



Ondas Sonoras

1. INTRODUÇÃO

Você gosta de música? O som não é só musical: diariamente escutamos as vozes das pessoas, o canto dos pássaros, a chuva caindo, o vento soprando. O juízo que fazemos desse tipo de som é cultural e, em geral, é para nós agradável. Mas existem sons cuja intensidade ou duração trazem sensações incômodas ou desagradáveis, e os denominamos ruídos, como os do trânsito, de uma máquina em funcionamento, do pernilongo.

2. AS ONDAS SONORAS

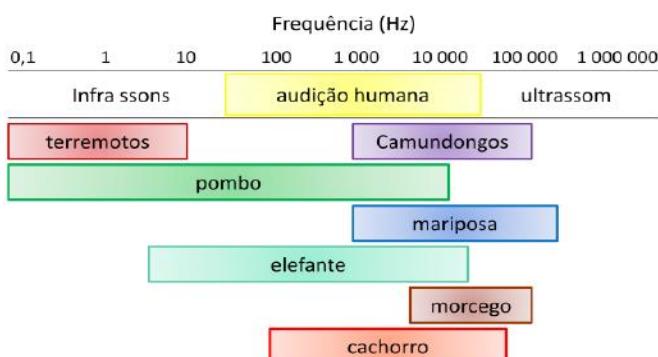
As ondas sonoras são de natureza **mecânica**, pois necessitam de meio material para se propagarem. São **longitudinais** e **tridimensionais**, ou seja, a direção de vibração das partículas do meio material coincide com a direção de propagação, e a frente de onda é uma superfície esférica.

Sendo mecânicas, as ondas sonoras não se propagam no vácuo, sendo este, portanto, o melhor isolante acústico. Se você quiser construir um ambiente à prova de qualquer ruído, deve fazê-lo com duas paredes, uma separada da outra, reduzindo ao mínimo possível o ar entre elas.

O sistema auditivo de um ser humano normal consegue captar ondas sonoras de frequências que vão desde 20 Hz até 20 kHz, aproximadamente. Qualquer frequência abaixo de 20 Hz denomina-se infrassom e acima de 20 kHz, ultrassom.

A frequência de onda sonora, como de qualquer movimento ondulatório, é determinada pela frequência da fonte geradora. A faixa de frequências em que existem ondas sonoras – audíveis, ou não pelo ser humano – é chamada **espectro sonoro**.

A figura abaixo representa o espectro sonoro. As faixas mostram o espectro audível médio do ser humano e de alguns animais. A escala de frequências está expressa em potências sucessivas de 10.



3. VELOCIDADE DO SOM

As ondas sonoras propagam-se em meios sólidos, líquidos e gasosos, com velocidades que dependem das diferentes características dos materiais. Ela só não se propaga no vácuo. De modo geral, as maiores velocidades de propagação das ondas sonoras ocorrem nos sólidos, e as menores nos gases.

$$v_{\text{solido}} > v_{\text{líquido}} > v_{\text{gás}}$$

A temperatura praticamente não influí na velocidade do som nos meios sólidos e líquidos, mas tem grande importância nos meios gasosos: a 15°C, a velocidade do som no aço (5100m/s) ou na água (1450 m/s) não se altera em relação aos valores tomados à temperatura de 20°C, mas para o ar a 15°C a velocidade passa para **340 m/s**.

Na tabela a seguir podemos conferir a velocidade do som em alguns diferentes meios:

Meio	Velocidade (m/s)
Ar	330
Água doce	1435
Sangue	1560
Músculo	1570
Gordura	1580

Para calcular a velocidade do som usaremos a seguinte relação:

$$\text{Velocidade do Som} = \frac{\text{distância}}{\text{tempo}} \quad \text{ou} \quad V_{\text{som}} = \frac{d}{t}$$

Como o som se propaga de molécula para molécula, então, quanto **maior a densidade do meio material em que o som se propaga maior a sua velocidade** nesse meio, visto que as moléculas estão mais próximas entre si, facilitando a propagação dessa perturbação.

4. CARACTERÍSTICAS DO SOM

São três as qualidades que podemos distinguir do som: altura, intensidade e timbre.

