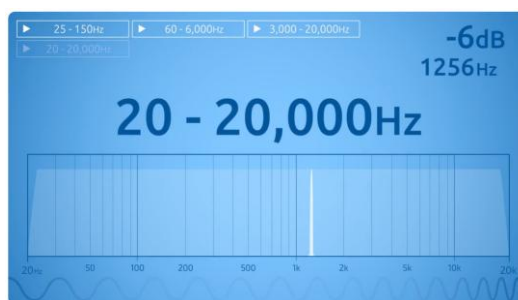
Figura 5.23: Espectro sonoro.



Fonte: próprio autor.

Ondas sonoras abaixo de 20 Hz, chamadas infrassons, e acima de 20000 Hz, ultrassons, não são perceptíveis pelo ser humano. Por meio de um teste (figura 5.24) é possível verificar a extensão da audição, entre 20 Hz a 20.000 Hz. Peça aos alunos que prestem atenção e marquem a frequência que começam a ouvir e quando a frequência fica inaudível. Não é demais lembrar que esse não é um teste audiométrico. Tem apenas função didática.

Figura 5.24: Teste da AudiTech Solution.



Fonte: <https://www.youtube.com/watch?v=9h9V9t4erjo>

Os ultrassons são usados amplamente na Medicina como exames diagnósticos (ultrassonografia), que permitem visualizar órgãos do corpo humano internamente.

Os ultrassons produzem efeitos mecânicos sobre o meio em que se propagam, dando origem a uma grande variedade de aplicações técnicas (detecção de defeitos, limpeza de peças, perfurações etc.). Uma das aplicações mais importantes é em medicina, na ultrassonografia para diagnósticos, em que as frequências típicas empregadas estão na faixa de 2 a 18 MHz (NUSSENZVEIG, 2014, p. 171).

Apesar de imperceptíveis aos seres humanos, outros animais podem ouvir infrassons e ultrassons. Isso mostra que seus sistemas auditivos são diferentes. Veja a tabela 2, a seguir.

Tabela 2: Faixa de som audível de alguns animais.

Animal	Faixa
Cachorro	15 a 40.000 Hz
Elefante	10 a 10.000 Hz
Morcego e golfinho	1.000 a 120.000 Hz

Fonte: GODOY e MELO, 2022, p. 71.

HABILIDADE EF09CI07. Discutir o papel do avanço tecnológico na aplicação das radiações na medicina diagnóstica (raio X, ultrassom, ressonância nuclear magnética) e no tratamento de doenças (radioterapia, cirurgia ótica a laser, infravermelho, ultravioleta etc.).

5.3.9 Aula 9: Exercícios do livro texto

Esta aula, como a aula 6, também foi planejada para realização de exercícios do livro texto. Nossa sugestão, novamente, é que o professor selecione questões contextualizadas e que estimulem o debate entre os alunos. Aqui, apresentamos uma questão retirada do livro texto dos alunos “Ciência e Vida”, da editora FTD (figura 5.25). Sugerimos outras questões do livro texto adotado pela escola em que o professor leciona ou questões elaboradas pelo próprio professor.

Figura 5.25: Questão: relação entre ondas e tecnologia.

1. Geralmente, o termo “som” é utilizado para designar a faixa de altura das ondas sonoras que são audíveis pelos seres humanos. Que característica determina se uma onda sonora é audível ou não pelo ser humano?
2. Quando estamos assistindo a algo na televisão ou escutando música pelo rádio, podemos aumentar o volume, se quisermos ouvir o “som mais alto”, ou abaixar o volume, se quisermos ouvir o “som mais baixo”. Essa é uma forma comum de nos expressarmos diariamente, porém caracterizar um som como alto ou baixo, do ponto de vista científico, não tem relação com o volume.
 - a) Que característica das ondas sonoras define um som como alto ou baixo? Como percebemos a diferença entre esses dois estímulos?
 - b) Que característica das ondas sonoras define o volume do som que escutamos?



▲ Botão de volume de um aparelho sonoro.

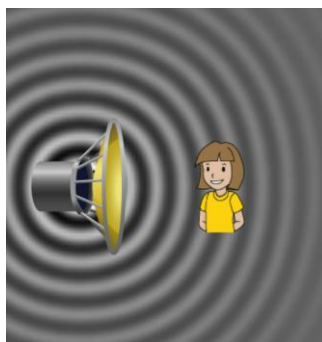
Fonte: GODOY e MELO, 2022, p. 74.

5.3.10 Aula 10: Intensidade e nível sonoro

a) Intensidade sonora

Lembrando que a amplitude de uma onda está relacionada com a intensidade sonora, quanto maior a amplitude, mais energia a onda sonora transporta e, portanto, maior a intensidade sonora. A intensidade sonora está relacionada ao volume do som. Quanto maior a intensidade sonora, maior o volume. Sugerimos a seguinte atividade de simulação no site do PHET Colorado (figura 5.26).

Figura 5.26: Simulação de ondas sonoras.



Fonte: https://phet.colorado.edu/sims/html/sound-waves/latest/sound-waves_all.html?locale=pt_BR







Essa simulação apresenta grande versatilidade, podendo-se manipular o comprimento de onda, a frequência e amplitude, ouvir sons em diferentes amplitudes e frequências, observar a interferência construtiva e destrutiva (superposição de ondas), reflexão das ondas e a variação da pressão de uma onda sonora com a variação da densidade do ar numa caixa. Tais tópicos não pertencem ao conteúdo do Ensino Fundamental, mas os consideramos importantes, caso o professor opte por adaptar a cartilha ao Ensino Médio.

b) Nível sonoro

A partir de uma intensidade mínima perceptível, chamada limiar audível, os seres humanos podem escutar um determinado intervalo de intensidades sonoras, que varia entre as pessoas. A relação entre a intensidade sonora emitida por uma fonte e o limiar audível do ser humano é definida como nível sonoro. No SI, o nível sonoro é medido em bel (B) ou em

décimos de bel, ou seja, em decibel (dB). O ser humano começa a sentir dor acima de 120 decibéis aproximadamente, o limiar de dor. Nas imagens (figura 5.27) a seguir estão ilustradas algumas fontes sonoras e são indicados os níveis sonoros medidos em decibel. O professor pode pesquisar outras com seus alunos.

Figura 5.27: Escala de decibéis.

					
Farfalar de folhas	Ruídos em uma casa	Restaurante barulhento	Britadeira	Show de rock	Decolagem avião a jato
20 dB	50 dB	80 dB	100 dB	120 dB	150 dB

Fonte: próprio autor.

O decibelímetro é um instrumento que mede nível sonoro. Podemos baixar um aplicativo do decibelímetro na *Play Store* ou na *Apple Store*. Faça medidas de nível sonoro da sua sala de aula, do som da flauta, ventilador, ar-condicionado, da conversa dos seus colegas, do corredor, da biblioteca etc. Sugira aos alunos que coloquem os valores encontrados em uma tabela em ordem crescente. Depois, discutam o tema. Seguem algumas dicas relacionadas aos fones de ouvido.



Evite ouvir música, podcast, filmes em volumes altos demais, especialmente se for usar fones de ouvido. Sua audição pode sofrer danos, muitas vezes, irreversíveis.



Baixe o volume, use cerca de 50% do máximo. O ouvido humano tolera sons até 80 decibéis. Acima disso pode causar danos.



Limite o tempo de exposição aos fones, fazendo pausas de 10 minutos a cada hora.



Evite usar fones em ambientes já barulhentos, como ônibus lotado.

COMPETÊNCIA ESPECÍFICA 7. Conhecer, apreciar e cuidar de si, do seu corpo e bem-estar, compreendendo-se na diversidade humana, fazendo-se respeitar e respeitando o outro, recorrendo aos conhecimentos das Ciências da Natureza e às suas tecnologias.

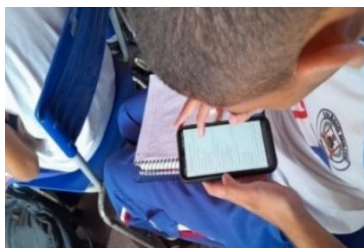
6 Produto Educacional: Aplicação

As aulas que constituem este produto educacional foram realizadas em três turmas de 9º ano, entre os dias 21-10-2024 e 11-11-2024, envolvendo um total de 62 alunos da Escola Militar Tiradentes XII, Raposa - MA.

6.1 Primeira aula

A primeira aula foi dividida em três momentos: apresentação do projeto, aplicação do questionário pré-teste e debate após exibição do vídeo organizador prévio. No primeiro momento foi explicado para os alunos sobre o projeto do mestrado, sua importância e abrangência e em um segundo momento, que eles seriam submetidos a um pré-teste (figura 6.1), via *Google Forms*. Foi informado que não valeria nota, sendo uma forma de sondar o conhecimento que eles já têm e que não seria necessário se identificar e que seria aplicado outro teste no final do projeto. Assim, foi criado um grupo de WhatsApp, onde foi disponibilizado o *link* do formulário e respondido em sala de aula.

Figura 6.1: Aluno respondendo ao questionário pré-teste.



Fonte: próprio autor.

No terceiro momento, foi colocado para os alunos um vídeo da Companhia Barrica (figura 6.2), grupo folclórico muito popular no Estado do Maranhão, o qual possui uma grande quantidade músicos, cantores e dançarinos. Após o vídeo, o organizador prévio, iniciou-se um debate com as seguintes perguntas:

- Você já conhecia esse grupo da cultura popular?
- O que você mais gostou no vídeo?
- Vemos e ouvimos vários instrumentos musicais. Quais você consegue identificar?
- Como esses instrumentos produzem o som que ouvimos?

Figura 6.2: Exibição do vídeo da Companhia Barrica.



Fonte: próprio autor.

Outras perguntas sobre a voz e o som foram surgindo espontaneamente, em um momento muito produtivo, no qual os alunos participaram com entusiasmo. Foram informados que seriam detalhados mais adiante esses temas. Perguntaram também sobre porque uma ambulância ou uma viatura aumenta o som quando está se aproximando e diminui o volume quando está se afastando, a diferença da voz de homens e mulheres, por que os instrumentos emitem sons diferentes, os latidos dos cães variam conforme a raça etc.

6.2 Segunda aula

A segunda aula iniciou com uma pergunta problematizadora: o que é som? Como podemos produzi-lo? Várias respostas surgiram baseadas no senso comum. Foi explicado que o som é uma vibração que se propaga pelo ar transmitindo energia e não matéria. Para que a aula fosse mais lúdica e melhorar compreensão dos alunos, foram realizados alguns experimentos. Uma régua apoiada na mesa produzindo oscilações com comprimentos diferentes: 10 cm, 20 cm e 25 cm, para que os alunos pudessem entender a relação da vibração com o comprimento da régua (figura 6.3). Os alunos participaram, causando a perturbação na régua, produzindo sons.

Figura 6.3: Régua em vibração.



Fonte: próprio autor.

Uma caixa de som foi usada para responder como o som é produzido. Os alunos concluíram que ele se propaga por vibrações que se transmitem no ar, na água e outros meios. Para aumentar a participação, foram mostrados vídeos dos cantores Freddy Mercury e Montserrat Caballet, Andreia Bocelli e Sarah Brightman, para esclarecer as dúvidas sobre a diferença entre vozes masculinas e femininas, pergunta surgida na aula anterior (figura 6.4).

Figura 6.4: Vídeo de cantores: vozes masculinas e femininas.



Fonte: próprio autor.

Continuando a aula, para explicar as ondas que se propagam em um plano, foi mostrado o exemplo de um prato com água e uma pequena bola, causando perturbação (figura 6.5). Esse momento foi importante, pois os alunos citaram muitos exemplos semelhantes.

Figura 6.5: Bola no prato, causando perturbação na água.



Fonte: próprio autor.

Foi explicado ainda a diferença entre ondas mecânicas e ondas eletromagnéticas. A primeira necessitando de um meio material para se propagar e a segunda podendo propagar-se mesmo no vácuo.

Outro exemplo foi dado para mostrar que o ar é elástico, usando uma seringa, por meio de compressão e expansão do ar dentro da seringa (figura 6.6).

Figura 6.6: Compressão do ar em uma seringa.



Fonte: próprio autor.

Finalizando a aula, mostramos que era possível produzir um som, soprando apenas o bocal da flauta com a janela aberta (figura 6.7). Porém, ao obstruirmos a janela com o dedo, não houve produção de som, pois o ar foi impedido de vibrar, afinal, essa é a função da janela com a lâmina. Uma curiosidade: quando a flauta foi tocada com o dedo sobre a janela não houve vibração, só saiu ar sem produção do som, causando grande surpresa.

Figura 6.7: Cabeça da flauta, mostrando a janela e a lâmina.



Fonte: próprio autor.

6.3 Terceira aula

A aula 3 foi retomada dos tópicos das aulas 1 e 2, abordando o seguinte exemplo de produção de onda em uma corda (figura 5.6). Com a participação dos alunos, o professor perturba a corda com a mão. Nesse caso, sua mão é a fonte e a corda é o meio de propagação. A onda na corda é uma onda mecânica. Reforçamos que há o transporte de energia e não de matéria.

Figura 6.8: Professor e aluno produzindo onda em uma corda.



Fonte: próprio autor.

Prosseguindo o assunto, foram abordados os tipos de ondas quanto à sua natureza: mecânicas e eletromagnéticas, dando exemplos dessas últimas como: TV, celular, micro-ondas, além dos tipos de ondas, transversais e longitudinais, de acordo com o sentido de propagação e da vibração.

Foram discutidos os seguintes conceitos, relacionando-os aos conhecimentos prévios dos alunos: crista e vale de uma onda, amplitude e comprimento de onda, frequência e período, velocidade da onda, ondas transversais e longitudinais. Os alunos começaram a demonstrar compreensão sobre som, recordando os exemplos da onda na corda, do prato com água, a caixa de som, a seringa e os vídeos dos cantores.

Foram ressaltadas duas curiosidades: uma para pôr as mãos na garganta e recitar as vogais A E I O U, a fim de perceber as vibrações das cordas vocais; outra para medir a frequência cardíaca em batimentos por minuto.

Figura 6.9: Alunos medindo a frequência cardíaca.



Fonte: próprio autor

Os alunos interagiram, medindo a própria frequência cardíaca e auxiliando outros a medir a sua, com auxílio do cronômetro do celular. Esta aula parte de um conteúdo mais geral das ondas para os mais específicos, caracterizando a diferenciação progressiva.

6.4 Quarta aula

A aula 04 iniciou-se com a pergunta: o que é velocidade. Os alunos responderam: “velocidade é tudo que se movimenta”, “é quando alguém corre”, “é um carro ou uma moto passando do nosso lado e vai em bora”, e outros conceitos semelhantes a esses.

O conceito de velocidade foi explorado, bem como sua relação entre comprimento de onda, frequência e período. Ressaltou-se que o som pode se propagar em meios diferentes, sólidos, líquidos e gasosos, com velocidades diferentes. Por isso, a velocidade do som na água é muito diferente da velocidade do som no ar, por exemplo. Destacou-se que em condições normais de temperatura e pressão a velocidade do som no ar é 340 m/s. Os alunos ficaram curiosos quanto ao valor da velocidade do som na água. Foi esclarecido que, à temperatura de 20°C, a propagação é mais rápida: 1480m/s. Comparou-se também, as velocidades do som e de algumas ondas eletromagnéticas, que podem chegar a 300.000 Km/s (velocidade da luz no vácuo). Ainda foi trabalhada a conversão de km/h em m/s e vice-versa (figura 6.10).

