

**O ENSINO DE ACÚSTICA NOS LIVROS DIDÁTICOS DE FÍSICA
RECOMENDADOS PELO PNLEM: ANÁLISE DAS LIGAÇÕES ENTRE A FÍSICA
E O MUNDO DO SOM E DA MÚSICA**

Francisco Nairon Monteiro Júnior

Professor Assistente do Departamento de Educação da UFRPE.
Mestre em Ensino de Ciências pela UFRPE. Doutorando do Programa de Pós-Graduação em
Educação para Ciência da Faculdade de Ciências da UNESP de Bauru/SP

Washington Luiz Pacheco de Carvalho

Professor Adjunto do Departamento de Física e Química da UNESP de Ilha Solteira/SP
Professor e Coordenador do Programa de Pós-Graduação em Educação para Ciência da
UNESP de Bauru/SP

Doutor em Educação pela Universidade Estadual de Campinas

RESUMO

No presente artigo apresentamos uma análise dos conteúdos de acústica presentes nos livros didáticos de física recomendados pelo Programa Nacional do Livro Didático para o Ensino Médio - PNLEM, na qual utilizamos os mesmos critérios da ficha de avaliação utilizada pelos especialistas na análise de tais livros. Neste percurso, observamos que tais textos pouco evoluíram em comparação com as apresentações textuais analisadas em 1998 e publicadas na revista *Ciência e Educação* [1], na qual foram analisados dez livros didáticos de física para o ensino médio, dentre os quais os mais utilizados, à época, nas escolas brasileiras. Muito embora tenhamos identificado a inclusão de alguns aspectos da cultura do som e da música, há ainda diversas distorções conceituais e históricas, além da pouca importância que tem sido dada às ligações CTSA, dentre as quais, os estudos de paisagens sonoras que, sequer, são mencionados.

PALAVRAS-CHAVE: Acústica, Livros Didáticos, PNLEM

**ACOUSTICS IN THE TEACHING OF PHYSICS TEXTBOOKS
RECOMMENDED BY PNLEM: ANALYSIS OF CONNECTION BETWEEN THE
PHYSICAL AND WORLD OF SOUND AND MUSIC**

ABSTRACT

This paper presents an analysis of the content in acoustics present in physics textbooks recommended by PNLEM, which used the same criteria of evaluation from used by experts in the analysis of such books. In this way, we observed that such texts have evolved little in comparison with the textual presentations reviewed in 1998 and published in the journal *Science and Education* [1], which were analyzed ten physics textbooks for high school, among which the most common, at the time, in Brazilian schools. Although we identified the inclusion of some aspects of the culture of sound and music, there are still several conceptual and historical distortions, besides the little importance has been given to links CTSA, among them, studies of soundscapes that, even, are mentioned.

KEYWORDS: Acoustics, Textbooks, PNLEM

**O ENSINO DE ACÚSTICA NOS LIVROS DIDÁTICOS DE FÍSICA
RECOMENDADOS PELO PNLEM: DISTORÇÕES NAS LIGAÇÕES ENTRE A
FÍSICA E O MUNDO DO SOM E DA MÚSICA**

INTRODUÇÃO

A acústica consiste hoje numa teoria científica de tal amplitude que permite a análise dos mais diversos problemas da sociedade contemporânea, estando na base de todos os estudos das ciências biológicas, da terra, engenharia e arte, concernentes à produção, propagação ou recepção do som. Muito embora possua uma base científica fundada na teoria clássica das vibrações mecânicas, seu desenvolvimento histórico multifacetou-se, em direção ao universo diverso da experiência sonora do homem, de um lado, como ser psicoacústico que interage com o mundo do som por meio da audição e do tato e, de outro, deste mesmo homem como ser social, na busca da sonoridade presente na música e na fala, bem como no desenvolvimento das tecnologias acústicas aplicada à engenharia, arquitetura, medicina e oceanografia, dentre outras.

No caso da música e dos instrumentos musicais, tal desenvolvimento tecnológico, que se iniciou com os primeiros instrumentos sintetizadores, revela-se na sua vanguarda com os recentes instrumentos com tecnologia MIDI, cujas possibilidades timbrais são praticamente inesgotáveis. Com um único software sintetizador é possível criar timbres dos mais diversos. Atuando nos ‘faders’ virtuais, é possível construir séries harmônicas e ajustando os tempos de ataque e decaimento, bem como adicionando efeitos pós mixagem, como ‘delay’, ‘reverberation’, ‘chorus’ e ‘flanger’, dentre outros, podemos sintetizar sons nunca experimentados antes.

No centro de todo este universo encontra-se o conceito fundamental de onda mecânica, cuja construção teórica, que se deu no século XVIII, subjaz ao inquietante questionamento que remonta, por sua vez, à Grécia antiga: por que algumas combinações de sons são mais agradáveis do que outras? Seu contexto de gênese esteve atrelado não só aos problemas naturais das vibrações dos corpos sonoros, confinado ao universo do que hoje chamamos de ciências físicas, mas também a problemas diretamente ligados à música, mais precisamente, aos princípios da harmonia musical. Contudo, parte expressiva dos professores de ciências naturais e, em particular, dos professores de física, continua alheia à história de tal desenvolvimento e o ensino da acústica continua confinado a um modo que se encerra no mundo físico e de suas tecnologias, desconsiderando as ligações com a biologia, psicologia, fisiologia, sociologia, medicina e música. Nos manuais de ensino de física, como veremos a seguir, não há sequer menção ao universo das experiências de tais campos do conhecimento humano que levaram ao desenvolvimento de tal ciência.

Numa pesquisa anterior [1], na qual objetivamos analisar a apresentação das ‘qualidades fisiológicas do som’ por textos didáticos do 9º ano do ensino fundamental e 2º ano do ensino médio, concluímos que tais conceitos são veiculados quase sempre de forma reducionista e distorcida. Tais distorções conceituais ocorrem sob vários aspectos, negligenciando, inclusive, a consideração dos aspectos fisiológicos e psicológicos. Da análise geral das características presentes nestes livros, destacamos algumas considerações que podem servir de referencial no desenvolvimento de materiais didáticos mais críticos, interativos e abertos à investigação de quem os utilizar.

a) Há uma forte abstração na apresentação dos conceitos, não havendo preocupação em contextualizar tais conteúdos com situações próximas da vivência dos estudantes. Passaria por

aí a necessidade de entrar-se no enorme universo das experiências musicais, que todos possuem em maior ou menor quantidade.

b) Os conceitos em questão são apresentados de uma forma superficial, considerando apenas os aspectos físicos envolvidos, negligenciando a riqueza presente no estudo da psicoacústica que poderia promover uma rara oportunidade de discussão das naturezas subjetiva e social dos padrões da harmonia musical.

c) Toda a história do caminho conjuntamente trilhado pela ciência e pela música, que poderia servir de base na construção de uma abordagem mais interdisciplinar, é substituída por uma abordagem árida, caracterizada por uma negligência quanto à precisão dos conceitos e por uma seqüência, quase que cegamente repetida por todos os textos, espelhando uma lógica aparentemente óbvia, que seria no mínimo, levada ao descrédito se tal conhecimento histórico fosse então evidenciado.

d) Há um uso excessivo de ilustrações, sendo maior nos livros do ensino médio. Contudo, tais ilustrações, ao invés de auxiliarem na elucidação dos textos escritos, servem apenas como adorno, cujo objetivo maior é tornar o texto mais atraente e colorido. Algumas vezes, tais ilustrações aparecem fora do contexto do texto escrito, ou passando mensagens cientificamente distorcidas. Não estamos aqui afirmando que o uso de ilustrações não seja importante. Tratar-se-ia de frisar a importância da utilização de ilustrações e gráficos que sejam pertinentes, que possam ser interpretados à luz das relações entre os conceitos físicos envolvidos, tais como os gráficos da intensidade física x intensidade fisiológica (figura 1) e frequência x altura (figura 2).

