


MEDIÇÃO DA INTENSIDADE SONORA UTILIZANDO SMARTPHONE*Measurement of sound intensity using a smartphone**Medición de la intensidad del sonido con un teléfono inteligente***Vitor Nunes da Silva**

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio de Janeiro [IFRJ], Volta Redonda, RJ, Brasil

 <https://orcid.org/0000-0001-7674-3554>**Marcio Gonçalves Nunes**

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio de Janeiro [IFRJ], Volta Redonda, RJ, Brasil

 <https://orcid.org/0000-0003-0383-1785>**Marco André de Almeida Pacheco**

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio de Janeiro [IFRJ], Volta Redonda, RJ, Brasil

 <https://orcid.org/0000-0003-2456-4188>E-mail de correspondência: marco.pacheco@ifrj.edu.br

Recebido em: 19/12/2022 • Aceito em: 27/03/2023 • Publicado em: 22/06/2023

DOI: 10.12957/impacto.2023.72043

Resumo

Os smartphones já fazem parte do contexto escolar de número considerável de escolas e, com a popularização da tecnologia, a disseminação deste tipo de dispositivo tende a ser crescente, mesmo nas camadas de menor poder aquisitivo. Os smartphones possuem diversos sensores, tais como microfone, câmera, giroscópio, bússola, entre outros. Com aplicativos específicos é possível ter acesso direto a esses sensores. A acústica é um tema pouco abordado nos livros didáticos de física, mesmo possuindo grande relevância no cotidiano, seja na música, na medicina ou mesmo na exposição à poluição sonora. Neste trabalho apresentamos a possibilidade de utilizar o microfone do smartphone, associado a um aplicativo gratuito capaz de medir o nível de intensidade sonora, para mostrar que a intensidade sonora reduz proporcionalmente com o inverso do quadrado da distância. Durante a pesquisa realizamos o experimento e observamos um decaimento da intensidade num fator de $1/d^{2,2}$, o que nos parece razoável para as aproximações e condições de realização do experimento. O erro sistemático será calculado em momento posterior.

Palavras-chave: Ondas sonoras. Acústica. Smartphone. Ensino de Física. Experimento Didático.



Abstract

Smartphones are already part of the school context of a reasonable amount of schools and, with the popularization of technology, the dissemination of this type of device tends to be growing, even in the poorest strata. Smartphones have several sensors, such as microphone, camera, gyroscope, compass, among others. With specific applications it is possible to have direct access to these sensors. Acoustics is a topic poorly discussed in physics textbooks, even though it has great relevance in the daily lives of individuals, whether in music, medicine or even exposure to noise pollution. In this work, we present the possibility of using the smartphone microphone, associated with a free application capable of measuring the sound intensity level, to show that the sound intensity is proportionally reduced with the inverse of the square of the distance. We obtained a factor of $1/d^{2.2}$, which seems reasonable for the approximations and conditions for carrying out the experiment. Systematic error will be calculated at a later time.

Keywords: Sound waves. Acoustics. Smartphone. Physics Teaching, Didactic Experiment.

Resumem

Los teléfonos inteligentes ya forman parte del contexto escolar de un número considerable de escuelas y, con la popularización de la tecnología, la difusión de este tipo de dispositivos tiende a ser cada vez mayor, incluso en los estratos de menores ingresos. Los teléfonos inteligentes tienen varios sensores, como micrófono, cámara, giroscopio, brújula, entre otros. Con apps específicos es posible tener acceso directo a estos sensores. La acústica es un tema poco abordado en los libros didácticos de física, aunque tiene gran relevancia en la vida cotidiana, ya sea en la música, la medicina o incluso la exposición a la contaminación acústica. En este trabajo, presentamos la posibilidad de utilizar el micrófono del teléfono inteligente, asociado a una aplicación gratuita capaz de medir el nivel de intensidad del sonido, para demostrar que la intensidad del sonido disminuye proporcionalmente con el inverso del cuadrado de la distancia. Durante la investigación, realizamos el experimento y observamos una disminución de la intensidad en un factor de $1/d^{2.2}$, lo que nos parece razonable por las aproximaciones y condiciones para realizar el experimento. El error sistemático se calculará más adelante.

Palabras-clave: Ondas sonoras. Acústica. Teléfono inteligente. Enseñanza de la Física. Experimento Didáctico.



INTRODUÇÃO

Ricardo e Freire (2007) em seu estudo sobre as concepções dos alunos a respeito da física no ensino médio, afirmam que a relação entre a física e a matemática não é clara. Os autores relatam que é muito comum encontrar professores que atribuem as dificuldades dos alunos em aprender física à deficiência na matemática.

A BNCC (BRASIL, 2018) e Menezes (2000) também destacam esse problema ao ressaltarem que a formalização matemática carece de uma compreensão fenomenológica e qualitativa.

A maneira como a física é trabalhada pode torná-la pouco interessante e estimulante para os alunos. Ao mesmo tempo, é vista por muitos como sendo algo que está além da sua capacidade. Somado a isso, segundo Antônio (2010), encontramos diversas escolas que não possuem laboratórios e, quando os tem, são ineficientes, pois carecem de recursos e funcionalidades necessárias para a utilização de seus equipamentos.

Com as tecnologias e recursos presentes nos smartphones, se inovando a cada dia, nos modelos lançados no mercado, e com o avanço da internet móvel, que permite o acesso às redes sociais e aplicativos atrativos, os tais aparelhos disputam cada vez mais a atenção dos alunos em sala de aula, tornando-se uma das modalidades da tecnologia da informação e comunicação (TIC) que mais os alunos acessam. E esse fato deveria ser aproveitado pelo professor para o processo de ensino.

Segundo Santos (2015), muitos professores se queixam que os alunos se distraem facilmente com os celulares. Antônio (2010), no entanto, diz que a causa da distração em sala de aula é o desinteresse pela aula e não a presença do smartphone.

