



COLÉGIO PEDRO II

Pró-Reitoria de Pós-Graduação, Pesquisa, Extensão e Cultura
Especialização em Ensino de Física na Educação Básica

Valmir dos Santos Nogueira Junior

**REVISÃO BIBLIOGRÁFICA SOBRE AS FERRAMENTAS
EDUCACIONAIS NA ÁREA DE ACÚSTICA E ONDAS NO
ENSINO DE FÍSICA: POSSIBILIDADES DE UMA
EDUCAÇÃO CTS**

Rio de Janeiro
2020

Valmir dos Santos Nogueira Junior

**REVISÃO BIBLIOGRÁFICA SOBRE AS FERRAMENTAS EDUCACIONAIS NA
ÁREA DE ACÚSTICA E ONDAS NO ENSINO DE FÍSICA: POSSIBILIDADES DE
UMA EDUCAÇÃO CTS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Especialização em Ensino de Física na Educação Básica, vinculado à Pró-Reitoria de Pós-Graduação, Pesquisa, Extensão e Cultura do Colégio Pedro II, como requisito parcial para obtenção do título de Especialista em Ensino de Física na Educação Básica.

Orientador: Professor Dr. Rodrigo Trevisano de Barros.

Rio de Janeiro

2020

COLÉGIO PEDRO II
PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO, PESQUISA, EXTENSÃO E CULTURA
BIBLIOTECA PROFESSORA SILVIA BECHER
CATALOGAÇÃO NA FONTE

N778 Nogueira Junior, Valmir dos Santos
Revisão bibliográfica sobre as ferramentas educacionais na área de acústica e ondas no ensino de física: possibilidades de uma educação CTS / Valmir dos Santos Nogueira Junior. - Rio de Janeiro, 2020.

48 f.

Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização em Ensino de Física) – Colégio Pedro II, Pró-Reitoria de Pós-Graduação, Pesquisa, Extensão e Cultura.

Orientador: Rodrigo Trevisano de Barros.

1. Física – Estudo e ensino. 2. Acústica. 3. Ondas. 4. Ciência e tecnologia. 5. Experimentação. I. Barros, Rodrigo Trevisano de. II. Colégio Pedro II. III Título.

CDD 530

Ficha catalográfica elaborada pela Bibliotecária Simone Alves – CRB7 5692.

Valmir dos Santos Nogueira Junior

**REVISÃO BIBLIOGRÁFICA SOBRE AS FERRAMENTAS EDUCACIONAIS NA
ÁREA DE ACÚSTICA E ONDAS NO ENSINO DE FÍSICA: POSSIBILIDADES DE
UMA EDUCAÇÃO CTS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Especialização em Ensino de Física na Educação Básica vinculado à Pró-Reitoria de Pós-Graduação, Pesquisa, Extensão e Cultura do Colégio Pedro II, como requisito parcial para obtenção do título de Especialista em Ensino de Física na Educação Básica.

Aprovado em: 09/07/2020.



Rodrigo Trevisano de Barros
2074569

Professor Dr. Rodrigo Trevisano de Barros (Orientador)
Colégio Pedro II

Professor Dr. Eduardo Folco Capossoli
Colégio Pedro II

Professor Me. Julien Lopes Pereira
Colégio Pedro II

Dedico este trabalho ao meus pais, amigos e orientador, que me auxiliaram durante todo o processo de construção do mesmo.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por todas as experiências proporcionadas até hoje. A vida é um aprendizado e, sem elas, eu não conseguiria valorizar as oportunidades que tive. Agradeço à minha família pelo apoio que sempre me deu, em especial, aos meus pais: à minha mãe que sempre faz o máximo que pode por mim; ao meu pai que, infelizmente, não está mais neste plano, mas celebra essa alegria.

Agradeço ao Colégio Pedro II e ao meu orientador Rodrigo Trevisano, que sempre demonstrou máximo interesse, apoio e paciência.

Agradeço aos meus amigos que contribuíram e aos que compreenderam as minhas ausências.

Muito obrigado por tudo.

*Não importa o quanto você bate, mas sim o quanto
aguenta apanhar e continuar. O quanto pode
suportar e seguir em frente. É assim que se ganha*

(Rocky Balboa)

RESUMO

NOGUEIRA JUNIOR, Valmir dos Santos. **Revisão bibliográfica sobre as ferramentas educacionais na área de acústica e ondas no ensino de física: possibilidades de educação.** 2020. 50 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização em Ensino de Física na Educação Básica) – Colégio Pedro II, Pró-Reitoria de Pós-Graduação, Pesquisa, Extensão e Cultura, Rio de Janeiro, 2020.

Apesar do potencial dos fenômenos acústicos no ensino de ondulatória, os seus conceitos não são facilmente compreendidos por parte dos estudantes. A experimentação dos conceitos teóricos no laboratório é extremamente importante para conduzir o discente ao desenvolvimento de atitudes e destrezas cognitivas do mais alto nível intelectual, não somente destrezas manuais e puras técnicas instrumentais. Através da análise com enfoque em Ciência, Tecnologia e Sociedade (CTS) é possível ampliar o potencial crítico e social dos conteúdos, assim como possibilitar uma educação de contexto, valorizando particularidades locais e individuais dos envolvidos no processo educativo. O trabalho apresenta os resultados de uma revisão bibliográfica de artigos científicos - encontrados na literatura especializada - referentes ao uso de experimentos e metodologias que auxiliem a tarefa de ensino e aprendizagem na área de acústica e ondas no ensino de Física para ensino médio e universitário. Foram selecionados vinte e um trabalhos que apresentam experimentos e ideias experimentais de visualização, medição e de verificação de influência externas nos fenômenos físicos, utilizando smartphones, laptops e materiais alternativos. Esses trabalhos ilustram a preocupação em auxiliar o professor na elaboração de um plano de aula, possibilitando ao docente um amplo panorama das ferramentas motivacionais ao discente para atrair a atenção do mesmo no tema da aula, permitindo assim os alunos explorarem diversos campos da Física, como acústica, ondas, energia e através a visualização e da medição de fenômenos de interferência de sinais, influência do ambiente na propagação dos sinais, medições e comparações com valores teóricos, dentre outros.

Palavras-chave: Ensino de física. Acústica. Experimentação. CTS.

ABSTRACT

NOGUEIRA JUNIOR, Valmir dos Santos Nogueira. **Revisão bibliográfica sobre as ferramentas educacionais na área de acústica e ondas no ensino de física: possibilidades de educação.** 2020. 50 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização em Ensino de Física na Educação Básica) – Colégio Pedro II, Pró-Reitoria de Pós-Graduação, Pesquisa, Extensão e Cultura, Rio de Janeiro, 2020.

Despite the potential of acoustic phenomena in teaching wave, their concepts are not easily understood by students. The experimentation of theoretical concepts in the laboratory is extremely important to lead the student to the development of attitudes and cognitive skills of the highest intellectual level, not only manual skills and pure instrumental techniques. Through analysis with a focus on Science, Technology and Society (CTS) it is possible to expand the critical and social potential of the contents, as well as enabling contextual education, valuing local and individual particularities of those involved in the educational process. The work presents the results of a bibliographic review of scientific articles - found in the specialized literature - regarding the use of experiments and methodologies that assist the task of teaching and learning in the area of acoustics and waves in the teaching of Physics for high school and university. Twenty-one works were selected that present experiments and experimental ideas of visualization, measurement and verification of external influence on physical phenomena, using smartphones, laptops and alternative materials. These works illustrate the concern to assist the teacher in the elaboration of a lesson plan, allowing the teacher a broad overview of the motivational tools for the student to attract the student's attention on the theme of the class, thus allowing students to explore various fields of Physics, such as acoustics, waves, energy and through visualization and measurement of signal interference phenomena, influence of the environment on the propagation of signals, measurements and comparisons with theoretical values, among others."

Keywords: Physics teaching. Acoustics. Experimentation. CTS.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1	Perfil de uma onda periódica	26
Figura 2	Funções temporais e espectros de frequência associados a estímulos comumente usados em psicoacústica.....	28
Figura 3	Gráfico da relação entre nível de pressão e frequência.....	29
Figura 4	Área auditiva	30
Figura 5	Exemplos de níveis de intensidade sonora	31
Figura 6	Nós e Anti-nós em ondas estacionárias de deslocamento.....	33

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Resumo das principais características dos trabalhos investigados	39
----------	---	----

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CTS	Ciência, Tecnologia e Sociedade
PCNs	Parâmetros Curriculares Nacionais
MHS	Movimento Harmônico Simples
SPL	Nível de Pressão Sonora
ATH	Limiar Absoluto da Audição

LISTA DE SIMBOLOS

λ	Comprimento de Onda
f	Frequência
T	Período
v	Velocidade de Propagação da Onda
P	Pressão Sonora
A	Amplitude
k	Número de Onda

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
2	PRESSUPOSTOS METODOLÓGICOS	18
3	PRESSUPOSTOS TEÓRICOS	20
	3.1 Relações entre Ciência, Tecnologia e Sociedade	20
	3.2 Experimentação no Ensino	22
	3.3 Ondulatória	23
	3.3.1 Ondas Periódicas	24
	3.3.2 Ondas Sonoras	25
4	APRESENTAÇÃO DOS DADOS E ALGUMAS CONSIDERAÇÕES.....	34
	4.2 Algumas considerações	41
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	43
	REFERÊNCIAS	45
	GLOSSÁRIO	49

1 INTRODUÇÃO

O ser humano encontra-se envolto por moléculas de ar que se deslocam constantemente e esse movimento fornece a sensação sonora que pode ser detectada pelo sistema auditivo. O som é uma onda mecânica que precisa se propagar através de um meio que possui elasticidade, com frequências no intervalo audível (20 a 20.000 Hz) (BORGES e RODRIGUES, 2017). Segundo (KIM, 2015), apesar de todo potencial desses fenômenos no ensino de ondulatória, os seus conceitos não são facilmente compreendidos por boa parte dos estudantes. Seus conceitos são introduzidos desde o ensino básico até o superior.

Minha experiência profissional com equipamentos de edição, acústica e sonoplastia associada à formação em licenciatura em física e engenharia de telecomunicações, tornou possível perceber o potencial educacional dessas ferramentas e abordagens capazes de possibilitarem uma aproximação dos conceitos com fenômenos facilmente percebidos no dia a dia dos alunos. Sustentamos que a presença dos fenômenos ondulatórios em nosso cotidiano é uma possibilidade educacional que não pode ser ignorada. Através de aplicações tecnológicas, como por exemplo radares, podemos estudar ondas eletromagnéticas refletidas em obstáculos, ou o simples fenômeno de reflexão torna possível o estudo do ondas estacionárias e o funcionamento de instrumentos musicais (SILVA, 2012).

