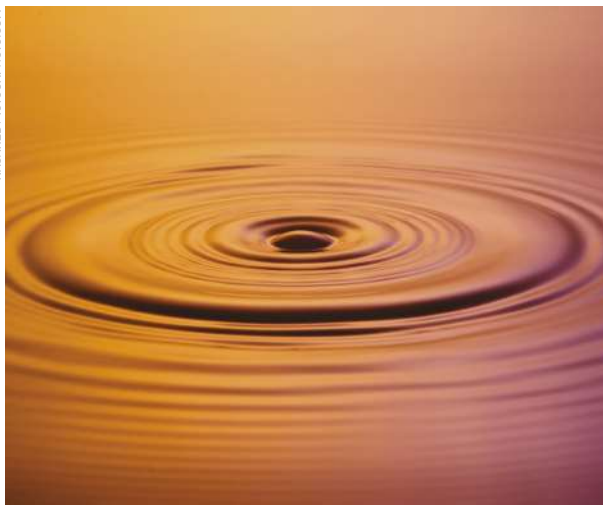


1. Ondas

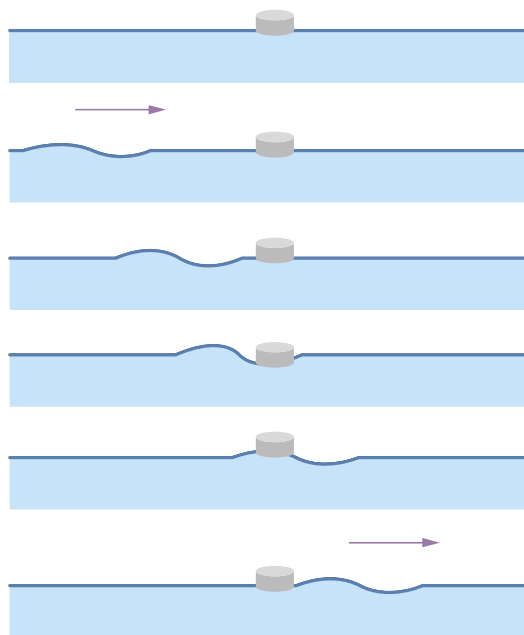
Um exemplo simples de produção de ondas ocorre quando gotas de um líquido (água, por exemplo) caem regularmente sobre a superfície da água contida em um recipiente.



Ondas circulares propagando-se na superfície da água.

No momento da colisão, cada gota provoca uma perturbação na água. Essa perturbação irá se propagar na forma de ondas circulares, que se afastam do ponto de impacto, fazendo as moléculas do meio oscilarem.

Se colocarmos próximo ao ponto de impacto um pequeno pedaço de isopor e observarmos, com cuidado, o que acontece com ele, veremos que será atingido pelas ondas, oscilará com a passagem delas e continuará na mesma posição inicial, conforme mostra a figura a seguir.



Durante a passagem da onda, o pedaço de isopor apresenta pequenos deslocamentos horizontais e verticais, mas continua na mesma posição inicial.

Isso significa que a onda não arrasta a matéria que constitui o meio no qual se propaga. Assim, podemos dizer que:

Onda é uma perturbação que se propaga em um meio, transportando em seu deslocamento apenas energia e quantidade de movimento, sem transportar matéria.

A. Classificação de uma onda

Vamos classificar as ondas quanto à sua natureza, forma de propagação, dimensão da propagação e forma da onda.

A.1. Quanto à natureza das ondas

Como a onda transporta energia, sua natureza pode ser classificada pelo tipo de energia que ela transmite. Desse modo, as ondas podem ser **mecânicas** ou **eletromagnéticas**.

As **ondas mecânicas** necessitam de um meio para se propagarem. Na propagação, elas transportam energia mecânica, que são originadas das deformações de um meio elástico. Como exemplo, temos ondas sonoras (som), ondas em cordas vibrantes, ondas em molas e ondas na superfície de um líquido.



Onda sonora produzida em um instrumento de sopro.

As **ondas eletromagnéticas** são ondas que transportam energia, mas que **não** necessitam de um meio para se propagar. Elas se propagam em meios materiais e também no vácuo. Como exemplo, temos a luz visível, as micro-ondas, a radiação ultravioleta, as ondas de rádio e TV, os raios X, os raios gama e os raios cósmicos.



