



Caro(a) aluno(a),

Após estudarmos a energia mecânica e o calor, iniciaremos o estudo de outras duas formas de energia: o som e a luz. Assim, você será apresentado às características e aos fenômenos relacionados ao som e à luz, assim como a importantes aplicações básicas destas formas de energia, que contribuem para o desenvolvimento humano e tecnológico.

A primeira parte deste Caderno é destinada ao estudo do som. Você é capaz de diferenciar música e ruído? Que critérios você utilizaria para isso? Aqui, você poderá verificar como a Física procura resolver esta e outras questões. Caso seja a opção de seu professor, você poderá construir com seus colegas alguns instrumentos musicais rudimentares e, a partir deles, estudar a definição do som e alguns de seus aspectos, como propriedades e características. Ainda poderá estudar e analisar os sons dos instrumentos de corda, considerando parâmetros como tensão, densidade e comprimento dos fios. Aprenderá também sobre o que permite diferenciar os sons de instrumentos diversos.

Por fim, estudará o sistema de audição humana e os riscos de um tipo de poluição que nem sempre é tratado com a devida atenção: a sonora. Com isso, você terá base científica para argumentar sobre os problemas decorrentes dessa poluição e até mesmo propor soluções pensando no bem-estar de todos.

A segunda parte do Caderno é destinada ao estudo da luz. Você sabe como a luz é produzida? Como ela se propaga? Como as imagens são formadas em espelhos e lentes? Como enxergamos? Você será apresentado aos modelos e à forma como a Física responde a esses questionamentos. Você verá que a luz é uma onda eletromagnética e terá oportunidade de compreender o funcionamento de uma câmara escura, bem como os princípios básicos de propagação da luz e da formação de





imagens. Para aprofundar mais o estudo do tema, é preciso compreender o processo de formação de imagens nos espelhos e lentes e dois importantes fenômenos físicos: a reflexão e a refração.

Ao longo desta etapa, você também poderá comparar o funcionamento do olho humano com equipamentos ópticos, como a máquina fotográfica, e, por fim, entender as correções de problemas de visão, como miopia e hipermetropia, feitas com a utilização de lentes adequadas.

Este Caderno apresenta sugestões de atividades práticas e de experimentos de investigação, além de sugestões de pesquisas que envolvem leitura e consultas a *sites*, livros e revistas, dando atenção aos conceitos físicos e à linguagem matemática. Estas atividades são fundamentais para que você compreenda os conhecimentos propostos nesta etapa.

Equipe Técnica de Física  
Área de Ciências da Natureza  
Coordenadoria de Estudos e Normas Pedagógicas – CENP  
Secretaria da Educação do Estado de São Paulo

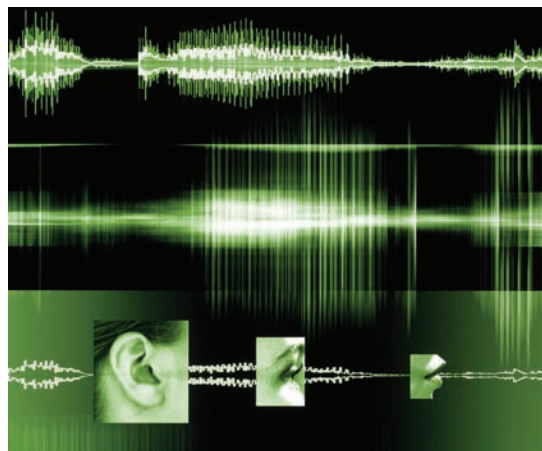




TEMA 1:

SOM: FONTES, CARACTERÍSTICAS FÍSICAS E USOS

Ao ouvir uma música, um grito, a freada de um carro ou uma simples conversa, raramente pensamos em Física. Porém, existem relações diretas entre a Física e os sons, entre a Física e a música. Nas próximas aulas, você entenderá como se dá a produção e a propagação do som, suas propriedades físicas e alguns aspectos relacionados à apreciação da arte musical. Além disso, você aprenderá conceitos que permitem caracterizar os diferentes instrumentos musicais, percebendo, por exemplo, que existe uma espécie de “assinatura sonora” para cada um deles. Vamos discutir os detalhes da produção do som nesses instrumentos, fazendo-o entender o porquê de suas diferenças sonoras, compreendendo aquilo que os torna únicos. Com isso, será possível perceber que a Física está intimamente ligada à percepção musical. Depois destas aulas, ouvir um som terá adquirido outros sentidos.



© Mehau Kulyk/SPL-Latinstock



SITUAÇÃO DE APRENDIZAGEM 1  
ISSO É BARULHO OU MÚSICA?

Desde o momento em que acordamos escutamos centenas de sons, ainda que não nos demos conta de tudo o que ouvimos. Para que você possa perceber o quanto seu mundo é repleto de sons, pare alguns instantes e pense naqueles que lembra ter ouvido desde a hora em que acordou até o momento em que começou a ler este texto. Agora, escreva-os a seguir:



© Stephoto/Radius Images-Latinstock

---



---



---



---



---



---



---



## Problematizando e classificando

### Isso é barulho ou música?

O tempo todo nós ouvimos os mais diferentes tipos de sons: o barulho dos carros, a sirene da ambulância, o choro do filho do vizinho, o grito da mãe, a palavra carinhosa da namorada, a risada do amigo, a música da casa ao lado... Estamos cercados pelos mais variados tipos de sons. A pergunta que vai guiar toda esta parte do estudo da Física é: o que é o som?

1. Para começar a responder, faça uma lista de pelo menos 20 situações que envolvam som, classificando-os em agradáveis e desagradáveis.

Sons agradáveis	Sons desagradáveis

2. Agora, você deverá fazer uma nova classificação: das situações que listou, quais você associa a música e quais associa a ruído (barulho)? Na tabela a seguir, coloque na primeira coluna os sons que correspondem a música e, na segunda, aqueles que correspondem a ruído.

Música	Ruído



Música	Ruído

3. Quais características do som possibilitaram a você associá-lo a ruído? Quais características possibilitaram associá-lo a música?

---

---

---

---

---

---

Como podemos distinguir e classificar os diferentes sons que ouvimos? Por exemplo, na atividade que você realizou, certamente algum estilo musical (como *heavy metal* ou sertanejo) deve ter sido considerado um som desagradável por alguns, enquanto foi classificado como agradável por outros. Quem tem razão? Além disso, como podemos diferenciar um ruído de uma música? Isso é realmente possível?

A partir de hoje, em suas aulas, você verá que há uma grande diferença entre o processo físico que gera o som e a sensação que ele causa em nós. A percepção dos sons envolve muitos elementos e, para categorizá-los, é preciso relacionar muitas variáveis, algumas delas subjetivas, o que faz as classificações não coincidirem. Assim, os sons agradáveis para alguns podem ser desagradáveis para outros. Como podemos resolver isso?

Na tentativa de diminuir a interferência das escolhas individuais por determinado estilo musical, podemos dividir os sons em ruído e música. Pouca gente discorda que sons como ronco, trovão ou arranhão na lousa sejam ruídos. Mas o que, então, os distingue dos sons musicais? Alguns elementos podem ser identificados como características de ruído: não se repetem com regularidade de tempo, não têm ritmo nem harmonia. Ou seja, para que o gosto pessoal não seja um critério, precisamos buscar características físicas do som. Tais características podem ser evidenciadas e estudadas por meio da Física Ondulatória. A pergunta por trás de tudo isso passa a ser, então: o que, afinal, é o som?





### VOCÊ APRENDEU?



1. Por que, para algumas pessoas, o *heavy metal* é considerado barulho e para outras é considerado música?

---

---

---

2. *Heavy metal* é ruído ou som musical? Justifique.

---

---

---

3. O que distingue os ruídos dos sons musicais?

---

---

---



### LIÇÃO DE CASA



1. Pesquise em seu livro didático, na biblioteca de sua escola ou na internet: o que é o som?

2. Leia a Situação de Aprendizagem 2 e realize a entrevista proposta na **Pesquisa de campo**.



### SITUAÇÃO DE APRENDIZAGEM 2 UMA ENTREVISTA MUSICAL



### PESQUISA DE CAMPO

#### Uma entrevista musical

É bem provável que, de alguma forma, você já tenha tido contato com algum instrumento musical, por meio de um parente ou amigo músico, em uma roda de capoeira, em um ensaio de es-

cola de samba etc. Enfim, é relativamente fácil encontrar alguém que toque um instrumento musical. Mas você sabe como esses instrumentos funcionam? Como são afinados? Há algum aparelho para medir a afinação ou se usa só o ouvido? Para começar a investigar como funcionam os instrumentos, você agora vai entrevistar um músico. Inicialmente, lembre-se de você, um amigo ou alguém de sua família conhece algum músico. Se não, vá até um centro musical perto de sua casa ou da escola. Na entrevista, faça perguntas como estas:



© Somos-Latinstock

1. Quais as partes essenciais de seu instrumento musical? Como ele funciona? Qual a diferença entre uma nota tocada nele e a mesma nota tocada em outro instrumento? Como você as distingue? O que você utiliza para afiná-lo?
2. O que é a afinação de um instrumento musical?
3. O que é uma escala musical? Existe mais de uma?
4. Qual é a diferença entre música e ruído?

Essas perguntas devem guiar sua entrevista, mas fique à vontade para fazer outras que julgar interessantes. Após a realização da entrevista, elabore um relatório que apresente suas observações e sintetize o que aprendeu. Além das respostas às questões da entrevista, o relatório deve conter o nome do entrevistado, o instrumento musical que ele toca e seu tempo de experiência como músico.



### Leitura e Análise de Texto

#### O que é o som?

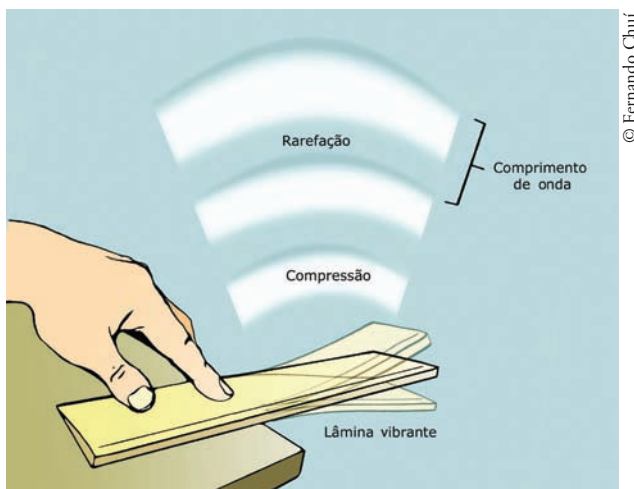
Guilherme Brockington

O que é preciso fazer para produzir som em um violão, em uma gaita ou em um atabaque? Em qualquer um desses instrumentos é preciso que alguma coisa seja colocada para vibrar. No violão é a corda, na gaita é o ar e no atabaque é a membrana que cobre. Qualquer coisa que vibra emite um som. Você mesmo pode tentar, fazendo vibrar, por exemplo, uma régua.

Perceba que a elasticidade do material que vibra interfere na produção do som. Se o corpo for pouco elástico, o som diminui muito ou pode até desaparecer. Uma maneira de perceber isso é trocar a régua por uma haste bem rígida, como seu lápis ou sua caneta. Assim, inicialmente, perceba que é o movimento de vibração dos corpos que produz o som.

Agora, pense: como é possível perceber um som produzido a certa distância? Como você acha que o som “viaja” desde sua fonte até os nossos ouvidos? Para entender o que ocorre

re, imagine um violão. Quando uma de suas cordas é tangida, sua vibração faz com que as moléculas de ar ao seu redor também vibrem, criando regiões cuja pressão passa a variar de acordo com essa vibração. Como o ar é um meio elástico, essas variações de pressão se propagarão a partir da corda vibrante e serão transmitidas de molécula em molécula, criando o que chamamos de onda sonora, que chega aos nossos ouvidos. Por necessitar de um meio elástico para se propagar, as ondas sonoras são chamadas de **ondas mecânicas**.



Elaborado especialmente para o *São Paulo faz escola*.

