

INSTITUTO FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE
CAMPUS NATAL – CENTRAL / DIRETORIA DE PESQUISA E INOVAÇÃO
MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA
POLO 10

João Alfredo Praxedes da Penha

PRODUTO EDUCACIONAL

AUDACITY NO ENSINO DE FÍSICA

Natal, RN
Janeiro de 2022

João Alfredo Praxedes da Penha

AUDACITY NO ENSINO DE FÍSICA

Este produto educacional é parte integrante da dissertação: PROPOSTA DE ENSINO DE FÍSICA: ACÚSTICA COM AUXÍLIO DO AUDACITY, desenvolvida no âmbito do Programa de Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física, polo 10 – IFRN Natal-RN, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

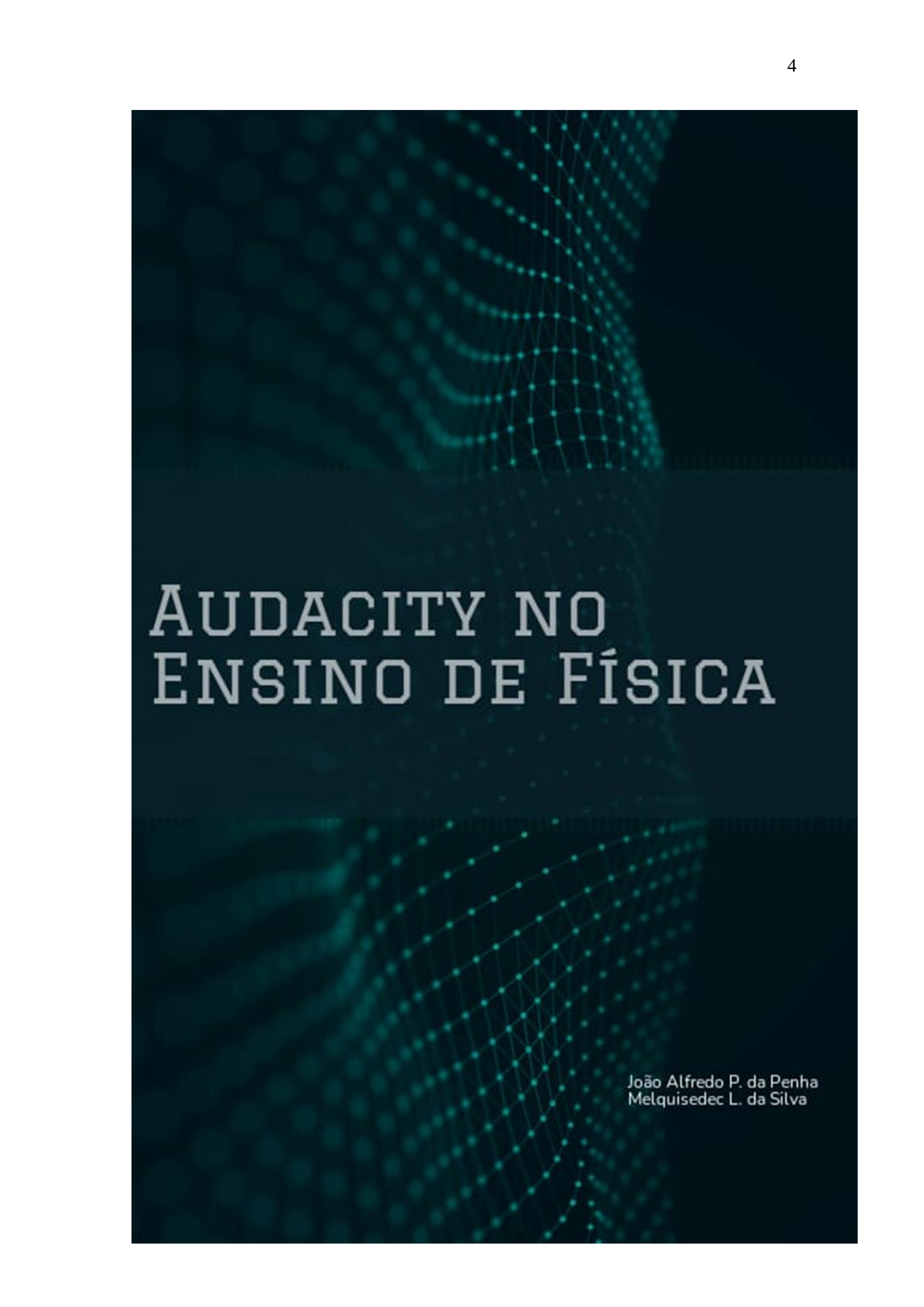
Orientador:

Prof. Dr. Melquisedec Lourenço da Silva

Natal, RN
Janeiro de 2022

AGRADECIMENTO

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



AUDACITY NO ENSINO DE FÍSICA

João Alfredo P. da Penha
Melquisedec L. da Silva

RESUMO

O material apresentado a seguir trata de um trabalho em formato de livro digital (*e-Book*), intitulado “Uma proposta de ensino de Física: acústica com auxílio do *Audacity*”.

Por se tratar de uma proposta de ensino, o público destinado especialmente ao uso da obra é o profissional em ensino de Física, que irá ter acesso a uma nova metodologia a ser praticada em sala com auxílio de uma ferramenta computacional – o software “*Audacity*” – usada amplamente em indústrias de mídias sonoras, como produtoras musicais e emissoras de rádio.

É irrefragável o advento da tecnologia como mecanismo de ensino nos últimos anos, sendo objeto imprescindível de aperfeiçoamento, facilitação e aplicabilidade prática durante a execução de aulas, desde o uso de acessórios mais simplórios, como projetores de tela, ao uso de equipamentos mais sofisticados, como recursos laboratoriais e programas computacionais livres que auxiliam determinadas elucidações de temas por vezes mais complexos.

Destarte, este trabalho tem como objetivo levar ao professor de Física uma proposta de ensino em que o mesmo faça uso de uma ferramenta computacional de simples manuseio, voltada para as aulas de acústica, a fim de elucidar grandezas físicas e fenômenos ondulatórios relacionados ao tema.

O “*Audacity*” é um software livre que tem como finalidade a edição digital de áudio, sendo extremamente útil à demonstração de efeitos sonoros, bem como os elementos de uma onda, inovando nas aulas de Física com a inclusão de práticas experimentais que envolvam o referido tema; de fácil acesso e disponível para diversas plataformas operacionais (Windows, Linux, Mac...), esta ferramenta poderá compor a metodologia de ensino por parte do docente, em suas aulas de acústica, que poderá atribuir ao programa, de maneira sofisticada, práticas experimentais por vezes de difícil conjectura quando não utilizada uma ferramenta capaz de ilustrar aquilo ora proposto em aula.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1: Ícone do <i>Audacity</i>	12
FIGURA 2: Gerando um tom no <i>Audacity</i>	13
FIGURA 3: Salvando um projeto no <i>Audacity</i>	14
FIGURA 4: Barra de ferramentas do <i>Audacity</i>	14
FIGURA 5: Itens em vermelho representando os elementos de uma onda	17
FIGURA 6: Destaque para a parte hachurada representando a amplitude da onda	18
FIGURA 7: Onda com frequência de 800 Hz e 400 Hz	19
FIGURA 8: Experimento da propagação da onda sonora	24
FIGURA 9: Elementos de onda em vermelho	25
FIGURA 10: Tabela do espectro sonoro audível	26
FIGURA 11: Ondas sonoras com frequências variáveis	28
FIGURA 12: Tabela da escala “gama” musical	31
FIGURA 13: Escolha arbitrária da amplitude pelo <i>Audacity</i>	32
FIGURA 14: Escala de ruídos	32
FIGURA 15: Reprodução de uma música tocada apenas pelo violão	38
FIGURA 16: Reprodução de uma música tocada apenas pelo violino	44
FIGURA 17: Tabela de ruído sonoro	45
FIGURA 18: Interferência construtiva e destrutiva	47
FIGURA 19: Duplicando uma onda no <i>Audacity</i> , gerando uma interferência	48
FIGURA 20: Defasagem de ondas, gerando uma interferência destrutiva	49
FIGURA 21: Interferência construtiva sendo apresentada em sala	
FIGURA 22: Interferência destrutiva sendo apresentada em sala	50

	11
Capítulo 1 – Introdução	
Capítulo 2 – Apresentação do Audacity	12
Breve tutorial sobre o Audacity	
Acesso ao Audacity	
Apresentando o Audacity	13
Capítulo 3 – Introdução à acústica	15
Aula 1	
Introdução à acústica	17
Procedimento prático 1	20
Questões	22
Capítulo 4 – Qualidades do som	23
Aula 2	
Qualidades do som	24
Altura	25
Procedimento prático 2.1	26
Procedimento prático 2.2	27
Intensidade	28
Procedimento prático 2.3	30
Timbre	32
Procedimento 2.4	
Questões	34
Capítulo 5 – Fenômenos ondulatórios I	35
Aula 3	
Reflexão	36
Refração	37
Ressonância	
Difração	38
Procedimento prático 3	40
Questões sugeridas	
Capítulo 6 – Fenômenos ondulatórios II	41
Aula 4	
Interferência sonora	42

Procedimento prático 4	44
Procedimento prático 4.1	45
Efeito Doppler	46
Procedimento prático 4.2	48
Questões	49
Gabarito	52
Referências bibliográficas	54

***Audacity* no ensino de Física**

João Alfredo Praxedes
Melquisedec Lourenço da Silva
2022

Apresentação

Esta obra tem como objetivo levar ao professor de Física uma nova ferramenta de ensino que o ajude a aperfeiçoar sua prática no cerne do conteúdo relacionado à acústica, ampliando assim o leque de possibilidades para dinamizar a sua aula, bem como propor ao quadro estudantil experimentos de fácil execução, todavia, com teor de informação e demonstração que outrora exigira maior complexidade.

Estão cada vez mais presentes no cotidiano dos estudantes utensílios como aparelhos de reprodução sonora (caixas de som e afins), computadores, *tablets* e *smartphones*, que possibilitam modelos observacionais de estudos se forem bem aproveitados para essa finalidade.

Sendo assim, este livro é destinado aos professores de Física, mais especificamente para o ensino no nível médio, que poderão fazer uso da sequência didática experimental aqui exposta, podendo interagir de modo mais dinâmico com seus alunos, levando-os a experiências observacionais mais claras e dinâmicas.

A referida sequência didática apresenta um conjunto de práticas experimentais relacionadas à acústica, descritas a partir do software denominado “*Audacity*”, que tem vasta aplicabilidade no ramo da indústria de mídias sonoras, como estúdios de gravação, edição de áudios e emissoras de rádio, possui uma interface de fáceis leitura e execução, e ainda propicia a reprodução com clareza de uma gama de experimentos relacionados ao já referido tema, sendo assim bastante útil nas aulas experimentais para melhor esclarecimento deste ramo da Física.

CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO

É cada vez mais comum, no ensino de ciências, o uso de ferramentas de amparo tecnológico que elucidam melhor a observação de conceitos por vezes abstratos; muitas dessas ferramentas possibilitam a praticidade no que tange à aplicação de alguns ramos da Física de forma experimental, trazendo o discente a uma perspectiva outrora inimaginável.

Partindo do pressuposto acima, a ideia original deste trabalho surgiu da percepção em sala de aula - sobretudo em aulas que relacionam a prática experimental à didática - de que os estudantes, de modo geral, estão cada vez mais adeptos ao uso da tecnologia para auxiliar suas aprendizagens, fazendo frequentemente uma conexão entre o que foi estudado de forma teórica a algum recurso de mídia interativo que possibilite uma observação mais substancial acerca de determinado tema; contudo, faz-se necessárias certas adaptações por parte do docente a essas novas práticas contemporâneas, com o fim de tornar a aula mais interativa e composta por uma metodologia que vise o incentivo a um uso mais proveitoso de tais ferramentas tecnológicas voltadas para o ensino científico.

No que tange o estudo da acústica, uma ferramenta de uso paralelo – que tem aplicabilidade na gravação e edição de áudios – é o software denominado “*Audacity*”.