A utilização de equipamentos especializados que auxiliem nas percepções dessa onda sonora é uma possibilidade de construirmos entendimento adequado de algumas questões envolvidas no som. Os pesquisadores buscam novas formas de tornar as aulas de Física mais interessantes pelo seu conteúdo, e que elas possam contribuir para desenvolvimento de habilidades e competências. Assim sendo, a experimentação dos conceitos teóricos no laboratório de Física é de extrema importância (HIGA e OLIVEIRA, 2012) e está intimamente vinculada as práticas de aula. Mas, infelizmente, os laboratórios didáticos encontrados na maioria das instituições de ensino brasileiras encontram-se em condições precárias, com falta de recursos para investimentos e manutenção dos mesmos (SASSERON, 2015). Desse modo, apresentamos um recorte bibliográfico de alguns trabalhos que pretendem aproximar esses fenômenos da sala de aula.

Segundo (BAZZO, 2018), a educação formal contribuí pouco na busca da compreensão real dos seres humanos e seu habitat. A busca por essa compreensão requer mais discernimento e ousadia dos professores, necessita saber a diferença entre treinar e ensinar. Para (CARSE, 2003) a pessoa treinada está preparada para combater a surpresa, mas está fadada a repetir o

comportamento passado no futuro. Ao contrário, a pessoa educada está preparada para qualquer surpresa e ela é conduzida a uma contínua autodescoberta.

A globalização é primordial na construção da compreensão de mundo pela sociedade e ela se refere às recentes transformações de capital, trabalho, mercados, comunicações, inovações científicas e tecnológicas que se estendem por todo o planeta. Sendo assim, a globalização possui implicações profundas no desenvolvimento da educação científica (CARTER, 2008). As inovações tecnológicas possuem consequências sobre a forma com que vivemos (BAZZO, 2018). A área de comunicação foi uma das mais afetadas pelos avanços tecnológicos, tornando a comunicação mais rápida e a transmissão dos sinais mais eficiente. Uma das formas em que os sinais são transmitidos são as ondas eletromagnéticas, por exemplo.

As relações entre Ciência, Tecnologia e Sociedade (CTS) podem ampliar o potencial crítico e social dos conteúdos escolares, assim como possibilitar uma educação de contexto, valorizando particularidades locais e individuais dos envolvidos no processo educativo. Segundo (QUIRINO e LAVARDA, 2001) o educador ao utilizar experimentos em sua aula tem a possibilidade de fazer a transição dos modelos tradicionais de ensino para formas alternativas de ensinar física, tornando o aluno ser mais interessado e participativo. Considerando a física acústica, pode-se mostrar a sua utilidade em explicar os fenômenos sonoros que estão presentes em diversos ambientes frequentados pelos educandos (MOURA e BERNARDES NETO, 2011).

Sustentamos que o ensino de física pode ampliar as discussões que envolvem os fenômenos ondulatórios, trazendo para sala de aula um imenso conjunto de aplicações que exploram a acústica ou a ondulatória de modo geral.

Com o intuito de ajudar na tarefa de poder contornar esses problemas, o trabalho proposto é uma revisão bibliográfica que almeja mapear trabalhos que envolvem formas de ensino do som e suas características para o ensino de Física em nível superior e médio e que possam possibilitar ao professor novas formas de explorar a temática.

Objetivando orientar o leitor sobre a seleção metodológica utilizada na construção do trabalho, na próxima seção estão discutidos os passos percorridos na investigação e os motivos das decisões e escolhas feitas.

Na terceira seção tentamos estabelecer os referenciais teóricos que sustentam os passos de nossa investigação. Apresentamos as bases de uma educação que envolve CTS como forma de ampliar o potencial educativo da temática ondulatória, assim como o estudo específico do som na acústica. Entendemos que uma sociedade crítica se constrói com uma escola participativa e um ensino crítico capaz de valorizar questões do contexto dos alunos.

Ainda na terceira seção trazemos a temática ondulatória como forma de apresentarmos nosso entendimento sobre o assunto e orientarmos leitores de fora da área sobre o tema de nossa pesquisa. Não queremos com isso construir apenas um conjunto de definições, mas conduzir o texto de modo a evidenciar o recorte que esse trabalho apresenta.

A seção quatro apresenta os trabalhos que nossa investigação levantou. Tentamos aqui evidenciar os recortes que foram feitos pelos autores de cada artigo investigado, assim como apresentar os objetivos gerais de cada um deles. A seção traz ainda algumas considerações que fizemos durante as leituras flutuantes dos textos, assim como um breve relato dos trabalhos de revisão e discussões sobre o som e suas características.

A última seção, a quinta, apresentamos nossas considerações finais sobre os artigos selecionados, referenciais utilizados e possibilidades para o ensino de física.

2 PRESSUPOSTOS METODOLÓGICOS

Nossa escolha por uma investigação qualitativa é por compreender que o trabalho tem o objetivo de investigar e melhor compreender o comportamento e a experiência humana. Bogdan e Biklen (1994, p.47) destacam cinco características que mantemos no curso da nossa pesquisa.

- 1- Na investigação qualitativa a fonte direta de dados é o ambiente natural, constituindo o investigador o instrumento principal.
- 2- A investigação qualitativa é descritiva. Os dados são em forma de palavras não em números.
- 3- Os investigadores qualitativos interessam-se mais pelo processo do que simplesmente pelos resultados ou produtos. As estratégias qualitativas absorveram o modo como as expectativas se traduzem nas atividades, procedimentos e interações diárias.
- 4- Os investigadores qualitativos tendem a analisar os seus dados de forma indutiva. Não recolhem dados ou provas com o objetivo de confirmar ou infirmar hipóteses construídas previamente; ao invés disso, as abstrações são construídas à medida que os dados particulares que foram recolhidos vão se agrupando.
- 5- O significado é de importância vital na abordagem qualitativa. Os investigadores que fazem uso deste tipo de abordagem estão interessados no modo como diferentes pessoas dão sentido as suas vidas, fazendo questão em se certificarem de que estão a apreender as diferentes perspectivas adequadamente (BOGDAN e BIKLEN, 1994, p. 47).

A investigação que realizamos é ancorada na busca por artigos que apresentem formas de explorar o tema ondulatória na sala de aula, desse modo iniciamos nosso itinerário de pesquisa escolhendo as palavras-chave que guiaram nossa busca. Para tal, optamos por:

1. ensino
2. experimento
3. ondas
4. acústica.

Por entender que essas palavras-chave dão conta de trazer para nossa análise os principais trabalhos que discutem e refletem nossa temática inicial. As buscas foram realizadas inicialmente no “*google acadêmico*” e posteriormente nos bancos de dados indicados pelo próprio site de busca.

Os artigos foram selecionados inicialmente pela presença de palavras-chave no título, seguido pela verificação no resumo e conclusão, na busca por indícios de aplicações acústicas

no ensino de Física. Caso houvesse dúvidas, era realizada uma leitura mais completa do texto. As palavras-chave típicas utilizadas nesta busca foram combinações das palavras Ensino de Física, acústica, som e onda, por exemplo, Ensino de Física em acústica, Ensino de Física de ondas sonoras e etc.

Utilizando esses critérios, foram selecionados um total de 21 trabalhos que utilizavam aplicativos de *smartphone*, *laptops* com *softwares* livres e materiais alternativos, para proporem seus experimentos e ideias.

Nos debruçamos sobre os artigos, iniciando por uma leitura sem compromisso ou como Bardin (2011) denomina por uma leitura flutuante (BARDIN, 2011). O nosso objetivo nesse momento, muito mais que identificar padrões, palavras ou temas era a familiarização com a linguagem e os textos. Vencida essa etapa começamos a identificar padrões e temáticas que atendiam aos objetivos de nossa investigação. Com interesse em versar nesse trabalho acerca do estado da arte sobre materiais e experimentos em ensino de física na área de acústica e de ondas sonoras, o recorte temporal utilizado inicialmente priorizava trabalhos realizados nos últimos 10 anos.

A escolha desse período deve-se ao fato de procurar materiais com relevância e estado da arte mais atuais. Algumas exceções foram feitas devido a pertinência dos trabalhos em questão. Os trabalhos revisados são artigos de revistas acadêmicas, tais como *Caderno Brasileiro de Ensino de Física* (CBEF), *The Physics Teacher*, *Physics Education*, *Educar em Revista*, *Latin-American Journal of Physics Education* (LAJPE), *The Journal of the Acoustical Society of America* (JASA), *European Journal of Physics* e *Ensaio Pesquisa em Educação em Ciências*. As plataformas de pesquisa utilizadas na pesquisa são *Periódicos Capes*, *Google Acadêmico*, *Scielo*, *Sbfísica*, *Periódicos Ufsc*, *Periódicos Unb*, *Iop Science* e *Aapt Scitation*.

Os artigos foram ordenados em temas. A análise foi efetuada visando identificar o objetivo principal dos autores, quais eram suas motivações, metodologia empregada, resultados obtidos e suas conclusões finais. Assim, traçamos um resumo de experimentações, ideias e métodos aplicados ao nosso tema de investigação.

3 PRESSUPOSTOS TEÓRICOS

3.1 Relações entre Ciência, Tecnologia e Sociedade

A sociedade está em eterna mudança econômica, social e política, principalmente devido as consequências do desenvolvimento da ciência e tecnologia. Mas, deve-se tomar cuidado ao considerar que a ciência e a tecnologia impulsionam somente benefícios à humanidade através do desenvolvimento do saber e da evolução humanas. Não existe afastamento entre as ciências e tecnologias, as questões que se envolvem, seus interesses sociais, políticos, militares e econômicos. O impulso dos usos de novas tecnologias traz riscos, porquanto o desenvolvimento científico-tecnológico e suas consequências não são independentes de seus interesses (PINHEIRO, SILVEIRA e BAZZO, 2007).

Perante a intensificação das crises que surgiram no meio ambiente, as discussões da relevância da natureza do conhecimento científico e seu papel na sociedade, cresceu no mundo inteiro um movimento se manifestou a partir da década de 1970, refletindo de forma crítica sobre as relações entre Ciência, Tecnologia e Sociedade (CTS). Esse movimento estimulou novos currículos de ensino de ciências que buscaram incorporar os conteúdos de CTS, principalmente em países do primeiro mundo, como Inglaterra, EUA, Canadá, Holanda e Austrália (SANTOS, 2008).

A metodologia de ensino CTS está preocupada em realizar a integração entre educação científica, tecnológica e social. Os conteúdos científicos são discutidos de forma integrada com aspectos morais, sociais e éticos. A instrução CTS ensina sobre fenômenos naturais de forma a conectar a ciência com o mundo tecnológico e social do aluno (HOFSTEIN, AIKENHEAD e RIQUARTS, 1988). O ensino com essa perspectiva deve seguir algumas características, dentre as quais temos (MEDINA e SANMARTÍN, 1990):

- Questionamento e reflexão sobre as formas herdadas de estudar e atuar sobre a natureza. Só através da educação será possível a contextualização permanentemente dos conhecimentos em função das necessidades da sociedade.
- Combate a segmentação do conhecimento.
- Fomento da democratização do conhecimento científico e tecnológico, fazendo com que ocorra uma difusão e integração na atividade produtiva das comunidades de maneira crítica.