Responda com suas palavras:

1. O que é o som?

---



---

2. Como cada um dos diferentes instrumentos musicais produz som?

---



---

3. É possível ouvir algum som na Lua? Justifique sua resposta.

---



---



### Leitura e Análise de Imagem

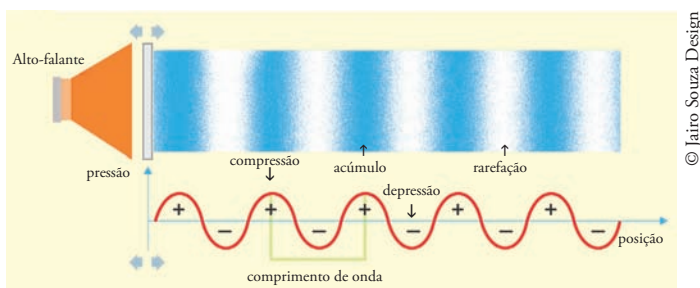
#### Ondas sonoras

Todos nós sabemos que o som de um violão difere muito do som de uma flauta ou de um espirito. Então, sons diferentes são ondas diferentes? O que devem ser ondas diferentes? Quais serão seus elementos? O que as distingue?



Para responder a essas perguntas, você deverá compreender o que caracteriza uma onda sonora. Para isso, analise a figura ao lado.

Onda sonora propagando-se no ar.



© Jairo Souza Design

Para auxiliar na leitura e na análise da figura, responda em seu caderno às questões a seguir:

1. O que representam os pontos azuis mais espaçados? E os menos espaçados?
2. Observe o gráfico em vermelho. Qual é a grandeza que está sendo representada no eixo vertical? E no eixo horizontal?
3. Como está relacionada a figura dos pontinhos azuis ao gráfico de pressão x posição?
4. O que significa o termo “comprimento de onda” indicado no gráfico?



VOCÊ APRENDEU?



1. O que é o som?

---



---



---

2. O som precisa de algo para se propagar? O som se propaga no vácuo?

---



---



---

3. O que é comprimento de onda? O que é frequência?

---



---



---



---

4. Procure em seu livro de Física qual fórmula relaciona a velocidade de propagação, o comprimento de onda e a frequência de uma onda. Qual seria a velocidade de propagação de uma onda com comprimento de onda de 0,5 m e frequência de 680 Hz?

---



---



---



### LIÇÃO DE CASA



1. Pesquise em seu livro didático, na biblioteca de sua escola ou na internet:
  - a) O que é período e qual sua relação com a frequência? Existe alguma fórmula que expresse esta relação?
  - b) Qual a frequência de cada uma das notas musicais (dó, ré, mi, fá, sol, lá e si)?
2. Selecione músicas com vozes bem graves (voz “grossa”) e músicas com vozes bem agudas (voz “fina”) para utilizar na próxima aula.



### SITUAÇÃO DE APRENDIZAGEM 3 UMA AULA DO BARULHO

“Gente, que música alta! Alguém, abaixe esse som!” Você já deve ter ouvido ou falado estas frases antes, seja porque estava empolgado ouvindo sua música preferida, seja porque queria sossego e alguém se divertia animado. Sem dúvida alguma, você entende que, quando uma frase como essa é dita, alguém deseja que você diminua a “altura” do som, diminuindo o volume de seu aparelho musical. Mas será que fisicamente isso é correto?



© Con Tamasiuk/Design Pres/Corbis-Latinstock



### PESQUISA INDIVIDUAL

#### Uma aula do barulho

##### Materiais

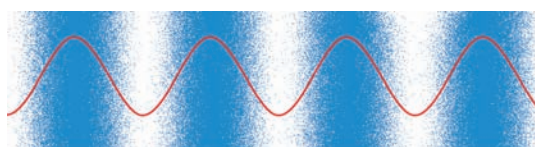
Um tocador de CD, CDs com músicas tocadas em diferentes instrumentos, CDs com intérpretes de voz aguda (Tetê Espíndola, Massacration, Calypso, Michael Kiske, por exemplo) e CDs com intérpretes de voz grave (Tim Maia, Mano Brown, Iggy Pop, Type O Negative etc.).

## A altura de um som

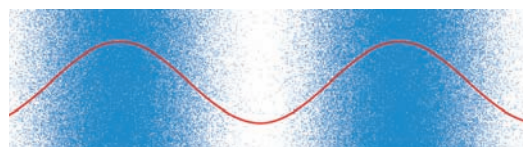
Guilherme Brockington

Vamos discutir um pouco características quantitativas dos sons, que nos permitem classificá-los e distingui-los. A primeira grandeza física que você vai estudar é a frequência de uma onda. Para isso, imagine (ou ouça) dois conjuntos diferentes de sons: um agudo e outro grave. Podem ser sons de diferentes instrumentos musicais ou vozes. A relação entre graves e agudos, uma relação entre frequências, é chamada de altura do som. Desse modo, quanto maior a frequência de um som musical, mais agudo ele soará, portanto maior será sua altura. Da mesma forma, quanto menor for sua frequência, mais grave ele soará, portanto menor será sua altura.

Agora, você deverá analisar as figuras que se seguem. Elas apresentam duas ondas sonoras vistas no mesmo intervalo de tempo ( $\Delta t$ ).



Representação de um som relativamente mais agudo.



Representação de um som relativamente mais grave.

© Jairo Souza Design

Elaborado especialmente para o *São Paulo faz escola*.

Responda em seu caderno às seguintes questões:

1. As figuras são representações da onda sonora: uma em azul e outra em vermelho. Descreva com suas palavras a relação entre elas. Qual delas é melhor para representar uma onda? Por quê?
2. Quais as diferenças e semelhanças entre as duas ondas sonoras representadas nas figuras?
3. Comparando as ondas representadas nas figuras, você pode identificar a razão pela qual uma delas é a mais aguda? Justifique.
4. Pode-se afirmar que uma das figuras representa um som de volume mais alto do que o outro? Explique.



## Leitura e Análise de Texto e Imagem

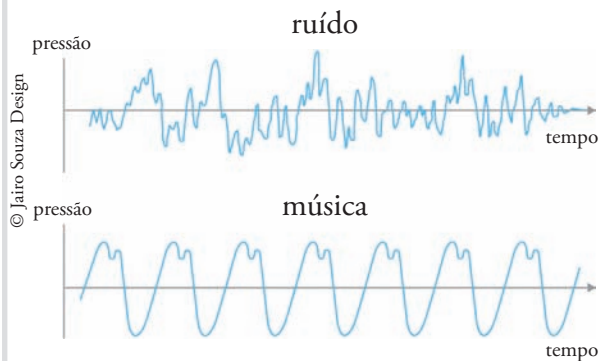
### Barulho x música

Guilherme Brockington

É preciso que você saiba que as figuras apresentadas até agora representam sons simples, isto é, emitem apenas uma única frequência. Mas como será a forma de onda emitida por

um violão? Ou seja, será que os sons musicais são do tipo que desenhamos até agora? E os ruídos, serão tão simples assim?

Um instrumento musical pode produzir grande número de frequências; contudo, a diferença é que os sons musicais utilizam apenas algumas entre as inúmeras frequências possíveis. Estas frequências, estabelecidas por convenção, constituem as notas musicais. Assim, uma nota musical pura tem sempre a mesma frequência, qualquer que seja o instrumento que a produz. Quando dizemos que um instrumento está desafinado, significa dizer que ele está produzindo frequências diferentes da escala convencional. Afinar um instrumento significa, então, ajustá-lo de modo a emitir ondas sonoras com essas determinadas frequências.



Ruído e música.

Com isso, pode-se obter uma diferença objetiva entre ruído e som musical. Quando um objeto vibra de forma desordenada, ele produz um som que é o somatório de um número muito grande de frequências.

A frequência pode, então, ser uma medida objetiva utilizada para categorizar os sons.

Assim, o som produzido por essa vibração desordenada é chamado de ruído, como o barulho de um trovão ou de um ronco.

Elaborado especialmente para o *São Paulo faz escola*.

Agora, tente fazer a representação gráfica de um ruído. Para isso, escolha um determinado ruído e faça o gráfico correspondente.

## Energia musical



© Matthias Kulka/zefa/Corbis-Latinstock

Iremos discutir agora a relação da onda com a energia que ela carrega. Para isso, você vai estudar outra característica ondulatória importante: a amplitude. Nossos ouvidos percebem claramente diferenças de intensidade, de modo que facilmente podemos classificar um som como muito ou pouco intenso. Quando mexemos no botão de volume de um aparelho de som, estamos variando a intensidade sonora que está associada à amplitude da onda.

Essa relação entre intensidade e amplitude pode ser entendida ao analisarmos o que ocorre em alguns instrumentos musicais. Por exemplo, o que se deve fazer para produzir um som mais intenso (mais alto, na linguagem cotidiana) quando se toca um atabaque ou um pandeiro? É fácil perceber que para modificar a intensidade do som produzido é preciso utilizar mais energia no momento de tocá-los.

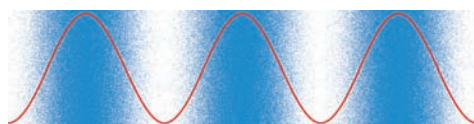
Da mesma forma, para que um som mais intenso seja gerado em um violão, é necessário tanger suas cordas com mais força, aumentando assim a amplitude de seus deslocamentos, liberando então mais energia.

Em um aparelho eletrônico, como um teclado, para produzir um som mais intenso é preciso mexer no botão de volume, que simplesmente faz a potência de saída do circuito elétrico do aparelho aumentar. E é essa quantidade de energia sonora que perturba as pessoas quando elas pedem para abaxarmos o volume do aparelho de som. A grandeza física que exprime essa característica das ondas sonoras é a amplitude. Ondas que vibram com maiores amplitudes exercem uma maior pressão sobre o ar, carregando mais energia.

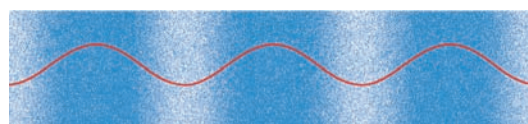
Agora já podemos distinguir entre o uso formal, no âmbito da Física, e o uso informal, utilizado cotidianamente, dos termos “som alto” e “som baixo”. Quando dizemos no cotidiano que um som está alto ou baixo, estamos nos referindo à sua intensidade sonora, e não à sua frequência. Mas, quando falamos que um som é alto ou baixo na Física, estamos nos referindo apenas à sua frequência, não tendo nenhuma relação com a intensidade.

### Leitura e Análise de Imagem

Como feito anteriormente, agora você vai analisar as figuras “Som relativamente mais intenso” e “Som relativamente menos intenso”.



Som relativamente mais intenso.



Som relativamente menos intenso.

© Jairo Souza  
Design

Para auxiliar sua leitura gráfica, responda às questões a seguir:

1. Quais as semelhanças e diferenças entre as duas ondas?

---



---

2. Explique por que a primeira imagem representa um som mais intenso do que a segunda.

---



---



VOCÊ APRENDEU?



1. O que é um som alto?

---



---

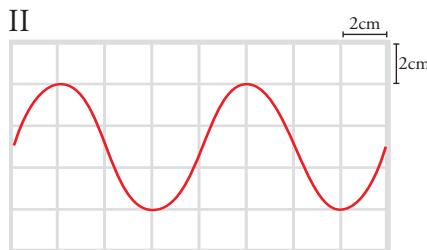
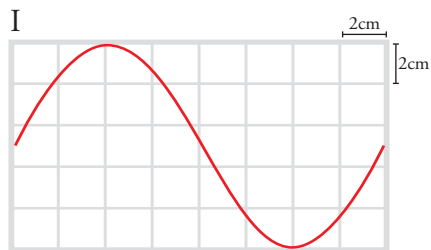
2. No dia a dia, quando alguém aumenta o volume do aparelho de som, dizemos: “Que som alto!” Qual seria a expressão correta, segundo a Física, para tal situação?

---



---

3. As figuras I e II abaixo mostram imagens instantâneas das ondas emitidas em um experimento de acústica.



- a) Se as duas ondas possuem a mesma **velocidade de propagação**, qual das ondas possui uma frequência maior? Justifique.

---



---



---

- b) Se cada quadrado tem 2 cm de lado, determine a amplitude e o comprimento de onda para cada uma das ondas.