O *Audacity* é um programa gratuito direcionado para o público que tem como objetivo registrar ou editar faixas de áudio e música, tornando possível a gravação e a modificação de mídias de cunho sonoro - musical. Com suas opções de criação e edição de áudios, é possível acessar funções técnicas de uma produção de áudio, como criação de diferentes trilhas, adição de efeitos, renderização e mixagem.

A ideia do presente trabalho é fazer uso deste software como um suporte para as aulas relacionadas à acústica, introduzindo experimentos e demonstrações sobre grandezas que compreendem as ondas sonoras. Com o *Audacity* é possível demonstrar os efeitos das variações de amplitude e frequência, os tipos de ondas formadas quando se variam tais grandezas, o fenômeno da interferência (construtiva e destrutiva) e o efeito Doppler.

Sendo assim, faz-se necessário, a princípio, compreender o uso desta ferramenta para que se possa atingir um mínimo domínio exigido, a fim de tornar proveitosa a sua aplicabilidade nas aulas sobre acústica.

CAPÍTULO 2 - APRESENTAÇÃO DO AUDACITY

1. Breve tutorial sobre o Audacity

É válido esclarecer que o referido programa tem como finalidade a edição e produções de efeitos sonoros; sendo assim, o que será abordado durante a aula terá um viés exclusivamente voltado para as ondas sonoras, fundamento base do estudo de acústica. A seguir, um passo a passo de como dar início a execução dessa ferramenta, como adquiri-la e como aplica-la.

1.1 Acesso ao Audacity

O Audacity é um software gratuito, podendo ser encontrado para download facilmente na internet, além de ser compatível com os sistemas operacionais disponíveis para o público (*Windows 7, 8, XP, Linux e Mac*), como também para os sistemas que operam os *smartphones (IOS e Android)*; ao baixar o programa, o acesso se dará ao clicar no ícone apresentado na figura a seguir, que irá aparecer na tela do computador de forma automática, logo após a conclusão do *download*:

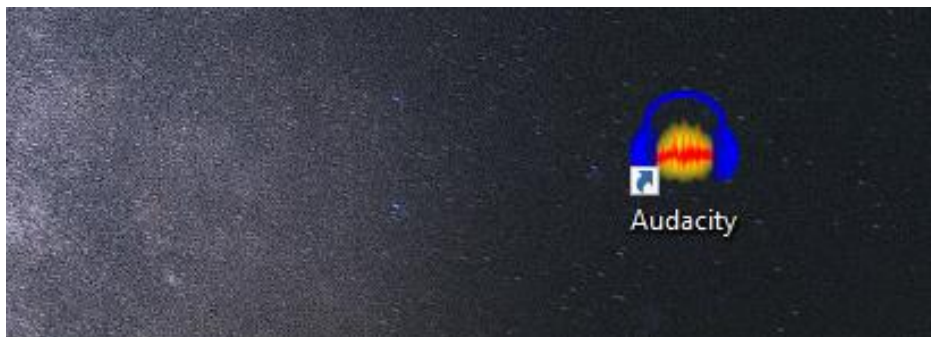


Figura 1 - Ícone do Audacity

Logo adquirido, ao clicar no ícone, surgirá na tela a opção de instalação, procedimento que deverá ser feito para que o programa passe a executar suas funções no aparelho utilizado; é sugerido que seja executado no computador portátil, pois torna-se mais prático se comparado ao uso em *smartphones*. A instalação é rápida e simples, sendo necessário apenas seguir os passos indicados no momento da execução inicial do programa.

1.2 Apresentando o Audacity

Uma vez com o programa apresentado na tela do computador, pode-se ir à barra de ferramentas e produzir uma onda no ícone “gerar tom”. A seguir, escolhe-se arbitrariamente valores para as grandezas a serem estudadas.

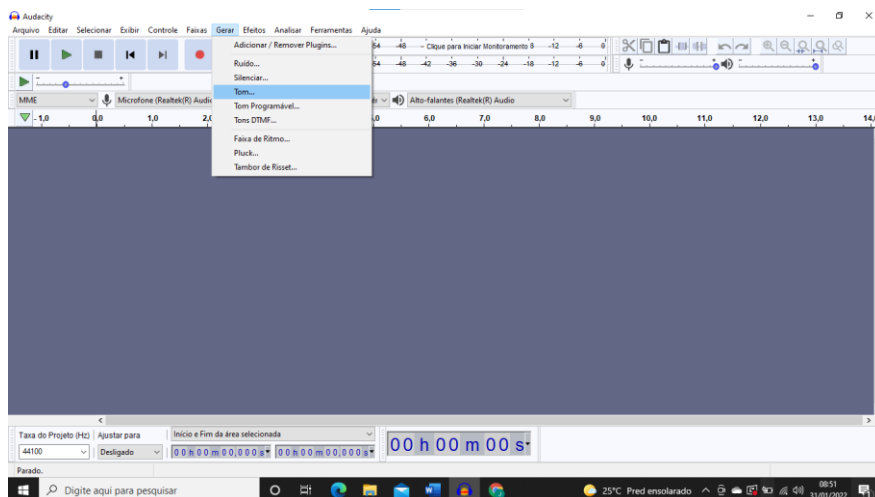


Figura 2 - Gerando um tom no Audacity

Ainda na barra de ferramentas é possível selecionar alguns comandos - “controle”, “faixas”, “editar” - assim como é possível, na opção “arquivo”, salvar as edições e projetos realizados com as ondas trabalhadas (vide ilustração a seguir). Para qualquer projeto produzido pelo professor existe a opção de ser arquivado, podendo assim ser utilizado em aulas posteriores. O Audacity permite ainda o compartilhamento desses projetos, que podem ser atribuídos pelos estudantes posteriormente, inclusive em seus próprios *smartphones*, uma vez que o software também se encontra disponível para esses tipos de aparelhos. Com isso, o estudante poderá ter acesso posterior aos arquivos que forem trabalhados em sala, sendo possível sua edição e aplicações ulteriores.

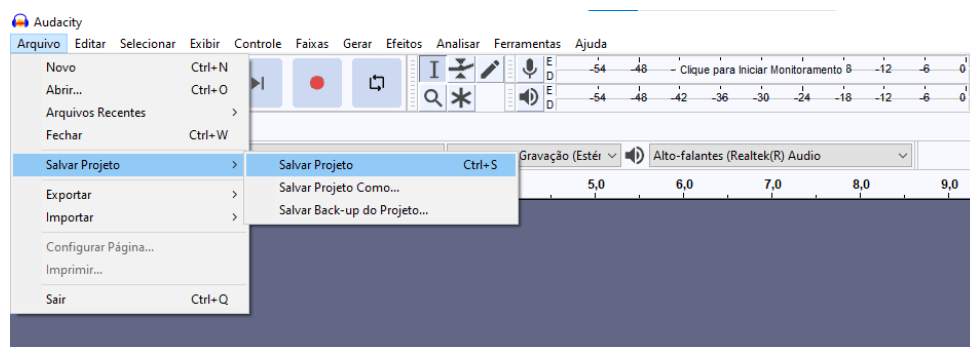


Figura 3 - Salvando um projeto no Audacity

Já nos ícones logo abaixo a “barra de ferramentas”, encontram-se dispostos alguns comandos para o uso da onda sonora estudada, como *reproduzir*, *pausar*, *parar* e *gravar*. E ainda, logo abaixo aos ícones supracitados, pode-se escolher as opções de gravação e reprodução do áudio a ser analisado, como se ver a seguir:

- No ícone correspondente ao microfone, o professor poderá optar por qual “local” o som deverá ser gravado, tendo como opções o microfone do seu próprio computador ou ainda um microfone conectado ao mesmo ou à caixa de som própria. O “Audacity” ainda dispõe da opção “eliminar ruídos” em sua edição, deixando assim o áudio “limpo”, com apenas o som reproduzido mais próximo ao microfone (o que se pretende ouvir), e que corresponde a onda sonora a ser analisada.
- No ícone correspondente à saída de som, o professor poderá optar por qual “local” o som deve ser reproduzido, podendo ser nas caixas do próprio computador, nas saídas de som do mesmo, ou ainda em uma caixa maior (caso o professor ache necessário) conectada também ao seu computador (em caso de aula com maior dimensão, como em um auditório, por exemplo, é recomendável essa última opção).
- No ícone referente a “arquivo”, encontra-se disposto a opção “salvar projeto”, possibilitando assim o arquivamento do projeto trabalhado em sala para que se possa utilizar em ocasiões futuras, otimizando o tempo de aula.

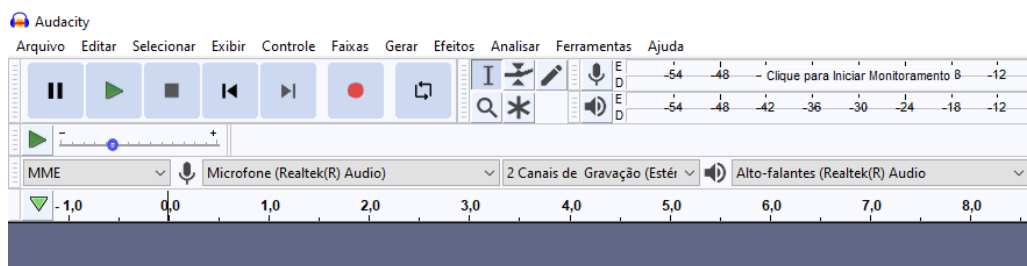


Figura 4 - Barra de ferramentas do Audacity

Uma vez com o programa em execução e com o auxílio de equipamentos de reprodução sonora, como caixinhas de som próprias para o computador (podendo também ser usado em outros tipos de equipamentos), é possível dar início aos procedimentos didáticos e mostrar aos estudantes as diferentes grandezas relacionadas à acústica, bem como fazer uma relação com os elementos de onda, como veremos a seguir, e todo estudo relacionado à acústica, sobretudo no que diz respeito à prática experimental. Com o uso do software, é possível a produção de uma sequência didática que explore o tema a ser trabalhado de forma mais dinâmica, culminando em uma vasta gama de possibilidades a serem trabalhadas de forma observacional.

CAPÍTULO 3 - INTRODUÇÃO À ACÚSTICA

Aula 1

Para dar início a esta sequência de ensino, é válido esclarecer aquilo que será abordado de forma introdutória, analisando o que estuda a acústica e quais as grandezas relacionadas com a matéria, como se observa a seguir. Também se faz necessário traçar um plano com metas a serem executadas, como direcionamento e conclusão do conteúdo, a fim de manter uma otimização no tempo de aula, bem como nos procedimentos metodológicos a serem adotados pelo docente⁴. A seguir, um modelo de plano para que o professor possa ter um norteamento do que será apresentado, seguindo em regra o horário padrão de uma aula de 50 minutos.

⁴ O plano de aula apresentado serve apenas como modelo, cabendo uma flexibilização na exequibilidade por parte do professor.

PLANO DE AULA 1

TEMA E OBJETIVO	• Introdução à acústica: elucidar o conceito de acústica, compreender o conceito de onda mecânica e definir o que é onda sonora. • Demonstrar as propriedades de uma onda e relacioná-las com as grandezas referentes à acústica. • Definir e apresentar a equação fundamental da ondulatória a partir das grandezas apresentadas.
CONTEÚDO	• Acústica: propriedades de uma onda (Crista, vale e amplitude). • Grandezas de uma onda (comprimento de onda, intensidade, frequência e velocidade).
METODOLOGIA OU ESRATÉGIA	• Inicia-se a aula apresentando um breve resumo sobre o conceito de ondas mecânicas com uso do software <i>Audacity</i>, projetado em tela. Com auxílio de caneta para quadro ou de algum apontador, apresenta-se os elementos da onda, enunciando um a um e os relacionando com as grandezas referentes ao som. Posteriormente, demonstrar-se-á, mediante reprodução das ondas em caixas de som próprias para computador, as diferenças experimentais entre frequência, comprimento e amplitude, culminando na equação fundamental da ondulatória. Finaliza-se a aula com a resolução de questões que envolvam a prática cotidiana e a equação fundamental da ondulatória, a critério do professor.
RECURSOS DIDÁTICOS	• Computador, caixas de som próprias, data show, quadro.
AVALIAÇÃO	• Questões de caráter avaliativo podem ser

	levantadas ao fim da aula, a critério do professor.
REFERÊNCIAS (a critério do professor)	• GASPAR, Alberto. Compreendendo a Física. Vol. 2: Ondas, Óptica e Termologia Editora Ática, 2018. • YANAMOTO, Kazuhito. Física para o ensino médio, vol. 2: Termologia, Óptica e Ondulatória \ Kazuhito Yanamoto, Luís Felipe Fuke. 4 ed. São Paulo: Saraiva 2016.