Figura 6.10: Alunos convertendo unidades de velocidade.



Fonte: próprio autor.

6.5 Quinta aula

A aula 5 foi planejada para desenvolver 15 questões comentadas, nas quais dúvidas foram surgindo à medida que o debate prosseguia. Com essa estratégia, os alunos interagiram

e trocaram experiências, entre si e com o professor. Foram aplicadas questões conceituais e de cálculo. Optou-se por questões simplificadas, aprofundando o assunto durante a explicação. As questões são apenas sugestões e o debate permitia respostas mais abertas, sujeitas a discussão.

Questões

1. O que é uma onda?

É o movimento causado por uma perturbação que se propaga no meio.

2. O que são ondas mecânicas?

São ondas que precisam de um meio material para se propagar. Não se propagam no vácuo.

3. Dê exemplos de ondas unidimensionais, bidimensionais e tridimensionais.

Ondas em cordas (uma só direção de propagação).

Ondas na superfície de um lago (propagação em um plano, duas direções).

Ondas sonoras (propaga-se nas três direções).

4. Quanto à sua natureza, como as ondas podem ser classificadas?

Mecânicas e eletromagnéticas.

5. Dê exemplos de ondas eletromagnéticas.

Luz visível, microondas, raios X, raios ultra-violeta etc.

6. É correto afirmar que as ondas transportam energia? E matéria?

Sim, as ondas transportam energia, mas não matéria.

7. Cite alguns meios materiais através dos quais ondas mecânicas podem se propagar.

Gases (ar), Líquidos (água), sólidos (solo, parede, cordas).

8. Em quais meios o som pode se propagar?

O som é uma onda mecânica, então pode se propagar em gases, líquidos e sólidos.

9. O som se propaga no vácuo?

Não, pois é uma onda mecânica. No vácuo não há moléculas para transmitir as ondas sonoras.

10. Qual é a diferença entre um comprimento de onda e sua amplitude?

Comprimento de onda: distância entre duas cristas ou dois vales consecutivos (ou a distância percorrida em um ciclo).

Amplitude: distância de uma crista ou vale ao eixo de propagação da onda.

11. Como definimos o período de uma onda? E sua frequência?

Período é o intervalo de tempo necessário para a execução de um ciclo, enquanto a frequência é a quantidade de ciclos executados a cada unidade de tempo.

12. Suponha que uma onda realize 5 ciclos por segundo. Qual a sua frequência em Hz? Qual o seu período?

Um ciclo por segundo equivale 1 Hz. Logo, 5 ciclos por segundo serão 5 Hz.

A frequência e o período são grandezas inversamente proporcionais. Então, podemos escrever: $f = \frac{1}{T}$, ou ainda, $T = \frac{1}{f}$.

Se $f = 5$ Hz então, quanto vale T ? $T = \frac{1}{5} = 0,2$ s.

Cada ciclo dessa onda leva 0,2 segundos para se completar.

13. Seja o período de uma onda igual a 4 segundos. Qual sua frequência?

Sabemos que $f = \frac{1}{T}$. Logo: $f = \frac{1}{4} = 0,25$ Hz.

Esse resultado significa que essa onda só executa um quarto de ciclo por segundo, já que gasta 4 segundos para executar o ciclo completo.

14. Uma onda periódica cujo comprimento de onda é igual a 5,0 cm propaga-se em uma corda com velocidade igual a 200 m/s. Quanto vale sua frequência?

$\lambda = 5$ cm = 0,05 m no Sistema Internacional.

$v = \lambda \cdot f$. Logo: $f = \frac{v}{\lambda} = \frac{200}{0,05} = 4000$ Hz.

15. A frequência de uma onda é 5,0 Hz e sua velocidade é 0,25 m/s. Calcule seu comprimento de onda e seu período.

$$v = \lambda \cdot f. \text{ Logo: } \lambda = \frac{v}{f} = \frac{0,25}{5} = 0,05 \text{ m} = 5 \text{ cm. Mas } T = \frac{1}{f}, \text{ portanto } T = \frac{1}{5} = 0,2 \text{ s.}$$

$$\text{Vamos recordar? A velocidade é dada por: } v = \frac{\lambda}{T} = \frac{0,05}{0,2} = 0,25 \text{ m/s.}$$

Observa-se que o debate das questões de 1 a 11 permite a negociação de significados, enquanto as questões de 12 a 15 aumentam em complexidade, evidenciando a diferenciação progressiva.

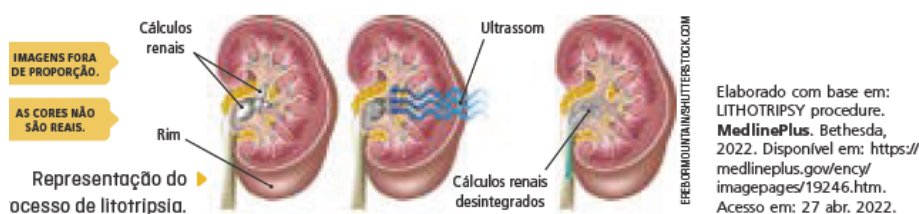
6.6 Sexta aula

A aula 6 foi reservada para resolução de exercícios. Foram resolvidas questões do livro didático. Nossa sugestão é que, ao usar o livro-texto, o professor selecione questões contextualizadas e que estimulem o debate. A seguir, um exemplo do livro “Ciência e Vida” da editora FTD (figura 6.11).

Figura 6.11: Questão: relação entre ondas, corpo humano e saúde.

Leia o texto, observe o esquema a seguir e, depois, faça o que se pede.

Quando certos sais presentes nos alimentos se unem, crescem em tamanho e permanecem nos rins, podem provocar uma condição popularmente conhecida como pedra nos rins. Grande parte dessas pedras, ou cálculos, é identificada por meio de ultrassonografia. Se as pedras forem bem pequenas, o tratamento pode ser feito com alta ingestão de líquidos, o que ajuda a eliminá-las pela urina. Entretanto, há cálculos que, por causa do tamanho, precisam ser tratados por meio de ultrassom, que os quebra em pedaços menores, que, então, podem ser eliminados pela urina. Esse processo é chamado litotripsia.



- Quais são as características das ondas de ultrassom?
- Pesquise hábitos saudáveis que ajudam a evitar pedras nos rins. Com base nos dados da pesquisa, faça uma autoavaliação: você tem esses hábitos?
- A partir do exemplo da litotripsia, forme um grupo com seus colegas e discutam a importância de estudar as ondas sonoras para a área da saúde. Elaborem um texto sobre isso.

6.7 Sétima aula

Nesta aula foi falado mais especificamente sobre o aparelho auditivo, suas principais partes componentes, as ondas sonoras e o ouvido humano (figura 6.12). Foi ressaltado que mesmo pessoas surdas ainda sentem as vibrações das ondas sonoras.

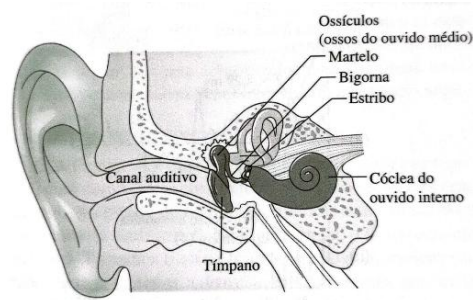
Figura 6.12: Aula sobre o ouvido humano.



Fonte: próprio autor.

É a orelha que capta as vibrações das ondas sonoras, direcionando-as ao tímpano, uma membrana elástica que vibra na mesma frequência da onda. É a membrana que estimula três ossos bem pequenos: martelo, bigorna e estribo, transmitindo os estímulos sonoros à cóclea, onde os cílios os convertem em estímulos elétricos. O nervo auditivo transmite tais estímulos nervosos, que são conduzidos ao encéfalo, onde a informação é processada (figura 6.13).

Figura 6.13: Ouvido humano.



Fonte: YOUNG, 2008, p. 143.

A flauta doce soprano (figura 6.14) foi apresentada em mais detalhes para a turma, para reforçar o conceito de frequência.

Figura 6.14: Flauta doce barroca soprano de acetato Yamaha.



Fonte: próprio autor.

Foram destacadas suas partes componentes (figura 6.15), informado o material, acetato, a facilidade de uso e como tocar a escala musical (dó-ré-mi-fá-sol-lá-si). Foi ainda usada para diferenciar notas altas (agudas) e baixas (graves).

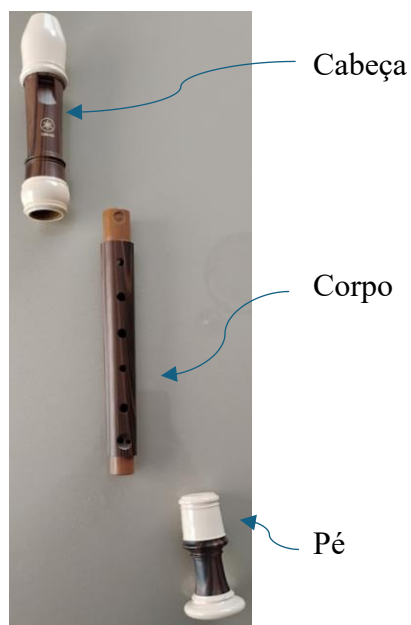
Figura 6.15: Partes da flauta doce barroca soprano.



Fonte: próprio autor.

A flauta doce é um instrumento de sopro que pertence à família das madeiras, pois originalmente, esse instrumento musical era feito de madeira. Hoje é feita de acetato, um material mais barato e acessível. A flauta doce se divide em três partes: cabeça, corpo e pé, como podemos ver na figura 6.16 a seguir.

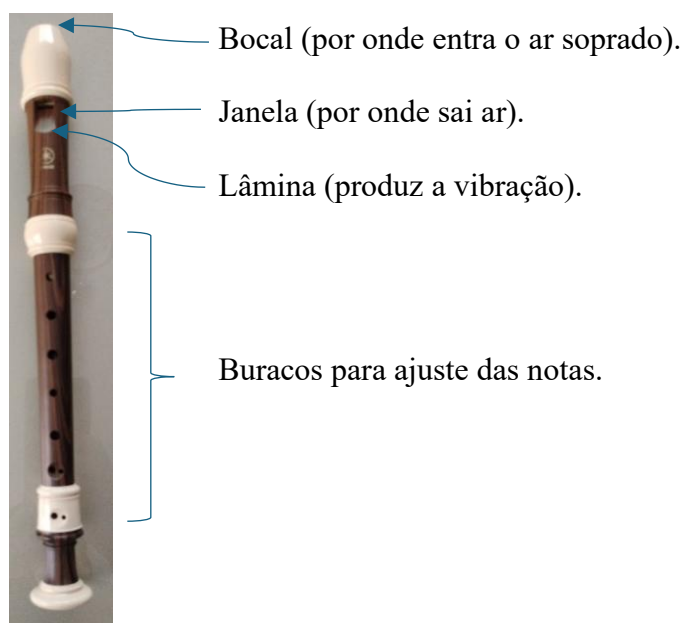
Figura 6.16: Partes da flauta doce barroca soprano.



Fonte: próprio autor.

A cabeça tem ainda uma janela dotada de uma lâmina responsável por produzir a vibração do ar que entra soprado pelo bocal. Foram mostrados os furos no corpo da flauta, para que possa ser feito o ajuste das notas (figura 6.17).

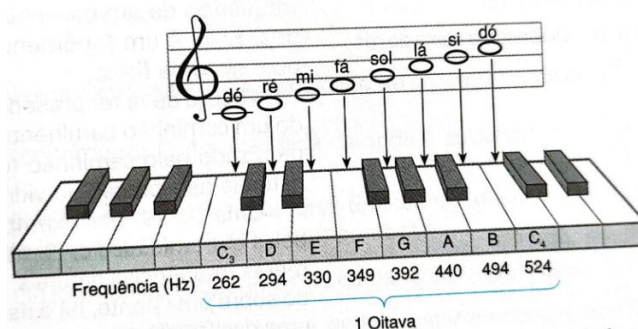
Figura 6.17: Partes da cabeça da flauta doce barroca soprano.



Fonte: próprio autor.

Em seguida, relacionou-se a frequência à altura das notas, das mais agudas às mais graves, por meio da escala musical (figuras 6.18 e 6.19). “Escala (do latim *scala*, significando escada) é uma série de sons conjuntos que se sucedem em direção ascendente ou descendente”. (BENNETT, 1998, p. 17).

Figura 6.18: Escala musical.



Fonte: PENTEADO e TORRES, 2005, p. 139.

Figura 6.19: Escala musical na flauta doce.



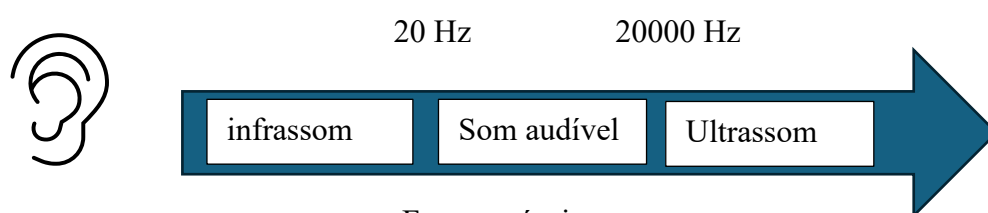
Fonte: próprio autor.

Uma informação importante: a flauta doce contém na sua embalagem um encarte com as informações sobre como tocar as notas musicais na flauta doce em questão. Ressaltou-se, nesse momento, que quanto mais pressão colocamos no bocal para soprar, maior a **intensidade sonora**, isto é, a característica do som relacionada à amplitude de pressão. Quanto ao **timbre**, ressaltou-se que é a característica sonora que nos permite distinguir os sons produzidos por instrumentos diferentes: as mesmas notas em um teclado e em uma flauta, soam diferentes.

6.8 Oitava aula

Nesta aula enfatizou-se os tipos de som quanto à frequência: os sons audíveis, aproximadamente entre 20Hz e 20.000 Hz, os infrassons, abaixo de 20Hz e os ultrassons, acima de 20.000 Hz. É o chamado espectro sonoro (figura 6.20).

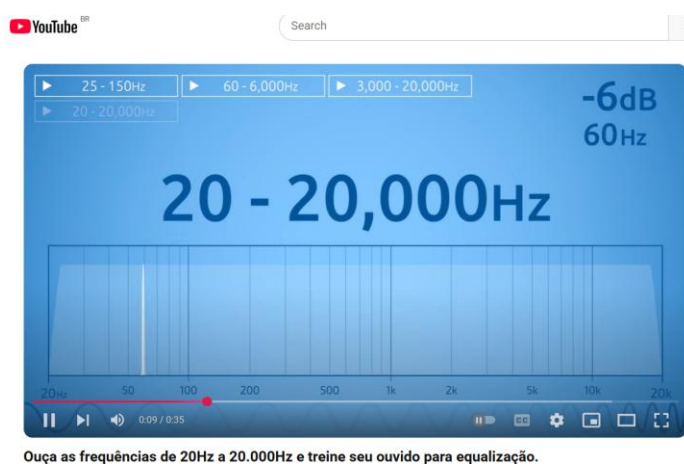
Figura 6.20: Espectro sonoro.