Para Melo da Silva e Carvalho (2014), os smartphones viabilizam o espaço de convergência da internet com as telecomunicações, criando ampla rede de comunicação e de oportunidades de aprendizagem que podem ocorrer tanto na escola como fora dela. O Brasil tem 424 milhões de dispositivos digitais em uso (FGV, 2021), indicando a sua crescente popularização.

Uma justificativa importante para o uso dos celulares em sala de aula é a seguinte:

[...] À propósito, sempre foi muito comum a falta de recursos tecnológicos nas escolas, principalmente nas escolas públicas. Com o telefone celular passamos a ter muitos desses recursos disponíveis não apenas pela escola, mas também pelos alunos! Isso deveria ser comemorado, mesmo que não concordemos que os alunos prefiram ganhar celulares dos seus pais do que enciclopédias, pois com os celulares eles também



ganham diversas possibilidades de aprendizagem que antes não tinham porque a própria escola não dispunha desses recursos (ANTÔNIO, 2010).

Apesar de encontrarmos diversos pesquisadores que se colocam a favor do uso do smartphone como recurso pedagógico, vale a pena ressaltar a lei nº 5222, de 11 de abril de 2008, que dispõe sobre a proibição do uso de telefone celular, por alunos e professores na rede pública estadual de ensino, a lei em questão passou por revisões em 2009 inserindo a ressalva que permite a utilização para fins pedagógicos destes equipamentos desde que haja autorização do estabelecimento de ensino (ALERJ, 2009).

Os smartphones se transformaram em centrais multimídias computadorizadas e, além de permitirem recursos de fotos, vídeos e mensagens, eles possuem vários sensores que podem ser aproveitados no ensino, tais como sensor de som (microfone), de luz (câmera), GPS, giroscópio, acelerômetro, altímetro, magnetômetro, entre outros que variam conforme modelo e fabricante. Existem aplicativos que acessam as informações desses sensores, permitindo assim a realização de diversos experimentos.

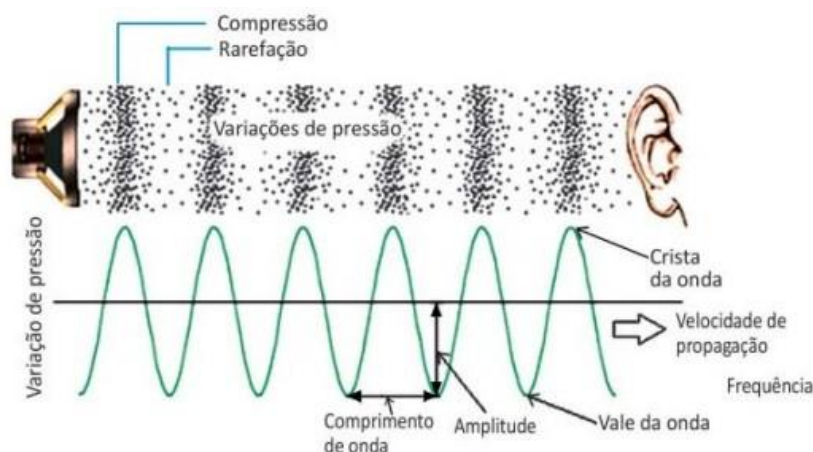
Neste trabalho exploramos a intensidade das ondas sonoras, fenômeno presente no nosso cotidiano através da música, da poluição sonora, na medicina etc. E que embora nos beneficie muito, segundo Ganime et al. (2010), o uso indevido do som pode gerar sérios problemas à saúde, tais como a perda auditiva, dores de cabeça, náuseas e até mesmo, em casos extremos, pode levar à surdez.

O ESTUDO DO SOM

No ensino de física, as ondas sonoras são estudadas no contexto mais geral da Acústica. A produção do som está associada à transferência de energia por um elemento excitador. Tomemos como exemplo os impulsos elétricos que fazem vibrar a membrana do alto-falante, e estes movimentos deslocam as moléculas de ar vizinhas, causando diferenças de pressão no ar. Esta perturbação é propagada, criando ao longo da direção de propagação regiões de compressão e rarefação do ar, tal como indicado na figura 1.

**Figura 1**

Esquema de um alto-falante emitindo onda sonora até uma orelha, mostrando as regiões de compressão e rarefação da onda durante seu percurso.



Fonte: Neta (2022)¹

Fisiologia da audição

A orelha é dividida em três regiões principais (Figura 2):