---



---

4. Fisicamente, qual a diferença entre música e barulho?

---



---



### LIÇÃO DE CASA



- Pesquise em seu livro didático, na biblioteca de sua escola ou na internet:
  - Qual a unidade no Sistema Internacional de Unidades (SI) para **comprimento de onda, frequência, velocidade de propagação, amplitude e período?**
  - Como são classificadas as vozes masculinas e femininas no canto erudito?
- Leia o Roteiro de Experimentação da Situação de Aprendizagem 4 e traga para a próxima aula o material necessário para a realização das atividades.



### SITUAÇÃO DE APRENDIZAGEM 4 FAZENDO UM SOM

Certamente você consegue distinguir o som emitido por uma flauta daquele emitido por um pandeiro. Da mesma forma, você reconhece sua música preferida quando ela é tocada no violão ou no piano. Mas uma nota musical tem frequência bem determinada, independentemente do instrumento que a emite. Sendo assim, por que conseguimos diferenciar o som do violão do som do piano?



© Miguel Raurich/Album Art-Latinstock

---



---



---



## ROTEIRO DE EXPERIMENTAÇÃO

### Fazendo um som

Nesta Situação de Aprendizagem você deverá construir alguns instrumentos musicais rudimentares, mas com as características essenciais que regem o funcionamento dos instrumentos mais complexos.

#### Violão genérico

##### Materiais

- 50 cm de fio de náilon;
- dois lápis ou prendedores de roupa;
- uma lata vazia de leite em pó ou achocolatado.

#### Mãos à obra!

1. Faça um furo no centro do fundo da lata e passe por ele o fio de náilon.
2. Amarre fortemente um lápis ou um prendedor de roupa em cada uma das extremidades do fio. Pronto, está feito seu violão genérico!
3. Vire a lata de boca para baixo e apoie-a sobre uma mesa.
4. Agora estique o fio com uma mão, puxando-o pelo lápis, enquanto segura a lata com a outra mão.
5. Toque o violão com os dedos da mão que prende a lata, enquanto varia a tensão no fio com a outra mão.

#### Xilofone de água

##### Materiais

- diversas garrafas ou copos de vidro de mesmo tamanho e formato;
- uma colher ou lápis;
- água;
- corante alimentício.

#### Mãos à obra!

1. Coloque diferentes volumes de água nas garrafas.



2. Adicione corante na água de cada uma das garrafas. O corante tornará mais fácil a diferenciação visual dos níveis de água.
3. Agora, soprando por cima do gargalo da garrafa, faça vibrar o ar em seu interior.
4. Você também pode fazer isso batendo na garrafa ou nos copos com uma colher ou um lápis.
5. “Toque” o xilofone e disponha as garrafas de modo a obter uma ordem crescente de frequências.

### **Gaita genérica**

#### **Material**

- uma mangueira flexível de 80 cm de comprimento com ranhuras (conduíte).

### **Mãos à obra!**

1. Segure uma ponta da mangueira com uma das mãos e comece a girá-la sobre sua cabeça.
2. Fazendo variar a velocidade, podemos obter frequências diferentes, produzindo sons diferentes.

### **Miniatabaque genérico**

#### **Materiais**

- tubo de papelão de um rolo de papel-toalha;
- uma bexiga;
- elásticos de escritório.

### **Mãos à obra!**

1. Estique a bexiga (como a pele de um tambor) numa extremidade do tubo e prenda-a com vários elásticos para não deixá-la escapar.
2. Agora é só usar os dedos para efetuar a percussão na bexiga.
3. Experimente deixá-la mais esticada ou menos esticada para variar a sonoridade.



## Leitura e Análise de Texto

### Notas musicais

Guilherme Brockington

Como o som é produzido quando alguém toca um violão? Como ele gera notas tão diferentes? Para responder a estas perguntas, vamos, inicialmente, observar um violão.

Uma extremidade de sua corda está presa na tarraxa ou cravelha (observe a imagem ao lado), enquanto a outra extremidade está presa no cavalete. Como as extremidades das cordas são fixas, qualquer onda que se forme deverá sempre ter nodos nas extremidades, ou seja, nesses pontos não pode haver oscilação. Logo, as ondas produzidas ao se tanger as cordas, quando refletidas nas extremidades, se interferem, originando assim uma onda estacionária com frequência determinada, chamada de frequência de ressonância. Assim, dependendo da corda tangida e da posição dos dedos em cima das cordas, apenas algumas ondas com frequências bem determinadas podem se formar nas cordas.

Para que você possa entender as características envolvidas na altura de uma nota, analise o violão genérico, proposto nesta Situação de Aprendizagem. Como em um berimbau, um cavaquinho ou um violão, temos aqui o caso de uma corda, de comprimento  $L$  e densidade linear  $\mu$  (massa por unidade de comprimento), presa pelas extremidades. Esta corda é mantida esticada por certa força  $T$ , que pode ser variada à vontade. Ao tanger a corda, pulsos ondulatórios começam a se propagar, afastando-se da região de perturbação inicial com uma velocidade dada por:  $v = \sqrt{\frac{T}{\mu}}$ . Note que a velocidade dos pulsos depende da tensão aplicada e da densidade da corda, mas não depende da intensidade com que ela é tangida.

O fato das extremidades estarem fixas gera uma condição particular na qual a onda estacionária é, fisicamente, a única forma estável possível de vibração para a corda. E, entre todas as ondas estacionárias imagináveis, realizam-se de fato aquelas cujos nodos estejam nas extremidades. Essas ondas são chamadas de harmônicos ou frequências naturais de vibração do sistema.

Como qualquer um dos harmônicos é produzido na mesma corda, todos possuem a mesma velocidade de propagação. Além disso, cada um dos harmônicos possíveis tem uma frequência que é um múltiplo da frequência do primeiro harmônico, também chamado de



© Balfour Studios/Alamy-Otherimages

harmônico fundamental. Como  $v = \lambda \cdot f$ , logo o harmônico fundamental tem frequência

$$f_1 = \frac{v}{2L}$$

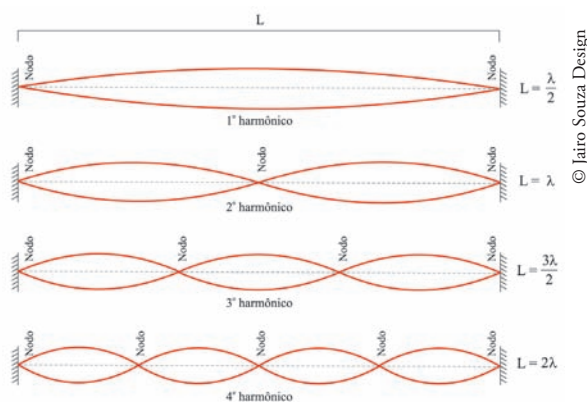
Assim, para qualquer outro harmônico  $n$ , temos:

$$f_n = n \frac{v}{2L}$$

Por fim, como  $v = \sqrt{\frac{T}{\mu}}$ , temos:

$$f_n = \frac{n}{2L} \sqrt{\frac{T}{\mu}}$$

onde:  $n$  é o número do harmônico,  $v$  é a velocidade de propagação,  $f$  é a frequência e  $\lambda$  é o comprimento de onda.



© Jairo Souza Design

Representação dos harmônicos em uma corda fixa nas extremidades.

Elaborado especialmente para o *São Paulo faz escola*.

Analisando a fórmula acima, determine:

- O que ocorre na altura da nota quando um violonista gira a cravelha no violão, aumentando a tensão na corda? Justifique.  


---


---
- Se um violonista deseja produzir notas mais agudas, porém sem mudar a tensão em uma corda, o que ele deve fazer variar?  


---


---
- Uma corda mais fina produz um som agudo ou grave? E uma corda mais grossa? Justifique.  


---


---
- Estabeleça a relação entre a representação da figura – representação dos harmônicos em uma corda fixa nas extremidades – e a equação da determinação das frequências dos harmônicos.  


---

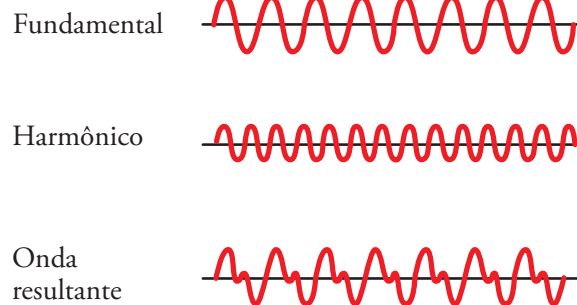

---



### Timbre, a assinatura de um som

Tente responder a esta pergunta: se cada nota pura emite a mesma frequência, como distinguimos um cavaquinho de uma flauta doce? Podemos facilmente distinguir um mesmo som quando produzido por instrumentos diferentes. Essa diferença se deve a uma característica chamada timbre, uma espécie de assinatura ou identidade de cada instrumento musical, de cada fonte sonora. Ao superpormos as amplitudes dos diferentes harmônicos à amplitude da frequência fundamental, gera-se uma onda irregular cheia de cristas e vales.

Assim, na figura, a última onda representa justamente a soma das ondas anteriores. Essa “mistura” de amplitudes depende das características de cada instrumento, de modo que o resultado acústico é dado em função da forma como cada harmônico contribui para a onda sonora resultante. Alguns instrumentos reforçam os harmônicos de frequências menores, enquanto outros reforçam os harmônicos de frequências maiores. As diferentes contribuições de cada harmônico definem, então, a qualidade do som produzido, originando o timbre daquele instrumento musical. Desse modo, cada instrumento produz sua “assinatura” sonora, fruto da superposição de harmônicos característica daquele instrumento.



Representação da soma de amplitudes de diferentes harmônicos.



## APRENDENDO A APRENDER

### Vibração forçada, frequência natural e ressonância

Para entender um pouco mais sobre ondas, você deverá imaginar (ou fazer!) uma simples experiência: pegue um celular e coloque-o no modo em que ele somente vibra. Segure-o e ponha-o para vibrar. Certamente, ninguém conseguirá ouvi-lo. A seguir, faça a mesma

coisa, mas apoie-o sobre a mesa. Facilmente ele poderá ser ouvido. Por que isso ocorre? Essa “amplificação” do som ocorre porque o tampo da mesa é forçado a vibrar junto com o celular. Como sua superfície é mais extensa, ela colocará uma maior quantidade de ar para vibrar, aumentando a intensidade do som. Ou seja, o tampo da mesa foi forçado a vibrar. Isso não acontece somente nesse caso, mas também em partes dos instrumentos musicais e das caixas de som.

Ao bater levemente com um lápis em um copo de vidro, ouvimos um som bem característico. Da mesma forma, se um objeto metálico, como uma panela, cai no chão, imediatamente reconhecemos seu som. Ou seja, facilmente podemos dizer se o que caiu no chão foi a panela ou o copo, mesmo sem ver, apenas ouvindo o som que emitem. Por que materiais diferentes emitem sons diferentes? Qualquer corpo vai vibrar quando sofrer uma “pancada”. Um objeto elástico emite um conjunto particular de frequências que formam o som que o caracteriza. São as frequências naturais de vibração, que dependem de fatores como a estrutura molecular e a forma dos corpos. Ou seja, as frequências naturais de um objeto são aquelas em que ele naturalmente vibra quando excitado de alguma forma. Quando uma força externa atua sobre um corpo, ele só vai vibrar nessas frequências naturais ou harmônicos, como ocorre ao se dedilhar as cordas de um violão ou bater na membrana de um tambor. Nós, seres humanos, não somos capazes de captar todas as frequências naturais emitidas por muitos objetos, mas isto não significa que eles não as emitem. Quase tudo que existe vibra, mesmo que aparentemente esteja imóvel. Assim, pedras, prédios, planetas, átomos e seu próprio corpo, por exemplo, possuem uma ou mais frequências naturais de vibração.

