

Como uma onda no mar...

Certa vez a turma passou férias numa pequena cidade do litoral. Maristela costumava ficar horas a fio admirando a imensidão azul do mar, refletindo sobre coisas da vida e, principalmente, sobre fenômenos que vinha observando diariamente na natureza.

Uma tarde, ela convidou Ernesto para dar uma volta. Subiram uma encosta e ficaram um bom tempo observando um tronco de árvore que boiava na superfície do mar. O tronco estava numa parte funda. As ondas passavam por ele e percorriam um longo caminho até encontrar a areia da praia.

Maristela e Ernesto fizeram observações cuidadosas e verificaram que, quando as ondas passavam pelo tronco, este subia e descia, mas não se aproximava nem se afastava da praia. Os dois ficaram em silêncio, até que Ernesto perguntou...

– Afinal, o que é uma onda?

É a primeira dúvida que nos ocorre.

– Bem, Ernesto, sabemos que há uma onda porque a superfície do mar fica diferente, ela fica deformada. Além disso você pode observar dois fatos importantes: o primeiro é que essa deformação se desloca; o segundo é que o tronco sobe e desce, mas sua distância em relação à praia não muda (Figura 1).

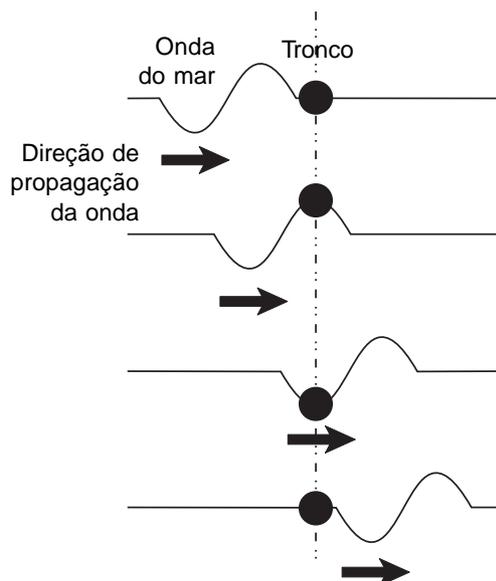


Figura 1



- Essas duas características nos ajudam a definir:

Onda é uma perturbação num meio material que se desloca de um ponto a outro.

Esse tipo de onda é chamado de **onda mecânica**, e sobre ela vamos falar nesta aula.

- Ernesto, é importante notar que a deformação (perturbação) passa sem que o material do meio se desloque. É possível verificar esse fato pelo movimento do tronco: ele sobe e desce, mas não se desloca horizontalmente, e a água também não se desloca.

Vamos explorar mais esse fato. Inicialmente, o tronco estava parado. À medida que a onda passa, ele se movimenta, isto é, ganha velocidade, subindo e descendo. Isso acontece porque a onda transferiu energia ao tronco. Assim, dizemos que:

Uma onda transfere energia de um ponto a outro do meio, sem que haja transporte de matéria.

- Existem vários exemplos de ondas à nossa volta. Por exemplo, uma toalha presa a um varal num dia de vento: as ondas provocadas pelo vento se propagam pelo tecido (meio material), mas as porções do tecido voltam às suas posições depois que as ondas passam.

Ernesto, começando a entender mais sobre o assunto, lembrou animado de outro exemplo:

- Ah! E quando eu arrumo a minha cama pela manhã: segurando o lençol, levanto e abaixo rapidamente o braço, forma-se uma perturbação que se propaga pelo tecido... isso é uma onda?

- Sim! Mas essa onda é produzida e acaba logo em seguida. Esse tipo de onda é chamado de **pulso**.

Um pulso é uma perturbação que se propaga por um meio. É, portanto, uma onda, mas de curta duração.

Ernesto, agora, estava mais curioso:

- Existem outros tipos de ondas, isto é, ondas que não sejam como os pulsos que terminam logo depois que começam?

- Existem, Ernesto. Pense, por exemplo, no movimento de um relógio, ou do Sol... São tipos de movimentos que se repetem depois de um certo tempo. Por exemplo: o ponteiro grande de um relógio volta à mesma posição a cada doze horas. O Sol nasce a cada dia, isto é, a cada 24 horas...