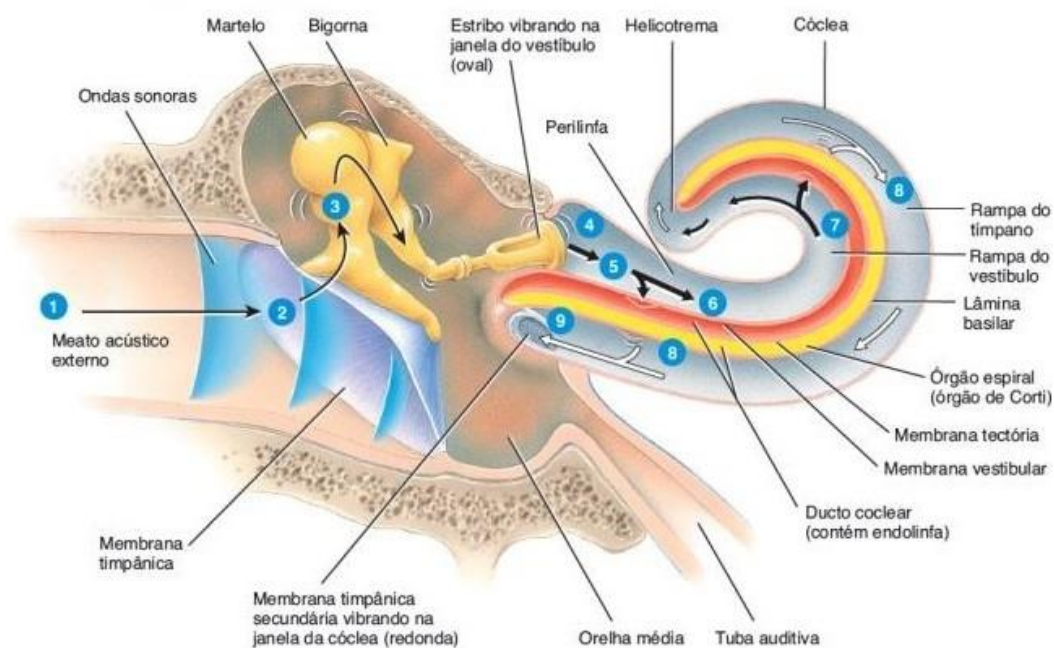
- 1 – A orelha externa, que coleta as ondas sonoras e as direciona para dentro, é formada pela orelha (pavilhão auricular), pelo meato acústico externo e pela membrana timpânica.
- 2 – A orelha média, dentre os diversos elementos que formam a orelha média, temos como destaque os três menores ossos do corpo, os ossículos da audição. Tais são nomeados em função de seus formatos que são, o martelo, a bigorna e o estribo. O “cabo” do martelo se liga à face interna da membrana timpânica. A “cabeça” do martelo é articulada ao corpo da bigorna. A bigorna, o osso do meio na série, se articula com a cabeça do estribo.
- 3 – A orelha interna, que armazena os receptores para a audição e para o equilíbrio. Também é chamada de labirinto por causa de sua série complicada de canais. Estruturalmente ela é formada por duas divisões principais: um labirinto ósseo externo que encapsula um labirinto membranáceo interno. É como se fossem balões longos colocados dentro de um tubo rígido. O labirinto ósseo é

¹ Disponível em <http://www.fq.pt/som/propagacao-do-som/>. Acessado em 19 de dez. de 2022



formado por uma série de cavidades na parte petrosa do temporal divididas em três áreas: os canais semicirculares, o vestíbulo e a cóclea.

Figura 2
A recepção auditiva na orelha direita².



Fonte: Tortora e Derrickson (2016, p.795)

No processo da audição, inicialmente, o pavilhão direciona as ondas sonoras para o meato acústico externo. Quando as ondas sonoras alcançam a membrana timpânica, as ondas alternadas de pressão alta e baixa no ar fazem com que a membrana timpânica vibre para frente e para trás. A membrana timpânica vibra lentamente em resposta a sons de baixa frequência (tons baixos) e rapidamente em resposta a sons de alta frequência (tons altos). A área central da membrana timpânica se conecta ao martelo, que vibra junto desta. Essa vibração é transmitida do martelo para a bigorna e, então, para o estribo. Conforme o estribo se move para frente e para trás, sua placa basal em formato oval, conectada através de um ligamento à circunferência da janela do vestíbulo, faz vibrar essa

² Eventos na estimulação dos receptores auditivos na orelha direita. A cóclea foi desenrolada para que seja possível visualizar mais facilmente a transmissão das ondas sonoras e a sua distorção nas membranas vestibular e basilar do ducto coclear. As células ciliadas do órgão espiral (órgão de Corti) convertem uma vibração mecânica (estímulo) em um sinal elétrico (potencial receptor).



janela. O movimento do estribo na janela do vestíbulo provoca ondas de pressão no líquido da perilinfa da cóclea. Conforme a janela do vestíbulo é empurrada para dentro, ela empurra a perilinfa na rampa do vestíbulo (TORTORA; DERRICKSON, 2016).

Na continuação, as ondas de pressão na endolinfa fazem com que as membranas basilares vibrem, assim as células ciliadas do órgão espiral se movem contra a membrana tectória. Isso promove o dobramento dos estereocílios e leva, em última análise, à geração de impulsos nervosos nos neurônios de primeira ordem nas fibras nervosas cocleares. As ondas sonoras de várias frequências fazem com que determinadas regiões da lâmina basilar vibrem mais intensamente do que outras (TORTORA; DERRICKSON, 2016).

ONDAS SONORAS

Nesta seção, abordaremos a relação entre densidade e pressão, deslocamento e densidade, bem como pressão e deslocamento, relacionado as ondas sonoras. O estudo das ondas sonoras é de extrema importância devido à sua ampla gama de aplicações práticas. Compreender como se propagam, interagem com o meio e são percebidas pelo nosso sistema auditivo nos ajuda a projetar melhores sistemas de comunicação, melhorar a qualidade do som em espaços fechados, desenvolver técnicas de diagnóstico médico mais precisas e até mesmo explorar o fundo dos oceanos. O estudo das ondas sonoras também nos permite compreender fenômenos complexos, como a ressonância, a interferência e a difração, que têm implicações em várias áreas científicas e tecnológicas. Concluiremos esta discussão com a apresentação da equação das ondas sonoras.

