



.....

### Paulo Bedaque

Grupo de Estudos em Epistemologia e Didática, Faculdade de Educação, Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, Brasil  
E-mail: bedaque@ciencias.com.br

### Paulo Sergio Bretones

Departamento de Metodologia de Ensino, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, SP, Brasil  
E-mail: bretones@ufscar.br

.....

O presente trabalho propõe o uso de um aplicativo gratuito (para Android e OS) para celular ou *tablet* como instrumento de medida de nível sonoro que pode ser usado em aulas de física do Ensino Médio. O nível sonoro está ligado a questões de conforto e saúde humana e animal e é tema de legislação em todo o mundo que, em geral, fornece os limites permitidos para o nível sonoro. Discute-se rapidamente a poluição sonora ao longo da história e os problemas de saúde que sons intensos podem provocar. Propomos então um projeto cidadão em que os alunos são levados a medir níveis sonoros, usando seu próprio *smartphone* ou *tablet*, em pontos seguros de sua cidade e com a supervisão do professor, como cruzamentos movimentados, ruas de comércio, restaurantes, pátio da escola durante os intervalos de aulas, ginásios de esporte etc. Com os dados em mãos, os alunos devem fazer um levantamento dos pontos onde a legislação é desobedecida. Pode-se também tabular os níveis sonoros em locais mais silenciosos como bibliotecas, salas de aula, pátio da escola durante as aulas etc.

### Introdução

**H**oje em dia, quando queremos saber as horas, simplesmente miramos nosso relógio. Quando queremos saber em que dia do mês estamos, consultamos igualmente o calendário de nosso relógio ou um calendário impresso de mesa ou parede. Se queremos medir um intervalo de tempo, usamos um cronômetro ou mesmo nosso relógio. Mas nem sempre foi assim. Antes de dominarmos a tecnologia da contagem do tempo, a hora do dia era estimada pela altura do Sol ou por outros fenômenos relacionados à rotação e translação de nosso planeta. Ainda hoje, várias nações indígenas acompanham o ponto de nascimento do Sol no horizonte e podem assim acompanhar as mudanças das estações ao longo do ano. Muitas vezes não nos damos conta de como nossas vidas foram e estão sendo alteradas pelo uso de tecnologias que facilitam a solução de uma gama enorme de problemas cotidianos.

Vivemos em uma sociedade tecnológica e esse fato não pode ser abstraído pela escola que prepara para a vida. Nossas vidas hoje são pautadas pela ciência e pela tecnologia e a preocupação com o tecnológico, com a aplicabilidade dos conhecimentos, com a busca de soluções para nossos problemas, deve estar presente em todas as áreas da educação. O texto a seguir do astrônomo americano Carl Sagan [1] trata do risco da exclusão científica e tecnológica:

Nós criamos uma civilização global em que os elementos mais cruciais - o transporte, as comunicações e todas as

outras indústrias, a agricultura, a medicina, a educação, o entretenimento, a proteção ao meio ambiente e até a importante instituição democrática do voto - dependem profundamente da ciência e da tecnologia. Também criamos uma ordem em que quase ninguém compreende a ciência e a tecnologia. É uma receita para o desastre. Podemos escapar ilesos por algum tempo, porém mais cedo ou mais tarde essa mistura inflamável de ignorância e poder vai explodir na nossa cara. Ref. [1, p. 39]

Tecnologia (do grego *τεχνη* - "ofício" e *λογία* - "estudo") é vista por parte dos professores como uma mera aplicação do conhecimento científico. Mas a tecnologia não pode ser confundida com ciência aplicada e sim como fruto de um contexto social que cria demandas que direcionam a aplicabilidade dos conhecimentos científicos. Para além do panorama histórico da mera aplicabilidade, a tecnologia deixou de

**Vivemos em uma sociedade tecnológica e esse fato não pode ser abstraído pela escola que prepara para a vida. Nossas vidas hoje são pautadas pela ciência e pela tecnologia e a preocupação com o tecnológico, com a aplicabilidade dos conhecimentos, com a busca de soluções para nossos problemas, deve estar presente em todas as áreas da educação**

ser vista apenas como um modo que a humanidade encontrou de sobreviver ou de melhorar a sua qualidade de vida para ser vista como engrenagem importante nas relações de poder. Assim, é preciso que nossos alunos discutam e usem tecnologia até para se defender dela; é preciso que eles se transformem em atores ativos no mundo tecnológico, como usuários de aplicativos e equipamentos que estão ao seu alcance. A escola não pode se separar do mundo real onde as pressões sociais, usando os conhecimentos científicos, geram tecnologias que modificam profundamente as nossas vidas. Os *smartphones*

e os *tablets* trouxeram aos usuários aplicativos para todos os fins e todas as áreas e a maioria desses aplicativos pode ser obtido gratuitamente. E a escola tem que se esforçar por explorar essas novas ferramentas, que passam a ser vistas como ferramentas didáticas, de uso cotidiano nas escolas.

Os professores em geral não foram formados com o uso de tecnologia, o que faz do professor de hoje um pioneiro, um desbravador de novas

**Todas as nações reconhecem a importância do descanso e do conforto e criaram regras e leis, chamadas por nós genericamente de “Leis do silêncio”, para garantir o direito ao baixo nível de ruído, em especial no período de sono**

terras, um navegador sem bússola atrás de novos continentes. Ainda que reconheça a necessidade do uso da tecnologia na escola, não se sente amparado por materiais didáticos e aplicativos apropriados à educação. Deve correr atrás de alternativas em meio às suas aulas e montar o seu próprio portfólio de soluções. Existe uma grande demanda para propostas didáticas que auxiliem o professor nessa tarefa e nosso trabalho quer dar uma pequena, muito pequena, contribuição nesse sentido. Propomos o uso de um aplicativo que meça o nível de intensidade sonora, que pode ser obtido gratuitamente em meio a uma lista de centenas disponíveis para esse fim. Mas como a tecnologia deve ser vista como uma produção social, atendendo demandas humanas, discutimos a utilidade dessas medidas. Todas as nações reconhecem a importância do descanso e do conforto e criaram regras e leis, chamadas por nós genericamente de “Leis do silêncio”, para garantir o direito ao baixo nível de ruído, em especial no período de sono. Queremos que nossos alunos mapeiem os pontos de sua região onde há problemas e verifiquem se a legislação está ou não sendo cumprida. Se não está, podem, juntamente com o seu professor, requerer junto às autoridades o cumprimento das normas.