O importante é fomentar a ideia de que ciência e tecnologia acompanham a dimensão de desenvolvimento científico e tecnológico, conduzindo os fatores de desenvolvimento culturais, políticos e econômicos. A análise histórica deve ser realizada, considerando a realidade cultural local para contribuir de forma decisiva nas mudanças sociais, cujas manifestações se expressam na relação do homem consigo mesmo e os outros. Os objetivos do ensino CTS podem ser divididos em três modalidades (PINHEIRO, SILVEIRA e BAZZO, 2007):

- Enxerto CTS: introdução de temas CTS nas disciplinas de ciências, abrindo discussões e questionamentos do que seja ciência e tecnologia.
- Ciência e tecnologia por meio de CTS: estrutura-se o conteúdo científico por meio do CTS. Essa estruturação pode acontecer numa só disciplina ou por meio de trabalhos multidisciplinares e interdisciplinares.
- CTS puro: ensina-se ciência, tecnologia e sociedade por intermédio do CTS, no qual o conteúdo científico tem papel subordinado.

Objetivando tornar o estudante um cidadão crítico e participativo deve-se fornecer ao mesmo o entendimento e utilização de artefatos científicos e tecnológicos, de forma que ele seja capaz de opinar sobre o uso e as implicações que são produzidas por estes. Para isso, o público escolar deve ter compreensão da tecnociência, compreendendo que debates e as suas negociações são métodos de resolução de conflitos que envolvem o interesse da sociedade. Através disso a sociedade estará capacitada para questionar os impactos da evolução e aplicação da ciência e tecnologia sobre seu entorno, percebendo que, muitas vezes, certas atitudes não atendem à maioria (MONTEIRO, 2011).

No Brasil os Parâmetros Curriculares Nacionais (PCNs) introduzem a ideia de debate sobre as relações existentes entre Ciência, Tecnologia e Sociedade como forma de educação tecnológica voltada não somente para a confecção de artefatos, mas como a compreensão da origem e do uso que se faz desses artefatos na sociedade atual (PINHEIRO, SILVEIRA e BAZZO, 2007).

Segundo (HOFSTEIN, AIKENHEAD e RIQUEARTS, 1988) a principal dificuldade de implementação de um curso CTS é a falta de qualificação profissional do professor de ciências. Segundo ele, o treinamento tradicional de professores está pouco interessada com a questão de

CTS. Existe uma necessidade urgente de influenciar aqueles que ministram cursos de graduação em ciências para fornecer pelo menos um curso de CTS para todos os estudantes de educação.

3.2 Experimentação no Ensino

Segundo (BORGES, 2002), partimos da expectativa de que os professores de ciências, dos ensinamentos fundamental e médio, acreditam que se pode alcançar melhores resultados no ensino ao se utilizar aulas práticas. Mas, existem muitas escolas que dispõem de laboratórios com equipamentos, que por vários motivos, nunca são utilizados. A ideia por detrás dessa crença é que qualquer método de ensino-aprendizagem utilizado, a mobilização do aprendiz deve ser estimulada no lugar de sua mera passividade. O ambiente escolar adequado deve estimular situações em que o aluno se coloque no lugar de pensar e não somente repetir (SANTOS e OLIVEIRA, 2019). A importância experimental está no fato do real comprometimento com a busca de soluções bem articuladas para a atividade fim (BORGES, 2002).

A atividade experimental pode ser concebida por meio de diferentes abordagens. Sob a perspectiva clássica, na experimentação o aluno não deve discutir, ele aprende a se servir do material e do método utilizado, aprende a manipular a lei em estudo fazendo variar os parâmetros e a observar um fenômeno (SÉRÉ, COELHO e NUNES, 2003). O experimento deve conduzir o discente ao desenvolvimento de atitudes e destrezas cognitivas do mais alto nível intelectual, não somente destrezas manuais e puras técnicas instrumentais (GALIAZZI, 2001).

Um segundo tipo de abordagem experimental é aquela que a lei em estudo não é questionada, ela é utilizada para calcular um determinado parâmetro, de forma equivalente a um laboratório de metrologia ou de testes (SÉRÉ, COELHO e NUNES, 2003).

A mobilização do aprendiz na atividade de solucionar e experimentar um determinado problema pode ser efetuada por modelagem e representação, com simulações em computador, desenhos, pinturas, colagens ou simplesmente atividades de encenação e teatro. Essas atividades podem apresentar vantagens sobre as atividades de laboratórios usuais, pois não são de simples manipulação de objetos concretos, mas de ideias e representações, com o propósito de comunicar outras ideias e percepções (BORGES, 2002).

Segundo (GALIAZZI, 2001) atividades como acumular informação por meio da observação, organizar essas informações e procurar regularidades, perguntar por que elas

aparecem e comunicar as descobertas aos outros, estão entre as principais atividades da ciência experimental.

A metodologia de ensino por investigação é apontada como uma técnica que privilegia a problematização, pois apresenta uma abordagem de ensino onde o aluno é o protagonista na busca da solução de um problema. Ao utilizar o ensino por investigação o aluno precisa argumentar, pensar, agir, interferir, questionar, fazer parte da construção do seu conhecimento (SANTOS e OLIVEIRA, 2019).

Apesar da ciência se apresentar como um sistema de natureza teórica, se faz necessário criar oportunidades para que o ensino experimental e o ensino teórico se efetuem em concordância, permitindo que o discente integre os conhecimentos prático e teórico. Descartar a possibilidade de que os laboratórios têm um papel importante no ensino de ciências significa destituir o conhecimento científico de seu contexto, reduzindo-o a um sistema abstrato de definições, leis e fórmulas. Apesar de que as teorias físicas serem construções teóricas representada de forma matemática, o conhecimento que elas nos traz faz sentido ao permitir compreender o funcionamento do mundo e o porquê as coisas são como são (BORGES, 2002).

3.3 Ondulatória

As ondas são perturbações sobre uma determinada condição de equilíbrio, elas se propagam de uma região para a outra do espaço no decorrer do tempo (SEARS, YOUNG e ZEMANSKY, 1984). Elas podem transportar energia e momento através do espaço, sem transportar matéria (TIPLER e MOSCA, 2006).

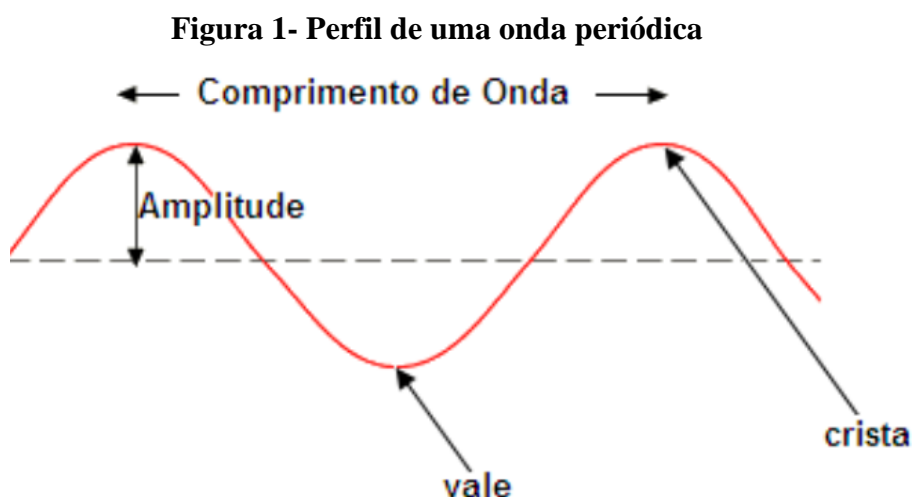
As ondas podem ser classificadas, de forma mais simples, quanto a sua natureza: mecânica, que precisam de um meio material para se propagar, ou eletromagnética, que são geradas por cargas elétricas oscilantes e não necessitam de um meio material para se propagar (BONJORNO, 2003).

Com relação a direção de propagação as ondas podem ser unidimensionais, bidimensionais ou tridimensionais. Já com relação a direção de vibração, elas podem ser classificadas como transversais, que são aquelas cujas vibrações são perpendiculares à direção de propagação, ou longitudinais, aquelas cujas vibrações coincidem com a direção de propagação (BONJORNO, 2003).

3.3.1 Ondas Periódicas

Pulsos sucessivos e regulares formam ondas periódicas (RAMALHO, FERRARO e SOARES, 2003). Se a extremidade de uma corda em um meio for forçada a vibrar periodicamente, o deslocamento irá variar com o tempo, conforme um movimento harmônico simples (MHS) (SEARS, YOUNG e ZEMASKY, 1984).

Ondas que se deslocam em uma corda esticada pode assumir muitas formas, uma das propriedades fundamentais para as ondas é o seu comprimento de onda λ , a distância entre duas cristas ou dois vales consecutivos, e a sua frequência f , o número de cristas consecutiva que passam por um mesmo ponto, em cada intervalo de tempo (BONJORNNO, 2003).



Fonte: Disponível em “<http://www.lief.if.ufrgs.br/~cloliveira/introducao.html>”, 2020

O período T de uma onda é o tempo necessário para que duas cristas consecutivas passem pelo mesmo ponto. O Período e a frequência são relacionados por (BONJORNNO, 2003):

$$f = \frac{1}{T} \quad (1).$$

O comprimento de onda λ é percorrido pela onda no período T , assim a velocidade de propagação da onda pode ser escrita como (RAMALHO, FERRARO e SOARES, 2003):

$$v = \frac{\lambda}{T} \quad (2).$$

Uma propriedade das ondas é a sua velocidade relativa ao meio físico, que é dependente das propriedades do meio de propagação, mas independente do movimento da fonte da onda (TIPLER e MOSCA, 2006).

No Sistema Internacional de Unidades, a unidade de frequência é o hertz (Hz), onde $\text{Hz} = 1/\text{s}$, o tempo é o segundo (s), comprimento é o metro (m) e a velocidade é o metro por segundo (m/s).

3.3.2 Ondas Sonoras

A psicoacústica, a ciência da percepção sonora, tem como objetivo principal estudar as relações entre as magnitudes dos estímulos físicos e as magnitudes das sensações por eles produzidos (BOSI e GOLDBERG, 2012).

Ondas sonoras harmônicas são ondas mecânicas que se propagam através de um meio que possui elasticidade (BORGES e RODRIGUES, 2017). As ondas sonoras mais simples são senoidais, de frequência, amplitude e comprimento de onda definidos (SEARS, YOUNG e ZEMANSKY, 1984).

Os sons são facilmente descritos por meio da pressão sonora variável no tempo, $P(t)$. Comparadas à magnitude da pressão atmosférica, as variações temporais da pressão sonora, causadas por fontes sonoras, são extremamente pequenas. A unidade de pressão sonora é o PASCAL (Pa). Em psicoacústica, valores da pressão sonora entre 10^{-5} Pa (limiar absoluto de audição) e 10^2 Pa (limiar de dor) são relevantes (ZWICKER e FASTL, 2013).