Relação densidade – pressão

Vamos considerar um fluido com densidade ρ dada por:

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (1)$$

sendo V o volume ocupado pela massa m . A variação da densidade $\Delta\rho$ pode ser obtida por:

$$\Delta\rho = \Delta\left(\frac{m}{V}\right) = -m\frac{\Delta V}{V^2} \quad (2)$$

A equação (2) também pode ser escrita da seguinte maneira:

$$\Delta\rho = -\frac{m}{V} \frac{\Delta V}{V} = -\rho \frac{\Delta V}{V} \quad (3)$$

Se a massa de fluido sofre uma variação de pressão $\Delta P > 0$, o volume sofre uma diminuição $\Delta V < 0$. A magnitude da variação percentual de volume e a correspondente variação de pressão é o



chamado módulo de compressibilidade do fluido, que é representado por K (ÇENGEL e CIMBALA, 2015), e é definido por:

$$K = - \left(\frac{\Delta V/V}{\Delta P} \right) \quad (4)$$

O módulo de B , também conhecido como módulo de elasticidade volumétrico, é dado pelo inverso de K (ÇENGEL e CIMBALA, 2015). Portanto, podemos escrevê-lo da seguinte maneira:

$$B = \frac{1}{K} = - \frac{\Delta P}{\Delta V/V} \quad (5)$$

Considerando a equação (3), podemos escrever a equação (5) da seguinte maneira:

$$B = \rho \frac{\Delta P}{\Delta \rho} \quad (6)$$

As variações de pressão ΔP e de densidade $\Delta \rho$ são extremamente pequenas se comparadas aos seus valores de equilíbrio. Sejam, por exemplo, P_0 e ρ_0 , respectivamente, a pressão e a densidade num meio em equilíbrio (sem a presença da onda) e P e ρ essas mesmas grandezas quando a onda passa pelo meio. Então

$$p = P - P_0 \quad e \quad \delta = \rho - \rho_0 \quad (7)$$

com $|p| \ll P_0$ e $|\delta| \ll \rho_0$.

No caso de uma onda no ar, por exemplo, a variação de pressão que começa a causar dor no tímpano humano é menor do que um milésimo da pressão atmosférica (NUSSENZVEIG, 2013). Portanto, é razoável escrever esta variação como uma derivada parcial dada pela equação abaixo:

$$\frac{P-P_0}{\rho-\rho_0} = \frac{\Delta P}{\Delta \rho} = \frac{p}{\delta} = \left(\frac{\partial P}{\partial \rho} \right)_0 \quad (8)$$

O subíndice 0 indica que a derivada é calculada em torno dos valores de equilíbrio.

Relação deslocamento – densidade

Para a dedução da equação de onda sonora, consideremos um tubo cilíndrico de seção transversal A por onde se propaga uma onda unidimensional na direção do eixo x . Podemos escrever o volume original entre x e $x + \Delta x$, indicado figura 3, da seguinte forma:

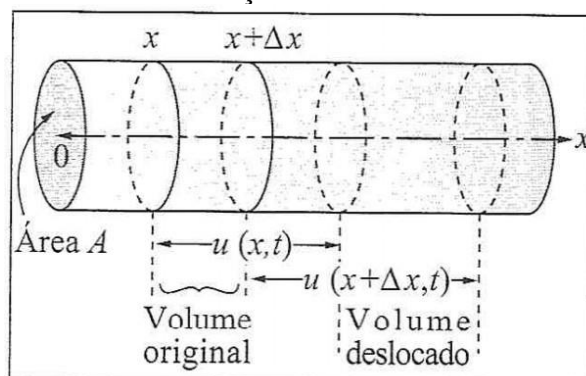
$$V = A[(x + \Delta x) - x] = A\Delta x \quad (9)$$



Sendo a função deslocamento das partículas do fluido ao longo da direção x dada por $u(x, t)$, então:

$$V + \Delta V = A\Delta x \left\{ 1 + \left[\frac{u(x+\Delta x, t) - u(x, t)}{\Delta x} \right] \right\} \quad (10)$$

Figura 3
Variação do volume.



Fonte: Nussenzveig (2013, p. 125)

Ou seja:

$$V + \Delta V = A\Delta x \left(1 + \frac{\partial u(x, t)}{\partial x} \right) \quad (11)$$

Que nos leva a seguinte equação:

$$\Delta V = A\Delta x \frac{\partial u(x, t)}{\partial x} \quad (12)$$

Se dividirmos membro a membro a equação (12) pela equação (9) obtemos:

$$\frac{\Delta V}{V} = \frac{\partial u(x, t)}{\partial x} \quad (13)$$

Levando em conta as equações (3) e (8), temos que a variação de densidade correspondente é dada por

$$\frac{\Delta \rho}{\rho} = -\frac{\Delta V}{V} = -\frac{\partial u(x, t)}{\partial x} \quad (14)$$

Considerando que $\Delta \rho$ é muito menor que ρ_0 , ou seja, $\rho \approx \rho_0$, podemos reescrever a equação (14) da seguinte maneira,

$$\partial \rho = \rho - \rho_0 = -\rho_0 \frac{\partial u(x, t)}{\partial x} \quad (15)$$

Esta equação nos será útil na dedução da equação das ondas sonoras.



Relação pressão – deslocamento

Seja o elemento de volume entre x e $x + \Delta x$, representado na figura 3, cuja massa pode ser escrita pela seguinte equação:

$$\Delta m = \rho \Delta V \approx \rho_0 A \Delta x \quad (16)$$

As duas faces do cilindro estão sujeitas às forças que podem ser escritas da seguinte maneira:

Na face esquerda temos

$$\Delta F_1 = P(x, t)A \quad (17)$$

Na face direita do cilindro a força é dada por:

$$\Delta F_2 = -P(x + \Delta x, t)A \quad (18)$$

Logo a força resultante ΔF é determinada pela soma das equações (17) e (18), portanto:

$$\Delta F = -\Delta V \frac{\partial P(x, t)}{\partial x} \quad (19)$$

Pela 2ª Lei de Newton a aceleração do elemento de volume no instante t é dada por $\frac{\partial^2 u(x, t)}{\partial t^2}$, sendo assim, a equação de movimento é:

$$\Delta m \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = \rho_0 A \Delta x \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = \Delta F = -A \Delta x \frac{\partial P}{\partial x} \quad (20)$$

$$\rho_0 \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = -\frac{\partial P}{\partial x} \quad (21)$$