Recentemente, vários artigos foram publicados em jornais sobre o assunto. Como exemplo, o jornal Correio Popular de Campinas [2] noticiou que a Guarda Municipal de Campinas apreendeu 80 veículos por conta de excessos no uso do som automotivo, que perturbam o sossego público, infringindo a chamada “Lei do Pancadão”. Também publicou [3] que um procurador do município de Jaguariúna (SP) pediu ao Ministério Público (MP) a interrupção do barulho do sino da Matriz das 22:00 h às 7:00 h. Além disso, outra notícia foi publicada [4] mencionando reclamações de moradores da cidade referentes ao barulho da propaganda feita

por um avião de pequeno porte (teco-teco) anunciando espetáculo de circo.

O aprendizado dos conceitos ligados ao som, da quantificação de algumas de suas propriedades, das implicações na saúde que ruídos podem trazer, das legislações que tentam proteger o cidadão do barulho intenso, do uso de aplicativos que meçam o nível sonoro, da coleta de dados e apresentação dos resultados, do crescimento com as discussões que se seguirão ao trabalho, do contato com autoridades se for necessário, fazem desta proposta um mini-projeto de pesquisa que deverá interessar muito aos alunos e trazer bons resultados ao aprendizado deles.

Diversas pesquisas já foram feitas na área de ensino de ciências e física nos vários níveis escolares sobre a área de acústica.

Vários artigos publicados em periódicos são mencionados a seguir. A experimentação na compreensão de um fenômeno físico sobre interferência, denominado batimento de ondas sonoras, foi estudada na Ref. [5], que também sugere o uso de um *software* desenvolvido para o tema. O *software* Audacity é apresentado na Ref. [6] como ferramenta para o ensino de ondas e dos fenômenos relacionados. Com o uso de tal programa em sala de aula, pode ser feita a gravação e a edição de áudios com diversas funcionalidades, que podem ser utilizados para que o estudante possa visualizar e estudar as características de uma onda sonora. Também são apresentados a concepção, a modelização e o desenvolvimento de um ambiente virtual na Ref. [7], em que as tecnologias da informação e da comunicação foram utilizadas como recurso educacional para a aprendizagem de conceitos introdutórios sobre a física do som, tendo como base a teoria da aprendizagem significativa.

Também foram defendidas dissertações e teses sobre o tema. Uma proposta de introdução à física na 8ª série do EF (atual nono ano) é apresentada na Ref. [8] por meio de fenômenos físicos relacionados à produção e percepção de sons pela audição humana. Um estudo sobre como as tecnologias de informação e comunicação podem ser utilizadas para a aprendizagem de conceitos introdutórios sobre

**Os professores em geral não foram formados com o uso de tecnologia, o que faz do professor de hoje um pioneiro, um desbravador de novas terras, um navegador sem bússola atrás de novos continentes**

as ondas sonoras foi realizada na Ref. [9] junto a alunos do EM. Materiais de apoio para o uso da música para ensino de acústica foram desenvolvidos na Ref. [10]. A leitura de textos de divulgação científica (TDC) é utilizada na Ref. [11] com alunos do EM, para o ensino e aprendizagem de conteúdos científicos na formação de estudantes-leitores. Uma sequência didática para ser aplicada em sala de aula, junto a alunos do EM, foi elaborada na Ref. [12] visando abordar a física da poluição sonora e medidas da intensidade sonora, utilizando *smartphone* e o aplicativo Sound Meter. Uma sequência didática junto a alunos do EM foi aplicada na Ref. [13] abordando as relações entre a percepção musical e o ensino das características das ondas sonoras para o ensino de acústica e utilizando a teoria da aprendizagem significativa de Ausubel.

Além disso, outros trabalhos apresentados em eventos mostram pesquisas na área. Um enfoque interdisciplinar é utilizado na Ref. [14] relacionando os conhecimentos da física, da fisiologia, da audição e da fonoaudiologia. Pela aplicação de um conjunto de atividades para o EM, foi feita uma análise para estudar a dinâmica do perfil conceitual dos estudantes. O resultado de uma pesquisa bibliográfica sobre tendências teóricas e metodológicas, instrumentos de coleta e tratamento de dados utilizados em trabalhos cujo objeto de estudo estava relacionado com transposição didática, som, ondas, onda sonora e acústica foi apresentado na Ref. [15]. A construção e aplicação de um projeto temático em disciplinas de licenciatura em física são mostradas na Ref. [16], onde são abordados conteúdos físicos específicos através da contextualização de um tema socialmente relevante como a poluição sonora e suas relações com o ensino de

física. Uma sequência didática é proposta na Ref. [17] junto a estudantes do 2º ano do Ensino Médio, explorando a saúde auditiva, a propagação do som, as características e os efeitos das ondas sonoras, rela-

cionando-as com as músicas que ouvem no fone de ouvido. Considerado um tema significativo, o estudo foi pautado no referencial dos Três Momentos Pedagógicos e no Enfoque CTSA e as respostas discursivas dos estudantes foram analisadas à luz da proposta de avaliação contida nos documentos oficiais.

## Qualidades fisiológicas e propriedades do som

Esta seção serve para relembrar alguns conceitos básicos ligados ao estudo do som e estabelecer as nomenclaturas que usaremos neste trabalho, já que a literatura mostra algumas flexibilizações com respeito aos nomes usados.

