

IMAGINOLOGIA

Henrique Ribeiro Cruz



SOLUÇÕES
EDUCACIONAIS
INTEGRADAS



Ondas eletromagnéticas e sonoras e sua interação com a matéria

Objetivos de aprendizagem

Ao final deste texto, você deve apresentar os seguintes aprendizados:

- Categorizar ondas sonoras, ondas eletromagnéticas, campos elétricos e campos magnéticos.
- Listar a aplicação de tecnologias com radiação eletromagnética e ondas sonoras no cotidiano.
- Analisar o impacto biológico das ondas eletromagnéticas e sonoras.

Introdução

Neste capítulo, você vai aprender que as ondas fazem parte do nosso cotidiano e estão presentes nos principais métodos de diagnóstico por imagens utilizados pela medicina atual. Para isso irá estudar as principais características e propriedades das ondas sonoras e eletromagnéticas. Também irá conhecer algumas das aplicações das ondas sonoras e eletromagnéticas no dia a dia e na prática da imagiologia, como nos exames de ultrassonografia, ressonância magnética e radiologia geral.

Ondas e suas características

Para falarmos sobre os tipos de ondas e suas interações com a matéria, precisamos, primeiramente, analisar alguns conceitos básicos sobre ondulatória. De acordo com Hewitt (2009), uma onda é uma oscilação que é função tanto do espaço quanto do tempo, e que tem uma extensão espacial, ou seja, a onda é uma oscilação ou perturbação que se propaga no espaço. A onda também transmite energia sem carregar matéria.

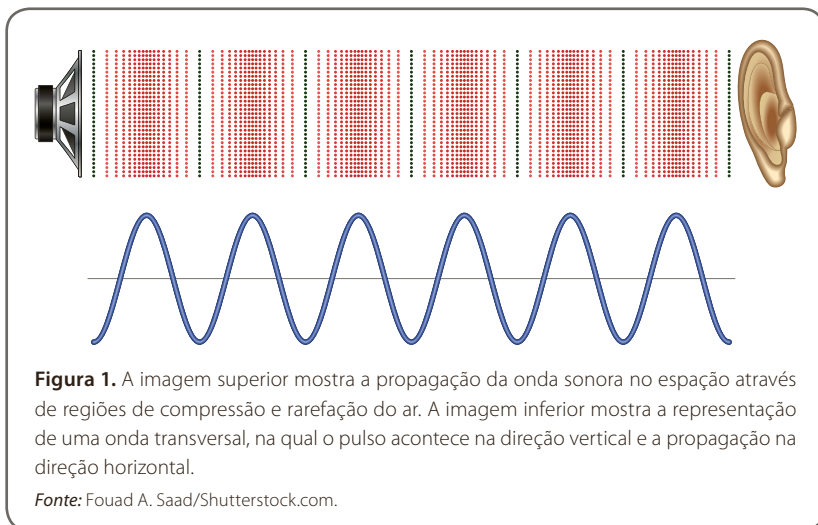
A onda pode ser classificada quanto à sua natureza como:

- **Onda mecânica:** para sua propagação é necessário um meio material. Um exemplo clássico é a onda sonora, que sempre necessita de um meio para sua propagação. Lembre-se de que a onda sonora não se propaga no vácuo.
- **Onda eletromagnética:** neste caso não há necessidade de um meio material para sua propagação. Um exemplo é a luz solar, que se propaga pelo espaço, mesmo havendo uma grande ausência de matéria durante o percurso do raio solar.

De acordo com Bauer, Westfall e Dias (2012), as ondas também podem ser classificadas quanto a sua propagação:

- **Onda transversal:** em uma onda transversal, a direção de propagação formará um ângulo de 90° em relação à direção do pulso gerador. As ondas em uma corda de violão são exemplos simples para entendermos. O violonista dedilha a corda de cima para baixo, provocando um pulso que se propaga no sentido da corda. Outro exemplo é a onda eletromagnética, que é composta por um campo magnético e elétrico, formando um ângulo de 90° entre eles, como a luz, o raio X e outras radiações eletromagnéticas.
- **Onda longitudinal:** na onda longitudinal, a direção de propagação coincide com a direção ao longo do qual o pulso está sendo gerado. Por exemplo, a onda de compressão em uma mola ou a onda sonora que se propaga através da compressão e rarefação do ar.