- Já sei! Doze horas é o **período** do ponteiro grande e 24 horas é o **período** do Sol – concluiu Ernesto com entusiasmo.

- Muito bem! Esses movimentos que se repetem após um certo tempo (período) recebem o nome de **movimentos periódicos**. Da mesma forma, uma série de pulsos que se repetem formam o que chamamos de **onda periódica**.

- E, nesse caso, – completou Ernesto – o movimento do material se repete, isto é, os pontos do meio se deslocam, voltam à posição original, e esse movimento se repete muitas vezes. Maristela, agora me surgiram duas dúvidas: as ondas do mar são periódicas? E o que determina o período de uma onda?

– Você está ficando muito esperto, Ernesto! Mas vamos com calma. Uma coisa de cada vez! O **período** é uma **característica da onda**. E o que determina o período é a **fonte**, isto é, o que produz a onda. Por exemplo: quando você arruma sua cama e produz um pulso ao levantar e abaixar a mão, a mão é a fonte, pois seu movimento produziu o pulso.

– Entendo. E o que produz a onda do mar? – perguntou Ernesto.

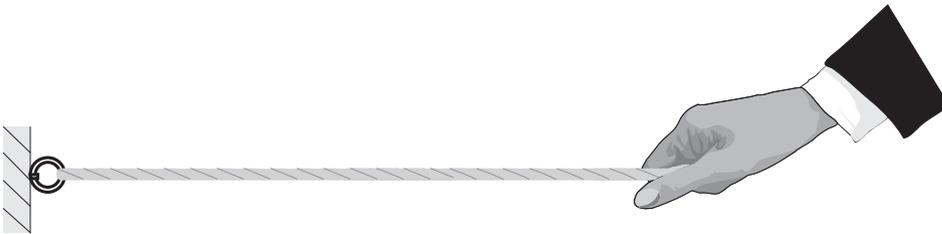
– Bem, esse não é um assunto fácil, pois o processo de formação de ondas no oceano é complexo. Isto é, não é uma fonte única, como a sua mão, mas uma combinação de fatores que levam ao aparecimento dessas ondas. Vamos estudar os casos mais simples? Vamos até a minha casa brincar um pouco!

Produzindo e observando ondas

Na casa de Maristela, o estudo das ondas continuou.

– Uma maneira muito simples de estudar ondas mecânicas é utilizar uma corda com uma das extremidades presa.

– Ernesto, você será a fonte que produz as ondas. Segurando a outra extremidade da corda, levante e abaixe rapidamente a mão, como você faz com o lençol.



– Levantando a mão só uma vez eu produzo um pulso – disse Ernesto. – E se eu levantar e abaixar a mão continuamente?

– Vá em frente! Tente, experimente! É assim que aprendemos, é assim que se descobrem coisas novas! — incentivou Maristela.

– Veja, uma série de pulsos! Epa! Isso não é uma onda periódica?

– Sim! Observe que os pontos da corda sobem e descem sucessivamente. Temos, portanto um movimento periódico, uma onda periódica! Experimente movimentar sua mão mais rápido ou mais devagar. O que acontece?

– Os pontos da corda vão subir e descer mais rápido ou mais devagar, de acordo com a minha mão, que é a fonte que produz a onda. Exatamente como você disse lá na praia! – concluiu Ernesto. – Por isso esses pontos vão demorar mais ou menos para voltar ao mesmo lugar.

Então, podemos dizer que:

O período (T) é uma característica da onda e depende da fonte que a produz.

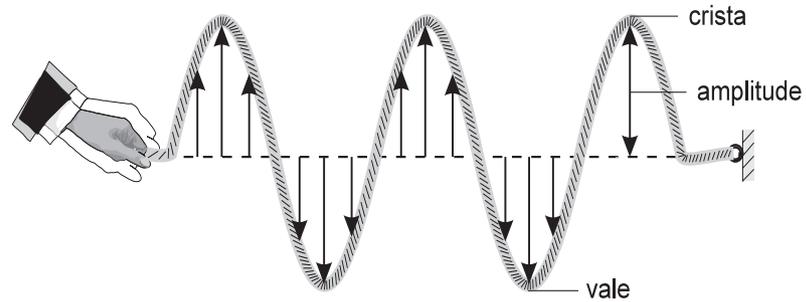
Dizemos que uma onda é periódica porque os pontos da corda, após um certo tempo (período), retornam à posição anterior. Esse movimento de ir e voltar ao ponto de partida recebe o nome de **ciclo**.