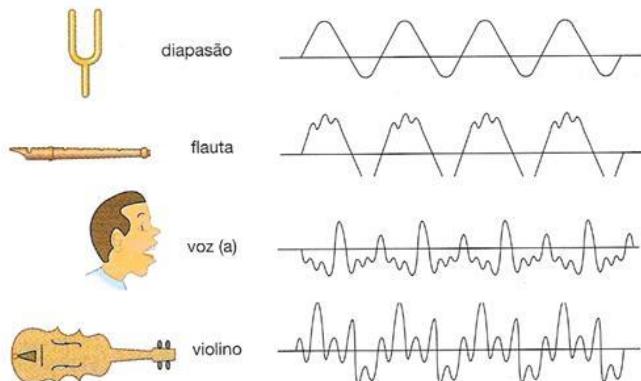
4.1. Altura

Qualidade que permite diferenciar um som grave de um som agudo. A altura do som depende apenas da sua **frequência**.



4.2. Timbre

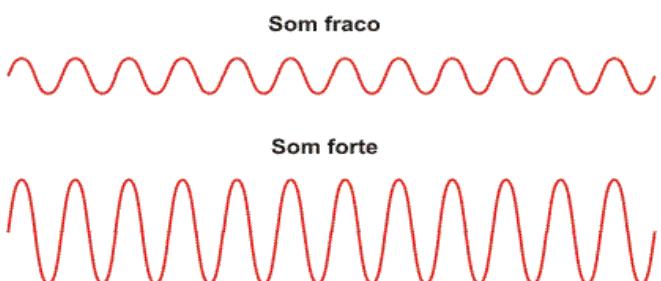
Qualidade que permite diferenciar dois sons de mesma altura e mesma intensidade, emitidos por fontes distintas. É a **identidade** do som. Está relacionado à forma da onda emitida.



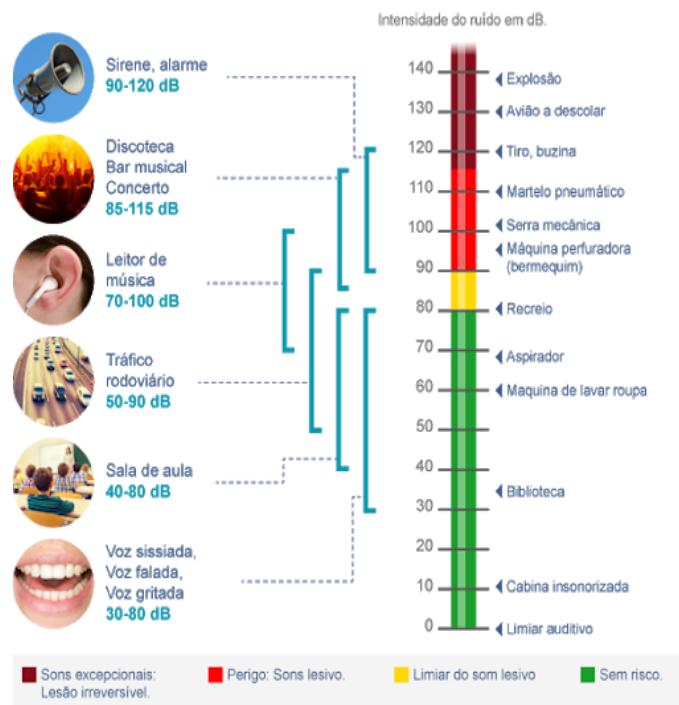
4.3. Intensidade

Qualidade que permite diferenciar um som forte de um som fraco. A intensidade do som depende da energia que a onda transfere e divide-se em intensidade física e intensidade auditiva.

A unidade de nível sonoro, no SI é o bel (B), mas a unidade usual é o decibel (dB), em que $1 \text{ dB} = 10^{-1} \text{ B}$.