É preciso que se distinga as propriedades físicas do som daquelas que chamamos de qualidades fisiológicas, propriedades essas que têm ligação com a percepção do som pelo aparelho auditivo humano. As propriedades físicas mais importantes do som são a velocidade, a frequência, o comprimento de onda e a amplitude, grandezas essas bem conhecidas dos professores de física do Ensino Médio. Já as qualidades fisiológicas do som têm paralelo com as grandezas citadas e as principais são altura, timbre (não será abordado) e intensidade.

O aparelho auditivo humano consegue captar sons de frequências entre 20 Hz e 20.000 Hz. A velocidade do som varia de meio para meio e mesmo no ar ela depende de fatores como pressão atmosférica e umidade relativa, mas costuma-se usar o valor de 340 m/s, que corresponde a situações de temperatura ambiente com 50% de umidade. Assim, lembrando que para as ondas, sejam mecânicas ou eletromagnéticas, a velocidade é igual ao produto do comprimento de onda pela frequência ( $V = \lambda \cdot f$ ), podemos calcular o intervalo de variação desse comprimento de onda do som audível como sendo de 17 mm a 17 m. Como o ouvido dos humanos e dos animais distingue diferentes frequências? À grandeza física frequência associa-se uma qualidade fisiológica do som chamada de altura. Assim, altura é o nome que se dá à distinção que o ouvido humano faz das várias frequências de som que consegue captar. Chamamos de sons graves aqueles de menor frequência e de sons agudos os de frequência maior. Trata-se de uma nomenclatura relativa e assim podemos dizer que um som de frequência 10.000 Hz é mais agudo que outro de 6.000 Hz e é mais grave que um de 13.000 Hz. Na linguagem musical usam-se “notas mais baixas e mais altas”, numa referência a sons mais graves e mais agudos.

Vibrações mecânicas com frequências menores que 20 Hz são chamadas de infrassom. Aquelas com frequência acima de 20.000 Hz são chamadas de ultrassom. Uma pergunta interessante e frequente entre os alunos é: os animais em geral conseguem captar infrassons ou ultrassons? Os cães, por exemplo, têm uma fai-

xa de audição bem mais larga que a humana; eles conseguem ouvir na faixa de 15 Hz a 50.000 Hz. No entanto, acima de 20.000 Hz as vibrações podem irritar esses animais. Os morcegos também são conhecidos pela capacidade de captar e emitir ultrassom e a faixa de audição deles é 1.000 Hz a 120.000 Hz. Como não enxergam bem e vivem muitas vezes em cavernas e outros locais escuros e fechados, usam sua capacidade de emitir ultrassom para se guiar. Emitem ultrassom e analisam a reflexão das vibrações no ambiente para mapear os obstáculos à sua volta. Esse, aliás, é o princípio do sonar. Nossos amigos golfinhos também têm ouvidos que trabalham numa faixa mais larga que a nossa, entre 70 Hz e 240.000 Hz, e também usam sua capacidade de emitir ultrassom para se guiar. Entre os animais que captam infrassom estão os elefantes e as toupeiras. Como os tremores de terra são vibrações mecânicas de baixa frequência, podendo ser na faixa do infrassom, há registros imprecisos de elefantes que mostraram certa agitação antes de terremotos e tsunamis. Nós próprios, ainda que não ouçamos infrassons, podemos perceber pela pele alguma vibração nessa faixa.

Sons de mesma frequência podem ser ouvidos por nós como sendo mais fortes ou mais fracos. Estamos falando da qualidade fisiológica do som chamada de intensidade e que é vulgarmente chamada de “volume”. A intensidade está relacionada à grandeza física “amplitude” da onda sonora. Assim, quando aumentamos o “volume” do som da TV, estamos gerando ondas sonoras com amplitude maior. Existe uma grandeza chamada intensidade física sonora ( $I$ ) que acaba por se confundir muitas vezes com a qualidade fisiológica intensidade. Para dirimir esse conflito, vamos usar a nomenclatura intensidade sonora  $I$  em uma região do espaço como

**Uma pergunta interessante e frequente entre os alunos é: os animais em geral conseguem captar infrassons ou ultrassons?**

sendo a grandeza física definida pelo valor da potência ( $P$ ) da fonte sonora por unidade de área ( $A$ ) (Fig. 1). Sendo a grandeza potência ( $P$ ) definida como a quantidade de energia ( $E$ ) na unidade de tempo ( $\Delta t$ ), e a área da esfera dada por  $A = 4 \cdot \pi \cdot r^2$ , temos:

$$I = \frac{P}{A} = \frac{P}{4\pi r^2} = \frac{E}{4\pi r^2 \cdot \Delta t}$$

Essa grandeza, no Sistema Internacional, será expressa na unidade  $W/m^2$  ou  $J/m^2 \cdot s$ . Determinada fonte sonora emite som com uma certa potência, ou seja, com uma certa taxa de emissão de energia por unidade de tempo. A propagação do som se dá de forma esférica e a potência sonora ocupa áreas cada vez maiores à medida que se propaga. O valor  $4 \cdot \pi \cdot r^2$  corresponde à área da esfera no ponto considerado. Essa expressão mostra que a intensidade sonora cai com o quadrado da distância até a fonte sonora. A menor intensidade sonora capaz de sensibilizar o ouvido humano é  $I_0 = 10^{-12} W/m^2$ , também chamada de limiar da audibilidade [19].

