

# Um papinho, um violão e a bendita construção!

**A**pós o passeio pela praia, Maristela e Ernesto voltaram para casa. Tomaram um banho e esperaram os amigos que iam chegar. O Sol já estava se pondo quando eles finalmente apareceram.

Eram dois seresteiros: Nelson tocava violão e Nestor tocava flauta. Não perderam tempo: prepararam um refresco e começaram a tocar. Tocaram várias canções, até bem tarde: afinal, estavam de férias!

Como não podia deixar de ser, Ernesto, que é um garoto muito interessado e curioso, quis saber mais sobre o som e sobre aqueles instrumentos... Como se produzia um som, ele já sabia.

- Basta bater um material no outro. Por exemplo, bater uma colher numa panela, deixar cair um jornal no chão. Ou bater uma porta. O indesejável pino metálico do despertador bate nas campânulas, nos tirando de manhã cedo do sono gostoso! Às vezes a bola de futebol atinge uma vidraça e é aquele barulhão, sem contar a gritaria do dono furioso da vidraça!

- O mesmo acontece quando vibramos a corda de um violão! - completou Nelson.

- E o que todos esses exemplos têm em comum? - indagou Nestor.

- É que todos esses materiais são duros... - arriscou Ernesto.

- Nem todos eles. A corda do violão, por exemplo, é feita de um material bem flexível! - observou Nelson, como quem conhece bem o seu instrumento.

- Aliás, podemos deixar a corda mais esticada ou menos esticada, e isso determina que tipo de som será produzido quando a corda vibrar.

- É verdade... Então, o que eles têm em comum deve ser o fato de que todos vibram de alguma maneira. E, ao vibrar, produzem sons! - concluiu Ernesto.

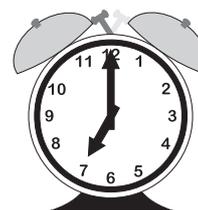


Figura 1

## O que é som?

Há mais de dois séculos a questão do som vem agitando o homem. No século XVIII, algumas pessoas definiam o som como uma sensação, e diziam que, portanto, para existir, o som precisaria de um ouvinte, de alguém para escutá-lo. Quem defendia essa idéia eram os filósofos da época.

Os físicos, por outro lado, combatiam essa idéia, pois acreditavam que o som existia mesmo quando não havia ninguém para ouvi-lo.

Mas o que é o som?



Você já sabe que toda matéria no Universo é formada por átomos que se agrupam, formando moléculas. Já sabe também que as moléculas estão em constante movimento.

Ao bater com uma colher na superfície de uma panela, como no exemplo de Ernesto, estamos fornecendo energia para as moléculas do metal. Conseqüentemente, elas vibram mais intensamente (Figura 2). Uma vez que as moléculas do material estão ligadas umas às outras, essa vibração é transmitida de uma molécula à outra, atravessando assim o material. E isso nada mais é do que o som: uma vibração que se propaga num meio material.

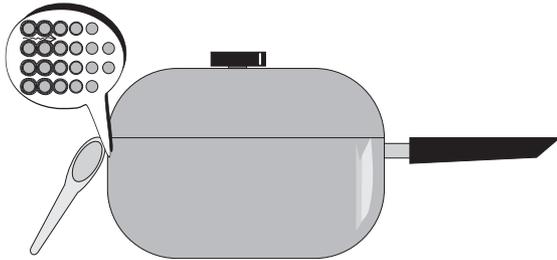


Figura 2

Isso nos faz lembrar as ondas que estudamos na aula passada. Será que o som é uma onda?

Antes de responder a essa pergunta, vamos pensar na questão dos filósofos do século XVIII, isto é, a sensação sonora que é a sensação que nos fornece o ouvido, órgão responsável pela audição, quando ouvimos um som.

Quando Cristiana diz: “Desligue a TV e venha para a mesa que a sopa vai esfriar”, aquelas palavras, isto é, aqueles sons, produzidos por suas cordas vocais, atravessaram o ar até atingir os ouvidos de Ernesto (Figura 3). Aí está uma dica importante: o ar.

Ao vibrar, as cordas vocais transmitem essa vibração às moléculas de ar que estão em contato com elas. Essa vibração é transmitida, de molécula em molécula, até atingir o nosso ouvido. O que acontece depois disso são vários processos que não iremos estudar neste curso. Basta saber que essas vibrações são transmitidas e interpretadas pelo cérebro, de modo que Ernesto capta a mensagem e vai sentar à mesa para tomar a sopa quentinha!