Introdução à acústica

O professor deve começar a aula traçando uma relação entre o tema que será estudado, a acústica, e a ondulatória. É importante que o professor relembre as diferenças entre ondas mecânicas e eletromagnéticas, esclarecendo para a turma que as ondas sonoras são de natureza mecânica, as quais necessitam de um meio para propagação; o professor deve também lembrar o conceito de ondas longitudinais e tridimensionais (previamente já elucidadas) para enfim esclarecer que a direção de vibração das partículas do meio coincide com a direção de propagação, tendo como frente de onda uma superfície esférica. Por fim, é de suma importância que seja esclarecido o conceito literal do termo “acústica”, para que se possa fazer uma relação de causa com as leis da natureza que regem o som, bem como dos seus efeitos.

As propriedades de uma onda podem ser apresentadas com o uso do *Audacity*, projetando a tela do computador por um *datashow*, e, uma vez exposta no quadro, poderá ser feita sua análise gráfica, assim como de suas propriedades. Para isso, depois de “gerar um tom”, o professor deve reproduzir a onda e, para facilitar a visualização de suas propriedades, deve-se “pausar”, mantendo a onda permanentemente exposta no quadro para que se possa “apontar” seus elementos e relacioná-los com as grandezas características da acústica.

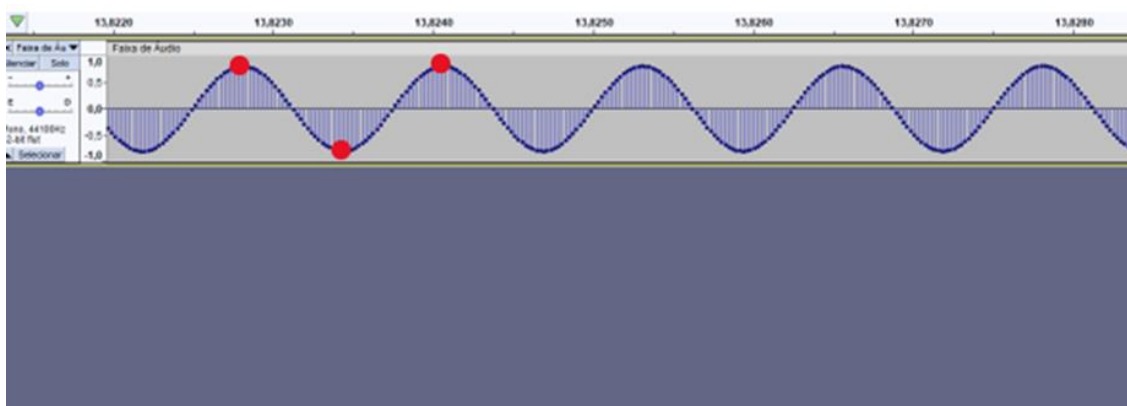


Figura 5 - Itens em vermelho representando os elementos de uma onda

É possível identificar os pontos vermelhos na figura como sendo propriedades de uma onda, apresentadas previamente, podendo ser revisadas para melhor elucidação no decorrer da aula. Com auxílio de um apontador a laser ou de outra ferramenta similar, pode-se apontar para o primeiro ponto vermelho superior e apresentá-lo como a crista da onda, fazendo o mesmo com o segundo ponto superior e representar de forma ilustrativa o comprimento de onda (λ) como sendo a distância entre as duas cristas (a distância entre os dois pontos vermelhos superiores). Também é importante ressaltar que a mesma distância que compreende os dois pontos vermelhos superiores se repete para quaisquer distâncias entre outros dois novos pontos (a distância entre duas cristas vizinhas quaisquer irá compreender o comprimento de onda λ).

O mesmo procedimento pode ser repetido para os pontos inferiores, que compreendem o vale. De forma análoga, a distância que compreende dois vales quaisquer também corresponde ao comprimento de onda λ , o que deve ser também observado.

Destarte, analisa-se a distância entre a linha normal que divide a fase superior e inferior da onda, na qual dá-se o nome de amplitude, destacada na parte hachurada da onda. É importante que o professor apresente os valores para diferentes amplitudes em tela, objetivando enfatizar a observação acerca das mudanças nas características da onda (qual aspecto está mudando quando se altera os valores atribuídos à amplitude?).

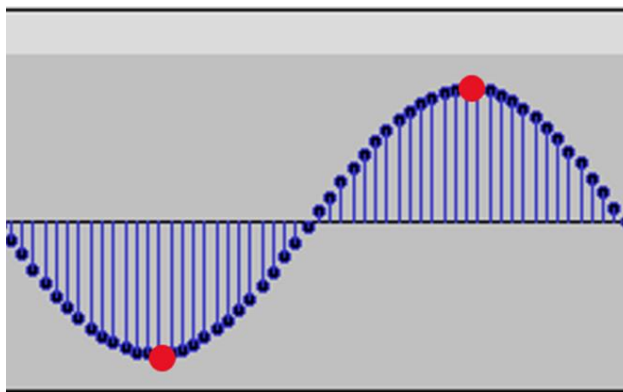


Figura 6 - Destaque para a parte hachurada representando a amplitude da onda

Ainda para essa primeira etapa de estudos, deve ser apresentada a relação entre o comprimento de onda e a frequência, outra grandeza fundamental no estudo das ondas sonoras. Aqui o professor pode fazer a demonstração gerando no *Audacity* um novo tom e, uma vez variando a sua frequência, é possível observar facilmente o novo comprimento desta nova onda. Fazendo uma relação entre duas ou mais ondas produzidas, o professor pode analisar juntamente aos alunos o que ocorre com o comprimento de onda quando se aumenta ou se diminui a frequência. Observando a figura a seguir, percebe-se se tratar de duas ondas produzidas pelo software, uma com frequência 400 Hz e outra com frequência 800 Hz.

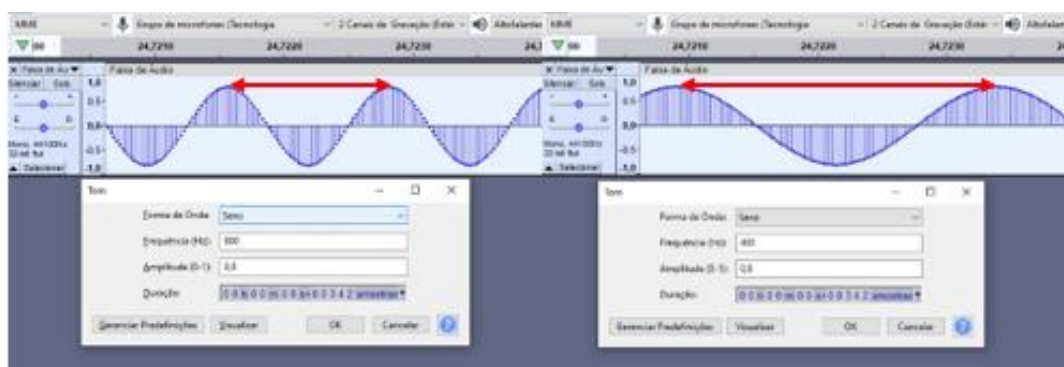


Figura 7 - Ondas com frequências de 800 Hz (à esquerda) e de 400 Hz (à direita)

Uma forma simples e de eficaz observação pode ser feita com um procedimento prático e com o uso do *Audacity*, a fim de que se possa analisar os efeitos da propagação da energia sonora quando se varia a frequência. O professor, com o intuito de atrair a

atenção dos estudantes em sala, pode convidá-los a “ver” o som, mediante o experimento a seguir.

Procedimento prático 1

- Os materiais utilizados para essa prática experimental: um recipiente de vidro sem tampa (tipo vasilha ou até mesmo um pequeno aquário), plástico “filme” (utilizado geralmente em cozinha), sal de cozinha ou grãos de arroz, uma caixinha de som (quanto melhor a qualidade do som, melhor a observação), e o computador ou celular.
- Uma vez com o plástico fechando a superfície aberta do recipiente (importante deixar o plástico bem vedado de tal forma que ele fique bem esticado), coloca-se o sal ou os grãos de arroz espalhados sobre o mesmo, de modo que fiquem bem distribuídos por toda a membrana formada sobre o recipiente, conforme a figura a seguir:

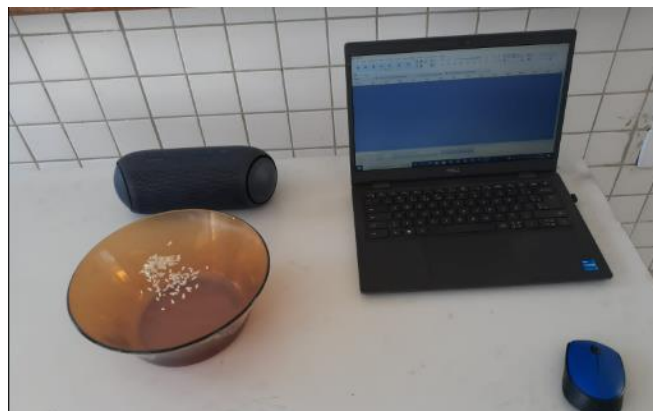


Figura 8 - Experimento que demonstra a propagação de energia sonora

- Para executar o experimento, o professor deverá aproximar a caixa de som do recipiente e, com o uso do *Audacity*, reproduzir sons com diferentes frequências, desde sons mais graves até sons mais agudos, sugerindo aos alunos que observem atentamente a movimentação dos grãos sobre o plástico. Os estudantes deverão perceber um movimento equivalente dos grãos, mesmo nas situações em que as frequências são diferentes, garantindo assim que a altura do som não interfere no movimento, ao

contrário do que se poderia supor. É válido fazer a ressalva de que a altura, propriedade relacionada à frequência, não tem relação com a energia emitida, o que corrobora a ideia de que, por mais alto que seja o som, não é essa a grandeza que irá alterar o movimento das partículas em sua volta, mas sim a intensidade (analisada mais adiante). Essa observação pode ser feita aumentando o volume da caixa em que o som é reproduzido; nesse caso, a grandeza que está sendo alterada é a intensidade, em vez da altura.

Note na *figura 7* que a distância entre as cristas é menor na onda de frequência 800 Hz (à esquerda) do que na onda de frequência 400 Hz (à direita), corroborando assim a relação de proporcionalidade inversa entre comprimento de onda (λ) e frequência (f). Como já observado, o comprimento de onda é a menor distância entre dois pontos consecutivos em que a perturbação se repete: distância entre duas cristas consecutivas ou dois vales consecutivos. Sabe-se que a velocidade (v) é uma grandeza que relaciona distância e tempo (velocidade é a razão entre espaço percorrido pelo tempo correspondente; é importante que seja lembrado em sala); logo, a velocidade de propagação de uma onda depende do seu comprimento e do intervalo de tempo em que a perturbação se repete. No caso específico das ondas, por se tratar de um intervalo de tempo repetitivo⁵, torna-se mais prático o uso do termo *período*, representado por T .

Sabendo que a frequência é o inverso do período ($f = 1/T$), infere-se aqui a equação fundamental da ondulatória, culminando a primeira aula com o uso do *Audacity*.