Maristela sugeriu:

– Para continuar a estudar as características da onda, vamos fazer um desenho, como se alguém, num dado momento, tirasse uma foto da corda.

A Figura 2 ilustra a corda de Ernesto num dado momento. Para facilitar seu estudo, desenhamos um par de eixos x e y . As setas indicam o deslocamento dos pontos da corda em relação à horizontal.

Figura 2



– Ernesto, uma onda é caracterizada por várias grandezas: uma delas é o período. Mas existem outras. Por exemplo, observe que existem pontos da corda que estão mais afastados da posição de equilíbrio (horizontal) do que os outros.

– Sim! E são vários! Alguns estão acima da horizontal e outros estão abaixo...

– Esses pontos têm um nome especial. Os que estão acima da posição de equilíbrio se chamam **cristas** da onda...

Ernesto interrompeu:

– Agora eu já sei por que, quando alguém está se dando bem no que faz, dizemos que ele está **na crista da onda!**

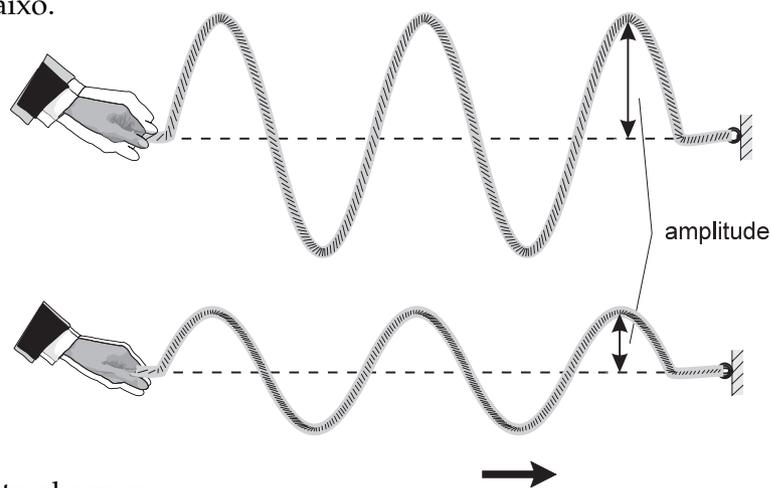
— Isso mesmo, Ernesto! Você percebe como as coisas do dia-a-dia e os fenômenos da natureza podem ser relacionados? Às vezes usamos uma mesma linguagem para expressar coisas diferentes, que no fundo são semelhantes. Fazendo essas ligações fica muito mais fácil entendê-las!

– E como se chamam os pontos que estão abaixo da posição de equilíbrio?

– **Vales** da onda – respondeu Maristela. – Os pontos que estão nas cristas e nos vales, como vimos, estão mais afastados da horizontal do que os outros. Essa distância máxima recebe o nome de **amplitude**.

– Então, a amplitude é outra característica da onda. Ela também está relacionada com a fonte?

– Perfeito, Ernesto! Experimente levantar e abaixar mais o braço, isto é, dê uma **amplitude** maior ao movimento do seu braço. Observe o resultado na figura abaixo.



Ernesto observou:

– As cristas ficam mais altas e os vales ficam mais fundos! Isso quer dizer que esses pontos, agora, estão mais afastados da horizontal, ou seja, a amplitude aumentou!

Portanto, dizemos que:

A amplitude (A) é uma característica da onda que depende da amplitude do movimento da fonte.

– Agora você pode brincar de produzir ondas e, com os conhecimentos que adquiriu, é capaz de produzir ondas com características diferentes, isto é, com diferentes períodos e amplitudes! – disse Maristela. – Enquanto isso, eu tiro uma soneca. Quando eu acordar, vamos à cidade para tomar sorvete!

Mas que ônibus demorado!

Maristela e Ernesto foram para o ponto esperar o ônibus que os levaria até o centro da cidade. Estavam lá havia uns vinte minutos e nada de o ônibus passar. Ernesto já estava impaciente e perguntou a um senhor:

– Por favor, o senhor saberia me dizer de quanto em quanto tempo esse ônibus passa aqui?