No micro-ondas, os alimentos são aquecidos por ondas eletromagnéticas denominadas micro-ondas.



Veja este simulador, que mostra o funcionamento do forno de micro-ondas: <https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulation/microwaves>.

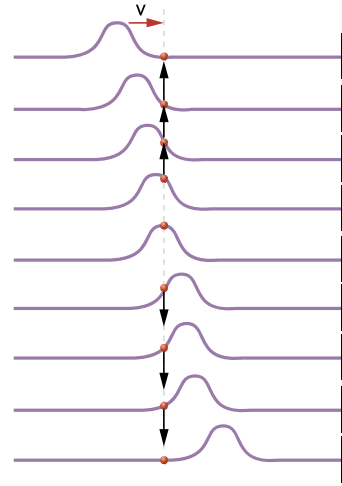


Leia um pouco da história do forno de micro-ondas. Acesse: <mundoestranho.abril.com.br/materia/como-funciona-o-forno-de-microondas>.

A.2. Quanto às formas de propagação das ondas

Quanto às formas de propagação, as ondas são classificadas em **transversais**, **longitudinais** e **mistas**.

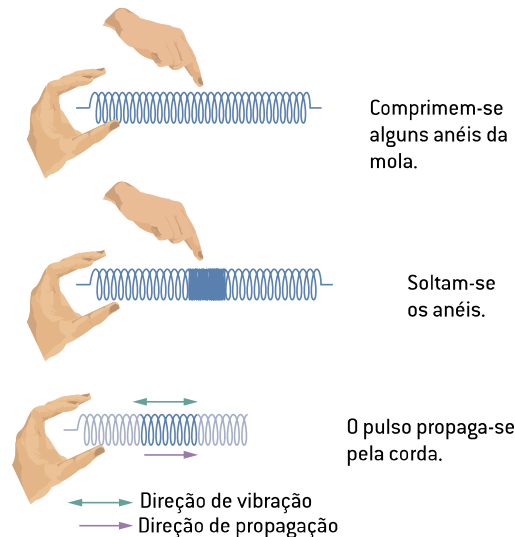
Uma onda é classificada como **transversal** quando sua direção de propagação é perpendicular à direção de vibração. Como exemplo, temos o caso de uma onda se propagando em uma corda tracionada, conforme mostra a figura.



Representação esquemática de uma onda transversal se propagando em uma corda tracionada.

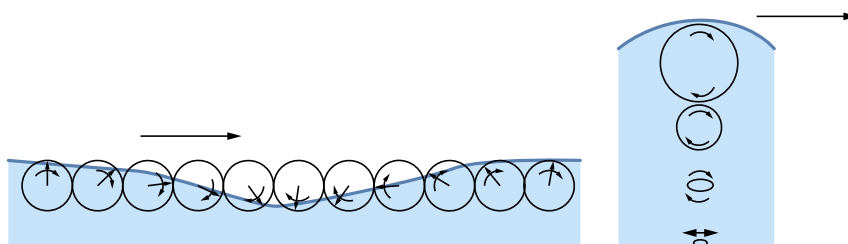
A propagação da onda é horizontal, enquanto os pontos da corda se movimentam verticalmente.

Uma onda é classificada como **longitudinal** quando a direção de propagação coincide com a direção de vibração. Como exemplo, temos uma onda se propagando em uma mola, conforme mostra a figura.



Representação esquemática de uma onda longitudinal se propagando em uma mola.

Uma onda é classificada como **mista** quando as moléculas vibram transversalmente e longitudinalmente ao mesmo tempo. Como exemplo, temos as ondas na superfície de um líquido. As moléculas desenvolvem um movimento cíclico, retornando ao ponto de origem.