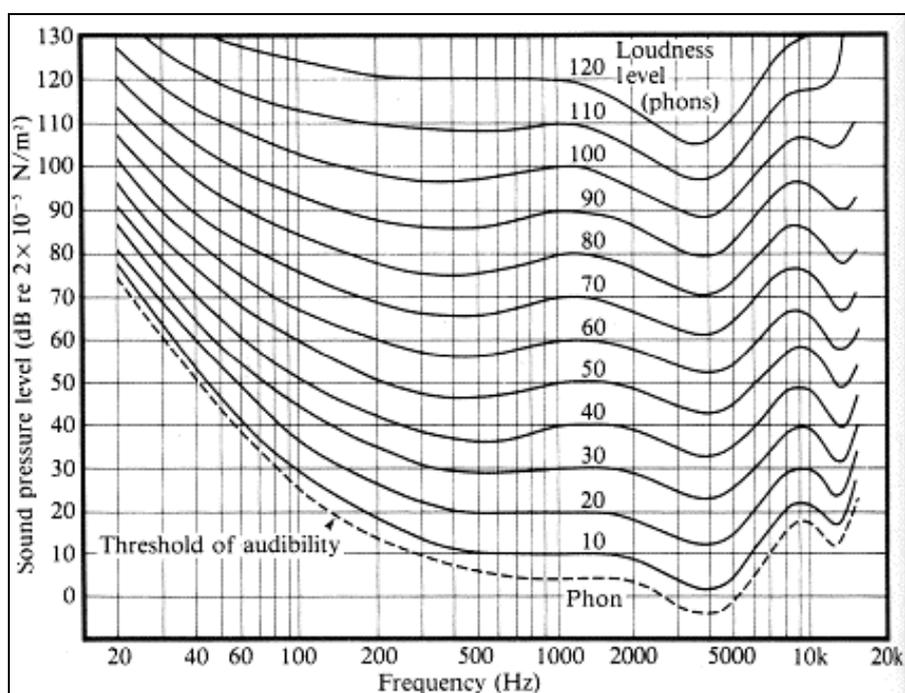


Figura 1: Curvas de igual intensidade fisiológica
(fonte: <http://www.phys.unsw.edu.au/jw/graphics/Fletcher-Munson.gif>)

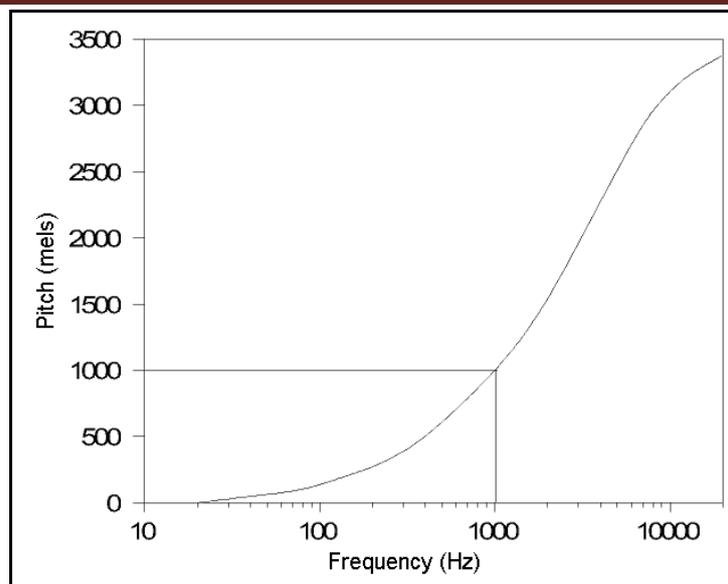


Figura 2: Altura x Frequência

(fonte: <http://clas.mq.edu.au/perception/psychoacoustics/graphics/figure02.gif>)

Segundo Cox [2],

"há obviamente dificuldades em planejar um livro texto conveniente para crianças numa larga faixa de habilidades. Como os conceitos são colocados em contexto, as palavras usadas e as ideias desenvolvidas, precisam levar em conta a idade, a habilidade e a compreensão de cada criança, mas nunca deveriam confundir a precisão científica". Em outras palavras, uma "síntese" não tem necessariamente que resultar numa "distorção".

Tais textos didáticos quando fazem uso de ligações com a música, o fazem de forma bastante superficial, limitando-se, quase sempre, a falar das cordas e tubos sonoros, das notas musicais e, quando muito, das escalas maior e menor natural. Contudo, discussões que a nosso ver são centrais como, por exemplo, a relação entre o padrão de intervalos de frequência da escala cromática e as progressões geométricas sequer é citada. A partir desta discussão entre matemática e música, poder-se-ia adentrar na construção das citadas escalas, seus padrões de intervalos e toda a lógica que subjaz à construção dos acordes, em direção às bases do estudo da harmonia musical [3] e de uma conceituação do timbre calcada nos conhecimentos físicos e musicais [4].

Com respeito às ligações entre acústica e o enfoque "Ciência, Tecnologia, Sociedade & Ambiente" CTSA¹ não há qualquer menção nos livros didáticos de física analisados, a não ser aquela que trata da poluição sonora, a qual aparece em vários textos analisados. Temas tais como 'música industrial', 'música eletrônica', 'sintetizadores', 'lutheria' e 'as novas tecnologias da música digital' são sequer citados. Muito embora o mundo da tecnologia MIDI², cuja presença é marcante em praticamente todos os estilos da expressão musical ocidental contemporânea, possua ligação direta com a física e a engenharia, não é sequer tratado em tais textos. De uma forma geral, não há qualquer relação das apresentações textuais com os diversos mundos com os quais a acústica, enquanto ciência, se relaciona,

¹ Nos últimos anos, as pesquisas em educação em ciências têm apontado para a importância de considerar as questões sócio-científicas na educação científica, onde o enfoque CTSA tem ganhado cada vez mais espaço na formação dos professores de ciências numa perspectiva crítica. [25, 27, 27].

² MIDI é a sigla para 'Musical Instruments Digital Interface', ou seja, interface digital para instrumentos musicais. Tal tecnologia permite a transferência e o controle de dados entre instrumentos musicais eletrônicos ou entre estes e computadores, oferecendo um vasto mundo de possibilidades na digitalização, edição e masterização, na criação e 'performance' musical [32, 33].

retratando um aparente descompasso entre tais livros e o mundo real. Muito embora os textos analisados sejam de edições anteriores a 1998, pouca coisa mudou de lá pra cá, conforme descrito neste artigo, no qual apresentamos uma análise dos seis livros didáticos de física do ensino médio que foram aprovados pelo PNLEM.

