



série  
**conhecimento**

# A Física e os Sons que (Não) Estão à Nossa Volta

Volume 3

Danila Ribeiro Gomes  
Paulo Ricardo da Silva Simão  
Mayara Romagnha Brandenburg  
Lara Braga de Oliveira  
Ana Karine Vieira Costa

44

**cead**<sup>UFV</sup>



Campus Universitário, s/n. - Viçosa/MG.  
CEP: 36570-900 - Telefone: (31) 3612 1251  
e-mail: [serie.conhecimento@ufv.br](mailto:serie.conhecimento@ufv.br)

A **Série Conhecimento** é uma publicação seriada e on-line, editada pela Coordenadoria de Educação Aberta e a Distância, por tempo indeterminado e de forma independente, tratando de assuntos e temas variados, com o objetivo de constituir material de apoio a disciplinas do ensino médio, dos cursos técnicos, dos cursos de graduação e dos programas de pós-graduação lato sensu e stricto sensu, nas modalidades presencial e a distância, da Universidade Federal de Viçosa (UFV).

**Conselho Editorial:** Donizete Aparecido Batista; Eduardo França Castro; Esther Giacomini Silva; Francisco de Assis de Carvalho Pinto; João Paulo Viana Leite; Renata Cassia Campos; Vinicius Catão De Assis Souza

**Autores:** Danila Ribeiro Gomes, Paulo Ricardo da Silva Simão, Mayara Romagnha Brandenburg, Lara Braga de Oliveira e Ana Karine Vieira Costa

**Identidade Visual e diagramação:** Antônio dos Santos e Maianna Medeiros

**Coordenação Editorial:** Pedro Eni Lourenço Rodrigues

**Ilustração da Capa:** [GarryKillian on Freepik](#)

Ficha catalográfica elaborada pela Seção de Catalogação e Classificação da Biblioteca Central da Universidade Federal de Viçosa – Campus Viçosa

F537  
2025  
A Física e os sons que (não) estão à nossa volta [recurso eletrônico]: volume 3 / Danila Ribeiro Gomes ... [et al]. - Viçosa, MG: UFV, CEAD, 2024.  
1 livro eletrônico (72 p.): il. color. -- (Conhecimento; ISSN 2179-1732; n. 44)  
Disponível em: <https://serieconhecimento.cead.ufv.br>  
Inclui bibliografia.  
1. Física – Estudo e ensino. 2. Ondas sonoras. 3. Educação inclusiva. I. Gomes, Danila Ribeiro, 1981-. II. Simão, Paulo Ricardo da Silva, 1999-. III. Brandenburg, Mayara Romagnha, 1997-. IV. Oliveira, Lara Braga de, 1999-. V. Costa, Ana Karine Vieira, 2000-. VI. Universidade Federal de Viçosa. Coordenadoria de Ensino Aberto e à Distância.

CDD 22. ed. 530.071

Bibliotecário responsável: Euzébio Luiz Pinto CRB-6/3317

### Responsabilidade legal pelo conteúdo, direitos autorais e incentivo à reprodução

Todo o conteúdo dos textos submetidos e publicados na Série Conhecimento é de inteira responsabilidade de seus autores, não cabendo à Série responder por qualquer implicação legal.

Como todo o conteúdo publicado pela Revista é de acesso público e gratuito, tendo como finalidades o debate e a divulgação ampla do conhecimento, é permitida e incentivada sua reprodução com fins exclusivamente educacionais, culturais, científicos e não-comerciais, desde que citados seus autores com a referência bibliográfica completa da publicação na Série Conhecimento.



Este obra está licenciado com uma Licença  
[Creative Commons Atribuição Não Comercial Compartilha Igual 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/).

# Prefácio

O presente *e-book* é um dos produtos do projeto de pesquisa em ensino “Observatório Remoto Ciências, Linguagens e Diversidade: subsídios inclusivos para processos de ensino e aprendizagem contextualizados de Física e Matemática com uso de TDICs”, financiado pelo Programa de Apoio ao Ensino da Fundação Arthur Bernardes, sob o Edital de Seleção Nº 010/2020/PRE/UFV. Ele teve como alguns de seus objetivos: (i) oferecer subsídio para estudantes, ex-estudantes e público externo da UFV na forma de materiais didáticos digitais de Física, valorizando linguagens e culturas diversas mediante a articulação entre a linguagem científica, as diversas linguagens oriundas dos saberes populares, a linguagem da divulgação científica, e outras que incorporam culturas diversas e seu diálogo com as ciências; (ii) incentivar a inclusão digital, mediante participação dinâmica, individual e coletiva, do público-alvo na construção do conhecimento e da aprendizagem, de forma interdisciplinar e articulada com diferentes Tecnologias Digitais da Informação e Comunicação (TDICs); (iii) incentivar e promover, nas ações e nos produtos do projeto, a inserção e adequação de elementos de acesso por pessoas com deficiência, especialmente pessoas Surdas que se comunicam por meio de língua de sinais, envolvendo, inclusive, a posterior elaboração dos produtos em Libras.

O projeto nasce a partir de demandas de estudantes do curso de Licenciatura em Educação do Campo – Ciências da Natureza da Universidade Federal de Viçosa (Licena), sob uma perspectiva de trabalho colaborativo entre docente e estudantes, para uso no componente curricular “Ciências da Natureza – a Física e suas tecnologias para a Educação do Campo II”, em futuras consultas de docentes formados e em formação inicial, e em ações futuras de formação docente continuada. Ele começou a ser elaborado durante os Períodos Especiais Remotos (PER), oferecidos pela Universidade Federal de Viçosa (UFV) em 2020 e 2021 por ocasião da pandemia de covid-19.

A Licena atende uma expressiva gama de diversidade de sujeitos: pessoas que atuam em escolas do Campo e com educação popular, pessoas que trabalham no Campo, quilombolas, pessoas pertencentes a comunidades atingidas por rompimento de barragens, membros de organizações do Campo, povos classificados como indígenas, ribeirinhos, geraizeiros, assentados da Reforma Agrária, dentre outros.

O projeto concebeu o sistema educacional como um sistema social marcado pela complexidade de relações dinâmicas entre sujeitos diversos. Numa perspectiva investigativa que intentou minimizar perdas na complexidade desse sistema, entendemos que os sujeitos protagonistas não podem ser tomados separados da rede de relações da qual fazem parte (Vygotsky et al., 1988; Leontiev 1988; Engeström, 2002). Por isso, nos sujeitos que constituem o público-alvo da Licena é que foi inspirada a construção deste *e-book*. Sua concretização foi realizada com três representantes desses sujeitos e mais uma estudante dos cursos de Física da UFV, que fizeram parte da equipe autora.

As ações e os produtos do projeto foram voltados à contribuição de uma reparação histórica da desigualdade social que persiste em relação a estudantes no que tange à educação

científica. Com isso em mente, amparando-se na proposta freiriana de educação problematizadora (Freire, 1987), o projeto do *e-book* pretendeu, a partir de situações-problema e temas geradores identificados na experiência formativa na Licença em componentes curriculares de Física, oferecer a estudantes aporte para estudo da Física com orientação inclusiva, tendo como foco instrumental a mobilização das TDICs.

Para tanto, a estrutura do *e-book* foi construída por meio de quadros, distribuídos em 18 unidades. O primeiro é a “Situação-Problema”, que buscou contribuir para a reflexão crítica sobre uma situação-problema eleita para conduzir o tema da Ondulatória e Acústica: as implicações da ausência de audição em pessoas Surdas que vivem em uma sociedade majoritariamente ouvinte. Esse quadro é desdobrado em várias perguntas geradoras que problematizam aspectos de inclusão social ao longo do estudo dos tópicos de conteúdos de Física. Elas foram elaboradas para serem propostas no início das unidades, uma para cada unidade, e para suas respostas serem retomadas e ressignificadas no fim de cada unidade. Semelhantemente foram planejadas as perguntas do quadro “Como se *Justifísica*”, que se referem a fenômenos físicos relacionados ao funcionamento de um artefato muito presente nas culturas camponesas, o violão. Esses fenômenos são explicados pelas leis e pelos conceitos físicos estudados, as quais são retomadas em todas as unidades. Assim, o *e-book* foi desenvolvido de forma mediada por perguntas geradoras de dois tipos: (i) sobre fenômenos físicos cotidianos (do Campo e outros âmbitos) e como explicá-los pela Física; e (ii) sobre situações-problema de exclusão de pessoas Surdas na sociedade majoritariamente ouvinte e no âmbito da educação científica, e como promover sua inclusão nesses dois contextos.

Os quadros “Universos Diversos” e “Histórias e Trajetórias” apresentam os tópicos de conteúdo de Física focando sua relação, respectivamente, com fenômenos culturais e com experiências vividas por pessoas de diversas culturas e em diferentes épocas. O quadro “Experimentando” apresenta sugestões de experimentos de Física que relacionam os tópicos de conteúdo de Física em questão. Por fim, o quadro “Alerta Fake News” apresenta exemplos de fenômenos reais explicados pela Física de forma questionável. Assim, este *e-book* não pretendeu atender somente um conjunto específico de sujeitos, mas se propõe a, tanto quanto possível, primar pela representatividade, tendo buscado contemplar uma gama de diversidades culturais, buscando incorporar a inclusão de pessoas Surdas, enquanto temática problematizadora (sobre pessoas Surdas) e enquanto público-alvo (linguagem didática semiótica pensada para atender pessoas Surdas).

À medida que o *e-book* foi sendo construído, foi também constantemente reelaborado mediante ajustes e incorporações a partir de sugestões do grupo de estudantes do componente curricular. Essas sugestões foram constantemente discutidas em sessões de *brainstorming* com integrantes da equipe autora, guiadas por duas questões: quais seriam os conteúdos básicos de Física para pessoas camponesas?; que elementos de educação inclusiva sobre e para pessoas Surdas deveriam ser contemplados?

Quanto à primeira questão, a contínua retroalimentação ocasionou um significativo ajuste: o material didático, inicialmente planejado com um formato de apostilas para tópicos de conteúdo curricular, foi se tornando mais extenso. Foi então que passou a ter formato de *e-book* e contemplar uma tríade do ensino de Física: conceitos teóricos, experimentos e fórmulas matemáticas. À medida que o *e-book* foi sendo ampliado, retroalimentava continuamente as atividades desenvolvidas no componente curricular e, ao mesmo tempo, foi se concretizando como produto dessas atividades.

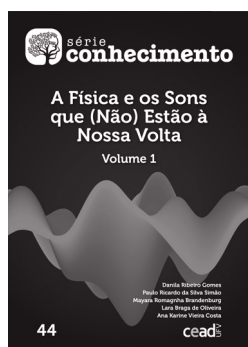
Quanto à segunda questão, ao longo do processo concordamos que o *e-book* deveria contemplar dois aspectos. O primeiro é a educação inclusiva sobre pessoas Surdas, com o fim de preparar docentes para ensinarem Ondulatória e Acústica para pessoas Surdas. O segundo é a educação inclusiva para pessoas Surdas, isto é, o material teria que ser compreendido por pessoas Surdas. Isso implica apresentação do material em Libras, que se pretende como foco em momento futuro, e também a elementos semióticos e de linguagem, em tanta consonância quanto possível com a Pedagogia Visual (Campello, 2008), que toma o signo visual como base dos processos de ensino-aprendizagem. Devido sua extensão, o material foi dividido em três volumes. O presente tomo, primeiro dos três, com seis unidades, apresenta o contexto e as questões da “Situação-Problema” e do quadro “Como se *Justifísica*”, e contempla um estudo do: conceito físico de onda; Movimento Harmônico Simples; sistema fonador humano; fenômeno da ressonância ondulatória; e Princípio de Huygens.

O volume 2, também em seis unidades, compreende estudos: da classificação e estrutura das ondas; da Equação Geral da Ondulatória; do fenômeno da refração ondulatória; e do sistema auditivo humano e das qualidades sonoras e suas implicações no fenômeno psicossocial da identidade e nas manifestações socioculturais artísticas. O volume 3, com sete unidades, abrange estudos dos fenômenos físicos: da difração ondulatória; da interferência ondulatória; do efeito Doppler-Fizeau; da reflexão ondulatória na forma de eco e reverberação, contemplando o fenômeno biológico e sociocultural da ecolocalização; do funcionamento dos instrumentos musicais artificiais de corda e de tubo. Por fim, o terceiro volume conclui a obra com derradeiras reflexões acerca da situação-problema apresentada no volume 1.

Finalmente, todos os volumes apresentam três recursos: o “Conceituário Ilustrado de Física”, que apresenta conceitos físicos historicamente elaborados, adotados e apresentados no volume em questão; um quadro-resumo para as “Unidades de Medida no Sistema Internacional de Unidades (S.I.)” de todas as grandezas físicas dimensionais apresentadas nos três volumes; e um quadro-resumo com um “Formulário” contendo todas as fórmulas físicas contempladas nos três volumes. Assim, entregamos este fruto de um árduo trabalho de colaboração entre docente e discentes, com votos de que, tal qual sementes de esperança, contribua para disseminação da educação científica como elemento mediador da inclusão na sociedade.

Danila Ribeiro Gomes

Este é o primeiro volume desta obra, para acessar os outros volumes, basta clicar sobre as capas abaixo.



# Equipe autora

Danila Ribeiro Gomes é graduada em Licenciatura em Matemática pelo Centro Universitário Adventista de São Paulo (UNASP) e em Licenciatura em Física pela Universidade de São Paulo (USP), especialista em Didática do Ensino Superior pela Universidade Paulista (Unip), e mestra em ciências na área de concentração Ensino de Física pela USP. Atualmente é professora da Universidade Federal de Viçosa (UFV), atuando no curso de Licenciatura em Educação do Campo – Ciências da Natureza, com disciplinas de Física, Matemática, Libras e Estágio Curricular Supervisionado. Atualmente é doutoranda do Programa Interunidades em Ensino de Ciências da USP e estagiária de pesquisa na Université Laval, Canadá.

Lara Braga de Oliveira é técnica em Controle Ambiental pelo Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais (Cefet-MG) e graduada em Bacharelado e Licenciatura em Física e mestra em Física pela UFV. Atualmente é doutoranda do Programa de Pós-Graduação em Física da Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

Mayara Romagnha Brandenburg é técnica em agropecuária pela Escola Família Agrícola (EFA) de Chapadinha e graduada em Licenciatura em Educação do Campo – Ciências da Natureza pela UFV.

Paulo Ricardo da Silva Simão é técnico em agropecuária pela EFA Margarida Alves e graduado em Licenciatura em Educação do Campo – Ciências da Natureza pela UFV.

Ana Karine Vieira Costa é técnica em agropecuária pela EFA Araçuaí e graduada em Licenciatura em Educação do Campo – Ciências da Natureza da UFV. Atualmente é mestranda do Programa Interunidades em Ensino de Ciências da USP.

# Agradecimento

Ao coletivo da Licena e demais pessoas que apoiaram esta iniciativa e contribuíram pacientemente com ela e com a ampliação das ações de educação inclusiva.

À Pró-Reitoria de Ensino da Universidade Federal de Viçosa e à Fundação Arthur Bernardes, que apoiou a realização do projeto de pesquisa em ensino “Observatório Remoto Ciências, Linguagens e Diversidade: subsídios inclusivos para processos de ensino e aprendizagem contextualizados de Física e Matemática com uso de TDICs” mediante subsídio correspondente ao edital de seleção Nº 010/2020/PRE/UFV para atuação no Programa de Apoio ao Ensino da Fundação Arthur Bernardes – FUNARBEN.

À Universidade de São Paulo, ao Grupo de Pesquisa em Educação em Ciências e Complexidade - ECCo, ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq e à Université Laval, que respaldaram o período de estágio de pesquisa durante o qual foi concluído o processo editorial desta obra.

# Sumário

Retomando...	7
<b>SITUAÇÃO-PROBLEMA</b>	7
<b>COMO SE JUSTIFÍCA:</b> Investigando o violão	8
<b>13. O fenômeno da difração</b>	<b>10</b>
<b>HISTÓRIAS E TRAJETÓRIAS:</b> Thomas Young	11
<b>14. O fenômeno da interferência</b>	<b>13</b>
<b>EXPERIENCIANDO:</b> Fones de ouvido	14
<b>UNIVERSOS DIVERSOS:</b> Som e subjetividade	19
<b>15. O fenômeno do efeito Doppler-Fizeau</b>	<b>21</b>
<b>EXPERIENCIANDO:</b> Flauta com êmbolo	21
<b>EXPERIENCIANDO:</b> Buzina sanfonada	22
<b>HISTÓRIAS E TRAJETÓRIAS:</b> Christian Doppler e Armand Fizeau	23
<b>COMO SE JUSTIFÍCA:</b> Matematizando o efeito Doppler-Fizeau	25
<b>16. O fenômeno da reflexão: eco e reverberação</b>	<b>28</b>
<b>HISTÓRIAS E TRAJETÓRIAS:</b> O “menino golfinho” ou “menino sonar” eo “extraordinário homem-morcego”	29
<b>UNIVERSOS DIVERSOS:</b> Ecolocalização e o mundo animal	31
<b>UNIVERSOS DIVERSOS:</b> Ecolocalização e acessibilidade	34
<b>COMO SE JUSTIFÍCA:</b> Matematizando o eco	35
<b>UNIVERSOS DIVERSOS:</b> Ondulatória e terremotos	39
<b>17. Cordas sonoras</b>	<b>42</b>
<b>COMO SE JUSTIFÍCA:</b> Matematizando as ondas em cordas sonoras I	43
<b>COMO SE JUSTIFÍCA:</b> Matematizando as ondas em cordas sonoras II	44
<b>COMO SE JUSTIFÍCA:</b> Matematizando as ondas em cordas sonoras III	45
<b>HISTÓRIAS E TRAJETÓRIAS:</b> Marin Mersenne e Brook Taylor	46
<b>18. Tubos sonoros</b>	<b>49</b>
<b>EXPERIENCIANDO:</b> Conduíte sonoro	49
<b>HISTÓRIAS E TRAJETÓRIAS:</b> Daniel Bernoulli	51
<b>COMO SE JUSTIFÍCA:</b> Matematizando as ondas em cordas sonoras I	52

**COMO SE JUSTIFÍCA:** Matematizando as ondas em cordas sonoras II .....53

**EXPERIENCIANDO:** Construindo uma flauta doce e uma flauta de pan.....55

**19. Derradeiras reflexões sobre a situação-problema ..... 56**

**UNIVERSOS DIVERSOS:** Som e educação de pessoas Surdas II .....56

**Conceituário ilustrado de Física .....59**

**Unidades de medida no Sistema Internacional de Unidades (SI) .....66**

**Formulário .....67**

**Referências .....69**

# Retomando...

Retomamos a seguir os quadros **SITUAÇÃO-PROBLEMA** e **COMO SE JUSTIFÍCA** – **Investigando o violão**, cujas questões são revisitadas ao longo dos três volumes, no fim de cada uma das unidades. No presente volume, vamos focar as questões 7 a 12.



## SITUAÇÃO-PROBLEMA

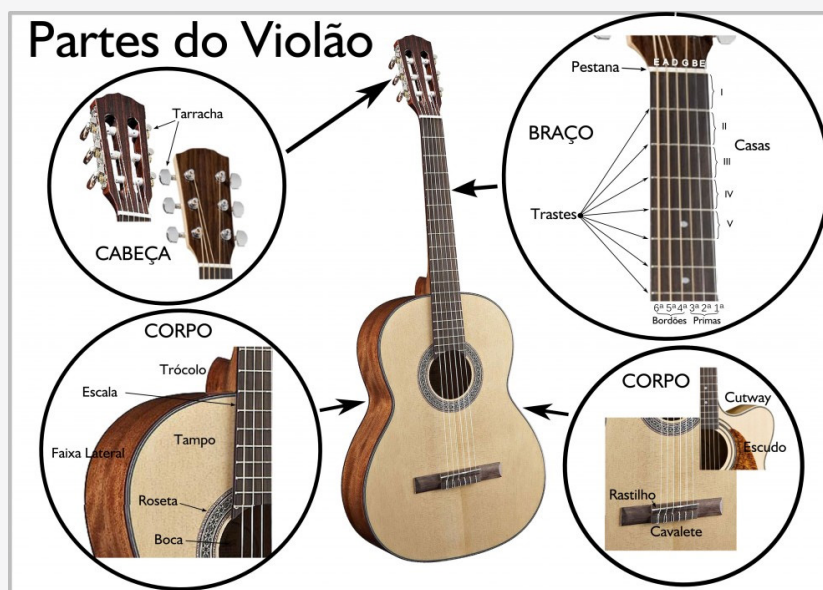
Os sons e as imagens estão presentes na vida em inúmeras situações corriqueiras que envolvem a sobrevivência e o bem viver. Por constituírem uma diversidade minoritária, e pela falta de informação a respeito de particularidades dessas pessoas em sua interação com o mundo, pessoas Surdas e pessoas cegas são negligenciadas em muitas dessas situações. Ao mesmo tempo, pessoas cegas não surdas manifestam maior acurácia auditiva que pessoas não cegas e não surdas. No âmbito dos processos de ensino-aprendizagem de Física voltados também a essas pessoas, o estudo das ondas e do som impõe desafios particulares.

Para contribuir com superações dessa situação-problema contínua vivenciada por essas pessoas, é preciso ampliar a consciência sobre o que a habilidade de ouvir representa na vida e na sobrevivência das pessoas cegas, Surdas não cegas e ouvintes não cegas. Trata-se da realização de uma tarefa de natureza essencialmente social. Para orientar sua execução, propomos as seguintes questões de reflexão para serem retomadas sob as perspectivas física, biológica e social ao longo deste volume:

1. O que a habilidade de ouvir representa na vida e sobrevivência das pessoas ouvintes não cegas, das pessoas ouvintes cegas e das pessoas Surdas não cegas?
2. Que memórias sensoriais pessoas Surdas não cegas e pessoas ouvintes cegas podem formar do conceito físico de onda?
3. Que memórias sensoriais pessoas Surdas não cegas e pessoas ouvintes cegas podem formar da caracterização física das ondas?
4. Na língua portuguesa, é comum as pessoas Surdas serem chamadas de surdas-mudas. Elas são realmente mudas?
5. Quais são as condições necessárias para que os sons “existam”?
6. Que memórias sensoriais pessoas Surdas não cegas e pessoas ouvintes cegas podem formar da base física para estudo das ondas?
7. A quais tipos de onda pessoas Surdas não cegas e pessoas ouvintes cegas não têm acesso sensorial?
8. A quais características das ondas sonoras pessoas Surdas não cegas não têm acesso?
9. Que memórias sensoriais pessoas Surdas não cegas e pessoas ouvintes cegas podem formar da velocidade das ondas sonoras?
10. Que memórias sensoriais pessoas Surdas não cegas e pessoas ouvintes cegas podem formar das ondas sonoras quando se propagam na água?
11. Quais características da condição física das pessoas Surdas as impedem de ouvir?

12. Que memórias sensoriais dos sons pessoas Surdas não cegas podem formar?
13. Como pessoas Surdas não cegas podem compreender que pessoas ouvintes ouvem através das paredes?
14. Que memórias sensoriais pessoas Surdas podem formar das interferências sonoras?
15. Várias práticas sociais envolvem emoção associada a sons. Um exemplo disso é a música e as corridas de Fórmula 1. Como pessoas Surdas podem entender esse tipo de experiência que não vivenciam auditivamente?
16. Como pessoas cegas com audição muito desenvolvida se relacionam com o som em processos de localização e locomoção?
17. Que memórias sensoriais pessoas Surdas não cegas podem formar da produção de som por instrumentos de corda?
18. Que memórias sensoriais pessoas Surdas não cegas podem formar da produção de som por instrumentos de sopro?
19. O que a habilidade de ouvir e a ausência dessa habilidade representam na vida e sobrevivência, respectivamente, das pessoas ouvintes e das pessoas Surdas? Que princípios gerais e iniciativas específicas podem ser adotadas para superar a situação-problema em torno dessa questão?

## ?? COMO SE JUSTIFICA: Investigando o violão



Fonte: <https://segredosdomundo.r7.com/como-aprender-tocar-violao>

A figura acima ilustra a estrutura e as partes de um violão. A partir dela e do manuseio de um violão, vamos discutir e elaborar hipóteses para responder as seguintes questões:

1. Como podemos descrever socialmente as funções de um violão pensando em pessoas ouvintes? E em pessoas Surdas?
2. Onde e como começa a produção de som no violão?
3. Como as cordas do violão se comportam ao serem vibradas?

4. Como pessoas Surdas não cegas podem comparar a produção de som que ocorre nas pregas vocais com aquela que ocorre no violão?
5. Por que a caixa do violão é oca?
6. Como as ondas se propagam no entorno das cordas do violão?
7. Por que a caixa acústica do violão tem formato em oito?
8. Desenhe ou descreva uma memória sensorial que represente a resposta à questão anterior.
9. O que acontece com as cordas do violão quando são vibradas?
10. Se o violão fosse tocado dentro d'água, haveria diferenças no som produzido? Se sim, quais?
11. O que é produzido no violão são ondas sonoras ou som?
12. Qual a diferença entre os sons produzidos pelas cordas mais grossas e mais finas do violão?
13. Por que uma pessoa ouvinte consegue ouvir os sons produzidos no violão em um ambiente mesmo estando em outro separado do primeiro por uma parede?
14. O que acontece com a percepção do som por uma pessoa ouvinte enquanto cordas idênticas de dois violões próximos são vibradas simultaneamente e enquanto a pessoa se desloca em relação a eles?
15. Imagine uma pessoa sentada tocando violão num parque enquanto duas outras pessoas ouvintes estão por perto: uma está sentada e a outra passa correndo. A pessoa ouvinte sentada e aquela que está correndo ouvem de forma diferente o som produzido no violão? Se sim, qual a diferença?
16. A experiência de tocar violão é melhor em sala pequena ou grande? Por quê?
17. Por que o violão têm cordas com espessuras diferentes e braço com trastes?
18. Quais as semelhanças e diferenças entre as ondas sonoras produzidas em um violão e uma flauta?
19. Selecione uma unidade desta obra para elaborar uma estratégia de ensino-aprendizagem inclusiva para pessoas Surdas. Que critérios devem ser observados no planejamento?

### Para justificar mais, sugerimos:

- ACORDES EM CORDAS. **Vibração das cordas de um violão.** [S. l.: s. n.], 2015. 1 vídeo (2 min). Disponível em: <https://youtu.be/5lCHZjnxgTs>. Acesso em: 22 out. 2023.
- MANUAL DO MUNDO. **Como enxergar o som (série de experiências em slow motion).** [S. l.: s. n.], 2013. 1 vídeo (4 min). Disponível em: <https://youtu.be/wD-F48ZTIHMA>. Acesso em: 22 out. 2023.
- MARCELO GUIMA. **Afinando o violão com o diapasão – Dica de ouro!** [S. l.: s. n.], 2017. 1 vídeo (6 min). Disponível em: <https://youtu.be/A-3n1JBueFY>. Acesso em: 22 out. 2023.
- ZACZÉSKI, Monichy; BECKERT, Carlos H.; BARROS, Thales G.; FERREIRA, Ana L.; FREITAS, Thiago C. Violão: aspectos acústicos, estruturais e históricos. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 40, nº 1, 2018. Disponível em: <https://www.scielo.br/pdf/rbef/v35n2/27.pdf>. Acesso em: 22 out. 2023.