Representação esquemática de uma onda mista

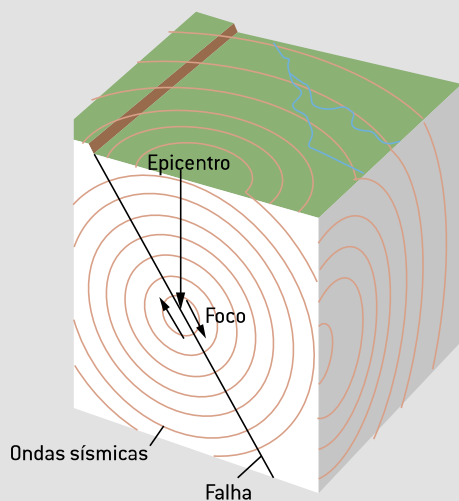


Ondas sísmicas

Quando escolhemos uma melancia para comprar sem que possamos ver o seu interior, usualmente lhe damos algumas batidinhas e escutamos o som. Se o som estiver limpo, provavelmente estará madura. Já um som mais abafado indicará provavelmente que ela passou do ponto. Isso ilustra dois pontos sobre as ondas sísmicas: (1) a energia da batida se propaga pelo interior da melancia, e (2) a natureza do conteúdo da melancia afeta o som.

Uma onda transmite energia de um lugar para outro. O bumbo (som) de um tambor viaja pelo ar como uma sequência de ondas, assim como o calor do sol chega até a Terra como ondas eletromagnéticas, e uma batidinha na melancia viaja através dela. Ondas de vibrações que viajam pelas rochas são ditas ondas sísmicas. Terremotos e explosões geram vários tipos dessas ondas. A sismologia estuda os tremores de terra e também a natureza do interior da Terra com base em evidências de ondas sísmicas.

Um terremoto irradia vários tipos diferentes dessas ondas a partir do seu foco (hipocentro ou ponto inicial), cuja projeção na superfície chamamos de epicentro. Parte das ondas de um terremoto pode atingir a superfície, irradiando-se a partir do epicentro por toda a superfície da Terra.



Frete de onda irradiando-se a partir do foco de um terremoto.

Ondas de corpo

Existem dois tipos fundamentais de ondas no interior da Terra.

A onda P, longitudinal, é uma onda elástica que provoca a compressão e a expansão da rocha.

As ondas P têm velocidade entre 4 e 7 km/s na crosta terrestre e em torno de 8 km/s no manto superior. A velocidade do som no ar, que também é uma onda P, é de 0,34 km/s e os jatos supersônicos chegam a 0,85 km/s. Na água, a onda P se propaga a 1,5 km/s. As ondas P são chamadas primárias, porque são as primeiras que podem ser observadas nos sismogramas.

O segundo grupo principal de ondas, chamado de ondas S (*shear*), é formado por ondas cujas partículas vibram na direção perpendicular à propagação da onda (ondas transversais). Sua velocidade é menor, girando em torno de 3 e 4 km/s na crosta. O resultado dessa relativa lentidão é que seu registro sempre ocorre algum tempo depois do registro da onda P.

Diferentemente das ondas P, as ondas S se propagam apenas nos meios sólidos, porque as moléculas de líquidos e gases podem apenas transmitir pressões (ondas longitudinais).

Ondas de superfície

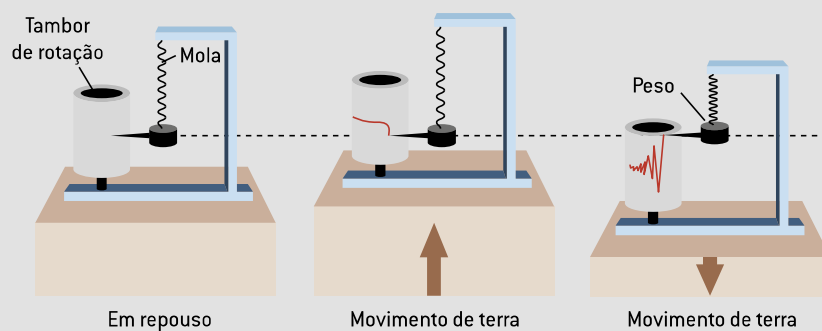
Junto à superfície, as ondas P e S podem combinar e propagar-se horizontalmente, formando ondas de superfície. As ondas de superfície viajam ainda mais lentamente que as ondas de corpo. Há dois tipos de ondas superficiais. As ondas *rayleigh* se propagam com o movimento de sobe e desce das partículas, como as ondas do mar. As ondas *love* vibram lateralmente da mesma forma como um réptil rasteja. Durante um terremoto, portanto, a Terra se chacoalha como as ondas do mar e rasteja como um lagarto.