PLANO NACIONAL DO LIVRO DIDÁTICO PARA O ENSINO MÉDIO

A partir de 2006, os livros didáticos de física do ensino médio passaram a ser avaliados pelo “Fundo Nacional de Desenvolvimento da Educação – FNDE” (web site: www.fnde.gov.br), que é uma autarquia do Ministério da Educação que tem como missão prover recursos e executar ações para o desenvolvimento da educação, visando garantir ensino de qualidade a todos os brasileiros. Tal avaliação é realizada por meio do programa nacionalmente conhecido como Plano Nacional do Livro Didático do Ensino Médio – PNLEM. Tais livros passaram a ser aqueles recomendados pelo MEC para serem adotados nas escolas. O processo de avaliação e recomendação inicia-se com as inscrições das editoras, as quais apresentam suas obras para serem avaliadas. Tais obras passam por uma triagem técnica e física realizada pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas de São Paulo. Os livros que se enquadram no padrão de qualidade física são então enviados para a Secretaria de Educação Básica do MEC, onde é feita a avaliação pedagógica por especialistas. Para cada livro avaliado é feita uma resenha por parte dos especialistas, baseada na ‘ficha de avaliação’ padrão que é utilizada para a análise de todas as obras [5]. Finalmente, os livros selecionados passam a compor o catálogo do PNLEM daquela disciplina, onde podemos encontrar a resenha de cada livro, bem como o modelo do questionário guia. Os professores e diretores de cada escola da rede pública fazem a escolha dentre os livros aprovados para cada disciplina. Tais textos escolhidos são então adquiridos pelo MEC e enviados para a escola. No caso da física, o processo de seleção ocorreu em 2006 e os livros aprovados puderam ser adquiridos e distribuídos nas escolas públicas pelo MEC para utilização de alunos e professores no ano letivo de 2009. Dentre as obras de física submetidas à avaliação, foram aprovadas e recomendadas seis obras, quais sejam: “universo da Física” [6], “Física – Ciência e Tecnologia” [7], “Física” [8], “Universo da Física – Volume Único” [9], “Física” [10] e “Física” [11].

A avaliação dos livros didáticos segue pressupostos, dentre os quais, que o texto possa suscitar experiências educacionais significativas, diversificadas e alinhadas com a sociedade em que alunos e professores encontram-se inseridos e que os conteúdos e procedimentos estejam atualizados e compatíveis com os saberes de referência. Noutras palavras, os diversos conteúdos da física devem ser apresentados dentro de contextos reais, o que poderia suscitar reflexões em torno de propostas interdisciplinares, uma vez que a realidade não é disciplinar, nem tampouco amorfa. O conhecimento nasce da realidade e a ela se reporta. Assim, sendo esta o próprio contexto de gênese das teorias científicas, parece razoável afirmar que tais contextos de gênese das ideias científicas são holísticos e multifacetados. As visões disciplinares são apenas faces de uma mesma realidade que é na sua essência complexa, multidisciplinar. Daí, qualquer tentativa de um ensino ligado às ‘coisas’ do cotidiano requer uma análise de transpassa o universo disciplinar da física, adentrando inclusive no mundo das ciências humanas, biológicas e sociais, quando falamos, por exemplo, em física e cultura [12]. A ficha de avaliação utilizada pelos especialistas na análise dos livros didáticos de física [5] é composta de 58 questões, distribuídas da seguinte forma:

Tabela 1: Critérios adotados na ficha de avaliação

CRITÉRIOS	ASPECTOS	QUESTÕES
B - Eliminatórios	B1 – correção conceitual	1 a 2
	B2 – pedagógicos e metodológicos	3 a 6
	B3 – sobre a construção do conhecimento científico	7 a 11
	B4 – sobre a construção da cidadania	12 a 15
C - Qualificação	C1 – correção conceitual e compreensão	16 a 20
	C2 – pedagógicos e metodológicos	21 a 29
	C3 – sobre a construção do conhecimento científico	30 a 37
	C4 – sobre a construção da cidadania	38 a 41
	C5 – sobre o livro do professor	42 a 50
	C6 – gráficos e editoriais	51 a 58

No critério eliminatório, o avaliador responde cada questão com ‘sim’ ou ‘não’ e justifica textualmente sua resposta. Neste critério, questões sobre erros conceituais e textuais, bem inadequação metodológica são observadas, podendo resultar na eliminação da obra. No critério de qualificação, os mesmos aspectos do critério eliminatório são observados, além da análise do livro do professor e da estrutura gráfica e editorial. Neste critério, o avaliador atribui e justifica, para cada questão, o conceito ‘ótimo’, ‘bom’, ‘regular’ ou ‘insatisfatório’. É com base na ponderação dos resultados dos critérios B e C atribuídos pelos especialistas de uma mesma disciplina que é construída a resenha de cada livro avaliado. Tal resenha, por sua vez, servirá de base para os professores e diretores escolherem o livro a ser adotado na sua escola.

ANÁLISE DOS LIVROS DIDÁTICOS

Dentre os diversos critérios de qualificação observados na ficha de avaliação dos livros didáticos de física [5], centramos a atenção em sete deles, aos quais se reportaram as quatro categorias de análise que utilizamos na avaliação do capítulo de acústica:

Tabela 2: Critérios de qualificação e categorias de análise

CRITÉRIOS DE QUALIFICAÇÃO	CATEGORIA DE ANÁLISE
“Apresentação do conhecimento científico de forma contextualizada, fazendo uso adequado dos conhecimentos prévios e das experiências culturais dos alunos, sem tratá-los de maneira pejorativa ou desrespeitosa.” (item 21 da ficha de avaliação). Neste sentido, o “uso dos conhecimentos prévios e das experiências culturais dos alunos como ponto de partida para a aprendizagem.” deve ser considerado (item 22 da ficha de avaliação). Em particular, os textos devem considerar a “apresentação de conteúdos relacionados a contextos próprios da realidade brasileira.” (item 24 da ficha de avaliação). “Estímulo ao uso do conhecimento científico como elemento para a compreensão dos problemas contemporâneos, para a tomada de decisões e a inserção dos alunos em sua realidade social.” (item 36 da ficha de avaliação). Neste sentido, os livros didáticos devem contemplar a “proposição de discussões sobre as relações entre Ciência, Tecnologia e Sociedade, dando elementos para a formação de um cidadão capaz de apreciar criticamente e posicionar-se diante das contribuições e dos impactos da Ciência e da Tecnologia sobre a vida social e individual.” (item 37 da ficha de avaliação).	Contextualização do conteúdo e relações CTSA
“Criação de condições para aprendizagem de ciências, particularmente da Física, como processo de produção cultural do conhecimento, valorizando a história e a filosofia das ciências.” (item 31 da ficha de avaliação).	Uso da história e filosofia
“Tratamento conceitual apropriado, atualizado e correto predomina na obra.” (item 16 da ficha de avaliação).	Precisão conceitual

A tabela 3 apresenta o resumo comparativo da análise dos textos didáticos com bases nas categorias de análise eleitas acima. O texto “Física” [11] não possui nenhum capítulo ou seção dedicado ao estudo do som e, portanto, foi excluído da análise. Por outro lado, uma vez que os textos “Universo da Física 3” [6] e “Universo da Física volume único” [9] são dos mesmos autores e guardam grande semelhança em suas apresentações do citado capítulo, optamos por analisar apenas o volume único [9]. Nesta tabela, incluímos ainda uma categoria de análise que denominamos “paisagens sonoras” e cujo foco foi o de investigar se nos livros didáticos analisados houve a utilização de paisagens sonoras como forma de contextualização na apresentação do conteúdo em questão.