– Bom, filho, isso eu não posso responder, porque ele não tem um período certo. Só posso dizer que ele não passa com muita frequência, não! Se estiver com muita pressa, é melhor ir a pé!

Ernesto olhou espantado para Maristela, menos pela possibilidade de ter que ir andando até a cidade, mais pelas palavras que acabara de ouvir... Período? Frequência? Após todas as discussões da tarde, as idéias estavam frescas na sua cabeça.

– Sim! – gritou Ernesto. – O período do ônibus é o tempo que ele leva para passar novamente por esse lugar. Quer dizer, é o tempo que ele leva para sair daqui, dar a volta pela cidade e retornar para dar mais outra volta! Certo?

– Certíssimo – afirmou Maristela, orgulhosa do rapaz.

– Mas, do modo como aquele senhor falou, período e frequência devem estar relacionados! – arriscou Ernesto.

– Sim, vá em frente! – encorajou-o Maristela.

– Me ajude!

– Vamos lá: suponhamos que o período do ônibus seja de duas horas. Quantas vezes num dia (24 horas) esse ônibus passará por aqui?

– Ah, essa é fácil! Ele passará doze vezes num dia! – respondeu Ernesto, confiante.

– Então você sabe o que é frequência: é o número de **ciclos** (neste caso, as doze voltas do ônibus) por unidade de tempo (neste caso, um dia ou 24 horas). Isso significa que a **frequência** do ônibus é de doze voltas em 24 horas, ou, se preferir, meia volta a cada hora. Observe que o período é de duas horas e a frequência é de uma volta a cada duas horas. Portanto: o período é o inverso da frequência. E o mais interessante, Ernesto, é que isso tudo também vale para as nossas ondas!

– Maristela, vamos esquecer o sorvete e voltar para casa. Eu quero continuar com as experiências na corda!

Mais lento! Mais rápido!

Ernesto segurou a corda e começou a levantar e abaixar o braço cada vez mais rápido. Viu que a corda obedecia aos seus movimentos. Quanto mais rápido era o movimento da sua mão, mais rápido os pontos da corda subiam e desciam.

Sua conclusão foi:

A frequência (f) é uma característica da onda, e é igual à frequência da fonte que a produz.

– Vamos fazer um cálculo! – sugeriu Maristela. – Suponha que um ponto qualquer da corda sobe e desce quatro vezes a cada segundo. Portanto, sua frequência é de quatro ciclos por segundo. Essa unidade **ciclos por segundo** recebe o nome de **hertz (Hz)**. E qual é o seu período, que é o tempo que leva para realizar um ciclo? Basta fazer uma regra de três:

$$\begin{array}{l} 1 \text{ segundo} \text{ ————— } 4 \text{ ciclos} \\ x \text{ segundos} \text{ ————— } 1 \text{ ciclo} \end{array}$$

Portanto, $x = 0,25$ segundos, isto é, $T = 0,25$ segundos, que é igual a $\frac{1}{4}$.

Com isso confirmamos que período é o inverso da frequência:

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

É o movimento da mão (fonte) que provoca o surgimento da onda na corda. Portanto, é ele que determina as características da onda. A rapidez com que movemos a mão (a frequência com que a fonte vibra) determina a frequência e o período da onda. Sua amplitude depende de quanto levantamos e abaixamos a mão, isto é, da amplitude desse movimento.

Note, na Figura 2, que a onda se desloca ao longo da corda (direção indicada pelo eixo x), enquanto os pontos da corda se deslocam numa direção perpendicular a ela (indicada pelo eixo y). Devido a essa característica, esse tipo de onda é chamado de **onda transversal**. O nome transversal significa que o deslocamento dos pontos e o deslocamento da onda não têm a mesma direção. Existe outro tipo de onda, chamada **longitudinal**, que estudaremos na próxima aula.

Um, dois, três, já!

Ernesto fez a Maristela uma proposta muito estranha: uma competição entre pulsos! Sua idéia era a seguinte:

– Cada um de nós segura uma corda, que vai estar com a outra extremidade presa. Quando eu disser ‘já’ nós produzimos um pulso. O pulso que chegar primeiro na outra extremidade da corda ganha! – propôs o menino, animadíssimo.