A equação das ondas sonoras

Podemos agora finalizar a equação diferencial que rege a propagação das ondas sonoras. Foi discutido anteriormente que uma variação de densidade produz uma variação de pressão:

$$p = \left(\frac{\partial P}{\partial \rho} \right)_0 \delta = -\rho_0 \left(\frac{\partial P}{\partial \rho} \right)_0 \frac{\partial u(x, t)}{\partial x} \quad (22)$$

Os deslocamentos devido a esta variação de pressão (p) obedecem à seguinte equação de movimento:

$$\rho_0 \frac{\partial^2 u(x, t)}{\partial t^2} = -\frac{\partial P}{\partial x} = \rho_0 \left(\frac{\partial P}{\partial \rho} \right)_0 \frac{\partial^2 u(x, t)}{\partial x^2} \quad (23)$$

O que nos leva à equação de propagação das ondas:

$$\frac{1}{v^2} \frac{\partial^2 u(x, t)}{\partial t^2} - \frac{\partial^2 u(x, t)}{\partial x^2} = 0 \quad (24)$$



Com a velocidade de propagação dada por:

$$v = \sqrt{\left(\frac{\partial P}{\partial \rho}\right)_0} \quad (25)$$

Para uma possível solução da equação (25) temos uma função semelhante à equação de onda para uma corda, que é:

$$u(x, t) = U \cos(kx - \omega t + \phi) \quad (26)$$

A velocidade de propagação das ondas sonoras depende do meio de propagação. Em geral, a velocidade das ondas mecânicas em um determinado meio, pode ser escrito através da seguinte equação:

$$v = \sqrt{\frac{K}{\rho}} \quad (27)$$

onde ρ é a densidade do meio e K é o módulo de compressibilidade.

Esta variação nos valores da velocidade do som nos diversos meios se deve exclusivamente pelo fato de sua propagação depender da elasticidade e da densidade do meio.

QUALIDADES DO SOM

Neste tópico, abordaremos brevemente os conceitos relacionados às qualidades do som, que a altura, a intensidade e o timbre.

O ouvido humano distingue no som certas características, denominadas qualidades. Essas qualidades podem ser classificadas de três maneiras distintas que são a altura, a intensidade e o timbre.

O timbre depende da fonte emissora. Isso acontece porque o som emitido é o resultado da vibração de todas as partes do corpo que a emitiu. Por isso conseguimos diferenciar a nota emitida por um violão e uma guitarra, por exemplo. Esses dois instrumentos musicais possuem timbres diferentes.

A altura é a qualidade que permite ao ouvido diferenciar sons graves de sons agudos. Essa qualidade depende apenas da frequência do som. O som agudo tem uma maior frequência

A intensidade é a qualidade mais importante para este estudo e será discutida mais a seguir.



Intensidade sonora e Nível de Intensidade Sonora

A Intensidade é a qualidade que permite ao ouvido diferenciar os sons fracos dos sons fortes. Ao se propagar, a onda transporta energia e quanto maior a quantidade de energia que a onda transporta até nosso ouvido, maior será a intensidade do som que percebemos. Para calcular a intensidade correspondente à equação (27) notemos que a força exercida sobre uma camada fluída na posição x devido à passagem da onda é:

$$F = p(x, t)A = \varphi A \sin(kx - \omega t + \delta) \quad (28)$$

e a potência instantânea sendo dada por:

$$F \frac{\partial U}{\partial t} = \omega A \varphi U \sin^2(kx - \omega t + \delta) \quad (29)$$

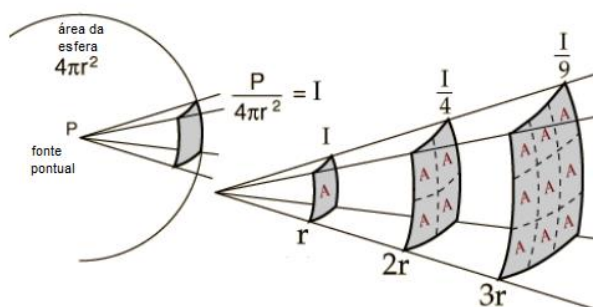
Calculando a potência média e dividindo pela área A , obtemos a intensidade da onda:

$$I = \frac{1}{A} F \frac{\partial U}{\partial t} = \frac{1}{2} \omega \varphi (U)^2 \quad (30)$$

Qualquer fonte de ondas, a uma distância suficientemente grande (muito maior do que as dimensões da fonte), deve se comportar como uma fonte puntiforme. Se a velocidade de propagação da onda é a mesma em todas as direções, como acontece com a velocidade do som no ar, as superfícies de fase constante a grandes distâncias devem ser esferas com centro na fonte (NUSSENZVEIG, 2013).

Figura 4

Relação entre intensidade sonora e a superfície uma esfera. A uma distância $2r$ a mesma energia se distribui numa área 4 vezes maior.



Fonte: Adaptada da página hyperphysics³

³ Disponível em <<http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/Forces/imgfor/isq.gif>>. Acessada em 19 de dez. de 2022



A área total de uma frente de onda de raio r é $4\pi r^2$, ou seja, cresce com o quadrado do raio, logo, a intensidade I (fluxo médio por unidade de tempo e de área) é proporcional a $1/r^2$ (figura 4), de modo que a amplitude reduz na proporção de $1/r$. A função de onda que representa uma onda esférica harmônica progressiva deve ser, portanto, da seguinte forma:

$$\varphi(r, t) = \frac{a}{r} \cos(kr - \omega t + \delta) \quad (31)$$

onde a é uma constante e $r = |r| = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2}$ a distância à fonte. Portanto, no Sistema Internacional, a unidade de intensidade física é W/m^2 (watts por metro quadrado).