Tabela 3: Categorias de análise dos livros didáticos de física

Categorias de análise	Livros didáticos de física analisados			
	Penteado & Torres Volume 2	Luz & Álvares Volume 2	Sampaio & Calçada Volume 3	Gaspar Volume único
Contextualização do conteúdo e relações CTSA	EM PARTE	EM PARTE	NÃO	EM PARTE
Uso da história e filosofia	EM PARTE	EM PARTE	NÃO	NÃO
Precisão conceitual	EM PARTE	EM PARTE	SIM	EM PARTE
Paisagens sonoras	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO

O texto de penteado & Torres inicia a apresentação na seção 7 do capítulo 3, intitulada ‘ondas sonoras’, definindo o som como uma onda mecânica longitudinal. Em seguida, compara as características das ondas transversais às das ondas longitudinais, exemplificando com o padrão de compressões e rarefações geradas pela vibração da ‘pele’ de um tambor, propondo, em seguida, a construção de um aparato experimental para visualizar as vibrações de uma onda sonora. Em seguida, faz um interessante resumo da história da medição da velocidade do som, apresentando uma tabela de tal velocidade medida em diversos meios sólidos, líquidos e gasosos. Na sequência, apresenta um esquema do funcionamento do sistema auditivo, apresentando a relação entre frequência & altura e intensidade & volume, exemplificando com a aplicação tecnológica do exame de ultra-som e com um quadro comparativo de alguns sons do cotidiano e seus níveis de intensidade sonora.

A seção 8, intitulada ‘sons musicais’, inicia-se com a diferenciação entre som e ruído, seguida da apresentação da escala maior de dó, diagramada num teclado, com suas respectivas frequências. Na sequência, apresenta o conceito de timbre, exemplificando com as curvas de timbre representativas do diapasão, violão e violão sintetizado. Em seguida, define a ressonância como uma propriedade importante dos sistemas vibrantes, oferecendo alguns exemplos. No fim da seção, apresenta dois sistemas vibrantes, a saber, as cordas e os tubos sonoros, exemplificando com diversos instrumentos musicais.

Muito embora a apresentação do livro em análise seja bastante ilustrada e repleta de exemplos, merece algumas ressalvas com respeito às categorias de análise em questão. A primeira diz respeito ao uso da história. Muito embora como dito acima, tenha feito um interessante relato sobre a história da medição da velocidade do som, um pouco antes deste relato, ao apresentar a proposta de montagem do aparato experimental discutido acima, não faz menção alguma de tratar-se de uma reconstrução simplificada de um aparato histórico, denominado ‘phonodeik’ e inventado pelo físico Dayton Clarence Miller em 1916, com o intuito de visualizar as ondas sonoras [13]. Seria, na verdade, uma ótima oportunidade de discutir o desenvolvimento histórico dos mecanismos de registro do som que levou ao aparecimento do osciloscópio, ligando de uma forma crítica, ciência, história e tecnologia, onde os interesses econômicos jogaram um papel importante.

Com respeito à contextualização e relações CTSA, encontramos ao longo do texto diversas ligações com o cotidiano, como, por exemplo, na apresentação dos instrumentos musicais. Dentre tais ligações, muitas delas procuram utilizar-se de conhecimentos prévios que as pessoas em geral possuem. Contudo, não nenhuma menção a temas controversos em música, cultura e CTSA.

Finalmente, no que tange à precisão conceitual, encontramos alguns pontos que merecem ser revisados. Logo no início, ao falar das ondas longitudinais, os autores exemplificam com a vibração de um tambor e utilizam a seguinte figura. Como podemos ver, a figura passa uma ideia equivocada de que a propagação do som produzido no tambor é unidimensional e em um só sentido, quando, na verdade, tratar-se-ia de uma propagação tridimensional.

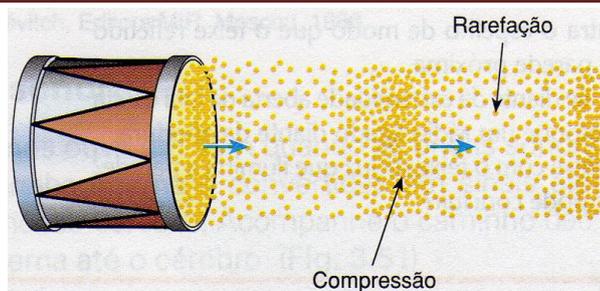


Figura 3: Vibração de um tambor [7, p. 127]

Na página 130, ao falar da altura de um som, os autores afirmam que “sons com frequência abaixo de 20 Hz são denominados infra-sons, e os sons com frequência acima de 20.000 Hz são chamados de ultra-sons”, quando, precisamente, deveria afirmar que as ondas mecânicas com frequência abaixo de 20 Hz são denominadas infra-sons, e as ondas mecânicas com frequência acima de 20.000 Hz são chamadas de ultra-sons.

Na seção 8, ao referir-se à gama de dó, os autores esquecem de dizer que a oitava, que é o intervalo musical no qual a relação entre as frequências é 2/1, subjaz à construção da escala temperada (escala cromática) que compreende a divisão da oitava em doze partes (13 notas) numa progressão geométrica de razão $\sqrt[12]{2}$. Na verdade, a décima terceira nota da escala temperada é a nota cujo intervalo é o de oitava, sendo a mesma nota musical da primeira. A partir desta escala, são construídas as escalas da música ocidental, inclusive a maior, apresentada no livro.

Na página 141, ao falar da ressonância e das cordas vibrantes, o autor afirma que “quando a corda de um instrumento musical é colocada em estado de vibração, esta se transmite para o ar nas vizinhanças da corda, e uma onda sonora, com frequência igual à da vibração da corda, é originada”. Muito embora isto seja correto, não é, majoritariamente, por esta transferência da perturbação da corda para o ar que ouvimos o som do instrumento, pois tal transferência é pouco eficiente, uma vez que as cordas são relativamente finas. Os instrumentos de cordas possuem caixas ressonantes com tampos cujas áreas são estupidamente maiores que a da corda, otimizando tal transferência. Sem tais caixas ressonantes os sons emitidos por tais instrumentos seriam quase inaudíveis. Ao contrário do que os autores afirmam, a transferência da vibração da corda para a caixa ressonante do violão se dá pelo cavalete, peça de madeira colada no tampo superior, onde as cordas são fixadas.

O texto dos autores Luz & Álvares [8] trata do assunto em questão no capítulo 16 e apêndice D do volume 2. Inicia a apresentação definindo o que é o som, o infra-som e o ultra-som. Na sequência, discute velocidade, intensidade e altura de do som e faz uma apresentação bastante detalhada do conceito de timbre, enveredando na análise da fala, do aparelho fonador e do aparelho auditivo humano. No apêndice D apresenta os modelos físicos da corda vibrante e dos tubos sonoros, encerrando com um breve excerto sobre os instrumentos de percussão.

Analisando a contextualização na apresentação do conteúdo, encontramos diversas discussões conceituais utilizando instrumentos musicais (violão, piano, harpa, flauta, etc.), aparatos experimentais em acústica (aparato de Boyle, lâminas vibrantes), aplicações tecnológicas (sonar submarino), tabelas com dados numéricos (faixa de frequências audíveis para alguns animais, níveis de intensidade sonora), ligações com as ciências biológicas (aparelho auditivo, aparelho fonador, navegação do morcego). Propõe ainda interessantes atividades experimentais utilizando molas, pêndulos, utensílios do lar, bem como a construção de artefatos para o estudo da acústica como, por exemplo, um protótipo de um telefone e um monocórdio. Contudo, também não encontramos neste livro nenhuma ligação que dissesse

respeito a temas controversos ligados à acústica física e musical, como os que foram utilizados nesta pesquisa.