Quando um objeto qualquer é “excitado” em uma de suas frequências naturais, ocorre um fenômeno chamado ressonância. Por exemplo, quando uma vibração forçada tem uma frequência igual à frequência natural de um corpo, há um aumento gradativo na amplitude da vibração. Assim, em um instrumento musical, como um violão, é a estrutura da caixa de madeira que “amplifica” o som e acrescenta vários harmônicos. Ou seja, o corpo de um instrumento musical é, na verdade, uma caixa de ressonância. No caso do violão, as vibrações da corda entram em ressonância com a caixa, amplificando o som e gerando seu timbre. Sem isso, o som da corda seria pouco intenso, soando bastante fraco, ficando quase inaudível.

O fenômeno da ressonância não se restringe às ondas sonoras. As informações que captamos em rádios e TVs viajam em ondas eletromagnéticas por todo o espaço e têm frequências de oscilação bem características. Cada emissora tem uma frequência própria de transmissão que a difere das outras emissoras. Sintonizar sua rádio preferida ou assistir na TV a seu canal predileto significa fazer com que o receptor de seu rádio ou aparelho de TV entre em ressonância com a onda daquela emissora. Ao apertar o botão que modifica os canais, você permite que haja uma modificação na frequência natural de vibração do circuito eletrônico de seu receptor. Este, ao entrar em ressonância com a onda de rádio ou TV, passa a receber o sinal com eficiência máxima, que é então reproduzido pelo receptor. Como as ondas das outras emissoras possuem frequências diferentes, elas não entram em ressonância com o receptor, sendo assim impossível captar seus sinais. Processo semelhante ocorre com celulares e outros aparelhos de comunicação.



## VOCÊ APRENDEU?



Em seu caderno, responda às questões a seguir.

1. O que um violão, um xilofone, uma gaita e um atabaque têm em comum em relação à produção de som?
2. Qual a diferença entre uma nota tocada no violão e a mesma nota tocada em um xilofone?
3. O que é timbre?
4. Se o som do violão é produzido pelas cordas e notas determinadas pela escala no braço do instrumento, por que ele precisa do corpo?
5. O que é ressonância?
6. O que é uma onda estacionária?
7. O que é um harmônico e como é possível calcular seu valor?
8. Você já ouviu latido “grosso”, grave, de cachorro pequeno? E latido “fino”, agudo, de cachorro grande? Explique por que isso ocorre, baseando-se no texto das páginas anteriores.



## LIÇÃO DE CASA



1. Pesquise em seu livro didático, na biblioteca de sua escola ou na internet as representações dos harmônicos e da equação das frequências fundamentais de um instrumento de tubo aberto (gaita) e de um instrumento de tubo fechado em apenas uma extremidade (xilofone de água). Procure uma representação semelhante à que foi apresentada para as cordas do violão (página 19).
2. Leia a Situação de Aprendizagem 5 e realize a entrevista proposta na Pesquisa de Campo.



## SITUAÇÃO DE APRENDIZAGEM 5 UMA ENTREVISTA DO BARULHO



© Brad Swonetz/zefa/Corbis-Latinstock



### PESQUISA DE CAMPO

#### Uma entrevista do barulho

A Organização Mundial da Saúde (OMS) calcula que a maioria da população mundial esteja regularmente exposta a índices de ruído acima da intensidade adequada para a manutenção de uma vida saudável. Centenas de milhões de pessoas são afetadas pela poluição sonora, que cresce cada vez mais com o estilo de vida moderno. Há uma grande preocupação com relação à poluição do ar por parte das autoridades, que vêm estabelecendo níveis de emissão cada vez mais baixos e impondo menores índices de poluentes para os veículos. Contudo, a poluição sonora tem sido negligenciada. Para discutirmos mais profundamente, você deverá entrevistar especialistas que se dedicam a esse tema (médicos, organizações não governamentais, órgão públicos de fiscalização – como Inmetro e a Prefeitura de São Paulo (Lei do Psiu) –, advogados etc.).

Faça perguntas como as que se seguem:

**Ao otorrinolaringologista:**

1. Como ouvimos os sons?
2. O que causa a perda auditiva?
3. O hábito de ouvir música com o volume alto pode comprometer a audição?
4. Quais são os tipos de prevenção para quem é obrigado a trabalhar em lugares barulhentos?
5. Se uma pessoa passar por um período de descanso em um ambiente tranquilo, sem ruídos, após entrar em contato com um barulho muito intenso, de 90 decibéis, por exemplo, pode se recuperar do dano?
6. Ouvir música com fones de ouvido pode deixar alguém surdo?
7. Quais são os efeitos da poluição sonora sobre a saúde humana?
8. Quais doenças estão associadas ao excesso de exposição a sons muito intensos?
9. Como posso saber se estou com algum problema auditivo?
10. Quais as recomendações para se ter uma audição sadia?

**A órgãos públicos, ONGs e advogados:**

1. O que é poluição sonora?
2. Que nível de ruído é considerado prejudicial?
3. Como esses ruídos são medidos?
4. O nível de ruído dos aparelhos eletrodomésticos está sujeito a normas?
5. Quem os fiscaliza?
6. O que a legislação brasileira estipula sobre o nível de ruído no trabalho?
7. Quais são os meus direitos como cidadão quando meu silêncio é perturbado?
8. Onde posso reclamar sobre excesso de ruído?
9. Até que horário uma obra de construção civil pode ser realizada?
10. Quais são os meus deveres como cidadão em relação à intensidade dos sons que ouço?

Essas são perguntas que devem guiar sua entrevista, mas faça quaisquer outras que julgar importantes. Após a realização da atividade, elabore um relatório sintetizando suas observações e apresente ao professor. Além das questões acima, o relatório deve conter o nome do entrevistado, o local em que trabalha e a função que desempenha.



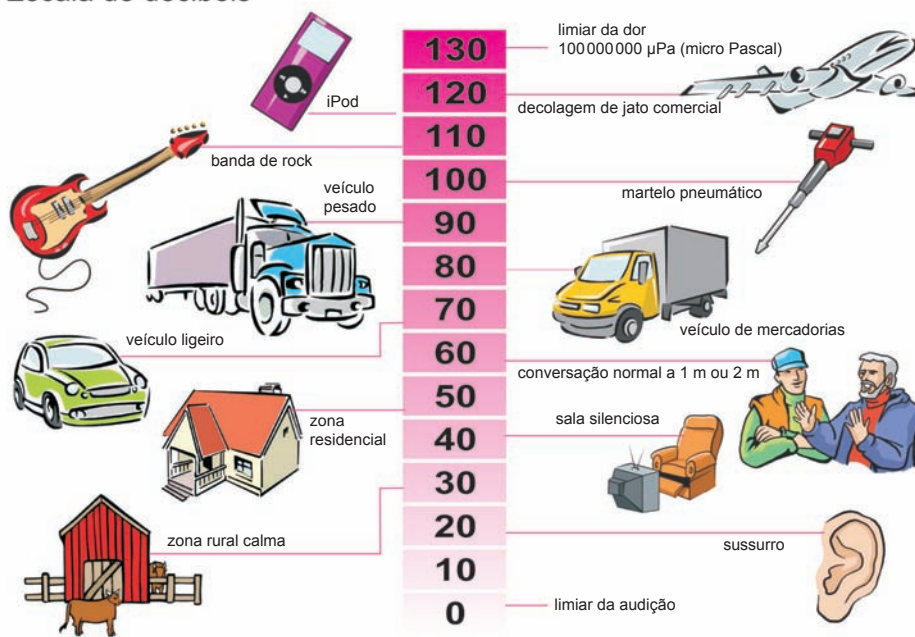
**O que conseguimos ouvir**

Um ouvido normal consegue ouvir uma faixa de frequências que varia aproximadamente entre 20 Hz e 20 000 Hz. Espécies diferentes percebem os sons de modos diferentes, tanto que alguns animais, como cães e morcegos, podem ouvir o que nós, humanos, não conseguimos. Na espécie humana, como a orelha é um órgão extremamente sensível, ela pode captar sons com enormes diferenças de intensidade, desde a queda de uma agulha no



chão até o barulho do motor de um avião. Para medir o nível de intensidade sonora ( $\beta$ ), utiliza-se, então, o decibel (dB).

Escala de decibéis



© Jairo Souza Design

Analise a figura acima e localize o nível de intensidade sonora a que você está exposto em diferentes instantes de seu dia a dia.

---



---



---



---



## APRENDENDO A APRENDER

É possível fazer música com barulho? Como vimos, toda música precisa de ritmo e melodia, características que são subjetivas e altamente influenciadas pela cultura. Variações culturais originam ritmos diferentes, que podem agradar a alguns e desagradar a outros. Assim, muita música pode ser feita com sons que, inicialmente, consideramos barulho. Mas, para

que isso fique claro, é preciso que você as ouça! Assim, procure na internet, por exemplo, os trabalhos de artistas brasileiros como Naná Vasconcelos e Hermeto Pascoal, que criaram músicas com “instrumentos” inusitados, como copos, garrafas, chaleiras e panelas. Você também pode procurar os sons criados pelo grupo nacional Barbatuques (<<http://www.barbatuques.com.br>>), que faz músicas com percussão corporal, ou pelo grupo internacional Stomp (<<http://www.stomponline.com>>), que cria músicas fantásticas com baldes, vassouras, bolas de basquete e chaves. Música, então, é simplesmente o som que nos toca, encanta e emociona.



## VOCÊ APRENDEU?



1. O uso que você faz do fone de ouvido pode ser considerado saudável? Justifique.

---



---



## LIÇÃO DE CASA



1. Pesquise em seu livro didático, na biblioteca de sua escola ou na internet:
  - a) Existe alguma fórmula para expressar a intensidade sonora em decibéis?
  - b) O grupo de *heavy metal* Manowar bateu o recorde mundial de intensidade sonora ao atingir 129,5 dB em um *show* em Hannover. Procure sons que possuem intensidade sonora similar, determinando se tal intensidade é saudável para nossa audição.

## TEMA 2:

## LUZ: FONTES E CARACTERÍSTICAS FÍSICAS

Grande parte das informações que obtemos do mundo chega até nosso cérebro por meio da visão. Por meio de nossos olhos, captamos sinais luminosos que, traduzidos e decodificados pelo cérebro, permitem uma percepção do mundo em suas mais diversificadas formas, cores e significados.

Para o entendimento de inúmeros fenômenos naturais e dos princípios de funcionamento de equipamentos de alta tecnologia, é preciso compreender como a luz é produzida, se propaga e interage com a matéria. Tais conhecimentos fazem parte da Óptica e permitem responder



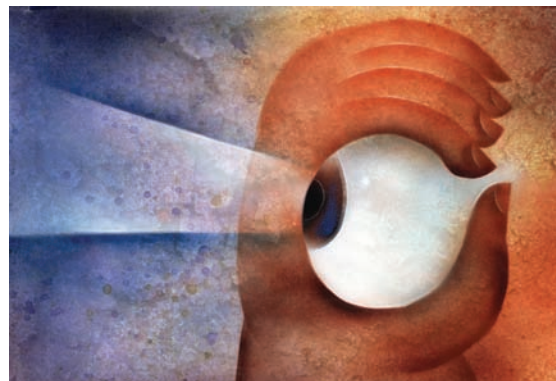
© Gabor Nemes/Kino

a questões como: de onde vem a luz? Como é produzida? Como se propaga? Como se formam as imagens em espelhos ou lentes? Como ocorre o processo da visão?



## SITUAÇÃO DE APRENDIZAGEM 6 VENDO O MUNDO

Muitas das informações que temos do mundo chegam a nós por meio da luz. A visão tem papel fundamental na construção de nosso universo particular. Mas o que é a luz? Como vemos as coisas? Essas e outras perguntas serão respondidas ao longo desse tema. São inúmeros os fenômenos que envolvem a luz, e, pouco a pouco, você tomará contato com eles. Inicialmente, é preciso reconhecer algumas características que estão presentes quando falamos de luz. Para isso, responda às questões a seguir:



© Images.com/Corbis-Latinstock

### Problematizando e classificando

#### Vendo o mundo

Pesquise e responda em seu caderno:

1. O que produz a luz?
2. O que emite a luz?
3. O que é sensível à luz?
4. O que bloqueia a luz?
5. O que permite a passagem da luz?

Terminada a discussão, o grupo deve eleger 20 elementos (entre instrumentos, situações, fenômenos e processos) associados à luz e à visão.