Já a intensidade percebida pelo ouvido humano será medida por um número que chamaremos de nível de intensidade sonora ou, simplificada-mente, nível sonoro ( $\beta$ ). Intensidade sonora ( $I$ ) e nível sonoro ( $\beta$ ) não podem ser confundidos. A relação entre as duas grandezas não é linear. Assim, se dobrarmos o valor da intensidade sonora  $I$ , não “ouviremos o dobro”,  $\beta$  não dobrará. Observa-se que para ouvirmos com o dobro de intensidade (dobro do nível sonoro) é preciso que a intensidade física seja elevada ao quadrado, o que sugere uma relação logarítmica entre as duas. Ernst Heinrich Weber (1795-1878) foi quem primeiro percebeu essa relação, não só para o som, mas para outras situações que envolvem nossos sentidos. Mais tarde, Gustav Theodor Fechner (1801-1887)

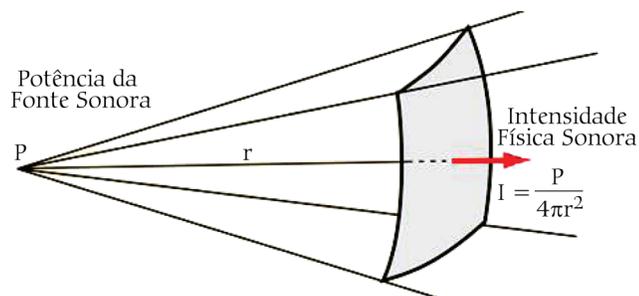


Figura 1: A intensidade sonora em uma região do espaço mede a quantidade de energia sonora ( $E$ ) que chega até ela na unidade de tempo e na unidade de área. Essa energia sonora partiu da fonte e se espalha esféricamente pelo espaço. (Fonte: Ref. [18]).

procurou uma interpretação teórica para a descoberta de Weber. Assim, a Lei de Weber-Fechner representa uma relação matemática entre o estímulo físico ( $I$ ) e a sensação sonora ( $\beta$ ) percebida por um indivíduo. Matematicamente, podemos enunciar a lei de Weber-Fechner como  $S = k \log I$ , onde  $S$  é a sensação e  $I$  o estímulo físico. Assim, no caso do som, definimos nível sonoro como  $\beta = \log \frac{I}{I_0}$ . Embora o resultado desta operação ( $\beta$ ) seja uma grandeza adimensional, convencionou-se dar a ele o nome de Bell, em homenagem a Alexander Graham Bell. Para usar-se números maiores e mais cômodos, criou-se um múltiplo do Bell, o decibel (dB), apenas uma escala, resultado de:

$$\beta = 10 \cdot \log_{10} \frac{I}{I_0}$$

A intensidade  $I = I_0$  corresponde a  $\beta = 0$  dB, ou seja, qualquer som com nível acima de 0 dB poderá ser ouvido por nós. O nível de 10 dB corresponde à intensidade de  $10I_0$ . Para "ouvirmos o dobro" disso, ou seja, 20 dB, será preciso que a intensidade sonora suba pra  $100I_0$ ; para conseguirmos 30 dB precisamos aumentar esse valor para  $1000I_0$  e assim sucessivamente.

Será que um som de 60 dB é muito intenso e causa desconforto? Para se ter uma ideia, uma conversa normal, sem tumultos ou exageros, corresponde a esse nível sonoro. Já uma reunião acalorada de crianças corresponde a algo como 90 dB e um avião jato decolando gera algo como 120 dB. O infográfico na Fig. 2 mostra os níveis sonoros relacionados a algumas situações cotidianas.

Essa definição do nível sonoro carrega uma estranha aritmética. Imagine que estamos diante de duas fontes sonoras e recebemos de cada uma delas 50 dB. Significa que estamos sujeitos a 100 dB? A resposta é não; nesse caso  $50 \text{ dB} + 50 \text{ dB} = 53 \text{ dB}$ . Chamemos de  $I$  a intensidade sonora que nos chega de cada uma dessas fontes. Assim, a intensidade total que recebemos vale  $2I$  e o nível sonoro será<sup>1</sup>:

$$\beta = 10 \cdot \log_{10} \frac{2I}{I_0} = 10 \cdot \log_{10} \frac{I}{I_0} + 10 \cdot \log_{10} 2 = 50 + 10 \cdot 0,3 = 53 \text{ dB}$$

O mesmo resultado seria obtido para valores distintos de 50 dB. Assim,  $70 \text{ dB} + 70 \text{ dB} = 73 \text{ dB}$  ou  $3 \text{ dB} + 3 \text{ dB} = 3 \text{ dB}$  ou ainda  $0 \text{ dB} + 0 \text{ dB} = 0 \text{ dB}$ . Evidentemente as igualdades que estamos usando só valem para decibels, já que, matematicamente falando,  $3 + 3 = 6$ . Por essa estranha matemática, dois sons, um de

30 dB e outro de 50 dB resultam praticamente em 50 dB<sup>1</sup>.

### Saúde vs. poluição sonora

Se de um lado a natureza nos inunda com sons agradáveis como o barulho das águas, do vento, das árvores etc., se a humanidade inventou a música que se impõe como uma das mais importantes expressões artísticas e a de maior mercado em todo o mundo, se a produção de som pelo homem permitiu o aparecimento das várias línguas do mundo, de outro lado a civilização humana trouxe também o ruído, raro na natureza, mas comum nas cidades. De maneira informal, podemos definir ruído como todo som que causa desconforto e insalubridade às pessoas. Igualmente, podemos definir poluição sonora como a exposição descontrolada e indesejada aos ruídos. Os grandes centros urbanos, com seus milhares de automóveis e indústrias ruidosas, trazem problemas vários de saúde e devem se submeter a normas de convivência e de salubridade. Mas não apenas os ruídos podem ser insalubres; o surgimento dos aparelhos de som, em especial os portáteis com fones de ouvido, trouxeram o costume, comum entre jovens, de ouvir músicas com alta intensidade.