No que diz respeito ao uso da história da ciência, há apenas dois ‘links’. Tais inserções históricas, contudo, servem apenas como ilustrações, ‘links’ factuais que buscam muito mais mostrar ‘curiosidades’ que pouco contribuem para uma aprendizagem crítica. A primeira diz respeito à medição da velocidade do som realizada por cientistas do século XVII, na qual os autores afirmam que foi utilizado um canhão como fonte sonora e que este se encontrava a uma distância de 20 km de quem mediu o tempo em que o som do tiro do canhão percorreu a citada distância. Contudo, segundo Lindsay [14, p. 635], tal experimento com o canhão só foi realizado em 1738 (século XVIII e não XVII), provavelmente, sob a direção da academia de ciências de Paris, tendo encontrado o valor de 332 m/s para a velocidade do som naquelas condições atmosféricas. A segunda inserção aparece como um quadro à parte do texto principal que traz um breve comentário sobre Alexander Graham Bell, no qual os autores afirmam que era um cientista inglês, quando, na verdade, Bell nasceu em Edimburgo, Escócia³, a 3 de março de 1847. É interessante frisar que tal deslize está presente desde a edição de 1993.

Dentre as contextualizações utilizadas pelos autores, há pelo menos duas que são reconstruções de aparatos históricos. Na primeira, quando apresentam um esquema simplificado do balão de vácuo, não fazem menção alguma de que tal aparato consiste numa reconstrução de um aparato experimental desenvolvido por Boyle para o estudo da dependência de um meio material para a propagação do som. Na segunda, ao proporem uma montagem simplificada do monocórdio, não fazem menção de que tal aparato foi central no desenvolvimento das pesquisas em acústica e que está presente na história da acústica desde os registros pitagóricos [15].

Quanto à precisão conceitual, encontramos algumas imprecisões que merecem ser revisadas por parte dos autores. É interessante ressaltar que algumas destas persistem desde a análise que fizemos do presente texto em 1998, sendo, no caso, sua 1ª edição, de 1993. Por exemplo, na seção relativa ao estudo do timbre, os autores afirmam que

“Se tocarmos uma certa nota de um piano e se esta mesma nota (mesma frequência) for emitida, com a mesma intensidade, por um violino, seremos capazes de distinguir uma da outra, isto é, sabemos dizer claramente qual a nota que foi emitida pelo piano e qual foi emitida pelo violino. Dizemos, então, que estas notas têm timbres diferentes. Isto acontece porque a nota emitida pelo piano é o resultado da vibração não só da corda acionada, mas também de várias outras partes do piano (madeira, colunas de ar, outras cordas, etc.) que vibram juntamente com ela. Assim, a onda sonora emitida terá uma forma própria, característica do piano. De modo semelhante, a onda emitida pelo violino é o resultado de vibrações características deste instrumento e, por isto, apresenta uma forma diferente da onda emitida pelo piano. Na fig. 16-39 mostramos, em (a), a forma resultante de uma onda sonora, cuja frequência é 440 Hertz, emitida por um violino e, em (b), a mesma nota (440 Hertz) emitida pelo piano. Então, sons de mesma frequência, mas de timbres diferentes, correspondem a ondas sonoras cujas formas são diferentes. Portanto, podemos dizer que nosso ouvido é capaz de distinguir dois sons, de mesma frequência e mesma intensidade, desde que as formas das ondas sonoras correspondentes a estes sons sejam diferentes. Dizemos que os dois sons têm timbres diferentes”.

Esta transcrição deixa transparecer, muito embora não esteja explícito, que parece tratar-se de uma composição de um tom de frequência única (tom puro) produzido pela fonte (corda do

³ Muito embora a Escócia faça parte do Reino Unido, quem lá nasce é escocês ou ainda britânico, quando se faz referência à Escócia como membro do Reino Unido.

instrumento, por exemplo) e de outros tons produzidos pelas outras partes do instrumento, resultando numa forma de onda diferente para cada fonte sonora. Contudo, isto está em desacordo com a explicação científica para o timbre dos instrumentos musicais, na qual tanto o modo fundamental como a série harmônica que o acompanha são produzidos na fonte sonora, estando reservadas às cavidades ressonantes a amplificação e a duração dos sons produzidos pelas fontes [16, p. 150-206]. Assim, as outras partes do instrumento servem como ressonadores para os tons produzidos pela fonte vibrante, variando, assim, suas intensidades.

O texto universo da física [9] apresenta o estudo das ondas mecânicas no capítulo 17. Tal apresentação, contudo, se dá de uma forma bem mais resumida do que aquela da edição de 1985. Enquanto nesta edição mais antiga os autores trazem uma seção que discute as qualidades fisiológicas do som, bem como algumas ligações com a música, a presente edição resume sua apresentação discussão aos conceitos fundamentais das ondas. Iniciando com uma discussão sobre as oscilações e o movimento harmônico simples, introduz, na sequência, o conceito de onda mecânica, pulso, trem de ondas, bem suas propriedades, quais sejam reflexão, refração, difração e polarização, encerrando com o estudo da ressonância e do efeito Doppler.

Durante todo o capítulo não há sequer qualquer uso da história da ciência na apresentação do conteúdo, nem ao menos excertos históricos ilustrativos como os encontrados nos outros livros didáticos analisados. No final do capítulo, ao discutir o fenômeno da ressonância, se utiliza do acontecimento histórico do colapso da ponte pênsil de Tacoma Narrows, ocorrido em 1940 no estado de Washington, Estados Unidos. Muito embora tal fato tenha se tornado num marco histórico de uma catástrofe ocorrida por conta da ação da ressonância sobre uma construção civil, não se constitui num exemplo do uso da história da ciência no ensino, conforme defendem os especialistas da área, ao considerarem que a história não deve se resumir a inserções factuais, mas, ao invés disto, considerar os contextos cultural, histórico e moral no desenvolvimento das teorias científicas⁴ [28, 29, 30, 31].

Com respeito às ligações CTSA, não encontramos no citado capítulo qualquer ligação dos conteúdos apresentados com artefatos tecnológicos ou ainda com fatos sociais ou econômicos. Contudo, na apresentação do efeito Doppler, os autores fazem um breve excerto sobre notas musicais com o intuito de construir uma relação entre o conceito de frequência e o de altura de um som para, a partir daí, fazer referência à mudança da altura de um som, dada pelo movimento relativo entre a fonte sonora e um o ouvinte. Contudo, tal apresentação parece truncada, não havendo uma discussão mais detalhada da natureza física do som, suas qualidades fisiológicas, nem tampouco das ligações entre os conceitos físicos e aqueles da acústica musical. Utiliza conceitos como altura fisiológica, escala musical sem, contudo, defini-los. Nesta seção, os autores utilizam ainda uma ilustração composta de uma partitura da serenata de Schubert que em nada se relaciona com o assunto discutido nem auxilia em nada na sua compreensão.

O texto “Física – Volume Único” [10] dedica o capítulo 24 ao estudo do som. Inicia sua apresentação discutindo a natureza física do som, classificando-o como uma onda tridimensional e longitudinal. Na sequência, apresenta uma análise biofísica do aparelho auditivo, em direção ao estudo das propriedades fisiológicas do som. Na terceira seção, apresenta as propriedades ondulatórias do som, quais sejam reflexão, refração, difração e

⁴ Para um estudo mais abrangente sobre o uso da história da ciência no ensino, há, além de uma extensa publicação nos principais periódicos da área de educação em ciências do Brasil, um periódico da PUC/SP, intitulado “História da Ciência e Ensino: Construindo Interfaces”, ISSN 2178-2911, cujo escopo está voltado para este tema.

interferência. Na segunda parte do citado capítulo trata do estudo das fontes sonoras, dos instrumentos musicais de corda, dos instrumentos musicais de sopro e de um estudo básico das escalas musicais. No final do capítulo, aparece ainda um breve excerto sobre os instrumentos de percussão, não havendo, neste caso, o aprofundamento emprestado aos outros acima citados.