Classifique os elementos listados em quatro grandes categorias: a) produtores ou fontes de luz; b) refletores (que devolvem a luz); c) refratores (que deixam passar a luz); d) absorvedores (que transformam a energia luminosa em outras formas de energia).

Produtores ou fontes de luz	Refletores	Refratores	Absorvedores



## Leitura e Análise de Texto

### Teorias sobre a visão

Guilherme Brockington

Por que vemos as coisas? Como será que enxergamos? Por que não podemos enxergar no escuro? O que é necessário para enxergar? A visão do mundo vem de fora ou é projetada pelos olhos? Perguntas como essas instigaram o homem durante milênios. O desejo de compreender os processos de visão fez com que diversos pensadores criassem as mais diferentes teorias, todas com o intuito de responder a perguntas como essas.

Por exemplo, por volta de 500 a.C., o filósofo Leucipo de Mileto acreditava que a visão só era possível porque os objetos presentes no mundo emitiam pequenas partículas, chamadas de *eidola*, que chegavam até nossos olhos. Assim, um gato, por exemplo, emanava de sua superfície essas partículas, capazes de levar informações sobre a forma e a cor do animal.

Para outro filósofo grego, Empédocles (490-430 a.C.)\*, a visão era explicada de outra maneira. Para ele, a visão estava relacionada com o elemento fogo, que, juntamente com o ar, a terra e a água, seriam os quatro elementos básicos que formavam o Universo. Empédocles acreditava que um raio visual era emitido pelos olhos e chegava até os objetos. Ao retornar para o olho, esse raio trazia informações sobre as formas e cores daquilo que era visto. Ou seja, isso ilustra como foram elaboradas diferentes teorias para tentar explicar como ocorrem os fenômenos ópticos.

Hoje sabemos que enxergamos porque o olho é um sistema sensível à luz proveniente de objetos luminosos ou iluminados. Ou seja, caso não haja nenhuma fonte emitindo luz, não há nada que nossos olhos possam captar. É preciso que os objetos sejam capazes de emitir ou refletir a luz para que possam ser vistos. Nosso sistema visual recebe as informações luminosas e as envia até o cérebro, que as processa, transformando-as em imagens.

Elaborado especialmente para o *São Paulo faz escola*.

\*Britannica Concise Encyclopedia. *Biographies*. Disponível em: <<http://www.answers.com/topic/empeocles>>. Acesso: 17 maio 2010.

1. Por que não conseguimos enxergar quando está totalmente escuro?

---



---



---

2. O que é *eidola*?

---



---



---



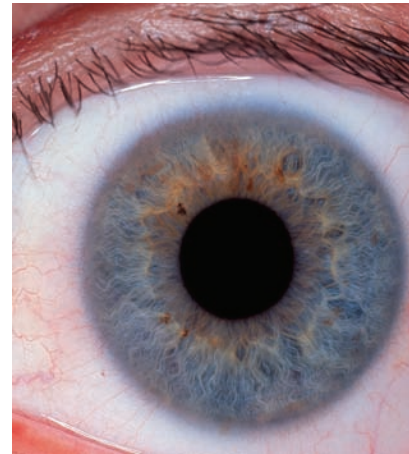
## LIÇÃO DE CASA



1. Pesquise em seu livro didático, na biblioteca de sua escola ou na internet os fenômenos ondulatórios: difração, polarização, dispersão, interferência, refração, reflexão e batimento.
2. Leia o Roteiro de Experimentação da Situação de Aprendizagem 7 e traga, na próxima aula, o material necessário para a realização das atividades.

SITUAÇÃO DE APRENDIZAGEM 7  
A CÂMARA ESCURA

Como enxergamos as coisas? Como podemos ver o mundo que nos cerca? Por que não enxergamos no escuro? Para que possa responder a estas perguntas e compreender como se dá o processo de visão, você vai agora construir uma “máquina fotográfica” rudimentar. É um experimento simples, mas que revelará a você princípios de funcionamento muito parecidos com os que ocorrem nas máquinas fotográficas modernas e em nossos olhos.



© Raul Gonzales Perez/Photoresearchers-Latinstock

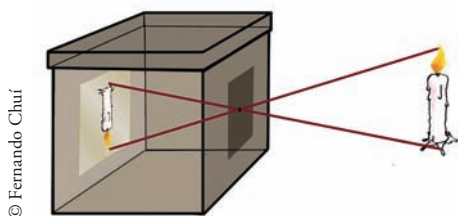


## ROTEIRO DE EXPERIMENTAÇÃO

## A câmara escura

**Materiais**

- uma caixa de papelão com tampa (pode ser de sapatos);
- fita-crepe;
- cartolina preta;
- papel vegetal;
- papel-alumínio;
- tesoura;
- alfinete;
- vela;
- fósforos.

**Mãos à obra!****Câmara escura**

1. Forre a parte interna da caixa de papelão com a cartolina preta, inclusive a tampa.
2. Corte no centro de uma de suas faces um pequeno quadrado, como se fosse uma janela.
3. Cubra o quadrado com um pedaço de papel-alumínio.
4. Com um alfinete, faça um pequeno furo no centro do papel-alumínio.
5. Na face diametralmente oposta, recorte um quadrado de 10 cm ou 15 cm de lado, na mesma direção do furo.
6. “Tampe” esse buraco com um pedaço de papel vegetal, fixando-o com a fita-crepe.
7. Para garantir que a luz entre na caixa somente por esse orifício, vede todas as suas emendas com fita-crepe.
8. Pronto, está feita a câmara escura.
9. Acenda a vela e observe sua imagem formada no papel vegetal.
  - Como é a imagem que você viu?
  - O que a imagem tem de diferente em relação à vela?
  - Como você explica a imagem observada?
10. Agora, apoie sua câmara sobre a mesa e faça o que se pede a seguir, registrando os resultados em seu caderno.

1. Coloque a vela a uma determinada distância em relação à câmara e anote essa distância. Meça o tamanho da imagem e anote-o também.
2. Agora, aproxime a vela da câmara. Veja o que acontece com o tamanho da imagem. Meça e anote os valores da nova distância e do novo tamanho da imagem.
3. Repita o que fez anteriormente, desta vez afastando a vela da câmara.
4. Troque sua câmara escura por outra, de tamanho diferente. Coloque a câmara às mesmas distâncias que usou anteriormente e anote os tamanhos das imagens.

5. Relacione o tamanho da imagem com as dimensões da câmara escura e o seu distanciamento da vela.
6. Aumente o furo da câmara que você construiu e descreva as mudanças que observa. O que ocorre com a nitidez da imagem? Como você explica isso?



### Leitura e Análise de Texto

#### A câmara escura

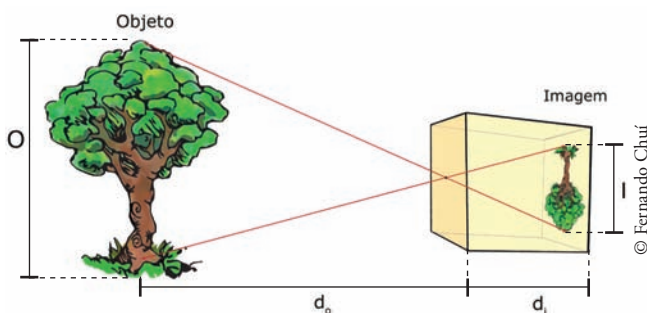
Guilherme Brockington

A câmara escura é um instrumento predecessor da câmara fotográfica. Ela é simplesmente uma caixa com um único orifício que permite a entrada da luz exterior, que é projetada em uma tela no lado oposto ao orifício. Ao direcionar o orifício da câmara escura para um objeto qualquer que esteja emitindo ou refletindo luz, observa-se, no anteparo feito com a folha de papel vegetal, a projeção da imagem desse objeto, que aparecerá invertida. Mas por que ela aparece invertida?

Para entender o que está por trás do funcionamento da câmara escura, devemos considerar a propagação da luz em linha reta. Isso significa imaginar que cada ponto do objeto emite ou reflete a luz em todas as direções possíveis. Assim, o pequeno orifício na parte frontal da câmara permite a entrada de um estreito raio de luz proveniente de cada ponto do objeto. Como os raios de luz viajam em linha reta, aqueles provenientes da parte inferior do objeto atingem o topo do anteparo (o papel vegetal) e vice-versa. Assim, a imagem do objeto aparecerá invertida. Perceba que isso ocorre com qualquer objeto, seja ele luminoso, como uma vela, ou iluminado, como uma árvore.

Agora, uma coisa deve ficar bastante clara para você: os traçados dos raios de luz que você vê nesta figura não têm significado próprio, ou seja, não devem ser entendidos como algo real. Eles são apenas uma ferramenta para a compreensão do processo de formação de imagens. Trata-se de uma representação da luz, de modo que esse modelo de propagação retilínea permite estabelecer relações geométricas entre os tamanhos do objeto, da câmara escura e da imagem. Observando a geometria da figura ao lado, podemos determinar as distâncias envolvidas e os tamanhos das imagens usando a semelhança de triângulos. Assim, perceba que  $\frac{o}{d_o} = \frac{i}{d_i}$ ,

onde **o** é o tamanho do objeto, **d<sub>o</sub>** é sua distância até o orifício, **i** é o tamanho da imagem e **d<sub>i</sub>** é a profundidade da câmara escura.



Formação de imagem em uma câmara escura.

© Fernando Chui

### A máquina fotográfica e o olho humano

Processos parecidos com o que você viu na câmara escura ocorrem em máquinas fotográficas e também em nossos olhos. Centenas de anos antes da invenção da fotografia, a câmara escura já era utilizada por pintores e artistas. Naquela época, tratava-se basicamente de um quarto escuro com um pequeno orifício na parede para permitir a passagem da luz, que incidia na parede oposta, formando uma imagem real invertida. Somente em 1826 a primeira fotografia foi tirada, quando o francês Joseph Niépce usou uma câmara escura com um material sensível à luz, o filme fotográfico.

Basicamente, uma máquina fotográfica possui três elementos principais: o diafragma, a lente e o filme. Assim, para que se possa fazer qualquer fotografia, é necessário conhecer, calibrar e combinar esses elementos.

Como você deve ter percebido, o tamanho do furo que fez em sua câmara escura influenciou na qualidade da imagem. O mesmo ocorre em uma máquina fotográfica. Isso porque, para que a foto fique bem nítida, é preciso controlar a quantidade de luz que entra na câmara e atinge o filme. Luz em excesso faz que a imagem apareça extremamente clara, da mesma forma que pouca luz deixará a foto muito escura. Para ajustar a quantidade de luz que passa, é preciso mudar o tamanho da abertura da lente. Essa regulagem é feita por uma série de placas metálicas que se sobrepõem, de modo que podem abrir ou fechar, aumentando ou diminuindo a quantidade de luz que entra na máquina. Isso é o que chamamos de **diafragma**.



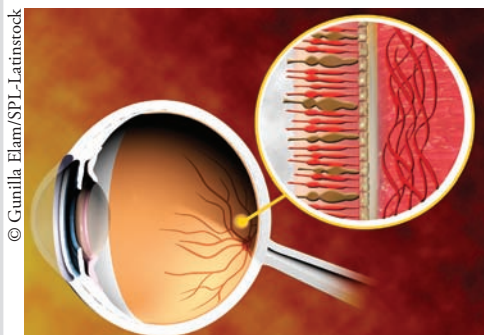
© Peter Donaldson/Alamy-Otherimages

Já a **lente** é o elemento óptico da máquina. Sua função é fazer que os feixes de luz, ao passarem pelo diafragma, sejam redirecionados de modo que incidam no filme na posição correta. Nas máquinas fotográficas, as lentes são elementos complexos, sendo que lentes para *zoom* podem conter, às vezes, até 20 lentes juntas como se fossem uma só! Ou seja, a lente é uma peça fundamental para a obtenção de uma boa fotografia. Você estudará as propriedades das lentes e como elas desviam a luz na Situação de Aprendizagem 9.