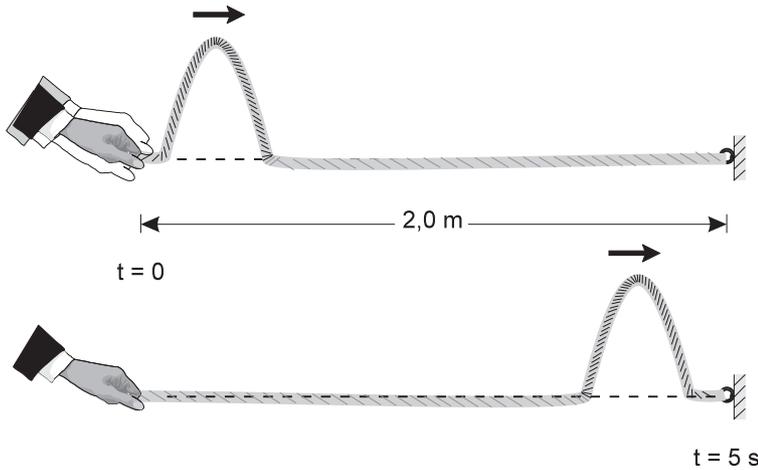
– Aceito o desafio!

Eles então se prepararam e, ao sinal de Ernesto, produziram os pulsos...

Mas os pulsos chegaram praticamente juntos. Foi impossível conhecer o vencedor e, assim, os dois declararam o empate!

– Podemos fazer uma coisa interessante, Ernesto: vamos medir quanto tempo o pulso leva para percorrer a corda. Depois mediremos seu comprimento, para saber qual foi a distância percorrida pelo pulso. Assim calcularemos a **velocidade de propagação** do pulso! O que você acha?

Foi o que fizeram. Com um relógio, eles verificaram que o pulso demorou cinco segundos para percorrer os dez metros da corda (Figura 3).



Portanto, a velocidade de propagação do pulso foi de:

$$v = \frac{10,0 \text{ m}}{5 \text{ s}} = 2,0 \text{ m/s}$$

Isto é: em um segundo, o pulso percorreu uma distância de 2,0 metros.

A velocidade de propagação não é uma característica da onda, mas sim do meio no qual a onda se propaga. Na corda, por exemplo, ela vai depender da tensão aplicada à corda (isto é, de quanto ela está esticada) e da sua espessura.

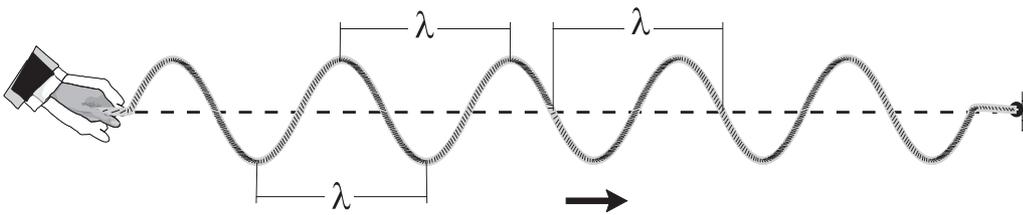
Uma pergunta que podemos fazer é: quanto é que o pulso caminha durante um período (T)? Pela definição de velocidade, temos:

$$v = \frac{\text{distância percorrida}}{T}$$

Ao se propagar em um meio, um pulso tem velocidade constante. Assim, a distância percorrida em determinado período também será constante. Por isso damos um nome especial a essa distância: **comprimento de onda**. Ela é representada pela letra grega **lambda** (λ). Portanto:

$$\lambda = v \cdot T$$

Já que se trata de uma distância, suas unidades são as de comprimento, isto é, metro, centímetro, milímetro etc. Observe a figura abaixo:



Ela representa uma série de pulsos produzidos por uma mesma fonte: é, portanto, uma onda periódica. Veja como o desenho se repete: uma crista e um vale, uma crista e um vale...

A distância indicada na figura pela letra λ equivale ao comprimento de onda. Observe que a distância entre dois vales ou entre duas cristas corresponde ao comprimento de onda. Portanto, o comprimento de onda pode ser obtido tanto pela equação (se conhecermos a velocidade de propagação e o período) como pelo gráfico.

Agora que já conhecemos o conceito de onda mecânica e as suas características... vamos voltar à praia!

Uma onda + uma onda = uma onda
Uma onda + uma onda = zero onda! (Como pode?)