O professor deve assim concluir e demonstrar de forma prática o que ocorre quando aumenta ou diminui consideravelmente a frequência, apresentando não só as imagens como também os diferentes efeitos sonoros reproduzidos, e fazer a relação com as equações apresentadas a seguir:

$$v = \frac{\lambda}{T} \quad (1)$$

ou ainda:

$$v = \lambda \cdot f \quad (2)$$

⁵ Em uma situação ideal em que não há dissipação de energia

A equação em destaque é conhecida como a *equação fundamental da ondulatória*.

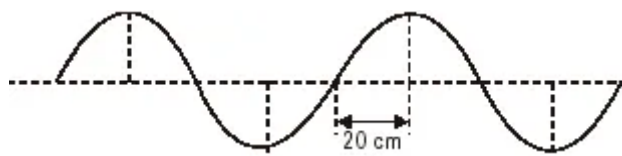
Para demonstrar os efeitos práticos dessa equação, sugere-se que o professor reproduza novamente os sons emitidos pelas diferentes frequências de onda e, uma vez conhecendo sua velocidade de propagação no ar, pode-se inferir junto aos alunos, seus respectivos comprimentos de ondas (ou pode-se fazer o procedimento inverso, conhecendo seu comprimento, pode-se inferir a velocidade).

Para isso, é importante que o professor finalize a aula apresentando a reprodução sonora com as frequências trabalhadas em sala, a fim de que possam perceber os diferentes sons emitidos e possam relacioná-los com as grandezas estudadas.

A seguir, algumas sugestões de questões acerca do que foi abordado na aula:

Questões

- 1- Sabendo que a velocidade de propagação do som no ar é de aproximadamente 340 m/s, determine o comprimento e o período de uma onda sonora com frequência de 800 Hz.
- 2- (Unifor/CE) Na figura está representada a configuração de uma onda mecânica que se propaga com velocidade de 20 m/s.



A frequência da onda, em hertz, vale:

- a) 5,0 b) 10 c) 20 d) 25 e) 50

CAPÍTULO 4 – QUALIDADES DO SOM

Aula 2

Dando continuidade à esta sequência didática referente à acústica, seguiremos com a segunda aula, que terá como objetivo apresentar algumas características mais usuais no cotidiano, comumente chamadas de “qualidades do som”, e relacioná-las com as propriedades ondulatórias estudadas na aula anterior. É comum usarmos no dia a dia os verbos “aumentar” e “abaixar” para nos referirmos a algum som que está sendo reproduzido em nossa tv ou rádio, por exemplo. Todavia, tais termos são usados de forma errônea, uma vez que esses estão relacionados à frequência do som; quando pedimos para aumentar o volume da tv, na verdade estamos pedindo para deixar o som mais “intenso”, em vez de mais “alto”; a intensidade do som, por sua vez, está relacionada com a amplitude, bem como o nível sonoro, como deverá ser analisado nessa segunda aula (vide plano de aula a seguir).

PLANO DE AULA 2

TEMA E OBJETIVO	• Apresentar as qualidades do som e relacioná-las com frequência e amplitude. • Apresentar o conceito de altura do som e intensidade sonora no cotidiano; • Definir e distinguir som agudo e som grave; • Definir nível sonoro.
CONTEÚDO	• Acústica: Frequência e Amplitude • Grandezas relacionadas: altura, intensidade e nível sonoro.
METODOLOGIA OU ESRATÉGIA	• Inicia-se a aula com uma breve revisão sobre as grandezas até então estudadas, bem como os elementos de uma onda. Apresenta-se no quadro a tela projetada do gráfico de uma onda

	produzida pelo <i>Audacity</i>. Com a reprodução de ondas em diferentes frequências, analisa-se a altura do som e a relaciona com o som grave ou agudo. Faz-se uma demonstração de um som grave e de um som agudo e indaga os alunos sobre a relação desses sons com as respectivas frequências. Posteriormente apresenta na mesma projeção a amplitude do som, a fim de fazer uma atribuição com a intensidade e por fim com o nível sonoro.
RECURSOS DIDÁTICOS	• Computador, caixas de som próprias, data show, quadro e um aparelho decibelímetro.
AVALIAÇÃO	• Questões de caráter avaliativo podem ser levantadas ao fim da aula, a critério do professor.
REFERÊNCIAS (a critério do professor)	• GASPAR, Alberto. Compreendendo a Física. Vol. 2: Ondas, Óptica e Termologia Editora Ática, 2018. • YANAMOTO, Kazuhito. Física para o ensino médio, vol. 2: Termologia, Óptica e Ondulatória \ Kazuhito Yanamoto, Luís Felipe Fuke. 4 ed. São Paulo: Saraiva 2016.

Qualidades do som

Para o início desta aula é válido traçar uma breve revisão sobre o conteúdo da aula anterior, ressaltando as definições de frequência e amplitude. Uma vez iniciada a aula, o professor irá expor em tela o *Audacity* e apontará os elementos de uma onda sonora já estudados (podendo ser utilizada a mesma onda já gerada, a fim de otimizar o tempo de aula). É válido ressaltar que o software conta com a possibilidade de arquivamento de um projeto, na opção “salvar projeto”, apresentado no capítulo 2. A seguir, uma ilustração gráfica com os elementos de onda em destaque:

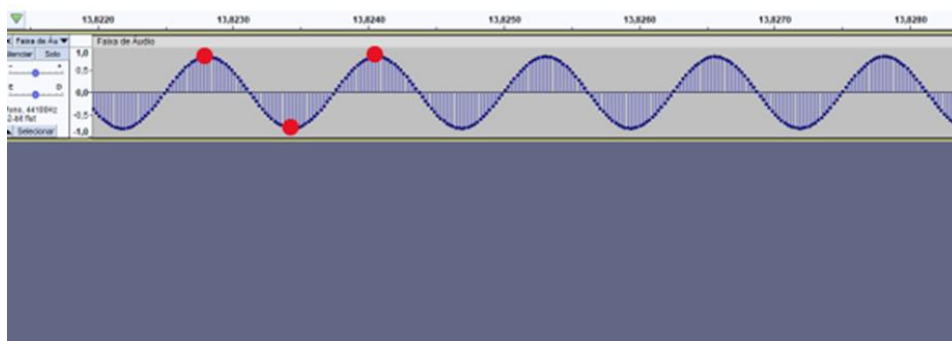


Figura 9 - elementos de onda apontados em vermelho

Destarte, dar-se-á início ao objetivo previsto para esta aula: fazer as relações entre as grandezas elementares das ondas sonoras e as qualidades do som (também chamadas de qualidades fisiológicas); são elas a **altura** (relacionada à frequência do som), a **intensidade** (relacionada à amplitude) e o **timbre** (relacionado à forma da onda). Com base fundamental nessas três grandezas e suas qualidades associadas, pode-se demonstrar para o estudante como o som pode ser analisado de forma experimentada cotidianamente. Arbitrariamente, começa-se aqui com a altura (a critério do professor).

As equações apresentadas na primeira aula deverão ser lembradas em relações ulteriores, uma vez que a altura do som está relacionada diretamente à equação fundamental da ondulatória.

Altura

A altura do som é a qualidade que permite diferenciar um som grave de um som agudo, seguindo uma escala de ordem tomando como parâmetro a frequência a seguir:

Frequência maior: Som agudo.

Frequência menor: Som grave.

Com a relação acima o professor pode, com auxílio do *Audacity*, reproduzir sons a diferentes frequências e apresentar para o estudante a relação com o quão grave ou agudo é o som percebido por determinada onda. Alguns procedimentos práticos e de fácil execução podem ser apresentados ao estudante, como veremos a seguir.

Um desses procedimentos de extrema validade que pode ser apresentado em aula é o espectro audível do sistema auditivo humano, que varia em uma escala entre 20 Hz e 20 000 Hz (é válido lembrar aqui que a unidade de frequência no sistema internacional é

o Hertz – Hz – número de oscilações por segundo). A tabela a seguir esclarece essa relação:

Infrassons	Sons	Ultrassons
$f < 20 \text{ Hz}$	$20 \text{ Hz} \leq f \leq 20\,000 \text{ Hz}$	$f > 20\,000 \text{ Hz}$
Som inaudível	Som audível	Som inaudível

Figura 330 - Tabela do espectro sonoro audível

Tomando como base os parâmetros acima, o professor deverá reproduzir sons arbitrariamente em diferentes frequências, adotando valores que compreendam os limites da escala auditiva, apresentando ao aluno as diferentes alturas do som, fazendo uma analogia com a percepção cotidiana que temos entre “som alto” e “som baixo”, demonstrando assim que a altura do som não tem relação com tal percepção – veremos posteriormente que esses termos são utilizados para caracterizar a intensidade sonora, qualidade relacionada à amplitude.

Logo, os alunos perceberão que algumas frequências próximas do infrassom ou do ultrassom sequer podem ser ouvidas, – nesse momento, é importante que o professor explique para seu público que o ouvido humano perde a capacidade auditiva ao longo da vida, fazendo uma breve explanação sobre a *presbiacusia*⁶ – mesmo o software reproduzindo a onda apresentada no quadro. O procedimento prático a seguir será de grande eficácia para o entendimento do aluno.

Procedimento prático 2.1

- O professor deve sugerir aos alunos que ouçam com atenção as frequências sonoras que serão reproduzidas e escrevam as exatas frequências que começaram a ouvir e a que deixaram de perceber.
- A seguir, o professor deverá reproduzir frequências compreendidas dentro da faixa audível, começando do mais grave (20 Hz) para o mais agudo (20 000 Hz). O ideal é que ele reproduza sons variando as frequências a cada 2 000 Hz, a fim de otimizar o tempo de aula. É possível gerar várias ondas simultaneamente, também visando um melhor enquadramento dentro do

⁶ Alterações no órgão auditivo decorrentes do envelhecimento natural das células

prazo estipulado para uma aula; assim, ficará mais simples quando for reproduzi-las. Observe na figura a seguir as ondas duplicadas, podendo-se variar as frequências de forma arbitrária.

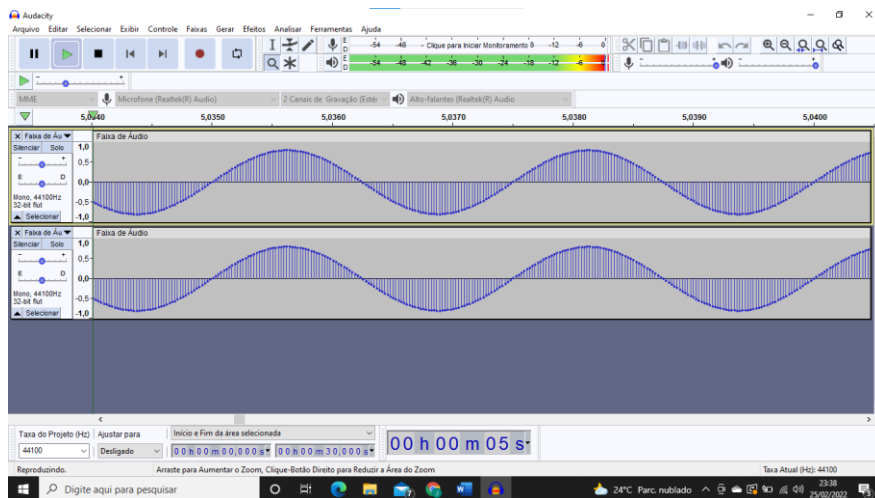


Figura 11 - ondas sonoras de frequências variáveis

- O professor, teoricamente com mais idade que seus alunos, poderá avisar quando ele mesmo deixou de ouvir o som reproduzido (a frequência exata), para efeitos de comparação com as diferentes idades dos estudantes.
- Posteriormente, é interessante reproduzir sons em frequências mais altas, captadas apenas por alguns animais, e explicar o sistema de ecolocalização⁷ de alguns deles, como o morcego e o golfinho. Morcegos ouvem sons na faixa dos incríveis 120 000 Hz, e os cachorros podem perceber frequências de até 50 000 Hz. Além do sistema de ecolocalização, o docente poderá aproveitar os resultados obtidos pelos alunos e explicar por que o cachorro se sente incomodado com sons muito altos (ou se é de fato a altura do som que incomoda os cães).