Figura 3



Nosso objetivo aqui é descrever o som fisicamente e estudar algumas grandezas que o caracterizam.

### Um verdadeiro empurra-empurra

Você já deve ter tido a experiência de entrar num ambiente lotado de gente (um estádio, uma feira etc.). Imagine que as pessoas são moléculas. De repente, alguém começa a empurrar. A pessoa que está à frente empurra a seguinte, a seguinte empurra a outra e assim por diante: é aquele empurra-empurra. Uma pessoa **pressionando** a outra.

É isso o que ocorre com as moléculas de ar.

A figura ao lado mostra, esquematicamente, o que acontece quando vibramos um material – neste caso, uma régua (Figura 4). Poderia ser a corda de um violão, o metal de uma panela... Mesmo que não se possam ser observadas, as vibrações realmente ocorrem!

Quando a régua vibra, provoca o deslocamento das moléculas de ar que estão ao seu redor: elas vão para a frente e para trás, seguindo o movimento da régua.

Observe que existem regiões em que há um acúmulo de moléculas e outras regiões nas quais há um número menor de moléculas. Isso ocorre porque, quando a régua vai para o lado, ela empurra as moléculas, aumentando a densidade de moléculas. Portanto, a pressão fica maior.

Figura 4



A régua retorna à posição inicial, mas nem todas as moléculas voltam. Assim, surge uma região em que há menor número de moléculas, menor densidade do ar e menor pressão. A Figura 4 ilustra essas situações.

Nas regiões em que o ar está mais denso e a pressão é maior, dizemos que ocorre **compressão** (ar comprimido). Nas áreas em que o ar está menos denso e a pressão é menor dizemos que ocorre **rarefação** (ar rarefeito).

Como as vibrações da régua se repetem, o processo de **compressão e rarefação** do ar também se repete, propagando-se de um ponto a outro. Podemos dizer assim que as compressões e rarefações do ar se propagam como **ondas**.

Observe que as moléculas de ar (meio) se deslocam na **mesma direção** em que a onda se desloca, isto é, “ao longo” da onda. Esse tipo de onda recebe o nome de **onda longitudinal**. Portanto,

**numa onda longitudinal, os pontos do meio se deslocam na mesma direção de propagação da onda**

e

**o som é uma onda longitudinal.**

## A velocidade do som

Já estava ficando meio tarde.

– A noite está muito agradável, mas nós precisamos ir embora para pegar o trem das onze e meia – disse Nelson.

Antes de sair, Nestor lembrou-se de uma cena que vira num filme de TV. Era um filme de banguê-banguê, com muitos bandidos, mocinhos, tiros para todos os lados, cavalos e coisas assim. Ele se lembrou de uma cena, em especial, que o deixara muito curioso.

– Os mocinhos estavam a cavalo perseguindo os bandidos, que estavam bem à frente. Durante a fuga, um dos bandidos se abaixou, encostou o ouvido no chão e disse: “Eles ainda estão bem longe!”

E Nestor confessou:

– Mas eu não entendi muito bem **por que** ele fez isso!

Vamos ver se conseguimos descobrir.

Como discutimos na seção anterior, o som é uma onda longitudinal, produzida por uma vibração e que se propaga num meio material.

Os mocinhos corriam em seus cavalos. A batida dos cascos faz com que o chão vibre: isso produz um som. Veja que o som **precisa de um meio para se propagar**, qualquer um. Portanto, ele pode se propagar tanto pelo ar como pelo chão!

A vibração se propaga pelas moléculas do meio. Isso quer dizer que quanto mais moléculas o meio tem, e quanto mais próximas elas estiverem umas das outras, mais facilmente o som irá se propagar.

Você percebe onde queremos chegar?

Aquele bandido era mesmo muito esperto. Sabia que o som produzido pelo trote dos cavalos chegaria até ele muito mais rápido pelo solo do que pelo ar. Assim, encostando o ouvido no chão, poderia saber se os mocinhos estavam por perto!

Portanto, **nos meios mais densos a velocidade de propagação do som é maior**. Nos meios menos densos, o som se propaga mais lentamente. Ela é, portanto, maior nos sólidos, menor nos líquidos e ainda menor nos meios

gasosos. A tabela abaixo mostra a velocidade do som para diferentes tipos de meios materiais:

MEIO	VELOCIDADE (m/s)
ar (20°C)	340
água	1.450
ferro	5.500
granito	6.000

Observe que no granito, que é um tipo de rocha, o som se propaga quase dezoito vezes mais rápido do que no ar!