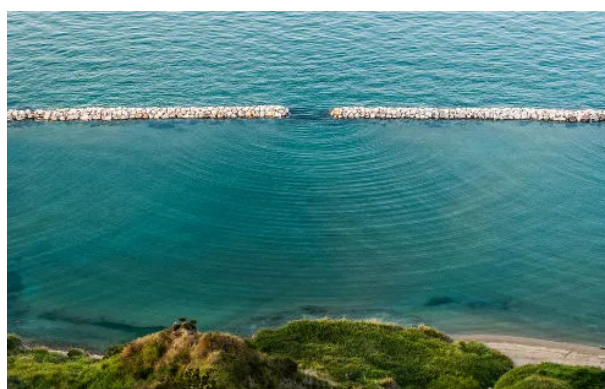
# O fenômeno da difração

A figura ao lado mostra um acessório para violão, conhecido como abafador, redutor de microfonia ou *anti-feedback*. Ele altera o som produzido, pois tampa a boca do violão, de modo que as ondas sonoras que se propagam dentro da caixa do violão não possam sair através da abertura. Semelhantemente, há inúmeras situações no mundo em que há barreiras que impedem a propagação de ondas ou aberturas que permitem sua continuação. Uma delas é o exemplo mostrado no registro fotográfico ao lado.



Fonte: <https://youtu.be/sqJe5dugjz0?t=48>.

A figura ao lado mostra ondas chegando à costa e, como em diversas outras situações, ultrapassando barreiras físicas. O fenômeno ondulatório de transposição de obstáculos pelas ondas é conhecido como **difração**<sup>1</sup>. Esses obstáculos podem ser representados por objetos, como navios, fendas e aberturas entre barreiras de corais.



Fonte: <https://www.preparaenem.com/fisica/difracao.htm#>

Sobre a colisão cuja notícia foi apresentada no início do volume 1, imaginemos hipoteticamente que algumas pessoas ouvintes que ouviram o som da batida se encontravam em uma posição tal que o edifício do Centro de Distribuição Domiciliar dos Correios Manhuaçu se encontrava entre essas pessoas e o trevo onde ocorreu a colisão. Assim, apesar de estar no caminho percorrido pelas ondas sonoras, o edifício não impede sua propagação. Isso se deve à capacidade das ondas de realizarem o fenômeno da difração.

Vamos conferir o fenômeno nos experimentos registrados no vídeo a seguir.



"Tema 12 – Interferências | Experimentos – Cuba de ondas: interferência de ondas", de "Física Universitária", disponível em: <https://youtu.be/AG5HYoHojgc>

Vamos conferir o fenômeno nos experimentos registrados no vídeo a seguir.



"Tema 13 - Fenômenos Associados a Propagação Ondulatória | Experimentos - Cuba de ondas: Difração", de "Física Universitária", disponível em: <https://youtu.be/AjHMKqKTJJY>.

O GIF a seguir apresenta outra representação visual da difração.

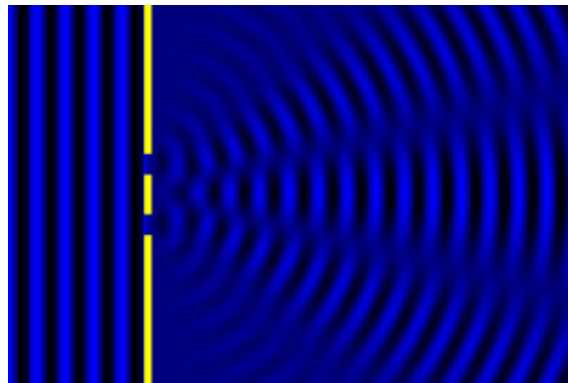


"Doubleslit", de "Wikipédia: a enciclopédia livre", disponível em: <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Doubleslit.gif>.

1. Os termos em negrito e cor rosa se referem a conceitos físicos adotados que você pode consultar no Conceituário Ilustrado de Física, no fim do volume.

A animação mostra uma representação de ondas transversais vistas de cima, de modo que as frentes de onda aparecem verticais, nas cores azul e preta; as regiões azuis representam cristas e as regiões pretas, os vales. As ondas se propagam para a direita, traspassando uma barreira amarela em que há duas fendas. Ao atravessarem a barreira, as frentes de onda se tornam circulares e formam um padrão de interferência.

A figura ao lado registra um instante da animação. De acordo com o Princípio de Huygens, podemos entender que cada ponto da fenda se comporta como uma fonte de ondas, de modo que as ondas que chegam à fenda dão origem a outras ondas. Estas saem do outro lado da fenda com uma aparente flexão, num formato circular, ocasionando um espalhamento das ondas. Como registrado no vídeo, dependendo do tamanho da fenda, algumas ondas podem ser melhor difratadas.



Fonte: <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=17003343>

O fenômeno é perceptível visualmente quando o comprimento de onda é maior que o tamanho do obstáculo. Em outras palavras, quanto menor é a fenda em relação ao comprimento de onda, maior é o efeito da difração. Para as ondas sonoras, isso significa que as ondas sonoras associadas aos sons agudos se difratam menos que aquelas associadas aos sons graves.



## HISTÓRIAS E TRAJETÓRIAS: Thomas Young

**Thomas Young** (Milverton, 1773 - Londres, 1829) foi um físico, médico, egiptólogo e professor de filosofia natural britânico. Em 1801, ele demonstrou a interferência construtiva e destrutiva da luz com a chamada experiência da fenda dupla. Para explicar o ocorrido, era necessário considerar a natureza ondulatória da luz, uma vez que somente ondas podem interferir ou difratar.

Além disso, de acordo com Young, a natureza ondulatória também explicava outros fenômenos. Ele estudou diversas áreas de maneira autodidata, o que se refletiu em suas pesquisas sobre luz e cores entre 1800 e 1807.

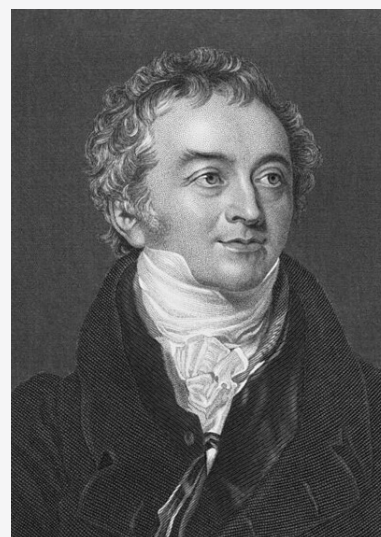
Em um de seus trabalhos, ele fez referência a teóricos como Huygens (1629-1695) e Euler (1707-1783), que defendiam uma abordagem vibracional da natureza da luz.

Vamos conhecer um pouco mais sobre a trajetória de Young com o vídeo a seguir.



“**Phenomenon: the life of Thomas Young**”, de “**Adam Alonzi**”, disponível em: <https://youtu.be/CY8zxloQhh8>.

No contexto em que Young desenvolvia suas pesquisas, tinha grande predominância e influência a teoria corpuscular da luz, defendida implicitamente por Newton no



Fonte: [https://pt.m.wikipedia.org/wiki/Ficheiro:Thomas\\_Young\\_\(scientist\).jpg](https://pt.m.wikipedia.org/wiki/Ficheiro:Thomas_Young_(scientist).jpg)

século XVIII. Por mais que ela fosse criticada por alguns e apresentasse certos problemas conceituais, ainda era aceita pela maioria dos estudiosos da época. Dessa forma, Young também é lembrado por retomar a teoria ondulatória da luz no início do século XIX, junto com Augustin Fresnel (1788-1827).

### Para conhecer mais essa trajetória, sugerimos:

- MOURA, Breno Arsioli; BOSS, Sergio Luiz Bragatto. Thomas Young e o resgate da teoria ondulatória da luz: uma tradução comentada de sua teoria sobre luz e cores. **Revista Brasileira de Ensino de Física**. São Paulo, v. 37, nº 4, p. 4203-1-4203-24, dezembro de 2015. Disponível em: [http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1806-11172015000400203&lng=en&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1806-11172015000400203&lng=en&nrm=iso). Acesso em: 22 out. 2023.

No início desta unidade foi apresentada uma foto do mar, um ambiente natural que provoca muitas sensações, processadas pelo cérebro a partir da captação por nossos receptores corporais, os sentidos. Pessoas não cegas podem contemplar a beleza das cores da água, das ondas que arrebentam, da espuma formada na areia. Pessoas ouvintes podem experimentar o som característico das ondas chegando à costa. Pessoas Surdas e pessoas cegas podem desfrutar das sensações táteis de partes do corpo afundando na areia molhada e da brisa do mar, das sensações olfativas da praia e das sensações gustativas provocadas pela água salgada do mar. Assim, as ondas do mar são um belíssimo fenômeno da natureza que podem provocar muitas sensações agradáveis a todas as pessoas, como aquela da foto, em que as ondas “quebram” em uma barreira com fendas.

Aquela barreira, assim como qualquer objeto, representa obstáculos à propagação de ondas mecânicas, permitindo o fenômeno da reflexão. Porém, a infinidade de objetos presentes nos mais diversos ambientes onde as ondas sonoras se propagam têm formatos variados, cujas delimitações atuam como fendas transponíveis pelas ondas.

Após ultrapassar um obstáculo, as ondas sofrem difração, admitindo novas direções de propagação e, logo, espalhando-se. Esse espalhamento permite que as ondas sonoras se propaguem em espaços além da barreira em questão. É interessante observar que o fenômeno da difração ocorre também dentro do violão, já que as ondas sonoras dentro da caixa acústica precisam contornar o formato em oito, assim como as margens da boca circular da caixa.

Quanto às pessoas Surdas não cegas, representações visuais do fenômeno da difração são importantes instrumentos mediadores para formação de memórias visuais de ondas sonoras alcançando as orelhas das pessoas ouvintes e permitindo a audição através das paredes.

Com isso em mente, retome a questão 13 do quadro **COMO SE JUSTIFÍCA – Investigando o violão** e do quadro **SITUAÇÃO-PROBLEMA**. Como você alteraria suas respostas com base no conceito físico de difração estudado nesta unidade?

# O fenômeno da interferência



Fonte: <https://www.pexels.com/pt-br/foto/barba-preto-e-branco-p-b-idosos-5939383/>

A fotografia acima mostra um artista se apresentando na rua, tocando um violão elétrico ligado a uma caixa de som, dispositivo que funciona com alto-falantes. Vamos assistir aos vídeos a seguir, que retratam um fenômeno social envolvendo o uso desses dispositivos.



**"Musica original da carreta treme treme - com grave"**, de **"Mega batidão"**, disponível em: <https://youtu.be/vwANSPXOb7k>;



**"Carreta treme treme o maior som automotivo do mundo"**, de **"Carreta Treme Treme"**, disponível em: <https://youtu.be/led0cPawrbC>;



**"Top 10 sustos da carreta treme treme"**, de **"Vem de mala aberta"**, disponível em: <https://youtu.be/D6OTdz7oPD8>.

No primeiro vídeo, pessoas Surdas não cegas podem acessar as variações de ritmo e intensidade do som, por meio das imagens pulsantes que acompanham o "batidão". No segundo e terceiro vídeo, efeitos táteis são sentidos a partir da intensidade sonora da "carreta treme-treme", cujo conjunto de caixas de som emitem poderosas ondas sonoras. Expectadoras dos shows da carreta aparecem tapando os ouvidos, afastando-se da carreta e encolhendo-se como que para se proteger da alta **pressão** das ondas sonoras. Essa pressão é responsável pela formação de imagens distorcidas, por balançar os cabelos e as roupas das pessoas, levantar pó do chão e agitar folhagens.

O apelo que a carreta treme-treme exerce sobre as pessoas é um fenômeno social possível graças ao fenômeno físico em questão. Este ocorre graças ao conjunto de alto-falantes, que atuam como amplificadores das ondas sonoras. Outro exemplo de amplificadores são os megafones. O vídeo a seguir mostra a utilidade cotidiana de megafones para ambulantes.



**"Megafone: a nova arma dos ambulantes"**, de **"Diario de Pernambuco"**, disponível em: <https://youtu.be/DwFXTj2NGK0>.

Ainda a respeito dos megafones, vamos verificar como a vida imita a arte, assistindo aos vídeos a seguir.



“The Simpsons - Bart’s megaphone testing”, de “S B”, disponível em: <https://youtu.be/oCyXsHC-IQ4>;



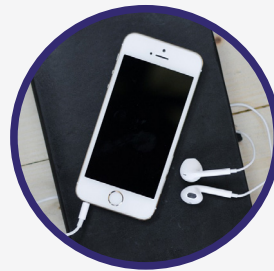
“Breaking glass using only megaphones”, de “MrBeast”, disponível em: <https://youtu.be/XKFKPQHdWRI>.

Há grande intensidade sonora associada às ondas sonoras emitidas pelo conjunto de caixas de som da carreta treme-treme e pelo conjunto de megafones montados nos dois vídeos anteriores, assim como ao estrondo da colisão cuja notícia foi apresentada no início do volume 1. Essa intensidade, percebido auditivamente por pessoas ouvintes como alto volume, é decorrente do funcionamento de amplificadores de som. O que são eles? Para começar a responder, vamos realizar o experimento do quadro a seguir.



### EXPERIENCIANDO: Fones de ouvido

#### Materiais:



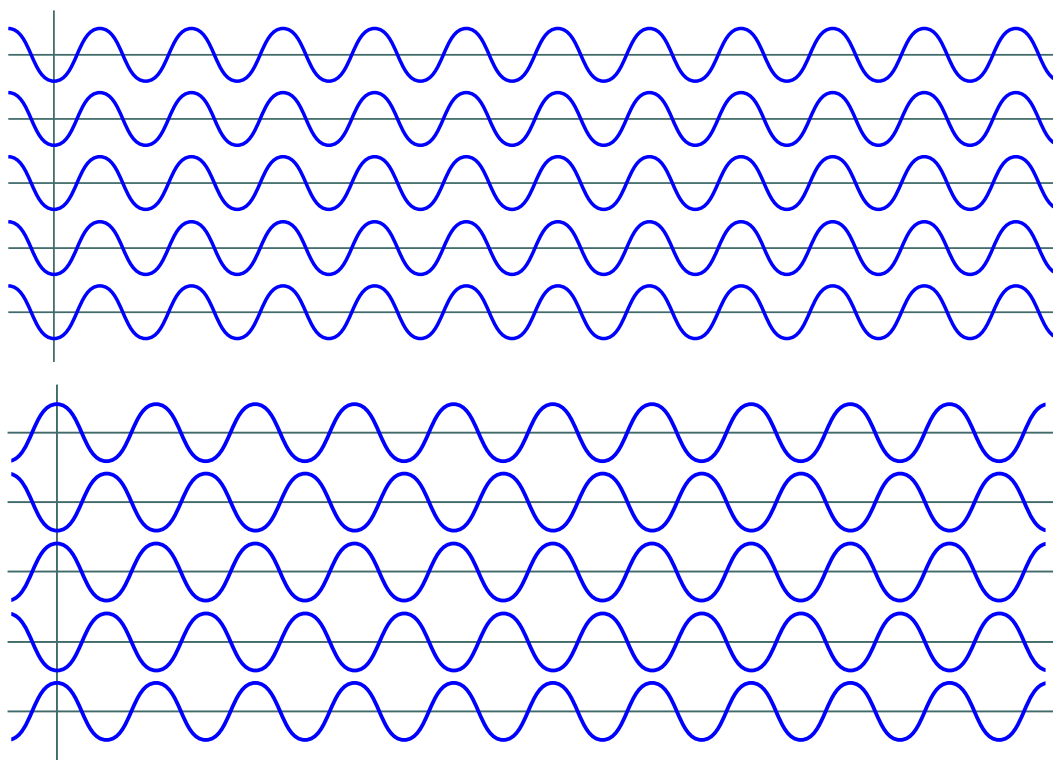
Fontes: Tyler Lastovich no Pexels; Internet; Stokpic no Pixabay

#### Procedimentos:

1. Baixe em um celular um aplicativo para medição de sonoridade e acesse-o.
2. Posicione as duas caixas de som do computador uma ao lado da outra;
3. Acesse um arquivo de áudio no computador, em um volume alto;
4. Verifique a medição de sonoridade feita pelo aplicativo e, se você é ouvinte, também observe auditivamente.
5. Afaste uma das caixas e repita o procedimento 4.

Quais foram os resultados? Que hipóteses você pode elaborar para explicar o fenômeno ocorrido?

Em espaços onde se propagam simultaneamente ondas oriundas de diferentes fontes, mas com velocidades, comprimentos de onda e frequência iguais, ocorre a **interferência ondulatória**, fenômeno de sobreposição de duas ou mais ondas simultâneas. Para nos apropriarmos desse fenômeno, é preciso entender o que é **fase**, um conceito físico que diz respeito à comparação entre as posições de pontos de duas ou mais ondas. Vamos entender esse conceito, retomando a representação do movimento oscilatório das ondas que se faz com senoides, conforme as figuras a seguir.



Na primeira figura, há um conjunto de três senoides desenhadas na cor azul, dispostas paralelamente entre si e de tal modo que as cristas de uma estão alinhadas verticalmente com as cristas das outras. Da mesma forma, os vales de uma estão emparelhados com os vales das outras. Essa figura ilustra ondas **em fase** ou **em concordância de fase**, isto é, ondas cujas cristas entre si e cujos vales entre si coincidem dentro de um referencial.

Do contrário, se duas ou mais ondas não apresentam essa coincidência de posição do pulso, é dito que estão **fora de fase**. É o caso ilustrado na segunda figura. Nela, há um conjunto de três senoides desenhadas na cor azul, dispostas paralelamente entre si e de tal modo que nem suas cristas entre si nem seus vales entre si estão alinhados verticalmente. Essa diferença tem uma especificidade: a crista de uma coincide com o vale da outra; nesse caso, representam ondas que estão **em oposição de fase**.

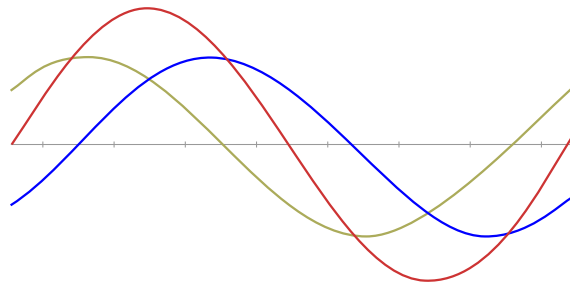
Vamos acessar o vídeo a seguir, em que é representado visualmente o fenômeno da interferência com ondas transversais.



“Interferência de ondas”, de “GIFs de Física”, disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=hfi0snlYVi4>.

No vídeo, sobre uma linha horizontal, que representa um eixo de equilíbrio, aparecem três ondas transversais, uma de cor azul, uma de cor verde e uma de cor vermelha. As ondas de cor azul e de cor verde têm a mesma amplitude, que é constante, enquanto a de cor vermelha tem amplitude variável. As três ondas têm o mesmo comprimento de onda, a mesma frequência e o mesmo módulo de velocidade de propagação. As cristas e os vales da onda de cor vermelha estão sempre alinhados verticalmente com os pontos de cruzamento entre as ondas de cor azul e a onda de cor verde. As ondas de cor azul e de cor verde alternam o sentido de propagação; enquanto a onda de cor azul se propaga para a direita, a de cor verde se propaga para a esquerda, e vice-versa. A onda de cor vermelha é uma **onda estacionária**, isto é, sua velocidade de propagação é nula.

As três figuras a seguir registram instantes da animação.



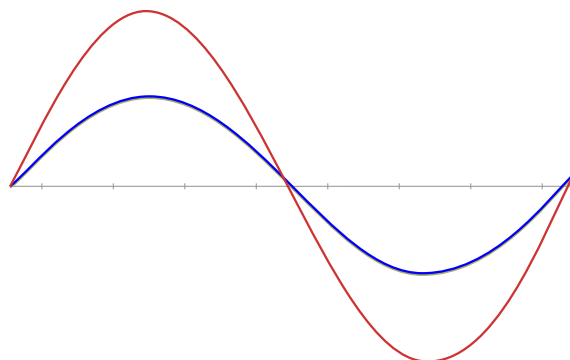
Fonte: Adaptado de GIFs de Física (2018), disponível em: <https://youtu.be/hfi0snlYVi4?t=11>

A primeira figura indica que a amplitude da onda de cor vermelha é resultado da soma das elongações das outras duas ondas. Nos pontos onde a **elongação** da onda de cor azul e a elongação da onda de cor verde estão do mesmo lado do eixo de equilíbrio, ocorre **interferência construtiva**. Nos pontos onde as elongações não estão do mesmo lado, ocorre **interferência destrutiva**.

No fenômeno de interferência construtiva, os efeitos individuais das ondas se somam, isto é, uma *ajuda* a outra, num padrão de reforço. A onda resultante é uma onda com mesmo comprimento de onda e mesma frequência das ondas originais, mas com amplitude maior. No caso de ondas sonoras, isso significa que, se duas fontes sonoras estiverem tocando a mesma música de forma sincronizada, pessoas ouvintes perceberão o som com volume mais alto. É o que acontece com os amplificadores do caminhão treme-treme e com os megafones.

No fenômeno de interferência destrutiva, os efeitos individuais das ondas são reduzidos, isto é, uma *acaba atrapalhando* a outra. Trata-se de um padrão de aniquilamento. Dessa forma, a onda resultante é uma onda com mesmo comprimento de onda e mesma frequência das ondas originais, mas com amplitude menor que a amplitude da onda de maior amplitude.

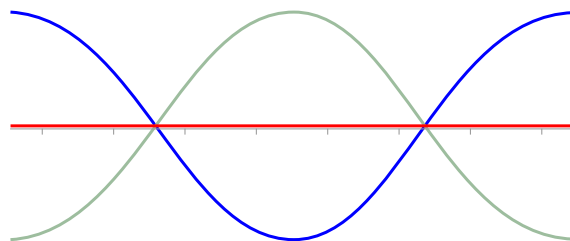
A segunda figura, a seguir, registra outro instante da animação.



Fonte: Adaptado de GIFs de Física (2018), disponível em: <https://youtu.be/hfi0snlYVi4?t=12>

Na figura, a onda de cor azul está sobreposta à onda de cor verde de tal modo que suas cristas coincidem no mesmo ponto, por isso a onda verde não aparece na figura. As três ondas estão em fase. No instante em que isso ocorre, a onda vermelha tem amplitude máxima, igual à soma das amplitudes das outras duas ondas. Trata-se de uma **interferência totalmente construtiva**.

Por fim, vamos à terceira figura, a seguir.



Fonte: Adaptado de GIFs de Física (2018), disponível em: <https://youtu.be/hf0snlYVi4?t=14>

Na figura, a onda de cor azul e a onda de cor verde estão em oposição de fase. A onda de cor vermelha aparece como uma reta sobre o eixo de equilíbrio, isto é, sua amplitude é nula. Trata-se de uma **interferência totalmente destrutiva**.

Retome as hipóteses elaboradas no quadro **EXPERIENCIANDO** anterior. O que você pode dizer delas após este estudo?

Existem situações em que ocorrem simultaneamente interferências construtivas e interferências destrutivas. Esse fenômeno é registrado visualmente, por exemplo, no **padrão de interferência** que se forma quando pingos de chuva caem sobre a superfície de um lago formando várias ondas simultâneas.

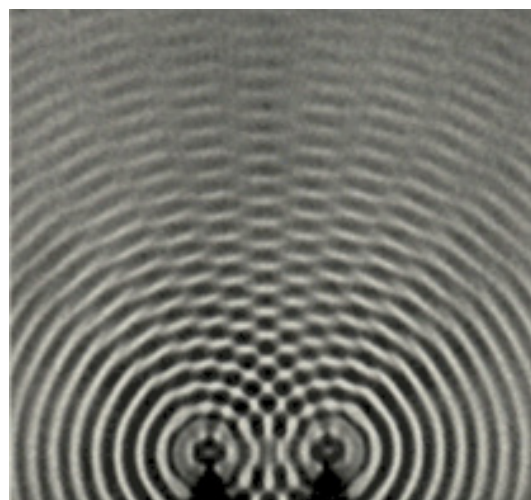
Vamos conferir esse fenômeno em um experimento registrado a partir do instante 1:47 do vídeo a seguir.



**“Tema 12 – Interferências | Experimentos – Cuba de ondas: interferência de ondas”,** de **“Física Universitária”,** disponível em: <https://youtu.be/AG5HYoHojgc&t=107s>.

A figura a seguir também registra o fenômeno ocorrido no último experimento do vídeo.

Nela, ondas circulares oriundas de duas fontes pontuais se propagam simultaneamente, de modo que se forma um padrão de interferência. Nesse padrão, há pontos onde as cristas (regiões de cor branca) e os vales (regiões de cor preta) das ondas oriundas de uma fonte se sobrepõem, respectivamente, às cristas e aos vales das ondas oriundas da outra fonte. Nesses pontos ocorre interferência totalmente construtiva. Nos pontos onde as cristas das ondas oriundas de uma fonte se sobrepõem aos vales das ondas oriundas da outra fonte (regiões de cor cinza) ocorre interferência totalmente destrutiva. Esses pontos se alinham de modo a produzir um efeito visual de *raios*.



Fonte: <https://educacao.uol.com.br/disciplinas/fisica/ondas-a-interferencia-ondulatória.htm>

E quanto às ondas sonoras? Como será o efeito sonoro de um padrão de interferência? O vídeo a seguir registra o fenômeno.

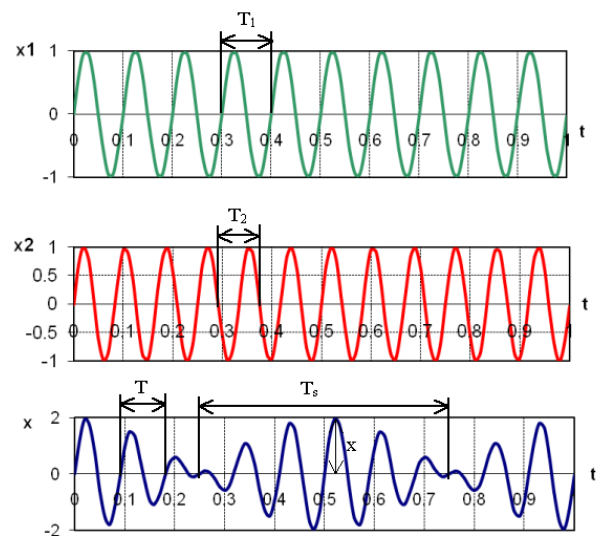


“Tema 06 – Superposição de Oscilações | Experimentos – Ressonância e batimento em diapasões” de “Física Universitária”, disponível em: [https://www.youtube.com/watch?v=bmh7NseTF\\_w](https://www.youtube.com/watch?v=bmh7NseTF_w).