Procedimento prático 2.2

- Outro procedimento que merece destaque diz respeito à relação entre as frequências de onda e às notas musicais. Cada nota musical representa uma fração da frequência emitida da primeira nota na escala, o *dó* (essa fração é conhecida como *o intervalo de uma oitava abaixo*). O professor pode

⁷ Sistema de localização natural por emissão de sons de alta frequência, comum em alguns animais

apresentar a equação do intervalo (i) entre dois sons, que representa o quociente entre suas frequências:

$$i = \frac{f_2}{f_1} \quad (3)$$

Logo, as notas musicais seguem a seguinte ordem:

Nota	Dó	Ré	Mi	Fá	Sol	Lá	Si	Dó
Frequência (Hz)	f	$\frac{9}{8} \cdot f$	$\frac{5}{4} \cdot f$	$\frac{4}{3} \cdot f$	$\frac{3}{2} \cdot f$	$\frac{5}{3} \cdot f$	$\frac{15}{8} \cdot f$	$2 \cdot f$

Figura 12 - Tabela da escala "Gama" musical

Com isso, o professor poderá estimular os alunos a calcular as frequências correspondentes a cada nota musical a partir da frequência da primeira nota na escala⁸ (o dó). Por exemplo, para a primeira nota (dó) na escala gama de um piano a frequência é de 264 Hz. Logo, pode-se chegar às frequências correspondentes às demais notas pelo cálculo apresentado na tabela acima. É interessante que o professor reproduza no *Audacity* todas as frequências encontradas pelos alunos, com o objetivo de trazer uma experiência cotidiana, porém, por vezes não interpretada matematicamente.

Intensidade

Para esta qualidade sonora, o professor poderá iniciar fazendo uma analogia com que já foi citado na explicação sobre frequência, mostrando que, de forma equivocada, costumamos relacionar a altura de um som à intensidade, quando na verdade, e como já visto, a altura está relacionada com a frequência. Assim, o que usamos cotidianamente para qualificar a força produzida por um som está relacionado com a amplitude, propriedade da onda apresentada ainda na primeira aula. Assim, é interessante começar a aula esclarecendo que, coloquialmente, quando queremos variar o volume de um som emitido por uma fonte, usamos as expressões “aumentar” ou “diminuir” o som, levando a uma falsa concepção de que estamos variando a altura do som, quando na verdade estamos nos referindo à intensidade – como já vimos, a altura está associada à frequência do som; quando ajustamos o volume do som emitido por uma fonte, estamos variando a sua intensidade, qualidade associada à amplitude. A intensidade sonora é a

⁸ Essa escala é conhecida como escala gama

grandeza que diferencia um som forte de um som fraco. O termo “intensidade” é bastante sugestivo, uma vez que faz referência à energia que a onda sonora propaga ao ser emitida pela fonte.

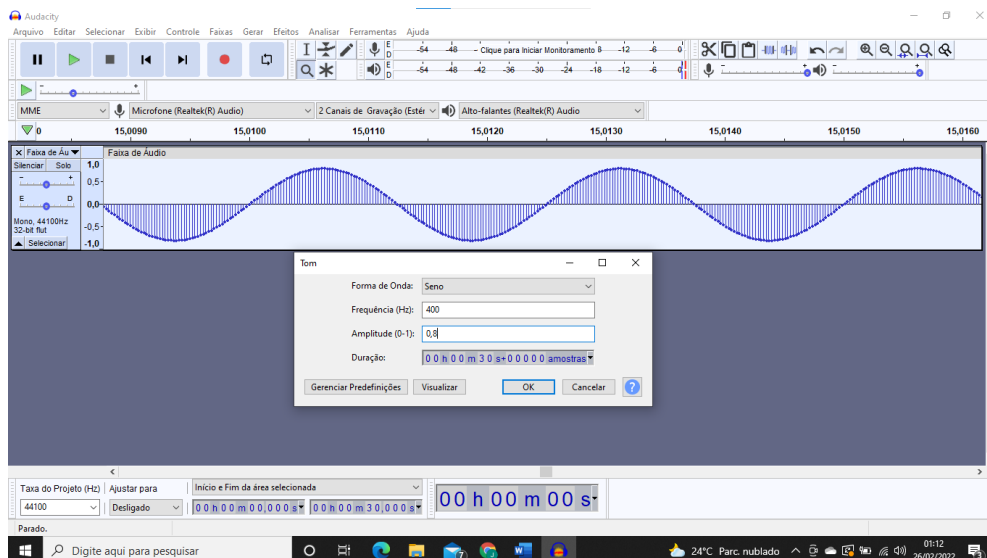


Figura 13 - Escolha arbitrária da amplitude pelo Audacity

Matematicamente, a intensidade sonora (I) é o quociente entre a quantidade de energia (E) que atravessa uma unidade de área (A) da superfície perpendicular à direção de propagação por unidade de tempo (Δt). O professor deverá apresentar essa relação em sala, antes de entrar no mérito experimental abordado mais adiante.

$$I = \frac{E}{A \cdot \Delta t} \quad (4)$$

Como já se presume o conhecimento por parte da turma, uma vez visto em mecânica, a potência (P) é a relação entre energia (E) por intervalo de tempo (Δt), sendo $P = \frac{E}{\Delta t}$; logo, a equação para a intensidade sonora pode ser reescrita na seguinte forma:

$$I = \frac{P}{A} \quad (5)$$

Alguns procedimentos práticos podem ser apresentados com o auxílio do Audacity com o propósito de tornar a aula experimentalmente mais proveitosa, como veremos a seguir. Antes de dar início aos procedimentos, é importante que o professor

explique o que é o limiar audível, e que a faixa desse limiar está entre a intensidade física audível, equivalente a $I_0 = 10^{-12} \text{ W/m}^2$, e a máxima intensidade física – também chamada de limiar de dor – de valor de $I_{max} = 10^0 \text{ W/m}^2$.

Procedimento prático 2.3

- Partindo do pressuposto que o professor já apresentou (na primeira aula) diferentes amplitudes reproduzidas com auxílio do *Audacity*, mantendo-se uma mesma frequência, aqui poderá ser observado experimentalmente (para que a aula fique mais atrativa, o professor poderá fazer uso de um decibelímetro⁹) os diferentes níveis sonoros produzidos quando se varia a amplitude. O nível sonoro (β) emitido por uma fonte varia em escala logarítmica, à medida que o observador se aproxima ou se afasta da fonte, pela seguinte relação:

$$\beta = \log \frac{I}{I_0} \quad (6)$$

- O professor pedirá aos alunos para perceberem com atenção o som reproduzido por uma onda com determinada amplitude; uma vez verificado o nível sonoro no decibelímetro, é possível determinar a intensidade (I) característica daquela onda – a intensidade (I_0) já é conhecida, pois corresponde ao limiar audível.
- Como conclusão, o professor poderá manter a amplitude que foi reproduzida e variar a frequência da onda, reproduzindo-a novamente; assim, perceberá juntos aos alunos que o nível sonoro não foi alterado (verificar no decibelímetro), comprovando assim que a intensidade do som não tem relação com a frequência.

Como conclusão, verifica-se os diferentes níveis sonoros para diferentes intensidades, e assim se pode chegar aos limites suportáveis de som pelo ouvido humano. É interessante entrar no mérito da legislação brasileira vigente – mediante

⁹ Equipamento que capta o nível sonoro produzido por uma fonte a partir de sua intensidade, podendo ser encontrado facilmente no mercado virtual

pesquisa prévia – e demonstrar o limite de nível sonoro permitido. Por exemplo, um ambiente com até 40 dB é considerado calmo; com 60 dB já é tido como barulhento, e acima de 80 dB já é considerado como havendo poluição sonora. A seguir, um texto extraído da Associação Portuguesa de Segurança, que serve como reflexão sobre o ruído, e é válida a sua relação com o estudo sobre a intensidade sonora:

O QUE É O RUÍDO?

Define-se ruído, como sendo um som sem interesse ou desagradável. O ruído pode ser mais ou menos intenso, composto por uma só tonalidade ou composto por várias e a sua propagação varia consoante o meio em que o receptor se encontra.

É possível controlar o ruído na fonte, na transmissão e no receptor. Os níveis sonoros relacionados com o ruído ambiente raramente afetam o sistema auditivo. Os efeitos mais frequentes traduzem-se em perturbações psicológicas ou fisiológicas associadas a reações de 'stress' e cansaço. O ruído interfere com as comunicações e provoca perturbações no sono, na capacidade de concentração e hipertensão arterial. O ruído é um problema de saúde pública, o seu controle requer o empenho de todos.

Som é qualquer variação de pressão que o ouvido pode detectar. Quando uma fonte sonora, como um diapásão, vibra, provoca variações de pressão no ar ambiente, que se sobrepõem à pressão do ar. Comparada com a pressão do ar (em Pascal), a variação da pressão sonora é perceptível pelo ouvido humano na gama de 20 mPa a 100 Pa, para um indivíduo médio em plena posse das suas capacidades auditivas.

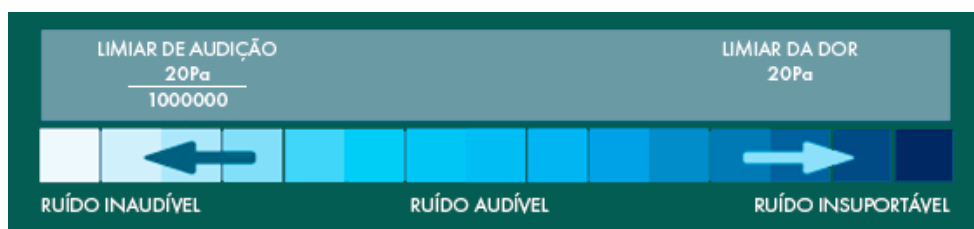


Figura 14 - Escala de ruídos (em Pa)

É usual exprimir o nível de pressão sonora em decibel, dB. O decibel é uma razão logarítmica entre a pressão sonora verificada e o valor de referência. A escala de valores de nível de pressão sonora varia entre 0 dB (limiar da audição) e 140 dB (limiar da dor). Há uma maior sensibilidade do ouvido às frequências médias, onde se expressa a voz humana.

Timbre

Como parte final da aula, é importante que o professor faça uma descrição a respeito das fontes sonoras, culminando assim na concepção do timbre, qualidade que caracteriza a forma da onda. Uma grandeza peculiar na acústica, o timbre é o que caracteriza a qualidade do som emitido, inerente à forma da onda. Algumas variáveis, como a força com que o som é produzido ou a configuração da própria fonte, resultam em diferentes ondas de pressão, caracterizando diferentes sons percebidos, ainda que com a mesma frequência. É pelo timbre que o ouvido humano consegue distinguir as diferentes fontes, mesmo sendo estes de mesma frequência; assim, podemos perceber os sons emitidos por vários instrumentos simultaneamente, como em uma orquestra ou conjunto musical – a despeito do olho humano, que não é capaz de distinguir os diferentes componentes de cores emitidas por determinada fonte de luz, percebendo apenas uma cor resultante. Um procedimento prático e de ótimo esclarecimento pode ser feito com o uso do *Audacity*, como se ver a seguir:

Procedimento prático 2.4

- O professor pode reproduzir no *Audacity* trechos de uma mesma canção, porém, tocada por instrumentos diferentes. Essa gravação pode ser feita pelos próprios alunos, caso haja algum músico em sala, ou pelo próprio professor, caso tenha aptidão musical.
- A princípio, o professor deve reproduzir o som tocado por um dos instrumentos (nesse caso, a opção foi um violão). Esse procedimento pode ser apresentado de maneira que a canção seja reproduzida diretamente no *Audacity*, ou, caso queira tornar a aula mais interativa, pode solicitar a algum aluno em sala para tocar a mesma música em dois instrumentos diferentes, percebendo assim mesma frequência, mas timbres diferentes.



