



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO
MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA**

POLUIÇÃO SONORA E O ENSINO DE FÍSICA

FELIPE DA SILVA FREITAS

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação no Curso de Mestrado Profissional de Ensino de Física (MNPEF – Polo 30), como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Orientadora: **Dr^a. Maria Lúcia Grillo Perez Baptista**

**Rio de Janeiro
Maio, 2021**



UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO
Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física – PROFIS-UNIRIO

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Felipe da Silva Freitas

Título: Poluição Sonora e o Ensino de Física

Aprovado(a) pela Banca Examinadora

Rio de Janeiro, 12 / 05 / 2021

Prof. Dra. Maria Lúcia Grillo Perez Baptista
(orientadora)

Prof. Dr. Carlos Eduardo Rodrigues de Souza
(avaliador externo)

Prof. Dr. Leonardo Mondaini
(avaliador interno)

Prof. Dr. Bruno Alves Dassie
(avaliador Externo)

Prof. Dr. José Abdalla Helayël-Neto
(avaliador interno)

FICHA CATALOGRÁFICA

F862 Freitas, Felipe da Silva
POLUIÇÃO SONORA E O ENSINO DE FÍSICA / Felipe da
Silva Freitas. -- Rio de Janeiro, 2021.
102

Orientador: Maria Lúcia Grillo Perez Baptista.
Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do
Estado do Rio de Janeiro, Programa de Pós-Graduação
em Ensino de Física, 2021.

1. Ensino de Física. 2. Poluição sonora. 3.
Aprendizagem significativa. 4. Nível de intensidade
sonora. I. Grillo Perez Baptista, Maria Lúcia,
orient. II. Título.

Dedico a todos meus alunos e a todos os estudantes desse país, por serem fonte de força, inspiração e esperança de um futuro melhor.

AGRADECIMENTOS

A Deus, fonte de fé, força e determinação em minha vida, por permitir chegar até aqui, com empenho, coragem e alegria.

Aos professores que compõem o corpo docente do Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física (MNPEF) da Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro (Polo 30), que contribuíram ao longo desse período, por meio das disciplinas, palestras e discussões, essenciais para a minha formação.

À professora Maria Lúcia, minha orientadora, pelo grande apoio e compreensão, fundamentais em todas as etapas da elaboração da dissertação.

À minha mãe Maria Célia Brito Silva, ao meu pai Waldecir da Silva Freitas, ao meu irmão Vinícius da Silva Freitas, e à minha prima Ana Caroline pelo apoio e amparo durante essa caminhada.

Aos meus Amigos Evandro, Bernardo, Daniel, Humberto, Gabriel, Mariana, Fábio, Tamiris, Carlos, Tathiana e Suzan pelo companheirismo, amizade, apoio e parceria.

Aos colegas Profissionais e de turma Álvaro, Alyne, Arthur, Carolina, Eduardo, Evandro, Nathalia e Welf, pelos momentos de aprendizagem coletiva, pelos momentos de amizade, apoio e contribuição nessa jornada.

“Como, pois, recebestes o Senhor Jesus Cristo, assim também andai nele, arraigados e sobre-edificados nele, e confirmados na fé, assim como fostes ensinados, nela abundando em ação de graças.” (Colossenses 2: 6,7)

RESUMO

O ensino de Física vem sofrendo diversas mudanças, principalmente, no que diz respeito aos avanços nas pesquisas destinadas para esse fim. Entretanto, críticas em relação ao ensino dessa disciplina, bem como alto índice de reprovação, podem ser observados cotidianamente no contexto escolar. Diversas são as causas para essa situação. No sentido de apresentar uma proposta educacional contemporânea, voltada à formação do estudante para o exercício pleno da cidadania, na perspectiva de uma aprendizagem significativa, esta dissertação apresenta uma proposta de produto educacional que visa à aproximação entre a Física e o Meio Ambiente, a partir da temática poluição sonora, explorando a sua degradação ambiental e consequências na vida cotidiana. Para tal fim, foi proposta uma atividade problematizadora, com o intuito de conscientizar os estudantes sobre os efeitos causados pelo uso de fones de ouvido em volumes elevados. A fim de construir a resposta científica com os alunos, considerando o nível de intensidade sonora é proposto a eles que realizem uma atividade baseada em questionários, exposições, problematização, textos, vídeos e no final um experimento no qual, com o uso de sonômetro, devem fazer a medida do nível de intensidade sonora dos seus fones de ouvido de forma gradativa, ou seja, a partir do volume mínimo até chegar ao máximo, para perceberem que o volume ideal para ouvir suas músicas não é o máximo.