No vídeo, é utilizado um **diapasão**, instrumento usado para afinar instrumentos, constituído de duas hastes que, vibradas, emitem um som com frequência de 440 Hz, a nota musical lá. O padrão de interferência ocorrido em dos experimentos causa o efeito sonoro conhecido como **batimento**. Trata-se do resultado de interferência ora construtiva ora destrutiva de duas ondas sonoras com frequências diferentes, mas muito próximas. Nesse fenômeno ocorrem variações na intensidade sonora da onda resultante, de modo que o volume do som percebido por pessoas ouvintes aumenta e diminui alternadamente. Os batimentos são percebidos auditivamente pelas pessoas ouvintes quando têm frequência menor que 15 Hz; acima disso, elas não são capazes de distingui-los.

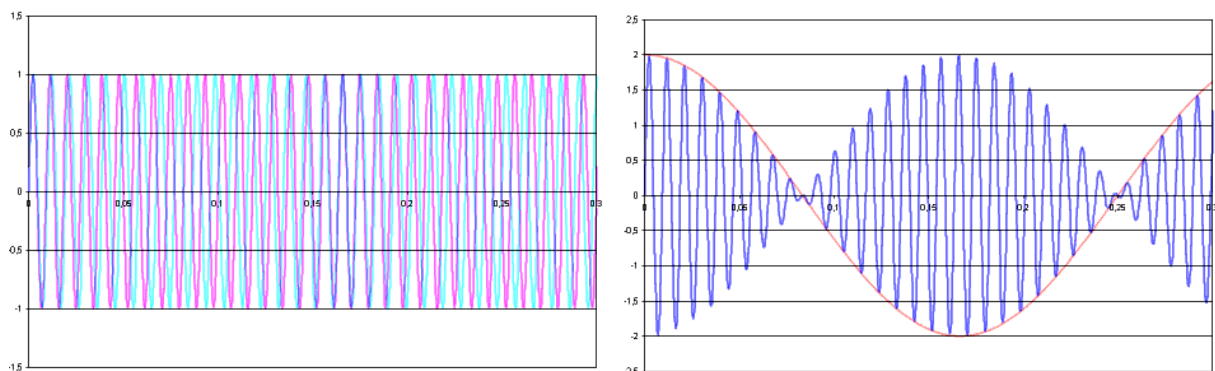
A figura ao lado ilustra graficamente o fenômeno do batimento.

Na figura, aparecem três senoídes, que representam três ondas,  $x_1$ ,  $x_2$  e  $x$ . Essas ondas têm períodos respectivamente iguais a  $T_1$ ,  $T_2$  e  $T$ . As duas primeiras senoídes representam ondas com frequência e comprimento de onda muito próximos. A terceira representa o batimento resultante da sobreposição das anteriores, em que há variação de elongação. Em um instante um pouco maior que 0,5 s, ocorre interferência totalmente construtiva entre as ondas  $x_1$  e  $x_2$ ; neste ponto, a onda  $x$  apresenta um pico de amplitude.



Fonte: <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=5461785>

A figura a seguir ilustra outra senoíde que representa um batimento causado pela interferência de duas ondas sonoras, uma de 110 Hz (nota lá) e outra de 104 Hz (nota sol #).



Fonte: <https://pt.wikipedia.org/wiki/Batimentos#>

Uma gravação em áudio desse batimento foi registrada no arquivo a seguir.



“Batimento”, de “Wikipédia: a enciclopédia livre”, disponível em: <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?title=File%3ABatimiento.ogg>.

O fenômeno do batimento é utilizado por profissionais da música para afinar instrumentos musicais da seguinte forma: tocam um diapasão; tocam o instrumento simultaneamente à emissão de som pelo diapasão; prestam atenção no som; tentam afinar o instrumento e continuam tentando até pararem de ouvir batimentos. Quando o batimento se torna imperceptível, sabe-se que a frequência tocada pelo instrumento é muito próxima ao do diapasão, então considera-se que o instrumento já está afinado.

Se quiser aprofundar mais o tema, assista aos vídeos a seguir, em que foi registrada a realização de experimentos de interferência com formação das curiosas “curvas de Lissajous” ou “curvas de Bowditch”.



“Tema 06 – Superposição de Oscilações | Experimentos – Superposição de oscilações”, de “Física Universitária”, disponível em: <https://youtu.be/r-kCHtiCCxw>.

Geralmente quando viajam para grandes espaços urbanos, por exemplo, pessoas ouvintes que moram em regiões campestres sentem cansaço e dores de cabeça. Esses ambientes altamente urbanizados e com grande fluxo de veículos automotores são permeados por grande quantidade de ondas sonoras com grande amplitude e, logo, grande sonoridade, oriunda de diferentes fontes.

Quando pessoas ouvintes estão em uma rua onde passam carros de som com volume alto, veículos buzinando e motocicletas acelerando, por exemplo, as ondas sonoras por eles produzidas geram estímulos resultantes de interferências. Esses estímulos podem ser interpretados como agressivos e desagradáveis, fenômeno sonoro que conhecemos como ruído ou barulho. Quando isso acontece, geralmente essas pessoas não conseguem focar em apenas uma das fontes sonoras. Trata-se de uma reação fisiológica a um preocupante problema ambiental, a **poluição sonora**. Nesse contexto, os sons são percebidos como desarmônicos, pois são fruto de uma confluência de ondas sonoras sem regularidade de frequência e comprimento de onda, diferentemente dos sons musicais, que combinam melodia, harmonia e ritmo. Estes são geralmente interpretados como harmônicos e agradáveis, pois apresentam padrões que envolvem as qualidades sonoras. Do conjunto de altura, intensidade e timbre, pessoas ouvintes formam percepções subjetivas de diferentes sons. O estrondo da colisão cuja notícia foi apresentada no início do volume 1 pode, a princípio, ser considerado desagradável pelas pessoas ouvintes, mas isso não é regra!



## UNIVERSOS DIVERSOS: Som e subjetividade

O filósofo irlandês George Berkeley (1685-1753) propôs um experimento mental em sua obra intitulada “Tratado sobre os princípios do conhecimento humano”. Nela, ele enunciou que os objetos do sentido só existem quando são percebidos. Em outras palavras, pare ele, ser é ser percebido. Essa ideia inspirou a seguinte pergunta filosófica: “Se uma árvore cair na floresta e não houver ninguém para ouvir, a queda faz barulho?”



Fonte: <https://pixabay.com/pt/photos/clima-de-ilumina%C3%A7%C3%A3o-tons-de-cor-2579741/>.

O professor de filosofia Mateus Salvadori explica a proposta de Berkeley no vídeo a seguir.



“Se uma árvore cai numa floresta e não há ninguém por perto para ouvi-la, será que ela faz algum som?”, de “Mateus Salvadori”, disponível em: <https://youtu.be/UN5Hbn33ibk>.

Podemos ampliar essa discussão para dois âmbitos, a Física e a Inclusão de pessoas Surdas. No que tange à Acústica, a questão envolve o conceito de som; no âmbito da Inclusão, é preciso pensar a relação entre a existência do som e a presença do sentido por meio do qual ele é interpretado, a audição. Com isso em mente, imaginemos uma criança Surda sentada em um trilho de trem e discutamos as seguintes questões:

1. A criança Surda tem condições de saber que um trem se aproxima apesar de não ouvir seu som?
2. E quanto à subjetividade na percepção dos sons, como relacioná-la ao fenômeno físico? Em outras palavras, e se todas as coisas do mundo e do Universo fossem surdas, existiria som produzido pelo trem?
3. Retomando o título do volume “A Física e os sons que (não) estão à nossa volta”, podemos afirmar que os sons estão à volta das pessoas ouvintes? E das pessoas Surdas?

### Para viajar mais nesse universo, sugerimos:

- CICHON, Ana Claudia. 10 sentidos humanos pouco conhecidos (mas importantes). **Hypescience**, 25 de maio de 2013. Disponível em: <https://bit.ly/3006CQJ>. Acesso em: 22 out. 2023.
- MOREIRA, Luciano. Sexto sentido. **Portal Otorrino**, 4 de abril de 2015. Disponível em: <https://portalotorrino.com.br/sexta-sentido/>. Acesso em: 22 out. 2023.
- PORTO, Marlon. Psicoacústica – Como a percepção influencia a produção musical. **Música & Mercado**. Disponível em: <https://bit.ly/3BdnHRc>. Acesso em: 22 out. 2023.

O fenômeno da interferência envolve alteração de amplitude das ondas interferentes. No caso das ondas sonoras, isso implica em alteração na intensidade do som ouvido por pessoas ouvintes, isto é, no volume do som. Mas esse conceito físico é acessível a pessoas Surdas, como foi discutido no volume 2.

Convém enfatizar a associação entre sons com alta intensidade sonora e suas ondas sonoras, que possuem altas amplitudes, como nas interferências construtivas. Em síntese, quanto maior a potência transportada pelas ondas sonoras, maior a pressão que causa nas superfícies – que pode ser percebida pelo tato –, maior sua amplitude e maior o volume do som percebido por pessoas ouvintes.

No fenômeno do batimento, por exemplo, as pessoas Surdas não têm a sensação auditiva do volume que aumenta e diminui intermitentemente. No entanto, elas podem associar o conceito físico de volume sonoro aos conceitos físicos de intensidade sonora e amplitude da onda.

Agora retome a questão 14 do quadro **COMO SE JUSTIFICA – Investigando o violão** e do quadro **SITUAÇÃO-PROBLEMA**. Como você alteraria suas respostas com base no conceito físico de interferência sonora?

# O fenômeno do efeito Doppler-Fizeau

A figura ao lado é uma foto de duas pessoas em cima de uma van, com uma delas tocando um violão. Imaginemos que a van comece a se deslocar e que a pessoa que tirou a foto é ouvinte. O que aconteceria com o som percebido por ela?

Para discutir esse fenômeno, vamos assistir à gravação de um show realizado pelo instrumentista fluminense Raul de Souza, considerado o melhor trombonista do mundo.



Fonte: <https://www.pexels.com/pt-br/foto/carro-veiculo-automovel-floresta-4572046/>



"[Raul de Souza – 80 anos] - Bananeira", de "AB Musical", disponível em: <https://youtu.be/frXBgSVTTU4>.

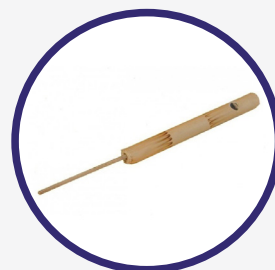
Que relação pode haver entre o funcionamento de um trombone e a colisão cuja notícia foi apresentada no início do volume 1? Na situação hipotética proposta, minutos depois da colisão, pessoas ouvintes passaram a ouvir o som característico do caminhão do Corpo de Bombeiros que estava chegando para prestar socorro. Conforme o caminhão se deslocava, o som da sirene ficava com uma característica cada vez mais marcante. Vamos estudar a relação entre essa característica e os sons produzidos com um trombone de vara, como aquele utilizado por Raul de Souza.

Para discutir o tema, vamos realizar alguns experimentos.



## EXPERIENCIANDO: Flauta com êmbolo

### Materiais:



Fontes: Tyler Lastovich no Pexels; Internet

### Procedimentos:

1. Baixe em um celular um aplicativo para medição de frequência sonora e acesse-o.
2. Coloque o bocal da flauta na boca.

3. Sopre no bocal, ora comprimindo, ora descomprimindo o êmbolo e verifique a medição de frequência feita pelo aplicativo e, se você é ouvinte, também observe auditivamente.

Quais foram os resultados? Que hipóteses você pode elaborar que expliquem o fenômeno?

Se você não tem a flauta de êmbolo como a da foto, saiba como fazer uma no vídeo a seguir.



“Como fazer uma flauta de êmbolo. Muito fácil!”, de “Musicalizando pais e filhos!!!”, disponível em: <https://youtu.be/yauUeqLktRQ>.



### EXPERIENCIANDO: Buzina sanfonada

#### Materiais:



Fontes: Tyler Lastovich no Pexels; Internet

#### Procedimentos:

1. Baixe em um celular um aplicativo para medição de frequência sonora e acesse-o.
2. Ora comprima a sanfona da buzina ora descomprima e verifique a medição de frequência feita pelo aplicativo e, se você é ouvinte, também observe auditivamente.

Quais foram os resultados? Que hipóteses você pode elaborar que expliquem o fenômeno? Há semelhança dessas hipóteses com aquelas elaboradas no quadro **EXPERIENCIANDO** anterior?

Se você não tem uma buzina sanfonada como a da foto, acesse o vídeo a seguir.



“Buzina sanfonado”, de “UTI dos brinquedos”, disponível em: <https://youtu.be/13CABST-Dxc>.

O fenômeno sonoro que estamos considerando ocorre em todas as corridas automobilísticas, de modo que é comum pessoas ouvintes reconhecerem o som encontrado no áudio a seguir.



“Carro da Fórmula 1 efeito sonoro”, de “Efeitos sonoros sem copyright”, disponível em: <https://youtu.be/QKpy2N-EYx8>.

Como pessoas ouvintes podem caracterizar o movimento relativo do carro em relação ao microfone que captou as ondas sonoras? Para responder essa pergunta, vamos assistir ao vídeo a seguir, com gravações de uma corrida disputada pelo piloto paulista Ayrton Senna, feitas dentro e fora do carro.



“F1 Classic Onboard: Senna on the charge at the 1990 Monaco Grand Prix”, de “Formula 1”, está disponível em: <https://youtu.be/auXfAHHNSFo>.

Pessoas ouvintes podem notar que o som das ondas sonoras captadas fora do carro não tem as mesmas características do som associado às ondas sonoras captadas pelo microfone instalado dentro do carro. A diferença está no fato de que o carro não se move em relação ao microfone. Para elementos receptores das ondas sonoras posicionados fora do carro, há uma **velocidade relativa** envolvida: ora o carro se aproxima, ora se afasta do elemento receptor.

O mesmo fenômeno que ocorre com o som das corridas de Fórmula 1 percebido por ouvintes fora do carro ocorreu com as pessoas ouvintes que estavam mais próximos do local da colisão cuja notícia foi apresentada no início do volume 1. Elas perceberam que, quanto mais o caminhão do Corpo de Bombeiros se aproximava, o som de sua sirene ficava mais agudo. As pessoas ouvintes que estavam mais distantes do local, na rota do caminhão, tiveram a mesma percepção quando o caminhão se aproximou, mas, além disso, notaram que, quando o caminhão já estava se afastando de onde estavam, o som da sirene parecia mais grave.

Trata-se do fenômeno ondulatório chamado **efeito Doppler-Fizeau**, que consiste em alteração na frequência de ondas tal como percebida por um elemento receptor devido ao seu movimento relativo em relação à fonte da onda. No caso do som, isso implica variação na altura sonora, de modo que o som é percebido mais agudo que o som original se o movimento relativo é de aproximação, e mais grave, se o movimento relativo é de afastamento.

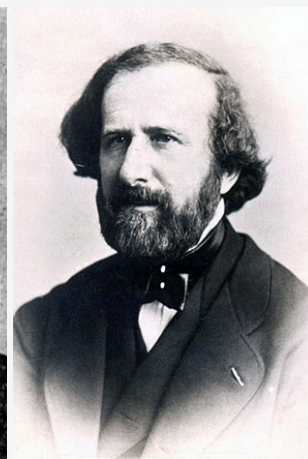


## HISTÓRIAS E TRAJETÓRIAS: Christian Doppler e Armand Fizeau

**Christian Andreas Doppler** (Salzburgo, 1803 – Veneza, 1853) foi um matemático austríaco que, pela primeira vez, descreveu teoricamente o fenômeno que seria conhecido por seu sobrenome, efeito Doppler. De forma independente, e sem conhecer Christian Doppler, o físico francês **Armand Hippolyte Louis Fizeau** (Paris, 1819 – Venteuil, 1896) também estudou o fenômeno para o som e estendeu os resultados obtidos para a luz. Ele não conhecia os trabalhos de Doppler sobre esse mesmo efeito, apresentados seis anos antes.



Fonte: <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=11741698>



Fonte: <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=3208808>

Porém, enquanto Doppler presumiu incorretamente algumas velocidades estelares, Fizeau fez previsões corretas que possuem grande relevância para a astrofísica moderna.

Vamos conhecer um pouco mais as trajetórias desses cientistas assistindo aos vídeos a seguir:



“Cristian Andreas Doppler”, de “Nico Condoy”, disponível em: <https://youtu.be/6eqSKL44v7M>;



“Como ideias simples conduzem a descobertas científicas”, de “TED-Ed”, disponível em: <https://youtu.be/F8UFGu2M2gM>.

Devido à consolidação e valorização da ciência a partir do século XVIII, decorrentes do Iluminismo, da Revolução Francesa e da Revolução Inglesa, teve lugar na história a Segunda Revolução Industrial, como já descrito no quadro **HISTÓRIAS E TRAJETÓRIAS – Herinrich Hertz**. Porém, as mudanças cultural, política e econômica da sociedade fizeram com que não só as indústrias se beneficiassem dos muitos avanços científicos desse século, mas também vários outros campos de atuação.

Além disso, até o século XIX, a chamada Física Clássica, que inclui as áreas de estudo da Mecânica Clássica ou Mecânica Newtoniana, da Termodinâmica, do Eletromagnetismo e da Ótica, foi fundamental para uma compreensão mais profunda do Universo e para uma maior abstração do pensamento, fatores determinantes para a construção de uma nova Física no século XX, a chamada Física Moderna. O Efeito Doppler-Fizeau tem aplicações diversas no mundo. Uma delas diz respeito aos exames realizados em Medicina, na área da Cardiologia, como o exame de ecodopplercardiograma. O efeito também é aplicado na medição da velocidade de veículos automotores em vias públicas por radares doppler, que funcionam por meio de radiofrequência ou lasers.

### Para conhecer mais essas trajetórias, sugerimos:

- COMAN, I. M. Christian Andreas Doppler: the man and his legacy. **Eur J Echocardiography**, 6, 2005. Disponível em: <https://academic.oup.com/ehjcardiology/article/6/1/7/2367221>. Acesso em: 22 out. 2023.
- HOCKEY, T.; TRIMBLE, V.; WILLIAMS, T. R.; BRACHER, K.; JARRELL, R. A.; MARCHÉ, J. D.; GREEN, D. W. E. (Eds.). **Biographical Encyclopedia of Astronomers**. 2014.
- RITO, Nathaly Barboza de *et al.* História da física no século XIX: discutindo natureza da ciência e suas implicações para o ensino de física em sala de aula. **Revista Brasileira de História da Ciência**, [s. l.], v. 7, n. 2, p. 214-231, dez. 2014. Disponível em: <https://rbhciencia.emnuvens.com.br/revista/article/view/200>. Acesso em: 22 out. 2023.

Vamos acessar o *GIF* a seguir.



“Efeito Doppler”, de “Wikipédia: a enciclopédia livre”, disponível em: [https://pt.wikipedia.org/wiki/Efeito\\_Doppler#/media/Ficheiro:Dopplerfrequenz.gif](https://pt.wikipedia.org/wiki/Efeito_Doppler#/media/Ficheiro:Dopplerfrequenz.gif).

No *GIF*, linhas vermelhas curvas concêntricas aparecem a partir de um carro, estendendo-se ao redor dele. Elas representam as superfícies de onda das ondas sonoras emitidas pelo carro. Quando o veículo se dirige para a esquerda, as linhas à sua frente ficam mais próximas umas das outras, enquanto as linhas atrás dele ficam mais distantes umas das outras.

Essa é uma representação da compressão das ondas sonoras à esquerda e de decompressão à direita. Em outras palavras, ocorre uma diminuição do comprimento de onda à

esquerda e, portanto, aumento da frequência das ondas sonoras, de modo que o som a elas associado é percebido por pessoas ouvintes como mais agudo. Do contrário, à direita ocorre aumento do comprimento de onda e, logo, diminuição da frequência, de modo que o som percebido por ouvintes é mais grave.

Em suma, na situação hipotética associada à colisão cuja notícia foi apresentada no início do volume 1, a aproximação e o distanciamento do caminhão do Corpo de Bombeiros com a sirene ligada se relaciona com uma alteração na frequência do som percebido por ouvintes: as pessoas de quem o caminhão se aproxima ouvem o som mais agudo e aquelas de quem o caminhão se distancia ouvem o som mais grave.

E agora, como você justificaria os fenômenos observados nos dois quadros **EXPERIENCIANDO** anteriores?

Agora vamos estudar o fenômeno de maneira formalizada matematicamente.



## COMO SE JUSTIFICA: Matematizando o efeito Doppler-Fizeau

A seguir, vamos retomar a expressão (1), que estudamos anteriormente.

### Equação Geral da Ondulatória:

$$v: \text{velocidade (m/s)} \leftarrow v = \lambda \cdot f \rightarrow f: \text{frequência (Hz)} \quad \text{1}$$

$\lambda: \text{comprimento de onda (m)}$

A aproximação ou o distanciamento relativos entre fonte sonora e elemento observador podem ser expressos pelo conceito físico de velocidade relativa. Vamos aplicar esse conceito à fórmula (1), a seguir.

### Fórmula do Efeito Doppler-Fizeau:

$$v = \lambda \cdot f \Rightarrow f = \frac{v}{\lambda} \Rightarrow f_R \rightarrow f_R: \text{frequência da onda que chega ao elemento receptor (Hz)}$$

$$v_0: \text{velocidade da onda no ambiente (m/s)} \leftarrow f_R = \frac{v_0 \pm v_R}{\lambda_{\text{relativo}}} \rightarrow v_R: \text{velocidade do elemento receptor (m/s)}$$

$$f_F: \text{frequência da onda emitida pela fonte (Hz)} \quad f_R = \frac{v_0 \pm v_R}{\frac{v_0 \pm v_F}{f_F}} \Rightarrow f_R = \frac{v_0 \pm v_R}{v_0 \pm v_F} \cdot f_F \rightarrow v_F: \text{velocidade da fonte (m/s)}$$

$$f_R = f_F \cdot \frac{v_0 \pm v_R}{v_0 \pm v_F}$$

Na fórmula do efeito Doppler-Fizeau, identifique os sinais do módulo das velocidades em sete situações possíveis de movimento relativo entre fonte e elemento observador:

1. A fonte sonora está parada em relação a um ponto da Terra, e o elemento observador se aproxima da fonte sonora;

2. A fonte sonora está parada em relação a um ponto da Terra, e o elemento observador se distancia da fonte sonora;
3. O elemento observador está parado em relação a um ponto da Terra e a fonte sonora se aproxima do elemento observador;
4. O elemento observador está parado em relação a um ponto da Terra e a fonte sonora se distancia do elemento observador;
5. Fonte e elemento observador se movem em relação a um ponto da Terra se aproximando entre si;
6. Fonte e elemento observador se movem em relação a um ponto da Terra se distanciando entre si;
7. Fonte e elemento observador se mantêm parados em relação a um ponto da Terra.

Tomaremos como exemplo a situação hipotética associada à colisão cuja notícia foi apresentada no início do volume 1. Durante o atendimento realizado pelo Corpo de Bombeiros, pessoas ouvintes puderam ter a experiência sensorial do efeito Doppler-Fizeau ao ouvirem a sirene do caminhão de bombeiros na medida em que este se deslocava em relação aos observadores.

Para calcularmos a frequência percebida pelas pessoas ouvintes que estão paradas em relação a um ponto do planeta Terra ( $v_r = 0$ ) durante o momento de aproximação e afastamento do caminhão de bombeiros, suponhamos que este se deslocava com uma velocidade constante de 90 km/h e produzindo ondas sonoras com frequência de 500 Hz. Considere a velocidade do som no ar de 342 m/s.

Utilizando o fator 1/3,6 para converter km/h em m/s temos:

$$\frac{90}{3,6} = 25 \text{ m/s}$$

Consideremos um referencial com sentido crescente do observador para a fonte. Nesse referencial, a velocidade com que o caminhão de bombeiros se aproxima é negativa. Então, ao substituímos os dados na fórmula, temos:

$$f_0 = 500 \cdot \frac{342 \pm 0}{342 - 25} = 500 \cdot \frac{342}{317} \cong 539,43\text{Hz}$$

Dessa forma, a frequência percebida pelos observadores que estão parados quando o caminhão de bombeiros está se aproximando é de aproximadamente 539,43Hz.

Ao se afastar das pessoas ouvintes, o caminhão de bombeiro assume velocidade positiva no referencial escolhido. Dessa forma, temos:

$$f_0 = 500 \cdot \frac{342 \pm 0}{342 + 25} = 500 \cdot \frac{342}{367} \cong 465,94\text{Hz}$$

A frequência percebida pelos observadores quando o caminhão de bombeiros se afasta é de aproximadamente 465,94Hz.

Atenção! É necessário que todos os valores em uma equação estejam com unidades de medida coerentes com o padrão adotado. Em outras palavras, a unidade de medida da resposta deve ser coerente com as unidades de medida dos valores substituí-

dos na fórmula. O uso do SI facilita que se atenda essa necessidade.

### Para justificar mais, sugerimos:

- FERNANDES, A. C. P.; L. T. S. Auler; HUGUENIN, J. A. O.; BALTHAZAR, W. F. Efeito Doppler com tablet e smartphone. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 38, nº 3, 2016. Disponível em: <https://www.scielo.br/pdf/rbef/v38n3/1806-1117-rbef-38-03-e3504.pdf>. Acesso em: 22 out. 2023.

É grande a diversidade de fenômenos socioculturais associados a experiências sonoras. Desde a música até os sons em competições automobilísticas e esportivas, diversas práticas humanas e presentes na natureza permitem a formação de memórias implicadas na sobrevivência e na qualidade de vida do ser humano.

É possível que pessoas Surdas que nunca ouviram saibam disso, mas esse saber é dissociado de memórias auditivas dos sons. Dentre elas está o efeito Doppler-Fizeau, presente na memória auditiva que pessoas ouvintes têm, por exemplo, da música produzida com trombone ou flauta de êmbolo ou de sirenes em movimento, como aquelas de caminhões do Corpo de Bombeiros, ambulâncias e viaturas da polícia.

Apesar de não terem a experiência sensorial diretamente ligada ao som, as pessoas Surdas têm condições de saber do que trata o fenômeno do efeito Doppler-Fizeau. Para tanto, é preciso associar os conceitos físicos de comprimento de onda e frequência à alteração de pressão que ocorre no movimento relativo entre fonte sonora e elemento observador, à semelhança do que discutimos no volume 2.

Agora retome a questão 15 do quadro **COMO SE JUSTIFÍCA – Investigando o violão** e do quadro **SITUAÇÃO-PROBLEMA**. Como você alteraria suas respostas com base no estudo que fizemos sobre Efeito Doppler-Fizeau?