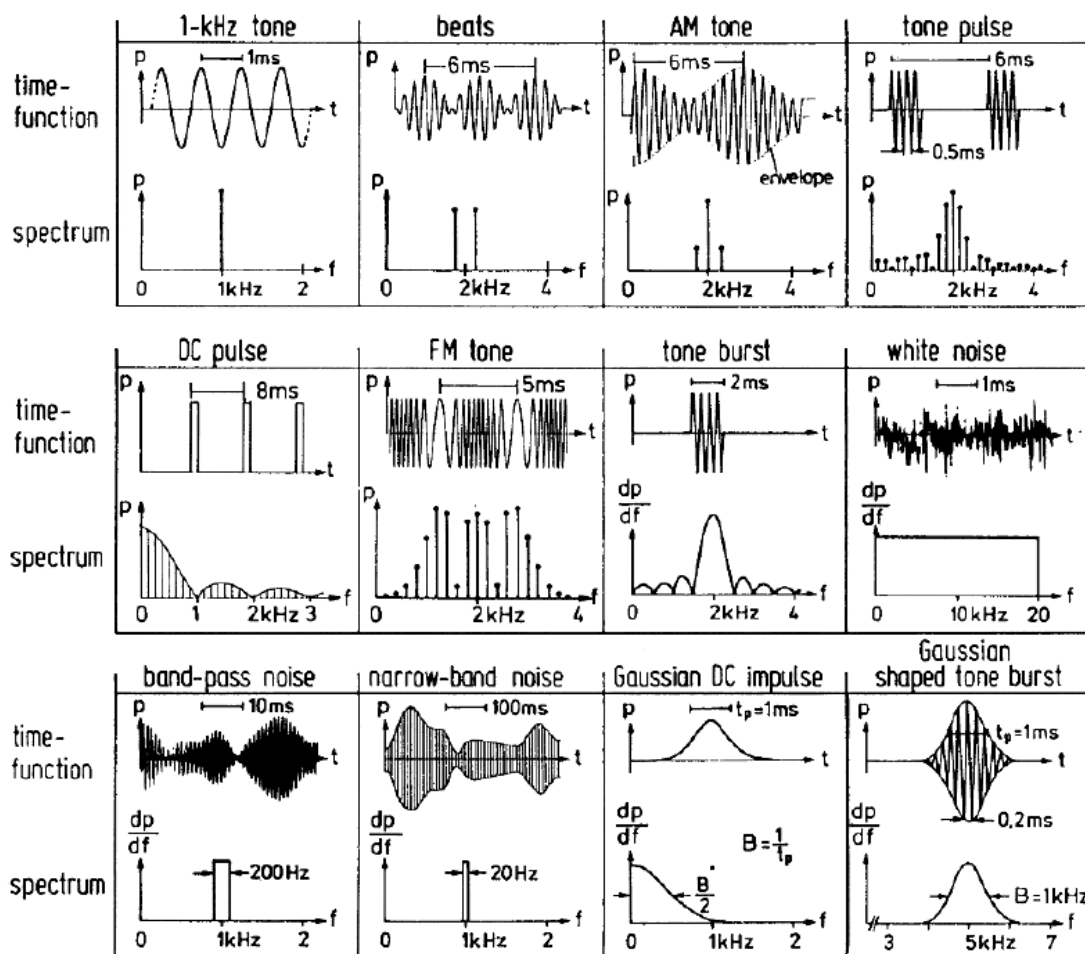
A variação da pressão ambiente cíclica de período T e amplitude A capazes de serem detectados pelo sistema auditivo, chamada de pressão sonora P , é dada por:

$$P(x) = A \cos(kx) \quad (3)$$

onde $k = 2\pi/\lambda$ é o número de onda (BISTAFA, 2018).

A figura 01 mostra exemplos de algumas funções temporais e espectros de frequência associados a estímulos comumente usados em psicoacústica.

Figura 2 - Funções temporais e espectros de frequência associados a estímulos comumente usados em psicoacústica



Fonte: ZWICKER e FASTL, 2013.

Pode-se observar que, por exemplo, o quadro “1-kHz tone” (“tom de 1 kHz”) mostra que uma oscilação senoidal contínua da função de tempo da pressão sonora P , com um período T de 1 ms entre os máximos, corresponde a um espectro com apenas uma linha espectral a frequência 1 kHz. No quadro “beats” (“batidas”) é melhor explicado no domínio da frequência, onde é exibida uma combinação de dois tons puros da mesma amplitude. A função de tempo correspondente mostra claramente uma forte variação do envelope temporal (ZWICKER e FASTL, 2013).

É possível definir o nível de pressão sonora (SPL) como a grandeza que representa a intensidade de um determinado som, expressa em decibel (dB), como (BOSI e GOLDBERG, 2012):

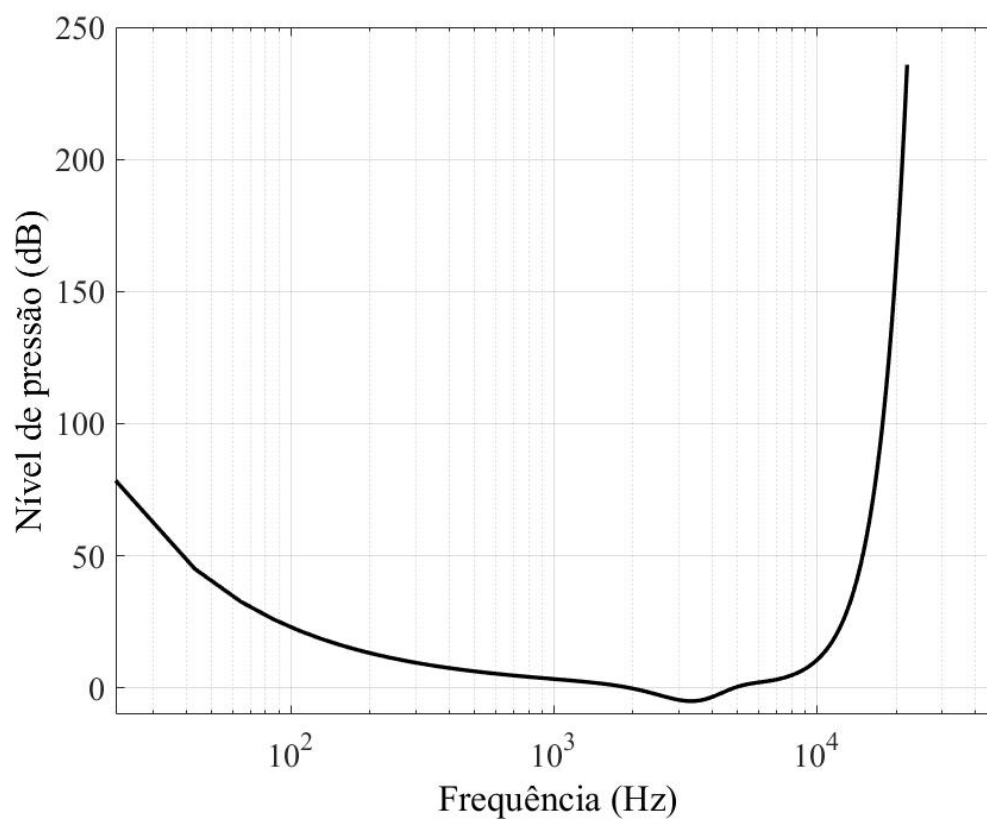
$$SLP = 10 \log_{10} \left(\frac{P}{P_0} \right)^2, \quad (4)$$

onde P é a pressão sonora no ponto em questão e, $P_0 = 20 \mu\text{Pa}$ é aproximadamente igual à pressão sonora no limiar de audição na frequência por volta de 2 kHz, isto é, P_0 representa o menor nível de pressão que pode ser percebido por um ouvinte humano típico.

A sensação de audição que se relaciona com SPL é a sonoridade (*Loudness*), expressa em *phon* (LIN e ABDULLA, 2015). O nível de sonoridade é definido como o nível de um tom sonoro de 1 kHz que é percebido tão alto quanto o som em análise para campos planos frontais incidentes (BOSI e GOLDBERG, 2012). A audição humana é capaz de responder a uma vasta gama de valores SPL em frequências que vão de 20 Hz até 20 kHz.

A área da audição é um plano no qual os sons audíveis podem ser exibidos (ZWICKER e FASTL, 2013). O limiar absoluto da audição (ATH) humana, representado na Figura 3, caracteriza a intensidade sonora necessária em um tom puro (uma senóide com frequência definida) que pode ser detectado por um ouvinte em um ambiente silencioso (SPANIAS, PAINTER e ATTI, 2006), isto é, representa o menor nível de pressão sonora em decibéis que se pode ouvir em uma dada frequência. Os componentes de frequência do sinal que estejam abaixo deste nível são irrelevantes para a percepção de sons e, portanto, em um codificador de áudio voltado a ouvintes humanos, não precisam ser armazenados ou transmitidos. A variação da pressão ambiente capaz de provocar dor é chamado de limiar da dor (BISTAFA, 2018).

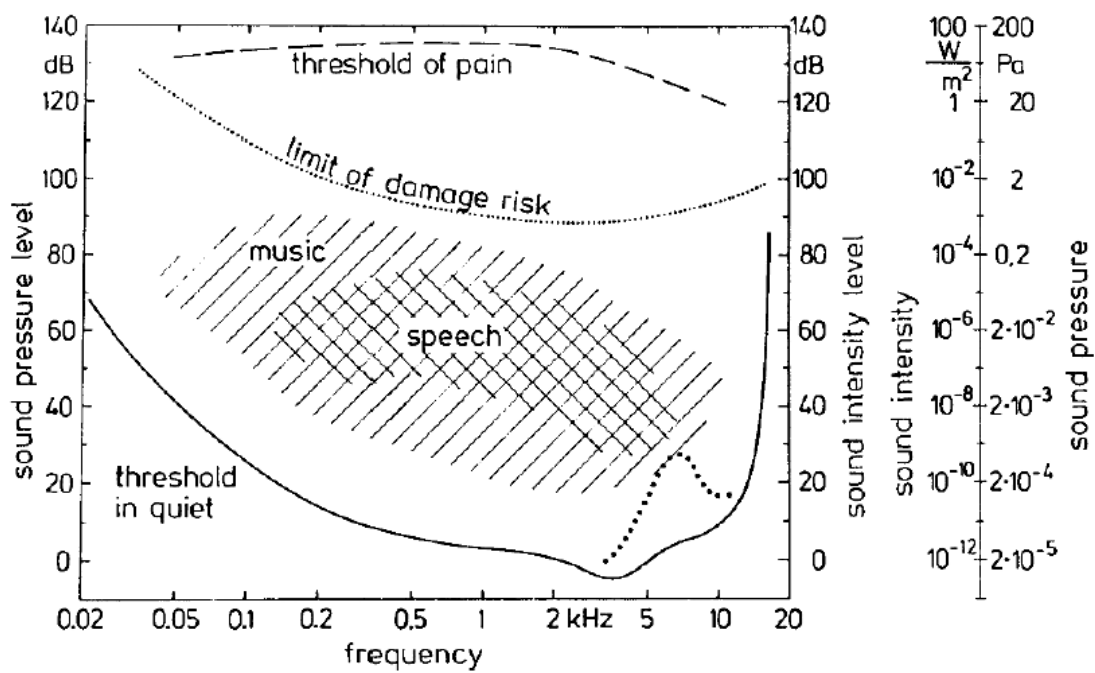
Figura 3 - Gráfico da relação entre nível de pressão e frequência



Fonte: O autor, 2020.