Nas aulas anteriores nós aprendemos que quanto maior a temperatura de um material, mais agitadas estão as suas moléculas. Devido a essa grande agitação, o som pode ser transmitido com mais facilidade. Assim, a **velocidade de propagação do som também depende da temperatura do meio** no qual se propaga! A tabela abaixo mostra os valores da velocidade de propagação ( $v$ ) do som no ar a diferentes temperaturas:

TEMPERATURA DO AR (°C)	$v$ (m/s)
0 (fusão do gelo)	326
20 (ambiente)	340
100 (ebulição da água)	379

Para os sons também valem as relações:  $v = \lambda \cdot f$  ou  $v = \frac{\lambda}{T}$

### Uma outra forma de energia

Perto da casa de Maristela havia uma construção. Acabara de começar e ainda estava nas fundações. Para fazer as fundações utiliza-se o chamado bate-estacas, que nada mais é do que um objeto muito pesado (pêndulo) preso a um guindaste. O guindaste ergue o pêndulo a grande altura e o solta em seguida, de modo que, ao cair, o pêndulo empurra a estaca que se encontra no solo.

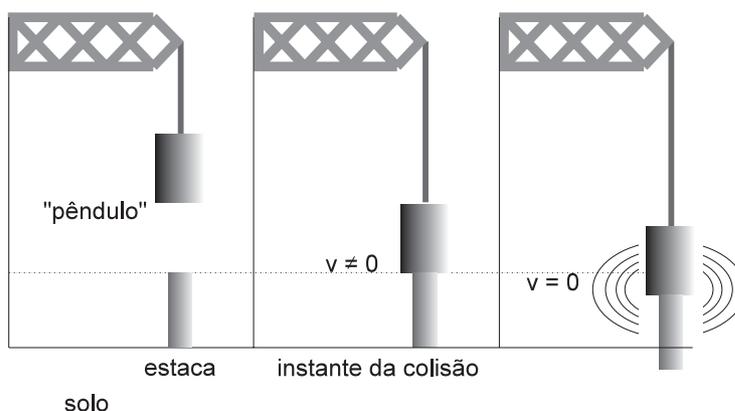


Figura 5

Quando erguido, o pêndulo ganha energia potencial gravitacional em relação ao solo e à estaca. Ao ser solto, perde altura e ganha velocidade. Nesse processo, sua energia potencial gravitacional se transforma em energia cinética.

Ao colidir com a estaca, o pêndulo transfere parte da sua energia à estaca, empurrando-a. Dessa maneira ela é enterrada no solo. Mas esse processo não é

**elástico**, isto é, durante a colisão, parte da energia se perde no ambiente. Na verdade, a **energia se transforma em outros tipos de energia**.

Quando o pêndulo colide com a estaca, ouve-se um barulhão, certo? Esse barulho nada mais é do que o resultado das vibrações produzidas pela colisão, isso é, parte da energia que se perde! Portanto, podemos concluir que

**o som é uma forma de energia conhecida como energia sonora.**

Na manhã seguinte à seresta, Maristela teve de se levantar muito cedo – não por causa da energia sonora do seu despertador, mas por causa da bendita construção!

### Um bate-estaca incomoda muita gente. Dois bate-estacas incomodam muito mais!

Maristela acordou mal-humorada naquela manhã. Também, não era para menos: foi acordada, em plenas férias, por um barulhento bate-estacas!

Por que um bate-estacas incomoda tanto, e o canto de um passarinho não? Parece uma pergunta boba, mas vamos ver o que há por trás dela.

Vimos que o som é uma forma de energia que se propaga pelos meios materiais. Para ser ouvida, essa energia precisa ser transportada até nossos ouvidos. Como você já sabe, no interior do ouvido existe uma membrana muito sensível, o tímpano, que vibra quando atingida pela energia sonora.

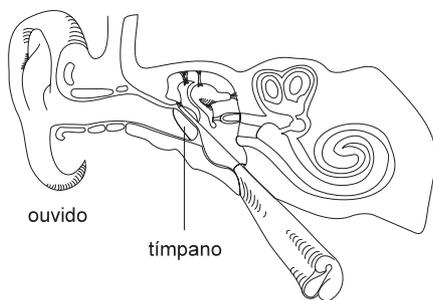


Figura 6

Se o som é muito forte, isto é, se a energia emitida pela fonte é grande, temos uma sensação desagradável no ouvido, pois a grande quantidade de energia transmitida exerce sobre o tímpano uma forte pressão (lembre-se da Aula 19!).