Esse quadro de exposição aos ruídos, segundo a Sociedade Brasileira de Otolologia, é causa de 30 a 35% das perdas auditivas [21]. Segundo a OMS, 10% da população mundial está submetida a valores perigosos do nível sonoro que podem causar perda auditiva temporária ou permanente e "Sabe-se que as pessoas percebem, avaliam e reagem aos sons (ruído) mesmo quando estão dormindo. Por esse motivo, o organismo pode reagir ao ruído com aumento da produção de hormônios, elevação do ritmo cardíaco, contração dos vasos sanguíneos, entre outras reações" [22]. Essa mesma OMS "considera a poluição sonora como uma das formas mais graves de agressão ao ser humano e ao ambiente" [22] e aponta que 40% da população europeia está exposta a níveis

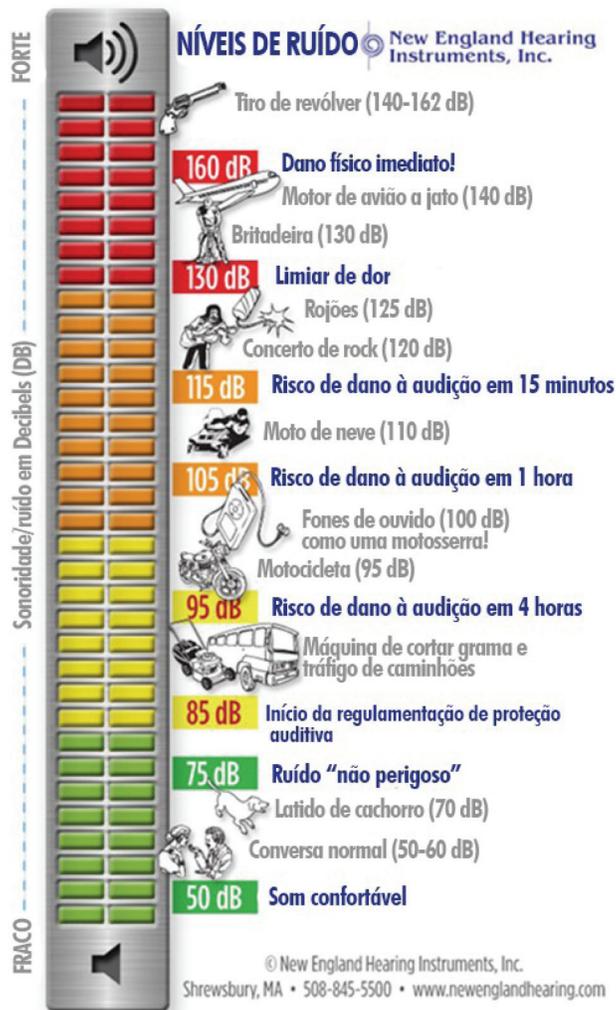


Figura 2: Sons muito intensos podem trazer desconforto e até sérios problemas se saúde. Fonte: adaptado da Ref. [20].

acima de 55 dB, diariamente, e 20%, a níveis acima de 65 dB [23]. Quando o ruído é intenso, acima de 85 dB, por períodos de oito horas por dia, podem ocorrer alterações no aparelho auditivo e levar ao PAIR (Perda Auditiva Induzida por Ruído). No Brasil existe um órgão, chamado ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas), semelhante ao que existe em outros países, que aponta sérios problemas de saúde que podem ser causados pelos sons muito intensos [24]: "possibilidade de provocar úlcera, irritação, excitação maníaco-depressiva, desequilíbrios psicológicos, estresse degenerativo e aumentar o risco de infarto, derrame cerebral, infecções, osteoporose, hipertensão arterial e perdas auditivas, entre outras enfermidades" e por esse motivo baixou normas que visam a diminuir esses problemas. Interessante trabalho realizado por investigador da Universidade de São Paulo [25], no município de Piracicaba, resume na Tabela 1 os principais problemas causados pela poluição sonora.

Tabela 1: Impactos dos ruídos na saúde humana. Fonte: Ref. [25].

Nível sonoro	Reação	Efeitos negativos	Exemplos de locais
Até 50 dB	Confortável (limite da OMS)	Nenhum	Rua sem tráfego
Acima de 50 dB	O organismo humano começa a sofrer impactos do ruído		
De 55 a 65 dB	A pessoa fica em estado de alerta, não relaxa	Diminui o poder de concentração e prejudica a produtividade no trabalho intelectual	Agência bancária
De 65 a 70 dB (início das epidemias de ruído)	O organismo reage para tentar se adequar ao ambiente, minando defesas	Aumenta o nível de cortisona no sangue, diminuindo a resistência imunológica. Induz a liberação de endorfina, tornando o organismo dependente. É por isso que muitas pessoas só conseguem dormir em locais silenciosos com o rádio ou TV ligados. Aumenta a concentração de colesterol no sangue	Bar ou restaurante lotado
Acima de 70 dB	O organismo fica sujeito a estresse degenerativo, além de abalar a saúde mental	Aumentam os riscos de enfarte e infecções, entre outras doenças sérias	Praça de alimentação em shopping centers Ruas de tráfego intenso

## A poluição sonora ao redor do mundo e da história

A busca pelo silêncio ou por níveis suportáveis de ruídos não é recente. Em 44 a.C. Júlio César, imperador de Roma, impôs uma lei que proibia o tráfego de carroças pela cidade durante a noite, exatamente para favorecer o silêncio durante o sono. Vejam a lei [26]:

Doravante, nenhum veículo com rodas ou algo parecido será permitido dentro dos recintos da cidade do anoitecer até o nascer do sol... os que precisarem entrar durante a noite e ainda estiverem na cidade ao amanhecer deverão estacionar e descarregar até a hora indicada.

Tempos depois, o escritor Juvenal, em sua *Sátira* (117 d.C.) diria [26]: “É absolutamente impossível dormir em qualquer canto da cidade. O perpétuo movimento de carros nas ruas próximas... é suficiente para acordar os mortos”.

A preocupação com a poluição sonora, em especial nas cidades europeias, cresceu ao longo dos séculos. Sinos de igrejas, vendedores de peixes e frutas, trombetas dos correios etc., fizeram evoluir legislações que tratavam do direito ao silêncio. Mas foi na Inglaterra dos séculos XVIII e XIX que a discussão atingiu níveis mais conflitantes, com o surgimento da cha-

mada Revolução Industrial. Máquinas barulhentas e grandes obras ruidosas tomam conta do cenário, sendo que em 1825 é inaugurada a primeira linha ferroviária. Em 1861 surge o primeiro motor a combustão, invento que culminou no aparecimento do automóvel, maior vilão em nossos dias quando o assunto é poluição sonora. A partir da Revolução Industrial, o mundo estaria irremediavelmente tomado pelo ruído. Mais recentemente, o surgimento dos aparelhos eletrônicos de som e dos fones de ouvido agregaram novas fontes de sons intensos e há sérias preocupações dos profissionais com respeito à saúde de nossos ouvidos.