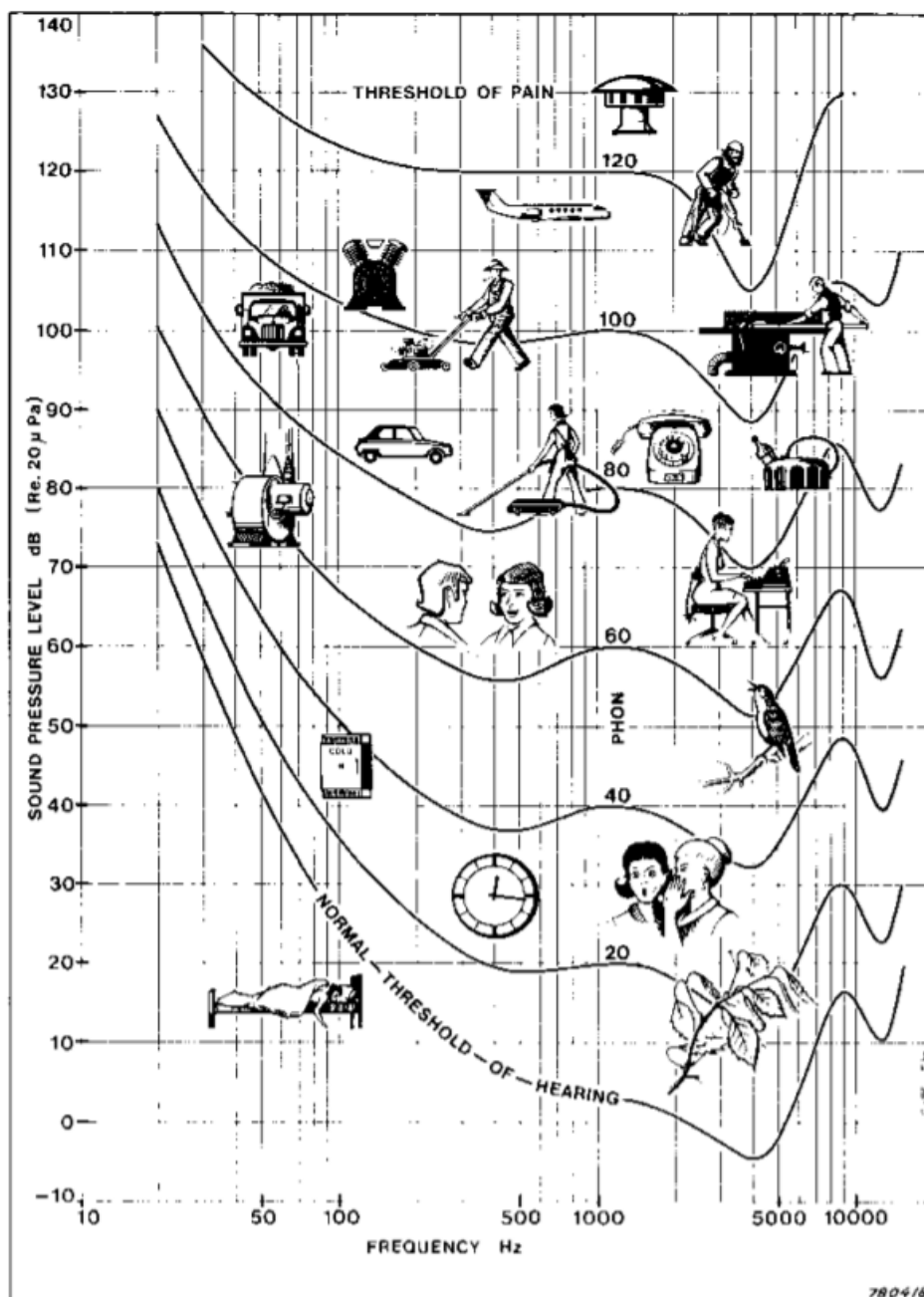
O ouvido humano pode abranger uma ampla variedade de SPLs. A Figura 4 mostra a área auditiva de um ouvido humano típico (BOSI e GOLDBERG, 2012), isto é, área entre o limiar no silêncio e o limiar da dor. À direita, as escalas de ordenadas são a intensidade do som em Watt por metro quadrado (W/m^2) e a pressão do som em Pascal (Pa) (ZWICKER e FASTL, 2013). O gráfico ilustra diferentes curvas de SPL em função da frequência (BOSI e GOLDBERG, 2012). Na Figura 5 encontram-se exemplos de alguns níveis de intensidade de som característicos que podem ser encontrados no cotidiano.

Figura 4 - Área auditiva



Fonte: ZWICKER e FASTL, 2013.

Figura 5 - Exemplos de níveis de intensidade sonora



Fonte: Disponível em "<https://temseguranca.com/wp-content/uploads/2015/06/AC%daSTICA-E-RU%cdDOS-APOSTILA-1%ba-PARTE-Jo%e3o-Candido-Fernandes.pdf>", 2020.

O limiar do silêncio, em dB, dependente da frequência, pode ser numericamente aproximado como (BOSI e GOLDBERG, 2012):

$$A(f) = 3,64 f^{-0,8} - 6,5e^{-0,6(f-3,3)^2} + 10^{-3} f^4, \quad (5)$$

onde f é a frequência em kHz.

A intensidade da propagação de onda I é a média no tempo da quantidade de energia que é transportada pela onda por unidade de área e por unidade de tempo através de uma superfície perpendicular à direção de propagação. Mais resumidamente, a intensidade é a potência média transportada por unidade de área (SEARS, YOUNG e ZEMANSKY, 1984). Como energia na unidade de tempo é potência (watts), então a unidade de intensidade sonora é potência por metro quadrado (W/m^2) (BISTAFA, 2018).

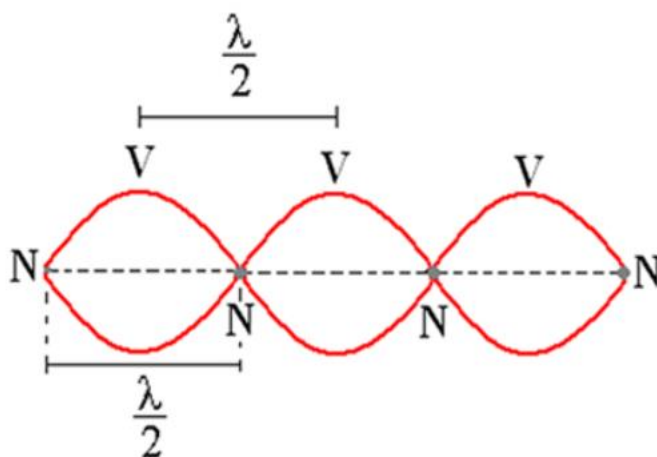
Quando a fonte ou o observador estão em movimento (possuindo velocidade inferior a velocidade do som) é possível perceber uma diferença entre as frequências dos sons emitidos e recebidos. Essa característica que é conhecida como Efeito Doppler-Fizeau, torna o som mais agudo quando as fontes se aproximam, e mais grave no caso de se afastarem (FERNANDES, 2010).

A passagem de duas ondas por um meio (um tubo acústico, por exemplo) produz uma onda resultante. Este fenômeno é conhecido por princípio da superposição (SEARS, YOUNG e ZEMANSKY, 1984). Quando ocorre a sobreposição de dois trens de ondas (isto é, séries de pulsos periódicos) com frequências muito próximas, que se propagam na mesma direção, surge o fenômeno conhecido como batimento. O trem de onda resultante assume, periodicamente, amplitudes máximas e mínimas, podendo estas serem nulas quando a amplitude dos dois movimentos for igual (FERNANDES, 2002).

A onda estacionária realiza incessantemente o caminho entre os dois refletores, retrazendo as mesmas posições que são relacionadas com alguns comprimentos de onda e frequência específicos, relacionados com a distância entre as superfícies.

As ondas estacionárias apresentam pontos fixos de deslocamento zero (nós) e pontos fixos de máximo deslocamento (anti-nós ou ventres). São obtidas pela interferência de duas ondas senoidais de mesma frequência e amplitude se propagando em sentidos contrários (RODRIGUES, 2014). A figura 6 é a representação de uma onda estacionária e seus elementos onde λ é o comprimento de onda, V representa os ventres e N os nós.

Figura 6 - Nós e Antinós em ondas estacionárias de deslocamento



Fonte: Disponível em “<https://brasilecola.uol.com.br/fisica/ondas-estacionarias.htm>”, 2020.

4 APRESENTAÇÃO DOS DADOS E ALGUMAS CONSIDERAÇÕES

Segundo (KUHN e VOGT, 2015), os efeitos sobre o aprendizado e a motivação do uso de tecnologias, como *smartphones*, têm sido alvo de estudos. O sucesso da aprendizagem cognitiva e motivacional dos alunos em relação à experimentação nas aulas de física tende a ser maior se os estudantes explorarem os fenômenos físicos com ferramentas experimentais que utilizam habitualmente, com propósitos diferentes. Smartphones podem ser utilizados como ferramentas experimentais, pois a maioria deles são equipados com microfone, sensores de aceleração, intensidade de campo, intensidade de luz, receptor de *Global Positioning System* (GPS) e câmera. O tópico da acústica oferece várias oportunidades de uso *smartphones* em diferentes níveis de desempenho (KUHN e VOGT, 2015).

Apresentamos a seguir os trabalhos que nossa investigação encontrou. Identificamos seus objetivos e tentamos destacar as possibilidades existentes nas relações entre Ciência, Tecnologia e Sociedade. Destacamos os trabalhos encontrados na literatura acadêmica sobre formas de ensino do som e suas características para o ensino de Física em nível superior e médio. Trazemos para nossa conversa breve revisão de alguns trabalhos, experimentos e ideias que auxiliem o docente na tarefa de ensino e aprendizagem na área de acústica, ondas e suas propriedades, para o ensino de Física para ensino básico e superior.

Os trabalhos estão divididos em grupos, conforme que tipo de materiais que foram utilizados na sua construção, e qual é o tópico de estudo em questão.

Em (HAWLEY e MCCLAIN JR, 2018) encontra-se proposto um método de visualização da dependência angular em campos sonoros pela utilização de um aplicativo de *smartphone* desenvolvido pelos autores. A motivação para esse novo aplicativo surgiu da montagem de um conjunto de experimentos para um curso de eletroacústica para estudantes em geral. A combinação de gravação de som, sensoriamento de orientação e análise gráfica oferecida pelo aplicativo de *smartphone* tornou possível a realização de medições de direção do som sem a necessidade de equipamentos especializados, de forma adequada para alunos introdutórios em acústica.

O artigo (KUHN e VOGT, 2013) descreveu como os diferentes tipos de ondas sonoras: tom, som, ruído e estrondo, podem ser explorados usando o microfone de um *smartphone* e o aplicativo *Audio Kit* (Sinusoid Pty Ltd., Sydney, Australia) para sistemas IOS (Apple Inc., Cupertino, CA, EUA). Foram apresentados experimentos que permitiram aos estudantes explorar e entender as diferenças físicas entre os tipos de ondas. Os valores capturados pelo *smartphone* foram exibidos em uma captura de tela e depois visualizados diretamente no

smartphone ou exportados para um programa de computação gráfica para serem impressas e anexadas nos cadernos dos alunos, a fim de manter um registro dos resultados.