A energia sonora depende da vibração da fonte: quanto maior a vibração, maior a energia. Portanto,

**a intensidade do som é maior quanto maior for a amplitude da onda.**

Imagine a vibração das cordas vocais de um passarinho!

Agora dá pra entender por que um bate-estacas incomoda muita gente e um passarinho, não!

Para medir a intensidade sonora, que está relacionada à energia transportada pela onda sonora, utilizamos uma unidade conhecida como **bel**, em homenagem ao cientista inglês Graham Bell, que se dedicou ao estudo de questões relacionadas ao som, à fala e à audição e foi o inventor do tão útil telefone!

É muito comum a utilização de um submúltiplo do bel, o decibel (db), que é um décimo de bel, assim  $10 \text{ db} = 1 \text{ bel}$ .

Apresentamos na tabela da página seguinte a intensidade aproximada de alguns sons comuns.

TIPO DE SOM	INTENSIDADE SONORA
limiar da audição	0 db
respiração normal	10 db
folhas balançadas pela brisa	20 db
TV ou rádio (fraco volume)	30 db
rua tranqüila à noite	40 db
conversa entre duas pessoas	60 db
tráfego intenso de automóveis	70 db
aspirador de pó	80 db
perfuratriz	100 db
buzina de automóvel	110 db
avião a hélice na decolagem	120 db
limiar para a dor	130 db
avião a jato na decolagem	140 db
foguete espacial	150 db

Os sons muito intensos são desagradáveis ao ouvido humano. Acima de 120 db o som pode ser percebido como uma sensação de cócega no ouvido. A partir de 130 db começa a sensação dolorosa.

É preciso tomar muito cuidado com a intensidade sonora à qual nos submetemos (e aos nossos tímpanos!): sons da ordem de 160 db podem causar surdez total devido a ruptura do tímpano ou a danos provocados em outras partes do ouvido.

Nas grandes cidades é comum falar em poluição sonora, devido aos altos níveis de ruídos produzidos pelas mais diversas fontes (tráfego intenso de automóveis, aviões e caminhões, buzinas, sirenes, construções etc.). Isso faz com que as pessoas percam ao longo dos anos sua capacidade auditiva.

Embora não percebam, pessoas expostas a ruídos intensos várias horas por dia, durante anos, correm o sério risco de perder permanentemente a audição por lesões no órgão auditivo. Mas não é só o ouvido que sofre com sons intensos: sofremos mentalmente, e também sofre o nosso coração.

Certas atividades exigem proteção no ouvido: o uso de tampões internos de espuma ou de borracha, protetores externos ou capacetes. Além disso, é necessário tomar medidas para diminuir os níveis de intensidade sonora dos ambientes.

### Toda vibração produz um som?

Essa é uma pergunta que você pode estar se fazendo neste momento. “Se eu agitar a minha mão lentamente, não ouço som algum!”

É verdade. Agora experimente agitá-la com força, rapidamente e bem perto do ouvido. O que aconteceu?

Você deve ter sentido um ventinho no rosto: é o ar deslocado pela mão. Além disso, deve ter ouvido um som. Na verdade, a definição de som está associada à **sensação sonora**. Portanto,

**todo som é produzido por uma vibração,  
mas nem toda vibração produz um som.**

Novamente a fonte entra em cena. Quando agitamos a mão lentamente, não somos capazes de produzir som algum. Mas, ao aumentar a velocidade desse movimento, produzimos um som.

Vamos recordar a aula passada: **quanto mais rápido é o movimento da fonte (mão), menor é o seu período e maior é a sua frequência!** Vale também aqui a relação:

$$T = \frac{1}{f}$$

Assim podemos definir a **frequência da onda sonora**, como fizemos com as ondas na corda.

Um som, para “ser” som, deve ser **audível pelo homem**. Para que isso ocorra, a frequência deve estar acima de um certo um valor, que pode variar de pessoa para outra, mas gira em torno de 20 Hz. Sons que têm frequências inferiores a essa são chamados **infra-sons**.

O homem só é capaz de ouvir sons até um certo valor de frequência, que varia em torno de 20.000 Hz. Sons com frequências maiores são chamados **ultra-sons**.