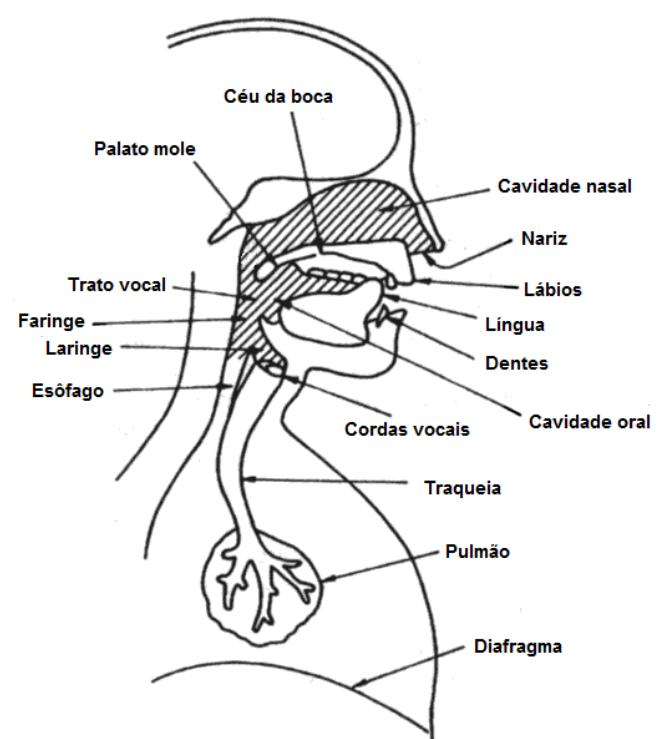
Um ambiente com até 40 dB é calmo, com 60 dB é barulhento e com mais de 80 dB já apresenta a chamada poluição sonora. Pessoas que ficam expostas durante muito tempo a níveis sonoros acima de 80 dB ficam sujeitas a sofrer danos irreversíveis à audição.



5. A FONAÇÃO E A AUDIÇÃO

5.1. A fala

A fala é um processo complexo de transmissão de informações em que se utilizam variações do som emitido. O som da fala é gerado pelas vibrações das pregas vocais produzidas pela corrente de ar proveniente dos pulmões e que passa pela laringe, faringe, boca e nariz. De forma simplificada, pode-se considerar que o sistema fonador é constituído por três elementos: uma fonte de ar, os pulmões; um oscilador, as pregas vocais (antigamente chamada de cordas vocais); uma caixa de ressonância, formada pela faringe, boca e cavidades nasais. Esse último conjunto é chamado de trato vocal.



Ao falarmos, os pulmões geram, por diferença de pressão, uma corrente de ar, semelhante ao vento que faz as folhas oscilarem.

Quando não estamos falando, as pregas vocais se encontram abertas. Contudo, quando falamos, uma corrente de ar que sai dos pulmões as atinge, fazendo com que abram e fechem lateralmente. Assim criam-se regiões de compressão e rarefação no ar, o que produz ondas sonoras.

A frequência de vibração das pregas vocais depende, entre outros fatores, de seu comprimento, de sua espessura, de sua massa e da tensão a que estão submetidas, de modo análogo às cordas de um violão. Por essa razão, os homens adultos, cujas pregas vocais, em geral, são mais longas, espessas, e com maior massa do que as das mulheres adultas, tem a voz com frequência fundamental inferior à da voz feminina.

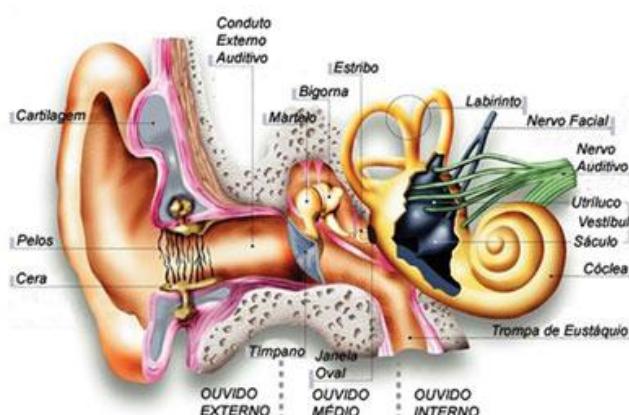
A última fase do processo de fonação se dá no trato vocal; essa cavidade funciona como caixa de ressonância que amplifica ou atenua as diversas frequências das ondas produzidas pelas pregas vocais. A forma geométrica da caixa de ressonância determina suas frequências naturais de vibração.

5.2. A audição

O sistema auditivo transforma as diferenças de pressão do ar, causadas pelas ondas sonoras, em impulsos eletroquímicos, que são enviados ao cérebro por meio de nervos. Resumidamente, o aparelho auditivo consta de orelha externa, orelha média, orelha interna, nervos, e centros auditivos cerebrais.

A orelha externa, composta de pavilhão auricular e canal auditivo, tem a função de captar e conduzir a onda sonora até a orelha média e de protegê-la contra a entrada de agentes agressores, como insetos e partículas de poeira.

A orelha média é uma cavidade limitada pela membrana timpânica e pelas paredes ósseas. Ligado à membrana timpânica há um sistema de três ossículos: bigorna, martelo e estribo. Um canal denominado tuba auditiva comunica a orelha média com a faringe.