Com o desafio de ensinar o conceito da propagação de ondas, o artigo (DAGDEVIREN, 2018) propôs experimentos que podem ser conduzidos em um ambiente de sala de aula utilizando *smartphones* como medidor de decibéis e *laptops* com MATLAB (The MathWorks Inc., Natick, MA, EUA), para explicar a propagação do som em função da distância, o efeito da frequência na propagação de ondas e a acústica em ambientes confinados. Os experimentos mostraram que o nível de intensidade sonora diminui algoritmicamente com a distância e há um desvio das expectativas teóricas devido à acústica.

Motivados pela possibilidade de visualização das ondas mecânicas, especialmente ondas longitudinais, os autores de (ANGGRAENI, 2019) desenvolveram experimentos simples que envolvem instrumentos musicais da família gamelão (instrumento musical tradicional da Indonésia), tubos e o aplicativo *Oscilloscope* (ONYX Apps, EUA) em alguns *smartphones*. Estes experimentos tem como objetivo ilustrar os nós (lugares onde a amplitude é nula) e anti-nós (lugares onde as cristas e vales produzem distúrbios que rapidamente se alternam, para cima e para baixo) das ondas acústicas permanentes ao gamelão, visualizar suas formas de ondas, explicar a relação entre frequência e duração, e conhecer a resposta do estudante após esse aprendizado. Ao final do experimento os autores observaram que a forma das ondas sonoras pode ser visualizada e seus nós e anti-nós podemos ser desenhados usando os aplicativos *Oscilloscope*, a relação entre frequência e comprimento de onda é inversamente proporcional e que a resposta do estudante é muito boa com esse aprendizado.

É explorado em (KUHN, VOGT e HIRTH, 2014) o fenômeno acústico de pequenos batimentos produzidos pela sobreposição de dois sinais acústicos senoidais com uma pequena diferença entre as suas frequências. A sensação auditiva resultante é um tom puro com um volume que varia periodicamente. O fenômeno foi analisado através de um experimento utilizando *smartphones*, os aplicativos *Audio Kit* e o *Oscilloscope*. As batidas acústicas podem ser percebidas no cotidiano e possuem aplicações interessantes, por exemplo, instrumentos de cordas ainda estão afinados com a ajuda de um batimento acústico, mesmo com a tecnologia moderna. No final é possível capturar e salvar os sinais acústicos, determinar a frequência de batimento resultante da sobreposição dos sinais, e os oscilogramas (gráficos de osciloscópios) podem ser gravados e analisados para diferentes batimentos.

Vislumbrando confirmar que os *smartphones* podem ser aplicados para medir e analisar o som emitido por hastes vibratórias com uma das extremidades livre, usando a análise de Fourier, (GONZÁLEZ e GONZÁLEZ, 2016) descrevem em seu trabalho um experimento que

consiste na medição e análise do som emitido por barras vibratórias. Para realizar a tarefa os autores utilizam um *smartphone* com o aplicativo destinado para gravação e análise de áudio, juntamente com materiais de baixo custo. O artigo afirma que, ao realizar o experimento os estudantes podem estudar a influência de diferentes características das hastes, como densidade, módulo de Young, comprimento, forma, raio ou largura, nas frequências do som emitido e comparar seus resultados com os valores teóricos que podem ser utilizados, obtendo boa concordância entre eles.

Em (KASPER, VOGT e STROHMEYER, 2015) os autores pretenderam complementar as oportunidades de traçar oscilogramas e espectros de frequência com *smartphones* e incluem uma abordagem para determinar a velocidade do som no ar usando canos de PVC e um esboço de uma investigação da dependência da temperatura na velocidade do som. Ao sussurrar em uma extremidade de uma tubulação, mesmo em grandes distâncias, o som estará presente na outra extremidade do tubo, pois ele estará acima do limiar auditivo. Isso ocorre devido ao fato do som se propagar principalmente na direção do tubo. Se os sinais acústicos forem gravados com um aplicativo de osciloscópio em um *smartphone* é possível calcular a velocidade do som, a dependência da temperatura da velocidade do som no ar ou determinar experimentalmente o comprimento do tubo.

Ainda explorando os efeitos das batidas acústicas, em (GANCI e GANCI, 2014) tem como objetivo propor um simples experimento demonstrativo sobre batidas acústicas que pode ser realizado em uma sala de aula sem empregar qualquer aparato de laboratório, utilizando um único *notebook* e o *software AudioTester* (Audiotester.de, Ulrich Müller, Wuppertal, Alemanha). O software disponibiliza um osciloscópio em sua tela, permitindo que os alunos efetuem as leituras dos parâmetros das ondas sonoras e a sua interferência.

Para ajudar a contornar o problema da necessidade da utilização de instrumentos especiais ao medir ou quantificar fenômenos físicos, em (KADRI, 2013) encontram-se cinco experimentos de ondas sonoras usando *laptops* com o *software Visual Analyzer* (VA) (Oracle Corporation, Redwood City, CA, EUA) e materiais facilmente disponíveis a baixo custo, incluindo canos ou tubos, alto-falantes e microfones. Como as demonstrações são fáceis de serem executadas, são adequadas para aulas de física, durante o processo de ensino e aprendizagem do tema de ondas sonoras para estudantes dos níveis médio e superior. Os resultados obtidos das observações são comparáveis aos valores teóricos aceitos da velocidade e frequência das ondas sonoras.

Um experimento simples de medida da velocidade do som no ar foi realizado por (AGUIAR, FREITAS e LAUDARES, 2005). Nesse trabalho os autores realizaram a medida do

som provocado ao estourar um balão de festa próximo a dois microfones ligados a uma placa de som estéreo de um computador. O ruído da explosão é então gravado em um arquivo *wave*. A determinação do tempo que o pulso levou para ir de um microfone a outro é realizada ao analisar o arquivo referente a gravação. Ao final, a velocidade do som pode ser medida com ótima precisão, de uma maneira muito simples e direta.

O artigo (NOVICKI, LATOSINSKI e POGLIA, 2011) propõe uma metodologia de ensino do efeito Doppler-Fizeau para alunos de ensino médio utilizando um computador, microfones, placa de som como interface para a conversão do sinal analógico em digital e um aplicativo para análise de dados. Nele é apresentado que se pode determinar a velocidade de um veículo em movimento em relação a um observador através da aquisição automática de dados por computador. O experimento proposto possibilita a compreensão de um tema de difícil compreensão, sendo facilmente realizável na escola de nível médio.

No artigo (CAVALCANTE, 2002) os autores propõem um método computacional para o estudo de parâmetros físicos de movimentos e dos coeficientes de restituição em colisões, por intermédio do espectro sonoro emitido por impactos sucessivos de uma esfera em uma superfície plana. O experimento utiliza um computador com placa de som, microfone e *software* de análise de espectro sonoro. Os resultados demonstram que o experimento possui precisão experimental e que pode ser implementado.

Os autores do trabalho (CALDERÓN, NÚÑEZ e GIL, 2010) exibem um experimento utilizado para estudar o comportamento de propagação e reflexão de ondas sonoras em tubos cilíndricos de diferentes comprimentos, com as duas extremidades abertas ou com uma das extremidades aberta e a outra fechada. O arranjo experimental pode ser feito utilizando um computador com placa de som, um microfone, um programa para aquisição de dados, tubos de PVC e dois pedaços de madeira. O estudo das fases dos sinais incidentes permite compreender a diferença entre a reflexão que ocorre quando o tubo possui uma extremidade aberta ou fechada, assim é possível entender o fenômeno de interferência, isto é sobreposição, de ondas mecânicas e eletromagnéticas. Com os tempos de trânsito dos pulsos refletidos é permitido calcular a velocidade do som no ar. Os resultados prático e teórico estão em concordância, e o experimento proposto pode ser utilizado em diferentes níveis educacionais.

Simples atividades práticas que podem ser feitas em sala de aula, vislumbrando a caracterização de propriedades do som produzido por violões e guitarras através da análise harmônica, são propostas em (SANTOS, MOLINA e TUFAILE, 2013). Nelas os instrumentos de corda produzem sons, suas vibrações associadas formam diferentes series harmônicas que podem ser estudadas através da investigação de suas características espectrais de frequência.

Para o experimento foram utilizados uma caixa de som, um microfone, um computador, os softwares EXPstudio Audio Editor (Expstudio, USA) e Origin 8.0 (OriginLab Corporation, Northampton, USA). As propriedades dos instrumentos musicais, tais como frequência e velocidade de propagação, podem ser feitas através do estudo de modelos simples para cordas e membranas vibrantes e podem ser utilizados como material complementar no estudo de uma gama de tópicos que envolvem oscilações, ondas, equações diferenciais e análise espectral.

Os artigos (CORDARO e CORDARO, 1986) e (SCHAPPE e BARBOSA, 2017) apresentaram ideias de sistemas para a experimentação do fenômeno da levitação acústica. Em (CORDARO e CORDARO, 1986) é feita uma demonstração simples e significativa de levitação acústica utilizando um tubo de ensaio, um disco de isopor fino, uma pastilha piezoelétrica (sensor capaz de detectar toques e vibrações) e um oscilador de áudio. O tubo de ensaio é ajustado na posição horizontal e então é colocado na posição vertical, onde o disco flutuará em uma posição estável no tubo de teste. Já em (SCHAPPE e BARBOSA, 2017), o aparato experimental pode levitar pequenos pedaços de isopor usando um pequeno disco piezoelétrico na parte inferior de uma placa de *Petri Pyrex* invertida. A condução do disco piezoelétrico é feita por uma onda senoidal e um amplificador de áudio. Estes sistemas podem ser usados para medir a velocidade do som. A levitação é também um bom exemplo de equilíbrio estável, pois os “poços” atrativos em que os objetos repousam são grandes o suficiente para que a partícula teste possa ser deslocada ligeiramente e oscile algumas vezes antes de voltar à sua posição de equilíbrio.

Com o objetivo de superar a falta de infraestrutura das aulas de Física para o ensino médio e no ensino de graduação para formação básica em ciências e engenharias, é proposto aos professores em (SAAB, CÁSSARO e BRINATTI, 2005) um experimento de fácil realização para medir a velocidade do som no ar com um tubo de ensaio. O uso do aparato proposto permitiu encontrar a velocidade do som, através da visualização e consolidação da ideia da formação de uma onda mecânica estacionária em um tubo fechado, com um valor muito próximo ao indicado na literatura e a baixo custo.

O artefato experimental denominado simulador de propagação de ondas mecânicas em meios sólidos é descrito em (PIUBELLI, 2010). O mecanismo é um simulador construído com materiais de baixo custo e serve para evidenciar a influência das características inerciais e elásticas do meio na velocidade de propagação de uma onda mecânica longitudinal. Ele foi desenvolvido para ser utilizado em atividades experimentais em sala de aula ou laboratório.

O artigo elaborado por (MOURA e BERNARDES NETO, 2011) tem o intuito de auxiliar o ensino de física, promover a interdisciplinaridade e levantar a importância dos

conhecimentos acústicos em alguns contextos históricos. Para tanto, ele propõe experimentos de construção de instrumentos musicais, sendo eles um do naipe de cordas, uma percussão e um sopro, com materiais de baixo custo para serem utilizados no ensino de acústica no Ensino Médio. O autor afirma que a construção de instrumentos musicais tem forte ligação com os conhecimentos físicos e tecnológicos da física e da acústica, e que pelo alto grau de acessibilidade proposto pelos experimentos, os estudantes não ficam privados de uma experiência de suma importância em seu desenvolvimento humano.