Dehaene (2003) diz que a audibilidade humana é regida pela lei da Psicofísica, que mostra que a sensação sonora humana depende logaritmicamente da intensidade sonora (ou da pressão sonora). Pode ser enunciada da seguinte forma: a resposta a qualquer estímulo é proporcional ao logaritmo da intensidade do estímulo. Esta lei aplica-se aos cinco sentidos, mas as suas implicações são melhor entendidas quando se refere aos estímulos provocados pela luz e pelo som.

Portanto, em vez de trabalharmos com o conceito de Intensidade Sonora, na prática, é mais conveniente utilizarmos uma escala logarítmica chamada de Nível de Intensidade Sonora (NIS), nos livros é comum chamar de β . Podemos escrever da seguinte maneira:

$$\beta = 10 \log(I/I_0) \quad (32)$$

A equação anterior mostra que β é adimensional. No entanto, em homenagem ao cientista Graham Bell, é utilizada a escala decibel (dB). Deste modo, os valores do limiar da audição I_0 e do limiar da dor I' são, respectivamente, 0 dB e 120 dB . Isso evidencia mais uma vantagem em se usar a escala logarítmica pois o intervalo entre esses dois valores em decibel é muito menor do que o intervalo em W/m^2 (TORTORA; DERRICKSON, 2016).

MEDIDAS DE NIS COM O SMARTPHONE

Metodologia experimental

Realizamos o experimento utilizando uma caixa de som amplificada do fabricante TRC modelo 397; um *smartphone* *Xiaomi Redmi note 8*, com interface MIUI global 12.0.4 e *Android*



versão 10 QKQ1.200114.0002, em conjunto o aplicativo *Sound Meter* versão 5.7, disponibilizado gratuitamente na loja *Google Play*⁴, e uma trena milimetrada.

A primeira etapa foi o registro do ruído total captado pelo aparelho. Para isso ligamos o aplicativo sem acionar a fonte sonora e foi registrado β máximo de 45 dB, β mínimo de 36 dB, e a média em torno de 40 dB. Estes valores representam o menor nível de intensidade sonora que conseguimos registrar nas condições em que foi realizado o experimento.

O smartphone foi posicionado na direção do centro do alto falante, conforme figura 5, conectando-o com a caixa amplificadora pela interface *bluetooth*. Reproduzimos um som com intensidade e frequência constantes com duração de 1 segundo afim de evitar reverberações. O intervalo de atualização das medidas nas configurações do aplicativo foi ajustado para 0,4s.

Figura 5

Visão geral do aparato experimental.



Fonte: Os autores.

Análise dos dados

Realizando as manipulações matemáticas necessárias, partindo da equação (32) temos que:

$$\beta(r) = -20 \log(r) + b \quad (33)$$

com $b = 10 \log(w/4\pi) - \log(I_0)$.

Os dados obtidos, estão sintetizados no gráfico da figura 6.

⁴ Disponível em <<https://cutt.ly/lnlEXX6>>. Acessado em 19 de dez. de 2022

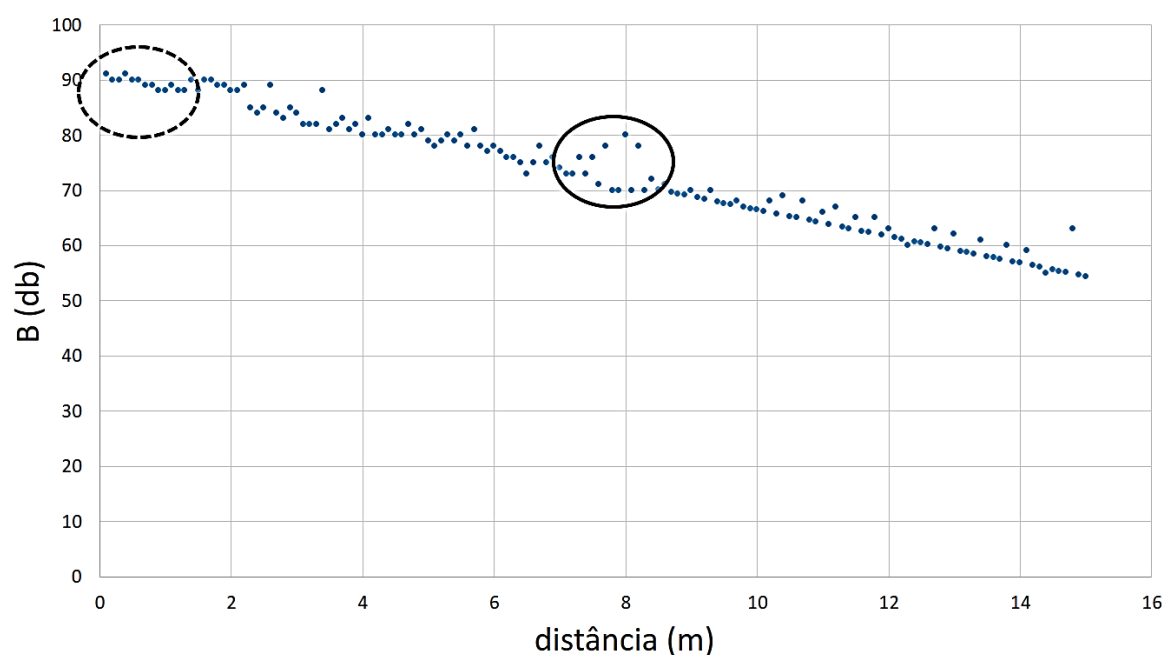


Na região de 0,1 m até 1,3 m a estrutura do amplificador não se comportou como uma fonte puntiforme devido a sua proximidade com o sensor, e as diferenças das dimensões entre o sensor e a fonte. Como já citado anteriormente, a fonte se comporta como fonte puntiforme quando chegamos uma distância suficientemente grande.