Visualize os tipos de onda na Figura 1.



Elementos da onda

A onda é composta pelos seguintes elementos.

- **Crista:** corresponde à parte mais elevada da onda.
- **Vale:** refere-se ao ponto mais baixo da onda (também chamado de ventre).
- **Comprimento de onda (λ):** é a distância de uma crista até a outra, ou a distância entre um vale e outro, ou mesmo entre quaisquer partes iguais e sucessivas da onda. No caso da onda sonora propagada no ar, o comprimento de onda é a menor distância entre duas regiões de compressão ou rarefação subsequentes.
- **Amplitude (A):** é a distância do ponto intermediário até uma crista ou um vale, ou seja, a amplitude é igual ao ponto máximo de afastamento em relação ao equilíbrio. A amplitude está diretamente relacionada à quantidade de energia aplicada e que será transportada.
- **Período (T):** o período de uma onda é o tempo necessário para completar um ciclo completo. Podemos calcular o período a partir da frequência; por exemplo, se uma onda executa duas oscilações completas em um segundo, temos uma frequência de 2 Hz e um período total de meio segundo. Assim, frequência e período são direta e inversamente proporcionais.

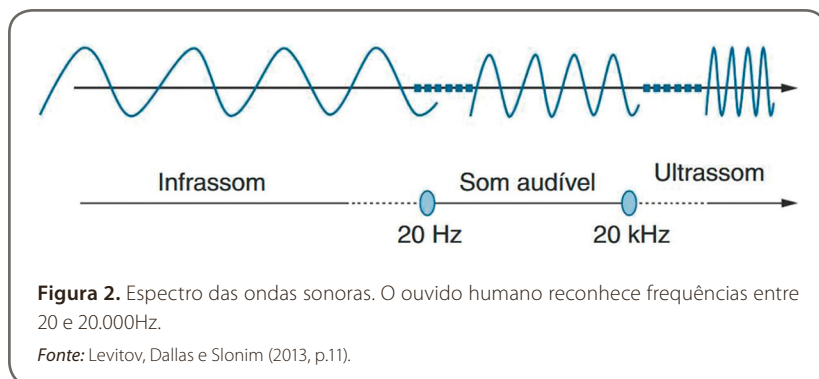
- **Frequência (f):** é a taxa de repetição de determinado movimento ou ciclo em determinado tempo, cuja unidade de medida é o Hertz (Hz), que representa o número de ciclos por segundo. No caso das ondas, a frequência é a repetição do movimento ondulatório em relação ao tempo.
- **Velocidade (v):** refere-se à distância percorrida pela oscilação em uma unidade de tempo. A velocidade da onda sonora dependerá do meio em que ela se propaga (quanto mais denso o meio, maior a velocidade de propagação); já a velocidade da onda eletromagnética é constante no vácuo.

Onda sonora

O som é uma variação de pressão que se propaga através de algum meio. No ar, por exemplo, a variação de pressão causa o movimento anormal das moléculas do ar na direção de propagação (BAUER; WESTFALL; DIAS, 2012). Em outras palavras, onda sonora é produzida por um pulso que provoca a compressão das moléculas de ar próximas do elemento gerador do pulso — na Figura 1, por exemplo, o gerador do pulso é um alto falante. Quando ficamos próximos a um autofalante e sentimos as batidas do som, principalmente nas notas mais graves, sentimos o deslocamento das moléculas de ar.

Quanto a sua natureza, a onda sonora é considerada uma onda **mecânica** e, como sua propagação se dá na direção do pulso, ela é então classificada como **longitudinal**.

A frequência do som audível pelo ser humano está na faixa de 15 Hz a 20 kHz. Abaixo desse intervalo teremos os chamados infrassons, enquanto, acima de 20 kHz, teremos os ultrassons, como você pode ver na Figura 2.



**Fique atento**

Por ser uma onda mecânica, o som necessita de um meio para sua propagação, portanto ele não se propaga no vácuo, pois nele não existe matéria para sofrer compressão e rarefação.

Onda eletromagnética

A onda eletromagnética é composta por um campo elétrico e um campo magnético oscilantes a certa frequência, perpendiculares entre si (formando ângulo de 90°). Por esse motivo é classificada como onda transversal. Dentro do espectro das ondas eletromagnéticas temos como principal exemplo a luz visível.