Com o objetivo de auxiliar estudantes de graduação aprender conceitos básicos de física, tais como movimento harmônico simples, ondas acústicas estacionárias e energia potencial, (ANDRADE, PÉREZ e ADAMOWSKI, 2015) apresentou o princípio teórico do funcionamento de um levitador acústico de um único eixo. O artigo desenvolveu as equações básicas da acústica para determinar a força de radiação acústica que atua em um corpo esférico rígido de raio muito menor do que o comprimento de onda. A partícula apresenta um comportamento muito similar a um sistema massa-mola e quando é retirada de sua posição de equilíbrio ela pode apresentar um movimento harmônico amortecido. Como motivação o artigo faz um questionamento da possibilidade de utilização da levitação acústica em uma pessoa.

A demonstração das propriedades de timbre (atributo da sensação auditiva em termos dos quais um ouvinte pode avaliar como dessemelhantes dois sons apresentados semelhantemente e tendo a mesma intensidade e altura (HOWARD e ANGUS, 2006)) característico submetido a modos diferentes de oscilação de cordas vibrantes, através de um experimento de laboratório de baixo custo para o estudo da teoria de ondas estacionárias é proposto em (GOMES e LÜDKE, 2011). O trabalho faz uso de um simples aparato eletrônico com base em realimentação eletromagnética, possibilitando estudar a harmonicidade das ondas estacionárias quanto a relação numérica existente entre os harmônicos presentes em oscilações obtidas para um dado modo de excitação.

Para auxiliar o leitor a se orientar na utilização dos trabalhos apresentados, a tabela 1 apresenta um resumo com os autores dos trabalhos, materiais utilizados por eles e temas desenvolvidos nos mesmos.

Tabela 1 - Resumo das principais características dos trabalhos investigados

Autores	Material Utilizado	Tema Desenvolvido
HAWLEY e MCCLAIN JR, 2018	<i>Smartphone</i> e aplicativo	Medições de diretividade de som
KUHN e VOGT, 2013	<i>Smartphone</i> e aplicativo	Visualização de tipos de ondas sonoras
DAGDEVIREN, 2018	<i>Smartphone</i> e <i>laptop</i>	Propagação de ondas
ANGGRAENI, 2019	Instrumentos musicais, <i>smartphone</i> e aplicativo	Visualização das ondas mecânicas
KUHN, VOGT e HIRTH, 2014	<i>Smartphone</i> e aplicativo	Sobreposição de sinais e batimentos acústicos
GONZÁLEZ e GONZÁLEZ, 2016	<i>Smartphone</i> e materiais de baixo custo	Medição e análise sonora emitida por hastes
KASPER, VOGT e STROHMEYER, 2015	<i>Smartphone</i> e tubos de PCV	Determinar a velocidade sonora e sua dependência com a temperatura
GANCI e GANCI, 2014	<i>Notebook</i>	Sobreposição de sinais e batimentos acústicos
KADRI, 2013	<i>Laptop</i> e materiais de baixo custo	Medição de fenômenos físicos
AGUIAR, FREITAS e LAUDARES, 2005	Computador e microfone	Determinar a velocidade sonora
NOVICKI, LATOSINSKI e POGLIA, 2011	Computador e microfone	Ensino do efeito Doppler-Fizeau
CAVALCANTE, 2002	Computador e microfone	Estudo dos movimentos e coeficientes de restituição em colisões
CALDERÓN, NÚÑEZ e GIL, 2010	Computador, microfone, tubos de PVC e madeira	Estudo da propagação e reflexão de ondas sonoras em tubos cilíndricos
SANTOS, MOLINA e TUFAILE, 2013	Computador, microfone e instrumentos de corda	Estudo envolvendo oscilações, ondas, equações diferenciais e análise espectral
CORDARO e CORDARO, 1986	Tubo de ensaio, disco de isopor, pastilha piezoelétrica e oscilador de áudio	Levitação acústica

SCHAPPE e BARBOSA, 2017	Tubo de ensaio, disco piezoelétrico, placa de <i>Petri Pyrex</i> e oscilador de áudio	Levitação acústica
SAAB, CÁSSARO e BRINATTI, 2005	Tubo de ensaio	Determinar a velocidade sonora
PIUBELLI, 2010	Materiais de baixo custo	Estudar as características do meio na velocidade sonora
MOURA e NETO, 2011	Materiais de baixo custo	Ensino de acústica e construção de instrumentos
ANDRADE, PÉREZ e ADAMOWSKI, 2015	Princípio teórico	Análise da utilização da levitação acústica
GOMES e LÜDKE, 2011	Aparato eletrônico	Demonstração das propriedades características de timbre

Fonte: O autor, 2020.

4.2 Algumas considerações

Os trabalhos apresentam experimentos e ideias que auxiliam o ensino e aprendizagem na área de acústica e ondas, contudo as relações CTS se mostram bastante incipientes. Dentre os temas encontrados podemos observar experimentos sobre diferenças de tipos de ondas, dependência angular em campos sonoros, dependência da propagação do som em função da distância e frequência, acústicas em ambientes, caracterização de propriedades do som produzido produzidos por instrumentos de corda, relação numérica entre harmônicos, fenômeno de batimento e visualização de formas de ondas.

Encontramos também experimentos de velocidade do som no ar, dependência da temperatura na velocidade de propagação do som, analisar o som emitido por hastes vibratórias, estudo dos parâmetros físicos de movimentos e dos coeficientes de restituição em colisões e estudo do efeito Doppler-Fizeau. Um levitador acústico foi apresentado. Com ele é possível estudar fenômeno de movimento harmônico simples, ondas acústicas estacionárias e energia potencial.

O que precisamos destacar é que o potencial contextualizador da temática ondulatória é pouco explorado, muitos trabalhos apresentam as ferramentas tecnológicas sem se preocupar como essas discussões podem chegar à sala de aula, assim como não aproveitam ao máximo a capacidade de alguns conteúdos trazerem a realidade dos alunos para dentro da aprendizagem do assunto. Não defendemos que o ensino de física é o único responsável pela construção de

um cidadão crítico e consciente de seu papel social, mas precisa ser participante desse processo educativo complexo. Todos os conhecimentos contribuem em igual escala nas tarefas de lutar por um mundo mais justo e mais humano (BAZZO, 2007) e a Física precisa se apropriar desse papel. Sustentamos que as relações entre Ciência, Tecnologia e Sociedade na Educação Básica e no ensino de física podem auxiliar na aprendizagem capaz de proporcionar protagonismo crítico dos estudantes envolvidos, edificando uma autonomia profissional crítica. (PINHEIRO, SILVEIRA e BAZZO, 2007; AULER, 2002; CEREZO, 1998 ; AIKENHEAD, 1985).

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os trabalhos analisados permitiram aos alunos explorarem diversos campos da Física, como acústica, ondas, energia e etc, através a visualização gráfica de oscilogramas e espectrogramas, determinação de frequência, amplitude e fase dos sinais, caracterização e medição de fenômenos de interferência de sinais, influência do ambiente na propagação dos sinais, medições e comparações com valores teóricos, dentre outros.

Através da análise dos trabalhos científicos foi possível constatar a grande utilização de aparelhos de *smartphone* com aplicativos que gravam e geram sons, traçam gráficos e auxiliam na análise dos mesmos, uso de *notebooks* e materiais alternativos e de baixo custo para a execução das tarefas propostas. A utilização de materiais alternativos permite que os alunos tenham um contato maior com o fenômeno físico, a visualização e a participação direta do aprendiz no experimento aguçam o interesse do mesmo na tarefa, produzindo assim melhoras no processo de ensino aprendizagem.

Os trabalhos científicos mostraram que existem métodos e experimentos para auxiliar o professor na elaboração do plano de aula de ondas e acústica. São propostos experimentos e atividades que podem ser utilizadas como ferramentas motivacionais ao aprendiz para atrair a atenção do mesmo, com o intuito de focar a sua atenção no tema da aula. Experimentos de visualização, medição e de verificação de influência externas nos fenômenos físicos foram apresentadas, utilizando computadores, *smartphones* e materiais diversos.

O que precisamos destacar é o número pequeno de trabalhos que abordam as relações CTS como forma de trazer a temática ondulatória e acústica para sala de aula. Reafirmamos nosso entendimento de que abordagens sobre instrumentos sonoros, propriedades sonoras, fenômenos naturais podem trazer o contexto e o cotidiano dos alunos para dentro das salas de aula, auxiliando o trabalho do professor e construindo novos entendimentos sobre o assunto e o papel desses conteúdos.

Entendemos que o ensino de física deve cumprir com algumas obrigações na construção de um cidadão crítico, participativo e consciente de seu pape social, assim como agente participativo nas questões que envolvem as decisões em ciência e tecnologia. Sustentamos que as relações CTS podem possibilitar essas abordagens.

Acolhemos a ideia de um ensino de física capaz de contribuir com a solução de problemas do contexto da comunidade escolar envolvida. Esperamos com a investigação que desenvolvemos contribuir com o ensino de ciências da natureza, assim como com o trabalho do professor de modo a construir um ensino crítico, dinâmico e participativo. Destacamos que

processos de mudança no ensino de ciências precisam colocar o professor no centro das discussões, ampliando e estimulando seu papel multiplicador.

REFERÊNCIAS

- AGUIAR, C. E.; FREITAS, M. A.; LAUDARES, F. Medidndo a velocidade do som com o microfone do pc. In: SIMPOSIO NACIONAL DE ENSINO DE FÍSICA, 16. 2005, Rio de Janeiro. **Anais [...]**. Rio de Janeiro: Instituto de Física. 2005. p. 1-4.
- AIKENHEAD, G. S. Collective decision making in the social context of science. **Science Education**, Saskatchewan, v. 69, n. 4, p. 453-75, Jul 1985.
- ANDRADE, M. A. B.; PÉREZ, N.; ADAMOWSKI, J. C. Levitação acústica. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 37, n. 2, p. 2304-1-2304-7, Abril/Junho 2015.
- ANGGRAENI, D. P.; SUKARMIN; NUROSYID, F. **Teaching sound waves using gamelan and smartphones**. 9th International Conference on Physics and Its Applications (ICOPIA). Surakarta: IOP Publishing. 2019. p. 1-8.
- AULER, D. **Interações Entre Ciência-Tecnologia-Sociedade no Contexto da Formação de Professores de Ciências**. Tese (doutorado) - Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2002. p. 258.
- BARDIN, L. Análise de conteúdo: a visão de Laurence Bardin. In: _____ **Análise de Conteúdo**. São Paulo: Almedina, 2011. v. 6, Cap. 1, p. 383 – 387.
- BAZZO, W. A. Quase três décadas de CTS no Brasil! Sobre avanços, desconfortos e provocações. **Revista Brasileira de Ensino de Ciência e Tecnologia**, Ponta Grossa, v. 11, n. 2, p. 50-68, 2018.
- BISTAFA, S. R. **Acústica aplicada ao controle do ruído**. São Paulo: Blucher, 2018.
- BOGDAN, R.; BIKLEN, S. **Investigação qualitativa em educação: uma introdução à teoria e aos métodos**. Porto: Porto Editora, 1994.
- BONJORNO, J. R. **Física: história & cotidiano**. São Paulo: FTD S.A., 2003. v. 2.
- BORGES, A. N.; RODRIGUES, C. G. **Introdução à física acústica**. São Paulo: Livraria Física, 2017.
- BORGES, A. T. Novos rumos para o laboratório escolar de ciências. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, Belo Horizonte, v. 19, n. 3, p. 291-313, Novembro 2002.
- BOSI, M.; GOLDBERG, R. E. **Introduction to digital audio coding and standards**. Berlim: Springer Science & Business Media, 2012.
- CALDERÓN, S.; NÚÑEZ, P.; GIL, S. Experimentos en el aula utilizando la tarjeta de sonido de una PC. **Latin-American Journal of Physics Education**, Buenos Aires, v. 4, n. 1, p. 188-193, Janeiro 2010.
- CARSE, J. P. **Jogos Finitos e Infinitos**. Rio de Janeiro: Nova Era, 2003.
- CARTER, L. Globalization and science education: The implications of science in the new economy. **Journal of Research in Science Teaching**, Constanta, v. 45, n. 5, p. 617-633, Abril 2008.