Na região de 7,6 m até 15 m observamos flutuações de ruído, ocasionado por alguma perturbação sonora durante a tomada de dados. Como não podemos reduzir este ruído captado, a solução possível foi a de considerar os dados até 7,5 m de distância.

Figura 6

Distribuição de β em função da distância r , destaques para as regiões de 0,1 m a 1,3 m que não se comportou como o esperado para uma fonte puntiforme, devido à proximidade com a fonte sonora e para a região em torno de 7,6 m mostrando a grande flutuação possivelmente ocasionado por ruídos externos no momento da tomada de dados.



Fonte: Os autores.

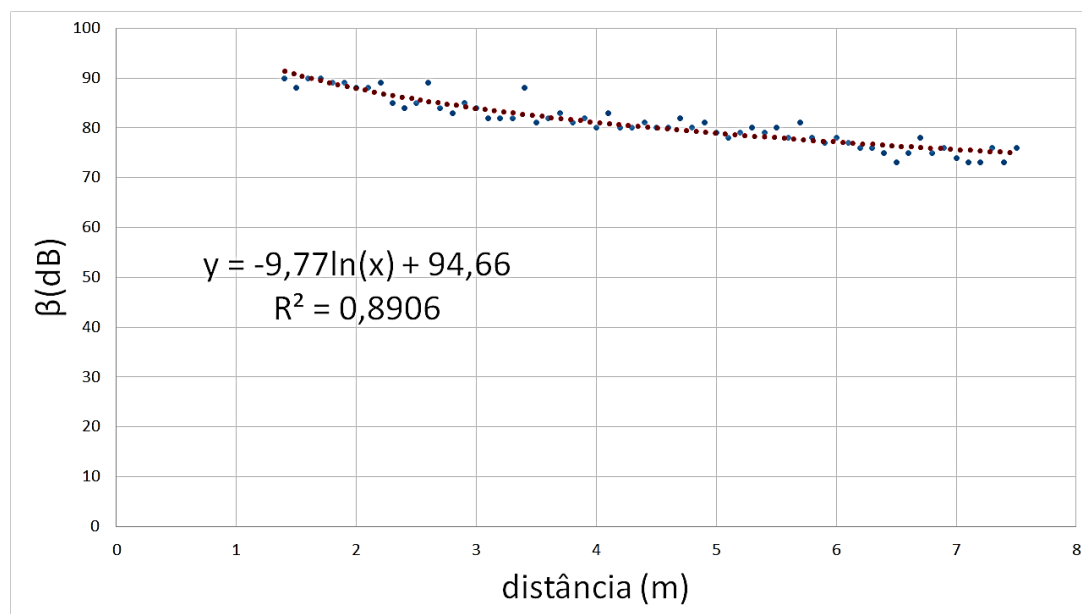
Deste modo, fizemos o ajuste da curva para a região de 1,4 m a 7,5 m, e obtivemos o seguinte resultado:

$$\beta = -9,77 \ln(d) + 94,66 \quad (34)$$



Figura 7

Distribuição de β em função da distância r para a região entre 1,4 m e 7,5 m.



Fonte: Os autores.

ou, reescrevendo o logaritmo em base decimal, obtém-se:

$$\beta = -22,47 \log (d) + 94,66 \quad (35)$$

Temos, por fim, uma relação para a intensidade sonora, com um fator de proporcionalidade de, aproximadamente, $1/r^{2,2}$.

CONCLUSÕES

Medimos o nível de intensidade sonora β de uma fonte sonora utilizando um smartphone e o aplicativo *Sound Meter*, partindo de uma distância inicial de $r = 0,1$ m até 15 m.

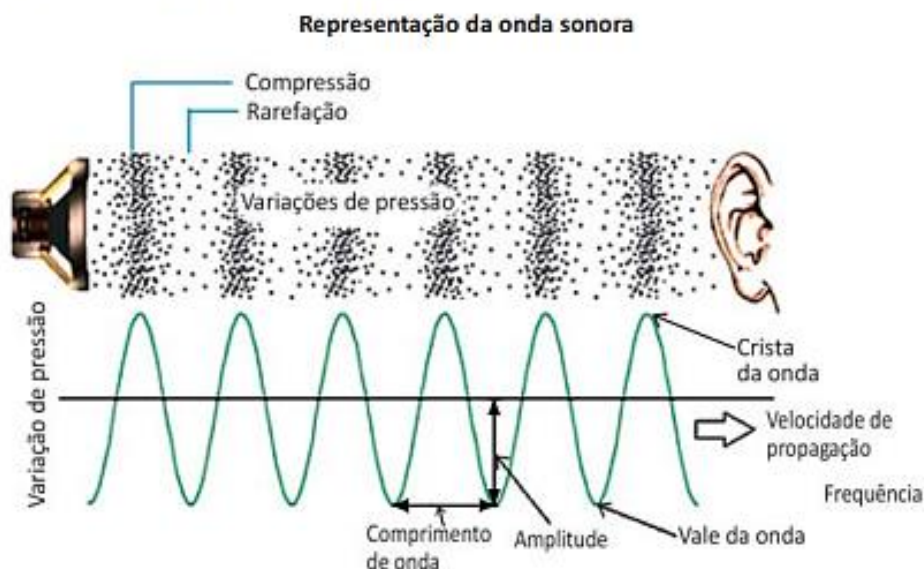
Percebemos que na região próxima a fonte, de 0,1 m a 1,3 m não houve um comportamento puntiforme da fonte sonora, conforme era esperado. Na região de 7,6 m a 15 m, presenciamos um ruído externo que prejudicou o conjunto de dados. Por consequência, utilizamos somente as medidas compreendidas entre 1,4 m a 7,5 m, obtendo o seguinte resultado,

$$\beta = -22,47 \log (d) + 94,66.$$

**Figura 8**

Reprodução parcial de questão do ENADE 2017 para o curso de Licenciatura em Física, evidenciando a relevância atual do assunto.