# O fenômeno da reflexão: eco e reverberação



Fonte: <https://youtu.be/rZr0AcbttTM?t=1126>

A figura acima é uma captura do vídeo a seguir.



“Recital de Conclusão de Curso - Sonatas para violão por Gabriele Leite”, de “Gabriele Leite”, disponível em: <https://youtu.be/rZr0AcbttTM>.

O vídeo é uma gravação do recital de conclusão de curso da premiada música paulista Gabriele Leite, ocorrida no Instituto de Artes da Universidade Estadual Paulista. O ambiente preparado para o edital, com anteparos atrás da violonista, inspira a discussão em torno dos papéis exercidos pelo espaço na propagação de ondas sonoras.

A esse respeito, retomemos a situação hipotética associada à colisão cuja notícia foi apresentada no início do volume 1. Nela duas instrumentistas cegas se apresentavam na rua tocando seus instrumentos. Podemos imaginar todos os obstáculos físicos que elas superaram diariamente para se dirigirem ao local de apresentação. Essa superação é possível graças à sua habilidade em desenvolver técnicas de locomoção de forma autônoma e segura. Como isso é possível?

Podemos identificar uma relação do fenômeno com o trabalho do engenheiro de som jamaicano Osbourne Ruddock, conhecido como King Tubby. Ele é considerado o inventor do remix, música modificada com acréscimo de batidas rápidas e efeitos adicionais. O vídeo a seguir é um registro em áudio de parte do seu trabalho.



“King Tubby - King At The Control”, de “Mystic Revelation”, disponível em: [https://youtu.be/6JRr31tx\\_YY&t=330s](https://youtu.be/6JRr31tx_YY&t=330s).

Após King Tubby, o destaque que era reservado para profissionais da música passou a marcar a produção fonográfica. As músicas produzidas por ele apresentam, entre outras características, o uso de um recurso de repetição de sons. As músicas que recebem tratamento eletrônico que incorpora esse efeito são chamadas músicas com eco.

O **eco** é um fenômeno ondulatório que acontece quando, após encontrarem obstáculos, as ondas retornam no sentido oposto ao da propagação original. Ela é determinada pela superfície refletora do obstáculo, variando com a textura e estrutura dessa superfície. Seu estudo é aplicado em diversas áreas da atuação humana, como na Geologia e na Arquitetura Acústica. Na Geologia, o estudo da reflexão das ondas sísmicas a partir de camadas no interior da Terra permite, por exemplo, a determinação da estrutura de camadas do planeta, o estudo da **crosta terrestre** e a prospecção de jazidas de gás e petróleo. Na Arquitetura Acústica, o conhecimento desse e outros fenômenos sonoros permite que se alie o acabamento com a geometria de espaços como restaurantes, escolas, hospitais, consultórios médicos, casas de show, dentre outros que exigem obediência a regras sobre o volume sonoro adequado para o ambiente.

Como podemos entender o eco? A natureza nos fornece uma belíssima resposta, o mecanismo conhecido por **ecolocalização**. Trata-se da utilização do fenômeno sonoro do eco em um tipo de sonar, isto é, a emissão de ondas sonoras com o objetivo de que atinjam obstáculos e sofram reflexão ondulatória. Na ecolocalização, as ondas sonoras emitidas são captadas de volta pelo elemento emissor, que pode ser um dispositivo tecnológico, um animal ou uma pessoa. Esse mecanismo orienta a localização de objetos, de modo a contribuir para a locomoção, a identificação de velocidade e, entre os animais, a predação. Trata-se de mais um fenômeno que pode ser estudado de forma interdisciplinar entre Biologia e Física, muito importante em condições de baixa ou nenhuma visibilidade, como no escuro da noite e das cavernas, para morcegos, ou em águas turvas, para os golfinhos. Nos animais, o mecanismo é conhecido também como **biossonar**.

O ser humano também desenvolveu a habilidade da ecolocalização, como podemos conferir no quadro a seguir.



## HISTÓRIAS E TRAJETÓRIAS:

### O “menino golfinho” ou “menino sonar” e o “extraordinário homem-morcego”

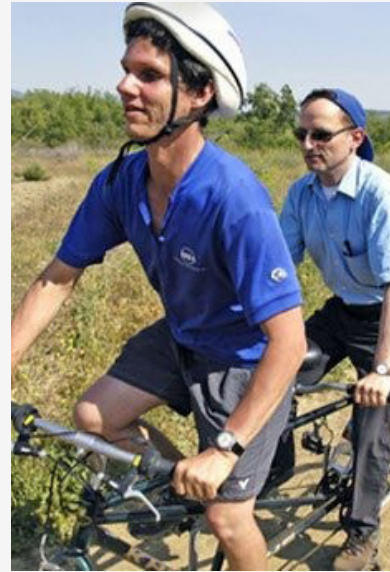
**Ben Underwood** (Riverside, 1992 – Elk Grove, 2009) foi um estadunidense conhecido por sua habilidade de ecolocalização. Ele emitia ondas sonoras por meio de estalidos produzidos articulando a língua no palato. Conhecido como “menino golfinho” ou “menino sonar”, Ben acordou de sua segunda cirurgia em função de um câncer de retina dizendo à sua mãe que não conseguia mais enxergar. Então ela passou a mostrar ao filho que ele podia usar outros sentidos para entender o mundo e com ele interagir, como o tato, o olfato e a audição. Graças à habilidade de ecolocalização que desenvolveu, Ben realizava de forma autônoma diversas atividades, como jogar basquete e andar de bicicleta. Infelizmente, ele morreu aos 16 anos, vítima do mesmo câncer que o tornou cego.



Fonte: <https://bit.ly/3Rfbz6c>

Assim como Ben, o estadunidense **Daniel Kish** (Montebello, 1996) também ficou cego quando criança, após uma cirurgia para tratamento de um câncer na retina. Ele realiza um bellissimo trabalho com pessoas cegas por meio da organização sem fins lucrativos World Access for the Blind. Ele defende a exploração de sensações diversas pelo som, como a sensação de beleza.

Além de utilizar a ecolocalização para si, Daniel Kish guia pessoas cegas em caminhadas e ciclismo em montanhas e selvas, além de ensiná-las a caminhar por locais desconhecidos com segurança. Dessa forma, ele ressignifica em sua vida a expressão “cego guiando cego”, comumente utilizada para descrever uma situação em que uma pessoa que não sabe nada sobre algo é ensinada por outra que sabe pouco sobre o tema em questão.



Fonte: <https://bit.ly/3Rfbz6c>



Fonte: <https://bit.ly/3RxzrmY>

A esse respeito, o pintor holandês **Pieter Bruegel** (Breda, 1525 – Bruxelas, 1569), conhecido como Bruegel, o Velho (para diferenciar de seu filho, Pieter Bruegel, o Jovem), ficou conhecido por retratar paisagens e cenas camponesas. Em uma delas, retratou a parábola contada por Jesus Cristo e registrada no livro bíblico de Mateus, Capítulo 15, na qual se refere aos fariseus como cegos que conduzem outros cegos. Nessa pintura, os cegos foram retratados não com olhos fechados, como era feito antigamente, mas de maneiras distintas que indicam diferentes causas da cegueira.

Além disso, chama atenção na pintura a composição diagonal, indicando a queda em sequência, e o fato dos homens manterem a cabeça erguida, como que para melhorar a percepção do ambiente por meio dos outros sentidos.



Fonte: <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=28885659>

Nos vídeos a seguir vamos conferir um pouco do que temos a aprender com esses seres humanos extraordinários.



“História de Ben Underwood o menino golfinho”, de “Inclusão ativa PCD”, disponível em: <https://youtu.be/DxqYKzahrA>;



“KISH, Daniel. Com o uso o sonar para navegar o mundo.”, de “TED”, disponível em: [https://www.ted.com/talks/daniel\\_kish\\_how\\_i\\_use\\_sonar\\_to\\_navigate\\_the\\_world?language=pt#t-769311](https://www.ted.com/talks/daniel_kish_how_i_use_sonar_to_navigate_the_world?language=pt#t-769311).

Sobre a habilidade admirável da ecolocalização por pessoas cegas, bem como a capacidade de ensinar a outras pessoas a mesma habilidade, podemos nos perguntar:

1. Como podemos avaliar a relação estabelecida pelas pessoas cegas e os fenômenos sonoros para a manutenção da vida?
2. Como é possível reavaliar a expressão “cego guiando cego” a partir de uma perspectiva de valorização da diversidade, muitas vezes considerada como problema, adversidade e deficiência?

### Para viajar mais nesse universo, sugerimos:

- ALTER QUIA. **A parábola dos cegos: Jesus por Pieter Bruegel**. [S. l.: s. n.], 2020. 1 vídeo (8 min). Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=HXjN2ZmS-CXk>. Acesso em: 22 out. 2023.
- Daniel Kish. **Ashoka**. Disponível em: <https://www.ashoka.org/en-us/fellow/daniel-kish>. Acesso em: 22 out 2023.
- FERREIRA, Ermelinda. Ensaio sobre a cegueira: Charles Baudelaire, Pieter Brugel, H. G. Wells e José Saramago. **Revista do Centro de Estudos Portugueses**. Disponível em: <http://www.periodicos.letras.ufmg.br/index.php/cesp/article/view/6760>. Acesso em: 22 out 2023.
- JAGGER, Mick. **Blind Leading The Blind**. Disponível em: <https://www.vagalume.com.br/mick-jagger/blind-leading-the-blind-traducao.html>. Acesso em: 22 out 2023.
- MOORHEAD, Joanna. Seeing with sound. **The Guardian**. Disponível em: <https://www.theguardian.com/lifeandstyle/2007/jan/27/familyandrelationships.family2>. Acesso em: 22 out 2023.

Agora vamos conferir o uso da ecolocalização por animais.



## UNIVERSOS DIVERSOS: Ecolocalização e o mundo animal

Animais como os golfinhos e morcegos realizam ecolocalização emitindo ondas ultrassônicas. O elefante, por sua vez, utiliza infrassons para se comunicar com outros elefantes e perceber variações na superfície do solo, de modo que consegue prever terremotos e erupções vulcânicas, já que esses abalos produzem infrassons. A seguir,

vamos assistir a uma animação do mecanismo de ecolocalização utilizado por golfinhos para capturar peixes.

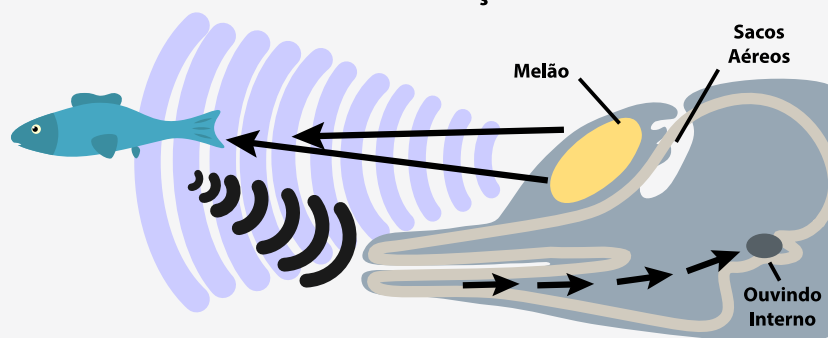


Fontes: <https://pixabay.com/pt/photos/golfinhos-mam%C3%A9feros-marinhos-378217/>; <https://pixabay.com/pt/photos/morcego-raposa-voadora-vampiro-1268650/>; <https://www.nationalgeographicbrasil.com/2018/07/mariposa-cauda-asa-morcego-ecolocalizacao-bicho-seda>



“Ecolocalização”, de “Wikipédia: a enciclopédia livre”, disponível em: <https://pt.wikipedia.org/wiki/Ecolocaliza%C3%A7%C3%A3o#>.

### Ecolocalização



Fonte: Internet

Para a ecolocalização, os golfinhos produzem sons diferentes daqueles utilizados na comunicação. Eles emitem ondas ultrassônicas com frequência em torno de 15 kHz, na forma de cliques ou estalidos, a partir do ar inspirado e expirado através dos sacos nasais ou aéreos, órgão existente no alto da cabeça, conforme mostra a figura acima. As ondas são emitidas para o ambiente aquático através do melão, uma ampola cheia de óleo localizada na nuca ou testa. Então eles captam as ondas refletidas pelos obstáculos na forma de eco por meio de um órgão adiposo localizado em sua mandíbula. As vibrações são transmitidas ao ouvido interno ou médio e daí para o cérebro, onde ocorre o processamento e a interpretação das informações acústicas necessárias à ecolocalização. O processo ocorre continuamente, de modo que, quanto mais perto está do objeto identificado, menores são os intervalos de tempo entre cada eco e maior é a frequência dos estalidos refletidos, devido ao Efeito Doppler-Fizeau. Com essas informações, os golfinhos conseguem identificar sua distância em relação ao objeto, além da textura, da densidade e do tamanho do objeto. O ser humano ainda não conseguiu desenvolver um sonar superior a esse.

Esse mecanismo pode ser considerado como uma vantagem de predadores, mas as presas também têm seus mecanismos de preservação da vida! Um deles ocorre na mariposa-da-lua-africana. Essa espécie possui grandes asas verdes, que, abertas, fi-

cam com o tamanho aproximado do pires de uma xícara de chá. Elas são presas de morcegos, devido à natureza suculenta de seu corpo e as asas cheias de nutrientes. Essa espécie possui, ainda, longas caudas, úteis para confundir os morcegos no processo de ecolocalização, assim como suas asas. O vídeo a seguir mostra como o morcego é enganado por essa espécie de mariposa!



“Movie S4”, de “Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America”, disponível em: <https://movie-usa.glencoesoftware.com/video/10.1073/pnas.1416679112/video-4>.

Outros mecanismos anti-morcego existem na natureza, como a audição sensível de traças de cera, que detectam as ondas emitidas por eles, e mariposas que emitem ondas por meio de **estridulação**, vibrando escamas especializadas em sua genitália, como registra a figura ao lado. O fenômeno foi registrado no vídeo a seguir.



Fonte: <https://bit.ly/3Eycgoz>



“Movie S1”, de “Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America”, disponível em: <https://movie-usa.glencoesoftware.com/video/10.1073/pnas.1416679112/video-1>.

Diante dessas maravilhas da natureza, podemos nos perguntar:

Como o uso dos fenômenos físicos da reflexão ondulatória e do Efeito Doppler-Fizeau em mecanismos biológicos se relacionam à sobrevivência de animais e ao equilíbrio da natureza?

### Para viajar mais nesse universo, sugerimos:

- BITTEL, Jason. Como as asas longas ajudam mariposas a fugirem de ataques de morcegos. **National Geographic**. 24 de julho de 2018. Atualização em 5 de novembro de 2020. Disponível em: <https://bit.ly/4g6lm8J>. Acesso em: 22 out 2023.
- Características gerais dos golfinhos. **Golfinhos**. 14 de outubro de 2010. Disponível em: <https://bit.ly/4ilZZCS>. Acesso em: 22 out 2023.
- KAWAHARA, Akito Y.; BARBER, Jesse R. Tempo and more of antibat ultrasound production and sonar jamming in the diverse hawkmoth radiation. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**. v. 112, nº 20, May 19, 2015. Disponível em: <https://bit.ly/41ts7xY>. Acesso em: 22 out 2023.
- LEAVELL, Brian C.; RUBIN, Juliette J.; McCLURE, Christopher J. W.; MINER, Krystie A.; BRANHAM, Marc A.; BARBER, Jesse R. Fireflies thwart bat attack with multisensory warnings. **Science Advance**, 22 August 2018. Disponível em: <https://advances.sciencemag.org/content/4/8/eaat6601/tab-pdf>. Acesso em: 22 out 2023.
- Sentidos. **Casa dos morcegos**. Disponível em: <https://bit.ly/3OLTEDc>. Acesso em: 22 out 2023.

Na sociedade humana, existem várias aplicações tecnológicas do fenômeno do eco por ultrassons, como: exames médicos de ultrassonografia; sensores para estacionamento de veículos automotores; sensores de estacionamento de shoppings para controle de vagas;

e sensores ultrassônicos presentes em robôs “cães-guia” para pessoas cegas. O quadro a seguir aborda este último, um invento inovador que contribui com o bem viver de pessoas cegas. Vamos conferir.



### UNIVERSOS DIVERSOS: Ecolocalização e acessibilidade



Fontes: [www.hypeness.com.br/2017/07/cao-guia-robot-promete-mais-autonomia-e-liberdade-para-milhoes-de-deficientes-visuais/](http://www.hypeness.com.br/2017/07/cao-guia-robot-promete-mais-autonomia-e-liberdade-para-milhoes-de-deficientes-visuais/)

A partir de 2017, começou a ser comercializada a Lysa, uma robô “cão-guia” criada pela professora e empreendedora brasileira Neide Sellin. A matéria a seguir conta um pouco dessa história.



“Cão guia robô é usado para auxiliar deficientes visuais, no ES”, de “ESTV 1ª edição”, de “Globoplay ESTV 1ª educação”, disponível em: <https://bit.ly/4g8x7wp>.

Dentre outros dispositivos, a robô é dotada de algoritmo com inteligência artificial, dois motores, cinco sensores, câmeras, bateria recarregável e navegação por **GPS (Global Positioning System)**. Antes de criar Lysa, Neide era professora de robótica em uma escola pública. Um dia decidiu criar um cão-robô com seus alunos, a fim de mostrar concretamente como a robótica funciona. Então percebeu o potencial de sua invenção para melhorar a qualidade de vida de pessoas cegas, e adicionou sensores ao dispositivo, nascendo, assim, a robô “cão-guia” Lysa. Por meio desses sensores, Lysa reconhece buracos e obstáculos no chão e também os aéreos, localizados acima da linha da cintura, os quais não são identificados por meio de bengala e de cão-guia, como placas, lixeiras suspensas e galhos de árvores. A robô também cria rotas alternativas, “puxando” a pessoa cega para outra direção segura, em velocidades diversas. Lysa é uma alternativa mais viável que cães-guia, já que o treino desses animais é demorado e de alto custo e eles são escassos no Brasil, país que possui milhões de pessoas cegas.

Tendo em vista os altíssimos custos de aquisição e treinamento de cães-guia, a robô “cão-guia” é uma alternativa mais acessível, porém, ainda não possível para todas as pessoas cegas. A esse respeito, podemos nos perguntar:

Que iniciativas amplas e democráticas podem ser pensadas no sentido de atender a

maior quantidade possível de pessoas cegas, de modo a contribuir com sua qualidade de vida e autonomia?

### Para viajar mais nesse universo, sugerimos:

- Cão-guia robô promete mais autonomia e liberdade para milhões de deficientes visuais. **Hypeness**. Disponível em: <https://bit.ly/3ZO7U4R>. Acesso em: 22 out 2023.
- Sua estrutura. **Lysa cão-guia robô**. Disponível em: <http://www.caoguiarobo.com.br/>. Acesso em: 22 out 2023.

Para a reflexão de ondas sonoras, há um tempo necessário entre a chegada das ondas sonoras às orelhas de pessoas ouvintes e a percepção do som associado a essas ondas. Esse intervalo é de um décimo de segundo (0,1 s). Por isso, o eco captado por seres humanos ouvintes ocorre em espaços extensos o suficiente para que a soma do tempo de ida da onda emitida com o tempo de volta da onda refletida seja maior que 0,1 s. Assim, quando, por exemplo, uma pessoa ouvinte grita em frente a uma montanha suficientemente distante, percebe com distinção dois sons, um associado às ondas sonoras emitidas e um associado às ondas sonoras refletidas. Mas e quando o espaço não é tão extenso? Vamos discutir essa situação começando com a atividade experimental a seguir.

Suponhamos uma pessoa ouvinte cantando no banheiro! As paredes desse ambiente representam obstáculos para a propagação das ondas sonoras. Por isso, após emitidas, elas são refletidas pelas paredes e voltam às orelhas da pessoa. Esse fenômeno demora um tempo para ocorrer, mas, devido à pequena extensão do banheiro, esse tempo é menor que o intervalo de tempo necessário entre a chegada das ondas sonoras às orelhas e a percepção do som associado a essas ondas. Como já mencionado, esse intervalo é de 0,1 s. Por isso, a percepção do som associado às ondas sonoras refletidas começa antes de terminar a percepção do som associado às ondas sonoras emitidas. Como resultado, ocorre uma percepção mais prolongada da duração do som. É comum as pessoas chamarem esse fenômeno de eco, mas a Física chama de **reverberação**.

Agora vamos desenvolver uma atividade de natureza matemática, se possível, em grupo.



## COMO SE JUSTIFICA: Matematizando o eco

### Velocidade média:

$$v: \text{velocidade média (m/s)} \leftarrow v_m = \frac{\Delta x}{\Delta t} \rightarrow \begin{array}{l} \Delta x: \text{deslocamento (m)} \\ \Delta t: \text{intervalo de tempo (s)} \end{array} \quad \textcircled{1}$$

Como já estudado, a expressão (1) é a fórmula da velocidade média. Imaginemos uma pessoa ouvinte de frente a uma cadeia de montanhas, gritando e ouvindo o eco da própria voz. Considere a velocidade das ondas sonoras no ar atmosférico constante igual a 340 m/s e 0,1 s o tempo mínimo necessário para processamento do som por pessoas ouvintes após a incidência das ondas sonoras nas orelhas. Então elabore hipóteses sobre quando é possível uma pessoa ouvinte ouvir eco, e tente responder a seguinte questão:

Qual a distância mínima entre a fonte sonora e o anteparo refletor para que uma pessoa ouvinte possa ouvir eco? Vamos, agora, determinar a distância aproximada entre a pessoa e a cadeia de montanhas. Para isso, consideremos que o intervalo tempo entre o grito e o retorno do eco é de 2,5 segundos e a velocidade das ondas sonoras no ar é de 340 m/s.

Vamos desenvolver o seguinte raciocínio: ao irem e voltarem, as ondas sonoras percorrem a mesma distância duas vezes. Então, para acharmos a distância entre a pessoa e a cadeia de montanhas, utilizaremos apenas o tempo de ida, que corresponde à metade do tempo total. Assim:

$$t_{ida} = \frac{2,5}{2} = 1,25s$$

Sabendo que as ondas sonoras percorrem a distância entre a pessoa e a cadeia de montanhas em 1,25 s a uma velocidade de 340 m/s, podemos utilizar a fórmula da velocidade média para encontrar a distância. Assim, temos:

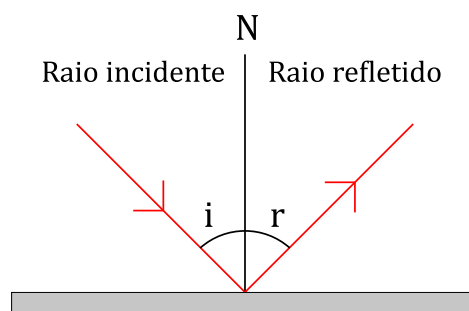
$$v_m = \frac{\Delta x}{\Delta t} \Rightarrow 340 = \frac{x}{1,25} \Rightarrow 340 \cdot 1,25 = x \Rightarrow 425 = x$$

Portanto, a distância entre a pessoa e a cadeia de montanhas é 425 metros.

### Para justificar mais, sugerimos:

- HUPALO, Cristiane. **Reverberação nas salas do ISEP**. 2017. 86 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil – Ramo de Construções) – Instituto Superior de Engenharia do Porto. Porto, Portugal, 2017. Disponível em: <https://bit.ly/41oW6Hd>. Acesso em: 22 out. 2023.

A figura a seguir representa o fenômeno da reflexão ondulatória.



Na figura é representada uma superfície plana horizontal em corte retangular, na qual incide uma linha vermelha com seta no sentido sudeste, representando um raio de onda. Do ponto onde o raio incidente toca o retângulo que representa a superfície refletora, sai outra linha vermelha com seta, desta vez, apontando no sentido nordeste, representando o raio de onda refletido. No desenho há uma linha N, que a Física chama de **reta normal**; ela é vertical, perpendicular ao retângulo e o toca no mesmo ponto que os raios incidente e refletido. Assim, os raios incidente e refletido formam com a reta normal, respectivamente, um **ângulo incidente** i e um ângulo de reflexão r, que são iguais.

O fenômeno da reflexão ondulatória obedece duas **leis da reflexão**: 1) O raio de onda incidente, o raio de onda refletido e a reta normal à superfície refletora são coplanares, isto é, estão no mesmo plano; 2) O ângulo de incidência é igual ao ângulo de reflexão.

Agora, com o objetivo de entender como ocorre reflexão de ondas sonoras em meios fluidos, vamos retomar o estudo da refração ondulatória.

Os meios fluidos impõem uma resistência ou dificuldade à propagação das ondas sonoras através deles. Essa resistência é representada pela grandeza escalar **impedância acústica** (que representamos pelo símbolo  $Z$ ), expressa matematicamente pela razão entre a pressão exercida pela onda no meio (que representamos pelo símbolo  $p$ ), medida em pascal (símbolo  $Pa$ ) ou newton por metro quadrado (símbolo  $N/m^2$ ), e sua velocidade de propagação nesse meio (que representamos pelo símbolo  $v$ ), medida em metro por segundo (símbolo  $m/s$ ). A impedância acústica também pode ser expressa pelo produto entre a velocidade de propagação da onda no meio e a densidade desse meio (que representamos pelo símbolo  $\rho$ , letra grega chamada "rô"), medida em quilograma por metro cúbico (símbolo  $kg/m^3$ ). Assim, a unidade de medida de impedância acústica pode ser pascal-segundo por metro (símbolo  $Pa \cdot s/m$ ) ou quilograma por metro quadrado-segundo ( $kg/m^2 \cdot s$ ). Essas unidades são equivalentes a rayl (símbolo  $rayl$ ).

A expressão matemática desse conceito físico se concretiza nas seguintes **fórmulas da impedância acústica**:

$$Z: \text{impedância acústica} \quad \left( Pa \cdot s/m = rayl \right) \quad \left( Z = \frac{p}{v} \right)$$

$p$ : pressão (Pa)  
 $v$ : velocidade de propagação da onda (m/s)

$$Z: \text{impedância acústica} \quad \left( kg/m^2 \cdot s = rayl \right) \quad \left( Z = \rho \cdot v \right)$$

$\rho$ : densidade do meio ( $kg/m^3$ )  
 $v$ : velocidade de propagação da onda (m/s)

Essas fórmulas são matematicamente equivalentes, conforme mostra o desenvolvimento a seguir.

$$\frac{Pa \cdot s}{m} = Pa \cdot \frac{s}{m} = \frac{N}{m^2} \cdot \frac{s}{m} = \frac{kg \cdot \frac{m}{s^2}}{m^2} \cdot \frac{s}{m} = \frac{kg \cdot m \cdot s}{m^2 \cdot s^2 \cdot m} = \frac{kg}{m^2 \cdot s}$$

Assim, meios diferentes implicam em impedâncias diferentes. Como exemplo, a tabela a seguir reúne valores de impedância acústica de diversos materiais.