Fonte: próprio autor

Foi feito um teste de audição onde os alunos ouviram frequências de 20 Hz a 20.000 Hz para verificar qual a extensão de sua audição. Foi pedido que prestassem atenção e marcassem a frequência que começavam a ouvir e quando a frequência ficaria inaudível. Para ouvir o teste, basta acessar o link da figura 6.21.

Figura 6.21: Faixa de frequências de 20 Hz a 20.000.



Fonte: <https://www.youtube.com/watch?v=9h9V9t4erjo>

Alguns alunos ficaram bem incomodados com as frequências mais altas. Foi ressaltado que, dependendo da intensidade sonora atinge-se o chamado **limiar de dor**, motivo da última (décima) aula.

Os alunos também se mostraram animados quando descobriram que os animais ouvem diferentes frequências, as quais os seres humanos não são capazes, como alguns infrassons por elefantes e cachorros e ultrassons como morcegos, golfinhos e cachorros.

6.9 Nona aula

A aula 9 foi reservada para resolução de exercícios do livro didático. Foram resolvidas questões do livro didático. Novamente, nossa sugestão é que, ao usar o livro-texto, o professor selecione questões contextualizadas e que estimulem o debate. A seguir, um exemplo do livro “Ciência e Vida” da editora FTD (figura 6.22).

Figura 6.22: Questão trabalhada em sala de aula a partir do livro didático.

1. Geralmente, o termo “som” é utilizado para designar a faixa de altura das ondas sonoras que são audíveis pelos seres humanos. Que característica determina se uma onda sonora é audível ou não pelo ser humano?
2. Quando estamos assistindo a algo na televisão ou escutando música pelo rádio, podemos aumentar o volume, se quisermos ouvir o “som mais alto”, ou abaixar o volume, se quisermos ouvir o “som mais baixo”. Essa é uma forma comum de nos expressarmos diariamente, porém caracterizar um som como alto ou baixo, do ponto de vista científico, não tem relação com o volume.
 - a) Que característica das ondas sonoras define um som como alto ou baixo? Como percebemos a diferença entre esses dois estímulos?
 - b) Que característica das ondas sonoras define o volume do som que escutamos?



▲ Botão de volume de um aparelho sonoro.

Fonte: GODOY e MELO, 2022, p. 74.

Os alunos foram estimulados a responder às questões de forma oral, ao tempo em que se discutia com toda a turma (figura 6.23). Ressaltou-se mais uma vez, a relação dos sons musicais e as ondas sonoras, suas características, como timbre, intensidade, frequência, espectro sonoro, velocidade da onda, a fim de consolidar os conhecimentos sobre essas grandezas físicas em Acústica.

Figura 6.23: Resolução e discussão dos exercícios do livro texto.



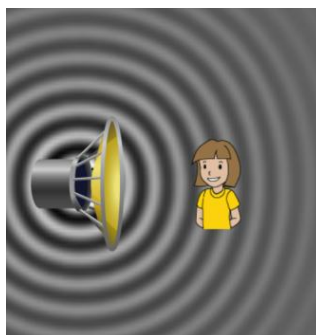
Fonte: próprio autor

6.10 Décima aula

Na décima aula falou-se sobre nível sonoro, um conceito que os alunos costumam confundir com volume, especialmente em aparelhos como televisão e celular. Como nessa aula o projetor não estava disponível, foram enviados os slides para o grupo dos alunos, o que acabou sendo uma boa estratégia, pois promoveu maior interação entre eles.

Foram explicados conceitos importantes, como o volume e como ele se relaciona à intensidade sonora, que por sua vez se relaciona à energia da onda. Assim como limiar audível, nível sonoro e amplitude da onda. Foi realizada uma simulação no site PHET COLORADO. Para fazer a simulação, basta acessar o link da figura 6.24.

Figura 6.24: Simulação de ondas sonoras.



Fonte: https://phet.colorado.edu/sims/html/sound-waves/latest/sound-waves_all.html?locale=pt_BR

Nessa simulação pode-se manipular o comprimento de onda, a frequência e amplitude, ouvir sons em diferentes amplitudes e frequências, observar a interferência

construtiva e destrutiva das ondas sonoras (superposição de ondas), reflexão das ondas e a variação da pressão de uma onda sonora com a variação da densidade do ar numa caixa. Destaca-se a relação entre distância e intensidade sonora, pois é possível mover o ouvinte em relação à fonte sonora.







Após esse momento, algumas perguntas foram levantadas para gerar curiosidade:

- Você já ouviu falar de decibéis?
- Sabe o que é um decibelímetro?
- Como é possível medir o nível sonoro?

A partir de uma intensidade mínima perceptível, chamada **limiar audível**, os seres humanos podem escutar um determinado intervalo de intensidades sonoras. O limiar audível varia entre as pessoas. A relação entre a intensidade sonora emitida por uma fonte e o limiar audível do ser humano é definida como nível sonoro. No SI, o nível sonoro é medido em bel (B) ou em décimos de bel, ou seja, em decibel (dB). O ser humano começa a sentir dor acima de 120 decibéis aproximadamente, o **limiar de dor**.

Na figura 6.25, a seguir estão ilustradas algumas fontes sonoras e são indicados os níveis sonoros medidos em decibel. Professor e alunos podem pesquisar outras.

Figura 6.25: Escala de níveis sonoros.

					
Farfalhar de folhas	Ruídos em uma casa	Restaurante barulhento	Britadeira	Show de rock	Decolagem avião a jato
20 dB	50 dB	80 dB	100 dB	120 dB	150 dB

Fonte: próprio autor.

Os alunos foram motivados a baixar um aplicativo gratuito que simula um decibelímetro. Foram medidos níveis sonoros da sala de aula, do ventilador, do ar-condicionado, da flauta doce, variando a intensidade e a distância das fontes.

Foi informado da importância do uso moderado de fones de ouvido e como ondas sonoras de altos níveis sonoros podem prejudicar as células do ouvido. Foi ressaltado o conceito de limiar de dor, que ocorre quando certas frequências e níveis sonoros combinados causam, além de danos parciais ou permanentes, incômodo e dor.

Algumas dicas foram compartilhadas na sala de aula, sobretudo sobre o fone de ouvido, como: manter o volume do aparelho abaixo de 50% de sua capacidade, limitar o tempo de exposição, fazendo pausas de 10 minutos a cada hora, evitar uso de fones em ambientes já barulhentos. Os alunos foram muito sinceros ao afirmar que quebram a maioria dessas regras. Concluiu-se que as aulas servem para sensibilizar sobre o tema e disseminar a informação para o correto uso dos fones de ouvido.

Figura 6.26: Alunos baixando o aplicativo do decibelímetro.



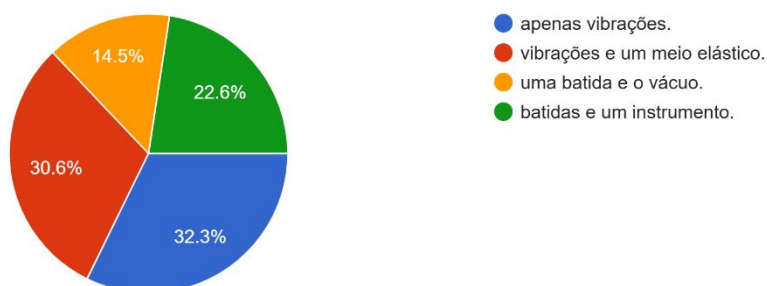
Fonte: próprio autor.

7 Resultados e Discussão

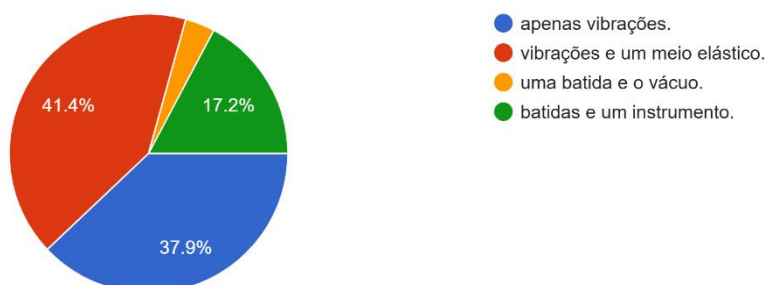
Serão apresentados, neste capítulo, os resultados da análise dos gráficos que foram feitos em dois momentos: o primeiro, um pré-teste para saber o grau de conhecimento dos alunos sobre ondas e sons; o segundo, chamado de pós- teste, para avaliar a aprendizagem, após a sequência de dez aulas sobre ondas e sons. A seguir, será feita uma comparação entre as questões, no momento do pré-teste e do pós teste, respectivamente, uma a uma. Um total de 62 alunos responderam ao pré-teste. Já o pós teste contou com 58 alunos presentes no dia da aplicação. Os gráficos foram gerados automaticamente, após a aplicação dos questionários por meio do *Google Forms*.

Gráfico 1: Condições para que haja som.

1 - Para que haja som, é necessário:
62 responses



1 - Para que haja som, é necessário:
58 responses



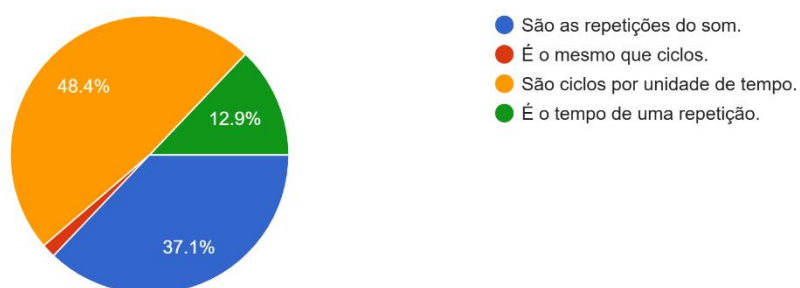
Fonte: Google forms.

Percebe-se, na primeira questão do pré-teste, que os alunos já tinham um certo conhecimento sobre o conceito de som (30,6% de respostas corretas) e que após a aplicação do pós-teste, houve um crescimento de 11,4%. Vê-se também o crescimento entre a associação entre som e vibrações (embora parcialmente errada) e uma redução entre as respostas que associam som se propagando no vácuo e necessidade de um instrumento musical para ouvir um som.

Gráfico 2: O que é a frequência de uma onda?

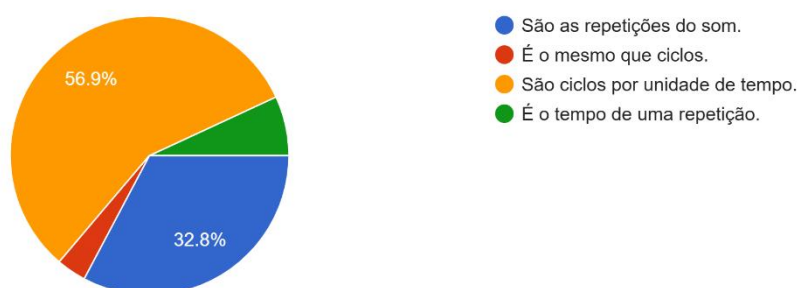
2 - O que é a frequência de uma onda?

62 responses



2 - O que é a frequência de uma onda?

58 responses



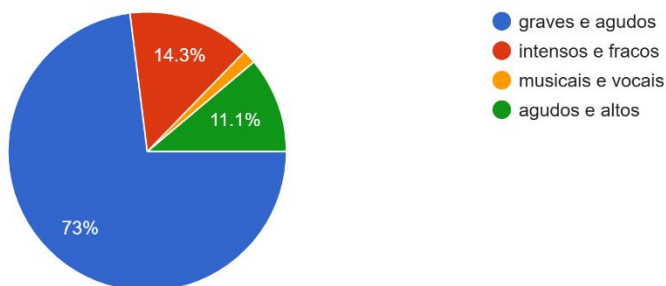
Fonte: Google forms.

Na segunda questão houve um aumento de 8,5% no número de respostas corretas. Observa-se que ainda há mais de 30% de alunos que veem uma relação (embora incompleta) entre frequência e número de repetições.

Gráfico 3: Sons, de acordo com a frequência.

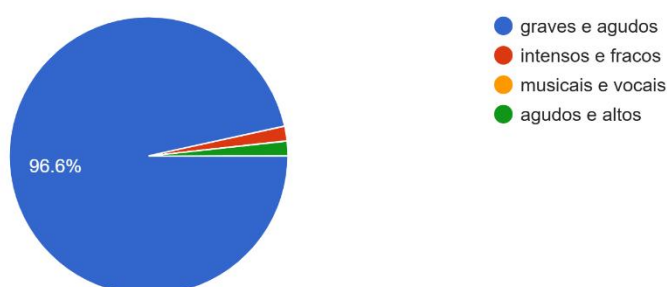
3 - Frequência permite distinguir sons:

63 responses



3 - Frequência permite distinguir sons:

58 responses



Fonte: Google forms..

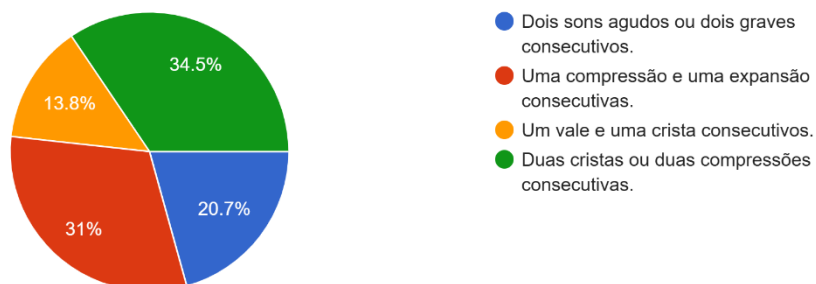
Na terceira questão houve um aumento percentual bem evidente, de 23,6%. Pode-se afirmar que quase 100% dos alunos, isto é, 96,6% classificam adequadamente os sons, de acordo com a frequência, em graves e agudos.

Esse resultado é muito importante, visto que, muitas vezes os alunos e boa parte da população em geral, confundem os conceitos de grave e agudo, isto é, alto e baixo, com os conceitos de forte e fraco, associados com a intensidade da onda sonora. Ou seja, falam “som alto” ao se referirem a sons de alta intensidade, associados ao “volume” do som, ou “som baixo”, ao se referirem a sons de baixa intensidade, baixo volume.

Gráfico 4: Como podemos medir o comprimento de onda?