Como medir as ondas sísmicas

A medição das ondas sísmicas se dá com um conjunto de:

sensor + registrador → registro

O sensor (sismômetro) é o responsável por responder aos movimentos e estímulos da superfície muito precisamente. O sensor tem uma massa metálica (geralmente um ímã) suspensa por uma mola oscilando próximo a uma bobina. Pequenas variações na posição da massa geram uma diferença de potencial nas extremidades da bobina (lei de Lenz). Se esse sinal elétrico for amplificado e digitalizado pelo registrador (sismógrafo), teremos o registro sismológico (sismograma).



Funcionamento esquemático de um sismômetro mecânico

Texto elaborado com base em uma tradução livre com adaptações de Graham R. Thompson and Jonathan Turk. *Introduction to physical geology*, 1997. Disponível em: <<http://moho.iag.usp.br/sismologia/ondasSismicas.php>>. Acesso em: 5 abr. 2015. Adaptado

A.3. Quanto às dimensões de propagação das ondas

Quanto às dimensões de propagação, uma onda pode ser **unidimensional**, **bidimensional** ou **tridimensional**.

Uma onda é classificada como **unidimensional** quando se propaga em apenas uma dimensão, em uma linha. Como exemplo, temos a propagação de uma onda em uma corda.

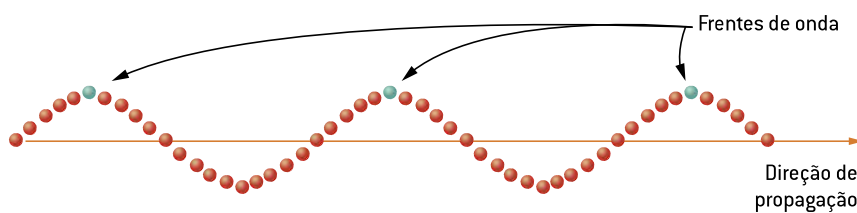
Uma onda é classificada como **bidimensional** quando se propaga em duas dimensões, em um plano. Como exemplo, temos a propagação de uma onda na superfície de um líquido.

Uma onda é classificada como **tridimensional** quando se propaga em três dimensões, no espaço. Como exemplo, temos a propagação de ondas sonoras no ar.

A.4. Quanto à forma das ondas

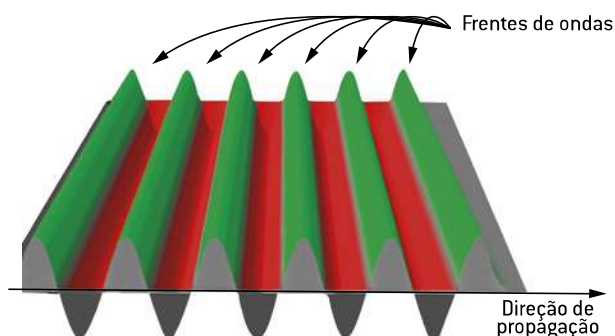
Quanto à forma das ondas, elas podem ser classificadas em **puntiformes**, **retas**, **circulares**, **esféricas**, **planas** etc., para isso deve-se observar o formato da **frente de onda**.

As ondas **unidimensionais** possuem somente a forma **puntiforme**.

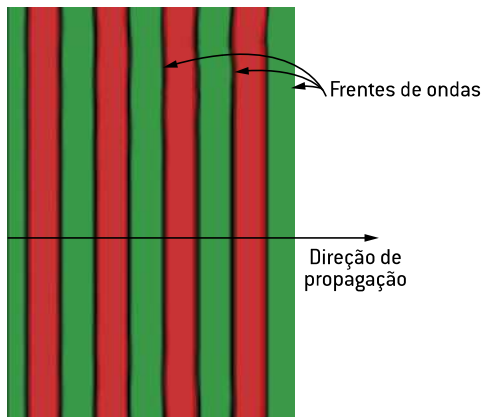


A imagem ilustra uma visão lateral em 2D de uma onda puntiforme.

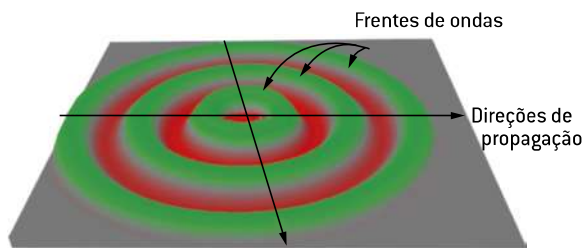
As principais ondas **bidimensionais** são as **retas** e as **circulares**.



