

FÍSICA: SOM E AUDIÇÃO HUMANA

Laura Rita Rui^a (laurarui@cpovo.net)
Maria Helena Steffani^b (helena.steffani@ufrgs.br)

^aMestrado Profissional em Ensino de Física IF - UFRGS

^bDepartamento de Física - IF-UFRGS e Planetário/PROEXT - UFRGS

RESUMO

A produção, a propagação e a percepção do som envolvem conceitos físicos, biológicos, artísticos e psíquicos que perpassam todas as áreas do conhecimento humano. Talvez por isso o som seja um tema naturalmente fascinante para ser estudado em sala de aula, pois facilmente permite a inclusão dos saberes e habilidades dos alunos, muitos dos quais tocam algum instrumento musical.

Durante a aplicação de um projeto de Mestrado Profissional em Ensino de Física, realizado no Instituto de Física da UFRGS em 2006, observamos que o estudo do processo da audição humana abrangia grande número de fenômenos físicos. Assim, concluímos que a produção de um painel que explorasse conceitos físicos através do processo de audição humana, poderia ser um recurso didático facilmente utilizado, na 8ª série do ensino fundamental e no ensino médio, por professores de Física e de outras disciplinas, como Biologia e Música.

O painel *A Física na Audição Humana* apresenta as três partes do ouvido humano (ouvidos externo, médio e interno) descrevendo detalhadamente suas funções através de vários conceitos físicos mecânicos, hidrodinâmicos, ondulatórios e elétricos. Os conceitos físicos apresentam-se de forma indissociada de conceitos de outras áreas como Biologia e Química, permitindo assim, através da aplicação de conceitos multidisciplinares, a compreensão do funcionamento do próprio corpo humano e favorecendo uma aprendizagem significativa para os estudantes.

O conteúdo do painel excede, em muito, o que é apresentado nos livros de Física e Biologia para a educação básica e também vem sendo utilizado como um recurso didático na formação continuada de professores em exercício.

INTRODUÇÃO

A música faz parte do dia-a-dia de todas as pessoas desde a mais tenra idade. É aliada importante especialmente na educação infantil, pois através da vivência musical procura-se desenvolver habilidades diversas nas crianças e, ao mesmo tempo, promover a sociabilidade no grupo. Entre os brinquedos infantis disponíveis no comércio há uma grande diversidade de instrumentos musicais - pianinhos, pequenos xilofones, cornetas plásticas, tambores – enfim coisas que mais produzem barulho do que propriamente “som” do ponto de vista, principalmente, de um adulto musicalmente alfabetizado. Já no ensino fundamental, muitas crianças e adolescentes passam a se interessar por algum instrumento musical, quer por influência das aulas de artes na escola, quer por interesse próprio ou sugestão da família. Ao longo de sua formação fundamental os estudantes deste nível de ensino têm aulas de ciências e, particularmente na 8ª série, aulas de Física. Esta disciplina apresenta-se geralmente como uma matéria que exige muita matemática e que pouco se relaciona com outras disciplinas ou mesmo com o cotidiano dos alunos. Esta realidade pode e deve ser mudada. Existem infinitas formas de abordar conteúdos de Física buscando vivências, interesses e conhecimentos dos alunos nas

mais diversas áreas. A *Astronomia*, por exemplo, fascina pessoas de todas as idades e níveis de escolaridade (MEES et al, 2004); o tema *luz e cores* pode desencadear um leque de abordagens de conteúdos para os mais diversos níveis de ensino (ANDRADE, 2005). Muitos outros temas podem servir de alicerce para construir uma proposta de ensino-aprendizagem de Física capaz de construir uma aprendizagem significativa e motivar os estudantes para a área das ciências exatas.

O *SOM* é talvez um dos temas mais fascinantes tanto por sua diversidade quanto por sua complexidade. A produção, a propagação e a percepção do som envolvem conceitos físicos, biológicos, artísticos e psíquicos que perpassam todas as áreas do conhecimento humano. Afinal, o que diferencia, fisicamente, o barulho e o som musical? Quantas e quais sensações são despertadas por uma seqüência de notas musicais em diferentes pessoas? Por sua vez, no contexto da Física, o estudo da produção, propagação e percepção do som introduz uma gama enorme de conceitos físicos: vibração, frequência, período, velocidade, comprimento de onda, energia, pressão, ressonância, etc. Já no contexto artístico, conceitos como ritmo, harmonia, tom, melodia e outros parecem em nada se relacionarem com os conceitos físicos mencionados. Ademais, o estudo da audição humana nas aulas de biologia quase sempre tem caráter essencialmente informativo, restringindo-se, via de regra, à identificação das partes que compõem o ouvido e descrições de suas funções básicas.