Figura 15 - Reprodução de uma música tocada apenas pelo violão

A seguir, deverá ser feita a reprodução do som por outro instrumento; no caso a seguir, a opção foi um violino. É válido o entendimento de que o som reproduzido por qualquer instrumento pode ser gravado pelo próprio software, caso seja necessário para a utilização para futuras aulas. A gravação do instrumento apresentado pode ainda extraído de uma outra fonte, como uma gravação já apresentada em alguma plataforma, por exemplo.



Figura 16 - Reprodução de uma música tocada apenas por um violino

O professor deverá apresentar aos alunos as frequências reproduzidas nas duas situações descritas, para que se possa esclarecer que a diferença entre o primeiro som e o segundo se deve às diferentes fontes (os instrumentos), caracterizando assim o timbre.

A ideia do procedimento supracitado é explanar uma das qualidades imprescindíveis no entendimento da acústica, o timbre. O professor pode ainda esclarecer que é esta qualidade que caracteriza a voz de uma pessoa – se distingue a voz de uma criança da voz de um adulto, por exemplo, pelo timbre.

Questões

- 1- Uma onda sonora de comprimento igual a 20 cm propaga-se no ar com velocidade de 340 m/s; qual a frequência do som que está uma oitava abaixo?
- 2- O limiar da audibilidade corresponde à intensidade física de 10^{-12} W/m^2 . Num salão de baile, a intensidade física do ambiente é 10^{-4} W/m^2 . Determine, em decibel, o nível sonoro nesse salão.
- 3- (UFSCar) Um homem adulto conversa com outro de modo amistoso e sem elevar o nível sonoro de sua voz. Enquanto isso, duas crianças brincam emitindo gritos eufóricos, pois a brincadeira é um jogo interessante para elas. O que distingue os sons emitidos pelo homem dos emitidos pelas crianças
 - a) é o timbre, apenas
 - b) é a altura, apenas.
 - c) são a intensidade e o timbre, apenas.
 - d) são a altura e a intensidade, apenas.
 - e) são a altura, a intensidade e o timbre.
- 4- (ENEM 2015) Ao ouvir uma flauta e um piano emitindo a mesma nota musical, consegue-se diferenciar esses instrumentos um do outro. Essa diferenciação se deve principalmente ao(a):
 - a) intensidade sonora do som de cada instrumento musical.
 - b) potência sonora do som emitido pelos diferentes instrumentos musicais.

- c) diferente velocidade de propagação do som emitido por cada instrumento musical.
- d) timbre do som, que faz com que os formatos das ondas de cada instrumento sejam diferentes.
- e) altura do som, que possui diferentes frequências para diferentes instrumentos musicais.

CAPÍTULO 5 – FENÔMENOS ONDULATÓRIOS I

Aula 3

A princípio, é importante ressaltar os fenômenos ondulatórios já introduzidos no início dos estudos sobre ondas (reflexão, refração, difração, polarização, interferência e efeito Doppler). Por se tratar de uma onda longitudinal, o único fenômeno não característico do som é a polarização.

Para melhor otimização de tempo, o conteúdo sobre fenômenos ondulatórios será dividido em duas aulas – aulas 3 e 4 - tendo como esta terceira o plano descrito a seguir.

PLANO DE AULA 3

TEMA E OBJETIVO	• Apresentar e descrever os seguintes fenômenos ondulatórios: ✓ Reflexão do som ✓ Refração do som ✓ Difração do som ✓ Interferência do som
-----------------	--

CONTEÚDO	- Fenômenos ondulatórios do som - Questões sobre tais fenômenos
METODOLOGIA OU ESRATÉGIA	A aula deverá ser ministrada inicialmente de modo a esclarecer os fenômenos do som que serão estudados, de forma taxativa, e justificando o porquê de a polarização não ser característica da acústica. A seguir, a refração e difração devem ser explicadas de forma objetiva, por se tratarem de fenômeno de simples conjectura. Já o fenômeno da reflexão deve ser analisado sobre a perspectiva de três efeitos observados: eco, reverberação e reforço.
RECURSOS DIDÁTICOS	Computador, caixas de som próprias e um microfone de lapela.
AVALIAÇÃO	Questões de caráter avaliativo podem ser levantadas ao fim da aula, a critério do professor.
REFERÊNCIAS (a critério do professor)	- GASPAR, Alberto. Compreendendo a Física. Vol. 2: Ondas, Óptica e Termologia Editora Ática, 2018. - YANAMOTO, Kazuhito. Física para o ensino médio, vol. 2: Termologia, Óptica e Ondulatória \ Kazuhito Yanamoto, Luís Felipe Fuke. 4 ed. São Paulo: Saraiva 2016.

Reflexão

Quanto à reflexão, o professor pode começar a explicação fazendo uma analogia ao que já foi estudado em ondulatória, esclarecendo que é de tal forma que o som (uma onda mecânica) também irá se refletir. Alguns fatores podem ser analisados em sala, objetivando uma aula mais interativa. A persistência acústica, por exemplo, deve ser abordada para que se evidencie em sala que a reflexão só será percebida se o intervalo de tempo entre os dois sons (emitido pela fonte e refletido) for maior que 0,1 s – esse é o intervalo de tempo da persistência acústica da orelha humana. Destarte, se dois sons

chegam à orelha humana em um intervalo de tempo menor que 0,1 s, o cérebro não consegue distingui-los. Assim, pode-se concluir dois efeitos a partir da reflexão sonora:

- ✓ O eco: ocorre quando $\Delta t \geq 0,1 \text{ s}$; o observador irá distinguir o som refletido do som emitido diretamente pela fonte;
- ✓ A reverberação: ocorre quando $\Delta t < 0,1 \text{ s}$; o observador só irá perceber o som refletido quando o som emitido já estiver se extinguindo, causando uma sensação de prolongamento da sensação auditiva.

Para este primeiro fenômeno estudado, é válido enfatizar o tema com algumas situações do cotidiano, como a escuta dos batimentos cardíacos por um estetoscópio, os motivos que justificam as paredes de um estúdio musical ou de emissora de rádio serem revestidas por espumas, ou ainda pode ser lembrado o sistema de ecolocalização, observado na primeira aula.

Refração

Uma vez já abordada em sala, no estudo sobre ondulatória, a refração do som (assim como a difração), podem ser estudadas de forma objetiva; todavia, podem ser feitos alguns procedimentos práticos que servirão para uma melhor observação acerca de tal fenômeno. Como se sabe, a refração nada mais é do que a “passagem” de uma onda de um meio para outro em sua propagação. Quando o fenômeno ocorre, há uma mudança na velocidade de propagação e em seu comprimento de onda, mantendo-se constante a frequência. É importante que o professor observe que, por se tratar de uma onda mecânica, o som se propaga com maior velocidade em um meio é mais refringente (ao contrário das ondas eletromagnéticas, que têm sua velocidade diminuída em meios de menor índice de refração). Alguns procedimentos práticos serão descritos mais adiante, deixando assim o conteúdo mais experimental.

Ressonância

Para explicar o efeito da ressonância, o professor deve fazer uso de um diapasão¹⁰, facilmente encontrado em lojas de instrumentos musicais. Ao bater com um

¹⁰ Peça metálica bifurcada que serve para afinar instrumentos musicais

martelo em uma de suas hastes, ambas irão vibrar na frequência natural, aproximadamente 440 Hz.

É importante que o professor explique que qualquer objeto oscilatório possui uma frequência própria, desde um pêndulo simples a uma ponte ou prédio, por exemplo. Logo, define-se a ressonância como sendo um fenômeno em que um sistema oscilante começa a vibrar ao receber uma energia de frequência igual à frequência própria desse sistema, mas com amplitudes maiores.

Difração

Presumindo-se que a difração de ondas já foi previamente abordada no estudo de ondulatória, pode-se começar a aula lembrando tal conceito, explicando o que é a difração e como ocorre com o som. O professor pode pedir para um aluno falar do lado de fora da sala, com a porta fechada, e indagar o restante da turma como é possível ouvir o som. O fenômeno da difração pode ser resumidamente esclarecido como sendo o espalhamento sofrido pela onda quando esta contorna um obstáculo. Tal fenômeno só pode ocorrer quando as dimensões da abertura do obstáculo forem da mesma ordem de grandeza do comprimento de onda emitido. Admitindo-se a velocidade do som no ar como sendo 340 m/s e conhecendo-se as frequências audíveis (vide aula 1), é possível chegar a um valor aproximado da dimensão da abertura para que a onda os contorne, como se observa em um dos procedimentos a seguir:

Procedimento prático 3

- **3.1** Como procedimento prático, pode ser solicitado aos alunos que calculem a menor distância possível que um obstáculo deve estar para que um observador possa perceber o efeito do eco. Para isso, basta lembrar o conceito de velocidade e aplicar a equação que a relaciona com distância e tempo; aproximando o valor da velocidade do som no ar para 340 m/s, o professor deve lembrar que o menor intervalo de tempo para que dois sons sejam percebidos pelo cérebro humano é de 0,1 s. Aplicando-se na equação $\Delta s = v \cdot \Delta t$, obtém-se o valor esperado.
- **3.2** A fim de observar os efeitos da refração, o professor poderá levar para sala dois copos de vidro contendo diferentes volumes de água. Com uma colher de metal, pode-se bater levemente em um dos copos, no copo que

esteja vazio, por exemplo, e no outro copo que esteja com certa quantidade de água. É de fácil percepção que os copos emitirão sons diferentes ao serem tocados pela colher, corroborando assim as diferenças de velocidade de propagação no ar e na água.

- **3.3** Um outro procedimento simples, como atividade para refletir, é sugerir que os estudantes encontrem as dimensões possíveis que a abertura de um obstáculo deva ter para que ocorra o fenômeno da difração; para tanto, é necessário que o professor forneça o valor da velocidade do som no ar (aproximadamente 340 m/s), e relembre os valores compreendidos para a frequência audível (20 Hz e 20 000 Hz). Aplicando esses valores à equação fundamental da ondulatória, estudada na aula 1, é possível chegar aos valores esperados para a difração ocorrer.
- **3.4** Com uso do *Audacity*, o professor deve reproduzir os sons com amplitudes que caracterizam a poluição sonora (lembrar que a amplitude é uma qualidade que relaciona a intensidade do som). Para tanto, é necessária uma breve consulta à tabela a seguir (é interessante que o professor reproduza em tela para toda a sala, a fim de que se informe os níveis sonoros e quando se caracteriza a poluição sonora):

Nível sonoro em decibel (dB)	Danos ao ouvido humano	Fontes sonoras de referência
120 a 140	Doloroso	Decolagem de avião
100 a 120	Perigoso	Carro de Fórmula 1
80 a 100	Fatigante	Fones de ouvido no volume máximo
50 a 80	Incomodativo	Ambiente de festa
10 a 50	Repousante	Sala de estar

Figura 17 - Tabela de níveis de ruído sonoro (Fonte: Agência Portuguesa do Ambiente)

Para melhor observação em sala, é importante que se use o decibelímetro; assim, com as ondas produzidas pelo *Audacity* o professor poderá chegar a valores próximos aos da tabela acima, levando o estudante a uma experiência e reflexão sobre as consequências da poluição sonora. A seguir, são sugeridas algumas questões sobre o tema explanado como forma de incentivo à prática do que foi apresentado teoricamente, bem como visando o aperfeiçoamento da matemática necessária ao aperfeiçoamento do estudo.

Questões

- 1- Sabe-se que a velocidade de propagação do som no ar é de 340 m/s. Determine a mínima distância a que um observador deve ficar de um obstáculo para ouvir o eco de sua própria voz.
- 2- Explique porque, geralmente, ouvimos nossa voz de forma repetida no banheiro.

- 3- O som é uma onda mecânica de natureza mecânica e de propagação longitudinal. Assinale a alternativa abaixo que contém fenômenos que podem ocorrer com as ondas sonoras:
- Polarização, sublimação, reflexão, absorção.
 - Absorção, condução, ionização, interferência.
 - Condução, polarização, eletrização, imantação.
 - Polarização, interferência, refração, difração.
 - Interferência, reflexão, refração, difração.