No dia seguinte, Maristela e Ernesto voltaram à praia e foram andar até a encosta. O mar estava calmo. As ondas vinham bater de encontro à parede formada pelas rochas. Os dois observaram que, ao encontrar a parede, as ondas voltavam, isto é, eram refletidas.

Maristela e Ernesto começaram a observar o que acontecia com o tronco nesse caso:

– Ele sobe e desce, como antes! – observou Ernesto.

Num desses movimentos, o tronco subiu muito mais do que o de costume. Numa outra vez, não saiu do lugar!

– Preste atenção, Ernesto. Ao encontrar as rochas, a onda muda de sentido: como não pode seguir em frente, ela volta. Isso é o que chamamos de **reflexão**. Então, existem duas ondas: a que vem do fundo do mar e a que vai para o fundo do mar, depois de ter sido refletida pelas rochas. E aí está a chave do mistério! – exclamou Maristela.

– Continue! – pediu Ernesto

– As ondas são formadas por cristas e vales. As cristas levantam os pontos do meio e os vales abaixam esses pontos. Quando duas ondas se encontram, várias situações podem ocorrer. Duas, em especial: a crista de uma onda encontra a crista da outra e, neste caso, os vales também coincidem, ou a crista de uma encontra o vale da outra e vice-versa.

Ela continuou o raciocínio:

– Na primeira situação, isto é, quando o encontro é entre duas cristas, ambas levantam o meio naquele ponto, por isso ele sobe muito mais! Ao mesmo tempo dois vales se encontram, tendendo a baixar o meio naquele ponto. Por isso o vale que resulta fica mais fundo! Por isso vimos o tronco subir muito mais! (Figura 4)

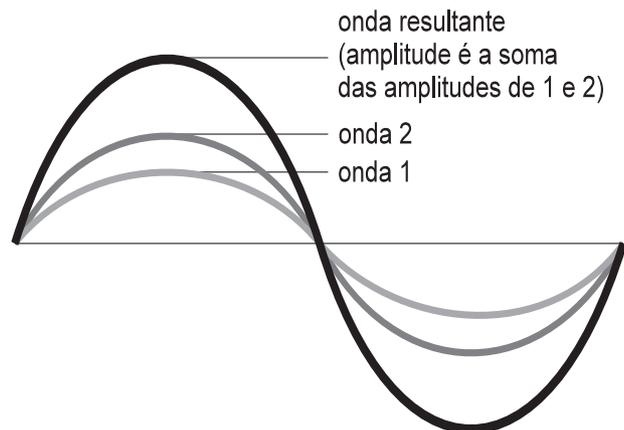


Figura 4

– Isso acontece porque, quando duas ou mais ondas se encontram, o efeito é uma **onda resultante**, cujas características dependem não só das características das ondas que se superpõem, mas também de como ocorre esse encontro.

– A outra situação ocorre quando o encontro é entre um vale e uma crista: um deles quer puxar os pontos para cima e o outro quer puxá-los para baixo. Se a amplitude das duas ondas for a mesma, o resultado que é não ocorre deslocamento, pois eles se cancelam e o meio não sobe e nem desce naquele ponto! Por isso não vimos o tronco se mover! (Figura 5)

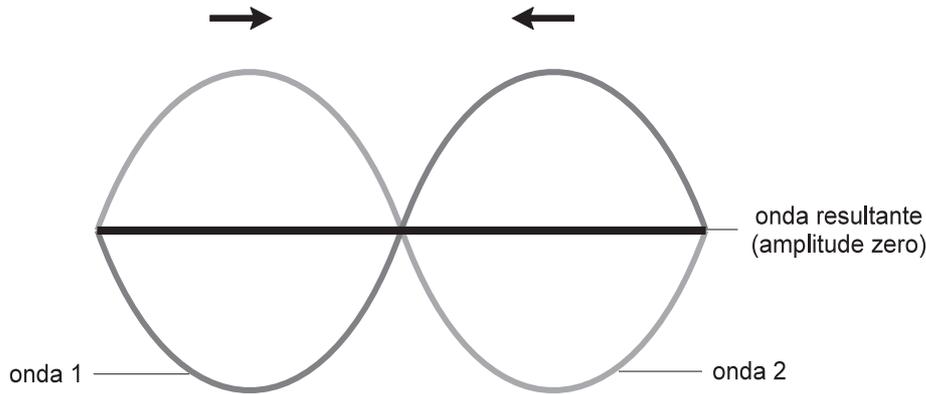


Figura 5

– Esse é um princípio que descreve o que acontece quando duas ou mais ondas se encontram e é conhecido como **princípio da superposição de ondas**.