## A “lei do silêncio” no Brasil

Na verdade, não existe uma “lei do silêncio”, como as pessoas costumam dizer. Ao menos não existe uma lei com esse nome no Brasil. O que há é uma lei federal [27] (Lei federal 3.688 de 3 de outubro de 1941) que está em pleno vigor e que se chama Lei das Contravenções Penais. O capítulo IV da lei trata “Das Contravenções Referentes À Paz Pública” e em seu artigo 42 trata da perturbação do trabalho e do sossego.

*Art. 42. Perturbar alguém o trabalho ou o sossego alheios:*

*I – com gritaria ou algazarra;*

*II – exercendo profissão incômoda ou ruidosa, em desacordo com as prescrições legais;*

*III – abusando de instrumentos sonoros ou sinais acústicos;*

*IV – provocando ou não procurando impedir barulho produzido por animal de que tem a guarda:*

*Pena – prisão simples, de quinze dias a três meses, ou multa, de duzentos mil réis a dois contos de réis.*

Para nós, habitantes do século XXI, a redação cheira a um certo anacronismo, mas é a lei em vigor a ser usada no caso de abusos com a intensidade sonora. Observem que não há nenhuma referência a horários em que se pode abusar de sons intensos. Há uma crença popular de que a partir das 22:00 h, até as 6:00 h, não se pode produzir sons perturbadores, podendo uma britadeira invadir seu quarto logo de manhã, mas não há essa restrição na lei. Não há horário definido para se perturbar os outros, todos são igualmente contravenções. Do ponto de vista jurídico, crime ou contravenção penal somente se diferenciam pelo alcance da pena e aqueles que se sentem prejudicados por algum contraventor podem procurar um delegado de polícia, o juizado de pequenas causas ou o ministério público de sua cidade. Evidentemente, leis como essa não vêm para desestabilizar o convívio entre as pessoas e o bom senso deve prevalecer sobre os aspectos jurídicos. O primeiro passo deve ser sempre procurar o entendimento entre as partes. Além do que, muitas vezes é melhor suportar algum ruído desagradável de uma britadeira por um tempo para se ter em seguida uma rua bem asfaltada, bonita e segura. Os estados e os municípios têm, muitas vezes, suas próprias regras, regulamentadas em geral por decretos, que fazem parte do pacote do que se chama de “Lei do Silêncio”. Algumas dessas regras são realmente leis, pois foram aprovadas pelas assembleias legislativas ou pelas câmaras municipais. Assim, por exemplo, a lei distrital 4.092 [27] especifica atitudes ofensivas à saúde, à segurança e ao bem-estar da coletividade vindas da poluição sonora em Brasília (Fig. 3).

Já a prefeitura de São Paulo elaborou o Projeto de Silêncio Urbano (PSIU) [29] da Lei 15.133, que fiscaliza locais confinados como bares, boates, salões de festas, templos religiosos etc., mas não permite vistorias em residências. Estabelece que em zonas residenciais o limite é de 50 dB entre 7:00 h e 22:00 h e cai para 45 dB no restante do dia. Nas zonas mistas esses valores são respectivamente 65 e 55 dB e nas zonas industriais são 70 e 65 dB.



Figura 3: Ilustração encontrada no documento da lei citada, que mostra, com humor, os problemas trazidos pelos sons indesejados. Fonte: Ref. [281].

Para o professor que decidiu abordar esses assuntos com os seus alunos, é de enorme importância que ele conheça a legislação de seu país, de seu estado e de sua cidade, pois há variações consideráveis.

### Decibelímetros no *smartphone*

Apenas para o sistema operacional Android, em visita à Play Store, encontramos cerca de 130 aplicativos com a mesma finalidade: medir o nível sonoro em decibel. Quase 100% deles são disponibilizados gratuitamente. Não queremos nos ater a nenhum deles em especial para não sugerir uma tendência. Deixamos para o professor a escolha daquele que melhor lhe agradar. A Fig. 4 mostra, a título de exemplo, um desses, distribuído gratuitamente, chamado “decibelímetro”, nome comum a vários deles. Convém instalar vários e selecionar alguns, pois a qualidade e as características são diferentes. Alguns têm mostrador digital e outros analógicos; mostradores ora pequenos, ora grandes; alguns constroem um gráfico que mostra a curva de variação do nível sonoro, outros colocam referências a locais com aquele nível sonoro; alguns fornecem dados estatísticos como máximo, mínimo e valor médio encontrados durante o seu uso, outros entregam o espectro de frequências dos sons captados etc. Sugerimos escolher algum que registre graficamente as observações em função do tempo. Assim, usando um cronômetro em paralelo, pode-se obter uma coleta de dados com registro de alterações no nível sonoro ao longo dos minutos e dos acontecimentos. A escolha do aplicativo mais conveniente é por si só uma pesquisa curiosa, que vai certamente interessar os alunos. O professor pode fi-

zar algumas características importantes e deixar que a própria classe escolha o aplicativo. A precisão das medidas deverá ser diferente conforme a qualidade do aparelho e do aplicativo usados. Embora não tenhamos comparado os resultados com equipamentos profissionais de medição, a chance de nossos smartphones perderem nesse comparativo é grande. No entanto, eles se prestam bem aos nossos objetivos, que é detectar pontos onde o ruído é excessivo e permitir aos alunos que trabalhem com tecnologia de qualidade ao alcance de suas mãos.