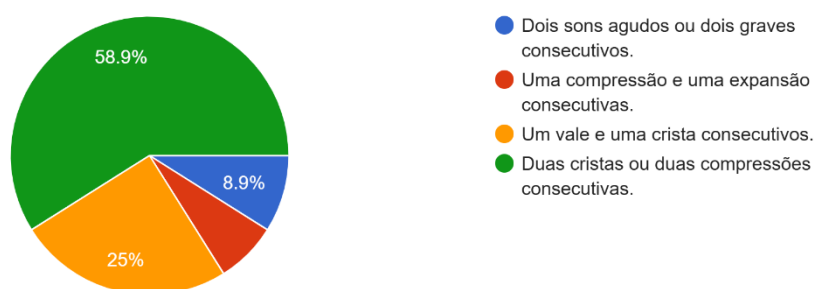
4 - Comprimento de onda pode ser medido pela distância entre:

58 responses



4 - Comprimento de onda pode ser medido pela distância entre:

56 responses



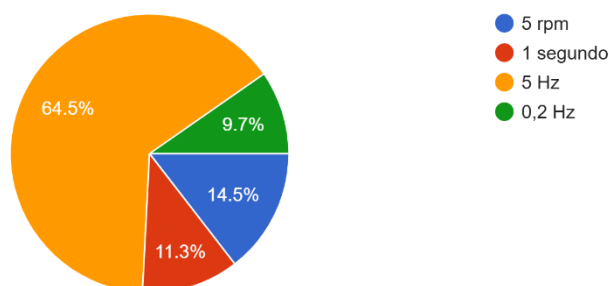
Fonte: Google forms.

Na quarta questão obteve-se um resultado notável, 24,4% de aumento de respostas corretas. Ao associar dois pontos de uma onda com características comuns para medir o comprimento de onda, os alunos demonstram domínio do conceito e indícios de aprendizagem significativa.

Gráfico 5: Aplicação do conceito de frequência.

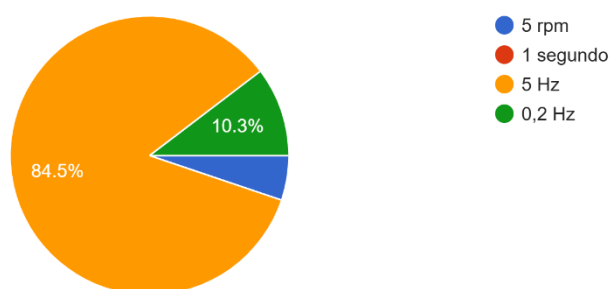
5 - Suponha que uma onda realize 5 ciclos por segundo. Qual a sua frequência?

62 responses



5 - Suponha que uma onda realize 5 ciclos por segundo. Qual a sua frequência?

58 responses



Fonte: Google forms.

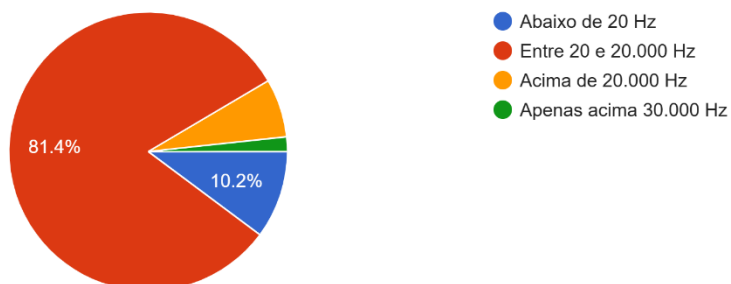
Os resultados da quinta questão corroboram os da segunda questão, isto é, mais de 50% dos alunos sabem o que é frequência. O crescimento foi de 64,5% para 84,5%, ou seja, 20% na quinta questão. Porém, nesta questão, a pergunta é feita de maneira diferente: por meio de uma aplicação.

Parece ficar mais claro que os alunos entendem melhor assim, por meio de um exemplo de aplicação, como na quinta questão, do que por meio da simples citação do conceito, como na segunda questão, isto é, ciclos por unidade de tempo, já que na segunda questão houve aumento de apenas 8,5% de respostas corretas, enquanto na quinta, o aumento foi de 20%.

Gráfico 6: Sons audíveis pelo ouvido humano.

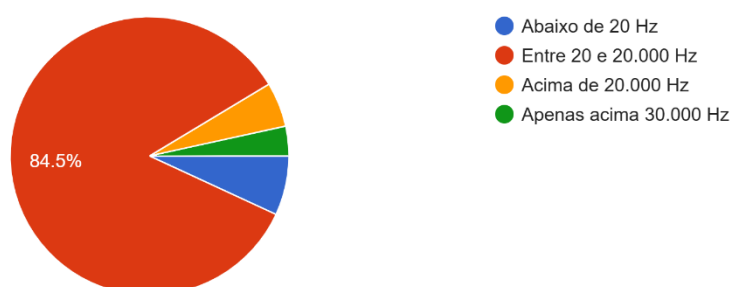
6 - O ouvido humano é capaz de ouvir sons com frequências de, aproximadamente:

59 responses



6 - O ouvido humano é capaz de ouvir sons com frequências de, aproximadamente:

58 responses



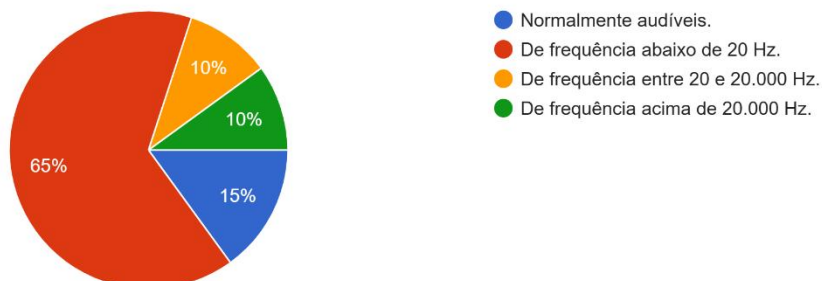
Fonte: Google forms.

Na sexta questão, houve um percentual de aumento de 3,1%. A compreensão do intervalo de sons audíveis cresceu pouco, pois já era alto. Há que se ressaltar, que a audição humana é um tema fascinante, que gera grande interesse, fato corroborado pelos resultados: mais de 80% dos alunos conhecem a faixa de frequência de sons audíveis ao ouvido humano.

Gráfico 7: O que são infrassons?

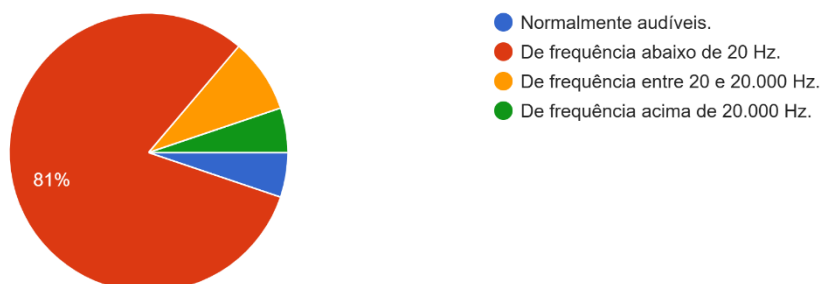
7 - Os infrassons são considerados:

60 responses



7 - Os infrassons são considerados:

58 responses



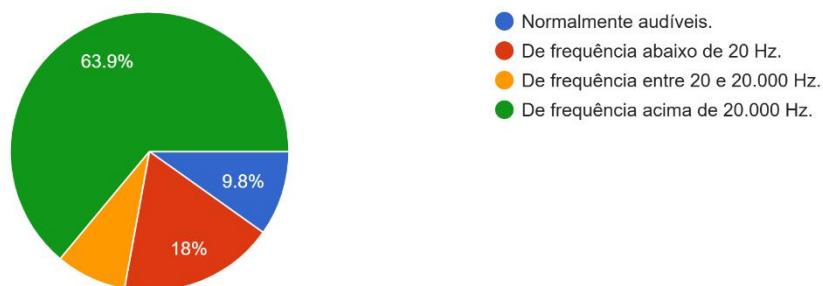
Fonte: Google forms.

Ainda sobre o espectro sonoro, observa-se que na sétima questão, que o número de acertos cresceu 16%. Vimos também que se trata de um conceito consolidado na estrutura cognitiva da maioria dos alunos (65%), isto é, um subsunçor. Após a aplicação do produto, 81% dos alunos o têm consolidado.

Gráfico 8: O que são ultrassons?

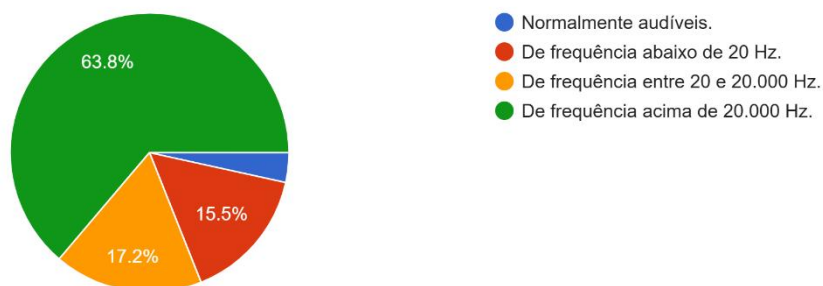
8 - Os ultrassons são considerados:

61 responses



8 - Os ultrassons são considerados:

58 responses



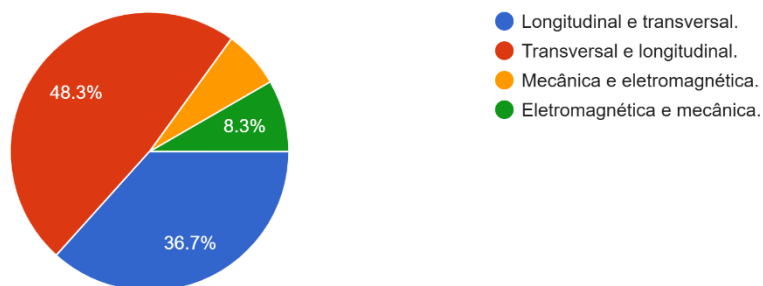
Fonte: Google forms.

Na questão oito aconteceu algo interessante: praticamente não houve mudança do antes e depois da aplicação do produto em relação ao conceito de ultrassons. Embora esteja consolidado para a maioria dos estudantes, para mais de 60%, não houve crescimento. Em nenhuma outra questão aconteceu tal fato. Ainda é um bom resultado, mas carece de investigações mais aprofundadas.

Gráfico 9: Tipos de onda quanto à direção de vibração.

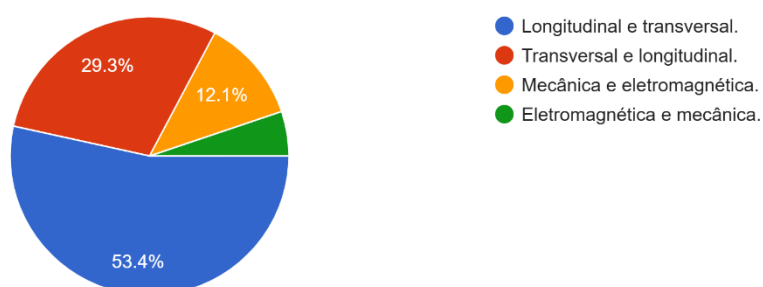
9 - Uma flauta e um violão produzem ondas, respectivamente:

60 responses



9 - Uma flauta e um violão produzem ondas, respectivamente:

58 responses



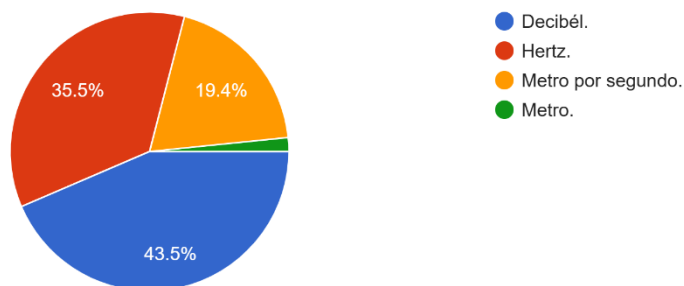
Fonte: Google forms.

Na questão nove pode-se perceber um aumento de 16,7% de respostas corretas. É importante a distinção entre ondas transversais e longitudinais. A maioria das pessoas costuma associar ondas com ondas transversais. Observa-se que, mesmo nos livros textos, a preferência para representar ondas é o tipo transversal, por suas vantagens: facilidade de visualização do comprimento de onda, de reprodução (por cordas, por exemplo), de visualização da amplitude etc. Porém, é importante mostrar o outro tipo. As ondas longitudinais podem ser facilmente apresentadas por meio de molas, sem falar que é muito essencial que os alunos saibam que as ondas sonoras, tão importantes no dia-dia, são longitudinais.

Gráfico 10: Unidade de nível sonoro.

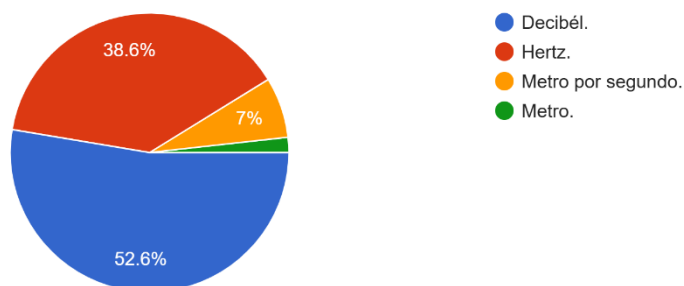
10 - Podemos afirmar que uma unidade de nível sonoro é o:

62 responses



10 - Podemos afirmar que uma unidade de nível sonoro é o:

57 responses



Fonte: Google forms.

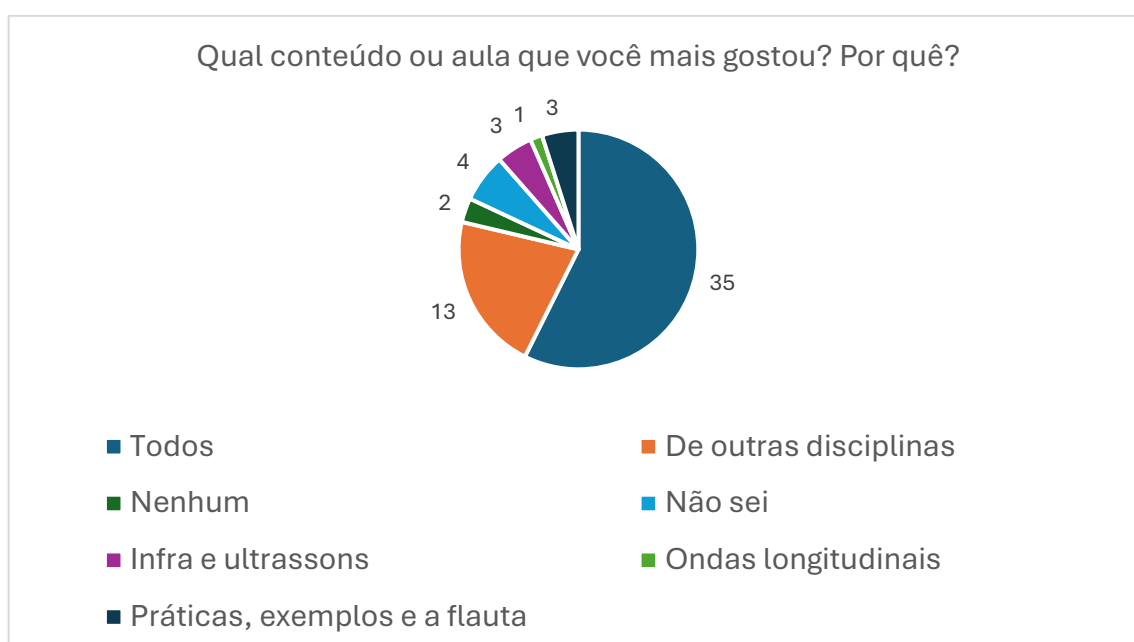
Na questão dez, houve aumento de 9,1% nos acertos. Porém, observa-se ainda um grande percentual de alunos que marcou **hertz** em vez de **decibel** e essa porcentagem praticamente mantém-se após a aplicação do produto (35,5% e 38,6%). Seria interessante reforçar o conceito de nível sonoro.