Na orelha média, a membrana timpânica, ao ser atingida pela onda sonora, vibra com amplitude proporcional à intensidade da onda incidente. Esse diminuto movimento é transmitido para o martelo, daí para a bigorna e desta para o

estribo. Esse último transporta a energia sonora que chegou à membrana timpânica ao fluido da orelha interna, através da janela oval. Quando a onda sonora muda de meio de propagação, ocorre grande perda de energia, mas, na orelha média, há amplificação do sinal sonoro.

A função da tuba auditiva, que liga a orelha média à faringe, é igualar as pressões interna e externa, pois diferenças de pressão entre a orelha média e o ambiente são desconfortáveis, como acontece quando subimos ou descemos rapidamente a encosta de uma montanha.

6. EXERCÍCIOS

6.1. Em dias de tempestades vemos o relâmpago antes de ouvirmos o trovão.

- Por que isso ocorre?
- Quais os tipos de onda estão envolvidos nesse fenômeno?

6.2. Uma brincadeira clássica é o “telefone mecânico”, feito de latas ou copinhos de plástico ligados por um fio esticado. Os sons nesse dispositivo de comunicação não são os mais perfeitamente identificáveis, mas proporcionam momentos de muita diversão entre as crianças. A perturbação feita pela vibração do fundo do copo se propaga pelo fio do brinquedo enquanto as crianças se comunicam. Classifique, de acordo com critérios de natureza e forma, a onda que se propaga pelo fio do brinquedo.

6.3 O quadro mostra as faixas de frequências detectadas por alguns animais.

Animal	Faixa de freqüência
Cão	15 Hz – 50 kHz
Morcego	1 kHz – 50 kHz
Golfinho	70 Hz – 240 kHz

Responda verdadeiro ou falso para as afirmativas.

I. Todos esses animais detectam infrassons.

II. Todos esses animais detectam ultrassons.

III. A faixa de frequência comum a todos esses animais é de 1000 Hz a 5×10^4 Hz.

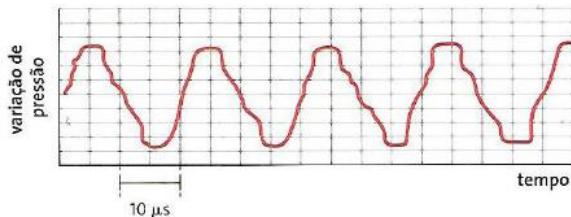
IV. Para todos esses animais, os comprimentos de onda vão da ordem do metro à ordem do milímetro.

6.4. Uma comunicação via rádio entre naves espaciais é possível de ocorrer no espaço sideral? Por quê?

6.5. Nos filmes de faroeste dos anos 1950 e 1960, era comum um índio verificar a aproximação de um trem (cavalo de ferro) colocando a orelha no trilho. Explique por que esse procedimento é mais eficaz do que ouvir a aproximação do trem pelo ar.

6.6. (FUVEST-SP) O som de um apito é analisado com o uso de um medidor que, em sua tela, visualiza o padrão apresentado na figura abaixo.

Seres vivos	Intervalos de frequência
cachorro	15 Hz – 45 000 Hz
ser humano	20 Hz – 20 000 Hz
sapo	50 Hz – 10 000 Hz
gato	60 Hz – 65 000 Hz
morcego	1000 Hz – 120 000 Hz



O gráfico representa a variação de pressão que a onda sonora exerce sobre o medidor, em função do tempo, em μs ($1\mu\text{s} = 10^{-6}\text{s}$). Analisando a tabela de intervalos de frequências audíveis, por diferentes seres vivos, conclui-se que esse apito pode ser ouvido apenas por:

- (a) seres humanos e cachorros
- (b) seres humanos e sapos
- (c) sapos, gatos e morcegos
- (d) gatos e morcegos
- (e) morcegos

6.7. “Cuide bem de suas orelhas, pois elas são uma obra de arte da natureza”. Discuta o significado dessa afirmação.

6.8. (UFSCar) Um homem adulto conversa com outro de modo amistoso e sem elevar o nível sonoro de sua voz. Enquanto isso, duas crianças brincam emitindo gritos eufóricos, pois a brincadeira é um jogo interessante para elas. O que distingue os sons emitidos pelo homem dos emitidos pelas crianças

- (a) é o timbre, apenas.
- (b) é a altura, apenas.
- (c) são a intensidade e o timbre, apenas.
- (d) são a altura e a intensidade, apenas.
- (e) são a altura, a intensidade e o timbre.