CAVALCANTE, M. A. E. A. O Estudo de colisões através do som. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 24, n. 2, p. 150-157, Abril 2002.

CEREZO, J. A. L. Ciencia, Tecnología y Sociedad: el estado de la cuestión en Europa y Estados Unidos. **Revista iberoamericana de educación**, Madrid, n. 18, p. 41-68, 1998.

CORDARO, R.; CORDARO, C. F. A demonstration of acoustical levitation. **The Physics Teacher**, Melville, v. 24, n. 7, p. 416-416, Outubro 1986.

DAGDEVIREN, O. E. Experiments to investigate the acoustic properties of sound propagation. **Physics Education**, Bristol, v. 53, n. 4, p. 045007, Abril 2018.

FERNANDES, J. C. **Acústica e ruídos**. Bauru: Unesp, 2002.

FERNANDES, J. C. **Acústica, Ruídos e Perda de Audição**. In: BRAZILIAN CONFERENCE ON DYNAMICS CONTROL AND THEIR APPLICATIONS, 9., 2010, Serra Negra. Proceedings [...]. Serra Negra: Brazilian Society of Applied and Computational Mathematics, 2010. p. 1275.

GALIAZZI, M. D. C. E. A. Objetivos das atividades experimentais no ensino médio: a pesquisa coletiva como modo de formação de professores de ciências. **Ciência & Educação**, Bauru, v. 7, n. 2, p. 249-263, 2001.

GANCI, A.; GANCI, S. The Simplest Demonstration on Acoustic Beats. **The Physics Teacher**, Melville, v. 53, p. 32-33, Dezembro 2014.

GOMES, C. A.; LÜDKE, E. Uso da ressonância em cordas para ensino de física. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 33, p. 1-5, 2011.

GONZÁLEZ, M. Á.; GONZÁLEZ, M. Á. Smartphones as experimental tools to measure acoustical and mechanical properties of vibrating rods. **European Journal of Physics**, Bristol, v. 37, n. 4, p. 045701, Abril 2016.

HAWLEY, S. H.; MCCLAIN JR, R. E. Visualizing Sound Directivity via Smartphone Sensors. **The Physics Teacher**, Melville, v. 56, n. 2, p. 72-74, Janeiro 2018.

HIGA, I.; OLIVEIRA, O. B. A experimentação nas pesquisas sobre o ensino de Física: fundamentos epistemológicos e pedagógicos. **Educar em Revista**, Curitiba, n. 44, p. 75-92, Junho 2012.

HOFSTEIN, A.; AIKENHEAD, G.; RIQUEARTS, K. Discussions over STS at the fourth IOSTE symposium. **International Journal of Science Education**, London, v. 10, n. 4, p. 357-366, 1988.

HOWARD, D. M.; ANGUS, J. Hearing Timbre and Deceiving the Ear. **Acoustics and Psychoacoustics**, Waltham, Massachusetts, EUA, p. 210-246, 2006.

KADRI, S. E. A. Physics demonstration of sound waves using Visual Analyser. **Latin-American Journal of Physics Education**, v. 7, p. 10 - 15, Fevereiro 2013.

KASPER, L.; VOGT, P.; STROHMEYER, C. Stationary waves in tubes and the speed of sound. **The Physics Teacher**, Melville, v. 53, n. 1, p. 52-53, Janeiro 2015.

KIM, Y.-H. Propagation of acoustic education in space and time. **The Journal of the Acoustical Society of America**, Jacksonville, Florida, v. 138, n. 3, p. 1847-1847, Setembro 2015.

KUHN, J.; VOGT, P. Analyzing acoustic phenomena with a smartphone microphone. **The Physics Teacher**, Melville, v. 51, n. 2, p. 118-119, Janeiro 2013.

KUHN, J.; VOGT, P. Smartphones & Co. in Physics Education: Effects of Learning with New Media Experimental Tools in Acoustics. In: _____ **Multidisciplinary Research on Teaching and Learning**. London: Springer, 2015. p. 253-269.

KUHN, J.; VOGT, P.; HIRTH, M. Analyzing the acoustic beat with mobile devices. **The Physics Teacher**, Melville, v. 52, n. 4, p. 248-249, Março 2014.

LIN, Y.; ABDULLA, W. H. **Audio watermark: A Comprehensive Foundation Using MATLAB**. Heidelberg: Springer, 2015.

MARGINSON, S. et al. **STEM: country comparisons: international comparisons of science, technology, engineering and mathematics (STEM) education. FINAL REPORT**. Australian Council of Learned Academies. Melbourne, Victoria., p. 178. 2013.

MEDINA, M.; SANMARTÍN, J. El programa tecnología, ciencia, natureza y sociedad. **Ciencia, Tecnología y Sociedad: estudios interdisciplinarios en la universidad, en la educación y en la gestión pública**, Barcelona, p. 114-121, Outubro 1990.

MONTEIRO, R. D. S. **Uma proposta de abordagem do tema " radiação eletromagnética" baseada na proposta CTS de ensino**. UnB. Brasília. 2011.

MOURA, D. D. A.; BERNARDES NETO, P. O ensino de acústica no ensino médio por meio de instrumentos musicais de baixo custo. **Física na Escola**, São Paulo, v. 12, n. 1, p. 12-15, 2011.

NOVICKI, A.; LATOSINSKI, E. D. S.; POGLIA, R. Determinação da velocidade de uma fonte sonora através da aquisição automática de dados, baseada no efeito Doppler-Fizeau. **Física na Escola**, São Paulo, v. 12, n. 1, p. 4-7, 2011.

PINHEIRO, N. A. M.; SILVEIRA, R. M. C. F.; BAZZO, W. A. Ciência, tecnologia e sociedade: a relevância do enfoque CTS para o contexto do ensino médio. **Ciência & Educação (Bauru)**, Bauru, v. 13, n. 1, p. 71-84, 2007.

PIUBELLI, S. L. E. A. Simulador de propagação de ondas mecânicas em meios sólidos para o ensino da física. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 32, n. 1, p. 1501-1506, 2010.

QUIRINO, W. G.; LAVARDA, F. C. Comunicações: Projeto" Experimentos de física para o ensino médio com materiais do dia-a-dia". **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, Bauru, v. 18, n. 1, p. 117-122, Abril 2001.

RAMALHO, F.; FERRARO, N. G.; SOARES, P. A. D. T. **Os fundamentos da física**. São Paulo: Moderna, v. 2, 2003.

- RODRIGUES, A. C. **Estudo da influência de ondas acústicas em leitos fluidizados**. Dissertação (mestrado)—Universidade de Brasília, Faculdade de Tecnologia, Departamento de Engenharia Mecânica. Brasília. 2014.
- SAAB, S. D. C.; CÁSSARO, F. A. M.; BRINATTI, A. M. Laboratório caseiro: tubo de ensaio adaptado como tubo de kundt para medir a velocidade do som no ar. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, Bauru, v. 22, n. 1, p. 112-120, Abril 2005.
- SANTOS, E. D. M. D.; MOLINA, C.; TUFAILE, A. P. B. Violão e guitarra como ferramentas para o ensino de física. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 35, n. 2, p. 1-7, Junho 2013.
- SANTOS, G. S.; OLIVEIRA, M. D. F. A. Construção do Conhecimento em Sala de Aula: enfoque no Ensino por Investigação. **Revista Arquivos Científicos (IMMES)**, Macapá, v. 2, n. 1, p. 67-71, 2019.
- SANTOS, W. L. P. Educação científica humanística em uma perspectiva freireana: resgatando a função do ensino de CTS. **Alexandria: Revista de Educação em Ciência e Tecnologia**, Florianópolis, v. 1, n. 1, p. 109-131, março 2008.
- SASSERON, L. H. Alfabetização científica, ensino por investigação e argumentação: relações entre ciências da natureza e escola. **Ensaio Pesquisa em Educação em Ciências**, Belo Horizonte, v. 17, p. 49-67, Novembro 2015.
- SCHAPPE, R. S.; BARBOSA, C. A Simple, Inexpensive Acoustic Levitation Apparatus. **The Physics Teacher**, Melville, v. 55, n. 1, p. 6-7, 2017.
- SEARS, F. W.; YOUNG, H. D.; ZEMANSKY, M. W. **Física 2: mecânica dos fluidos, calor e movimento ondulatório**. 2. ed. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos Editora LTDA, v. 2, 1984.
- SÉRÉ, M.-G.; COELHO, S. M.; NUNES, A. D. O papel da experimentação no ensino da física. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, Bauru, v. 20, n. 1, p. 30-42, Abril 2003.
- SILVA, K. N. D. E. A. **Experimentos em ondas e acústica para auxiliar o processo ensino e aprendizagem da física no ensino médio**. Universidade Federal de São Carlos. São Carlos. 2012.
- SPANIAS, A.; PAINTER, T.; ATTI, V. **Audio signal processing and coding**. Hoboken, Nova Jersey, EUA: John Wiley & Sons, 2006.
- TIPLER, P. A.; MOSCA, G. **Física—Volume 1—Mecânica, Oscilações e Ondas, Termodinâmica**. 5. ed. Rio de Janeiro: LTC - Livros Técnicos e Científicos Editora S.A., v. 1, 2006.
- ZWICKER, E.; FASTL, H. **Psychoacoustics: Facts and models**. Berlim: Springer Science & Business Media, 2013.

GLOSSÁRIO

Frequência: Número de vibrações por unidade de tempo, em um fenômeno periódico.

Período: Divisão do tempo; todo espaço de tempo, geralmente definido por alguns fatos, circunstâncias ou fenômenos específicos.

Onda: Vibração que se propaga num meio elástico, em movimento periódico ou não.

Tom: Os tons diferem em timbre, altura, intensidade e duração.

Batimento: Ato de bater. Pulsação.