Palavras-chave: Ensino de Física; poluição sonora; aprendizagem significativa; nível de intensidade sonora.

Rio de Janeiro

Maio, 2021

ABSTRACT

Physics teaching has undergone several changes, especially regarding to advances in research designed for this purpose. However, critics of the teaching of this discipline, such as a high rate of failure, can be seen daily in the school context. There are some causes for this situation. In order to present a contemporary educational proposal, aimed at training students for the full exercise of citizenship, in the perspective of meaningful learning, this dissertation presents a proposal for an educational product that aims to bring physics and the environment closer, based on noise pollution, exploring its environmental degradation and consequences in everyday life. To this end, a problematizing activity was proposed, in order to make students aware of the effects caused by the use of headphones at high volumes. In order to build the scientific response with the students, considering the sound intensity, they are proposed to carry out an activity based on questionnaires, exhibitions, problematization, texts, videos and at the end an experiment in which, with the use of a sonometer, they must do the measure of the sound intensity of your headphones in a gradual way, that is, from the minimum volume to the maximum, to realize that the ideal volume to listen to your music is not the maximum.

Keywords: Physics teaching; noise pollution; meaningful learning; sound intensity.

Rio de Janeiro

Maio, 2021

Sumário

CAPÍTULO 1	15
INTRODUÇÃO.....	15
CAPÍTULO 2	22
FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	22
2.1 EDUCAÇÃO AMBIENTAL E ENSINO DE FÍSICA NA PERSPECTIVA DOS DOCUMENTOS E PROGRAMAS OFICIAIS DO GOVERNO.....	22
2.2 EDUCAÇÃO AMBIENTAL E ENSINO DE FÍSICA NA PERSPECTIVA DA PESQUISA EM EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS.....	25
2.3 APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA NA PERSPECTIVA DO ENSINO DE CIÊNCIAS.....	28
2.4 APRENDIZAGEM ATIVA E A SALA DE AULA INVERTIDA.....	31
CAPÍTULO 3	35
A FÍSICA ONDULATÓRIA E AS ONDAS SONORAS.....	35
3.1 SISTEMAS OSCILANTES.....	35
3.1.1 OSCILADOR HARMÔNICO SIMPLES.....	35
3.1.2 MOVIMENTO HARMÔNICO SIMPLES.....	36
3.1.3 ENERGIA NO MOVIMENTO HARMÔNICO SIMPLES.....	38
3.1.4 MOVIMENTO HARMÔNICO AMORTECIDO.....	39
3.1.5 OSCILAÇÕES FORÇADAS E RESSONÂNCIA.....	41

3.2 MOVIMENTO ONDULATÓRIO.....	41
3.2.1 ONDAS MECÂNICAS.....	42
3.2.2 PROPAGAÇÃO DE ONDAS.....	43
3.2.3 VELOCIDADE TRANSVERSAL DE UMA PARTÍCULA.....	45
3.2.4 FASE E CONSTANTE DE FASE.....	46
3.2.5 VELOCIDADE DE ONDA EM UMA CORDA TENSA.....	47
3.2.6 ENERGIA NO MOVIMENTO ONDULATÓRIO.....	49
3.2.7 POTÊNCIA E INTENSIDADE NO MOVIMENTO ONDULATÓRIO.....	50
3.3 PRINCÍPIO DA SUPERPOSIÇÃO.....	51
3.4 ONDAS SONORAS.....	52
3.4.1 SONS PUROS E SONS COMPLEXOS.....	54
3.4.2 O TEOREMA DE FOURIER.....	55
3.4.3 A VELOCIDADE DO SOM.....	56
3.4.4 CARACTERÍSTICAS DO SOM.....	58
3.4.5 POTÊNCIA E INTENSIDADE SONORA DE ONDAS.....	59
3.4.6 BATIMENTOS.....	61
3.4.7 O EFEITO DOPPLER.....	63
CAPÍTULO 4	64
PRODUTO EDUCACIONAL.....	65
4.1 INTRODUÇÃO.....	65
4.2 METODOLOGIA.....	65
4.3 CONHECENDO OS APLICATIVOS.....	66