Meio	Densidade (g/cm <sup>3</sup> )	Impedância acústica (Mrayl)
Acetato de vinilo etileno (EVA)	0,94	1,69
Aço inoxidável	7,89	45,4
Alumínio	2,7	17,33
Ar (CNTP)	0,0012	0,0004
Água (T=20°C)	1,0	1,48
Borracha	0,97	1,56
Poliuretano (PU – espuma)	1,04 – 1,30	1,38 – 2,36
Silicone	1,02 – 2,83	0,99 – 1,89
Vidro	2,2 – 3,6	10,1 – 18,9

Fontes: CAETANO (s.d.); LORENZI; CHAIX (2016).

Quando as ondas sonoras atravessam a interface entre dois meios diferentes, em que o segundo tem maior valor de impedância, ocorre uma reflexão parcial da energia das ondas, com inversão de fase.

Na tabela anterior podemos notar que a espuma, por exemplo, tem valor de impedância acústica muito inferior à do vidro. Isso significa que, na sua interface com o ar, não ocorre tanta reflexão. Por isso, na arquitetura acústica, materiais constituídos de espuma são utilizados no revestimento acústico.

Outro exemplo explicado por essas relações de impedância acústica diz respeito ao fenômeno em que pessoas ouvintes imersas na água não conseguem ouvir bem os sons associados a ondas sonoras transmitidas no ar. As ondas sonoras não são facilmente transmitidas do ar para a água, pois sofrem mais reflexão do que transmissão, dada a grande diferença entre os valores de suas impedâncias acústicas, conforme também mostra a tabela anterior.

O **coeficiente de reflexão da onda sonora** é uma grandeza adimensional que expressa matematicamente a porcentagem da energia da onda sonora refletida em relação à transmitida. O valor dessa grandeza é calculado pela **fórmula do coeficiente de reflexão da onda sonora**:

$$R = \frac{(Z_1 - Z_2)^2}{(Z_1 + Z_2)^2}$$

*R: coeficiente de reflexão sonora*

*Z<sub>1</sub>: impedância acústica do primeiro meio da interface (rayl)*

*Z<sub>2</sub>: impedância acústica do segundo meio da interface (rayl)*

A justificativa matemática dessa fórmula não é aqui apresentada por exceder os objetivos deste volume. O que importa destacar é o efeito matemático produzido pela diferença entre os valores de impedância acústica. Na fórmula, é possível perceber que, quanto maior a diferença entre os valores de impedância dos dois meios em questão, maior será o numerador da fórmula e, logo, o coeficiente de reflexão, isto é, a porcentagem de energia da onda sonora refletida.

A tabela a seguir apresenta valores do coeficiente de reflexão sonora em alguns objetos.

Objeto	Coeficiente de reflexão sonora
Paredes duras e lisas	1
Paredes de construções com janelas	0,8
Paredes de fábricas com 50% das superfícies consistindo de escapamentos, instalações ou dutos	0,4
Instalações abertas (dutos, torres, etc)	0

Fonte: SLAMA (2017).

O efeito da reflexão sonora pode ser atenuado colocando-se entre os dois meios um material cuja impedância acústica é intermediária entre as impedâncias dos meios. Esse mecanismo é chamado **casamento de impedância**. Nas pessoas ouvintes, ocorre naturalmente esse mecanismo. Na refração das ondas sonoras que ocorre da orelha externa para a orelha interna, há dois meios distintos com impedâncias acústicas diferentes, o ar e o líquido presente na cóclea. Na interface entre esses dois meios, na orelha média, a bigorna, o martelo e o estribo funcionam como dispositivo que casam as impedâncias do ar e do líquido da cóclea. Se não houvesse esse mecanismo, a reflexão sonora seria tão grande que impossibilitaria a audição.

O estudo dos fenômenos de transmissão e reflexão das ondas sonoras é aplicado pelo ser humano em várias áreas de atuação, como: na engenharia naval, para construção de sonares; na engenharia mecânica, para testar a qualidade do concreto a partir da concentração de bolhas que ele contém; na sismologia, para investigação das prospecções sísmicas; na medicina e na fonoaudiologia, para estudo da orelha interna; na medicina diagnóstica, para obtenção de imagens médicas por ultrassom; na música, para construção e avaliação de instrumentos musicais; na engenharia civil, para uso de materiais para revestimento acústico.



## UNIVERSOS DIVERSOS: Ondulatória e terremotos

A Física dos fenômenos ondulatórios é estudada em Geologia, permitindo um conhecimento sobre o interior da Terra, e na Sismologia, que prevê os terremotos. Os **sismos** ou terremotos são abalos no solo, com duração de cerca de 1 ou 2 minutos. Quando esse fenômeno natural acontece, o chão treme provocando destruição e mortes. Nos vídeos a seguir é explicado como ocorrem os terremotos.



Fonte: <https://www.bbc.com/portuguese/internacional-41345426>



“**Ondas sísmicas**”, de “**Geociências para TODOS**”, disponível em: <https://youtu.be/qQrFTS2CP4I>;



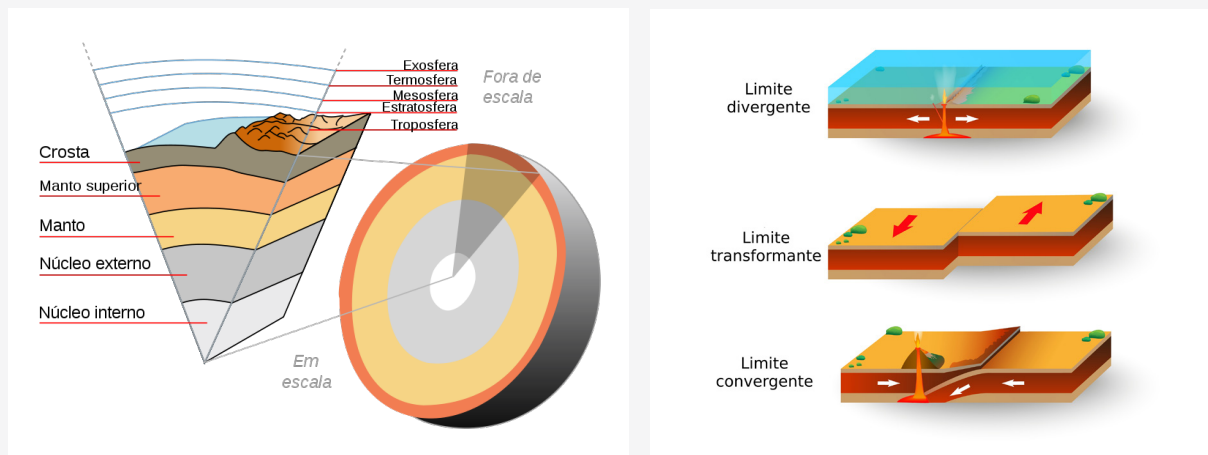
“**Tipos de Ondas Sísmicas**”, de “**Geologia Básica**”, disponível em: [https://youtu.be/\\_oO2l6KOz5Q](https://youtu.be/_oO2l6KOz5Q).

Para entender como os terremotos acontecem, é preciso conhecer um pouco sobre a estrutura do nosso planeta. Vamos lá!

A estrutura interna da Terra é constituída por três camadas: a crosta terrestre, o manto terrestre e o núcleo terrestre. A crosta terrestre é a camada que envolve o planeta, com uma média de 40 km de espessura. O manto terrestre, que se encontra logo abaixo da crosta, é uma camada líquida de expressiva viscosidade, que chega a 2900 km de profundidade; ele é formado por um complexo de minerais fundidos e sólidos que recebe o nome de magma e se divide em duas partes: manto superior, mais pastoso, e manto inferior, mais liquefeito, com temperatura mais elevada. O núcleo terrestre é a região central do planeta, composta por duas partes: o núcleo externo, líquido, que apresenta altíssimas temperaturas e vai até cerca de 5100 km de profundidade, e o núcleo interno, sólido, com altíssima pressão, que completa a profundidade do planeta, a cerca de 7700 km. A figura a seguir ilustra essa estrutura.

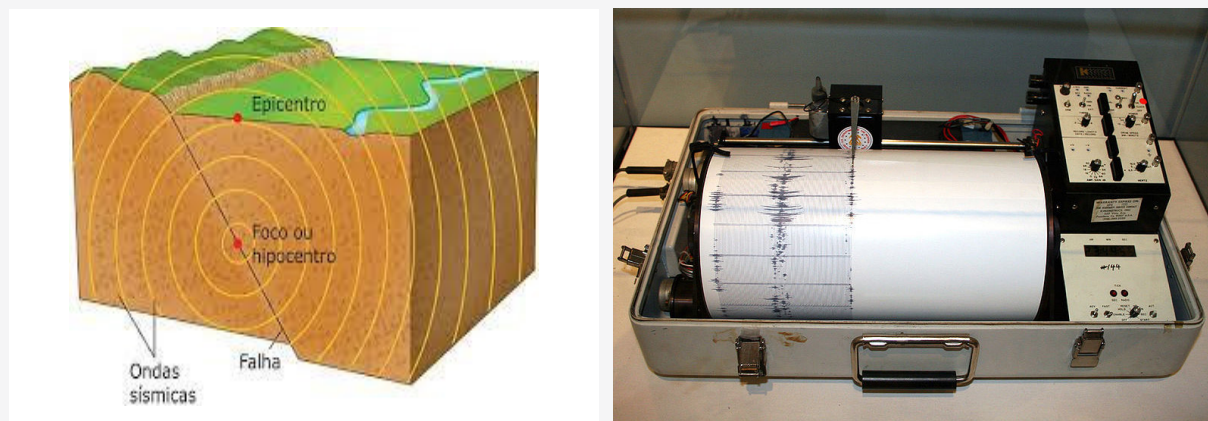
Na crosta e no manto, encontra-se uma região denominada **litosfera**, a camada sólida mais externa do planeta. A litosfera é composta de porções chamadas de **placas tectônicas**. Essas placas se movimentam lenta e continuamente sobre o manto terrestre, afastando-se, deslizando e aproximando-se umas em relação às outras, con-

forme ilustram, respectivamente, as figuras abaixo. Essas movimentações ocorrem devido à transferência de calor do **núcleo terrestre** por meio de correntes de convecção que ocorrem no **manto terrestre**.



Fonte: <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=15463450> Fonte: <https://www.infoescola.com/geografia/placas-tectonicas/>

Os movimentos das placas tectônicas geram forças de deformação sobre as rochas, que, quando ultrapassam o limite de resistência das rochas, ocasionam seu rompimento no **foco sísmico** ou **hipocentro**, criando uma **falha geológica**. Como consequência, ocorre liberação de energia, que passa a ser transportada por ondas sísmicas. Estas se espalham em várias direções, ocasionando os terremotos, conforme esquematizado na figura abaixo. Geralmente, a região ao redor do **epicentro** do terremoto é a mais afetada pelo abalo sísmico.



Fonte: <https://www.ufes.br/conteudo/reativacoes-de-falhas-geologicas-provocam-tremores-de-terra-no-es-explica-pesquisadora>

Fonte: [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Kinematics\\_seismograph.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Kinematics_seismograph.jpg)

As ondas sísmicas são estudadas por profissionais da sismologia, que utilizam **sismógrafos**. Esses aparelhos detectam movimentos do solo e a energia dos terremotos, que é medida na **escala de Richter** ou **escala de magnitude local**. Nessa escala, que é logarítmica, um terremoto de 3,5 graus já pode provocar danos e um de 6,1 graus pode ser devastador num raio de 100 km a partir do epicentro do terremoto.

Os terremotos representam um exemplo das diversas possibilidades de diálogo entre a Física e outras áreas do conhecimento humano. Quando se pensa em ensino de Física – e, por extensão, de outras áreas classificadas como ciências da natureza –, uma discussão muito relevante se apresenta. Vamos refletir sobre ela a partir da

seguinte questão:

Se uma pessoa que estuda Física não reside em uma localidade suscetível a terremotos, os conhecimentos de sismologia são relevantes para ela? Por quê?

### Para viajar mais nesse universo, sugerimos:

- Mudanças na duração do dia e aviso pelo choro da água: 5 fatos surpreendentes sobre terremotos. **BBC News**. 21 setembro 2017. Disponível em: <https://www.bbc.com/portuguese/internacional-41345426>. Acesso em: 22 out 2023.
- RIBEIRO, Fernando Brenha; MOLINA, Eder Cassola. **Ondas sísmicas e o interior da Terra**. Licenciatura em Ciências. USP/UNIVESP. Módulo 2. Disponível em: [https://www.iag.usp.br/~eder/EAD/apostilas/Geofisica\\_top04.pdf](https://www.iag.usp.br/~eder/EAD/apostilas/Geofisica_top04.pdf). Acesso em: 22 out 2023.
- Sísmica à reflexão. **EEG – Geofísica**. Disponível em: <https://eeg-geofisica.com.br/sismica-a-reflexao/>. Acesso em: 22 out 2023.

As paredes da caixa acústica do violão refletem as ondas sonoras que se propagam dentro dela quando as cordas são vibradas. Isso ocorre em vários modos de vibração, devido ao formato da caixa em oito. Vale lembrar que essas ondas sonoras interferem entre si, de modo que as sobreposições construtivas produzem aumento da intensidade sonora e, logo, do volume percebido por pessoas ouvintes.

Com as incríveis experiências de pessoas cegas ouvintes com a ecolocalização, aprendemos uma preciosa lição presente em toda a natureza: a adaptação. A sensibilidade de pessoas cegas ouvintes à audição, assim como de pessoas Surdas não cegas à visão, mostra como os limites do ser humano são plásticos e incalculáveis! A ecolocalização em animais e no ser humano é uma dentre tantas manifestações de nossa capacidade de autonomia, necessária à sobrevivência e ao bem viver.

No âmbito da Educação, essas habilidades devem ser exploradas para favorecer e potencializar o aprendizado nas mais diversas áreas do conhecimento. Em uma perspectiva de respeito e valorização da diversidade, é possível aprender grandes lições de vida e perseverança com pessoas Surdas e pessoas cegas. E uma das belezas dessa possibilidade está no fato de que a adaptação ocorre por meio das interações que seres vivos estabelecem com outros seres vivos e com o mundo, as quais são mediadas pelos sentidos e pelo que conhecemos como leis da Física.

Com isso em mente, retome a questão 16 do quadro **COMO SE JUSTIFÍCA – Investigando o violão** e do quadro **SITUAÇÃO-PROBLEMA**. Como você alteraria suas respostas com base nos conceitos físicos de eco e reverberação?

# Cordas sonoras



Fonte: <https://images.pexels.com/photos/936131/pexels-photo-936131.jpeg>

A figura acima mostra uma pessoa mexendo em uma das tarraxas de um violão, cuja função se relaciona a ajustes necessários à afinação do instrumento. Esses ajustes são fundamentais na construção de instrumentos musicais, sejam eles profissionais ou amadores, como o instrumento mostrado no vídeo a seguir. Vamos assistir.



**"Liberiano emociona em las redes com su guitarra de lata",** de "El Universal", disponível em: <https://youtu.be/1XEPTiDOA00>;

O vídeo registra Weesay Freeman, um liberiano em situação de rua que é cego, produzindo música com um violão construído por ele com um pedaço de madeira, três cordas e uma lata de tinta. Essa inspiradora atuação é um exemplo da habilidade que pessoas cegas podem desenvolver para produzir música com instrumentos, como é o exemplo do violão, um instrumento de corda.

Nesta unidade vamos estudar como a produção de ondas sonoras ocorre no violão. Para tanto, vamos retomar o vídeo a seguir, a que assistimos no volume 1.



**"Ondas mecânicas em cordas",** de "GIFs de Física", disponível em: <https://youtu.be/MF48-RWQYkY>.

A câmera registrou visualmente as ondas transversais que se propagam nas cordas quando elas são vibradas. Essas ondas provocam ondas longitudinais que se propagam no ar atmosférico, as ondas sonoras. Quando uma corda com as extremidades fixas é tensionada e vibrada, as ondas que se propagam através dela são sucessivamente refletidas nas extremidades, de modo que ocorrem interferências construtivas e destrutivas. Esse fenômeno é representado no vídeo a seguir, a que assistimos na unidade 14. Vamos assistir novamente.

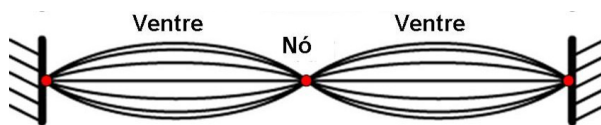


**"Interferência de ondas",** de "GIFs de Física", disponível em: <https://youtu.be/hfi0snlYVi4>.

Em ambos os vídeos há um registro visual do padrão representado na foto e na figura a seguir.



Fonte: AZEHEB Laboratório Educacionais [s.d.]



Fonte: <https://www.youtube.com/watch?v=jplFqvqW6V8>

Elas ilustram o padrão de interferência conhecido na Física como onda estacionária, que se forma em uma corda disposta horizontalmente e fixada pelas duas extremidades que vibra. Na figura, linhas cheias representam uma onda transversal que se propaga através da corda nos dois sentidos; para cada onda que se propaga a partir de uma extremidade, há outra refletida pela outra extremidade.

Ambas têm as seguintes características iguais: frequência, módulo de amplitude, direção de propagação e comprimento de onda. Mas, como se propagam em sentidos opostos, ocorre interferência totalmente destrutiva em alguns pontos, onde a amplitude e a velocidade são nulas. Esses pontos não vibram e são chamados de **nós**, **nodos** ou **pontos nodais**. As ondas estacionárias em cordas apresentam nós nas duas extremidades da corda. Os pontos onde ocorre interferência totalmente construtiva são chamados de **ventres**, **pontos ventrais**, **antinós** ou **antinodos**. Nesses pontos, que correspondem a cristas e vales, as ondas estacionárias têm amplitude máxima.

Vamos entender melhor como são as ondas estacionárias em cordas, assistindo aos vídeos a seguir.



“Tema 10 – Ondas numa corda | Experimentos – Corda vibrante”, de “Física Universitária”, disponível em: [https://youtu.be/0EFK\\_vZTpio](https://youtu.be/0EFK_vZTpio);



“Tema 10 – Ondas numa corda | Experimentos – Mola slinky ondas transversais”, de “Física Universitária”, disponível em: <https://youtu.be/YC6KzLuBOZY>.

As ondas sonoras produzidas a partir de cordas são possíveis somente em certas frequências. A frequência mais baixa possível produzida em uma corda é chamada de **frequência fundamental** ou **primeiro (1º) harmônico**. Em instrumentos musicais, ela está associada a um nota musical. Ela ocorre quando a corda oscila somente em um modo de vibração, em sua região central, de modo a apresentar apenas um ventre.



## COMO SE JUSTIFICA:

### Matematizando as ondas em cordas sonoras I

Quando a corda vibra em mais de um segmento, ocorrem outras frequências de vibração, múltiplas da frequência fundamental. Dessa forma, o 2º harmônico tem o dobro da frequência do 1º harmônico, o 3º harmônico tem o triplo da frequência do 1º harmônico e assim, sucessivamente. A fórmula a seguir expressa matematicamente esse padrão.

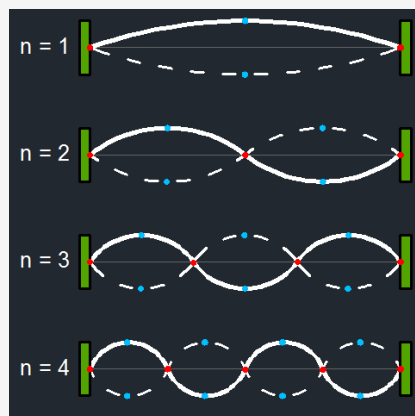
**Frequência em cordas sonoras:**

$$f_n = n f_1$$

$f_n$ : frequência do *n*ésimo harmônico da corda (Hz) ←  
 $n$ : número de ventres ou número do harmônico da corda  
 $f_1$ : frequência fundamental ou frequência do 1º harmônico da corda (Hz)

Observe a figura a seguir. Nela são representados quatro modos de vibração em uma corda, compreendendo 4 harmônicos. Os valores de *n* são números naturais que representam a quantidade de ventres ou o número do harmônico. No primeiro harmônico, ocorre um ventre, no segundo, dois, no terceiro, três e no quarto, quatro. Considerando *l* o valor do comprimento da corda, discuta e elabore hipóteses para responder as seguintes questões:

1. Qual a distância entre dois nós consecutivos?
2. Qual a distância entre dois ventres consecutivos?
3. Qual o comprimento de onda do 1º harmônico?
4. Qual o comprimento de onda do 2º harmônico?
5. Qual o comprimento de onda do 3º harmônico?
6. Qual o comprimento de onda do 4º harmônico?
7. Há um padrão matemático verificado nas respostas das questões 3 a 6?



Fonte: <https://commons.wikimedia.org/wiki/index.php?curid=44881593>

Por meio da figura anterior, é possível perceber matematicamente a fórmula a seguir.

**Fórmula do comprimento de onda em cordas:**

$$\lambda_n = \frac{2l}{n}$$

$\lambda_n$ : comprimento de onda do *n*ésimo harmônico da corda ←  
 $l$ : comprimento da corda (m)  
 $n$ : número de ventres formados ou número do harmônico da corda

**Para justificar mais, sugerimos:**

- SANTOS, E. M.; MOLINA, C.; TUFAILE, A. P. B. Violão e guitarra como ferramentas para o ensino de física. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 35, nº 2, 2013. Disponível em: <https://www.scielo.br/pdf/rbef/v35n2/27.pdf>. Acesso em: 22 out 2023.

Vamos desenvolver outra atividade de natureza matemática.



**COMO SE JUSTIFICA:**

**Matematizando as ondas em cordas sonoras II**

A seguir, vamos retomar expressões que estudamos anteriormente.

**Frequência em cordas sonoras:**

$$f_n = n f_1$$

$f_n$ : frequência do *n*ésimo harmônico da corda (Hz) ←  
 $n$ : número de ventres ou número do harmônico da corda  
 $f_1$ : frequência fundamental ou frequência do 1º harmônico da corda (Hz)

**Comprimento de onda em cordas sonoras:**

$$\lambda_n = \frac{2l}{n}$$

$\lambda_n$ : comprimento de onda do enésimo harmônico da corda       $l$ : comprimento da corda (m)      **2**  
 $n$ : número de ventres formados ou número do harmônico da corda

**Equação Geral da Ondulatória:**

$$v = \lambda \cdot f$$

$v$ : velocidade (m/s)       $f$ : frequência (Hz)      **3**  
 $\lambda$ : comprimento de onda (m)

Como já estudado, a fórmula (1) expressa matematicamente a frequência dos harmônicos em cordas vibrantes, as de um violão, por exemplo. A fórmula (2) expressa matematicamente o comprimento de onda dos harmônicos em uma corda vibrante. Por fim, a fórmula (3) é a Equação Geral da Ondulatória.

A partir dessas fórmulas, deduza matematicamente a fórmula a seguir.

**Frequência em cordas sonoras:**

$$f_n = \frac{nv}{2l}$$

$f_n$ : frequência do enésimo harmônico da corda (Hz)       $n$ : número de ventres formados ou número do harmônico da corda      **4**  
 $v$ : velocidade de propagação da onda na corda (m/s)  
 $l$ : comprimento da corda (m)

**Para justificar mais, sugerimos:**

- CAVALCANTE, Marisa Almeida; PEÇANHA, Renata; TEIXEIRA, Anderson de Castro. Ondas estacionárias em cordas e determinação da densidade linear de um fio. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 35, nº 3, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1806-11172013000300021>. Acesso em: 22 out 2023.

A acústica das cordas foi estudada experimentalmente pelo matemático e teórico musical francês Marin Mersenne e matematicamente pelo matemático britânico Brook Taylor. Taylor verificou que a velocidade de propagação da onda em uma corda depende da força com que a corda é tensionada, medida em newton (símbolo: **N**), e de sua densidade, medida em quilograma por metro cúbico (símbolo: **kg/m³**).

O vídeo a seguir discute experimentalmente o tema. Vamos conferir.



“Tema 07 – O que são ondas | Experimentos – Ondas em corda tensionada” de “Física Universitária”, disponível em: <https://youtu.be/qIXBnrSgpbQ>.



**COMO SE JUSTIFICA:**

**Matematizando as ondas em cordas sonoras III**

O valor da velocidade da onda em cordas pode ser calculado pela fórmula a seguir.

**Fórmula de Taylor:**

$$v = \sqrt{\frac{F}{\rho}}$$

$v$ : velocidade de propagação da onda na corda (m/s)       $F$ : força com que a corda é tensionada (N)       $\rho$ : densidade linear da corda (kg/m)

Para compreendermos melhor a propagação de ondas em cordas, utilizaremos como base o vídeo intitulado “Tema 07 – O que são ondas | Experimentos – Ondas em corda tensionada”, assistido anteriormente. Assim como as cordas de violão mostradas no vídeo, consideremos que determinada corda de um violão esteja tensionada com força de 60 N e que ela tenha densidade linear de 0,01 kg/m. Com base nesses dados calcularemos a velocidade de propagação da onda nessa corda.

$$v = \sqrt{\frac{60}{0,01}} \Rightarrow v = \sqrt{6000} \Rightarrow v = 77,46 \text{ m/s}$$

Portanto, a velocidade de propagação da onda nessa corda de violão é 77,46 m/s.

### Para justificar mais, sugerimos:

- CAVALCANTE, Marisa Almeida; PEÇANHA, Renata; TEIXEIRA, Anderson de Castro. Ondas estacionárias em cordas e determinação da densidade linear de um fio. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 35, nº 3, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1806-11172013000300021>. Acesso em: 22 out 2023.

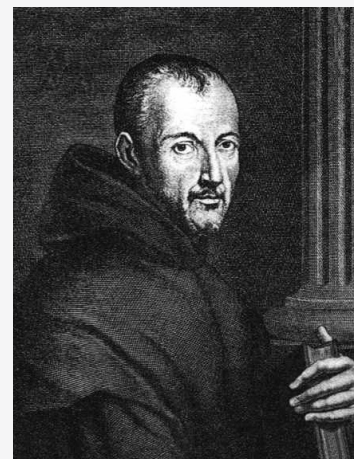


## HISTÓRIAS E TRAJETÓRIAS: Marin Mersenne e Brook Taylor

**Marin Mersenne** (Oizé, 1588 - Paris, 1648) foi um matemático, filósofo e teólogo francês reconhecido por estudar os números primos e tentar encontrar, sem sucesso, uma fórmula que os descrevesse. Ele também estudou vibração de cordas tensionadas e foi um pioneiro no estudo dos limites de frequências audíveis e da velocidade das ondas sonoras. Mersenne descobriu que a intensidade do som e da luz percebida por um elemento receptor é inversamente proporcional ao quadrado da distância entre ele e a fonte da onda. Ele também realizou outras contribuições para a ciência e música e foi fundamental para a divulgação científica no período em que viveu, realizando viagens pela Europa e se encontrando com grandes nomes da ciência da época, como Descartes, Girard Desargues, Pierre Fermat, Blaise Pascal, Galileu e Huygens. Somente no século XVIII, com influências da mecânica newtoniana, desenvolveram-se teorias matemáticas sobre o som.