Já é tempo de romper com este modelo de ensino fragmentado e desarticulado.

O SOM E A AUDIÇÃO HUMANA

Um dos projetos de Mestrado Profissional em Ensino de Física, realizado no Instituto de Física da UFRGS em 2006, visava inserir o estudo do *som* na oitava série a partir da vivência diária dos estudantes, resgatando também os conhecimentos já adquiridos em Ciências nas séries anteriores. Surgiu então, de forma natural, o estudo da percepção dos sons por pessoas e animais, principalmente através do sistema auditivo. Este último permite uma rica abordagem de um grande número de fenômenos físicos.

A Física explica boa parte do funcionamento do corpo humano através da Biofísica que, segundo Durán,

...como área de conhecimento interdisciplinar, tem estado em constante evolução nas últimas décadas, porque pesquisas e estudos mais recentes na ciência da vida levam a novos questionamentos. Na Biofísica são estudados em escala macroscópica e microscópica os comportamentos resultantes dos vários processos da vida, além da interação e da cooperação entre os sistemas altamente organizados de macromoléculas, organelas e células. Os pré-requisitos para seu estudo são conhecimentos fundamentais de Física, Biologia, Química ... (DURÁN, 2003)

Ouvir é um dos cinco sentidos humanos e para que uma pessoa escute, uma gama considerável de eventos precisam acontecer: um som audível deve ser produzido, precisa haver um meio para que esse som se propague e atinja o seu aparelho auditivo, este deve funcionar e transmitir as informações do som (frequência, amplitude, timbre, localização da fonte sonora) para o nervo auditivo. Este último, por sua vez, deve conduzir tais informações, via células auditivas, para o encéfalo que interpretará o som. É um longo caminho que perpassa muitos fenômenos físicos.

O pianista clássico e compositor, J. M. Wisnik apresenta suas definição de som no livro *O som e o sentido – uma outra história das músicas*:

Sabemos que som é onda, que os corpos vibram, que essa vibração se transmite para a atmosfera sob a forma de uma propagação ondulatória, que o nosso ouvido é

capaz de captá-la e que o cérebro a interpreta, dando-lhe configurações e sentidos. (WISNIK, 1999)

Para haver som, é necessário fazer vibrar um meio. Muitas vezes podemos sentir ou até mesmo ver essas vibrações. Por exemplo, colocando os dedos sobre a garganta e sentindo as cordas vocais vibrarem enquanto falamos, ou, percebendo a vibração de um diapasão que, depois de percutido, é mergulhado em água. Em escolas que contam com recursos de novas tecnologias, o uso de programas computacionais como *Construindo sons* (<http://www.fsc.ufsc.br/~canzian/sons/index.html>) e *Spectrogram versão 6* (<http://www.vizualizationsoftware.com/gram/>) são ferramentas educacionais poderosas, que permitem “ver e ouvir” sons e estimulam os alunos.

Todo som gera uma vibração no meio pelo qual se propaga, mas nem toda vibração produz som audível para nós. Por experiência diária sabemos que quando a intensidade do som (popularmente conhecida como volume) é baixa, ou seja, o som é fraco, temos dificuldade de ouvir. Essa dificuldade de ouvir sons fracos (de volume baixo) depende de pessoa para pessoa, agravando-se muito na velhice.

Sabemos também que nossos ouvidos não têm capacidade de perceber sons com frequências muito baixas (abaixo de 20 Hz – infra-sons) ou frequências muito altas (acima de 20 kHz – ultra-sons). Por isso dizemos que a faixa de frequências de sons audíveis para o homem está entre 20 e 20.000 Hz. Mas isso também pode variar de pessoa para pessoa, pois o limite superior da audição humana declina com o envelhecimento. Esse processo é chamado presbiacusia (JOURDAIN, 1997).

O ouvido humano é dividido em três partes: os ouvidos externo, médio e interno. Este último é o mais complexo de todos e está ligado diretamente ao encéfalo pelo nervo auditivo. É importante salientar que o encéfalo faz parte do sistema auditivo, que é ele que decodifica os impulsos elétricos gerados no ouvido interno. Sem o encéfalo os sons não teriam sentido para nós.

O estudo dos fenômenos físicos no processo de audição humana levou-nos a organizar os conteúdos em um amplo painel, que pudesse ser utilizado por professores de Física, Biologia e Música. A seguir descrevemos, muito sucintamente, alguns dos componentes do sistema auditivo humano e fenômenos físicos que compõe o painel intitulado *A Física na Audição Humana*.

O PAINEL *A Física na Audição Humana*

O painel apresenta cada parte do ouvido humano com informações e detalhes que vão muito além do que se encontra nos livros didáticos de Física e de Biologia. Em cada uma das partes são destacados os fenômenos físicos relevantes para o seu funcionamento, conforme descrevemos brevemente a seguir.