É importante notar que a definição de som se baseia na capacidade auditiva do homem. Essa capacidade varia entre os animais. Veja a tabela abaixo:

ANIMAL	MÍNIMA FREQUÊNCIA (Hz)	MÁXIMA FREQUÊNCIA (Hz)
rã	50	10.000
homem	20	20.000
cão	15	50.000
gato	60	65.000
morcego	1.000	120.000
mariposa	3.000	150.000

### Abaixa esse rádio, Ernesto!

Foi o que pediu sua mãe, Cristiana. Mas sabem o que Ernesto fez? Colocou o rádio no chão. Engraçadinho, não?

Vamos ver adiante qual o significado da altura de um som. Não tem nada a ver com a distância entre o rádio e o chão!

O som possui algumas qualidades. Já falamos sobre **intensidade** e **frequência**. De acordo com sua frequência, um som pode ser classificado de **agudo** ou **grave**. Essa é a qualidade conhecida como **altura do som**.

Em geral as mulheres tem a voz **mais aguda**, isto é, emitem sons de **maior frequência**. É comum utilizar o termo “fina” quando nos referimos à voz feminina. Os homens, por sua vez, têm a voz **mais grave**, emitem sons de **frequência menor**. Dizemos que os homens têm voz “grossa”.

**Altura é a qualidade do som relacionada à sua frequência.  
Sons com grandes frequências são chamados de agudos  
e sons com baixa frequência, de graves.**

É preciso tomar cuidado com esses nomes, pois freqüentemente comete-se o erro de relacionar a altura do som com intensidade sonora, e não com a sua frequência. Quando solicitamos a alguém para “abaixar o som”, a rigor estamos pedindo à pessoa que diminua frequência do som! Mas, na verdade, o que queremos é que seja diminuída a intensidade sonora, isto é, o volume. Por isso, o correto seria pedir para a pessoa diminuir o volume do rádio!



Nesta aula você aprendeu que o som:

- é um tipo de **onda mecânica** e que, portanto, necessita de um **meio material** para ser produzido e se propagar;
- é produzido a partir das **vibrações** das moléculas (ou átomos) que formam o meio;
- é um tipo de onda chamada de **onda longitudinal**, porque a propagação da onda e as vibrações das moléculas do meio têm a mesma direção;
- se propaga com velocidades diferentes em diferentes meios: dependendo da sua densidade e da sua temperatura;
- é uma forma de energia (sonora) e uma de suas qualidades é a **intensidade sonora**, cuja unidade é o **bel**, que se relaciona com a amplitude da onda;
- é definido como tal de acordo com a capacidade auditiva do homem;
- é classificado em **agudo** e **grave** de acordo com a sua frequência.



### Exercício 1

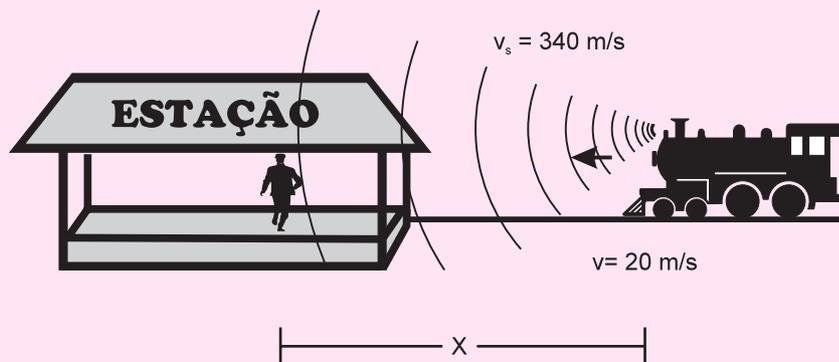
Qual é a diferença fundamental entre ondas longitudinais e ondas transversais (Aula 29)? O que elas têm em comum?

### Exercício 2

Ernesto pegou o violão e emitiu um som. Segundo Nestor, o som emitido foi um lá, cuja frequência é 440Hz. Considerando que a velocidade do som no ar é 340 m/s, determine o comprimento de onda do som emitido.

### Exercício 3

Nelson e Nestor estavam na estação, esperando o trem que se aproximava. Ouviram o som do apito e, nesse instante, começam a contar quanto tempo, depois do apito, o trem demorou a chegar. Resultado: 170 segundos! Eles perguntaram ao maquinista, então, a que velocidade o trem vinha: 20 m/s. Com essas informações, descubra:



- a) a que distância o trem se encontrava da estação quando apitou;
- b) em quanto tempo o som do apito foi ouvido na estação (considere que a velocidade do som no ar é 340 m/s)

### Exercício 4

O som se propaga no vácuo (ausência de matéria)? Explique a sua resposta.