Por fim, temos o **filme**, cuja função é registrar o padrão de luz quando exposto a ela. Por isso, para utilizá-lo, você precisa mantê-lo na mais completa escuridão até o momento de tirar a foto, momento em que alguma luz precisa entrar na máquina para registrar a cena. Esse registro se dá por meio de uma reação química que ocorre entre a luz e um conjunto de minúsculos grãos sensíveis à luz espalhados em uma suspensão química sobre uma tira de plástico que forma o filme. Ele é composto de várias camadas, mas o mais relevante aqui é o que acontece na camada fotoquímica. Nela estão contidos os minúsculos grãos de cristais de haleto de prata que reagem como detectores de fótons\*. Combinados com nitrato de prata e sais, como cloreto, brometo e iodeto, esses grãos sofrem uma reação fotoquímica quando expostos à luz, registrando assim a imagem que foi fotografada.

\* Você pode imaginar os fótons como pequeninos grãos de luz. Eles são uma representação moderna utilizada na Física para tratar a quantidade básica de energia luminosa transmitida. Este assunto será retomado e detalhado no 3º bimestre da 3ª série.





As câmaras digitais possuem o mesmo funcionamento básico de uma antiga máquina fotográfica. Contudo, em vez de usar filmes quimicamente tratados, as imagens são gravadas por meio de sensores eletrônicos, que são semicondutores conhecidos como “circuitos integrados”. Eles possuem pequenas áreas, chamadas de *pixels*, que convertem luz em carga elétrica. Ou seja, quanto mais luz chega a um *pixel*, mais elétrons são coletados. Quanto mais *pixels* uma câmera possui, maior é a resolução de suas imagens.

Hoje em dia, as câmeras utilizam basicamente dois tipos de sensores: o CCD (sigla em inglês para *charge coupled device*) e o CMOS (sigla em inglês para *complementary metal oxide semiconductor*). Ainda que possuam diferenças entre si, a ideia é a mesma: os dois tipos de sensores convertem luz em elétrons.

Com relação aos princípios de funcionamento, o olho humano se assemelha bastante com uma máquina fotográfica. Da mesma forma que a máquina, nossos olhos também possuem três componentes essenciais: um orifício que regula a quantidade de luz que entra, uma lente para a formação de uma imagem nítida e um elemento sensível à luz, capaz de fazer o registro de uma imagem. Ou seja, tanto no olho como na máquina fotográfica, a luz que é emitida ou refletida por um objeto passa por um sistema de lentes, formando uma imagem invertida sobre um anteparo.

A entrada de luz nos olhos é regulada por uma membrana muscular chamada **íris**, que é a parte colorida do olho. Ela possui dois músculos capazes de contraí-la ou dilatá-la, fazendo que a pupila, que é um “orifício” no centro do olho, fique menor ou maior, permitindo, assim, que entre menos ou mais luz no interior do olho.

Já o conjunto de lentes que temos nos olhos é formado basicamente pela córnea e pelo cristalino. Este é uma lente capaz de focalizar objetos próximos ou distantes, mudando sua curvatura. Em uma máquina fotográfica, as lentes possuem curvaturas fixas, de modo que, para ajustar o foco a fim de que a imagem se forme corretamente sobre o filme, é preciso movê-las para a frente ou para trás. No olho, isto não é necessário, pois existem músculos que envolvem o cristalino e modificam sua curvatura.

Num olho normal, o cristalino focaliza as imagens em um “anteparo”, que é a retina. Ela é uma pequena membrana que fica na parte posterior do olho e que possui milhões de neurônios sensíveis à luz, chamados de fotorreceptores. Eles são capazes de transformar a luz que recebem em impulsos nervosos que são enviados, pelos nervos ópticos, até o cérebro, que os interpreta e registra como sensações visuais.

O olho humano é um sensor extremamente poderoso. Podemos, por meio dele, ver objetos sob a luz intensa do Sol ou mesmo na escuridão de um quarto. Nossos olhos são capazes de focalizar objetos que se encontram a vários quilômetros de distância ou a um palmo de nossa face. Assim, ainda que sejam parecidos com uma máquina fotográfica, tal semelhança se dá apenas em seu princípio de funcionamento, visto que eles são extremamente mais sofisticados e complexos do que uma câmera fotográfica.

1. Existe alguma semelhança entre o olho humano e uma máquina fotográfica?

---



---

2. Usando as propriedades de triângulos semelhantes, analise a figura “Formação de imagem em uma câmara escura” (página 31) e demonstre a equação  $\frac{o}{d_o} = \frac{i}{d_i}$ .

---



---

3. Ao observar um poste com a câmara escura, o professor Guilherme obteve uma imagem de 9 cm. Se a câmara tem 12 cm de comprimento e ele estava afastado 4 m do poste, qual a altura do poste?

---



---



### LIÇÃO DE CASA



1. Pesquise em seu livro didático, na biblioteca de sua escola ou na internet como funciona o olho humano e faça um cartaz com um olho, descrevendo cada parte dele, bem como sua função.
2. Leia o Roteiro de Experimentação da Situação de Aprendizagem 8 e traga, na próxima aula, o material necessário para a realização das atividades.



### SITUAÇÃO DE APRENDIZAGEM 8 REFLETINDO

“Espelho, espelho meu, existe alguém mais bela do que eu?” Essa frase, imortalizada em um conto de fadas, revela o fascínio que o ser humano sempre teve por ver sua imagem refletida em alguma superfície. Objetos de cobre encontrados às margens do Rio Nilo, no Egito, revelam que os espelhos datam de 5 000 a.C.! Mas o que será que ocorre em um espelho? Existe apenas um tipo? Para entender esses questionamentos, você agora vai estudar a reflexão da luz. Para isso, será necessário construir alguns experimentos e relacioná-los com fatos corriqueiros de seu dia a dia.



© Toru Higuchi/amanaimages/  
Corbis-Latinstock



## ROTEIRO DE EXPERIMENTAÇÃO

### Refletindo: espelhos planos

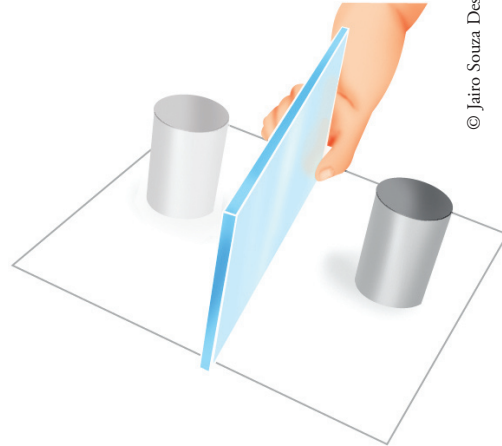
#### Espelhando (o espelho mágico)

##### Materiais

- uma lâmina de vidro;
- uma folha de papel;
- lápis;
- régua;
- dois objetos idênticos (duas borrachas, duas velas etc.).

#### Mãos à obra!

1. Coloque a folha de papel sobre a mesa.
2. No centro da folha, segure a lâmina de vidro por um de seus lados, deixando-a perpendicular ao plano da folha.
3. Coloque um dos objetos a 10 cm de distância da lâmina.
4. Cuidadosamente, sem movimentar a lâmina, coloque o outro objeto exatamente na posição da imagem que você vê refletida na lâmina de vidro.
5. Faça este objeto ficar superposto à imagem que você observa.
6. Agora, meça a distância a que este objeto se encontra da lâmina.



© Jairo Souza Design

Espelho plano.

### Refletindo: espelhos esféricos

#### Montagem dos espelhos esféricos caseiros

##### Materiais

- folha de papel laminado;

- um pote redondo (de sorvete, margarina etc.) com diâmetro entre 15 cm e 20 cm ou um cano de PVC cortado;
- tesoura;
- cola em bastão ou fita adesiva dupla face.

### Mãos à obra!

1. Corte o pote ou um cano ao meio, como mostra a figura a seguir.
2. Uma das metades será utilizada para a confecção do espelho côncavo, e a outra, para o convexo.
3. Para o espelho côncavo, basta colar uma tira da folha de papel laminado na parte interna do pote ou do cano, utilizando a fita dupla face.



Montagem dos espelhos cilíndricos caseiros.

**Dica:** Cuide e certifique-se de não deixar qualquer ruga no papel.

**Atenção:** Para o espelho convexo, basta fixar a tira de papel laminado na superfície externa da outra metade do pote ou do cano.

### Espelhos esféricos: “observando” o foco do espelho côncavo

#### Materiais

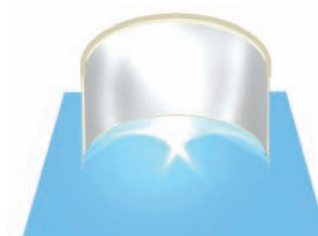
- um espelho côncavo caseiro;
- folha de papel;
- lanterna ou *laser*.

### Mãos à obra!

1. Coloque o espelho sobre uma folha de papel.
2. Ligue a lanterna e incida a luz na superfície espelhada.

Observe o que ocorre com os raios de luz refletidos.

Você pode perceber algum ponto na folha bem mais iluminado que outros? Por que será que isso ocorre?



© Jairo Souza Design

Montagem dos espelhos cilíndricos caseiros:  
espelho côncavo.

### Espelhos esféricos: “observando” o foco do espelho convexo

#### Materiais

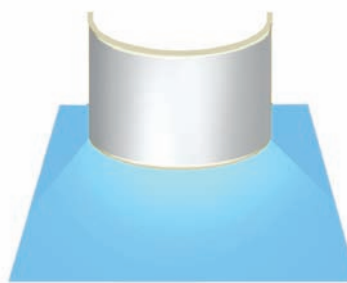
- um espelho convexo caseiro;
- folha de papel;
- lanterna ou *laser*.

#### Mãos à obra!

1. Coloque o espelho sobre uma folha de papel.
2. Ligue a lanterna e incida a luz na superfície espelhada.

Observe o que ocorre com os raios de luz refletidos.

Como eles estão distribuídos? É possível imaginar de onde eles estão saindo?



© Jairo Souza Design

Montagem dos espelhos cilíndricos caseiros:  
espelho convexo.



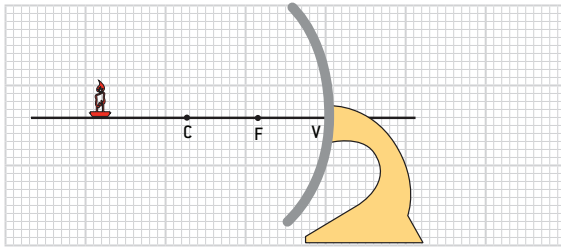
#### Aviso!

Não focalize o *laser* nos olhos, pois isso pode ser prejudicial à visão.

## Construindo e analisando imagens formadas em espelhos esféricos

Com auxílio de seu professor, construa as imagens formadas nos espelhos esféricos a seguir. Apresente e discuta as características das imagens e associe-as com o uso desses espelhos no dia a dia. (Nas figuras a seguir, **C** é o centro de curvatura do espelho, **F** é o foco e **V** é o vértice do espelho.)

a) Objeto colocado antes do centro de curvatura



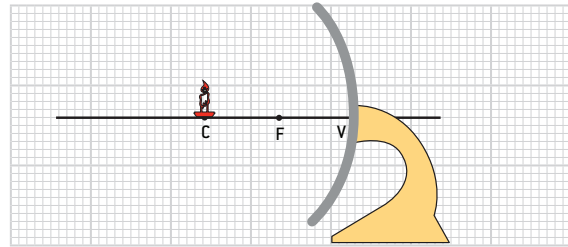
Característica da imagem:

---



---

b) Objeto colocado no centro de curvatura



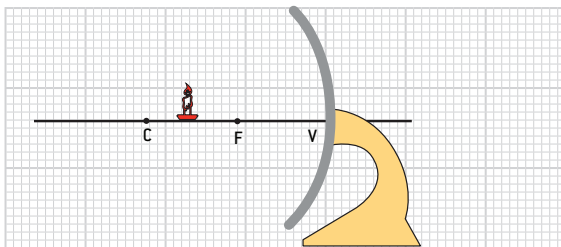
Característica da imagem:

---



---

c) Objeto colocado entre o centro e o foco



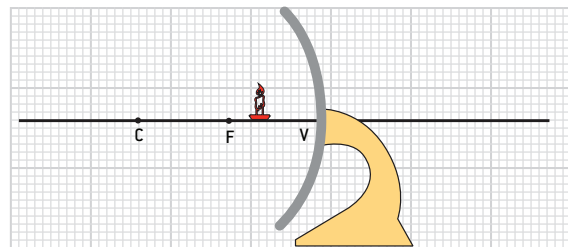
Característica da imagem:

---



---

d) Objeto colocado entre o foco e o vértice



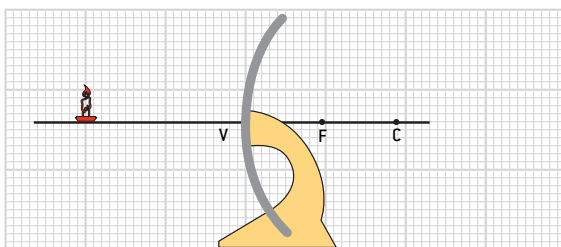
Característica da imagem:

---



---

e) Objeto distante diante de um espelho convexo



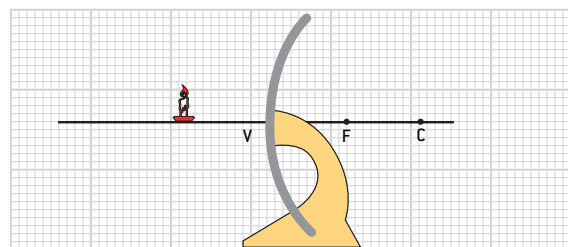
Característica da imagem:

---



---

f) Objeto próximo diante de um espelho convexo



Característica da imagem:

---



---



VOCÊ APRENDEU?