Diferentemente das ondas sonoras, as ondas eletromagnéticas se propagam no vácuo a uma velocidade constante de 3×10^8 m/s para todo o espectro, isto é, todas as ondas eletromagnéticas, seja ela onda de rádio, luz visível ou raio X, possuem a mesma velocidade no vácuo.

Considerando a velocidade constante, as características que mudam o comportamento de determinada onda eletromagnética são a frequência e o comprimento de onda. Dessa forma, quanto maior a frequência maior a energia transportada pela onda e menor o seu comprimento de onda; portanto, a frequência de uma onda eletromagnética é inversamente proporcional ao comprimento de onda.

$$v = \lambda \cdot f$$

A transferência da energia através da onda eletromagnética é resultado de uma alta frequência. Dessa forma, as ondas de rádio têm menor frequência e maior comprimento de onda, transferindo baixa energia e apresentando um poder de penetração muito pequeno. O raio X, por sua vez, tem alta frequência e, conseqüentemente, um comprimento de onda muito pequeno, o que lhe confere uma alta capacidade de penetração.

Campos elétrico e magnético

Campo elétrico

Toda carga elétrica tem um espaço energizado a seu redor, uma espécie de “aura energética”, chamado de campo elétrico. O campo elétrico é um campo vetorial, ou seja, ele é formado a partir da distribuição de vetores, um para cada ponto na região ao redor do objeto carregado eletrostaticamente, seja esse objeto uma carga pontual, seja uma barra carregada. No sistema internacional (SI), a unidade de medida de campo elétrico é o N/C (Newton por Coulomb) (HEWITT, 2009).

Como exemplo de campo elétrico em nosso cotidiano podemos citar o campo de atração formado no pente plástico após ele ser friccionado sobre o cabelo. O atrito entre o cabelo e o plástico provoca uma carga eletrostática no pente que, quando posicionado próximo a pequenos pedaços de papel, acaba os atraindo devido a suas diferenças de cargas.

Campo magnético

Podemos definir o campo magnético como a região do espaço onde atua um ímã, que pode ser na forma de barra ou ferradura, que tem dois polos — um polo norte e um polo sul. No SI, a unidade de medida do campo magnético é o Tesla (T), porém ele também pode ser expressado em Gauss (G).



Saiba mais

Em uma região chamada de Magnésia, localizada na Grécia Central, os gregos antigos encontraram diversos tipos de minerais naturais, capazes de atrair e repelir uns aos outros e de atrair certos tipos de metais, como o ferro. Esses minerais existem naturalmente em diversas formas de óxido de ferro e são denominados **ímãs permanentes** (BAUER; WESTFALL; DIAS, 2012).

Aplicação das ondas

Ondas sonoras

Uma das principais técnicas de imagem utilizada na medicina, atualmente, faz o uso de ondas sonoras de alta frequência, gerando imagens seccionais das estruturas do corpo humano. Trata-se da **ultrassonografia** ou **ecografia**. Por ser uma técnica de baixo custo e que não provoca efeitos prejudiciais ao tecido humano, a ultrassonografia é amplamente aplicada para diagnóstico em ginecologia, obstetrícia, gastroenterologia, ortopedia e traumatologia, etc.



Fique atento

Como já vimos, a frequência do som audível pelo ser humano está na faixa de 15 Hz a 20 kHz — abaixo desse intervalo ficam os **infrassons** e, acima, os **ultrassons**. Sendo assim, os exames de ultrassonografia utilizam sons não audíveis ao ser humano, que estão em faixas superiores a 20 kHz.



Saiba mais

Na natureza, encontramos casos de uso do ultrassom por animais, que utilizam o ultrassom para localização, direção e caça. Os golfinhos e os morcegos, por exemplo, têm um mecanismo de localização que utilizam ecos de ultrassons emitidos por eles mesmos, algo similar aos sonares de navios e submarinos.

Para a realização da ultrassonografia é utilizado um equipamento capaz de transformar a energia elétrica em um pulso de ultrassom e vice-versa: o **transdutor**. Esse equipamento é capaz de converter uma forma de energia em outra. É composto por materiais piezoelétricos, capazes de transformar o pulso elétrico em pulso ultrassônico; as ondas refletidas de volta são transformadas em sinal elétrico e reconstruídas em imagens projetadas no monitor.