6.9. Marque a alternativa correta a respeito das características das ondas sonoras.

- (a) Quanto menor for a densidade de um meio, maior será a velocidade do som, por isso as ondas sonoras propagam-se com maior velocidade no ar do que na água.
- (b) A altura é a qualidade do som relacionada à energia emitida pela fonte sonora.
- (c) Podemos diferenciar os sons de instrumentos musicais distintos, porque cada um produz som em uma frequência característica.
- (d) O aparelho auditivo humano é capaz de captar apenas um intervalo específico de frequências sonoras.
- (e) Um som alto significa um som de alto volume.

6.10. Determinada fonte produz ondas no ar com comprimento de onda igual a 2 mm. Assinale a alternativa que traz a informação correta a respeito dessas ondas.

Dados: Se necessário, adote a velocidade de propagação das ondas sonoras através do ar como sendo igual a 340 m/s.

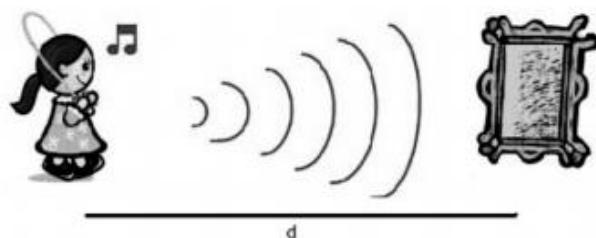
- (a) As ondas sonoras são audíveis para o ser humano.

- (b) As ondas sonoras são inaudíveis, pois possuem frequência abaixo do valor mínimo perceptível pelo ouvido humano.
- (c) As ondas sonoras são inaudíveis, pois possuem frequência acima do valor máximo perceptível pelo ouvido humano.
- (d) As ondas sonoras são inaudíveis, pois o comprimento de onda é maior que a largura do tímpano.
- (e) Todas as alternativas estão incorretas.

6.11. (UFPE/2005) O intervalo de frequências do som audível é de 20 Hz a 20 kHz. Considerando que a velocidade do som no ar é aproximadamente 340 m/s, determine o intervalo correspondente de comprimentos de onda sonora no ar, em m:

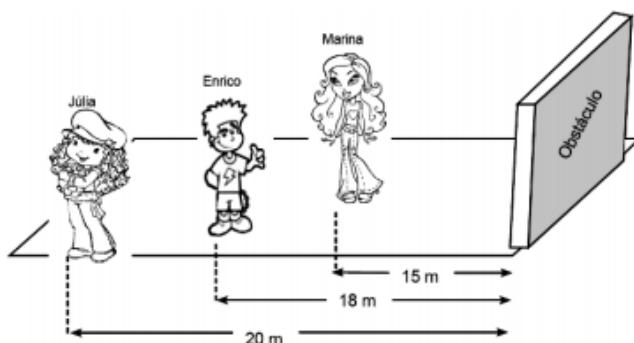
- (a) $2,5 \times 10^{-3}$ a 2,5
- (b) $5,8 \times 10^{-3}$ a 5,8
- (c) $8,5 \times 10^{-3}$ a 8,5
- (d) 17×10^{-3} a 17
- (e) 37×10^{-3} a 37

6.12. (PUC-SP) Patrícia ouve o eco de sua voz direta, refletida por um grande espelho plano, no exato tempo de uma piscada de olhos, após a emissão. Adotando a velocidade do som no ar como 340m/s e o tempo médio de uma piscada igual a 0,4s, podemos afirmar que a distância d entre a menina e o espelho vale



- (a) 68m
- (b) 136m
- (c) 850m
- (d) 1700m
- (e) 8160m

6.13. (FATEC-SP) O eco é um fenômeno sonoro que ocorre quando o som reflete num obstáculo e é percebido pelo ouvido humano, depois de um intervalo de tempo superior a 0,10 s. Júlia, Marina e Enrico estão brincando em frente a um obstáculo e se encontram distanciados conforme figura a seguir.



Estando eles não alinhados e considerando a velocidade do som, no ar, de 340 m/s, quando Enrico emite um som, o eco pode ser escutado perfeitamente apenas por

- (a) Júlia.
- (b) Júlia e Marina.
- (c) Marina.
- (d) Enrico.
- (e) Enrico e Júlia.