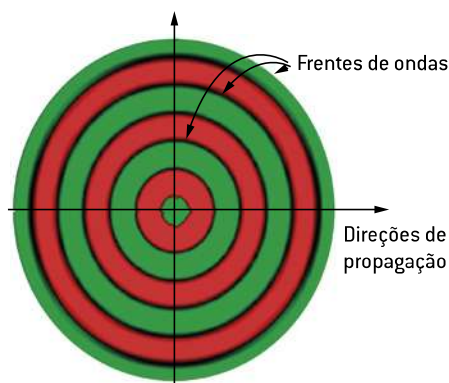
A imagem ilustra uma visão lateral em 3D de uma onda reta.



A imagem ilustra uma visão superior em 2D de uma onda reta.



A imagem ilustra uma visão lateral em 3D de uma onda circular.

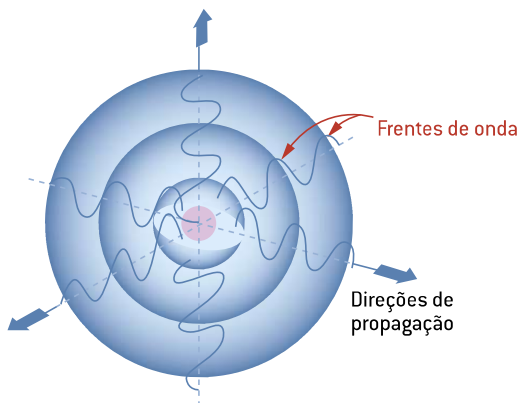


A imagem ilustra uma visão superior em 2D de uma onda circular.

Observação

Analisando um recorte de uma onda circular a uma distância muito grande, suas frentes de onda são, aproximadamente, retas.

As ondas **tridimensionais** são basicamente **esféricas**.

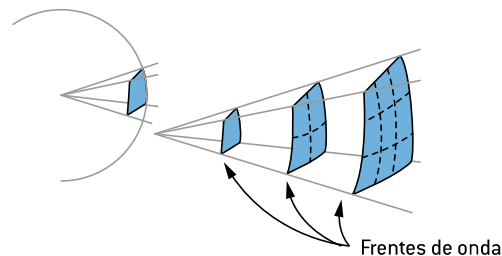


A imagem ilustra uma visão em 3D de uma onda tridimensional.

A visão em 2D de uma onda tridimensional é idêntica à da onda circular.

Observação

Analisando um recorte de uma onda esférica a uma distância muito grande, suas frentes de onda são, aproximadamente, planas.



A tabela ilustra as classificações de algumas ondas.

Tipo de onda	Natureza	Propagação	Dimensões	Forma
Luz	Eletromagnética	Transversal	Tridimensional	Esférica ou plana
Som no interior dos fluidos	Mecânica	Longitudinal	Tridimensional	Esférica ou plana
Onda na corda	Mecânica	Transversal	Unidimensional	Puntiforme
Onda na superfície dos líquidos	Mecânica	Mista	Bidimensional	Circular ou reta

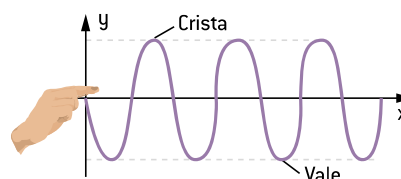


Assista ao vídeo do simulador de ondas TPN-USP:
<<https://www.youtube.com/watch?v=LIWzCC?FjBw>>.

B. Características de uma onda

As principais características de uma onda são: **velocidade**, **amplitude**, **comprimento de onda** e **frequência**. Para entender cada uma dessas características, vamos considerar uma onda produzida em uma corda horizontal presa a um suporte fixo.

Suponha que, na extremidade livre da corda, produzamos um movimento de vaivém na vertical, em intervalos de tempo iguais. Essa sucessão de pulsos produz na corda uma onda periódica que se propaga com velocidade v . Observe a figura seguinte.



O movimento para cima e para baixo, em intervalos de tempo iguais, da extremidade livre da corda dá origem a uma onda periódica.