A relação entre o comprimento de onda e a frequência é uma configuração importante para a execução de um exame de ultrassonografia. Essa relação se dá da seguinte maneira: quanto maior a frequência do transdutor, menor o comprimento de onda sonora e melhor a resolução espacial. Na prática, os transdutores de menor frequência são utilizados para exames de tecidos profundos, como de abdômen e pelve, e os de frequência elevada são utilizados para exames de tecidos superficiais, como mama, tireoide, musculatura, etc.

A ultrassonografia não utiliza radiação ionizante e é um método não invasivo, sendo um dos principais exames no diagnóstico por imagem. A capacidade de adquirir imagens em diversos planos de corte e de examinar também a movimentação e fisiologia do corpo aumentam as possibilidades de aplicação desse método, porém a qualidade do exame ultrassonográfico está muito relacionada à experiência e ao conhecimento do operador.

Ressonância magnética

Desenvolvida no final dos anos 1970, a ressonância nuclear magnética (RNM), ou apenas ressonância magnética, é um método que utiliza um grande magneto (com potências de campo magnético de até 3,0T) e pulsos de radiofrequência (RF) para a realização de diagnóstico por imagem.

A RNM funciona da seguinte maneira: quando determinados elementos são inseridos em um forte campo magnético e submetidos a pulsos de ondas de rádio com frequências específicas para transferir energia para esses elementos, os prótons desses elementos passam a emitir um sinal de rádio. Esse sinal de rádio é captado pelo equipamento de RNM e processado; a imagem é reconstruída e apresentada no monitor com diferentes tons de cinza para diferentes intensidade de sinal.

As imagens são adquiridas em diversos planos de corte. Diferentemente das imagens obtidas com raios X, as imagens obtidas pela RNM se baseiam, principalmente, nos tempos de relaxamento T1 e T2 dos tecidos, evidenciando, com excelente resolução, a composição dos tecidos, principalmente a presença de água e gordura. Veja um exemplo de equipamento de RNM e de imagens geradas por RNM na Figura 3.



Figura 3. Equipamento de RNM e imagens ponderadas em T2 do encéfalo.

Fonte: (a) Mohammad Shariati/Shutterstock.com; (b) MriMan/Shutterstock.com.

Os núcleos de hidrogênio presentes em nosso corpo são utilizados para a aquisição de imagens de RNM na aplicação clínica, devido a três fatores principais:

- a simplicidade da composição do seu núcleo ($1p + 1n$), que lhe confere o maior momento magnético;
- sua abundância no corpo humano (principalmente se considerarmos que nosso corpo é composto por cerca de 70% de água);
- a associação de patologias com a presença de diferentes imagens do hidrogênio no tecido patológico e no tecido normal.

Os núcleos de H possuem uma frequência de precessão quando submetidos a um campo magnético de 1,5 T de 63,87 MHz — frequência utilizada nos pulsos de RF para que ocorra o fenômeno da ressonância.

Conforme descrevem Chen, Pope e Ott (2012), ao colocar o paciente em um equipamento de RNM, os núcleos de hidrogênio orientados randomicamente se alinham com o campo magnético estático. A fim de detectar um sinal, um pulso de RF perturbador é transitoriamente aplicado ao paciente, resultando em uma alteração do alinhamento desses núcleos. Logo após o pulso ser cessado, o próton de hidrogênio retorna ao seu estado de alinhamento com o campo magnético, emitindo sinal de rádio.



Saiba mais

Os aparelhos de ressonância magnética têm, em sua grande maioria, 1,5 até 3,0 T de campo magnético. Esse é um campo magnético bastante forte — para você ter uma ideia, esses valores correspondem, respectivamente, a 15.000 e 30.000 vezes a força do campo gravitacional da Terra.

Interação das ondas com os tecidos

Ondas sonoras

Como vimos anteriormente, ondas sonoras são ondas mecânicas longitudinais que podem se propagar em meios sólidos, líquidos e gasosos. Qualquer som é resultado da propagação de ações mecânicas através de um meio material, carregando energia na matéria; não há fluxo de partículas no meio, mas oscilações das partículas em torno de um ponto de repouso.