7.1 Questionário de autoavaliação dos alunos

7.1.1 Questões abertas

Os alunos responderam à pergunta: “Qual conteúdo ou aula que você mais gostou? Por quê?” A seguir, algumas respostas que mostram o pensamento dos alunos a respeito do projeto.

Gráfico 11: Qual conteúdo ou aula que você mais gostou? Por quê?



Fonte: Google forms.

Observa-se, pelo gráfico 11, que trinta e cinco alunos gostaram de todos os conteúdos. Treze apreciam mais conteúdos de outras disciplinas. Sete alunos gostaram de assuntos específicos, como infrassons e ultrassons, ondas longitudinais, das práticas, dos exemplos e da flauta. A seguir, as respostas selecionadas de alguns alunos à pergunta, exatamente como digitaram, incluindo alguns *emojis*.

A1 - Ondas e sons. Pq foi fácil.

A2 - Ondas e sons. 😊

A3 - Aprendi um pouco de cada conteúdo.

A4 - Ondas e sons, pois nos ajuda na compreensão do sistema sonoro.

A5 - Sobre a explicação da flauta.

A6 - Ondas e sons, pois foi muito legal.

A7 - Os infrassons e ultrassons, porque fala sobre os determinados sons que os seres humanos ou até mesmo os animais podem (ouvir) ou ser utilizados até mesmo para meios da saúde como a ultrassom.

A8 - Do som, pois eu gosto muito de música.

A9 - Gostei da forma que o professor utilizou para explicar a matéria aos alunos, com as demonstrações práticas, unindo isso a teoria.

A10 - Ondas e sons, acho muito interessante e legal aprender sobre isso! 🐱

A11 - Ondas e sons, pq muito legal e interessante, e é um assunto novo! 🧐

A12 - Ondas e sons foi muito legal é importante para nós estudantes.

A13 - Infrassom e ultrassom, pois foi muito bem explicativa, de forma.

A14 - Gostei muito das aulas, principalmente dos exemplos que o professor deu durante as aulas, facilitou muito o aprendizado.

A15 - Gostei da iniciativa do projeto e a forma como a matéria foi ensinada, se utilizando de meios como a tecnologia e exemplos na prática.

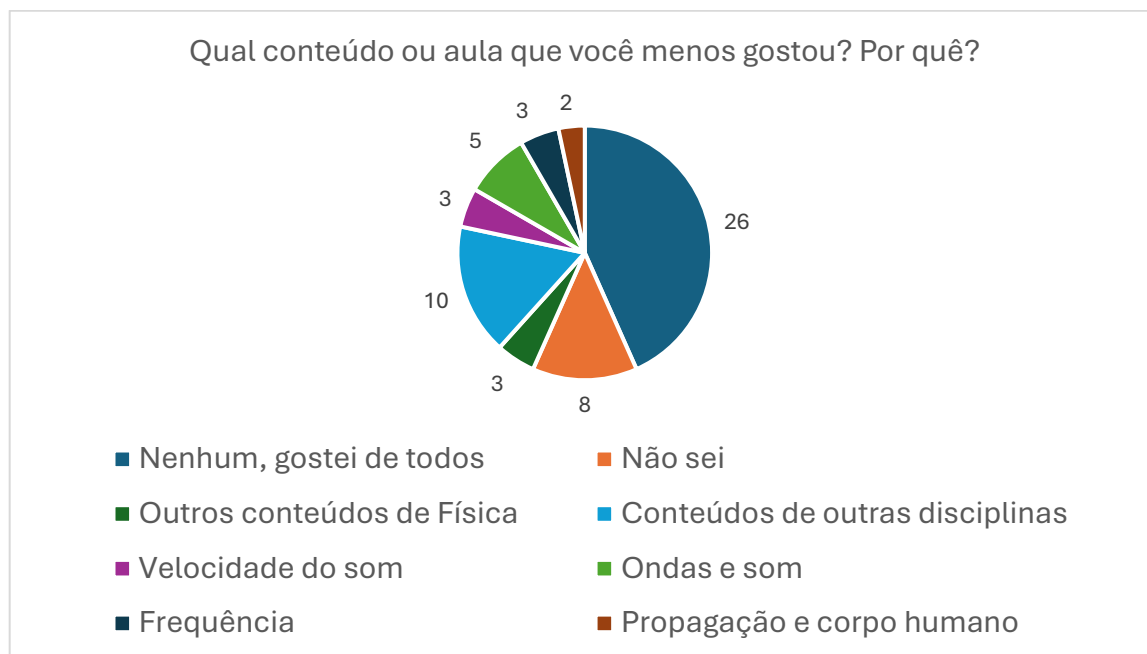
A16 - A aula que explica sobre como o nosso corpo recebe o som, por que gosto da anatomia humana.

Os alunos ressaltam, nesses depoimentos, dois pontos muito importantes. Primeiro: as aulas não foram convencionais e eles gostaram da experiência, do aprendizado com recursos diferentes da aula tradicional. O aluno A7 achou curioso o fato de os sons não audíveis por humanos ser acessível a alguns animais e citou uso tecnológico para ultrassons. Os alunos A5 e A8 apreciaram o recurso musical. Os alunos A9, A14 e A15 enfatizam a prática, os exemplos e a tecnologia como meios de tornar a aula mais interessante. E o aluno A16, que enfatizou a relação das ondas com a anatomia do corpo humano.

O segundo ponto é em relação ao depoimento do aluno A11: “é um assunto novo”. Interessante este fato, pois para esses alunos do Ensino Fundamental, a Ondulatória é realmente um assunto novo, embora ela já tenha séculos de desenvolvimento no meio científico. Daí se infere a importância de se ensinar os conteúdos da Física Clássica desde o Fundamental, pois o assunto é interessante e os alunos podem ser motivados a aprender logo cedo, desde que se use recursos e métodos que instiguem a curiosidade e a participação de todos.

A próxima pergunta visa a um *feedback* sobre os assuntos que eles não gostaram ou gostaram menos (gráfico 12).

Gráfico 12: Qual conteúdo ou aula que você menos gostou? Por quê?



Fonte: Google forms.

Observa-se, pelo gráfico 12, que vinte e seis alunos afirmam que gostaram de todos os conteúdos, pois “nenhum, gostei de todos” é a resposta. Oito não sabem responder. Treze citam outros conteúdos de Física ou de outra disciplina. A seguir, as respostas seleccionadas de alguns alunos à pergunta.

B1 - Não teve um, gostei de todos.

B2 - Velocidade do som, pois achei difícil.

B3 - Nenhum, explicação ótima.

B4 - Como as ondas se propagam, achei entediante.

B5 - Velocidade das ondas, assunto difícil.

B6 - Nenhum. Tudo bem fácil de aprender.

B7 - Ondas e sons (pq não cai no IFMA).

B8 - Nenhum, pois tudo foi novo para mim.

B9 - Velocidade de sons.

B10 - Ondas sonoras, não entendi.

B11 - Frequência.

B12 - A das contas pois eu não sou muito fam (sic) de cálculos.

B13 - Ondas e som

B14 - Aula de como o nosso corpo recebe o som e pq eu gosto mais de comprimento de ondas!

B15 - Não sei dizer, pq é um assunto novo e é muito bom ver coisas novas

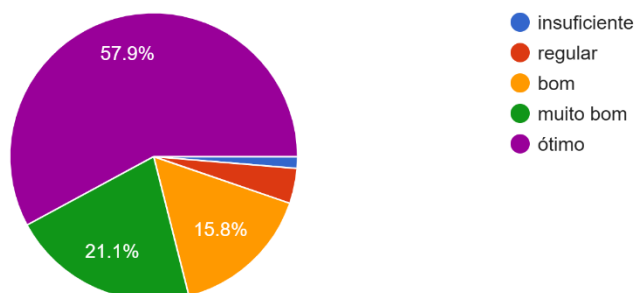
B16 - Ondas e sons, pq não cai no IFMA.

Novamente, muitos alunos dizem que gostaram de todos, mas alguns fazem apontamentos dignos de nota. Os alunos B2, B5 e B9 acharam difícil o assunto velocidade do som, um dos poucos contendo cálculo, o que é corroborado pelo aluno B12. O aluno B4 achou “entediante” o assunto de propagação das ondas. Enquanto o aluno A16 gosta de assuntos relacionados ao corpo humano, o B14 não gosta do mesmo assunto. Curiosamente, o aluno B15 reforça que é “um assunto novo” como discutido na questão anterior.

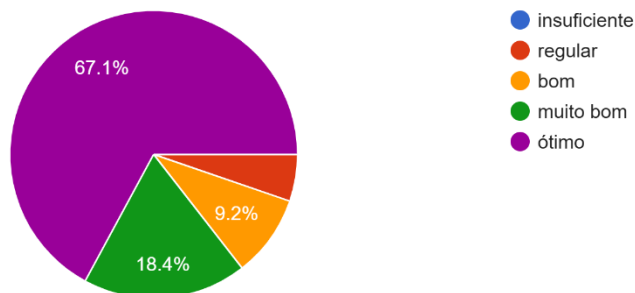
Outro ponto notável é o fato, corroborado pelos alunos B7 e B16, é que não gostaram do assunto porque não faz parte do conteúdo obrigatório de seleção do IFMA (Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Maranhão) para onde desejam se inscrever para concorrer a uma vaga no Ensino Médio. Isso reforça o caráter propedêutico do conteúdo, já arraigado entre alunos jovens que estudam para “passar nas provas”.

7.1.2 Questões de múltipla escolha

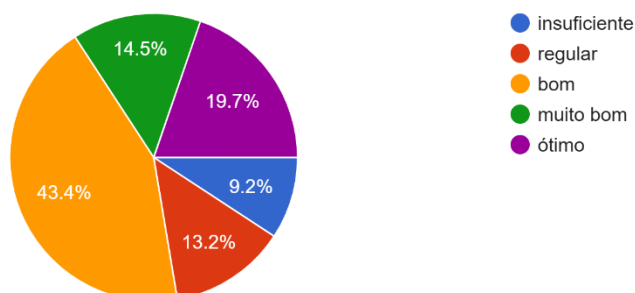
Seguem os resultados dos conceitos dados ao projeto, à metodologia e à própria aprendizagem. De acordo com o gráfico 13, um total de 94,8% dos alunos deu conceito de bom a ótimo para o projeto. Vê-se, pelo gráfico 14, que um total de 94,7% dos alunos deu conceito de bom a ótimo para a metodologia do professor. Por fim, 77,6% dos alunos deram conceito de bom a ótimo para seu próprio aprendizado.

Gráfico 13: Que conceito você daria ao projeto?

Fonte: Google forms.

Gráfico 14: Que conceito você daria à metodologia do professor?

Fonte: Google forms.

Gráfico 15: Que conceito você daria ao seu aprendizado como aluno?

Fonte: Google forms.

Acredita-se que essas altas porcentagens entre as questões de múltipla escolha, de conceitos entre “bom”, “muito bom” e “ótimo”, indicam que os alunos se sentem seguros de

sua aprendizagem. Da mesma forma, as falas dos alunos nas questões em aberto dão os mesmos indícios, embora alguns apontem que ainda é preciso reforçar conceitos, melhorar a relação com o cálculo e desconstruir algumas ideias, como o “estudar para passar em uma prova”.

Por fim, ressalta-se que esta dissertação gerou uma oficina para alunos do Ensino Médio no IFMA – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia intitulada “Flauta doce para o ensino de Acústica” e uma comunicação oral, no IV Encontro Nacional do MNPEF, intitulada “A flauta-doce como recurso de ensino e aprendizagem significativa de ondas sonoras no ensino fundamental” conforme certificados (anexos A e B).

8 Considerações Finais

Verifica-se, por meio dos resultados, que a maioria dos conceitos (de dez questões, sete) tem índices acima de 50% de acertos. Sete perguntas apresentam aumento percentual do número de acertos entre 8,5 e 24,4%. Algumas questões não apresentaram crescimento significativo, pode ser por já terem índices altos no pré-teste (questões 6 e 8), ou por necessitarem ser revisitados e reforçados a fim de garantir a aprendizagem (questão 1). Em qualquer caso, cabe uma investigação mais profunda futuramente.

Comparando a questão 2 com a 5, o conceito de frequência fica mais claro quando é usada uma aplicação, mesmo simples (questão 5) em vez de um conceito (questão 2). Isso reforça que os alunos aprendem mais quando os problemas são aplicações, contextualizações e situações reais ou próximas à realidade.

Em relação à autoavaliação, um total de 94,8% dos alunos deu conceito de bom a ótimo para o projeto, 94,7% dos alunos deram conceito de bom a ótimo para a metodologia do professor e 77,6% dos alunos deram conceito bom a ótimo para sua aprendizagem com o projeto. Considera-se que o objetivo geral foi atingido, pois, após a aplicação do produto educacional, obtivemos esses indícios de aprendizagem significativa.

Ressalta-se que ainda há alguns desafios. Segundo o depoimento dos alunos A11: “é um assunto novo” e B8: “tudo foi novo pra mim”, verifica-se a importância de se ensinar os conteúdos da Física Clássica desde o Fundamental, pois o assunto é novidade para eles, embora seja “velho” para os professores. É necessário criar ferramentas e métodos para ensinar esse conteúdo clássico de maneira nova, criativa e significativa. Outro desafio é superar o caráter propedêutico das aulas, para que os alunos queiram estudar alguns assuntos, mesmo que não “caiam” no seletivo de escolas e universidades.

Esse produto educacional contribui no sentido de trazer um assunto clássico (porém novo para os alunos do Ensino Fundamental) com uma roupagem atrativa, como é a interdisciplinaridade com a Música, incentivando os professores a aplicar a sequência didática de acordo com os regionalismos (no caso do organizador prévio), explanar em pouco tempo (dez aulas de 50 minutos) o conteúdo de Acústica para o Ensino Fundamental e motivar os alunos a gostar de Física, substituindo o temor da disciplina pelo fascínio que ela pode gerar. Para futuras pesquisas, sugere-se uma aplicação mais abrangente, no Ensino Médio, incluindo outros conceitos, como superposição de ondas, reflexão, refração, interferência, ondas estacionárias, tubos sonoros, nível sonoro, modos vibracionais etc.

REFERÊNCIAS

ALONSO, M. FINN, E. J. **Física**. Lisboa: Escolar Editora, 2012.

AUSUBEL, David. P. **Aquisição e retenção de conhecimentos: uma perspectiva cognitiva**. 1 ed. Lisboa: Plátano Edições Técnicas, 2000.