4.3.1 SOCRATIVE.....	66
4.3.2 PHET INTERACTIVE SIMULATIONS (PHYSICS EDUCATION TECHNOLOGY)	69
4.3.3 DECIBELÍMETRO.....	74
4.4 DESCRIÇÃO DA APLICAÇÃO DO PRODUTO.....	75
CAPÍTULO 5	77
CONCLUSÃO.....	77
ANEXO I IMAGENS DURANTE O EXPERIMENTO DE MEDIÇÃO DO NÍVEL DE INTENSIDADE SONORA NOS FONES DE OUVIDOS COM O USO DO SONÔMETRO.....	79
APÊNDICE A - QUESTIONÁRIO INVESTIGATIVO USADO NO ÍNICIO DA ATIVIDADE.....	81
APÊNDICE B - RESPOSTAS DE ALGUNS QUESTIONÁRIOS ANTES DA ATIVIDADE.....	82
APÊNDICE C - RESPOSTAS DE ALGUNS QUESTIONÁRIOS APÓS A ATIVIDADE.....	88
APÊNDICE D - TEXTO COMPLEMENTAR PARA LEITURA EXTRA-CLASSE.....	95
APÊNDICE E – VÍDEOS A SEREM EXIBIDOS PARA AS RODADAS DE DISCUSSÃO.....	99
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	100

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Esquema apresentado por Ricardo para distinguir exemplificação de contextualização.....	27
Figura 2: deslocamento x da partícula a partir da posição de equilíbrio.....	36
Figura 3a: A energia cinética $K(t)$ e a energia potencial $U(t)$ em função do tempo	38
Figura 3b: A energia cinética $K(x)$ e a energia potencial $U(x)$ em função de x	38
Figura 4a: Um oscilador amortecido que consiste em um bloco imerso em um líquido viscoso.....	39
Figura 4b. Gráfico de x versus t para um oscilador amortecido.....	39
Figura 5. Uma onda senoidal numa corda longa e esticada. Todos os pontos da corda oscilam perpendicularmente à direção da velocidade da onda.....	43
Figura 6: Um pulso movendo-se para a esquerda em uma corda esticada com velocidade v	47
Figura 7a: Propagação de um pulso numa corda esticada e com um objeto pendurado.....	49
Figura 7b: Energia cinética e energia potencial sendo transferidas para o objeto com a chegada do pulso.....	49
Figura 8: Movimento de um pulso sonoro em um tubo de ar.....	52
Figura 9: Um instantâneo de massa específica, que varia com a amplitude $\Delta\rho_m$ em torno de ρ_0	53

Figura 10: Um instantâneo de pressão, que varia com a amplitude Δp_m em torno de p_0	53
Figura 11a: Um pulso de compressão está próximo de penetrar um elemento de fluido cujo comprimento sem perturbação é L_0	56
Figura 11b: Em um instante t posterior o pulso já alcançou o extremo direito do elemento e comprimiu o mesmo para um comprimento L	56
Figura 12: Batimentos causados pela superposição de duas ondas de frequências quase idênticas.....	63
Figura 13.1: Apresentação inicial da página do SOCRATIVE.....	67
Figura 13.2: Criação de conta.....	68
Figura 13.3: Painel de Controle.....	68
Figura 13.4: Acesso do aluno.....	69
Figura 14.1: Apresentação da página inicial das simulações da plataforma PhET.....	70
Figura 14.2: Simulação Ondas na corda.....	71
Figura 14.3: Simulação interferência de ondas (Propagação na superfície de um líquido)	72
Figura 14.4: Simulação interferência de ondas (Propagação num meio e movimento das partículas).....	72
Figura 14.5: Simulação Som.....	73
Figura 15: Aplicativo decibelímetro.....	74