Na interação da onda sonora com o ouvido humano, o pulso de compressão e descompressão do ar chega até o tímpano, provocando um deslocamento dessa membrana. Esse deslocamento é transmitido pelos ossículos do ouvido até o forame oval, onde o estribo está conectado à cóclea. O movimento do estribo junto à janela oval provoca um movimento na linfa presente dentro da cóclea, fazendo movimentar os microscópicos cílios sensitivos presentes nos canais da cóclea. Esses cílios então transformam esse movimento em impulso nervoso através do nervo auditivo, indo até a área responsável pela audição.

As propriedades da onda sonora estão relacionadas, principalmente, a sua fonte e ao meio de propagação. Quanto ao meio em que a onda se propaga, a onda se comportará de maneira diferente dependendo da pressão, da densidade, da temperatura e da mobilidade da parte. Havendo a interação com um meio heterogêneo, algumas situações devem ocorrer nas interfaces do material, são elas: refração, reflexão, atenuação, difração e interferência, e espelhamento.

Uma das características importantes do meio é a impedância acústica. A impedância acústica está relacionada com a resistência ou a dificuldade apresentada pelo meio à passagem do som. Ela corresponde ao produto da densidade do material pela velocidade que o som se propaga no seu interior. Quanto maior a diferença de impedância acústica nas interfaces dos tecidos, maior será a intensidade de reflexão da onda sonora no corpo humano.

Interfaces são os limites entre os meios de diferentes impedâncias — por exemplo o limite entre a gordura e a musculatura. Acompanhe no Quadro 1 as diferentes velocidades de propagação do som de acordo com os diferentes meios biológicos.

Quadro 1. Velocidades de propagação do som nos diferentes meios biológicos

Meio biológico	Velocidade de propagação do som (m/s)
Pulmões	300 a 1.000
Gordura	1.400
Tecido mole	1.540
Osso	2.000 a 4.000

Fonte: Adaptado de Levitov, Dallas e Slonim (2013).

Devido às baixas frequências e ao tipo de onda, o som não provoca efeitos nocivos no corpo humano.

Pulsos de radiofrequência da ressonância magnética

Os pulsos de RF utilizados na RNM transmitem energia ao corpo do paciente, que é transformada em calor no tecido devido às perdas resistivas durante a interação com as células teciduais. Portanto, o efeito biológico mais associado à RF estão associados aos aspectos termogênicos do campo eletromagnético. A dose de RF absorvida pelo corpo é medida pela **taxa de absorção específica** (SAR, do inglês, *specific absorption rate*), uma grandeza que mede a quantidade de energia de RF depositada por unidade de massa do corpo do paciente. Sua unidade é W/kg.

Os equipamentos de RNM possuem dispositivos que controlam a exposição do paciente à RF a partir do peso de cada indivíduo e dos limites de SAR estabelecidos pelas normas internacionais. Eles atuam bloqueando parâmetros de aquisição que excedam os limiares de conforto do paciente.

A seguir seguem alguns cuidados que devem ser tomados durante o exame de RNM.

- Orientar o paciente para trocar sua roupa pelo avental com tecido natural (algodão).
- Informar ao equipamento o valor correto da massa corporal (kg) e da idade do paciente.
- Não cobrir muito o paciente.
- Não fazer uso de materiais plásticos para envolver o paciente.
- Não iniciar o exame em pacientes molhados, suados ou com fralda urinada.
- Não posicionar o paciente com os pés ou mãos cruzadas, nem em contato direto pele com pele, evitando efeito de antena, que pode causar queimaduras e choques nos locais de contato.
- Manter contato permanente com o paciente durante o exame.



Referências

BAUER, W.; WESTFALL, G. D.; DIAS, H. *Física para universitários*. Porto Alegre: AMGH, 2012. v. 4.

CHEN, M. Y. M.; POPE, T. L.; OTT, D. J. *Radiologia básica*. Porto Alegre: AMGH, 2012. (Série Lange).

HEWITT, P. G. *Fundamentos de física conceitual*. Porto Alegre: Bookman, 2009.

LEVITOV, A. B.; DALLAS, A. P.; SLONIM, A. D. *Ultrassonografia à beira do leito na medicina clínica*. Porto Alegre: AMGH, 2013.

Encerra aqui o trecho do livro disponibilizado para esta Unidade de Aprendizagem. Na Biblioteca Virtual da Instituição, você encontra a obra na íntegra.

Conteúdo:



SOLUÇÕES
EDUCACIONAIS
INTEGRADAS