Um grande responsável por esse desenvolvimento foi **Brook Taylor** (Londres, 1685 – Londres, 1731), matemático britânico e o primeiro a calcular a frequência fundamental de uma corda vibrante.

Vamos conhecer um pouco mais as trajetórias desses dois cientistas assistindo aos vídeos a seguir.



Fonte: <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=111592>



Fonte: <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:BTaylor.jpg>



“Mersenne – Legendado”, de “Eye Eye”, disponível em: <https://youtu.be/5GwOjQKibKE>;



“Mario Muñoz Arévalo”, de “Homenaje a Brook Taylor al 2018”, disponível em: <https://youtu.be/eDRywCs9mjU>.

No século XVIII, os cientistas buscaram resolver questões da mecânica e da astronomia para explicar fenômenos celestes e terrestres. Para isso, houve um grande aperfeiçoamento dos métodos matemáticos. Os intelectuais que viveram nesse século se inspiravam em René Descartes (1596-1650), filósofo e matemático francês que rompeu com as ideias de Aristóteles e propôs uma ciência unitária e universal, propiciando o método científico moderno em que a álgebra foi associada à geometria, originando a geometria analítica e o plano cartesiano. Assim, a Matemática foi fundamental para a sustentação dos ideais dos estudiosos da época, como Euler, que, em 1735, solucionou em três dias um problema de astronomia que demorou meses para ser resolvido utilizando recursos mais antigos. Taylor foi defensor da mecânica newtoniana e também contribuiu fortemente para a elaboração do Cálculo, tendo desenvolvido a chamada série de Taylor e estudado somas infinitas com resultados finitos. Ele desenvolveu o método das diferenças finitas, amplamente utilizado no século XVII, em um novo ramo da Matemática para o estudo de cordas vibrantes. Além disso, deduziu a Fórmula de Taylor, expressão analítica para determinação da frequência de vibração de cordas tensionadas em função do seu comprimento, tensão e densidade linear.

### Para conhecer mais essa trajetória, sugerimos:

- BOYER, Carl B. **História da Matemática**. São Paulo: Edgard Blücher LTDA, 1974.
- DIEDERICHSEN, Julieta. **Taylor, Brook (1685-1731)**. FEM Unicamp. Disponível em: <http://www.fem.unicamp.br/~em313/paginas/person/taylor.htm>. Acesso em: 22 out 2023.
- KARJALA, Rodney S. Marin Mersenne. **Father Marin Mersenne and the New Mathematical Approach during the Scientific Revolution of the 17th Century - Assignment Example**. Disponível em: <https://studentshare.org/history/1560038-mathematicians-and-history>. Acesso em: 22 out 2023.

Vamos assistir à animação gravada no vídeo a seguir.



“Simulação da transmissão de ondas em uma corda – fina para grossa”, de “Reginaldo Almeida dos Santos”, disponível em: [https://youtu.be/F\\_AYTZpJyp0](https://youtu.be/F_AYTZpJyp0).

Na animação, uma onda de cor vermelha se propaga através de uma corda fina, da esquerda para a direita. No último quarto do comprimento da corda, ela tem uma espessura maior. Quando a onda encontra o limite entre a parte fina e a parte grossa da corda, ocorrem simultaneamente duas ondas diferentes. Uma, de cor verde, propaga-se da direita para a esquerda na parte fina da corda; é uma onda refletida. A outra, de cor vermelha, propaga-se da esquerda para a direita na parte grossa; é uma onda refratada. O compri-

mento de onda e a amplitude da onda refletida são menores que essas características da onda refratada, que, por sua vez, são menores que as da onda original.

Como já discutimos, apesar de pessoas Surdas não terem acesso a sensações auditivas, isso não impossibilita que produzam ondas sonoras, tampouco que compreendam a perspectiva da Física sobre essas ondas e sobre os sons a elas associados. No caso do violão, a Física estuda vários fenômenos ondulatórios que já estudamos ao longo deste *e-book*: ressonância, reflexão na forma de reverberação, difração e interferência. Esta última ocorre nas ondas sonoras dentro da caixa acústica e nas cordas, onde começa todo o processo. Vamos recordar.

O tensionamento das cordas pela força humana gera ondas transversais que se propagam nas cordas com velocidade possível de ser calculada pela Fórmula de Taylor. Essa fórmula nos diz que, quanto maior a força com que as cordas são tensionadas, maior a velocidade de propagação dessas ondas e maior sua frequência. Assim, o tensionamento das cordas determina a afinação do violão, que está diretamente relacionada à frequência. O ar atmosférico em volta das cordas entra em ressonância com essa frequência, produzindo as ondas sonoras, que chegam às orelhas das pessoas ouvintes, desencadeando a percepção auditiva das notas musicais.

Essa percepção é inacessível para pessoas Surdas, mas todo o processo físico que envolve as ondas e seus diversos fenômenos podem ser apreendidos por pessoas Surdas não cegas mediante os variados recursos visuais que o estudo da Física oferece por meio das Tecnologias Digitais da Informação e da Comunicação. No que se refere a esta unidade, a novidade está no aprofundamento do estudo das ondas estacionárias, as quais são uma manifestação do fenômeno da interferência, já estudado neste volume.

Agora retome a questão 17 do quadro **COMO SE JUSTIFÍCA – Investigando o violão** e do quadro **SITUAÇÃO-PROBLEMA**. Como você alteraria suas respostas com base na Fórmula de Taylor e na Equação Geral da Ondulatória?

# Tubos sonoros

A figura ao lado é uma foto de um habilidoso músico indígena tocando simultaneamente um violão e uma flauta de pan. As ondas produzidas nesses dois instrumentos musicais têm semelhanças e diferenças que podemos identificar a partir do estudo feito na unidade anterior, e comparando com o estudo que faremos na presente unidade.

Vamos começá-lo assistindo aos vídeos a seguir.



“MOTHER EARTH Wuauquikuna (Official MusicVideo)”, de “Wuauquikuna Official”, disponível em: <https://youtu.be/cPh3Rm9laJM>;



“Professor ensina música para cegos e surdos”, de “Sons do silêncio”, disponível em: <https://youtu.be/r39QuJoGfV4>.



Fonte: <https://www.pexels.com/pt-br/foto/etnico-violao-homem-musica-6535813/>

No primeiro vídeo, os irmãos equatorianos Luis e Fabian Salazar tocam dois tipos de flauta, a flauta doce e a flauta de pan. O segundo vídeo registra o trabalho do músico e pedagogo Carlos Alberto Alves com o ensino de instrumentos musicais a pessoas cegas e pessoas Surdas. Dentre eles, estão instrumentos de sopro, que se caracterizam pela produção de ondas sonoras pela vibração de uma coluna de ar presente nos **tubos sonoros**, que são classificados como abertos e fechados.

Os **tubos sonoros abertos** são instrumentos musicais com as duas extremidades abertas, sendo uma delas a **embocadura**, por onde é introduzido o ar. A flauta doce é um exemplo de tubo sonoro aberto. Os **tubos sonoros fechados** são instrumentos musicais de sopro com uma extremidade fechada e outra extremidade aberta, a embocadura. A flauta de pan é um exemplo de tubo sonoro fechado.

Assim como nas cordas sonoras, a Física faz o estudo da Acústica em tubos sonoros. Vamos começar esse estudo realizando um experimento com um tubo aberto.



## EXPERIENCIANDO: Conduíte sonoro

### Materiais:



Fontes: Tyler Lastovich no Pexels; Internet

## Procedimentos:

1. Baixe em um celular um aplicativo para medição de frequência sonora e acesse-o.
2. Gire, no ar, um pedaço de, aproximadamente, 1 m de conduíte.
3. Verifique a medição de frequência feita pelo aplicativo e, se você é ouvinte, também observe auditivamente.
4. Segure o conduíte em outro ponto, de modo a diminuir o comprimento da extremidade livre.
5. Repita os procedimentos 2 e 3.

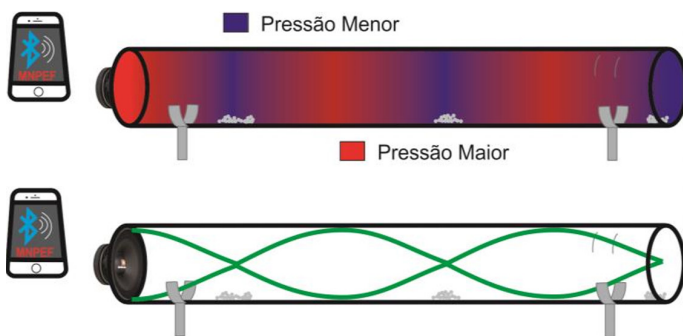
Quais foram os resultados? Que hipóteses você pode elaborar para explicar o fenômeno ocorrido?

Nos tubos sonoros, quando uma corrente de ar é dirigida para seu interior através da embocadura, a coluna de ar dentro do tubo vibra em ressonância com a frequência fundamental do tubo, formando-se ondas longitudinais, chamadas **ondas de pressão**. Fora do tubo, essas ondas provocam ondas longitudinais no ambiente, as ondas sonoras.

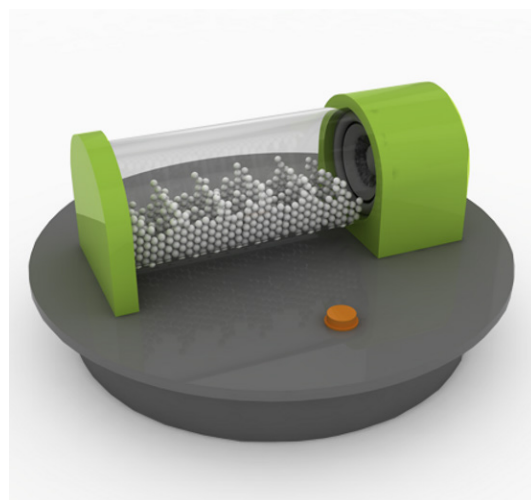
Dentro do tubo, as ondas de pressão fazem as partículas de ar se deslocarem perpendicularmente a elas, formando-se as chamadas **ondas de deslocamento**. Essas ondas sofrem reflexão nas extremidades do tubo e interferência, dando origem a ondas estacionárias.

As ondas de deslocamento são registradas visualmente em um aparato experimental conhecido como **tubo de Kundt**. Trata-se de um tubo sonoro fechado transparente em cujo interior há um material de baixa densidade, como pó de cortiça ou partículas de isopor. Com a formação de ondas de pressão provocadas por uma fonte de ondas sonoras, esse material permite a visualização da formação de ondas estacionárias.

A figura abaixo esquematiza a correspondência entre ondas de pressão e ondas de deslocamento em um tubo de Kundt.



Fonte: <https://bit.ly/3BrzOVR>



Fonte: <https://www.mbacultural.com.br/tubo-de-kundt>

Na figura, dois tubos idênticos estão desenhados um acima do outro. No tubo de cima, as ondas de pressão foram representadas com cores: as regiões de compressão (máxima pressão) estão representadas por faixas verticais mais estreitas, e as regiões de rarefação (mínima pressão), por faixas verticais mais largas.

Nas regiões de pressão ocorre o acúmulo das partículas de cortiça na parte inferior do tubo. No tubo de baixo, aparece uma onda estacionária cujos nós e ventres estão alinhados.

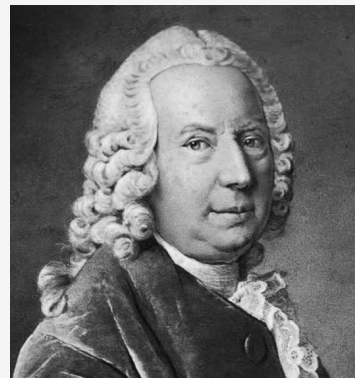
dos, respectivamente, com as regiões de compressão e rarefação do tubo de cima. A comparação visual dos dois tubos indica que, quando a variação de pressão da onda de pressão é máxima, o deslocamento das ondas de deslocamento é mínimo (pontos de nó da onda estacionária), e onde a variação de pressão da onda de pressão é mínima, o deslocamento das ondas de deslocamento é máximo (regiões de ventre da onda estacionária).

Com isso em mente, façamos o seguinte exercício mental: Imaginemos uma pessoa ouvinte dentro de um grande tubo de Kundt em funcionamento. Elabore hipóteses sobre quais são os pontos do tubo onde essa pessoa não conseguiria ouvir o som.



## HISTÓRIAS E TRAJETÓRIAS: Daniel Bernoulli

Cerca de meio século após a morte de Bernoulli, o físico alemão **August Adolph Eduard Eberhard Kundt** (Schwerin, 1839 – Israelsdorf, 1894) desenvolveu pesquisas sobre a luz e o som. Ele determinou a velocidade de ondas sonoras em vários gases e investigou os problemas de dispersão anômala da luz por líquidos, vapores e filmes finos de metal.



Fonte: <https://www.aif.it/fisico/daniel-bernoulli/>

O tubo de Kundt foi o experimento mais famoso realizado por ele em relação às ondas sonoras, em que teve como objetivo estudar ondas estacionárias e, posteriormente, a velocidade de ondas sonoras em diferentes gases. Vamos conhecer esse método matemático assistindo ao vídeo a seguir.



"Class 11 Physics | Stationary Waves and Beats | #40 Kundt's Tube | For JEE & NEET", de "Physics Galaxy", disponível em: <https://youtu.be/GteaViKVtYo>.

### Para conhecer mais essas trajetórias, sugerimos:

- AUGUST Kundt (1839–1894). **Nature**, [s. l.], v. 144, n. 3655, p. 861-861, nov. 1939. Springer Science and Business Media LLC. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/144861a0>. Acesso em: 22 out. 2023.
- Daniel Bernoulli (1700-1782). **E-cálculo IFUSP**. Disponível em: <http://ecalculo.if.usp.br/historia/bernoulli3.htm>. Acesso em: 22 out. 2023.
- SANTOS, Robert Simão dos; CAMARGO FILHO, Paulo Sérgio de; ROCHA, Zenaide de Fátima Dante Correia. Descobertas sobre a teoria do som: a história dos padrões de Chladni e sua contribuição para o campo da acústica. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 40, nº 2, e2602, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1806-9126-RBEF-2017-0248>. Acesso em: 22 out. 2023.

Assim como nas cordas sonoras, as ondas sonoras produzidas a partir de tubos sonoros são possíveis somente em certas frequências. A frequência mais baixa possível produzida em tubos também é chamada de frequência fundamental ou 1º harmônico.



## COMO SE JUSTIFICA:

### Matematizando as ondas em cordas sonoras I

Nas figuras ao lado, são representados quatro modos de vibração em um tubo aberto, à esquerda, e em um tubo fechado, à direita, compreendendo 4 harmônicos cada. Os valores de  $n$  são números naturais que representam o número do harmônico. No tubo aberto, figura de cima,  $n$  admite os valores 1, 2, 3 e 4, de modo que, no primeiro harmônico ocorre um ventre, no segundo, dois, no terceiro, três e no quarto, quatro. No tubo fechado, figura de baixo,  $n$  admite os valores 1, 3, 5 e 7, e no primeiro harmônico ocorre meio ventre, no segundo, um ventre e meio, no terceiro, dois ventres e meio, e no quarto, três ventres e meio.

Considerando  $l$  o valor do comprimento dos tubos, discuta e elabore hipóteses para responder as seguintes questões:

- 1) Qual a distância entre dois nós consecutivos em um tubo aberto? E em um tubo fechado?
- 2) Qual a distância entre dois ventres consecutivos em um tubo aberto? E em um tubo fechado?
- 3) Qual o comprimento de onda do 1º harmônico em um tubo aberto? E em um tubo fechado?
- 4) Qual o comprimento de onda do 2º harmônico em um tubo aberto? E em um tubo fechado?
- 5) Qual o comprimento de onda do 3º harmônico em um tubo aberto? E em um tubo fechado?
- 6) Qual o comprimento de onda do 4º harmônico em um tubo aberto? E em um tubo fechado?
- 7) Há um padrão matemático verificado nas respostas das questões 3 a 6 para tubos abertos? E para tubos fechados?

Nos tubos sonoros abertos, as ondas estacionárias se configuram de tal forma que ocorrem ventres nas duas extremidades. A consequência disso é que, da mesma forma que nas cordas, nos tubos abertos, as frequências de vibração são múltiplas da frequência fundamental. Assim, temos a fórmula seguinte.

#### Fórmula da frequência em tubos abertos

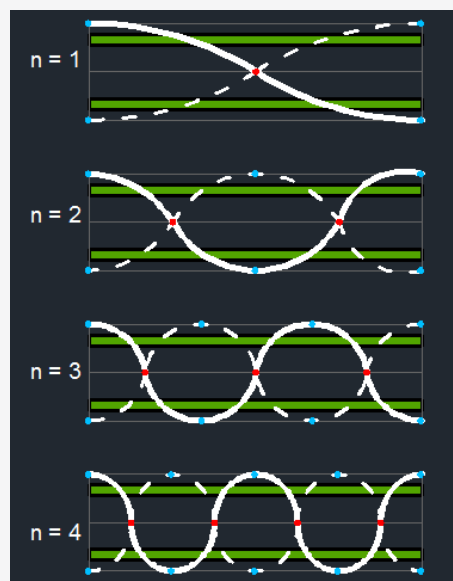
$f_n$ : frequência do  $n$ ésimo harmônico do tubo aberto (Hz)

$$f_n = n f_1$$

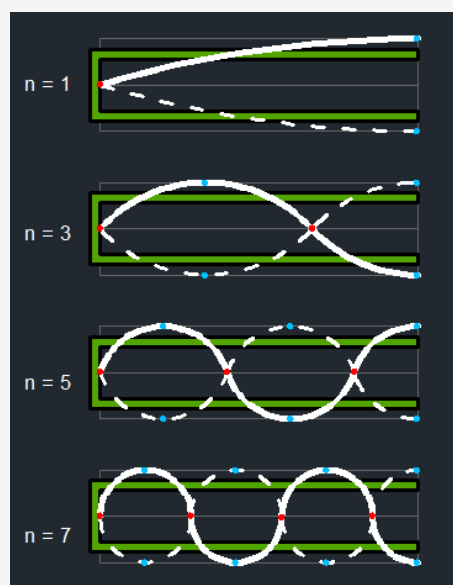
$n$ : número de ventres formados ou número do harmônico do tubo aberto

$f_1$ : frequência fundamental ou frequência do 1º harmônico do tubo aberto (Hz)

1



Fontes: <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=44881865>;



Fontes: <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=44882173>.

No entanto, nos tubos fechados, ocorre ventre na embocadura e nó na extremidade fechada, por isso, neles é possível produzir somente harmônicos de frequências ímpares. Então a fórmula da frequência em tubos fechados tem uma configuração matemática diferente, conforme indicado a seguir.

**Fórmula da frequência em tubos fechados:**

$$f_{2n-1} = (2n-1) \cdot f_1$$

$f_{2n-1}$ : frequência do harmônico de número  $2n-1$  do tubo fechado (Hz)       $2n-1$ : número do harmônico do tubo fechado  
 $f_1$ : frequência fundamental ou frequência do 1º harmônico do tubo fechado (Hz)       $n$ : número de nós formados no tubo fechado

Por meio das imagens acima é possível perceber matematicamente as fórmulas a seguir.

**Fórmula do comprimento de onda em tubos abertos:**

$$\lambda_n = \frac{2l}{n}$$

$\lambda_n$ : comprimento de onda do  $n$ ésimo harmônico do tubo aberto (m)       $l$ : comprimento do tubo aberto (m)  
 $n$ : número de nós ou número do harmônico do tubo aberto

**Fórmula do comprimento de onda em tubos fechados:**

$$\lambda_{2n-1} = \frac{4l}{2n-1}$$

$\lambda_{2n-1}$ : comprimento de onda do harmônico de número  $2n-1$  do tubo fechado (m)       $l$ : comprimento do tubo fechado (m)  
 $n$ : número de nós formados no tubo fechado

Por meio das imagens acima é possível perceber matematicamente as fórmulas a seguir.

**Para justificar mais, sugerimos:**

- SILVA, Douglas Krüger da. **A física e os instrumentos musicais construindo significados em uma aula de acústica**. 2017. 147 p. Dissertação (Mestrado em Ensino de Física) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2017. Disponível em: <https://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/174341>. Acesso em: 22 out. 2023.

Agora vamos desenvolver outra atividade de natureza matemática.



**COMO SE JUSTIFICA:**

**Matematizando as ondas em cordas sonoras II**

A seguir, vamos retomar expressões que estudamos anteriormente.

**Frequência em tubos abertos e tubos fechados, respectivamente:**

$$f_n = n f_1$$

$f_n$ : frequência do  $n$ ésimo harmônico do tubo aberto (Hz)       $n$ : número de ventres formados ou número do harmônico do tubo aberto  
 $f_1$ : frequência fundamental ou frequência do 1º harmônico do tubo aberto (Hz)

$$f_{2n-1} = (2n-1) \cdot f_1$$

$f_{2n-1}$ : frequência do harmônico de número  $2n-1$  do tubo fechado (Hz)       $2n-1$ : número do harmônico do tubo fechado  
 $f_1$ : frequência fundamental ou frequência do 1º harmônico do tubo fechado (Hz)  
 $n$ : número de nós formados no tubo fechado

**Comprimento de onda em tubos abertos e tubos fechados, respectivamente:**

$$\lambda_n = \frac{2l}{n}$$

$\lambda_n$ : comprimento de onda do enésimo harmônico do tubo aberto (m)       $l$ : comprimento do tubo aberto (m)  
 $n$ : número de nós ou número do harmônico do tubo aberto

$$\lambda_{2n-1} = \frac{4l}{2n-1}$$

$\lambda_{2n-1}$ : comprimento de onda do harmônico de número  $2n-1$  do tubo fechado (m)       $l$ : comprimento do tubo fechado (m)  
 $n$ : número de nós formados no tubo fechado

**Equação Geral da Ondulatória:**

$$v = \lambda \cdot f$$

$v$ : velocidade (m/s)       $f$ : frequência (Hz)  
 $\lambda$ : comprimento de onda (m)

Como já estudado, as duas primeiras fórmulas acima, expressam matematicamente a frequência dos harmônicos em tubos abertos e em tubos abertos, respectivamente. A terceira e quarta fórmulas expressam matematicamente o comprimento de onda dos harmônicos em tubos abertos e em tubos fechados, respectivamente. Por fim, a quinta fórmula é a Equação Geral da Ondulatória.

A partir dessas fórmulas, deduza matematicamente outras duas fórmulas:

**Fórmula da frequência em tubos abertos:**

$$f_n = \frac{nv}{2l}$$

$f_n$ : frequência do enésimo harmônico do tubo (Hz)       $n$ : número do harmônico do tubo (número de ventres no tubo aberto, e de nós no tubo fechado)  
 $v$ : velocidade de propagação da onda no tubo (m/s)  
 $l$ : comprimento do tubo (m)

**Fórmula da frequência em tubos fechados:**

$$f_n = (2n-1) \cdot \frac{v}{4l}$$

$f_n$ : frequência do enésimo harmônico do tubo (Hz)       $v$ : velocidade de propagação da onda no tubo (m/s)  
 $l$ : comprimento do tubo (m)  
 $n$ : número de nós formados no tubo fechado

**Para justificar mais, sugerimos:**

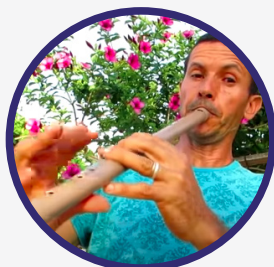
- NUNES, Raimundo Héllison Giló. **Uma proposta didática de ensino de ondas auxiliada pela construção de um tubo de Kundt**. 2019. 113 p. Dissertação (Mestrado em Ensino de Física) – Universidade Federal do Semi-Árido, Mossoró, 2019. Disponível em: <https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/174341/001062142.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 22 out. 2023.

Após este estudo matemático, revise suas respostas ao quadro EXPERIENCIANDO anterior. Como elas poderiam ser justificadas matematicamente?



## EXPERIENCIANDO: Construindo uma flauta doce e uma flauta de pan

### Materiais:



Fontes: <https://youtu.be/9IAH7tmG1Yg>; <https://youtu.be/sRK8BbifJaM>

### Procedimentos:

É possível confeccionar uma grande diversidade de instrumentos musicais com materiais de baixo custo, dentre eles, a flauta doce e flauta de pan. Para saber como, assista aos vídeos a seguir.



“Como fazer uma flauta doce tenore em D tipo low whistle”, de “Musicalizando pais e filhos!!!”, disponível em: <https://youtu.be/9IAH7tmG1Yg>;



“Como fazer uma flauta de pã com tubos de PVC de 20 mm”, de “Musicalizando pais e filhos!!!”, disponível em: <https://youtu.be/sRK8BbifJaM>.

Como já discutimos na unidade anterior, a surdez de uma pessoa não impede que ela produza música com instrumentos musicais. Mais que isso, no vídeo a que assistimos no início desta unidade, o professor de música Carlos Alberto Alves enfatizou que, ao contrário do que algumas pessoas pensam, os instrumentos de sopro também podem ser tocados por pessoas Surdas. Assim como no caso do violão, elas não têm acesso a sensações auditivas associadas aos tubos sonoros, mas podem com eles produzir ondas sonoras e compreendê-las segundo o estudo da Acústica.

Também nos tubos sonoros, estão envolvidos vários fenômenos ondulatórios, como a ressonância, a reflexão, a difração e a interferência, que é responsável pelas ondas estacionárias. A diferença para as cordas sonoras está na produção de ondas de pressão pelas correntes de fluido introduzidas no tubo. Essas ondas geram as ondas de deslocamento das partículas de fluido no interior do tubo, que são refletidas pela extremidade oposta à embocadura, causando interferência que se manifesta na forma de ondas estacionárias. Tal como nas cordas sonoras, a compreensão desse processo independe da audição, e é favorecida para pessoas Surdas não cegas mediante o uso de recursos visuais das Tecnologias Digitais da Informação e da Comunicação.

Com isso em mente, retome a questão 18 do quadro **COMO SE JUSTIFÍCA – Investigando o violão** e do quadro **SITUAÇÃO-PROBLEMA**. Como você alteraria suas respostas com base no estudo que fizemos sobre a física dos instrumentos musicais em formato de tubo?