O som é uma onda caracterizada por várias grandezas físicas, como velocidade de propagação, comprimento de onda, amplitude e frequência. A figura a seguir representa algumas propriedades físicas de uma onda sonora que se propaga no ar.



Disponível em: <<http://www.fq.pt>>. Acesso em: 18 jul. 2017 (adaptado).

Suponha que um professor deva elaborar uma representação sensível do som a partir da figura para estudantes com deficiência visual e que tal representação deva incluir todos os elementos identificados nessa figura.

Fonte: INEP⁵

Este resultado indica que a intensidade sonora medida é proporcional a aproximadamente $1/r^{2,2}$. O valor teórico esperado para a intensidade sonora de uma fonte puntiforme é proporcional à $1/r^2$. Observa-se que o resultado obtido se aproxima do esperado teórico. Entretanto só podemos afirmar que o valor medido é compatível com o teórico após o estudo mais detalhado das imprecisões.

Acreditamos que este experimento possa ser desenvolvido por estudantes de ensino médio e superior como uma proposta para estudar e valorizar o ensino da acústica. Enxergamos alguns desafios que precisam de atenção do docente que optar por desenvolver esta atividade com seus estudantes. O primeiro deles é a atenção quanto ao local onde será realizado o experimento, pois é preciso que as dimensões do ambiente permitam a realização de medidas com distâncias de pelo

⁵ Disponível em <https://download.inep.gov.br/educacao_superior/enade/provas/2017/24_FISICA_LICENCIATURA_BAIXA.pdf>. Acessado em 19 de dez. de 2022



menos 10m. O ambiente também deve ser o mais isolado de ruídos externos. No entanto, locais silenciosos, ainda que sem isolamento acústico, podem contornar esse desafio. O segundo desafio que vemos é com relação à adequação da abordagem matemática ao nível de ensino e o grau de compreensão dos estudantes. O desenvolvimento matemático apresentado neste trabalho visa instrumentalizar o docente. Esta proposta ajuda a desenvolver competências e habilidades inerentes à prática experimental incluindo a análise estatística e interpretação dos dados. Vale a ressalva que a acústica foi abordada no ENADE para o curso de licenciatura em Física no ano de 2017, reforçando a importância do tema (Figura 8).

Com a primeira etapa do experimento é possível discutir o ruído ambiente e o ruído interno do aparelho, gerado pelos circuitos eletrônicos do dispositivo. Uma proposta para o futuro seria medir o ruído interno de diversos smartphones em um ambiente com isolamento acústico.

A partir deste trabalho podem ser pensados outros experimentos que venham a valorizar o ensino de acústica, como por exemplo o estudo da interferência produzida por duas fontes sonoras.

REFERÊNCIAS

ALERJ. A **lei nº 5222**, de 11 de abril de 2008, que dispõe sobre a proibição do uso de telefone celular nas escolas estaduais do estado do rio de janeiro. ALERJ, 2009.

ANTÔNIO, J. C. Uso pedagógico do telefone móvel (celular). **Professor Digital, SBO**, v. 13, 2010.

BRASIL. Lei nº 9.394/1996 ou lei de diretrizes e bases da educação nacional, ldb. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, 2018.

DEHAENE, S. The neural basis of the weber-fechner law: a logarithmic mental number line. **Trends in cognitive sciences**, Elsevier, v. 7, n. 4, p. 145–147, 2003.

FGV. Brasil tem 424 milhões de dispositivos digitais em uso, revela a **31ª Pesquisa Anual do FGVcia**. 2021. Disponível em: <<https://portal.fgv.br/noticias/brasil-tem-424-milhoes-dispositivos-digitais-uso-revela-31a-pesquisa-anual-fgvcia>>. Acessado em 19 de dez. de 2022

GANIME, J. et. al. O ruído como um dos riscos ocupacionais: uma revisão de literatura. **Enfermería Glob**, v. 19, p. 1–15, 2010.

ÇENGEL, Y. A.; CIMBALA, J. M. **Fluid Mechanics: Fundamentals and Applications**. 3rd edition. New York: McGraw-Hill Education, 2015.

MELO DA SILVA, R.; CARVALHO, M. J. S. Aplicativos educacionais livres para mobile learning. **Anais do Encontro Virtual de Documentação em Software Livre e Congresso Internacional de Linguagem e Tecnologia Online**, v. 3, n. 1, 2014.

MENEZES, L. d. Uma física para o novo ensino médio. **Física na escola**, v. 1, n. 1, p. 6–8, 2000.



NUSSENZVEIG, H. M. **Curso de física básica, 1: mecânica**. 5. ed. São Paulo: Blucher, 2013.

PEREIRA, M. D. Estudo da poluição sonora por estudantes do ensino médio usando smartphone. 2017. Dissertação (**Mestrado em Ensino de Física**) – Universidade Federal de São Carlos, Sorocaba, 2017. Disponível em: <https://repositorio.ufscar.br/handle/ufscar/9194>

RICARDO, E. C.; FREIRE, J. A.-n. C. A concepção dos alunos sobre a física do ensino médio: um estudo exploratório. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 29, p. 251 –266, 00 2007. ISSN 1806-1117. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttextpid=S1806-11172007000200010nrm=iso>. Acessado em 19 de dez. de 2022.

SANTOS, F. D. O aparelho celular na escola: contra uma educação imóvel. **Repositório digital UFRGS, 2015**. Disponível em <<https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/134020/000980184.pdf>>. Acessado em 19 de dez. de 2022.

TORTORA, G.; DERRICKSON, B. **Corpo Humano: Fundamentos de Anatomia e Fisiologia**. [S.l.]: Artmed Editora, 2016.