AUDITECH SOLUTION. **Ouçã as frequências de 20Hz a 20.000Hz e treine seu ouvido para equalização**. 2020. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=9h9V9t4erjo>>. Acesso em: 05-11-2025.

BENNETT, ROY. **Elementos básicos da música**. 1 ed. Rio de Janeiro: Zahar, 1998.

BRASIL, **Orientações Educacionais Complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais (PCN+)**. Ciências da Natureza, Matemática e suas tecnologias (Física). Brasília: MEC, 2002.

BRASIL. Ministério da Educação. **Base Nacional Comum Curricular**: educação é a base. Brasília, DF: MEC, 2018.

CASTRO, Marialba Matos de. **Instrumento musicalizador: flauta doce**. Batatais, SP: Claretiano, 2016.

COMPANHIA BARRICA. **Lua Cheia**. São Luís, 2023. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=TangZ8OlcCc>>. Acesso em: 21 out. 2024.

DELIZOICOV, D. ANGOTTI, J. A. PERNAMBUCO, M. M. **Ensino de Ciências: fundamentos e métodos**. 2. ed. São Paulo: Cortez, 2007.

GODOY, Leandro P. MELO, Wolney C. **Ciências: vida e universo**. 9º ano do Ensino Fundamental. São Paulo : FTD, 2022.

GOOGLE FORMS. **Questionário pré-teste.** Google forms. Disponível em: <
<https://docs.google.com/forms/d/1aBrqL3CRAUvZ6oddIcchbDx8XGbG4vRORUftdeU7Xs8/edit>> Acesso em: 21-10-2024.

GOOGLE FORMS. **Questionário pós teste.** Google forms. Disponível em: <
https://docs.google.com/forms/d/1UIdlC6MzzyApNKHwKoVLcgh_IpXJgeI4TyKsQqmpyGw/edit> Acesso em: 11-11-2024.

GRILLO, M. L. N. *et al.* A física e a música do fagote. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, vol. 45, 2023.

GRILLO, Maria Lúcia. PEREZ, Luiz Roberto, organizadores. **Física e música.** São Paulo: Editora Livraria da Física, 2016.

LÜDKE E. *et al.* Velocidade do som no ar e efeito Doppler em um único experimento. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, vol. 34, n. 1, 2012.

MÓRAN, José. **Mudando a educação com metodologias ativas.** Coleção Mídias Contemporâneas. Convergências Midiáticas, Educação e Cidadania: aproximações jovens, v. 2, p. 15-33, 2015.

MOREIRA, M. A. **Teorias da Aprendizagem.** 2ed. São Paulo: EPU, 2019.

MOREIRA, M. A. O que é afinal aprendizagem significativa? **Curriculum**, La Laguna, Espanha, 2012.

MOREIRA, M. A. MASINI, E. F. S. **Aprendizagem significativa:** a teoria de David Ausubel. São Paulo: Moraes, 1982.

NASCIMENTO, S. A. *et al.* Espectro sonoro da flauta transversal. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, vol. 37, n. 2, 2015.

NUSSENZVEIG, M. **Curso de Física Básica:** fluidos, oscilações e ondas, calor. 5. ed. São Paulo: Blucher, 2014.

PENTEADO, P. C. M. TORRES, C. M. A. **Termologia, óptica e ondas.** v. 2. São Paulo: Moderna, 2005.

PHET COLORADO. **Ondas sonoras.** Disponível em:
<https://phet.colorado.edu/sims/html/sound-waves/latest/sound-waves_all.html?locale=pt_BR> Acesso em: 11-05-2025.

PIZETTA, D. C. *et al.* Uma avaliação experimental do tubo de ondas sonoras estacionárias. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, vol. 39, n. 3, 2017.

RESNICK, Robert. HALLIDAY, David. KRANE, Kenneth S. **Física 2.** 5 ed. Rio de Janeiro: LTC, 2003.

SANTOS. E. M. *et al.* Violão e guitarra como ferramentas para o ensino de física. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, vol. 35, n. 2, 2013.

SILVEIRA, M. V. Proposta didático experimental para o ensino inclusivo de ondas no ensino médio. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, vol. 41, n. 1, 2019.

SOUSA JÚNIOR, I. V. Física experimental com Arduino: ondas em uma corda tensionada. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, vol. 42, 2020.

SOUZA FILHO, N. E. *et al.* Música para estudantes de engenharia: Síntese sonora de tema de jazz. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, vol. 37, n. 2, 2015.

YOUNG, H. D. **Física II:** Termodinâmica e Ondas. 12 ed. São Paulo: Addison Wesley, 2008.

Anexo A – Oficina: Flauta doce para o ensino de Acústica.



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO MARANHÃO

CAMPUS SÃO LUÍS MONTE CASTELO
Dpto. Acadêmico de Física - Campus Monte Castelo - DFIS-MTC

DECLARAÇÃO

Declaramos para os devidos fins que **Wellington Santos Araújo** ministrou a oficina **"Flauta doce para o ensino de acústica"** no Simpósio de Ensino de Física do IFMA - São Luís / Monte Castelo: Ensino de Física e Inovação, 10 e 11 de junho de 2025, com carga horária de 08 (oito) horas.

São Luís - MA, 11 de junho de 2025

Prof. Dr. Fábio Henrique Silva Sales
Coordenador Geral do Evento

Documento assinado eletronicamente por:

▪ **Fábio Henrique Silva Sales, CHEFE DE DEPARTAMENTO - FG0002 - DFIS-MTC**, em 19/09/2025 16:44:28.

Este documento foi emitido pelo SUAP em 19/09/2025. Para comprovar sua autenticidade, faça a leitura do QRCode ao lado ou acesse <https://suap.ifma.edu.br/autenticar-documento/> e forneça os dados abaixo:

Código Verificador: 1131102
Código de Autenticação: f466f48784



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO MARANHÃO

CAMPUS SÃO LUÍS MONTE CASTELO
Dpto. Acadêmico de Física - Campus Monte Castelo - DFIS-MTC

DECLARAÇÃO

Declaramos para os devidos fins que **Raísa Marya Corrêa Souza Diniz** ministrou a oficina **"Flauta doce para o ensino de acústica"** no Simpósio de Ensino de Física do IFMA - São Luís / Monte Castelo: Ensino de Física e Inovação, 10 e 11 de junho de 2025, com carga horária de 08 (oito) horas.

São Luís - MA, 11 de junho de 2025

Prof. Dr. Fábio Henrique Silva Sales
Coordenador Geral do Evento

Documento assinado eletronicamente por:

▪ **Fábio Henrique Silva Sales, CHEFE DE DEPARTAMENTO - FG0002 - DFIS-MTC**, em 19/09/2025 16:40:36.

Este documento foi emitido pelo SUAP em 19/09/2025. Para comprovar sua autenticidade, faça a leitura do QRCode ao lado ou acesse <https://suap.ifma.edu.br/autenticar-documento/> e forneça os dados abaixo:

Código Verificador: 1131084
Código de Autenticação: 257160d032



Anexo B – Comunicação oral: A flauta-doce como recurso de ensino e aprendizagem significativa de ondas sonoras no ensino fundamental



Apêndice A: Questionário de conhecimentos prévios

Querido(a) aluno(a)! Nos ajude a realizar nossa pesquisa de mestrado, respondendo a esse questionário. Não é necessário se identificar. Não vale nota. Fique à vontade para respondê-lo. Se não souber a resposta, apenas escreva: NÃO SEI.

1) Como é possível produzir um som?

2) Quando batemos uma panela com uma colher, ouvimos um som. Como ele chega aos nossos ouvidos?

3) Qual a diferença entre os sons emitidos por um cantor e por uma cantora?

4) A mesma música tocada por um violão e por um teclado soa diferente? Por quê?

5) Quando está chovendo, por que primeiro vemos o clarão do relâmpago e depois ouvimos o trovão?

6) Você conhece algum instrumento musical?

7) Qual a diferença entre ondas sonoras produzidas por uma flauta e por um violão?

8) Qual seu instrumento musical preferido? Que parte dele produz o som?

9) Que parte do corpo humano é responsável por captar os sons?

10) Que parte do corpo humano é responsável por emitir a voz?

OBRIGADO.

Apêndice B: O Produto Educacional

APRENDENDO ONDAS SONORAS POR MEIO DA FLAUTA-DOCE



WELLINGTON SANTOS ARAÚJO



São Luís - MA

2025

Autor:

Wellington Santos Araújo

Orientadora:

Dra. Raisal Marya Corrêa Souza Diniz

APRESENTAÇÃO

Caro(a) professor(a),

O objetivo dessa cartilha, nosso produto educacional, é auxiliar você, professor, a desenvolver aulas usando a flauta doce, um instrumento musical acessível e barato, como recurso didático em sala de aula, para apresentar os conceitos de ondas sonoras, ondas longitudinais, timbre, frequência, intensidade sonora, altura, dentre outros, visando a aprendizagem significativa.

Essa cartilha é uma sequência de aulas utilizando a flauta doce como recurso didático principal. Ela é voltada para alunos e professores do nono ano do Ensino Fundamental e está baseada na Teoria da Aprendizagem Significativa de David Ausubel. É baseada nos conceitos de organizadores prévios, diferenciação progressiva e reconciliação integrativa.

As aulas da cartilha estão organizadas em 10 aulas de 50 min cada, em uma linguagem acessível a todos os professores de Ciências do Ensino Fundamental, com temas de Acústica, parte da Física que estuda o som.

Algumas ferramentas educacionais utilizadas são: questionário de conhecimentos prévios, flauta doce soprano barroca de acetato, experimentos de baixo custo, simulações, vídeos e uso do livro didático de forma contextualizada.

Esperamos que a cartilha possa dinamizar as aulas, proporcionar momentos lúdicos e converter-se em um material potencialmente significativo para alunos e professores.

LISTA DE SÍMBOLOS



DICA PARA O PROFESSOR



QUESTÕES



CURIOSIDADE



EXPERIMENTO



LINK ÚTIL



DICAS PARA OS ALUNOS



USO DA FLAUTA

SUMÁRIO

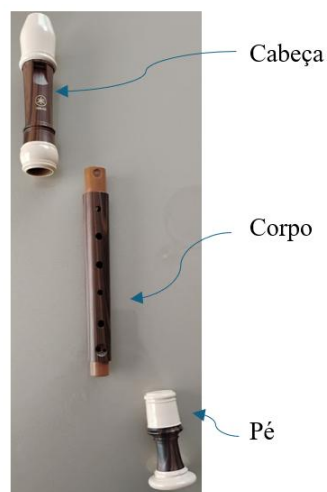
	p.
Apresentação da flauta doce	06
Digitação das sete notas musicais na flauta doce	08
1ª aula: Organizador prévio	10
2ª aula: O que é o som?	11
3ª aula: Características das ondas	13
4ª aula: Velocidade da onda	16
5ª aula: Questões	18
6ª aula: Exercícios do livro texto	19
7ª aula: O ouvido humano e qualidades do som	20
8ª aula: Espectro sonoro	22
9ª aula: Exercícios do livro texto	24
10ª aula: Intensidade e nível sonoro	25
REFERÊNCIAS	28

APRESENTAÇÃO DA FLAUTA DOCE

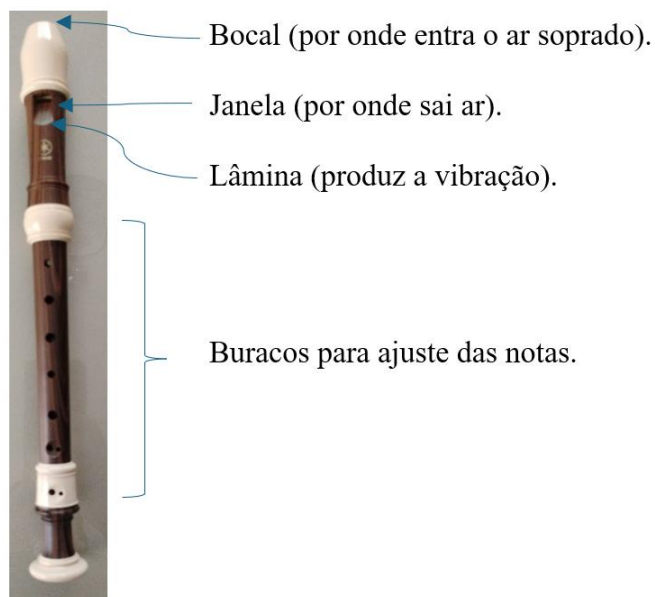
Vamos conhecer o instrumento musical chamado **flauta doce**. Ela é um instrumento de sopro que pertence à família das madeiras, pois originalmente, esse instrumento musical era feito desse material. Hoje é feito de acetato, que é mais barato e acessível. A flauta doce pertence a uma família, isto é, existe a flauta doce soprano, contralto, tenor etc.



Nós vamos trabalhar com a flauta doce soprano. Ela pode ser desmontada facilmente e divide-se em três partes: cabeça, corpo e pé.



A cabeça possui uma janela por onde sai o ar soprado, que ataca a lâmina, produzindo vibrações e, por consequência, gerando o som.



Na parte de trás da flauta há um furo sobre o qual deve-se posicionar o polegar da mão esquerda. Mais detalhes sobre a posição dos dedos na próxima página (digitação das sete notas musicais na flauta doce).

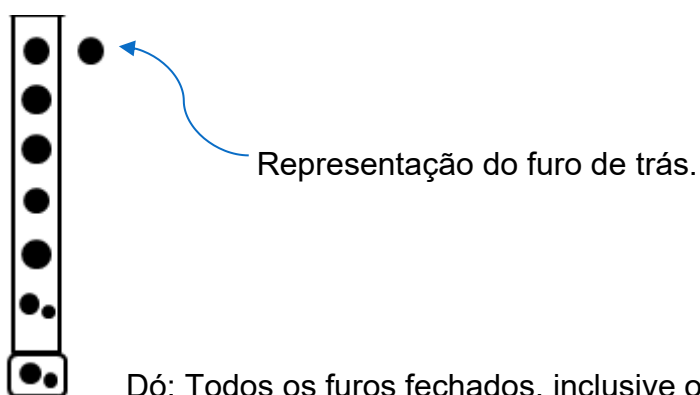


Lembre-se de soprar suavemente a flauta, para ela não “apitar”. Um sopro leve como se estivesse pronunciando “tuuuuuu”. “(...) devemos apoiar a flauta doce naturalmente sobre os lábios e fechá-los sem contrair. (...) A emissão das notas é feita com um golpe de língua, como se pronunciássemos a sílaba TU (sem o som).” (CASTRO, 2016, p. 31).

Quanto mais pressão colocamos no bocal para soprar, maior a intensidade sonora, a qualidade do som relacionada à amplitude de pressão. Outra característica sonora importante é o timbre, que nos permite distinguir os mesmos sons produzidos por instrumentos diferentes: as mesmas notas em um teclado e em uma flauta, soam diferentes.