É importante lembrar que esses aparelhos medem, na verdade, variações de pressão. Há uma relação direta entre intensidade sonora e as variações de pressão que são provocadas no meio de propagação. Os decibelímetros trabalham, portanto, com o Nível de Pressão Sonora e podemos escrever:

$$\beta = 10 \cdot \log_{10} \frac{P}{P_0}$$

### Uso desses conceitos na escola

Primeiramente convém lembrar da necessidade de garantir a total segurança

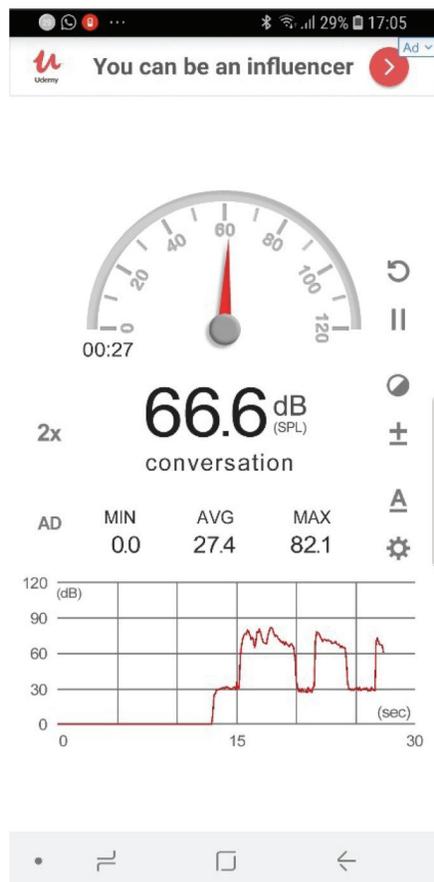


Figura 4: Tela de um dos aplicativos disponíveis para quantificar níveis sonoros.

dos alunos em estudos feitos fora da sala de aula ou da escola. Depois de escolhido o aplicativo Sound Meter que será usado, peça que todos o instalem em seu dispositivo móvel. Não há problemas se os sistemas operacionais forem diferentes; o importante é que os aplicativos escolhidos tenham funções parecidas. Basicamente, eles deverão medir o nível de intensidade sonora em pontos escolhidos. Os próprios alunos poderão anotar a data e o horário das respectivas coletas de dados. Convém que se façam medidas por um certo tempo (um ou dois minutos, por exemplo) e o resultado considerado seja o valor máximo medido.

Antes das medidas, é interessante que se convide um profissional da saúde para falar aos alunos sobre os problemas causados pela poluição sonora. Convém que esse especialista, que pode ser membro de alguma família da comunidade escolar, seja um médico otorrinolaringologista ou um fonoaudiólogo. Também podem contribuir com a discussão profissionais ligados ao meio ambiente. Seu colega professor de biologia poderá ajudar em seu projeto, explicando aos alunos como funciona o aparelho auditivo e questões de saúde ligadas a ele. Do mesmo modo, seu colega professor de matemática poderá dar aos alunos as ferramentas necessárias para se trabalhar com logaritmos.

Convém que a coleta de dados seja feita com um formulário pronto e impresso. Assim, pode-se uniformizar a coleta de dados e facilitar a leitura futura que se fará deles. Basicamente, deve-se registrar o local da medição, a data, o horário e o valor medido do nível sonoro naquele ponto, sempre que possível, visitado no horário de pico. Com os resultados encontrados, a classe pode montar um mapa indicando nele os valores máximos medidos do nível sonoro. Sugerimos usar o Google Maps, colocando alfinetes nesses pontos e registrando os valores encontrados. Pode-se usar alfinetes vermelhos para os pontos mais barulhentos (acima de 85 dB), amarelos para aqueles de um bloco intermediário (entre 65 dB e 85 dB) e verdes para os pontos mais silenciosos (abaixo de 65 dB). Assim, ele poderá ser disponibilizado a todos os alunos e a todos os membros da comunidade interessados. A Fig. 5 apresenta um mapa fictício focalizando alguns pontos da cidade de São Paulo. No arquivo original, quando se clica em um alfinete, abre-se uma janela indicando a hora da observação e o valor máximo medido. Em especial, temos um alfinete vermelho dividindo o espaço com um verde. Ali se encontra um teatro que apresenta um alto nível sonoro à noite e

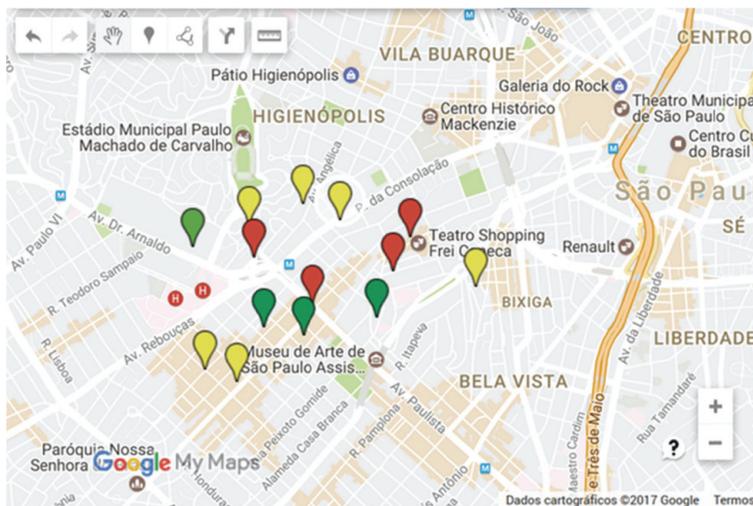


Figura 5: Mapa tendo como base o Google Maps (Fonte: Ref. [30]).

um valor bem menor no horário do almoço. Para um mesmo local, um mesmo ponto do mapa, podemos ter alfinetes com cores diferentes, mostrando medições em diferentes horários e dias.

### Conclusão

O uso de tecnologia na educação é altamente desejado, já que prepara o aluno para o mundo em que ele viverá, pautado

pela ciência e pela tecnologia. O artigo explora apenas um aplicativo, mas muitos outros estão à espera de professores que se disponham a pensar e montar um esquema didático que os utilize. Esperamos ter fornecido uma linha de construção, entre tantas outras possíveis, e contribuído para motivar jovens e educadores.