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: A velocidade do som.....	58
Tabela 2: Algumas intensidades sonoras e níveis de intensidade sonora.....	61

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

O ensino de Física vem passando por diversas mudanças, principalmente, em relação às pesquisas destinadas para essa finalidade. Porém, críticas em relação ao ensino dessa disciplina, bem como um índice elevado de reprovação podem ser observados cotidianamente no contexto escolar. Tais críticas são reforçadas por práticas educacionais centradas no professor, onde o aluno participa passivamente das aulas, sem até mesmo refletir sobre o que está sendo ensinado em sala de aula e suas respectivas relações com a vida fora dali. No sentido de apresentar uma proposta de atividade didática contemporânea, voltada para a formação do estudante para o exercício pleno da cidadania, essa dissertação visa evidenciar as aproximações entre a Física e a Poluição sonora. Com o objetivo de conscientizar os estudantes sobre as consequências e impactos dessa forma de poluição bem como fornecer-lhes meios para uma intervenção consciente em tais problemas, foi proposta uma atividade problematizadora, na qual a poluição sonora será discutida a partir da exploração do conteúdo científico de Física.

No ensino de ciências é importante refletir se o que se ensina na escola será aplicado fora dali, e conseqüentemente sobre sua contribuição para a formação dos alunos.

O ensino oferecido nas instituições escolares está cada vez mais distante da realidade vivida pelos alunos e, sendo assim, assuntos com grande relevância para a sociedade contemporânea são deixados de lado. Essa forma de percepção dos conteúdos escolares não oferece subsídios para que os alunos possam enxergar a Física fora do ambiente escolar. Além disso, gera, ou pelo menos contribui para o desinteresse da maioria dos alunos. Essa falta de interesse acaba se tornando um dos principais obstáculos para uma aprendizagem com significado para a vida.

Nessa perspectiva, como caminho necessário para uma contextualização que retorne à realidade, uma problematização é vista como fundamental nesse processo, pois ajuda a refletir sobre a realidade ou parte dela, sistematizando o conhecimento.

No contexto do ambiente em que se faz presente, o som dentro de seus significados é essencial para as atividades dos seres vivos em toda natureza que os cerca. Para os seres humanos, os estímulos sonoros são importantes desde a

gestação e a partir do último trimestre desta, os bebês são capazes de memorizar estímulos auditivos externos e após o nascimento dão preferência à voz materna.

Num contexto histórico, a revolução industrial, introduziu uma série de novos sons dos quais o mundo está exposto até hoje. Nesse âmbito, o conjunto de ruídos com origens em diversas fontes sonoras manifestados num ambiente qualquer e ao mesmo tempo é classificado como poluição sonora. Por meio da audição, um dos principais canais de comunicação do ser humano, é que percebemos os danos ocasionados pela exposição excessiva a esse tipo de poluição. Quando não diagnosticado em tempo, todo dano auditivo tem efeitos muitas das vezes irreparáveis, causando sérios danos de modo a interferir no desenvolvimento social e intelectual de um indivíduo.

Quando um ruído é considerado como poluição sonora, a exposição contínua traz consequências para a saúde que não se limitam aos ouvidos. Sendo bastante negligenciado, o aspecto sonoro em nosso ambiente é levado em conta somente no caráter trabalhista, pois existe muito pouco material divulgado para a população. Sendo assim, se torna necessário discutir poluição sonora e seus aspectos e impactos na saúde humana e no meio ambiente, de modo a apresentar formas de controle e prevenção desse tipo de poluição.

Nessa perspectiva, o ambiente escolar ganha espaço, pois é o meio onde estão os indivíduos em formação, tendo desse modo, a oportunidade de formar cidadãos críticos aptos a intervir em questões de demanda social tendo por base uma proposta educacional contemporânea, voltada à formação do estudante para o exercício pleno da cidadania.

Para isso, a aproximação entre a Física e as questões relativas ao som se faz necessária, pois por meio desta é possível compreender de forma conceitual e experimental os aspectos ligados ao som e suas interações com a vida humana. Além disso, por ser uma proposta contemporânea, o estudante terá a oportunidade de ver a Física como ela realmente é, ampla, diversificada e atual, mostrando que é muito além de fórmulas e resolução repetitiva de exercícios, mas que sua compreensão requer leitura e uma interação interdisciplinar com outras áreas de conhecimento.