Com respeito ao uso da história da ciência, não há qualquer registro em todo o capítulo, muito embora alguns instrumentos e aparatos experimentais utilizados pelo autor sejam reconstruções de aparatos históricos. Dentre estes, podemos citar o monocórdio e sirene de Seebeck (p. 240).

Quanto à precisão conceitual, há alguns deslizes que merecem revisão. Logo no início do capítulo, na página 237, na seção intitulada “Biofísica: o aparelho auditivo”, o autor, ao falar da estrutura e das funções das partes deste sistema, afirma que

“Quando um som de determinada frequência atinge o ouvido, suas vibrações, captadas no ouvido externo, são transmitidas pelo tímpano aos três ossinhos, que as comunicam ao ouvido interno. Neste, as vibrações são amplificadas 30 a 60 vezes pela janela oval, que produz vibrações no líquido contido no labirinto membranoso.”.

A importância do ouvido médio é bem maior do que a citada pelo autor. Além de transmitir as vibrações do ouvido externo para o interno, possui ainda as funções de amplificar tais vibrações e de impedir que sons abruptos, de grande intensidade, alcancem a estrutura interna do ouvido. Diferentemente do que afirma o autor, a amplificação não se dá no ouvido interno, mas, de um lado, no mecanismo de alavanca dos ossículos que produz uma vantagem mecânica e, de outro, na diferença entre as áreas do tímpano e da janela oval, conforme figura abaixo.

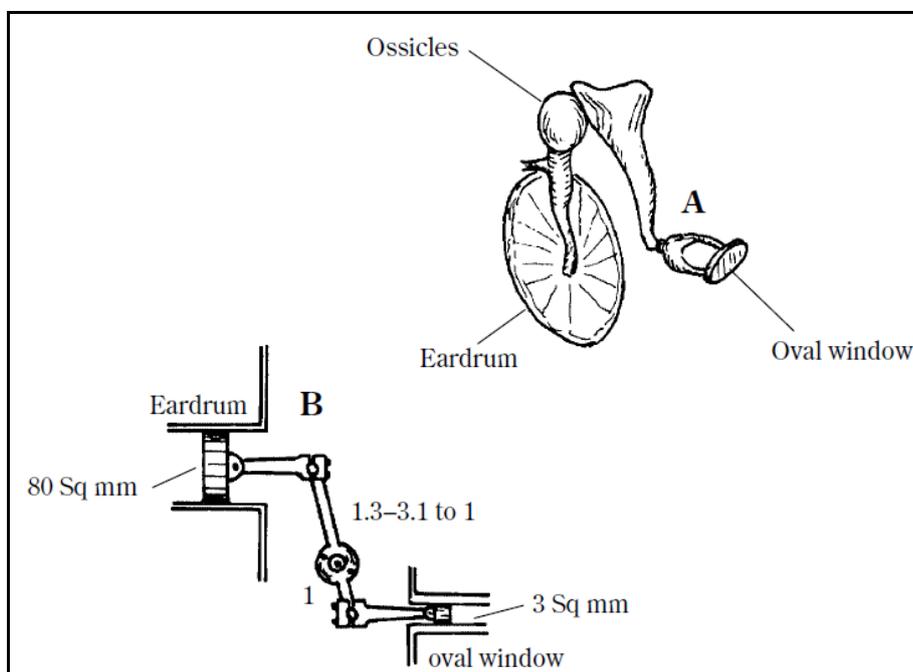


Figura 4: Esquema biomecânico de funcionamento do ouvido médio [17]

Como podemos ver na parte inferior da figura, a razão entre os braços de alavanca varia de $\frac{1,3}{1}$ até $\frac{3,1}{1}$. Por outro lado, a razão entre as áreas do tímpano e ouvido interno é de

$\frac{80 \text{ mm}^2}{3 \text{ mm}^2} \cong 26,7$. Portanto, a vantagem total seria o produto destas duas grandezas, ou seja, a amplificação da vibração variaria de 34,71 a 82,77 vezes o sinal de entrada, o que resulta numa faixa de variação bem maior do que a informada no texto.

Segundo Rossing [18, p. 67], outra função dos ossículos é a de proteger o ouvido interno de ruídos muito intensos e mudanças súbitas de pressão. Quando um som de grande intensidade atinge o ouvido, ativa dois conjuntos de músculos. Um deles estica o tímpano e o outro puxa o estribo, desfazendo a transmissão entre o tímpano e a janela oval. Esta resposta a sons abruptos é chamada reflexo acústico. Além destas duas funções, há no ouvido médio a trompa de Eustáquio (tuba auditiva no texto analisado), que possui a função de equilibrar as pressões interna e externa, permitindo a livre oscilação do tímpano.

Na página 241, quando o autor descreve as escalas musicais, inicia a apresentação afirmando que “a cada frequência corresponde um tom musical”, quando, na verdade, a cada frequência corresponde um tom puro (frequência única). Os tons musicais são, na verdade, complexos. As notas emitidas por instrumentos musicais são compostas por séries harmônicas que sofrem variações temporais fundamentais na construção das suas características timbrais. Na sequência, afirma que “poucas são as frequências que nos agradam e menor ainda o número de sequências de tons musicais que aceitamos ou utilizamos para compor música”, o que consiste numa incorreção, pois não são as frequências que agradam ou desagradam, mas a relação entre as frequências, ou seja, o grau de consonância ou dissonância. A arte de compor música passa muito pela sensibilidade do músico em ‘jogar’ com a tensão/dissonância e a resolução/consonância. A própria construção dos acordes e seus empréstimos harmônicos passam por esta busca de uma música que mexa com quem ouve. Segundo Roederer [16, p. 33],

“A mistura tão característica de padrões regulares e ordenados alternados com surpresa e incerteza, comum a toda entrada sensorial classificada como ‘estética’, pode ser essencialmente uma manifestação inata do homem de exercitar a sua rede neural super-redundante com operações de processamento de informações não-essenciais de complexidade variável ou alternante.”.

Ainda na mesma seção, o autor, ao definir o intervalo de oitava, afirma que “é o intervalo entre dois tons, em que o mais alto tem aproximadamente o dobro da frequência do mais baixo”, e não exatamente o dobro. Em música, diz-se que quando duas notas estão separadas por um intervalo de oitava, elas são iguais, e toda escala musical começa e termina na mesma nota musical, separada por um intervalo de oitava, ou seja, começa com uma nota de frequência f e termina com a mesma nota, agora com frequência $2f$. Podemos, então, dizer que a estrutura harmônica ocidental moderna é baseada neste padrão de intervalos, conhecido como escala temperada, ou escala cromática. A escala cromática possui treze notas. A décima terceira é chamada oitava, a mesma nota musical da primeira, agora com o dobro da frequência, ou seja, a oitava é o intervalo de altura entre duas notas em que uma delas possui o dobro da frequência da outra. Assim, para construirmos a escala cromática, dividimos o intervalo de oitava em 12 partes (são 13 notas e, conseqüentemente, 12 intervalos), criando, então, doze intervalos de mesma altura, chamados semitons. Assim, a frequência de cada nota da escala cromática será $\sqrt[12]{2}$ vezes maior que a sua anterior, caracterizando, desta forma, uma progressão geométrica de razão igual a $\sqrt[12]{2}$. A tabela a seguir mostra a escala cromática iniciando-se no ‘Lá’ central do piano (A_0 - $f=220\text{Hz}$).