Mas agora vamos, Ernesto. Já está ficando tarde e nós precisamos nos preparar para a seresta que vai acontecer lá em casa, hoje à noite!

Nesta aula você aprendeu que:

- **onda mecânica** é uma perturbação num meio material que se propaga de um ponto a outro do meio;
- as ondas podem ser de curta duração, isto é, acabar rapidamente: neste caso, chamam-se **pulsos**; quando a perturbação se repete, teremos uma **onda periódica**;
- as ondas são geradas por **fontes**; algumas características das ondas – como **período (T)**, **amplitude (A)** e **frequência (f)** – dependem da fonte;
- a **velocidade de propagação (v)** de um pulso é constante num meio, e depende das características desse meio; **v** é a distância percorrida pelo pulso numa unidade de tempo;
- outra característica das ondas é o seu **comprimento de onda (λ)**, que é a distância percorrida pela onda durante um período (T);
- o **princípio da superposição de ondas** descreve o que acontece quando duas ou mais ondas se superpõem, isto é, se encontram.

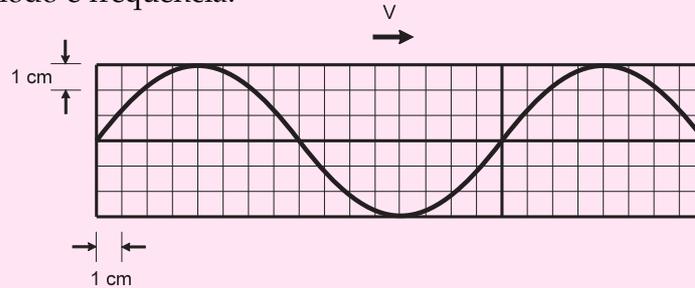




Exercício 1

A figura abaixo mostra uma corda num dado momento. Sabe-se que ela se desloca com uma velocidade de 4 cm/s . Com a ajuda da figura, sabendo que o lado de cada quadrado corresponde a 1 cm , determine:

- a amplitude da onda;
- o comprimento de onda;
- seu período e frequência.



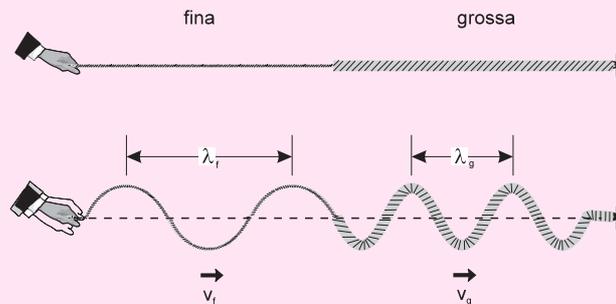
Exercício 2

Ernesto fez uma experiência num laguinho perto de sua casa. Agitando a mão na água ele produziu uma série de pulsos, isto é, uma onda periódica. Verificou que elas percorriam 200 cm em 4 segundos e que a distância entre duas cristas sucessivas era de 10 cm . Determine:

- a velocidade de propagação da onda;
- o comprimento de onda;
- a frequência com que Ernesto agitava a mão.

Exercício 3

Maristela e Ernesto amarraram dois pedaços de corda diferentes, uma fina e uma grossa, como mostra a figura a seguir.



Então, produziram pulsos, movimentando a mão para cima e para baixo duas vezes a cada segundo. Os pulsos eram produzidos num pedaço da corda e transmitidos ao outro. Eles anotaram os seguintes valores para as velocidades de propagação:

CORDA	VELOCIDADE
parte fina	$v_f = 6\text{ cm/s}$
parte grossa	$v_g = 4\text{ cm/s}$

Lembre-se de que a frequência dos pulsos é a mesma da fonte. Responda:

- qual o período da fonte (e dos pulsos na corda);
- qual o comprimento de onda quando ela se propaga no meio mais fino e no meio mais grosso.
- Escreva suas conclusões a partir dos resultados que você obteve.