No que diz respeito à legislação ambiental, a problemática da poluição sonora tem sido bastante desafiadora. Desse modo, interfere na qualidade de vida da população desde o âmbito dos limites diários até os de grandes rodovias. De acordo com a Organização Mundial de Saúde (OMS) esse tipo de poluição é considerado

como um caso de saúde pública, estando um décimo da população exposta a níveis que podem causar problemas diversos, dos quais o prejuízo cognitivo, distúrbios do sono, doenças cardiovasculares e danos à audição são os mais alarmantes.

No contexto dos seus propósitos, a legislação ambiental de acordo com a norma ABNT NBR 10151, estabelece os procedimentos técnicos que devem ser adotados na medição de níveis de pressão sonora em ambientes internos e externos de edificações, onde são recomendados limites menos restritivos para períodos diurnos em relação aos noturnos. No entanto, esses valores podem variar sob alguns aspectos. Numa escala estadual, alguns estados possuem uma lei sobre o assunto e para municípios tais limites são comumente estabelecidos conforme o período e o horário.

De acordo com a natureza do som é possível estabelecer diferenças entre os ruídos. A ABNT NBR 16313 trata das definições técnicas nas quais são estabelecidas tais diferenças. Além disso, serve como base técnica na aplicação da ABNT NBR 10151. Nesse contexto, alguns ruídos podem ser classificados de acordo com suas causas. Quando caracterizado por uma única componente de frequência ou por componentes de banda estreita que se destacam em relação às demais componentes é classificado como tonal. Já ruídos contínuos e intermitentes causam sintomas de estresse, gerando alteração dos níveis hormonais na corrente sanguínea, batimentos cardíacos, dilatação da pupila e até mesmo, outros efeitos fisiológicos.

Se uma norma não estiver referenciada em legislação ou contrato, sua adoção é voluntária. Nessa perspectiva, é possível entender juridicamente que se torna obrigatória a adoção de normas técnicas, caso tais referências não ocorram de maneira direta, tendo tal entendimento como base o direito do consumidor.

Os municípios por sua vez, além de fiscalizarem e regulamentarem normas por meio da definição de limites, vão além ao estabelecerem uma política de educação, conscientização e combate à poluição sonora, auxiliando na implementação de políticas de regulamentação de ações de controle do ruído.

Trazendo a política educacional para o âmbito escolar, tal proposta ganha espaço no que diz respeito às competências gerais da Educação Básica propostas pela Base Nacional Comum Curricular (BNCC). Esse documento determina as competências (gerais e específicas), as habilidades e as aprendizagens essenciais que todos os alunos devem desenvolver durante cada etapa da Educação Básica. A BNCC não deve ser entendida como sinônimo de currículo, mas que está diretamente

ligada à construção dos currículos Estaduais e Municipais, bem como ao projeto político pedagógico e ao currículo das escolas. Seu objetivo é garantir a todos os estudantes o direito de aprender um conjunto fundamental de conhecimentos e habilidades comuns, de modo a reduzir as desigualdades educacionais no país, de forma a nivelar e elevar a qualidade do ensino. Além disso, ela visa formar estudantes com habilidades e conhecimentos considerados essenciais para o século XXI, de modo a incentivar e permitir uma modernização dos recursos e das práticas pedagógicas e atualização do corpo docente. Dentre diversos aspectos, a BNCC contempla uma proposta de ensino voltada para formação do cidadão, visando à sociedade como um todo, onde conhecimentos historicamente construídos sobre o mundo físico, cultura e social são valorizados com o objetivo de entender e explicar a realidade. Além disso, por meio de tal proposta é possível exercitar a curiosidade intelectual e recorrer à abordagem prática das ciências incluindo a investigação, a reflexão, a análise crítica, a imaginação e a criatividade, de modo a contemplar meios diversos, incluindo várias áreas de conhecimento para solução de problemas e tendo suas escolhas alinhadas ao exercício da cidadania e ao seu projeto de vida, com liberdade, autonomia, consciência crítica e responsabilidade (BRASIL, 2018).