Tabela 4: Escala cromática em Lá

NOTA	SÍMBOLO	TERMOS DA P.G. $a_n = 220 \cdot \left(\sqrt[2]{2}\right)^{(n-1)}$	FREQUÊNCIA (Hz)	NOME DO INTERVALO
Lá	A	$a_1 = 220$	220	Unísono
Lá suspenso/ Si bemol	A#/Bb	$a_2 = 220 \cdot \sqrt[2]{2} = 233,081880...$	233	Segunda menor
Si	B	$a_3 = 220 \cdot \sqrt[2]{2}^2 = 246,941650...$	247	Segunda maior
Dó	C	$a_4 = 220 \cdot \sqrt[2]{2}^3 = 261,625565...$	262	Terça menor
Dó suspenso/ Ré bemol	C#/Db	$a_5 = 220 \cdot \sqrt[2]{2}^4 = 277,182630...$	277	Terça maior
Ré	D	$a_6 = 220 \cdot \sqrt[2]{2}^5 = 293,664767...$	294	Quarta justa
Ré suspenso/ Mi bemol	D#/Eb	$a_7 = 220 \cdot \sqrt[2]{2}^6 = 311,126983...$	311	Quarta aumentada/ Quinta diminuta
Mi	E	$a_8 = 220 \cdot \sqrt[2]{2}^7 = 329,627556...$	330	Quinta justa
Fá	F	$a_9 = 220 \cdot \sqrt[2]{2}^8 = 349,228231...$	349	Quinta aumentada/ Sexta menor
Fá suspenso/ Sol bemol	F#/Gb	$a_{10} = 220 \cdot \sqrt[2]{2}^9 = 369,994422...$	370	Sexta maior/ Sétima diminuta
Sol	G	$a_{11} = 220 \cdot \sqrt[2]{2}^{10} = 391,995435...$	392	Sétima menor
Sol suspenso/Lá bemol	G#/Ab	$a_{12} = 220 \cdot \sqrt[2]{2}^{11} = 415,304697...$	415	Sétima maior
Lá	A	$a_{13} = 220 \cdot \sqrt[2]{2}^{12} = 440$	440	Oitava

Podemos observar na tabela que o padrão de intervalos é definido a partir da razão entre as frequências da 13ª e da 1ª nota. Logo, o intervalo de oitava é exatamente 2. A partir deste são calculados, e não medidos, os valores das frequências das outras notas musicais.

Muito embora esta escala cromática defina o padrão de intervalos a partir do qual são construídas as escalas musicais ocidentais, das quais as mais utilizadas são a maior e a menor natural, nem sempre foi assim. Antes desta divisão da escala em 12 intervalos iguais, houve diversas escalas musicais, com os mais diversos padrões de divisão, constituindo-se numa intrigante e belíssima face da história da acústica [19-20-21-22-23-24].

A figura abaixo, retirada do texto em questão (p. 241), sugere equivocadamente que a oitava inicia numa nota e termina na 12ª, e não na 13ª, resultando numa razão diferente de 2, conforme sugerido pelo autor. Observe que o intervalo de oitava seria $\frac{Dó_2}{Dó_1} = \frac{523,4}{261,7} = 2$ e não

$\frac{Si}{Dó_1} = \frac{493,9}{261,7} = 1,89$. Na verdade todo o quadro da citada página, intitulado “Aprofundamento: Escalas Musicais” parece equivocado.

Na tabela a seguir mostramos as freqüências de uma oitava da escala cromática em valores decimais, adotando o lá a freqüência de 440,0 Hz.

Nota	dó	dó #	ré	ré #	mi	fá	fá #	sol	sol #	lá	lá #	si
f(Hz)	261,7	277,2	293,7	311,2	329,7	349,2	370,0	392,0	415,3	440,0	466,2	493,9

Figura 3: Esquema da escala cromática do texto “Física – Volume Único” [10]

Na sequência, ao falar das cordas vibrantes, o autor afirma que “quando um intérprete toca uma corda, ela assume, espontaneamente, uma ou mais configurações de ondas estacionárias. Na verdade, não há uma espontaneidade. O que determina os harmônicos que vão se estabelecer é a forma como a corda é percutida e o local onde ocorre a percussão. Por outro lado, ao abordar o comportamento físico dos tubos sonoros e discutir os princípios de funcionamento dos instrumentos de sopro (p. 243), afirma que os instrumentos de sopro possuem furos que equivalem a extremidades abertas. Daí, “o mesmo tubo pode reforçar inúmeras freqüências diferentes e produzir diversos acordes.”, quando, ao certo, seriam diversas notas musicais, pois os instrumentos de sopro são melódicos e não harmônicos. Mais à frente, o autor se utiliza de uma fotografia de um conjunto de tubos sonoros (chamado pelo autor de “harpa de ar”), pertencente ao museu de ciências Tecnorama, localizado no município de Águas de Lindóia/SP, composto de 9 tubos, cortados com comprimentos que aumentam numa progressão aritmética. No texto, o autor se utiliza de tal instrumento para exemplificar a construção de uma escala musical. Na verdade, não há nenhuma escala cujas freqüências cresçam numa progressão aritmética, constituindo-se num instrumento de construção extremamente grosseira e equivocada, retratando um total desconhecimento das bases matemáticas subjacentes à construção das escalas musicais ocidentais [3]. É interessante frisar que tal instrumento está no citado museu há mais de dez anos, tendo, provavelmente, sido visto por uma enorme quantidade de colegas professores de física. Obviamente, um conjunto de tubos que reproduzisse a escala cromática, por exemplo, teria que ter treze tubos, cujos comprimentos diminuíssem numa progressão cuja razão seria $\sqrt[12]{2}$. Para, a partir destes, reproduzir as escalas maior e menor natural, teria que selecionar, respectivamente os 1º, 3º, 5º, 6º, 8º, 10º, 12º e 13º tubos e 1º, 3º, 4º, 6º, 8º, 9º, 11º e 13º tubos.

No que diz respeito às ligações CTSA, encontramos, no capítulo analisado, apenas duas menções às tecnologias associadas ao estudo do som. Numa delas, o autor discute os princípios da ultra-sonografia e na outra, utiliza-se dos princípios físicos de funcionamento do sonar num exercício de aplicação. Na seção 4 (p. 239), intitulada “Música”, o autor tem uma ótima oportunidade de discutir um tema que ao nosso ver é bastante controverso: música, tecnologia e arte. No entanto, ao invés de expor a trama entre arte, ciência e tecnologia, característica da produção musical moderna, limita-se ao equívoco de afirmar que música tecnológica é a “produção de instrumentos e equipamentos sonoros” e artística, a “composição e criação”. Contudo, há, ao longo do texto, alguns interessantes quadros provocativos, que convidam o leitor à reflexão. Dentre estes, destacamos o que fala sobre o berimbau (p. 241).

Enfim, podemos sintetizar a análise apresentada acima caracterizando os quatro textos analisados da seguinte forma:

- i. Quanto à contextualização do conteúdo e relações CTSA todos os livros analisados resumem as aplicações às tecnologias cuja ciência da acústica se encontra na base, tais como o sonar [8-10] e a ultra-sonografia [10-7]. Contudo, nenhum dos textos analisados incluiu discussões de temas controversos e ou culturais como os propostos nesta pesquisa.
- ii. Quanto ao uso da história e filosofia da ciência, os textos o fazem de forma factual, ilustrativa, que serve apenas como excertos históricos ‘interessantes’ que pouco contribuem para o entendimento da natureza da construção do conhecimento científico e para o desenvolvimento de uma consciência crítica da relação CTSA.
- iii. Quanto à precisão conceitual, observamos que todos os livros analisados apresentam ‘deslizes’ conceituais, principalmente quando se lançam nas ligações entre acústica física e acústica musical. Com respeito às apresentações textuais do conceito de timbre, todos os textos analisados revelam e debruçam-se apenas nas chamadas características estáticas do citado conceito, ou seja, aquelas que dizem respeito apenas às grandezas físicas envolvidas.
- iv. Quanto à utilização de paisagens sonoras, não encontramos em nenhum dos textos analisados qualquer análise de paisagens sonoras inseridas em contextos sociais ou históricos, nem tampouco qualquer reflexão acerca das transformações sofridas por tais paisagens sonoras, urbanas ou rurais, e suas relações com CTSA.