CAPÍTULO 6 – FENÔMENOS ONDULATÓRIOS II

Aula 4

Finalizando o estudo sobre acústica, o material seguinte dispõe de conteúdo relacionado aos fenômenos da interferência sonora e do efeito Doppler. Para tanto, serão apresentados procedimentos práticos que, com auxílio do programa computacional *Audacity*, irão contribuir para melhor entendimento do referido tema.

A seguir, o plano norteador para esta derradeira aula, que consistirá em uma sequência didática sugerida, bem como procedimentos didáticos e experimentais que objetivam uma aula mais dinâmica e esclarecedora.

PLANO DE AULA 4

TEMA E OBJETIVO	• Apresentar e descrever os seguintes fenômenos ondulatórios: ✓ Interferência do som ✓ Efeito Doppler
-----------------	---

	• Demonstrar experimentalmente, com auxílio do <i>Audacity</i>, os tipos de interferência. • Descrever e demonstrar na prática o efeito Doppler.
CONTEÚDO	• Fenômenos ondulatórios do som. • Questões sobre os fenômenos descritos.
METODOLOGIA OU ESRATÉGIA	• A aula deverá ser ministrada inicialmente de modo a esclarecer os dois fenômenos do som que serão estudados (Interferência e efeito Doppler). A princípio, esclarece-se o fenômeno da interferência de forma conceitual, abrangendo as duas formas que podem ocorrer esse fenômeno. Posteriormente, mediante um experimento prático com auxílio do <i>Audacity</i>, demonstra-se assim as interferências construtivas e destrutivas de forma que possam ser percebidas na prática. • Encerra-se a aula explicando o efeito Doppler para ondas sonoras, também de forma conceitual, culminando em um procedimento prático de notável observação.
RECURSOS DIDÁTICOS	• Computador, caixas de som próprias e um microfone de lapela.
AVALIAÇÃO	• Questões de caráter avaliativo podem ser levantadas ao fim da aula, a critério do professor.
REFERÊNCIAS (a critério do professor)	• GASPAR, Alberto. Compreendendo a Física. Vol. 2: Ondas, Óptica e Termologia Editora Ática, 2018. • YANAMOTO, Kazuhito. Física para o ensino médio, vol. 2: Termologia, Óptica e Ondulatória \ Kazuhito Yanamoto, Luís Felipe Fuke. 4 ed. São Paulo: Saraiva 2016.

Interferência

A princípio, é válido o professor começar a aula generalizando o fenômeno a ser estudado, esclarecendo a interferência ondulatória; uma vez iniciada, a aula deverá decorrer acerca da interferência do som, efeito que ocorre quando duas ondas se superpõem em um ponto (presume-se que esse fenômeno já tenha sido estudado sob a luz da ondulatória, em superfícies líquidas e em ondas luminosas, precedendo assim o estudo sobre acústica).

O fenômeno da interferência sonora é percebido quando duas ondas de mesma amplitude e frequências ligeiramente diferentes¹¹ se superpõem; a esse tipo de interferência, dá-se o nome de batimento. Nessa situação, ocorre uma variação na amplitude resultante, que vai de um valor mínimo (nulo), a um valor máximo (soma das amplitudes); assim, a frequência de batimento f_{bat} é dada pela diferença entre as frequências das ondas componentes:

$$f_{bat} = |f_1 - f_2| \quad (7)$$

Quanto à amplitude, a interferência pode ocorrer de duas formas:

- Construtiva: quando duas ondas em mesma fase se superpõem em comuns pontos - a amplitude resultante é maior que as amplitudes das ondas componentes.
- Destrutiva: quando duas ondas em fases opostas se superpõem em comuns pontos – as amplitudes das ondas são canceladas, de forma parcial ou total, ocorrendo uma diminuição ou anulação do som.

¹¹ O valor estimado para essa diferença de frequências é de até 7 Hz

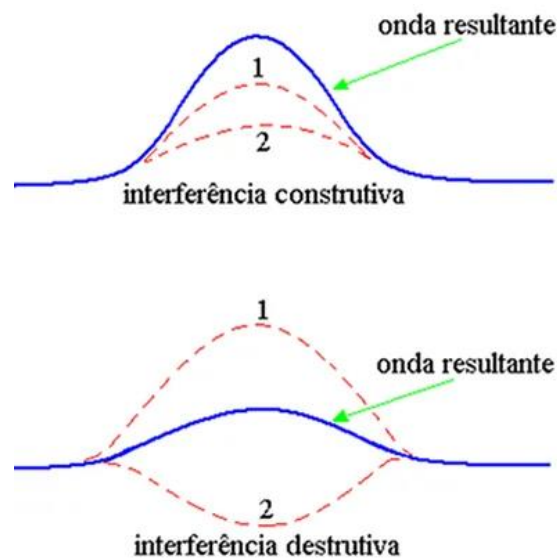


Figura 18 - interferências construtiva e destrutiva (fonte:brasilecola)

Com o objetivo de tornar a aula interativa, um procedimento prático pode ser feito, demonstrando de forma bem observacional os efeitos das interferências sonora supracitadas, como se observa a seguir:

Procedimento prático 4

- Com o Audacity em execução, o professor deve apresentar uma onda com determinada frequência e amplitude, e reproduzi-la nas caixas de som próprias para computador; é importante que a tela do computador seja projetada para toda a sala, para que os estudantes possam observar qual frequência e amplitude foram descritas, bem como o desenho da onda formada. A seguir, duplica-se a onda produzida no software e as reproduz – o procedimento é simples: basta selecionar no ícone “editar”, na barra de ferramentas, a opção “duplicar”; assim, surgirá na tela duas ondas idênticas e em fase. Acompanhe o “passo a passo” a seguir:
 - Passo 1: duplica-se a onda no ícone “editar”; em seguida, clica-se em “duplicar”.

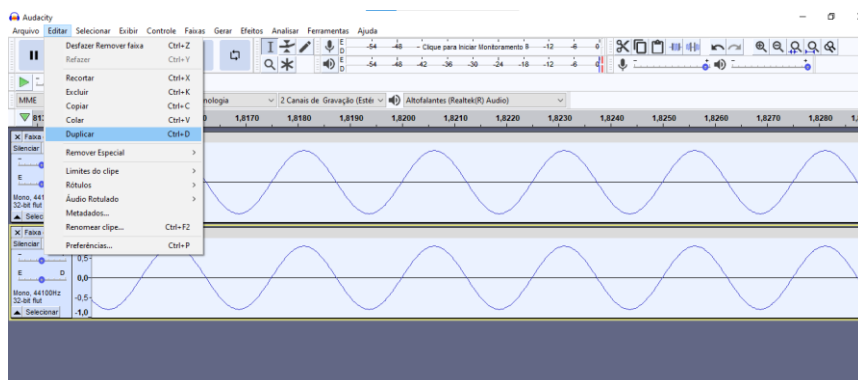


Figura 19 – duplicando uma onda no Audacity, gerando uma interferência construtiva

Uma vez expostas, basta reproduzir as ondas e perceber o efeito do somatório das amplitudes – os presentes em sala deverão perceber um som mais intenso do que aquele reproduzido por apenas uma das ondas - é importante que o professor reproduza inicialmente apenas uma onda, deixando que se perceba o som emitido pela mesma – culminando na interferência construtiva.

- Passo 2: seleciona-se com o mouse um pulso de onda; em seguida, no ícone “editar”, clica-se em “excluir”; assim, o pulso de onda selecionado será excluído, deixando as duas ondas com fases invertidas. O objetivo deste procedimento é apresentar ao estudante, a princípio, a ilustração das ondas em fases opostas, para que em seguida ele perceba na prática o efeito casuístico do fenômeno da interferência ao reproduzir o som da respectiva onda, como se vê mais adiante.

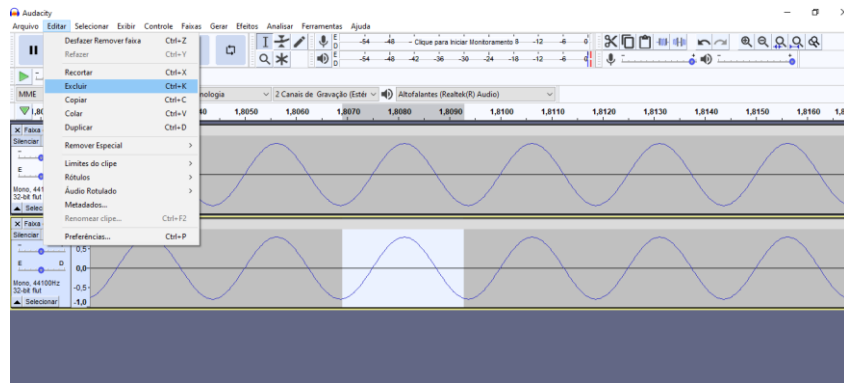


Figura 20 - Defasagem das ondas, causando a interferência destrutiva

Ao reproduzir as ondas, os presentes em sala não deverão perceber nenhum tipo de som, restando evidente que as ondas foram defasadas, tendo suas amplitudes componentes subtraídas (as ondas foram defasadas), causando a interferência destrutiva. Outra forma interessante de se observar os efeitos da superposição das ondas é pelo procedimento prático seguinte:

Procedimento prático 4.1

- Ao reproduzir as ondas defasadas no *Audacity*, o professor deve conectar um microfone de lapela no computador e posicioná-lo entre as duas caixas de som. Em seguida, ao reproduzir o som emitido pelas duas ondas defasadas, desliza-se o microfone lentamente de uma caixa à outra. Nota-se assim o som aumentando à medida que o microfone se aproxima de uma das duas caixas (os pontos de máxima amplitude resultante), culminando assim na interferência construtiva.



Figura 21 - Interferência construtiva sendo apresentada em sala

- Consequentemente, quando se aproxima o microfone do ponto equidistante entre as duas caixas, percebe-se uma diminuição do som, até que, no exato ponto médio, as amplitudes se anulam, resultando em “silêncio” – as caixas não emitirão nenhum tipo de som, comprovando a interferência destrutiva.

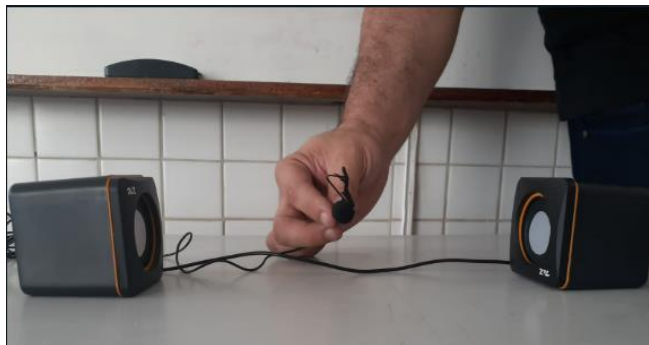


Figura 22- Interferência destrutiva sendo apresentada em sala

Esse procedimento é de extrema importância, uma vez que se observa experimentalmente o efeito prático da superposição das ondas, ocorrida nas duas formas estudadas (construtiva e destrutiva); o Audacity se torna útil para tal experimento, haja vista a possibilidade de escolher a frequência emitida e, principalmente, por ser possível optar por qual caixa será reproduzido o som, ou se em ambas.

Efeito Doppler

Assim como para a interferência, presume-se que o efeito Doppler já deve ter sido mencionado nas aulas relacionadas a ondas luminosas. É importante que o professor lembre o conceito desse fenômeno e descreva situações cotidianas em que o mesmo é observado.

O efeito Doppler consiste na diferença de frequência percebida pelo observador quando há um movimento relativo entre ele e a fonte. No que diz respeito às ondas sonoras, uma situação cotidiana em que esse efeito é percebido ocorre quando uma ambulância, com a sirene ligada, se aproxima ou se afasta de um observador. A depender do movimento, o som percebido é diferente do que se perceberia se a ambulância estivesse parada (ou com qualquer outro movimento relativo). Em resumo, a frequência percebida pelo observador – denominada de frequência aparente (f_o) – é maior que a frequência emitida pela fonte – frequência real (f_f) – quando a ambulância se aproxima; o som aparenta ser mais agudo. Todavia, quando a ambulância se afasta, a frequência aparente diminui, deixando o som percebido mais grave.