1. Por que ambulâncias têm o nome escrito invertido no capô?

---



---

2. O que é um espelho?

---



---

3. Se um raio de luz incidir em um espelho plano com um ângulo de  $30^\circ$ , com qual ângulo ele será refletido?

---



---

4. Qual será a altura da imagem, bem como a distância dela em relação ao espelho, de um homem de 1,80 m distante 15 m de um espelho plano?

---



---



LIÇÃO DE CASA



1. Pesquise em seu livro didático qual fórmula relaciona a posição da imagem, a posição do objeto e o foco de um espelho esférico. Qual fórmula fornece a ampliação sofrida pelas imagens formadas em um espelho cilíndrico?

2. Leia o Roteiro de Experimentação da Situação de Aprendizagem 9 e traga, na próxima aula, o material necessário para a realização das atividades.



## SITUAÇÃO DE APRENDIZAGEM 9 REFRATANDO

Você já reparou que, ao tentar pegar um objeto submerso na água, como em uma piscina, se mergulharmos nossa mão para alcançá-lo, ele nunca está onde o vemos? Por que isso ocorre? A resposta a essa pergunta permitirá que você entenda um pouco mais dos fenômenos ópticos, possibilitando que compreenda, por exemplo, o funcionamento das lentes e como adequar seu uso à correção de diferentes problemas de visão e à construção de diferentes instrumentos ópticos.



© Mikael Andersson/Nordic-Latinstock



### ROTEIRO DE EXPERIMENTAÇÃO

#### Refratando

##### Montagem das lentes caseiras

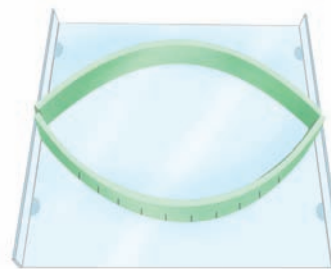
##### Construindo as lentes

##### Materiais

- régua de silicone (30 cm);
- tesoura;
- duas caixas plásticas de CD;
- cola instantânea;
- água.

##### Mãos à obra!

1. Inicialmente, corte a régua na direção de seu comprimento, separando-a em duas metades com 30 cm cada. Uma das metades será utilizada na construção da lente convergente, e a outra, na lente divergente.
2. Pegue a parte de cima da caixa de CD (a caixa precisa ser das mais antigas, que são mais profundas): ela será a base de sua lente.
3. Corte uma das metades da régua ao meio, obtendo dois pedaços de 15 cm cada.
4. Posicione-os no meio da caixa, curvando-os cuidadosamente, como mostra a figura, e cole-os na base.

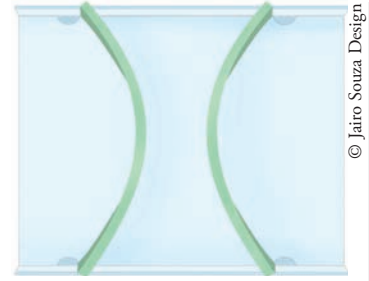


© Jairo Souza Design

Montagem das lentes cilíndricas caseiras: lente convergente.



5. Basta esperar a cola secar e encher o vão entre as régulas com água. Aí está sua lente convergente.
6. Para a confecção da lente divergente, basta fazer a mesma coisa, mas colando as régulas curvadas para fora, como mostra a figura ao lado.
7. Encha com água o vão central e terá sua lente divergente



Montagem das lentes cilíndricas caseiras: lente divergente.

### Convergindo

#### Materiais

- uma lente convergente caseira;
- uma folha de papel;
- duas ponteiras *laser*.

### Mãos à obra!

1. Coloque a folha de papel sobre a mesa.
2. No centro da folha, coloque sua lente convergente.
3. Incida a luz do *laser* em uma das faces da lente e veja o que ocorre com o raio de luz.
4. Mantenha esse *laser* ligado e no mesmo lugar.
5. Agora, incida a luz do outro *laser* nessa mesma face, porém em outra posição. O que ocorre com os raios de luz?

### Divergindo

#### Materiais

- uma lente divergente caseira;
- uma folha de papel;
- duas ponteiras *laser*.

### Mãos à obra!

1. Coloque a folha de papel sobre a mesa.

2. No centro da folha, coloque sua lente divergente.
3. Incida a luz do *laser* em uma das faces da lente e veja o que ocorre com o raio de luz.
4. Mantenha esse *laser* ligado e no mesmo lugar.
5. Agora, incida a luz do outro *laser* nessa mesma face, porém em outra posição. O que ocorre com os raios de luz?



### Leitura e Análise de Texto

#### A refração

© Southern Illinois University/Photosearchers-Latinstock



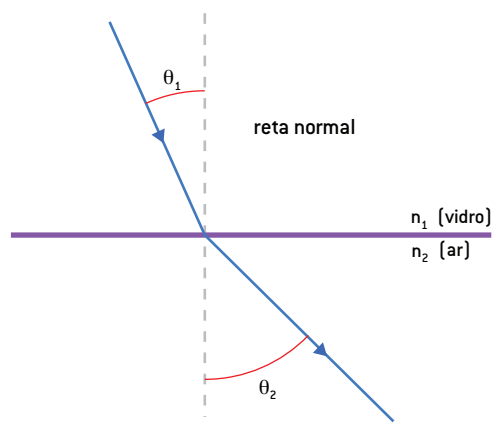
Guilherme Brockington

Por que o lápis na figura ao lado parece estar “quebrado” quando está imerso na água? A resposta a essa pergunta se baseia em um fenômeno chamado refração: a luz sofre um desvio ao passar de um meio transparente para outro. Como você verá em maiores detalhes no próximo volume, a luz é uma onda que se propaga no vácuo com a velocidade de 300 000 km/s! Mas, como toda onda, essa velocidade depende do meio no qual a luz está se propagando. Por exemplo, no ar, a velocidade da luz tem um valor praticamente idêntico ao do vácuo. Já dentro da água, ela passa a viajar com a velocidade de 225 550 km/s. No interior de um vidro transparente, ela fica ainda mais “lenta”, propagando-se com 200 000 km/s. É justamente essa mudança

de velocidade que faz com que a luz sofra um desvio ao mudar de um meio para o outro, fazendo assim o lápis parecer “quebrado”.

Na figura ao lado, temos a representação gráfica do desvio sofrido pela luz ao passar do vidro para o ar. A reta “normal” é uma linha imaginária, perpendicular à superfície que separa os dois meios;  $\theta_1$  e  $\theta_2$  são, respectivamente, os ângulos de incidência e de refração. Por fim,  $n_1$  e  $n_2$  são os índices de refração de cada meio. Há uma relação simples entre os senos dos ângulos que o raio de luz faz com a normal. Esta relação é conhecida como Lei de Snell-Descartes e é dada por  $n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2$ .

Chamamos de índice de refração a relação entre as velocidades da luz nos dois meios. Assim, se



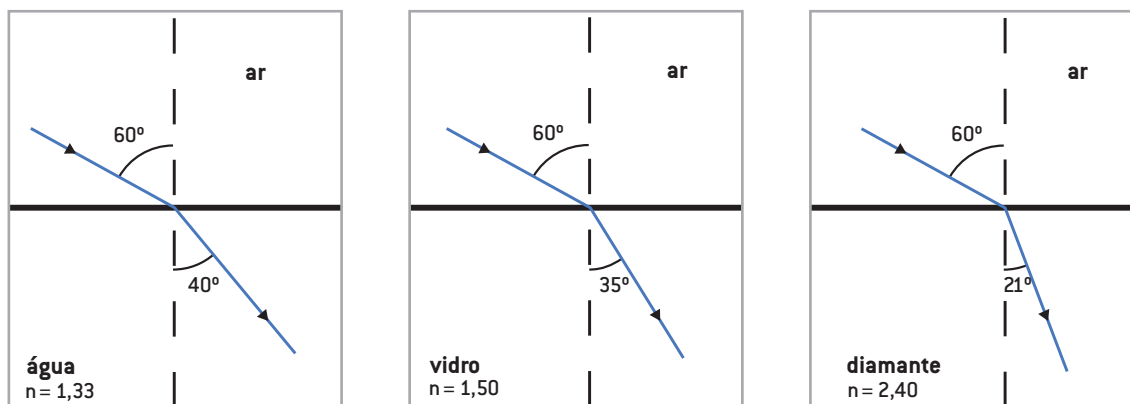
a luz passa do ar para o vidro, o índice de refração  $n$  será dado pela divisão da velocidade da luz no ar (300 000 km/s) pela velocidade da luz no vidro (200 000 km/s), ou seja,  $n = 1,5$ .

Ao se propagar no vácuo, a velocidade da luz atinge seu valor máximo, que é 300 000 km/s. Esse é um valor-limite para a velocidade de qualquer corpo no Universo. Geralmente, a velocidade da luz no vácuo é grafada apenas como  $c$ . Se a luz que viaja no vácuo com velocidade  $c$  atravessa uma superfície qualquer, como por exemplo um vidro, sua velocidade sofrerá uma variação. Assim, representamos o índice de refração deste meio pela seguinte relação:

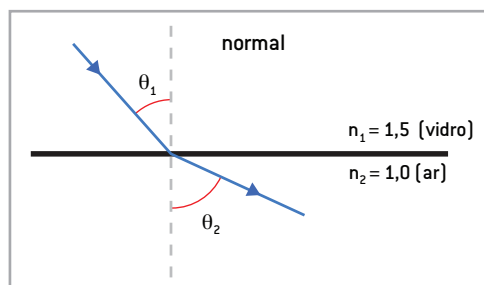
$$n = \frac{c}{v}$$

onde  $n$  é o índice de refração do meio e  $v$  é a velocidade da luz nesse meio.

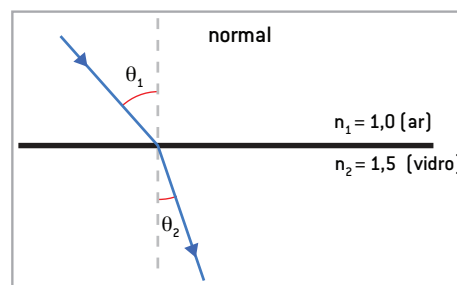
A luz, ao passar do ar para um determinado material, sofrerá um desvio tanto maior quanto maior for o índice de refração do material em relação ao ar. Assim, analise o que ocorre nas figuras a seguir: em todos os casos, a luz incide na superfície que separa os dois meios com um ângulo de  $60^\circ$ . Em qual ela sofreu um desvio maior? Existe alguma relação entre o desvio e a mudança de índice de refração (mudança de velocidade)?