No ouvido externo, mostra-se que o som pode entrar pelo canal auditivo de maneira direta, ou ser refletido pelo pavilhão auditivo (orelha), cujo formato é essencial para que as ondas sonoras refletidas também entrem no canal auditivo. Por sua vez, são as diferenças de tempo entre o som que chega diretamente e o som refletido pelo pavilhão auditivo que permitem, com a interpretação do encéfalo, que sejamos capazes de localizar as fontes de som. Uma experiência simples para perceber a importância do pavilhão auditivo na captura dos sons é a seguinte: corta-se um papelão em forma de um quadrado, grande o suficiente para cobrir toda a orelha; faz-se um orifício pequeno (um pouco maior do que o grão de uma ervilha) no centro do quadrado de papelão; encosta-se o quadrado de papelão na orelha. Dessa forma estamos basicamente suprimindo nosso pavilhão auditivo, ou seja, suprimindo todos os sons refletidos pela nossa orelha

para o canal auditivo.

O pavilhão auditivo é uma parte do ouvido externo que está presente apenas nos mamíferos. Seu formato e tamanho pode variar muito nas diversas ordens de mamíferos, dependendo dos hábitos e necessidades de sobrevivência. Em animais como morcegos e baleias a ecolocalização é fundamental para a sobrevivência; os ultra-sons emitidos pelos morcegos e os infra-sons emitidos pelas baleias são refletidos pelos objetos, permitindo a esses mamíferos orientarem-se e localizarem a caça. É análogo ao sonar de um navio.

No ouvido médio, a discussão do tímpano como membrana elástica e a necessidade de amplificar a transmissão da pressão exercida no tímpano ao ouvido interno (que está completamente preenchido por líquidos) permite explorar um conjunto de conceitos mecânicos, hidrostáticos e ondulatórios. Os ossículos (martelo, bigorna e estribo) agem como uma alavanca e amplificam em aproximadamente 25 vezes a pressão do som sobre o tímpano. Mas, por outro lado, quando um ruído muito intenso atinge o tímpano, se este for ainda amplificado, poderia danificar o sistema auditivo. Isso não acontece porque dois músculos tensores, que estão junto ao crânio, enrijecem e diminuem o movimento dos ossículos à medida que a intensidade do som aumenta.

É no estudo do ouvido médio que se discute, mais detalhadamente, os conceitos de intensidade da onda sonora, nível de intensidade, frequências de sensibilidade da audição humana (GASPAR, 2000; OKUNO, 1982) e reflexo de atenuação (BEAR et al, 2002). Introduce-se também discussões mais completas do que as usualmente apresentadas em livros didáticos sobre a influência da contínua exposição a sons muito intensos (acima de 80 db) por um determinado período de tempo, causando doenças como neurose, insônia e queda de produtividade física e mental. Ademais, é a tuba de Eustáquio, que liga a faringe ao ouvido médio e funciona como uma válvula, que permite a entrada ou saída de ar, aliviando as sensações de desconforto no ouvido quando ocorrem variações na pressão atmosférica, como em viagens com subida ou descida de serras.

O ouvido interno é formado pela cóclea, que é a parte do sistema auditivo responsável pela transformação do som em estímulos elétricos, e pelo labirinto, que nada tem a ver com a audição, apenas com a manutenção do equilíbrio do corpo. Na cóclea, as escalas vestibular e timpânica comportam-se como um sistema hidrodinâmico. As diferenças de pressão resultantes, através da divisão coclear, entre as duas escalas causam deslocamentos na membrana basilar para cima e para baixo, gerando oscilações de diferentes frequências (ROEDERER, 1998). Os sons mais agudos geram ondulações de maior amplitude na região da membrana basilar no ponto onde ela é mais esticada (próximo ao estribo); os sons mais graves geram ondulações de maior amplitude onde ela é mais espessa e solta (final da cóclea). Esse fenômeno pode ser simulado através de uma experiência simples: utiliza-se uma régua com uma de suas extremidades fixa a uma mesa e faz-se vibrar a extremidade livre (como um trampolim). Fixando a régua em diferentes pontos de seu comprimento, obtêm-se diferentes frequências de vibração, gerando sons mais graves ou mais agudos. Assim, é na membrana basilar que os sons agudos e graves são distinguidos. É também sobre a membrana basilar que estão os órgãos sensoriais de Corti, que possuem milhares de células ciliadas e que desempenham duas funções principais: convertem a energia das vibrações mecânicas do líquido no ouvido interno em impulsos elétricos e enviam esses impulsos aos neurônios auditivos no gânglio espiral. Para que se possa entender como o órgão de Corti gera sinais elétricos e os envia ao encéfalo para que este interprete os sons, é preciso estudar, ainda que resumidamente, os processos eletroquímicos que

ocorrem nas células ciliadas. Para tanto, a discussão da composição química dos líquidos que preenchem a cóclea, chamados perilinfa e endolinfa, faz-se necessário, enriquecendo ainda mais a abordagem interdisciplinar desse conteúdo.