Para encerrar este artigo, depois de tudo o que foi dito aqui, lembrando Shakespeare, ao final de Hamlet [31]: “O resto é silêncio”.

### Nota

$\beta_1 = 30 \text{ dB}$  implica em  $\frac{I_1}{I_0} = 10^3$  enquanto

$\beta_2 = 50 \text{ dB}$  implica em  $\frac{I_2}{I_0} = 10^5$ . Assim, a nova razão da intensidade física sonora será  $10^3 + 10^5 = 10^3 + 100 \cdot 10^3 = 101 \cdot 10^3$  que é muito próximo de  $10^5$ , resultando em  $\beta = 50 \text{ dB}$ .

### Referências

- [1] C. Sagan, *O Mundo Assombrado Pelos Demônios: A Ciência Vista Como Uma Vela no Escuro* (Companhia das Letras, São Paulo, 1996).
- [2] D. Camargo, *GM apreende 80 carros por som alto*. Correio Popular, Campinas, 20 jul. 2018. Cidades, p. A5.
- [3] A. Ramirez, *Jaguariúna: Silêncio às badaladas centenárias*. Correio Popular, Campinas, 27 jul. 2018. Cidades, p. A5.
- [4] B. Maineti, *'Teco-teco' gera receio em campineiro*. Correio Popular, Campinas, 28 jul. 2018. Cidades, p. A7.
- [5] W.P. da Silva, C.M.D.P.S. e Silva, D.D.P.S. e Silva, C.D.P.S. e Silva, Cad. Bras. Ens. Fís. **21**, 103 (2004).
- [6] T.G. Ribeiro, Clarice Parreira Senra e Mateus Antônio Resende, Física na Escola **16**(1), 43 (2018).
- [7] R.C. Diogo e S.T. Gobara, Revista Brasileira de Informática na Educação **16**, 23 (2008).
- [8] L.R. Rui, *Uma Proposta de Introdução de Conceitos Físicos na 8ª Série Através do Som, e Algumas Importantes Curiosidades e Aplicações do seu Estudo*. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul (2006).
- [9] R.C. Diogo, *A Aprendizagem de Ondas Sonoras sob a Ótica de Desafios em um Ambiente Virtual Potencialmente Significativo*. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (2008).
- [10] R. Chierecci, *O Som da Física*. Dissertação de Mestrado, Universidade de São Paulo (2013).
- [11] D. Correia, *Textos de Divulgação Científica: Leitura, Produção e Divulgação de Atividades Didáticas no Espaço do Estágio Supervisionado em Física*. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Santa Maria (2016).
- [12] M.D. Pereira, *Estudo da Poluição Sonora por Estudantes do Ensino Médio Usando Smartphone*. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de São Carlos (2017).
- [13] D.C. Stinglin, *Relações Entre a Percepção Musical e o Ensino das Características das Ondas Sonoras*. Dissertação de Mestrado, Universidade Tecnológica Federal do Paraná (2017).
- [14] P.W. Bastos e C.R. de Mattos, in: *Encontro de Pesquisa em Ensino de Física, XI EPEF* (2008) disponível em <https://bit.ly/2Wetknq>.
- [15] M.I.A. Jardim, N.C.G. Errobidart e S.T. Gobara, in: *Encontro de Pesquisa em Ensino de Física, XI EPEF* (2008), disponível em <https://bit.ly/2wwooQw>.
- [16] C. C. Moreira, C. C. de Macedo e D. G. de Oliveira, in: *Simpósio Nacional de Ensino de Física, XX SNEF* (2013), disponível em <https://bit.ly/2XoRbLI>.
- [17] A.E. da Silva, J.F. da Costa, S. Camargo, T.R. Hilger e L.L. Samojeden, in: *Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências, XI ENPEC* (2017), disponível em <https://bit.ly/2HUkCqL>.
- [18] Documentação disponível em <https://bit.ly/2dbc77R>, consultada em 31/12/2018.
- [19] M.F. Ferreira Neto, *60 + 60 = 63?* (Sociedade Brasileira de Física, São Paulo), disponível em <https://bit.ly/2W7fPWI>.
- [20] Documentação disponível em <https://bit.ly/2WILRTS>, consultada em 15/7/2018.
- [21] Documentação disponível em <https://bit.ly/2Wkv183>, consultada em 31/12/2018.
- [22] Documentação disponível em <https://bit.ly/2WJmuuy>, consultada em 31/12/2018.
- [23] D.F.B. Zajarkiewicz, *Poluição Sonora Urbana – Aspectos Jurídicos e Técnicos*. Tese de Mestrado em Direito na Pontifícia Universidade Católica de São Paulo, disponível em <https://bit.ly/2Z4u0ha>.
- [24] Norma 10.151 da Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT, disponível em <https://bit.ly/2Llfe9M>.
- [25] D.F. da Silva Filho, *Estudo da Poluição Sonora no Ambiente Urbano da Cidade de Piracicaba* (Universidade de São Paulo, São Paulo), disponível em <https://bit.ly/2XorhyH>.
- [26] R.G. Rosset, *Lei do silêncio e tutela da tranquilidade pública*, disponível em <https://bit.ly/2YZD2vM>.
- [27] *Lei das Contravenções Penais – Lei Federal 3.688 de 3 de outubro de 1941*. Pode ser consultada em <https://bit.ly/2OXNWkA>.
- [28] *Lei Distrital 4.092 de 30 de janeiro de 2008 – Lei do Silêncio de Brasília* que pode ser encontrada em <https://bit.ly/2HTt8WS>.
- [29] PSIU – Programa de Silêncio Urbano da prefeitura de São Paulo, disponível em <https://bit.ly/1Lx75Pz>.
- [30] Google Maps - <https://www.google.com.br/maps>.
- [31] W. Shakespeare, *A Tragédia de Hamlet, Príncipe da Dinamarca* (Abril Cultural, São Paulo, 1976).