Como vimos acima, apesar de todo um esforço institucional na busca por uma melhora do livro didático oferecido aos estudantes de nível médio, ainda há falhas a serem corrigidas, conceitos a serem melhorados e inserções históricas que realmente revelem a natureza humana da construção da ciência e suas imbricações sociais, políticas e econômicas. Apresentações textuais que levem os estudantes a refletirem sobre os problemas do seu tempo, de sua sociedade.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. MONTEIRO JÚNIOR, F. N., MEDEIROS, A. J. G. **Distorções conceituais dos atributos do som presentes nas sínteses dos textos didáticos: aspectos físicos e fisiológicos.** Ciência & Educação, Bauru/SP, v. 5, n. 2, p. 1-14. 1998.
2. COX, R. A. **Is it naive to expect school science books to be accurate?** School Science Review, v. 78, n. 282, p. 23-31, 1996.
3. MONTEIRO JÚNIOR, F. N. ; MEDEIROS, A. J. G.; MEDEIROS, C. F. **Matemática e música: as progressões geométricas e o padrão de intervalos da escala cromática.** Bolema – Boletim de Educação Matemática, Rio Claro/SP, ano 16, n. 20, p. 101-126. 2003. ISSN 1980-4415.
4. MONTEIRO JÚNIOR, F. N. **Somando funções trigonométricas: uma reconstrução didática do conceito de timbre a partir de duas experiências pedagógicas.** Bolema – Boletim de Educação Matemática, Rio Claro/SP, n. 37, v. 23, 2010. ISSN 1980-4415.
5. BRASIL. MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO. **Catálogo do programa nacional do livro didático para o ensino médio – PNLEM/2009.** Brasília: Secretaria da Educação Básica - SEB. Fundo Nacional de Desenvolvimento da Educação - FNDE, 2008.
6. SAMPAIO, J. L. P.; CALÇADA, C. S. V. **Universo da Física.** v. 3. 2 ed. São Paulo: Saraiva, 2005. ISBN: 85-357-0593-7.

7. PENTEADO, P. C. M.; TORRES, C. A. M. **Física – ciência e Tecnologia**. v. 2. 1 ed. São Paulo: Moderna, 2005. ISBN: 85-16-04692-3.
8. LUZ, A. M. R.; ÁLVARES, B. A. **Física**. v. 2. 1 ed. São Paulo: Scipione, 2005. ISBN: 85-26-25812-5.
9. SAMPAIO, J. L. P.; CALÇADA, C. S. V. **Universo da Física**. Volume único. 2 ed. São Paulo: Saraiva, 2005. ISBN: 85-357-0579-1.
10. GASPAR, A. **Física**. Volume único. 1 ed. São Paulo: Ática, 2005. ISBN: 85-08-09773-5.
11. GONÇALVES FILHO, A.; TOSCANO, C. **Física**. Volume único. 1 ed. São Paulo: Scipione, 2005. ISBN: 85-26-25757-9.
12. ZANETIC, J. **Física e cultura. Ciência & Cultura**. V. 57, n. 3, São Paulo, julho/setembro de 2005. ISSN 0009-6725.
13. MILLER, D. C. **The science of musical sounds**. 2 ed. New York: The Macmillan Company, 1926.
14. LINDSAY, R. B. **The story of acoustics**. The Journal of Acoustical Society of America, New York, v. 39, n. 4, p. 629-644, abr. 1966.
15. ABDOUNUR, O. J. **Matemática e música: o pensamento analógico na construção de significados**. 1. ed., São Paulo: Escrituras, 1999, 315p.
16. ROEDERER, J. G. **Introdução à física e psicofísica da música**. 1. ed. São Paulo: EDUSP, 1998, 312 p.
17. EVEREST, F. A. **The master handbook of acoustics**. Fourth Edition. New York: McGraw-Hill, 2001.
18. ROSSING, T. D. **The science of sound**. 2. ed. Massachusetts: Addison-Wesley, 686 p., 1990.
19. BARBOUR, J. M. **Bach and "The Art of Temperament"**. The Musical Quarterly, v. 33, n. 1, p. 64-89, jan., 1947.
20. BARBOUR, J. M. **Irregular Systems of Temperament**. Journal of the American Musicological Society. v. 1, n. 3, p. 20-26, 1948.
21. BARBOUR, J. M. **Tuning and Temperament: a historical survey**. Michigan: Michigan State College Press, 1951.
22. BARNES, J. **Bach's Keyboard Temperament: Internal Evidence from the Well-Tempered Clavier**. Early Music, v. 7, n. 2, p. 236-249, 1979.
23. GRENFELL, M. T. **The development of the equal temperament scale: Evolution or radical change?** Dissertação. Western Connecticut State University, Danbury, Connecticut, September 2005.
24. LINK JR, J. W. **Understanding the Two Great Temperaments: Equal and Meantone**. Journal of Research in Music Education, v. 13, n. 3, p. 136-146, 1965.
25. LINSINGEN, I. V. **Perspectiva educacional CTS: aspectos de um campo em consolidação na América latina**. Ciência & Ensino, v. 1, Número Especial, 2007. ISSN 1414-5111.
26. SANTOS, W. L. P. **Contextualização no ensino de ciências por meio de temas CTS em uma perspectiva crítica**. Ciência & Ensino, v. 1, Número Especial, 2007. ISSN 1414-5111.

27. CAHAPUZ, A. et al. **Do estado da arte da pesquisa em educação em ciências: linhas de pesquisa e o caso “Ciência-Tecnologia-Sociedade”**. Alexandria - Revista de Educação em Ciência e Tecnologia, v. 1, n. 1, p. 27-49, 2008. ISSN 1982-5153.
28. MATTHEWS, M. R. **História, filosofia e ensino de ciências: a tendência atual de aproximação**. Caderno Brasileiro de Ensino de Física, v. 12, n. 3, p. 164-214, 1995. ISSN 0102-3594.
29. MARTINS, A. F. P. **História e filosofia da ciência no ensino: há muitas pedras nesse caminho...** Caderno Brasileiro de Ensino de Física, v. 24, n. 1, p. 112-131, 2007. ISSN 0102-3594.
30. NEVES, M. C. D. **A história da ciência no ensino de física. Ciência e Educação**, V. 5, n. 1, p. 73-81, 1998. ISSN 1516-7313.
31. VILLANI, A. et al. **Filosofia da ciência, história da ciência e psicanálise: analogias para o ensino de ciências**. Caderno Brasileiro de Ensino de Física, v. 14, n. 1, p. 37-55, 1997. ISSN 0102-3594.
32. RAICHEL, D. R. **The science and applications os acoustics**.USA: Springer, 2006. ISBN-10: 0-387-26062-5.
33. LOY, G. **Musimathics: the mathematical foundations of music**. v. 1. Massachusetts: the MIT Press, 2006. ISBN 978-0-262-12282-5.