No gânglio espiral estão os neurônios auditivos, estimados em número de 35.000 a 50.000. Eles são a unidade fundamental de processamento e transmissão dos sinais elétricos, que contêm as informações sobre frequência, intensidade e timbre do som, ao encéfalo. Assim como as funções desempenhadas nos demais órgãos do corpo humano, o encéfalo tem uma participação fundamental no processo da audição: é ele que interpreta e seleciona os sinais sonoros recebidos pelo ouvido. Diferentes regiões dele processam, analisam e interpretam diferentes propriedades do som. É através do encéfalo que os sons fazem sentido para nós.

O painel ilustra e complementa as informações acima mencionadas, aprofundando os conteúdos físicos, biológicos e químicos e destacando tópicos de Física. Ademais, são sugeridas questões instigantes para discussão e pesquisa em sala de aula ou em atividades de campo.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O painel *A Física na Audição Humana* é um recurso didático desenvolvido durante a aplicação de um projeto de Mestrado Profissional em Ensino de Física, da UFRGS em 2006, na oitava série do Ensino Fundamental em uma escola da rede privada de Porto Alegre. O mesmo painel também foi utilizado na segunda série do Ensino Médio e como complemento em oficinas ministradas para professores de Ciências, Biologia, Física, Matemática e Música da rede pública em diversas cidades. Em todas essas oportunidades, o painel foi reconhecido como um recurso didático multidisciplinar, que pode ser usado por professores de diversas disciplinas em diferentes níveis de ensino. Especialmente nas oficinas para professores, o painel surpreendeu a todos pela qualidade e densidade das informações nele contidas, pois dificilmente as escolas de Ensino Básico têm, no seu acervo bibliográfico, livros que tratem desse assunto com tal profundidade. Assim, o painel tem sido também um importante material para o aperfeiçoamento do próprio professor.

Muitas questões transversais pertinentes ao estudo do som e da audição humana e dos animais permearam as aulas, permitindo a sensibilização dos alunos a projetos sociais e de cidadania. Por exemplo, discutimos os limites de tolerância para ruídos contínuos ou intermitentes estabelecidos pela Legislação Brasileira, Norma Regulamentadora nº 15 do Ministério do Trabalho, Portaria 3214/78. Ultra-sonografia na prevenção e em tratamentos médicos, ultra e infra-sons na audição de animais e a percepção musical de surdos através de vibrações são exemplos de outros temas que serviram como tópicos de pesquisa, trabalho em grupo ou saída de campo.

Acreditamos que o painel *A Física na Audição Humana* é um material didático importante para o ensino de Física, que também pode ser explorado por professores de outras disciplinas, mostrando assim a integralidade das diversas áreas do conhecimento humano. E é, também, um recurso capaz de despertar o interesse e o gosto dos estudantes para aprender Física.

REFERÊNCIAS

ANDRADE, C. T. J.de. **Luz e cores:** uma proposta interdisciplinar no ensino fundamental. Porto Alegre: Instituto de Física - UFRGS, 2005. (Hiperfídias de apoio ao professor de física, n. 6).

BEAR, M. F.; CONNORS, B. W.; PARADISO, M. A. **Neurociências:** desvendando o sistema nervoso. 2.ed. Porto Alegre: Artmed, 2002.

DURÁN, J. E. R. **Biofísica:** fundamentos e aplicações. São Paulo: Prentice Hall, 2003.

GASPAR, A. **Física.** São Paulo: Ática, 2000. v. 2.

JOURDAIN, R. **Música, cérebro e êxtase:** como a música captura a nossa imaginação. Rio de Janeiro: Objetiva, 1998.

MEES, A. A., ANDRADE, C. T. J. de, STEFFANI, M. H. Texto de Apoio ao Professor de Física v.16 n.4. Porto Alegre: Instituto de Física - UFRGS, 2004.

OKUNO, E.; CALDAS, I. L.; CHOW, C. **Física para ciências biológicas e biomédicas.** São Paulo: Harper & Row do Brasil, 1982.

ROEDERER, J. G. **Introdução à física e psicofísica da música.** São Paulo: USP, 1998.

WISNIK, J. M. **O som e o sentido:** uma outra história das músicas. São Paulo: Companhia das Letras, 1999.