Agora, vamos analisar mais um detalhe na refração. Observe outra vez a equação de Snell-Descartes:  $n_1 \text{sen}\theta_1 = n_2 \text{sen}\theta_2$ ; perceba que, se  $n_2$  for maior que  $n_1$  (como no caso da luz passando do ar para o vidro), então  $\text{sen}\theta_2$  é menor que  $\text{sen}\theta_1$ . Isto significa que  $\theta_2$  é menor que  $\theta_1$ . Assim, pode-se perceber que, quando a luz passa de um meio menos refringente para um meio mais refringente, o raio de luz se aproxima da normal. Para que isso fique mais claro, analise atentamente as figuras a seguir:



Raio de luz passando de um meio mais refringente para um meio menos refringente:  $n_1 > n_2$  e  $v_1 < v_2$ .



Raio de luz passando de um meio menos refringente para um meio mais refringente:  $n_1 < n_2$  e  $v_1 > v_2$ .

Perceba que o desvio sofrido pela luz é uma consequência da refração, e não a refração propriamente dita. Refração é um fenômeno ondulatório que ocorre quando uma onda, ao mudar de meio, sofre uma alteração em sua velocidade.

Elaborado especialmente para o *São Paulo faz escola*.

Agora, responda às questões a seguir:

1. Qual a relação entre a velocidade da luz e o desvio sofrido na refração?

---



---

2. Dê um exemplo em que ocorre refração, mas a luz não sofre desvio. Justifique sua resposta.

---



---



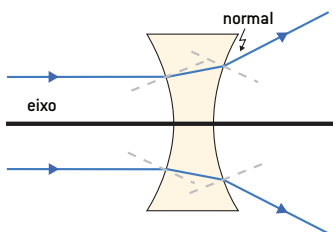
---



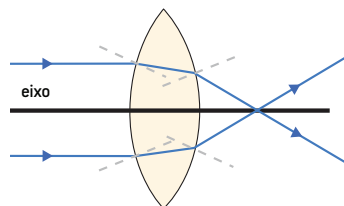
## APRENDENDO A APRENDER

### Lentes convergentes e divergentes

Quando todos os raios de luz que incidem paralelamente ao eixo de uma lente convergem para uma determinada região de seu eixo, chamada foco, temos uma lente convergente. Por exemplo, uma lente de vidro biconvexa, como as encontradas em algumas lupas, é uma lente convergente. Da mesma forma, todos os raios de luz que incidem em uma lente paralelamente ao seu eixo, ao emergirem da lente para o ar, refratam-se novamente, mas de uma forma que agora não convergem para uma região determinada. Nesse caso, temos uma lente divergente. Um exemplo de lente divergente é o “olho mágico”, encontrado nas portas das casas.



Lente divergente.



Lente convergente.

É preciso também que você compreenda que o fato de uma lente ser convergente ou divergente depende do meio onde ela se encontra. Isso porque esses comportamentos ópticos estão associados às diferenças entre os índices de refração do meio e do material de que é feita a lente. Assim, quando uma lente biconvexa estiver no ar, vai se comportar como convergente, já que o índice de refração do ar será menor que o do seu material, que pode ser vidro ou plástico. Entretanto, se o meio possuir índice de refração maior que o do material da lente, ela se torna então uma lente divergente.

### Os problemas de visão e as lentes corretoras

Certamente você conhece alguém que usa óculos. Da mesma forma, você já deve ter notado que algumas pessoas aproximam ou afastam os objetos dos olhos para enxergá-los. Tanto essas manobras manuais como o uso de óculos e lentes de contato são artifícios para que se possa enxergar nitidamente as imagens. Como as lentes corrigem esses problemas de visão? Para responder a essa pergunta, iremos, inicialmente, apresentar os problemas mais comuns que causam a perda de nitidez visual. São eles:



© Joe Bator/Corbis-Latinstock

- Miopia: dificuldade de enxergar objetos e cenas distantes.
- Hipermetropia: dificuldade de enxergar objetos e cenas próximos.
- Astigmatismo: imagem fica desfocada, um pouco embaçada em algumas direções.
- Presbiopia: dificuldade de enxergar objetos e cenas tanto distantes como próximos.

Para alguém que não apresenta problemas de visão, a luz emitida ou refletida por um objeto, ao entrar nos olhos, é focalizada em um único ponto na retina. Nessa região do olho existem células sensoriais, os **bastonetes** e os **cones**, capazes de transformar a luz em impulsos elétricos, que são transmitidos para o cérebro. Essa informação luminosa é então convertida em imagens, causando, assim, a percepção visual.

Entretanto algumas pessoas têm problemas que impossibilitam que a luz seja focalizada de maneira precisa na retina. Isso ocorre, às vezes, por causa de problemas no cristalino e nos conjuntos de músculos anexados que fazem sua forma variar. Ao olharmos um objeto qualquer, esses músculos se contraem ou relaxam, de modo que alteram a forma do

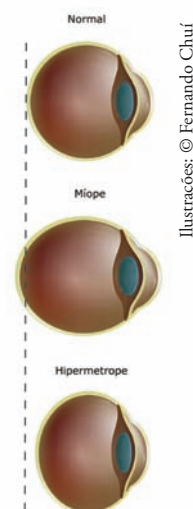
cristalino, mantendo assim a luz proveniente do objeto focada na retina, mesmo quando os olhos se movem. Outras vezes, variações no formato do globo ocular ou variações no índice de refração dos meios transparentes do olho (humor vítreo e aquoso) podem causar os problemas de visão.

Assim, uma das possíveis causas da miopia pode ser um alongamento do globo ocular, o que faz com que a luz seja focalizada na frente da retina. Dessa maneira, ainda que as pessoas míopes sejam capazes de enxergar com clareza objetos próximos a elas, sua visão de longe é prejudicada, aparecendo sempre embaçada. Então, para corrigir a miopia, é necessário o uso de lentes divergentes, que diminuem a convergência dos raios de luz, de modo que o ponto focal passa a ser mais distante, permitindo assim que a imagem se forme sobre a retina.

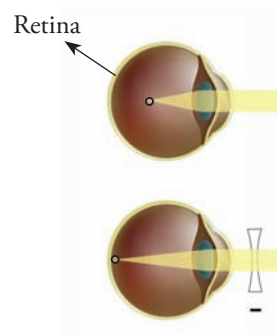
Já a hipermetropia, ao contrário, pode ser decorrente de um encurtamento do globo ocular, o que faz com que a luz seja focalizada atrás da retina. Sendo assim, ainda que os hipermetropes possam enxergar com clareza objetos distantes, sua visão para objetos próximos é embaçada, desfocada. A correção da hipermetropia se dá pelo uso de lentes convergentes, que aumentam a convergência dos raios de luz, movendo o ponto focal de maneira que coincida com a retina.

Já o astigmatismo pode ser causado por irregularidades na córnea ou no cristalino, o que faz com que a luz seja focalizada em mais de um ponto, causando uma distorção na visão. Para sua correção, é necessário o uso de lentes cilíndricas, projetadas especificamente para cada pessoa.

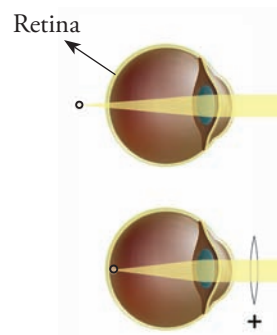
Por fim, o que causa a presbiopia é uma rigidez no cristalino, devida ao avanço da idade. Assim, a partir dos 40 anos, as dificuldades de acomodação do cristalino tornam as imagens embaçadas tanto vistas de perto como de longe. A correção desse problema se dá por meio do uso de dois óculos (um para perto, outro para longe) ou do uso de óculos bifocais, cuja parte de cima da lente é usada para a visão de objetos distantes, e a parte de baixo, para objetos próximos.



Possível associação entre variações no formato do globo ocular e os problemas de visão.



Correção da miopia com o uso de uma lente divergente.

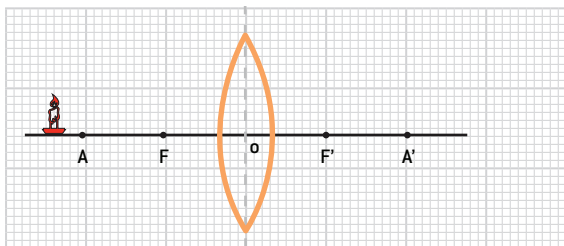


Correção da hipermetropia com o uso de uma lente convergente.

## Construindo e analisando imagens formadas pelas lentes

Com auxílio de seu professor, construa as imagens formadas pelas lentes a seguir. Discuta e apresente as características das imagens e associe-as com o uso das lentes no dia a dia. (Nas figuras a seguir, **O** é o centro óptico da lente, **F** é o foco objeto, **F'** é o foco imagem e **A** e **A'** são os pontos antiprincipais.)

- a) Objeto colocado antes do ponto antiprincipal      b) Objeto colocado sobre o ponto antiprincipal

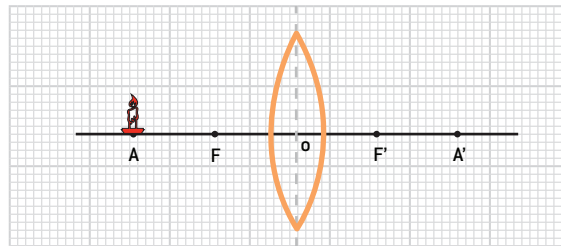


Característica da imagem e uso:

---



---



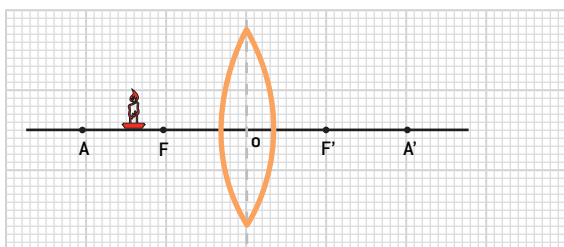
Característica da imagem e uso:

---



---

- c) Objeto colocado entre o ponto antiprincipal e o foco      d) Objeto colocado sobre o foco

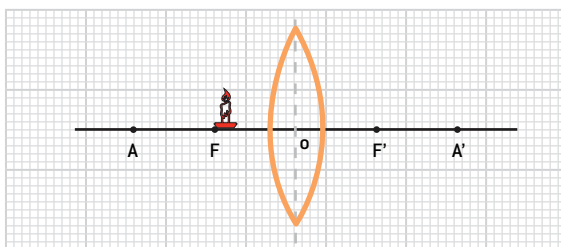


Característica da imagem e uso:

---



---



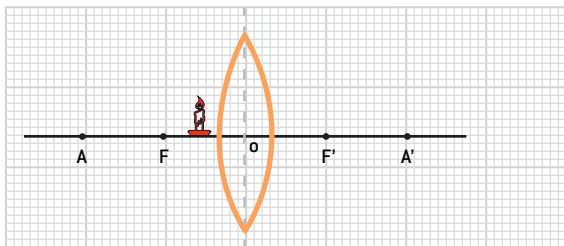
Característica da imagem e uso:

---



---

- e) Objeto entre o foco e o centro óptico      f) Objeto diante de uma lente divergente

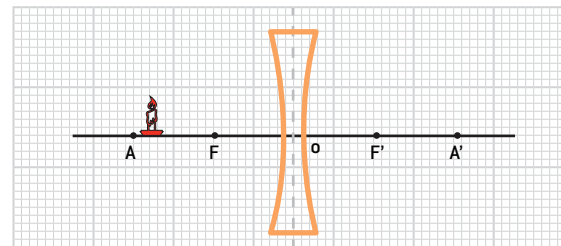


Característica da imagem e uso:

---



---



Característica da imagem e uso:

---



---



VOCÊ APRENDEU?



1. O que é a refração?

---

---

2. Sempre que ocorre refração, a luz sofre desvio em sua trajetória?

---

---

3. Que lente usamos para a correção da miopia? Justifique.

---

---

4. Que lente usamos para a correção da hipermetropia? Justifique.

---

---



LIÇÃO DE CASA



1. Pesquise em seu livro didático qual fórmula relaciona a posição da imagem, a posição do objeto e o foco de uma lente. Qual fórmula fornece a ampliação sofrida pelas imagens formadas em uma lente?
2. Explique o funcionamento de diferentes instrumentos ópticos, como luneta, microscópio, telescópio e retroprojektor.