A relação entre a frequência (f_o) e a frequência(f_f) obedece a relação de movimento entre observador e fonte da seguinte forma:

- 1) Se a fonte F se aproxima do observador O , o comprimento da onda emitida é aparentemente encurtado, resultando em:

$$f_o = f_f \cdot \left(\frac{v}{v+v_f} \right) \quad (8)$$

em que (v) é a velocidade da onda sonora e (v_f) a velocidade da fonte.

- 2) Se a fonte F se afasta do observador O , o comprimento da onda emitida é aparentemente alongado, resultando em:

$$f_o = f_f \cdot \left(\frac{v}{v-v_f} \right) \quad (9)$$

Combinando as duas equações acima, obtém-se:

$$f_o = f_f \cdot \left(\frac{v \pm v_o}{v \pm v_f} \right) \quad (10)$$

A expressão acima, conhecida como a equação geral do efeito Doppler, deve obedecer às seguintes condições, seguindo a convenção positiva (+) para a aproximação do observador à fonte:

- ✓ Se v_o e v_f se aproximam, adota-se o sinal positivo (+);
- ✓ Se v_o e v_f se afastam, adota-se o sinal negativo (-).

O procedimento a seguir tem o intuito de fazer com que os alunos percebam as frequências sonoras diferentes a partir de valores encontrados usando a equação acima. Para isso, considera-se que o professor pesquise antes o valor da frequência sonora emitida pela

sirene de uma ambulância. Esse valor será usado como frequência da fonte f_f no procedimento seguinte:

Procedimento prático 4.2

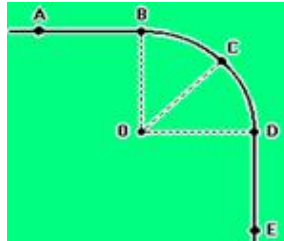
- Primeiro, apresenta-se aos estudantes em sala a frequência emitida por uma sirene de ambulância (esse dado pode ser encontrado mediante pesquisa na internet).
- Em seguida, reproduz-se o som emitido pelo *Audacity* com a frequência encontrada. Os estudantes deverão ouvir atentamente o som reproduzido.
- Uma vez reproduzido o som em sala, o professor irá descrever situações em que a fonte se move com uma velocidade semelhante a que uma ambulância eventualmente circula no trânsito (a 70 km/h, por exemplo). Supondo o observador parado, deve ser sugerido que encontrem as frequências aparentes nas situações de afastamento e de aproximação, a partir da fórmula matemática para o efeito Doppler.
- Finaliza-se o procedimento reproduzindo no *Audacity* as frequências encontradas nas duas situações e as comparando com a frequência real, que poderá ser reproduzida novamente para efeito de comparação. As questões a seguir servirão como embasamento para o procedimento acima referido.

É válido concluir a aula fazendo uma analogia entre o efeito Doppler gerado pelas ondas mecânicas e pelas ondas eletromagnéticas, explicitando que esse fenômeno não é exclusivo das ondas sonoras. Ao final, resolução de questões sugeridas, como se observa a seguir:

Questões

- 1- (PUC-PR) Uma ambulância dotada de uma sirene percorre, numa estrada plana, a trajetória ABCDE, com velocidade de módulo constante de 50 km/h. Os trechos AB e

DE são retilíneos e BCD um arco de circunferência de raio 20 m, com centro no ponto O, onde se posiciona um observador que pode ouvir o som emitido pela sirene:



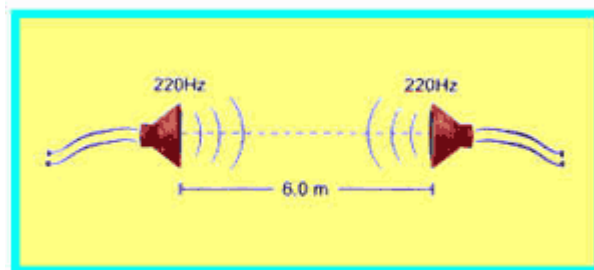
Ao passar pelo ponto A, o motorista aciona a sirene cujo som é emitido na frequência de 350 Hz. Analise as proposições a seguir:

- I. Quando a ambulância percorre o trecho AB, o observador ouve um som mais grave que o som de 350Hz.
- II. Enquanto a ambulância percorre o trecho BCD o observador ouve um som de frequência igual a 350Hz.
- III. À medida que a ambulância percorre o trecho DE o som percebido pelo observador é mais agudo que o emitido pela ambulância, de 350Hz.
- IV. Durante todo o percurso a frequência ouvida pelo observador será de frequência igual a 350Hz.

Está correta ou estão corretas as afirmativas:

- a) IV.
 - b) II e III.
 - c) Apenas II.
 - d) I e III.
 - e) I e II.
- 2- (PUC-RS) Quando uma ambulância se aproxima ou se afasta de um observador, este percebe uma variação na altura do som emitido pela sirene (o som percebido fica mais grave ou mais agudo).
- Esse fenômeno é denominado Efeito Doppler. Considerando o observador parado,
- a) o som PERCEBIDO fica mais agudo à medida que a ambulância se afasta.

- b) o som PERCEBIDO fica mais agudo à medida que a ambulância se aproxima.
- c) a frequência do som EMITIDO aumenta à medida que a ambulância se aproxima.
- d) o comprimento de onda do som PERCEBIDO aumenta à medida que a ambulância se aproxima.
- e) o comprimento de onda do som PERCEBIDO é constante, quer a ambulância se aproxime ou se afaste do observador, mas a frequência do som EMITIDO varia.
- 3- Marque a alternativa correta a respeito do fenômeno da interferência.
- a) O fenômeno da interferência só ocorre com ondas unidimensionais.
- b) Na interferência construtiva, as ondas encontram-se com fases invertidas.
- c) Na interferência destrutiva, as ondas encontram-se com fases iguais.
- d) Quando duas ondas de mesma amplitude sofrem interferência destrutiva, ocorre aniquilação.
- e) Quando duas ondas com amplitudes diferentes sofrem interferência construtiva, as amplitudes são somadas, e a onda resultante mantém o sentido de propagação da onda que possuía maior amplitude.
- 4- (UNICAMP) O módulo da velocidade do som no ar é de aproximadamente 330m/s. Colocam-se dois alto-falantes iguais, um defronte ao outro, distanciados 6,0m, conforme a figura abaixo. Os alto-falantes são excitados simultaneamente por um mesmo amplificador com um sinal de frequência de 220Hz.



Pergunta-se:

- a) Qual é o comprimento de onda do som emitido pelos alto-falantes?
- b) Em que pontos do eixo, entre os dois alto-falantes, o som tem intensidade máxima.

GABARITO

Questões (p. 20)

- 1- Aplicando a equação fundamental da ondulatória, $v = \lambda \cdot f$, temos $340 = 800 \cdot \lambda$; assim, $\lambda = 0,42 \text{ m}$.
- 2- Pela figura, infere-se que o comprimento de onda é de 80 cm , ou $0,8 \text{ m}$; como $f = v/\lambda$, tem-se $f = 20/0,8 = 25 \text{ Hz}$, letra d.

Questões (p. 32 e p. 33)

- 1- $\lambda = 20 \text{ cm} = 0,2 \text{ m}$. A velocidade é $v = 340 \text{ m/s}$. Com os referidos dados, deduz-se a frequência do som como $f = v/\lambda$; $f = 340/0,20 = 1700 \text{ Hz}$.
Sendo f' a frequência uma oitava abaixo de f , conclui-se que: $f = \frac{1700}{2} = 850 \text{ Hz}$.
- 2- Como estudado no capítulo 4, o limiar de audibilidade corresponde à intensidade de 10^{-12} W/m^2 ; assim, tem-se:

$$10^\beta = \frac{I}{I_0} ; \text{logo, } 10^\beta = \frac{10^{-4}}{10^{-12}} = 10^8 \therefore \beta = 8 \text{ B, ou } \beta = 80 \text{ dB}$$
- 3- Letra e. Os fatores que influenciam na distinção das situações citadas são:
 - A intensidade, pois os adultos conversam em tom amistoso, e as crianças gritam, o que sugere diferentes níveis sonoros;
 - A frequência, uma vez que, de maneira geral, a voz de uma criança é mais aguda que a voz de um adulto;
 - O timbre, por se tratar de diferentes formatos de onda, o que pressupõe diferentes fontes.
- 4- Letra d

Questões (p.38)

- 1- Como $v = 340 \text{ m/s}$ e o som tem que percorrer o caminho de ida e volta entre o observador e o obstáculo, tem-se que $d = 2x$; o tempo que o ouvido leva para distinguir dois sons é de $\Delta t = 0,1 \text{ s}$; aplicando os dados em $v = \frac{d}{\Delta t}$, obtém-se $340 = \frac{2x}{0,1}$; logo, $x = 17 \text{ m}$.
- 2- Como se trata de um cômodo da casa geralmente menor, com as paredes mais próximas, o fenômeno da reverberação acaba sendo percebido, uma vez que a melodia é refletida de forma sucessiva. O mesmo fenômeno ocorre em auditórios, uma vez que os obstáculos são distribuídos de forma regular.

3- Alternativa c

Questões (p.47, p.48. e p. 49)

- 1- Letra c;
- 2- Letra B; a frequência do som percebido aumenta à medida que a fonte se aproxima, tornando-o mais agudo.
- 3- Letra d; quando duas ondas de mesma amplitude se encontram, ocorre a subtração, resultando na interferência destrutiva;
- 4-
 - a) Usando a equação fundamental da ondulatória $v = \lambda \cdot f$, obtém-se 1,5 m;
 - b) Como o comprimento de cada onda é de 1,5, os pontos comuns em que ocorre a interferência construtiva são 0,75 m, 1,5 m, 2,25 m, 3,0 m, 3,75 m, 4,5 m e 5,25 m, sendo o alto falante da esquerda como ponto de origem.

REFERÊNCIAS

Associação Portuguesa de Segurança – O que o ruído? – Disponível em <https://www.apsei.org.pt/areas-de-atuacao/seguranca-no-trabalho/o-ruído-no-local-de-trabalho/>. Acesso em 18 de maio de 2022

EVES, Howard, **Introdução à história da Matemática**, 1. Ed. UNICAMP, 2004.

FEYNMAN, Richards, **Lições de Física**, 1 ed., Bookman Editora, 2008.

GASPAR, Alberto. **Compreendendo a Física**. Vol. 2: Ondas, Óptica e Termologia Editora Ática, 2018.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2002, 175p.

Instituto de Ciências Biológicas da UFMG. Disponível em: www.icb.ufmg.br/Ip/2-14.html. Acesso em 15 de maio de 2022

MÁXIMO, Antônio e ALVARENGA, Beatriz, **Curso de Física, vol.2**. Scipione, 2005.

NUSSENZVEIG, Herch Moysés. Curso de Física básica, 1 ed. São Paulo: Edgar Bluncher, 1998.

PIRES, Antônio S. T, **Evolução das ideias da Física**, 2. ed. São Paulo, 2011.

SILVA, Domiciano Correa Marques da. "**Interferência de ondas**"; **Brasil Escola**. Disponível em: <https://brasilescola.uol.com.br/fisica/interferencia-ondas.htm>. Acesso em junho de 2022.

Revista Scientific American Brasil. Disponível em <https://sciam.com.br/uma-cantora-de-opera-pode-quebrar-uma-taca-com-a-voz/>. Acesso em 19 de maio de 2022

Site Brasil Escola. exercícios sobre interferência. Disponível em <https://exercicios.brasilescola.uol.com.br/exercicios-fisica/exercicios-sobre-interferencia-ondas.htm>. Acesso em 15 de maio de 2022

YANAMOTO, Kazuhito. Física para o ensino médio, vol. 2: Termologia, Óptica e Ondulatória \ Kazuhito Yanamoto, Luís Felipe Fuke. 4 ed. São Paulo: Saraiva. 2016