Nessa perspectiva, a poluição sonora promove a argumentação de fatos, dados e informações com o intuito de formalizar ideias, defender pontos de vista e tomada de decisões comuns que respeitem e promovam os direitos humanos, a consciência socioambiental e o respeito aos níveis de intensidade sonora em âmbito local, regional e global, possibilitando uma consciência crítica e com responsabilidade.

O aumento do ruído está diretamente ligado à mobilidade urbana no que diz respeito ao crescimento das metrópoles, porém ainda se discute pouco sobre a temática em conferências sobre desenvolvimento sustentável, demonstrando que o caminho a ser percorrido ainda é longo, requerendo mudanças na atual postura diante de tal temática.

Seres humanos sempre sofreram incômodos de sons muito intensos e sem harmonia, mas só após a revolução industrial o tema passou a ser tratado como um problema mundial de saúde pública, quando uma perda significativa da capacidade auditiva passou a ser apresentada por operários, afetando conseqüentemente em sua capacidade produtiva. Mas só na década de 60 que a poluição sonora urbana passou

a ser tratada como uma questão de saúde pública, pois além de perda auditiva, causa estresse, aumento da pressão arterial, infartos e redução da capacidade cognitiva.

O ruído é caracterizado pela distribuição anárquica de ondas sonoras, causando sensação desagradável ao ser humano. Ainda que somente o ocupacional seja considerado lesivo, há outros ruídos que causam perdas auditivas e danos à saúde do indivíduo, como ocorre com sons acima de 85 decibéis. Tal limite é o máximo de exposição que uma pessoa pode ter quando é considerada uma jornada de oito horas de trabalho, de acordo com as Normas Regulamentadoras relativas à Medicina e Segurança do Trabalho. Nesse contexto:

a poluição sonora é considerada como um conjunto de sons procedentes de uma ou mais fontes sonoras, que se manifestam ao mesmo tempo em um ambiente, seja por transmissão aérea ou por vibrações dos elementos, e este tipo de poluição é considerado, atualmente, a terceira maior causa de poluição do mundo moderno. (LADEIA, 2019 p, 34)

Atualmente, a poluição sonora é oficialmente, um problema de saúde pública. No Brasil, as resoluções do Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA 001 e 002/90) demonstram que:

o reconhecimento de que o excesso de som é um problema de saúde pública, o qual afeta a qualidade de vida e é agravado com a evolução industrial e tecnológica. Visando ao controle do excesso de ruído, a resolução 002/90 estabeleceu o Programa Nacional intitulado Educação e Controle da Poluição Sonora (BRASIL, 1990)

Nessa perspectiva, é possível enxergar bem claramente que a poluição sonora não é um fenômeno recente, mas algo que está presente na humanidade desde os tempos mais remotos, das mais variadas origens e características físicas. Naturalmente são produzidos ruídos dos mais diversos, tais como tormentas, furacões e tornados. No entanto, os mais alarmantes e agressivos são recorrentes de atividades humanas, se concentrando em meios urbanos e ambientes de trabalho.

Num contexto geral, os níveis de poluição têm aumentado nos tempos modernos, especialmente onde o desenvolvimento tecnológico é mais acentuado, fato evidenciado, por exemplo, pelos elevados níveis de consumo e transportes mais sofisticados que deslocam um número cada vez maior de pessoas em menos tempo, marcas trazidas da revolução industrial, resultando em meios de transporte cada vez mais modernos e no crescimento das aglomerações urbanas.

Fica cada vez mais evidente por meio de diversos estudos realizados ao longo das últimas décadas em todo o mundo que este nível de poluição afeta a saúde humana nos variados contextos provocando uma série de efeitos fisiológicos e psicológicos. Tanto por parte dos órgãos de gestão como dos próprios cidadãos não se dava a atenção devida ao estudo da contaminação sonora e de seus efeitos. Tal comportamento pode ser entendido pelo fato de os efeitos não serem imediatos e os ruídos estarem associados a atividades indispensáveis na forma de vida moderna.