# Derradeiras reflexões sobre a situação-problema

Retomemos o título da obra da qual este volume faz parte: “A Física e os sons que (não) estão à nossa volta”. À volta de quem? Eles estão ou não estão? De fato, podemos pensar que os sons têm existência própria, isto é, não dependem de seres capazes de interpretá-los como tal. Contudo, nossa abordagem buscou considerar o papel do ser cognoscente que responde a essas perguntas. Assim, a compreensão desse conceito depende do ser de quem estamos falando e de como ele pode interagir com o mundo de modo a formar as memórias sensoriais e pensamentos que sustentam o conceito. Com esse pensamento, vamos fazer algumas derradeiras reflexões sobre a situação-problema que introduz o volume, começando com o quadro a seguir.



## UNIVERSOS DIVERSOS: Som e educação de pessoas Surdas II



Fontes: <http://www.blogvendovozes.com/2011/01/lingua-de-sinais-para-bebes.html>; <https://www.ebay.com/itm/285109815500>

Nas fotos acima estão registradas em selos um sinal originário da Língua de Sinais Americana, que significa “I love you”, “eu te amo” na tradução para a Língua Portuguesa. Esses selos chamam atenção para o desenvolvimento de língua de sinais por crianças Surdas. O filme “Sou surda e não sabia”, dirigido por Igor Ochronowicz, relata a história da protagonista Surda francesa Sandrine Hermanse. Ela conta, em língua de sinais francesa, um pouco das muitas dificuldades que enfrentou desde sua infância por ser Surda numa sociedade majoritariamente ouvinte. Vamos conferir.



“Sou surda e não sabia”, disponível em: <https://youtu.be/obUemeDJgcl>.

Esse filme nos ajuda a refletir sobre a necessidade de promover o respeito e a valorização das diferenças que as pessoas Surdas têm em relação às pessoas ouvintes. Dentre as ações necessárias nesse sentido, está a importância da disseminação da língua sinais para a comunicação no cotidiano, no trabalho, nos ambientes educacionais, nas festas, enfim, em todas as esferas de participação do ser humano na sociedade. Como ficou evidente no filme, a falta de mobilização nesse sentido ocasiona grande sofrimento às pessoas Surdas desde sua infância, período crucial para seu desenvolvimento motor, cognitivo e emocional. Tanto quanto as pessoas ouvintes, as crianças Surdas têm necessidades de manifestações de afeto e atenção para ter

um desenvolvimento sólido de sua humanidade. O papel da família e das instituições educacionais é fundamental nesse sentido. Diante disso, podemos levantar uma última pergunta para reflexão:

1. Como profissionais da Educação, em formação inicial e continuada, devem atuar para promover uma ampla inclusão de pessoas Surdas nos ambientes educacionais e na sociedade em geral?
2. O que profissionais da Educação que atuam com ensino de Física devem fazer no que se refere ao ensino de Acústica numa perspectiva inclusiva para pessoas Surdas?

### Para viajar mais nesse universo, sugerimos:

- LACERDA, Cristina B. F. de. Um pouco da história das diferentes abordagens na educação dos surdos. **Caderno CEDES**, Campinas, v. 19, nº 46, p. 68-80, setembro, 1998. Disponível em: [http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0101-32621998000300007&lng=en&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0101-32621998000300007&lng=en&nrm=iso). Acesso em: 22 out. 2023.
- STUMPF, Marianne. Práticas de Bilingüismo - Relato de Experiência. **ETD - Educação Temática Digital**, Campinas, v. 7, nº 2, p. 285-294, junho de 2006. Disponível em: [https://brapci.inf.br/\\_repositorio/2009/10/pdf\\_7766f31db3\\_0006537.pdf](https://brapci.inf.br/_repositorio/2009/10/pdf_7766f31db3_0006537.pdf). Acesso em: 22 out. 2023.

Na Grécia Antiga, Aristóteles mencionou que aquele que não fosse capaz de falar também era incapaz de pensar, mas Skliar (1997) trouxe uma nova proposta de perspectiva acerca das pessoas Surdas. Ela se baseia em uma oposição à perspectiva da normalidade social, que classifica alguns grupos de pessoas como anormais, rotulando-os de deficientes. Nessa perspectiva, uma das características do padrão é ouvir, logo, quem não ouve é inferiorizado.

Em uma perspectiva inclusiva, que valoriza a diversidade das pessoas e suas culturas, é preciso pensar nas pessoas Surdas não como seres possuidores de um problema, um par de orelhas não funcionais ambulante, mas como pessoas possuidoras de capacidade e intelecto como qualquer ouvinte. Para além do respeito, está a valorização. Essas pessoas são grandes protagonistas de uma língua e cultura muito ricas, sobre as quais as pessoas ouvintes têm muito a aprender.

Ou podemos pensar que o que existe independentemente de seres ouvintes são as perturbações no espaço material que geram sucessivas oscilações periódicas fazendo com que a matéria presente nesse espaço entre em ressonância. Podemos também pensar que isso só é interpretado como som propriamente dito por seres ouvintes capazes de formulá-los cognitivamente como tal.

Nessa discussão, um fato é inegável: as pessoas Surdas profundas têm uma condição física diversa que lhes impede de ouvir e, em geral ficam alheias às informações interpretadas pelas ouvintes por meio da audição. Inúmeras situações que vivenciamos do dia-a-dia se desenrolam mediadas por essas informações, como na situação de colisão cuja notícia foi apresentada no início do volume 1. O pedestre Surdo soube que ocorreu uma colisão apenas após ver a movimentação das pessoas. Mas e se ele fosse surdocego, como seria?

Assim, ocorrências diárias que são corriqueiras para pessoas ouvintes se constituem situações-problema para pessoas Surdas. O que pode ser feito a respeito?

Apesar de não ouvirem, ao longo da história e ainda hoje, pessoas Surdas aprendem a fazer leitura labial e passam por processos de oralização, para se comunicarem oralmente com pessoas que não utilizam língua de sinais. Entendemos que a decisão de passar ou não por esses processos cabe às próprias pessoas Surdas, e não às ouvintes, numa tentativa de enquadrá-los no padrão majoritário da sociedade que se comunica oralmente.

Nesse sentido, é preciso entender que as pessoas Surdas não são pares de orelhas não funcionais ambulantes! Isso significa que essas pessoas devem ser tratadas e valorizadas como seres humanos, como quaisquer outros, em toda sua diversidade, em tantos aspectos, diferentes da cultura ouvinte. Significa também entender que elas são tão capazes quanto pessoas ouvintes de desempenhar diversas atividades, inclusive aquelas relacionadas a música, como dançar e tocar um instrumento musical.

Pensemos em uma ação inclusiva que pode ser realizada pelas pessoas ouvintes: o aprendizado da língua de sinais, a língua materna das pessoas Surdas. À medida que se apropriar da língua de sinais e de conhecimentos a respeito da Cultura Surda, certamente as pessoas ouvintes estarão cada vez mais capacitadas a interagir socialmente com as Surdas e, assim, contribuir para diminuir a negligência social sofrida por estas. E com elas, as pessoas ouvintes têm muito a aprender.

Agora retome a questão 19 do quadro **COMO SE JUSTIFÍCA – Investigando o violão** e do quadro **SITUAÇÃO-PROBLEMA**. Após os estudos que fizemos ao longo dos três volumes desta obra, como você alteraria suas respostas?

Encerramos este volume com um recado da criança Surda Fiorella, ao receber de presente uma camiseta da marca-conceito “Muda”. Vamos conferir.



“Nova camisa - Veste Muda”, de “O Diário de Fiorella”, disponível em: <https://youtu.be/duTnuwvzAvo>.



# Conceituário ilustrado de Física

## (o que estamos chamando de...)

**Ângulo de incidência:** Inclinação de um raio de onda incidente em uma superfície, medido a partir da normal à superfície.

**Exemplo:** Na figura abaixo,  $i$  representa o ângulo de incidência do raio de onda que incide sobre a superfície horizontal, ângulo este medido a partir da normal à superfície.

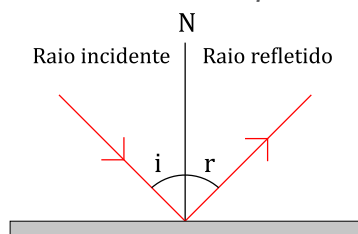


Figura 01

**Ângulo de reflexão:** Inclinação de um raio de onda refletida por uma superfície, medido a partir da normal à superfície.

**Exemplo:** Na figura 01,  $r$  representa o ângulo de reflexão do raio de onda refletida pela superfície horizontal, ângulo este medido a partir da normal à superfície.

**Antinó:** Ponto vibrante das cristas ou dos vales de ondas estacionárias que sofre interferência construtiva. Antinodo. Ponto ventral. Ventre.

**Exemplo:** A figura 02 representa uma corda de violão, que, ao ser vibrada, forma desenhos em que se nota a presença de regiões sem cruzamento de ondas, os antinós.

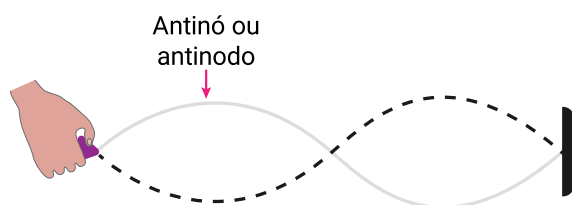


Figura 02

**Antinodo:** Ponto vibrante das cristas ou dos vales de ondas estacionárias que sofre interferência construtiva. Antinó. Ponto ventral. Ventre.

**Batimento:** Resultado sonoro das interferências construtivas e destrutivas de duas ondas sonoras com frequências diferentes mas muito próximas e menores que 15 Hz, em que elas ficam em fase e em oposição de fase, de modo que ocorrem aumento e diminuição alternada na intensidade sonora do som devido à onda resultante.

**Exemplo:** Profissionais da música utilizam diapasão para afinar seus instrumentos musicais, prestando atenção até que não ouçam nenhum batimento, o que indica que a afinação foi alcançada.

**Biossonar:** Sonar biológico que alguns animais possuem, como morcegos e golfinhos.

**Exemplo:** O morcego utiliza seu biossonar para realizar ecolocalização

**Casamento de impedância:** Adaptação entre as resistências à passagem de vibração de diferentes meios, de modo a maximizar a transmissão da energia acústica.

**Exemplo:** O casamento de impedância entre o meio aéreo e a cóclea humana é essencial para uma boa transmissão sonora no processo de audição em pessoas ouvintes.

**Coefficiente de reflexão de onda sonora:** Grandeza adimensional que expressa matematicamente a porcentagem da energia da onda sonora refletida em relação à transmitida.

**Exemplo:** O coeficiente de reflexão de ondas sonoras das paredes do teatro mineiro Cine Theatro Brasil Vallourec é próximo de 1, enquanto o mesmo coeficiente de instalações abertas como torres é nulo.



Fonte: Divulgação Sou BH

**Concordância de fase (ondas em):** Situação em que coincidem as cristas entre si (ou os vales entre si) de duas ondas transversais ou as regiões de compressão entre si (ou regiões de rarefação entre si) de duas ondas longitudinais. Fase (ondas em).

**Exemplo:** Na figura 03, as ondas estão em concordância de fase, pois suas cristas coincidem entre si e, logo, seus vales também coincidem entre si.

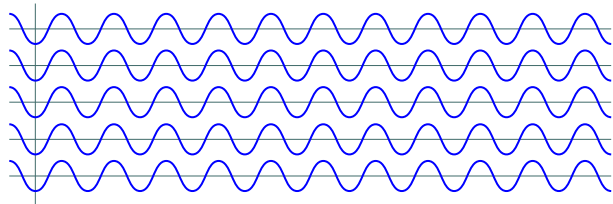


Figura 03

**Crusta terrestre:** Camada mais externa do planeta Terra, constituída predominantemente por granito e basalto, com espessura entre 5 e 70 km.

**Exemplo:** A crosta terrestre é mais fria que o manto e o núcleo terrestres.

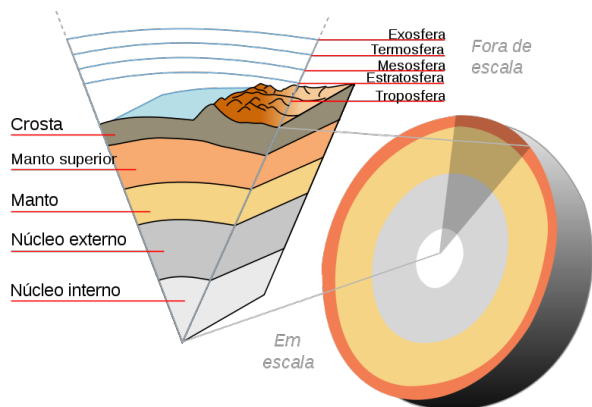


Figura 04

**Diapasão:** Objeto usado para afinar instrumentos musicais, constituído de duas hastes metálicas, que, vibradas, emitem um som com frequência de 440 Hz, a nota musical lá.

**Exemplo:** Profissionais da música utilizam diapasão para afinar seus instrumentos musicais.

**Difração:** Fenômeno ondulatório em que uma onda transpõe um obstáculo, causando uma aparente flexão e um aparente espalhamento.

**Exemplo:** Ao atingir uma barreira, as ondas realizam difração, transpondo-a e saindo do outro lado com aparência curvilínea.

**Eco:** Fenômeno ondulatório de reflexão que ocorre com ondas sonoras, gerando a sensação auditiva de repetição do som.

**Exemplo:** Ao gritarmos frente a montanhas, as ondas sonoras são por elas refletidas na forma de eco, permitindo a audição da mesma palavra por ouvintes repetidas vezes.

**Ecolocalização:** Mecanismo de orientação da localização e locomoção em que ondas ultrassônicas são emitidas, sofrem eco ao atingirem obstáculos e são captadas novamente pelo emissor.

**Exemplo:** O sonar de um navio emite ondas ultrassônicas que encontram um submarino, sendo por ele refletidas de volta para o navio, permitindo a identificação do obstáculo.

**Efeito Doppler-Fizeau:** Fenômeno de alteração na frequência de uma onda captada por um receptor devida a um movimento relativo entre ele e a fonte da onda, sendo alteração de aumento, quando o movimento relativo é de aproximação, e alteração de redução quando o movimento relativo é de afastamento.

**Exemplo:** A figura a seguir representa uma ambulância dirigindo-se para a direita e emitindo ondas sonoras, de modo que as frentes de onda ficam mais comprimidas e, logo, com comprimento de onda menor.

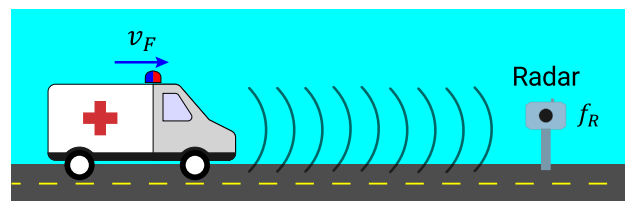


Figura 05

**Elongação:** Posição de um ponto ou corpo em relação a uma posição de equilíbrio.

**Exemplo:** Na figura 03, as senoides estão em concordância de fase, pois a elongação de cada uma ocorre do mesmo lado do eixo de equilíbrio, a parte de cima do eixo.

**Epicentro:** Ponto da superfície da Terra verticalmente acima do hipocentro de um terremoto.

**Exemplo:** As regiões ao redor do epicentro de um terremoto geralmente são mais afetadas pelo abalo.

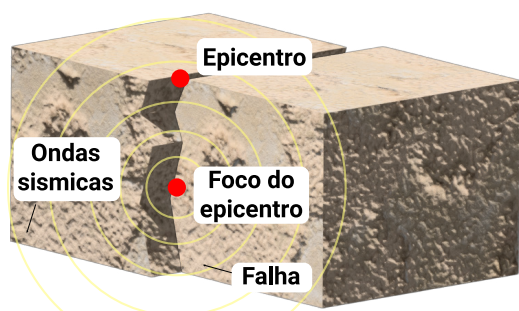


Figura 06

**Escala de magnitude local:** Escala logarítmica de base 10 utilizada na medição da magnitude de abalos sísmicos. Escala de Richter.

**Exemplo:** A magnitude dos abalos sísmicos é medida na escala de magnitude local por sismógrafos.

**Escala de Richter:** Escala logarítmica de base 10 utilizada na medição da magnitude de abalos sísmicos. Escala de magnitude local.

**Exemplo:** A magnitude dos abalos sísmicos é medida na escala de magnitude local por sismógrafos.

**Estridulação:** Som agudo e estridente produzido por alguns insetos ao atritarem suas estruturas quitinosas.

**Exemplo:** A mariposa emite ondas por meio de estridulação, vibrando escamas especializadas em sua genitália.

**Falha geológica:** Descontinuidade em superfícies da Terra e rochas devida à forças tectônicas que superam a resistência das rochas.

**Exemplo:** As falhas geológicas são ocasionadas de deslocamentos dos blocos de rocha opostos entre si relativamente a elas.

**Fase:** Localização de um pulso relativamente a uma posição de equilíbrio.

**Exemplo:** Na figura a seguir, a letra grega  $\theta$  (teta; lê-se "téta") representa a diferença de fase entre as ondas azul e vermelha.

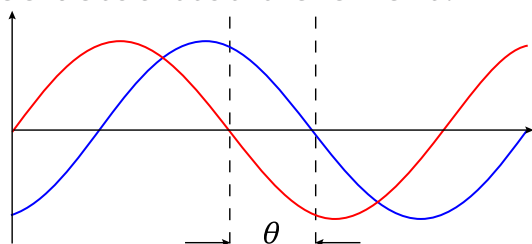


Figura 07

**Fase (ondas em):** Situação em que coincidem as cristas entre si (ou os vales entre si) de duas ondas transversais ou as regiões de compressão entre si (ou regiões de rarefação entre si) de duas ondas longitudinais. Concordância de fase (ondas em).

**Exemplo:** Na figura 03, as ondas estão em fase, pois suas cristas coincidem entre si e, logo, seus vales também coincidem entre si.

**Foco sísmico:** Ponto do interior da Terra onde se inicia o deslocamento ou a ruptura de rochas que causam as ondas sísmicas. Hipocentro.

**Exemplo:** Os terremotos começam no foco sísmico.

**Fora de fase:** Situação de descompasso de duas ondas, em que, no mesmo espaço e instante, não coincidem as cristas entre si (ou os vales entre si), se ondas transversais, ou as regiões de compressão entre si (ou regiões de rarefação entre si), se ondas longitudinais.

**Exemplo:** Na figura 07, a onda superior está fora de fase com a inferior, pois suas cristas não coincidem com as cristas da onda de baixo e, logo, os vales das duas também não coincidem.

**Frequência fundamental:** Menor frequência específica de uma onda sonora correspondente a uma nota musical. Primeiro harmônico.

**Exemplo:** A figura a seguir representa o modo de vibração da frequência fundamental da corda de um violão.

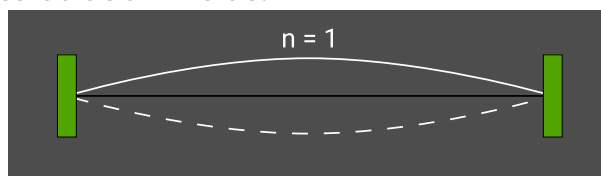


Figura 08

**GPS (Global Positioning System):** Sistema de Posicionamento Global, feito por satélite, em que um aparelho receptor móvel recebe informações sobre a sua posição no planeta

**Exemplo:** Hoje em dia, o GPS vêm integrado a automóveis, telefones e relógios.

**Hipocentro:** Ponto do interior da Terra onde se inicia o deslocamento ou a ruptura de rochas que causam as ondas sísmicas. Foco sísmico. **Exemplo:** Os terremotos começam no hipocentro.

**Impedância acústica:** Grandeza escalar que expressa a resistência ou dificuldade imposta por meios fluidos à propagação das ondas sonoras através deles, por meio da razão entre a pressão exercida pela onda no meio e sua velocidade de propagação nesse meio.

**Unidade de medida no SI:** pascal-segundo por metro ( $Pa \cdot s/m$ ); quilograma por metro quadrado-segundo ( $kg/m^2 \cdot s$ ); rayl (*rayl*).  
**Símbolo:** Z.

**Exemplo:** Na arquitetura acústica, materiais constituídos de espuma são utilizados no revestimento acústico por terem valor de impedância acústica muito baixo, isto é, na sua interface com o ar, ocorre pouca reflexão de ondas sonoras.

**Interferência construtiva:** Interferência de ondas em fase, resultando em uma onda com amplitude maior, resultante da soma das amplitudes das ondas originais.

**Exemplo:** Na figura 09, nos pontos onde as ondas de cor azul e de cor verde se cruzam, ocorre interferência construtiva.

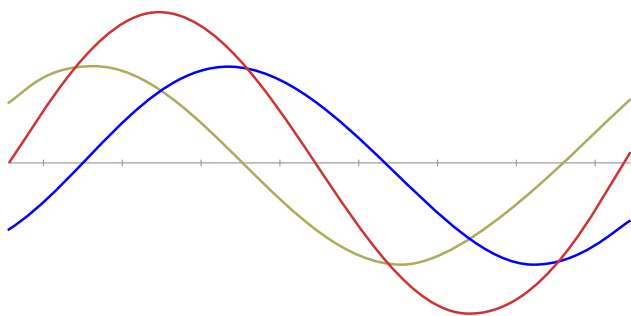


Figura 09

**Interferência destrutiva:** Interferência de ondas em oposição de fase, resultando em uma onda com amplitude resultante da diferença entre as amplitudes das ondas originais e que é menor que a amplitude da onda original de maior amplitude.

**Exemplo:** Na figura 09, nos pontos onde as elongações das ondas de cor azul e de cor verde se opõem relativamente ao eixo de equilíbrio, ocorre interferência destrutiva.

**Interferência ondulatória:** Fenômeno de sobreposição de duas ou mais ondas no mesmo instante e no mesmo ponto do espaço.

**Exemplo:** Pingos de chuva caindo num lago formam várias ondas que realizam interferência entre si.

**Interferência totalmente construtiva:** Interferência de ondas em concordância de fase, resultando em uma onda com amplitude máxima, resultante da soma das amplitudes das ondas originais.

**Exemplo:** Na figura a seguir, as cristas de duas ondas se sobrepõem, causando uma interferência totalmente construtiva cuja onda resultante é a onda vermelha.

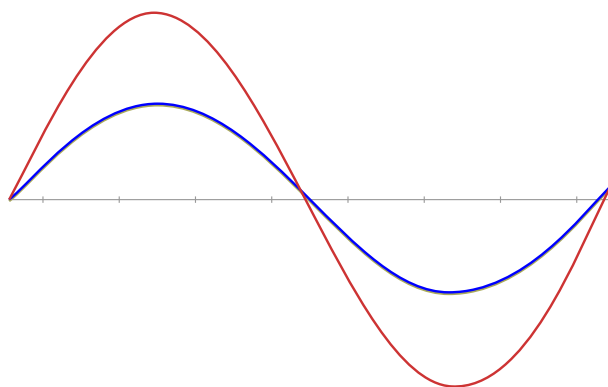


Figura 10

**Interferência totalmente destrutiva:** Interferência de ondas em oposição de fase, resultando em uma onda com amplitude nula, resultante da soma das amplitudes das ondas originais.

**Exemplo:** Na figura a seguir, as ondas de cor azul e de cor verde estão em oposição de fase e realizam interferência totalmente destrutiva, de tal modo que a onda resultante, de cor vermelha, tem amplitude nula.

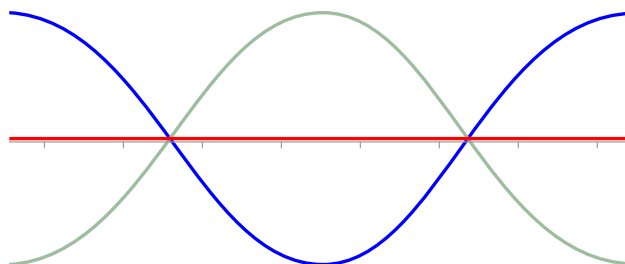


Figura 11

**Leis da reflexão:** Enunciados que descrevem o comportamento da reflexão ondulatória, sendo: 1) São coplanares o ângulo  $i$

de incidência, o ângulo  $r$  de reflexão e a reta normal à superfície de reflexão  $N$ , a partir da qual são medidos os ângulos; 2) O ângulo  $r$  de reflexão é igual ao ângulo  $i$  de incidência.

**Exemplo:** Na figura 01, as setas representam raios de onda incidente e refletida, sendo que a onda original incidiu sobre uma superfície horizontal num ângulo de incidência  $i$  com a reta normal  $N$ , e sofreu reflexão ondulatória com um ângulo de reflexão  $r$  com a reta normal  $N$ , de tal forma a cumprir as leis da reflexão:  $i$ ,  $r$  e  $N$  são coplanares, e  $r$  é igual a  $i$ .

**Litosfera:** Camada sólida mais externa de um planeta, constituída por rochas e solo.

**Exemplo:** A litosfera da Terra é formada pela crosta terrestre por parte do manto terrestre (Figura 04).

**Manto terrestre:** Camada da Terra composta por rochas em estado pastoso ou fluido, com profundidade de 30 km até 2900 km abaixo da crosta terrestre e temperaturas até 2000°C.

**Exemplo:** O manto terrestre é a maior camada da Terra, com maior volume (Figura 04).

**Nó (de ondas estacionárias):** Ponto não vibrante de ondas estacionárias em que ocorre interferência destrutiva. Nodo. Ponto nodal.

**Exemplo:** Na figura 12, ao serem vibradas, as cordas de um violão formam desenhos em que se nota a presença de regiões de cruzamento de ondas, os nós.

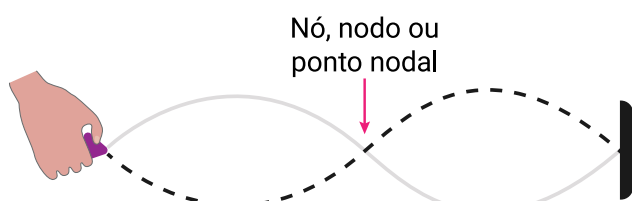


Figura 12

**Núcleo terrestre:** Camada mais profunda da Terra composta por rochas e uma liga metálica constituída principalmente por ferro e níquel, com cerca de 3400 km de espessura, temperaturas estimadas em cerca de 3700°C, e os maiores valores de pressão do interior do planeta.

**Exemplo:** Os movimentos das partículas de ferro e níquel que compõem o núcleo terrestre

são responsáveis pela existência do campo magnético da Terra.

**Onda de deslocamento:** Onda transversal originada por ondas de pressão que fazem vibrar as partículas de fluido no interior de um tubo sonoro.

**Exemplo:** Em um tubo de Kundt pessoas não cegas podem ver ondas de deslocamento na forma de ondas estacionárias.

**Onda de pressão:** Onda longitudinal formada no interior de um tubo sonoro por emissão de ondas mecânicas longitudinais em uma de suas extremidades.