DIGITAÇÃO DAS SETE NOTAS MUSICAIS NA FLAUTA DOCE

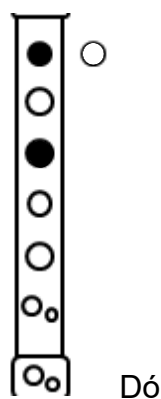
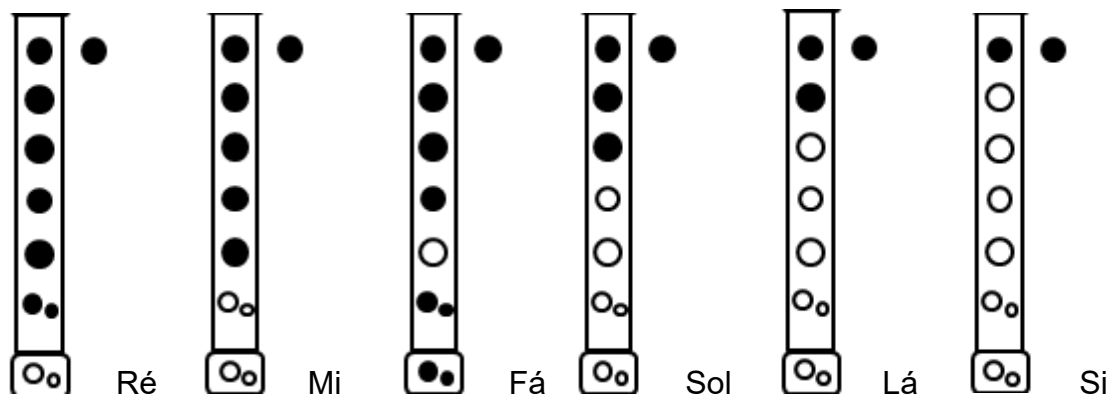
A seguir, apresentamos digitação das sete notas musicais na flauta doce, chamadas **escala musical**, correspondentes às teclas brancas centrais do teclado (dó 3, ré 3, mi 3, fá 3, sol 3, lá 3, si 3). Para esses estudos, não serão necessárias as notas sustenizadas, embora seja possível tocá-las nesse versátil instrumento. A representação dos furos em preto significa que devem estar fechados e em branco, que devem estar abertos.



Mão esquerda: Polegar sobre o furo de trás; indicador, médio e anelar sobre os três furos superiores. O dedo mínimo da mão esquerda fica suspenso, ele não cobrirá nenhum furo.

Mão direita: Polegar apoia a parte posterior da flauta; indicador, médio, anelar e mínimo sobre os quatro furos inferiores.

Para fazer soar as outras notas em sequência, vão se abrindo sucessivamente outros furos, conforme as figuras que seguem.



Temos ao lado a representação do dó mais agudo (dó 4), caso o professor deseje ir do dó 3 ao dó 4.

Observe que o polegar esquerdo se levanta um pouco para liberar o furo de trás, assim como o indicador da mão esquerda.

Uma flauta doce, em geral vendida em qualquer loja de instrumentos musicais a um preço acessível, contém um encarte com instruções para digitação de todas as notas possíveis. Então, se o professor ou aluno quiserem se aprofundar, basta estudá-lo.

A seguir, nossa sugestão de sequência didática para o desenvolvimento de aulas sobre Acústica utilizando a flauta doce. Um bom passeio pelas ondas sonoras!

1ª AULA: ORGANIZADOR PRÉVIO



Professor, você pode exibir o vídeo de sua escolha. Nossa sugestão é que seja de um grupo regional, a fim de valorizar a cultura local e a contextualização do conteúdo.



Vamos assistir ao vídeo.

<https://www.youtube.com/watch?v=TangZ8OlcCc>

Fonte: Companhia Barrica, São Luís – MA



Vamos debater!

Você já conhecia esse grupo da cultura popular?

O que você mais gostou no vídeo?

Vemos e ouvimos vários instrumentos musicais. Quais você consegue identificar?

Como esses instrumentos produzem o som que ouvimos?



2ª AULA: O QUE É O SOM?



Curiosidade

O que é o som? Como o som é produzido?

Experimente produzir um som: com a boca, com as mãos, com os pés.

Já se perguntou como esse som surgiu?



Vamos fazer um experimento?

Usando uma régua, presa a uma mesa pela mão, toque em sua extremidade, forçando-a a vibrar, conforme a figura.

Varie o comprimento da régua e repita o processo. Veja o que acontece.

O comprimento da régua influencia o som resultante. Assim se diferencia, por exemplo, a voz masculina da feminina pelo tamanho dos músculos das cordas vocais. “Todo som (...) é causado por alguma coisa que vibra. As vibrações são levadas através do ar na forma de ondas sonoras que se espalham simultaneamente em todas as direções” (BENNETT, 1998, p.9).

Assim, o som é uma onda sonora. Para compreender que são ondas sonoras precisamos começar definindo o que são ondas. Ondas são perturbações que se propagam. Dependendo se precisam de meio para se propagar ou não, podem ser classificadas em mecânicas ou eletromagnéticas.

As ondas mecânicas precisam de um meio elástico para se propagar. As eletromagnéticas, não. São considerados meios elásticos aqueles que se deformam sob ação de uma força e depois retornam à sua forma original. Ex. borracha, metais, o ar etc.



O ar é elástico?

Vamos fazer um experimento usando uma seringa sem agulha. A seringa é formada por um cilindro, o bico e um êmbolo. Encha o cilindro de ar puxando o êmbolo com o bico da seringa aberto. Agora feche o bico da seringa e tente empurrar o êmbolo para comprimir o ar. Solte o êmbolo, sem abrir o bico da seringa. O que você observou?

Observamos que o ar se comprime com a força aplicada ao êmbolo e depois retorna ao volume original quando cessa a força. Isso costuma ocorrer com materiais elásticos.

Compressão do ar



Expansão do ar



Assim, as ondas mecânicas se propagam no ar. O som é uma onda mecânica e é ele o foco do nosso estudo. As ondas mecânicas podem se propagar em quaisquer meios materiais: gases, líquidos e sólidos. Ex. O ar se propaga no ar, mas também nas águas e nas paredes.



Vamos usar a flauta doce.

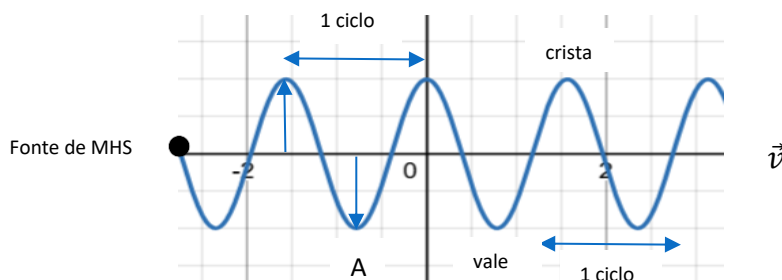
É possível produzir um som, soprando apenas o bocal da flauta com a janela aberta? Tente! Agora obstrua a janela e tente novamente? Por que isso acontece? Qual a função da janela?



3ª AULA: CARACTERÍSTICAS DAS ONDAS

As ondas possuem alguns elementos básicos: crista, vale, comprimento de onda, amplitude, frequência, dentre outros.

Imagine uma onda se propagando em uma corda (figura):



As ondas não deslocam a corda, apenas deslocam alguns de seus pontos. Os pontos da corda que apresentam a mesma configuração estão em posições equivalentes, por exemplo, os pontos do topo da onda.

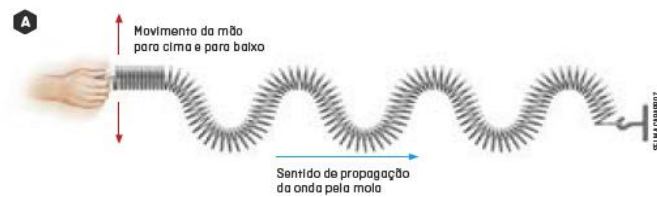
“A parte mais elevada da onda é chamada **crista**. A parte mais baixa da onda é chamada **vale**. Um **ciclo** ocorre quando a onda executa uma oscilação completa, ou seja, um movimento para cima e para baixo em relação a um eixo” (GODOY e MELO, 2022, p. 143).

Se a onda for estimulada por uma fonte de movimento de sobe e desce, por exemplo, ela repetirá o movimento dos pontos em intervalos de tempos iguais. Teremos, então, os ciclos. Um ciclo corresponde a uma repetição. Assim, entre um vale e outro ou entre uma crista e outra, teremos um ciclo e a distância entre esses pontos equivalentes é chamado **comprimento de onda (λ)**.

Há, ainda, a **amplitude da onda (A)**, que é a distância de uma crista, ou vale, até o eixo de propagação (linha mais escura na figura) e a **velocidade da onda, \vec{v}** .

Esse estímulo fornece à corda a energia que se propagada pela onda. Logo, ondas não transportam matéria, apenas energia.

As ondas ainda podem ser classificadas em transversais (A) e longitudinais (B).



Fonte: GODOY e MELO, 2022. p. 63



Fonte: GODOY e MELO, 2022. p. 63

Agora que já sabemos o que são ondas, podemos estudar um pouco mais as ondas sonoras. Os sons ou ondas sonoras podem ser produzidos por meio de vibrações que se propagam no ar. Essas vibrações podem ser produzidas, por exemplo, por uma corda vibrando, como em um violão, por uma membrana vibrando, como em um tambor ou pandeiro, por uma palheta etc.



Curiosidade

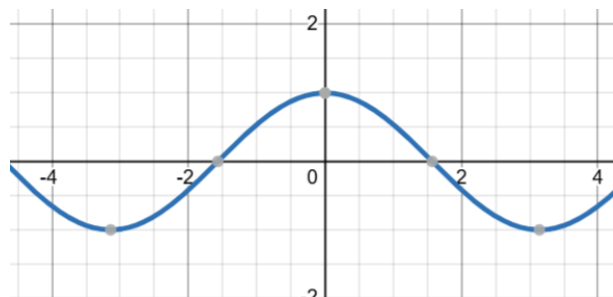
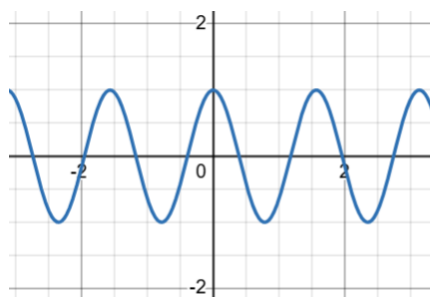
Ponha as mãos em sua garganta. Agora recite as vogais A E I O U.

O que você percebeu? Ela vibra, não é mesmo? Nós também temos um instrumento que gera som em nossa garganta: as cordas vocais.

Como a janela no bocal da flauta doce, cuja função é fazer o ar que passa pelo bocal vibrar, as cordas vocais produzem som ao vibrarem com a passagem do ar.

Vamos relacionar esses elementos das ondas e definir **frequência (f)** e **período (T)** de uma onda.

Frequência é o número de oscilações, isto é, ciclos, por unidade de tempo. Assim, conforme vemos na figura, a primeira onda executa mais ciclos que a segunda, no mesmo intervalo de tempo. Logo, a primeira onda possui uma frequência maior que a segunda. A unidade de frequência é ciclos por segundo, ou hertz (Hz), no Sistema Internacional de Unidades (SI).



Onda de alta frequência (esquerda) e de baixa frequência (direita)

Período é o tempo necessário para completar uma oscilação ou ciclo. A unidade de período é o segundo, no Sistema Internacional de Unidades (SI).

Qual o período de rotação da Terra? E seu período de translação?

Observe que a primeira onda tem frequência maior que a segunda. Isso significa que ela realiza mais ciclos em menos tempo. Logo, quando maior a frequência, menor o período. Isso significa que frequência e período são grandezas inversamente proporcionais.



Curiosidade Qual a sua frequência cardíaca? Sabe como descobrir?

Como a frequência é o número de oscilações, isto é, ciclos, por unidade de tempo, verifique quantas batidas (oscilações) o seu coração executa em um minuto. Assim, você irá obter a sua frequência cardíaca em batimentos por minuto.



4ª AULA: VELOCIDADE DA ONDA

Definição: velocidade é o deslocamento percorrido pelo tempo gasto. Assim:

$$v = \frac{\Delta s}{\Delta t}$$

A unidade de velocidade no SI é o metro por segundo: m/s.

Assim, a velocidade do som fica

$$v = \frac{\lambda}{T}$$

Onde λ é o comprimento de onda e T é o período.

Como $f = \frac{1}{T}$, temos $v = \lambda \cdot f$

No caso das ondas, sua velocidade depende de alguns fatores, como o meio de propagação, a temperatura do meio etc.

A velocidade do som na água, por exemplo, é diferente da velocidade do som no ar.

No ar, em condições normais de temperatura e pressão, a velocidade de propagação do som é de aproximadamente 340 m/s. Isso significa que o som percorre 340 metros no tempo de um segundo.

Já na água, à temperatura de 20°C, a propagação do som é aproximadamente quatro vezes mais rápida, algo em torno de 1 480 m/s.

Velocidade do som em alguns meios

Material	Velocidade
Borracha	54 m/s
Ferro	5130 m/s
Granito	6000 m/s



Onde a velocidade do som no ar é maior, de acordo com a tabela?

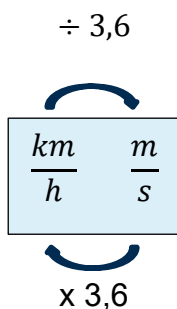
Outro fator que influencia a velocidade das ondas é sua natureza, ou seja, se a onda é mecânica ou eletromagnética. Um exemplo é a luz, uma onda eletromagnética que percorre 300 milhões de metros por segundo, ou 300 000 quilômetros por segundo (300 000 km/s).

Para efetuar a conversão de km/h para m/s, devemos transformar cada unidade de medida separadamente. Por exemplo, 1260 km/h:

$$v = 1260 \frac{km}{h} = 1260 \frac{1000 m}{3600 s} \rightarrow v = \frac{1260000 m}{3600 s} \rightarrow v = 350 \frac{m}{s}$$

De maneira prática, para converter para m/s uma velocidade medida em km/h, basta dividir a velocidade por 3,6.

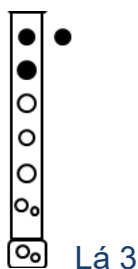
Caso a transformação seja no sentido inverso, de m/s para km/h, multiplique por 3,6.



A velocidade de rotação da Terra é de aproximadamente 1670 Km/h no equador. Qual seria sua velocidade em m/s?



Toque a flauta e emita a nota lá 3. Sendo sua frequência igual a 440Hz, qual seu comprimento de onda no ar?



5ª AULA: QUESTÕES



Esta aula pode conter questões teóricas e de cálculo, com o intuito de aprofundar o tema. A seguir, sugerimos, algumas questões típicas para discussão.

- 1) Qual a diferença entre período e frequência?

Período: intervalo de tempo necessário para a execução de um ciclo.

Frequência: quantidade de ciclos a cada unidade de tempo.

- 2) Suponha que uma onda realize 5 ciclos por segundo. Qual a sua frequência em Hz? Qual o seu período?

Um ciclo por segundo equivale a um hertz (Hz). Logo, 5 ciclos por segundo serão 5 Hz. A frequência e o período são grandezas inversamente proporcionais. Então, podemos escrever: $f = \frac{1}{T}$, ou ainda, $T = \frac{1}{f}$.