**Exemplo:** Em um tubo de Kundt, ondas de pressão são provocadas por uma fonte de ondas sonoras.

**Onda estacionária:** Ondas formadas em um meio pela interferência de ondas que se propagam em sentidos opostos.

**Exemplo:** A figura a seguir representa ondas estacionárias formadas em cordas de violão.

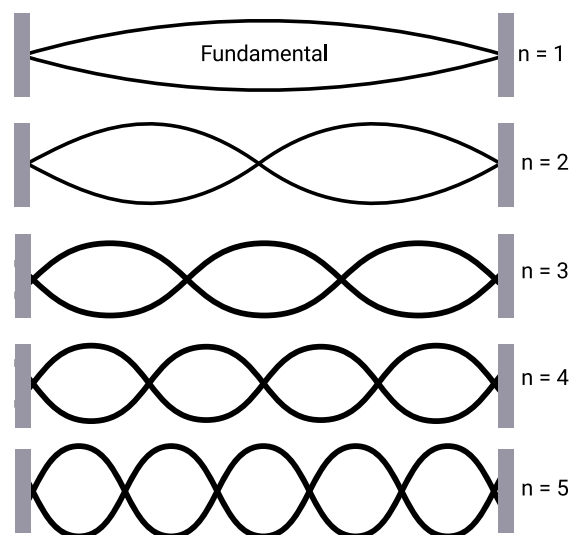


Figura 13

**Oposição de fase (ondas em):** Situação em que, no mesmo instante e espaço, para duas ondas transversais, as cristas de uma onda coincidem com o vale da outra, e, para ondas longitudinais, as regiões de compressão de uma coincidem com as regiões de rarefação da outra.

**Exemplo:** Na figura a seguir, as ondas estão fora de fase, pois as cristas de uma não coin-

cidem com as cristas da outra, assim como os vales das duas também não coincidem.

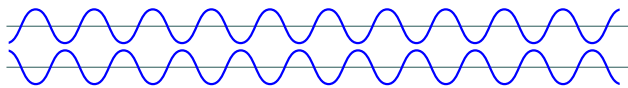


Figura 14

**Oscilação:** Variação periódica de posição em torno de uma posição de equilíbrio. Vibração.

**Exemplo:** Quando uma criança oscila num balanço, faz um movimento de vai e vem em torno de uma posição de equilíbrio.

**Padrão de interferência:** Fenômeno ondulatório em que duas ou mais sequências de frente de onda interferem construtiva e destrutivamente.

**Exemplo:** Pingos de chuva caindo num lago formam um padrão de interferência em que várias ondas interferem construtiva e destrutivamente entre si.

**Placa tectônica:** Bloco que forma a litosfera terrestre.

**Exemplo:** Os terremotos acontecem em função de movimentos das placas tectônicas.

**Poluição sonora:** Excesso de ruídos com sonoridade ou nível sonoro alto em um mesmo ambiente.

**Exemplo:** Nos grandes centros urbanos, é comum a presença diária de poluição sonora, grande parte devida aos sons de motores e buzinas de veículos automotivos.



Fonte: <https://www.pexels.com>

**Ponto nodal:** Ponto não vibrante de ondas estacionárias em que ocorre interferência destrutiva. Nó. Nodo.

**Exemplo:** Ao serem vibradas, as cordas de um violão formam desenhos em que se nota a presença de regiões de cruzamento de ondas, os pontos nodais.

**Ponto ventral:** Ponto vibrante das cristas ou dos vales de ondas estacionárias que sofre interferência construtiva. Antinó. Antinodo. Ventre.

**Exemplo:** A figura 15 representa uma corda de violão, que, ao ser vibrada, forma desenhos em que se nota a presença de regiões sem cruzamento de ondas, os pontos ventrais.

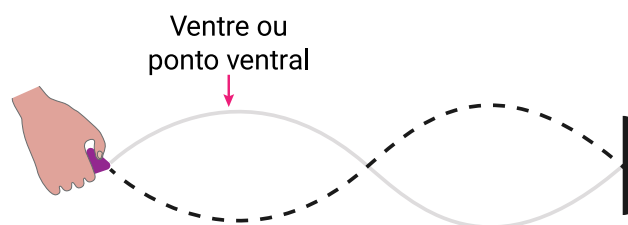


Figura 15

**Primeiro harmônico:** Menor frequência específica de uma onda sonora correspondente a uma nota musical. Frequência fundamental.

**Exemplo:** A figura 08 representa o modo de vibração do primeiro harmônico da corda de um violão.

**Reta normal:** Linha imaginária perpendicular a uma superfície.

**Exemplo:** Na figura 01, a linha N representa uma reta imaginária perpendicular a uma superfície horizontal onde incide um raio de onda, que é refletido pela superfície formando um ângulo  $r$  com a normal igual ao ângulo  $i$  de incidência, também medido a partir da normal.

**Reverberação:** Fenômeno ondulatório de reflexão que ocorre com ondas sonoras, gerando a sensação auditiva de prolongamento da duração do som, dada a impossibilidade de distinguir o som emitido do som refletido.

**Exemplo:** Uma brincadeira de crianças ouvintes consiste em posicionar a boca dentro da

abertura de um vaso e emitir sons para dentro dele, para ouvir sons com reverberação.

**Sismo:** Abalos no solo, com duração de cerca de 1 ou 2 minutos, que causam tremores na superfície terrestre. Terremoto.

**Exemplo:** Os sismos acontecem devido a movimentos das placas tectônicas.

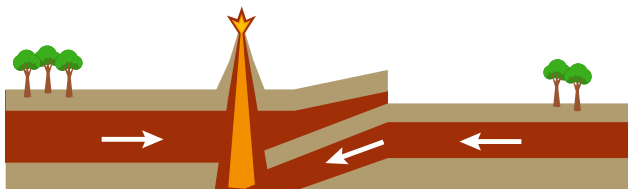


Figura 16

**Sismógrafo:** Aparelho que detecta movimentos do solo e a energia dos terremotos.

**Exemplo:** Profissionais utilizam sismógrafos para estudarem os terremotos.

**Tubo de Kundt:** Tubo sonoro fechado transparente em cujo interior há serragem fina de cortiça que permite visualizar a formação de ondas estacionárias.

**Exemplo:** Em um tubo de Kundt, ondas de pressão são provocadas por uma fonte de ondas sonoras e, como resultado, aparecem ondas estacionárias.

**Tubo sonoro:** Instrumento sonoro de sopro com coluna de ar em seu interior, para o qual é dirigida corrente de ar através da embocadura, gerando ondas de pressão e ondas de deslocamento.

**Exemplo:** Flauta doce e flauta de pan são exemplos de instrumentos musicais classificados como tubos sonoros.

**Tubo sonoro aberto:** Tubo sonoro com as duas extremidades abertas, que, ao produzir som, forma ondas estacionárias com ventre em ambas as extremidades.

**Exemplo:** A flauta doce é um exemplo de tubo sonoro aberto.

**Tubo sonoro fechado:** Tubo sonoro com uma extremidade aberta e a outra fechada, que, ao produzir som, forma ondas estacionárias com ventre na extremidade da embocadura e nó na extremidade fechada.

**Exemplo:** A flauta de pan é um exemplo de instrumento musical composto por tubos sonoros fechados.



Fonte: <https://www.pexels.com>

**Velocidade relativa:** Grandeza vetorial que expressa o vetor velocidade resultante do movimento relativo entre dois corpos.

**Unidade de medida no SI:** metro por segundo ( $m/s$ ).

**Símbolo:**  $v_{rel}$ .

**Exemplo:** Em uma caçada, a velocidade relativa entre uma coruja e um rato é dada pela diferença entre suas velocidades em relação à Terra.



**Ventre (de ondas estacionárias):** Ponto vibrante das cristas ou dos vales de ondas estacionárias que sofre interferência construtiva. Antinó. Antinodo. Ponto ventral.

**Exemplo:** A figura 15 representa uma corda de violão, que, ao ser vibrada, forma desenhos em que se nota a presença de regiões sem cruzamento de ondas, os ventres.



# Unidades de medida no Sistema Internacional de Unidades (SI)

Grandeza	Símbolo	Tipo	Unidade de medida	Símbolo da unidade de medida
Amplitude	$A$	escalar	metro	$m$
Área	$S$	escalar	metro quadrado	$m^2$
Comprimento	$l$	escalar	metro	$m$
Comprimento de onda	$\lambda$	escalar	metro	$m$
Densidade	$\mu$	escalar	quilograma por metro cúbico	$kg/m^3$
Frequência	$f$	escalar	hertz	$Hz$
Força	$F$	vetorial	newton	$N$
Impedância acústica	$Z$	escalar	pascal-segundo por metro ou quilograma por metro quadrado-segundo ou rayl	$Pa \cdot s/m$ ou $kg/m^2 \cdot s$ ou rayl
Intensidade sonora	$I$	escalar	watt por metro quadrado	$W/m^2$
Nível sonoro ou sonoridade	$\beta$	escalar	decibel	$dB$
Período, tempo, intervalo de tempo	$T$	escalar	segundo	$s$
Potência	$Pot$	escalar	watt	$W$
Velocidade	$v$	escalar	metro por segundo	$m/s$
Velocidade média	$v_m$	vetorial	metro por segundo	$m/s$

# Formulário

Grandeza ou Fórmula	Fórmula	Instrumento de medida
Coefficiente de reflexão sonora	$R = \frac{(Z_1 - Z_2)^2}{(Z_1 + Z_2)^2}$	
Comprimento de onda	em cordas e em tubos abertos $\lambda_n = \frac{2l}{n}$	
	em tubos fechados $\lambda_{n-1} = \frac{4l}{2n - 1}$	
Efeito Doppler	$f_0 = \frac{f_F \cdot v_{som}}{v_{som} \pm v_F}$	
Equação Geral da Ondulatória	$v = \lambda f$	
Fórmula de Taylor	$v = \sqrt{F/\rho} \quad \mu = m/V$	
Frequência	$F = n/\Delta t \quad f = 1/T$	<b>Frequencímetro</b> 
	em cordas e em tubos abertos $f_n = n f_1 \quad f_n = n v / 2l$	
	em tubos fechados $f_{2n-1} = (2n - 1) \cdot f_1$ $f_n = (2n - 1) \cdot v / 4l$	
Impedância acústica	$Z = p/v \quad Z = p \cdot v$	<b>Medidor de impedância acústica</b> 
	Sendo: $p =  F /S \quad \vec{F}_R = m \cdot \vec{a}$	
	$\vec{a} = \Delta \vec{v} / \Delta t \quad \Delta \vec{v} = \vec{v}_f - \vec{v}_i$ $\vec{v} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} (\Delta \vec{x} / \Delta t)$	

Fonte: <https://acesse.dev/fbz3A>.

Grandeza ou Fórmula	Fórmula	Instrumento de medida
Intensidade sonora	$I = Pot/S$ <p>Sendo:</p> $Pot = E/\Delta t$ $E =  \vec{t}  =  \vec{F}_R \cdot \Delta \vec{x} $ $\Delta \vec{x} = \vec{x}_f - \vec{x}_i \quad \vec{F}_R = m \cdot \vec{a}$ $\vec{a} = \Delta \vec{v}/\Delta t \quad \Delta \vec{v} = \vec{v}_f - \vec{v}_i$ $\vec{v} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} (\Delta \vec{x}/\Delta t)$	
Nível sonoro ou sonoridade	$\beta = 10 \log \left( \frac{I}{I_0} \right)$	<p>Decibelímetro</p>  <p>Fonte: <a href="https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=1706777">https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=1706777</a></p>
Período	$T = 1/f$	<p>Cronômetro</p> 
Sonoridade	V. Nível sonoro	
Velocidade média	$\vec{v}_m = \Delta \vec{x}/\Delta t$	

# Referências

- AB MUSICAL. **[Raul de Souza - 80 anos] - Bananeira**. [S. l.: s. n.], 2014. 1 vídeo (9 min). Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=fRXBgSVTTU4>. Acesso em: 22 out. 2023.
- ADAM ALONZI. **Phenomenon: the life of Thomas Young**. [S. l.: s. n.], 2014. 1 vídeo (39 min). Disponível em: <https://youtu.be/CY8zxloQhh8>. Acesso em: 22 out. 2023.
- CARRETA TREME TREME. **Carreta treme treme o maior som automotivo do mundo**. [S. l.: s. n.], 2017. 1 vídeo (2 min). Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=led-0cPawrbc>. Acesso em: 22 out. 2023.
- DIARIO DE PERNAMBUCO. **Megafone: a nova arma dos ambulantes**. [S. l.: s. n.], 2013. 1 vídeo (1 min). Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=DwFXTj2NGK0>. Acesso em: 22 out. 2023.
- DOPPLER efeito. In: **Wikipédia**: a enciclopédia livre. São Francisco, CA: Fundação Wikimedia, 2022. Disponível em: [https://pt.wikipedia.org/wiki/Efeito\\_Doppler#/media/Ficheiro:Dopplerfrequenz.gif](https://pt.wikipedia.org/wiki/Efeito_Doppler#/media/Ficheiro:Dopplerfrequenz.gif). Acesso em: 22 out. 2023.
- DOUBLESPLIT. In: **Wikipédia**: a enciclopédia livre. São Francisco, CA: Fundação Wikimedia, 2011. Disponível em: <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Doubleslit.gif>. Acesso em: 22 out. 2023.
- ECOLOCAÇÃO. In: **Wikipédia**: a enciclopédia livre. São Francisco, CA: Fundação Wikimedia, 2023. Disponível em: <https://pt.wikipedia.org/wiki/Ecolocaliza%C3%A7%C3%A3o#/media/Ficheiro:Delfinekkko.gif>. Acesso em: 22 out. 2023.
- EFEITOS SONOROS SEM COPYRIGHT. **Carro da Fórmula 1 efeito sonoro**. [S. l.: s. n.], 2020. 1 vídeo (8 seg). Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=QKpy2N-EYx8>. Acesso em: 22 out. 2023.
- EL UNIVERSAL. **Liberiano emociona em las redes com su guitarra de lata**. [S. l.: s. n.], 2018. 1 vídeo (2 min). Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=1XEPTiDOA00>. Acesso em: 22 out. 2023.
- EYE EYE. **Mersenne - legendado**. [S. l.: s. n.], 2018. 1 vídeo (4 min). Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=5GwOjQKlbKE>. Acesso em: 22 out. 2023.
- FÍSICA UNIVERSITÁRIA. **Tema 06 – superposição de oscilações | experimentos – ressonância e batimento em diapasões**. [S. l.: s. n.], 2016. 1 vídeo (5 min). Disponível em: [https://www.youtube.com/watch?v=bmh7NseTF\\_w](https://www.youtube.com/watch?v=bmh7NseTF_w). Acesso em: 22 out. 2023.
- FÍSICA UNIVERSITÁRIA. **Tema 06 – superposição de oscilações | experimentos – superposição de oscilações**. [S. l.: s. n.], 2016. 1 vídeo (2 min). Disponível em: [https://www.youtube.com/watch?v=r-kCHtiCCxw&list=PL1Dg4Oxxk\\_Rl2Ppb541vQyaUbqUuXtiuJ&index=10](https://www.youtube.com/watch?v=r-kCHtiCCxw&list=PL1Dg4Oxxk_Rl2Ppb541vQyaUbqUuXtiuJ&index=10). Acesso em: 22 out. 2023.

- FÍSICA UNIVERSITÁRIA. **Tema 07 - o que são ondas | experimentos – ondas em corda tensionada.** [S. l.: s. n.], 2016. 1 vídeo (2 min). Disponível em: [https://www.youtube.com/watch?v=qlXBnrSgbpQ&list=PL1Dg4Oxxk\\_RI2Ppb541vQyaUbqUuXtiuJ&index=13](https://www.youtube.com/watch?v=qlXBnrSgbpQ&list=PL1Dg4Oxxk_RI2Ppb541vQyaUbqUuXtiuJ&index=13). Acesso em: 22 out. 2023.
- FÍSICA UNIVERSITÁRIA. **Tema 10 - ondas numa corda | Experimentos – Corda vibrante.** [S. l.: s. n.], 2016. 1 vídeo (2 min). Disponível em: [https://www.youtube.com/watch?v=0EFK\\_vZTpio&list=PL1Dg4Oxxk\\_RI2Ppb541vQyaUbqUuXtiuJ&index=16](https://www.youtube.com/watch?v=0EFK_vZTpio&list=PL1Dg4Oxxk_RI2Ppb541vQyaUbqUuXtiuJ&index=16). Acesso em: 22 out. 2023.
- FÍSICA UNIVERSITÁRIA. **Tema 10 - ondas numa corda | experimentos – mola Slinky ondas transversais.** [S. l.: s. n.], 2016. 1 vídeo (1 min). Disponível em: [https://www.youtube.com/watch?v=YC6KzLuBOZY&list=PL1Dg4Oxxk\\_RI2Ppb541vQyaUbqUuXtiuJ&index=15](https://www.youtube.com/watch?v=YC6KzLuBOZY&list=PL1Dg4Oxxk_RI2Ppb541vQyaUbqUuXtiuJ&index=15). Acesso em: 22 out. 2023.
- FÍSICA UNIVERSITÁRIA. **Tema 12 - interferências | experimentos - cuba de ondas: interferência de ondas.** [S. l.: s. n.], 2016. 1 vídeo (2 min). Disponível em: [https://youtu.be/AG5HYoHojgc?list=PL1Dg4Oxxk\\_RI2Ppb541vQyaUbqUuXtiuJ&t=107](https://youtu.be/AG5HYoHojgc?list=PL1Dg4Oxxk_RI2Ppb541vQyaUbqUuXtiuJ&t=107). Acesso em: 22 out. 2023.
- FÍSICA UNIVERSITÁRIA. **Tema 12 - interferências | experimentos – cuba de ondas: interferência de ondas.** [S. l.: s. n.], 2016. 1 vídeo (2 min). Disponível em: [https://www.youtube.com/watch?v=AG5HYoHojgc&list=PL1Dg4Oxxk\\_RI2Ppb541vQyaUbqUuXtiuJ&index=17](https://www.youtube.com/watch?v=AG5HYoHojgc&list=PL1Dg4Oxxk_RI2Ppb541vQyaUbqUuXtiuJ&index=17). Acesso em: 22 out. 2023.
- FÍSICA UNIVERSITÁRIA. **Tema 13 - fenômenos Associados a Propagação Ondulatória | Experimentos - Cuba de ondas: Difração.** [S. l.: s. n.], 2016. 1 vídeo (2 min). Disponível em: <https://youtu.be/AjHMKqKTJJY>. Acesso em: 22 out. 2023.
- FORMULA 1. **F1 classic onboard: Senna on the charge at the 1990 Monaco Grand Prix.** [S. l.: s. n.], 2016. 1 vídeo (1 min). Disponível em: <https://youtu.be/auXfAHHNSFo>. Acesso em: 22 out. 2023.
- GABRIELE LEITE. **Recital de Conclusão de Curso.** [S. l.: s. n.], 2019. 1 vídeo (66 min). Disponível em: [https://youtu.be/6JRr31tx\\_YY](https://youtu.be/6JRr31tx_YY). Acesso em: 22 out. 2023.
- GEOCIENCIAS PARA TODOS. **Ondas sísmicas.** [S. l.: s. n.], 2015. 1 vídeo (3 min). Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=qQrFTS2CP4I>. Acesso em: 22 out. 2023.
- GEOLOGIA BÁSICA. **Tipos de ondas sísmicas.** [S. l.: s. n.], 2017. 1 vídeo (1 min). Disponível em: [https://www.youtube.com/watch?v=\\_oO2l6KOz5Q](https://www.youtube.com/watch?v=_oO2l6KOz5Q). Acesso em: 22 out. 2023.
- GIFS DE FÍSICA. **Interferência de ondas.** [S. l.: s. n.], 2018. 1 vídeo (33 seg). Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=hfi0snlYVi4>. Acesso em: 22 out. 2023.
- GIFS DE FÍSICA. **Interferência de ondas.** [S. l.: s. n.], 2018. 1 vídeo (33 seg). Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=hfi0snlYVi4>. Acesso em: 22 out. 2023.
- GIFS DE FÍSICA. **Ondas mecânicas em cordas.** [S. l.: s. n.], 2020. 1 vídeo (1 min). Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=MF48-RWQYkY>. Acesso em: 22 out. 2023.
- GLOBOPLAY ESTV 1ª edição. **Cão guia robô é usado para auxiliar deficientes visuais, no ES.** 2016. Disponível em: <http://g1.globo.com/espirito-santo/estv-1edicao/videos/t/edicoes/v/cao-guia-robo-e-usado-para-auxiliar-deficientes-visuais-no-es/5500369/>. Acesso em: 22 out. 2023.

- INCLUSÃO ATIVA PCD. **História de Ben Underwood o menino golfinho.** [S. l.: s. n.], 2019. 1 vídeo (4 min). Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=DxqYKzahnRA>. Acesso em: 22 out. 2023.
- INSTRUMENTOS ALTERNATIVOS. **Como fazer uma flauta de êmbolo. Muito fácil!**. [S. l.: s. n.], 2016. 1 vídeo (4 min). Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?app=desktop&v=yauUeqLktRQ>. Acesso em: 22 out. 2023.
- INSTRUMENTOS ALTERNATIVOS. **Como fazer uma flauta de pan com tubos de PVC de 20 mm.** [S. l.: s. n.], 2016. 1 vídeo (18 min). Disponível em: <https://youtu.be/sRK8BbifJaM>. Acesso em: 22 out. 2023.
- INSTRUMENTOS ALTERNATIVOS. **Como fazer uma flauta doce tenor em D tipo low wistle.** [S. l.: s. n.], 2018. 1 vídeo (18 min). Disponível em: <https://youtu.be/9IAH7tmG1Yg>. Acesso em: 22 out. 2023.
- KAWAHARA, Akito Y.; BARBER, Jesse R. Movie S1. In: Tempo and mode of antibat ultrasound production and sonar jamming in the diverse hawkmoth radiation. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, May 4, 2015, 112 (20) 6407-6412. 1 áudio (11 s). Disponível em: <https://movie-usa.glencoesoftware.com/video/10.1073/pnas.1416679112/video-1>. Acesso em: 22 out. 2023.
- KAWAHARA, Akito Y.; BARBER, Jesse R. Movie S4. In: Tempo and mode of antibat ultrasound production and sonar jamming in the diverse hawkmoth radiation. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, May 4, 2015, 112 (20) 6407-6412. 1 áudio (11 s). Disponível em: <https://movie-usa.glencoesoftware.com/video/10.1073/pnas.1416679112/video-4>. Acesso em: 22 out. 2023.
- MATEUS SALVADORI. **Se uma árvore cai numa floresta e não há ninguém por perto para ouvi-la, será que ela faz algum som?**. [S. l.: s. n.], 2019. 1 vídeo (4 min). Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=UN5Hbn33ibk>. Acesso em: 22 out. 2023.
- MEGA BATIDÃO. **Música original da carreta treme treme - com grave.** [S. l.: s. n.], 2019. 1 vídeo (3 min). Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=vwANSPXOb7k>. Acesso em: 22 out. 2023.
- MRBEAST. **Breaking glass using only megaphones.** [S. l.: s. n.], 2018. 1 vídeo (8 min). Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=XKFKPQHdWRI&feature=youtu.be>. Acesso em: 22 out. 2023.
- MYSTIC REVELATION. **King Tubby - King at the control.** [S. l.: s. n.], 2018. 1 vídeo (31 min). Disponível em: [https://youtu.be/6JRr31tx\\_YY](https://youtu.be/6JRr31tx_YY). Acesso em: 22 out. 2023.
- NICO CONDOY. **Cristian Andreas Doppler.** [S. l.: s. n.], 2017. 1 vídeo (4 min). Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=6eqSKL44v7M>. Acesso em: 22 out. 2023.
- O DIÁRIO de Fiorella. **Nova camisa – Veste Muda.** [S. l.: s. n.], 2020. 1 vídeo (31 s). Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=duTnuwvzAvo>. Acesso em: 22 out. 2023.
- OLAIZ, Natanael. Batimento. In: **Wikipédia: a enciclopédia livre.** São Francisco, CA: Fundação Wikimedia, 2006. 1 áudio (10 s). Disponível em: <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?title=File%3ABatimiento.ogg>. Acesso em: 22 out. 2023.

- PHYSICS GALAXY. **Class 11 physics | stationary waves and beats | #40 Kundt's tube | for JEE & NEET.** [S. l.: s. n.], 2012. 1 vídeo (6 min). Disponível em: <https://youtu.be/GteaViKVtYo>. Acesso em: 22 out. 2023.
- POR SINAL. **Sou surda e não sabia [Sourds et malentendus].** [S. l.: s. n.], 2013. 1 vídeo (3 min). Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=obUemeDJgcl>. Acesso em: 22 out. 2023.
- REGINALDO SANTOS. **Simulação da transmissão de ondas em uma corda - fina para grossa.** [S. l.: s. n.], 2017. 1 vídeo (51 seg). Disponível em: [https://youtu.be/F\\_AYTZpJypo](https://youtu.be/F_AYTZpJypo). Acesso em: 22 out. 2023.
- SERVICIO EDUCACIÓN TELEVISIÓN (SET). **Homenaje a Brook Taylor al 2018.** [S. l.: s. n.], 2018. 1 vídeo (3 min). Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=eDRywCs-9mjU>. Acesso em: 22 out. 2023.
- SIMON B. **The Simpsons - Bart's megaphone testing.** [S. l.: s. n.], 2014. 1 vídeo (52 seg). Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=oCyXsHC-IQ4>. Acesso em: 22 out. 2023.
- SONS DO SILENCIO. **Professor ensina música para cegos e surdos.**[S. l.: s. n.], 2016. 1 vídeo (3 min). Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=r39QuJoGfV4>. Acesso em: 22 out. 2023.
- TED-ED. **Como ideias simples conduzem a descobertas científicas.** [S. l.: s. n.], 2012. 1 vídeo (7 min). Disponível em: <https://youtu.be/F8UFGu2M2gM>. Acesso em: 22 out. 2023.
- TED. **KISH, Daniel. Como uso o sonar para navegar o mundo.** [S. l.: s. n.], 2015. 1 vídeo (12 min). Disponível em: [https://www.ted.com/talks/daniel\\_kish\\_how\\_i\\_use\\_sonar\\_to\\_navigate\\_the\\_world?language=pt#t-769311](https://www.ted.com/talks/daniel_kish_how_i_use_sonar_to_navigate_the_world?language=pt#t-769311). Acesso em: 22 out. 2023.
- UTI DOS BRINQUEDOS. **Buzina sanfonado.** [S. l.: s. n.], 2020. 1 vídeo (5 seg). Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=13CABST-Dxc>. Acesso em: 22 out. 2023.
- VEM DE MALA ABERTAA. **Top 10 sustos da carreta treme treme.** [S. l.: s. n.], 2020. 1 vídeo (5 min). Disponível em: <https://youtu.be/D6OTdz7oPD8>. Acesso em: 22 out. 2023.
- WUAUQUIKUNA OFFICIAL. **Mother Earth Wuauquikuna (official music video).** Ecuador, [s. n.], 2020. 1 vídeo (6 min). Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=cPh3Rm9IaJM>. Acesso em: 22 out. 2023.

cead UFV