Se $f = 5$ Hz então, quanto vale T ? $T = \frac{1}{5} = 0,2$ s.

Cada ciclo dessa onda leva 0,2 segundos para se completar.

- 3) Seja o período de uma onda igual a 4 segundos. Qual sua frequência?

Sabemos que $f = \frac{1}{T}$. Logo: $f = \frac{1}{4} = 0,25$ Hz.

Esse resultado significa que essa onda só executa um quarto de ciclo por segundo, já que gasta 4 segundos para executar o ciclo completo.

- 4) Uma onda periódica cujo comprimento de onda é igual a 5,0 cm propaga-se em uma corda com velocidade igual a 200 m/s. Quanto vale sua frequência?

$\lambda = 5$ cm = 0,05 m no Sistema Internacional.

$v = \lambda \cdot f$. Logo: $f = \frac{v}{\lambda} = \frac{200}{0,05} = 4000$ Hz.

- 5) A frequência de uma onda é 5,0 Hz e sua velocidade é 0,25 m/s. Calcule seu comprimento de onda e seu período.

$v = \lambda \cdot f$. Logo: $\lambda = \frac{v}{f} = \frac{0,25}{5} = 0,05$ m = 5 cm. Mas $T = \frac{1}{f}$, portanto $T = \frac{1}{5} = 0,2$ s.

Vamos recordar? A velocidade é dada por: $v = \frac{\lambda}{T} = \frac{0,05}{0,2} = 0,25$ m/s.

6ª AULA: EXERCÍCIOS DO LIVRO TEXTO

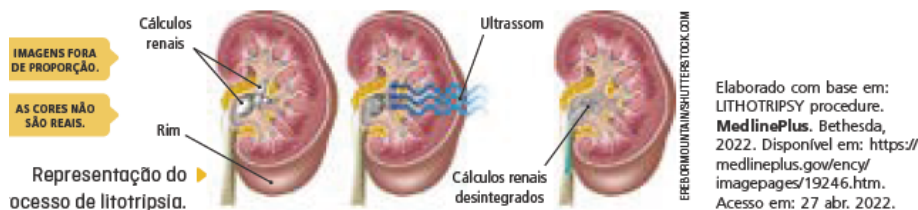


Professor, nossa sugestão é que, ao usar o livro-texto, selecione questões contextualizadas e que estimulem o debate entre os alunos. A seguir, um exemplo do livro “Ciência e Vida” da editora FTD.

Questão: relação entre ondas, corpo humano e saúde.

Leia o texto, observe o esquema a seguir e, depois, faça o que se pede.

Quando certos sais presentes nos alimentos se unem, crescem em tamanho e permanecem nos rins, podem provocar uma condição popularmente conhecida como pedra nos rins. Grande parte dessas pedras, ou cálculos, é identificada por meio de ultrassonografia. Se as pedras forem bem pequenas, o tratamento pode ser feito com alta ingestão de líquidos, o que ajuda a eliminá-las pela urina. Entretanto, há cálculos que, por causa do tamanho, precisam ser tratados por meio de ultrassom, que os quebra em pedaços menores, que, então, podem ser eliminados pela urina. Esse processo é chamado litotripsia.



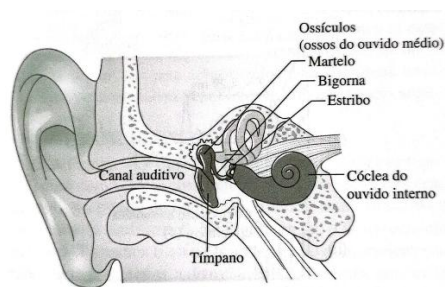
Elaborado com base em:
LITHOTRIPSY procedure.
MedlinePlus. Bethesda,
2022. Disponível em: <https://medlineplus.gov/ency/imagepages/19246.htm>.
Acesso em: 27 abr. 2022.

- Quais são as características das ondas de ultrassom?
- Pesquise hábitos saudáveis que ajudam a evitar pedras nos rins. Com base nos dados da pesquisa, faça uma autoavaliação: você tem esses hábitos?

Fonte: GODOY e MELO, 2022, p. 75.

7ª AULA: O OUVIDO HUMANO E QUALIDADES DO SOM

O ouvido é o órgão do corpo humano responsável pela audição. Ele capta as vibrações geradas pelas ondas sonoras no ar, direcionadas a ele pela orelha, o órgão externo. Dentro do ouvido há uma membrana que vibra, o tímpano. Ao vibrar, estimula três ossos bem pequenos: martelo, bigorna e estribo, transmitindo os estímulos sonoros à cóclea, onde os cílios os convertem em estímulos elétricos. O nervo auditivo transmite tais estímulos nervosos, que são conduzidos ao encéfalo, onde a informação é processada.



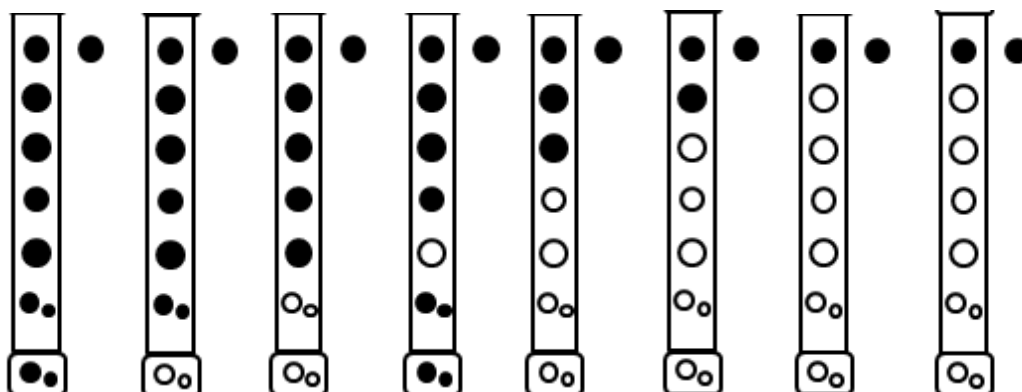
Fonte: YOUNG, 2008, p. 143.

Esse processo é bem complexo, mas nos permite ouvir e perceber certas características ou qualidades do som. Vamos estudar algumas delas.

a) Altura



Vamos tocar a escala musical e verificar a diferença entre sons graves e sons agudos.





Ondas sonoras de altas frequências são agudas (som alto). Ondas sonoras de baixas frequências são graves (som baixo). Essa característica é chamada **altura** do som, que possibilita diferenciar um som grave de um som agudo.

As pessoas confundem volume (da TV, por exemplo) com altura. Altura se relaciona com grave e agudo. Volume se relaciona com a intensidade do som.

b) Intensidade:

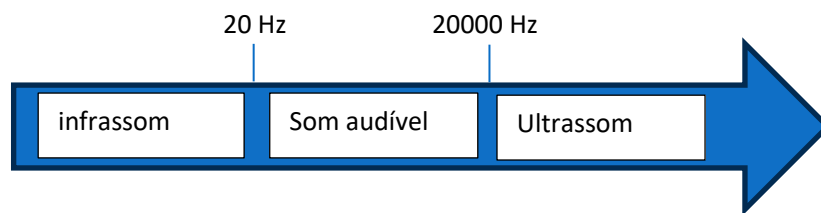
Quanto mais pressão colocamos no bocal para soprar, maior a **intensidade sonora**, a qualidade do som relacionada à amplitude de pressão.

c) Timbre: é uma característica de cada instrumento musical.

Outra característica sonora importante é o **timbre**, que nos permite distinguir os mesmos sons produzidos por instrumentos diferentes: as mesmas notas em um teclado e em uma flauta, soam diferentes.

8ª AULA: ESPECTRO SONORO

Em geral, o ser humano é capaz de identificar ondas sonoras com frequências entre 20 Hz e 20000 Hz, chamadas **frequências audíveis** ou, comumente, som.

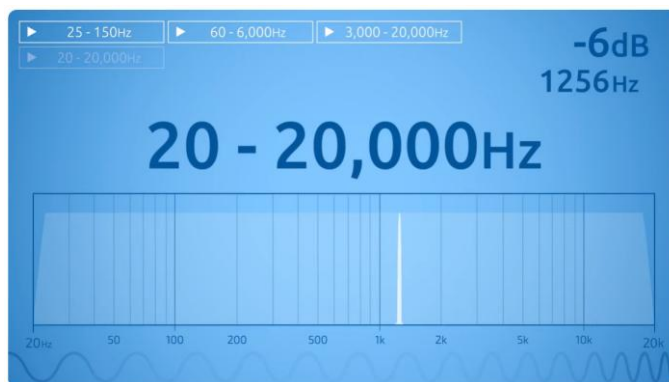


Ondas sonoras abaixo de 20 Hz, chamadas **infrassons**, e acima de 20000 Hz, chamadas **ultrassons**, não são perceptíveis pelo ser humano.



Vamos fazer um teste! Acesse o link a seguir e verifique que faixa do espectro consegue ouvir.

<https://www.youtube.com/watch?v=9h9V9t4erjo>



Fonte: AUDITECH SOLUTION

Ouçã frequências de 20 Hz a 20.000 Hz e verifique qual a extensão de sua audição! Peça aos alunos para prestarem atenção e marcarem a frequência que começam a ouvir e quando a frequência fica inaudível.

Apesar de imperceptíveis aos seres humanos, outros animais podem ouvir infrassons e ultrassons.

Faixa de som audível de alguns animais

Animal	Faixa
Cachorro	15 a 40000 Hz
Elefante	10 a 10000 Hz
Morcego	1000 a 120000 Hz

Isso mostra que os sistemas auditivos de humanos e animais são diferentes.



Os ultrassons são usados amplamente na Medicina como exames diagnósticos (ultrassonografia), que permitem visualizar órgãos do corpo humano internamente.



Imagem de ultrassom de bebê.

9ª AULA: EXERCÍCIOS DO LIVRO TEXTO



Professor, nossa sugestão é que, ao usar o livro-texto, selecione questões contextualizadas e que estimulem o debate entre os alunos.

Questão: relação entre ondas e tecnologia.

1. Geralmente, o termo “som” é utilizado para designar a faixa de altura das ondas sonoras que são audíveis pelos seres humanos. Que característica determina se uma onda sonora é audível ou não pelo ser humano?
2. Quando estamos assistindo a algo na televisão ou escutando música pelo rádio, podemos aumentar o volume, se quisermos ouvir o “som mais alto”, ou abaixar o volume, se quisermos ouvir o “som mais baixo”. Essa é uma forma comum de nos expressarmos diariamente, porém caracterizar um som como alto ou baixo, do ponto de vista científico, não tem relação com o volume.
 - a) Que característica das ondas sonoras define um som como alto ou baixo? Como percebemos a diferença entre esses dois estímulos?
 - b) Que característica das ondas sonoras define o volume do som que escutamos?



▲ Botão de volume de um aparelho sonoro.

Fonte: GODOY e MELO, 2022, p. 74.

10ª AULA: INTENSIDADE E NÍVEL SONORO

INTENSIDADE

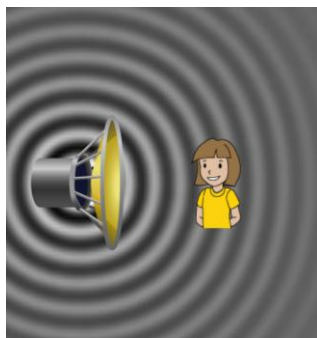
Lembrando que a **amplitude** de uma onda está relacionada com a **intensidade sonora**, quanto maior a amplitude, mais energia a onda sonora transporta e, portanto, maior a intensidade sonora.



A intensidade sonora está relacionada ao **volume** do som. Quanto maior a intensidade sonora, maior o volume.



Vamos fazer uma simulação!









Fonte: https://phet.colorado.edu/sims/html/sound-waves/latest/sound-waves_all.html?locale=pt_BR

Nessa simulação pode-se manipular o comprimento de onda, a frequência e amplitude, ouvir sons em diferentes amplitudes e frequências, observar a interferência construtiva e destrutiva das ondas sonoras (superposição de ondas), reflexão das ondas e a variação da pressão de uma onda sonora com a variação da densidade do ar numa caixa. Destaca-se a relação entre distância e intensidade sonora, pois é possível mover o ouvinte em relação à fonte sonora.

NÍVEL SONORO

A partir de uma intensidade mínima perceptível, chamada **limiar audível**, os seres humanos podem escutar um determinado intervalo de intensidades sonoras. O limiar audível varia entre as pessoas. A relação entre a intensidade sonora emitida por uma fonte e o limiar audível do ser humano é definida como **nível sonoro**. No SI, o nível sonoro é medido em bel (B) ou em décimos de bel, ou seja, em decibel (dB). O ser humano começa a sentir dor acima de 120 decibéis aproximadamente, o **limiar de dor**.

Nas imagens a seguir estão ilustradas algumas fontes sonoras e são indicados os níveis sonoros medidos em decibel. Você pode pesquisar outras?

					
Farfalar de folhas	Ruídos em uma casa	Restaurante barulhento	Britadeira	Show de rock	Decolagem avião a jato
20 dB	50 dB	80 dB	100 dB	120 dB	150 dB



Você sabe o que é decibelímetro?

É um instrumento que mede nível sonoro. Podemos baixar um aplicativo do decibelímetro na *Play Store* ou na *Apple Store*.



Faça medidas de nível sonoro da sua sala de aula, do som da flauta, ventilador, ar-condicionado, da conversa dos seus colegas, do corredor, da biblioteca etc.

Coloque os valores encontrados em uma tabela em ordem crescente. Discutam o tema.



Seguem algumas dicas relacionadas aos fones de ouvido.



Evite ouvir música, podcast, filmes em volumes altos demais, especialmente se for usar fones de ouvido. Sua audição pode sofrer danos, muitas vezes, irreversíveis.



Baixe o volume, use cerca de 50% do máximo. O ouvido humano tolera sons até 80 decibéis. Acima disso pode causar danos.



Limite o tempo de exposição aos fones, fazendo pausas de 10 minutos a cada hora.



Evite usar fones em ambientes já barulhentos, como ônibus lotado.

REFERÊNCIAS

AUDITECH SOLUTION. **Ouçã as frequências de 20Hz a 20.000Hz e treine seu ouvido para equalização.** 2020. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=9h9V9t4erjo>>. Acesso em: 05-11-2025.

BENNETT, ROY. **Elementos básicos da música.** 1 ed. Rio de Janeiro: Zahar, 1998.

CASTRO, Marialba Matos de. **Instrumento musicalizador: flauta doce.** Batatais, SP: Claretiano, 2016.

COMPANHIA BARRICA. **Lua Cheia.** São Luís, 2023. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=TangZ8OlcCc>>. Acesso em: 21 out. 2024.

GODOY, L. P. MELO, W.C. de. **Ciências vida & universo:** 9º ano, ensino fundamental. 1. ed. São Paulo: FTD, 2022.
PHET COLORADO. Ondas sonoras. Disponível em: <https://phet.colorado.edu/sims/html/sound-waves/latest/sound-waves_all.html?locale=pt_BR> Acesso em: 11-05-2025.

YOUNG, H. D. **Física II: Termodinâmica e Ondas.** 12 ed. São Paulo: Addison Wesley, 2008.