No geral, nas últimas décadas o Brasil tem apresentado uma série de similaridades com outros países no que diz respeito aos níveis de contaminação. Isso tanto em países em via de desenvolvimento como até mesmo os desenvolvidos. Nesse contexto, um considerável incremento nos níveis de ruído pode ser apresentado por cidades brasileiras e suas regiões metropolitanas, quase sempre como consequências dos movimentos migratórios. Nessa perspectiva, um conjunto de ações acadêmicas e informativas geram questionamentos sobre esse tipo de problema que embora em número reduzido, chegam aos veículos de comunicação e chamam a atenção da população local, conscientizando sobre os danos causados à própria vida.

A comunidade científica exerce um papel de extrema importância na conscientização da população acerca dos efeitos causados pela contaminação sonora. Por meio dela, são feitas produções acadêmicas com a finalidade de mostrar para a população que em situações corriqueiras do cotidiano estão presentes fenômenos que a longo prazo causam efeitos maléficos à saúde humana, que vão desde problemas fisiológicos até psicológicos, que com medidas preventivas podem ser evitados, elucidando o caráter inclusivo da ciência, que ela é para todos. Desse modo, a população exerce plenamente a cidadania, pois é capaz de compreender que suas tomadas de decisões interferem tanto no contexto pessoal como social, melhorando a qualidade de vida. Tal conscientização pode ser realizada não somente via canais de comunicação mais tradicionais, como também via ambiente escolar, onde o indivíduo vive a fase mais importante do seu processo de formação e desenvolvimento cognitivo.

No que diz respeito à produção científica relativa ao ruído ambiental e suas vertentes, nos últimos 15 anos o Brasil cresceu de forma expansiva, fato evidenciado pelo número de trabalhos aprovados no Encontro da Sociedade Brasileira de Acústica (SOBRAC, 2018).

Além dos anseios relativos ao ensino de Física, críticas em relação ao ensino da disciplina, bem como alto índice de reprovação observados cotidianamente no contexto escolar, essa proposta tem como base alguns anseios pessoais e algumas experiências anteriores no ensino da disciplina.

Ainda no período da graduação, tive a oportunidade de participar de um projeto de extensão universitária na Universidade Federal Fluminense (UFF), o Pré-Universitário Popular da UFF, onde juntamente com professores de outras disciplinas foi possível ter um primeiro contato com um Ensino de Física interligado a outras áreas de conhecimento, ao abordar questões de exames vestibulares sob a ótica das diferentes áreas. No último ano de graduação, iniciei o estudo orientado para dar início à monografia. Esse trabalho apresentou uma proposta educacional contemporânea, voltada à formação do estudante para o exercício pleno da cidadania, apresentando uma possível aproximação entre a Física e o Meio Ambiente, a partir da temática poluição das águas, explorando a degradação ambiental e suas consequências nas águas dos rios, lagos, mares e oceanos. Para tal fim, foi proposta uma atividade problematizadora, com o intuito de conscientizar os estudantes sobre os efeitos causados pelas atitudes humanas e também fornecer-lhes meios para uma intervenção consciente em tais problemas. O conteúdo escolar de Física extraído da temática ambiental “poluição das águas” foi o conceito de massa específica. Para o ensino desse conteúdo privilegamos a abordagem experimental, cujos resultados favorecem a construção do conceito científico e a compreensão do comportamento de determinadas substâncias ao serem lançadas nos recursos hídricos disponíveis em estado líquido no nosso planeta.

Na mesma perspectiva de proposta educacional contemporânea, o presente trabalho apresenta aproximações entre a Física e a Poluição sonora, na qual a temática é discutida a partir da exploração do conteúdo científico de Física no currículo do Ensino Médio.

CAPÍTULO 2

FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.

2.1 EDUCAÇÃO AMBIENTAL E ENSINO DE FÍSICA NA PERSPECTIVA DOS DOCUMENTOS E PROGRAMAS OFICIAIS DO GOVERNO

No sentido de descrever essa perspectiva foi feita uma análise das sugestões e/ou orientações nos seguintes documentos oficiais do MEC: Parâmetros Curriculares para o Ensino Médio (PCN) – Bases Legais (Parte I) (MEC, 2000) e Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias (Parte III) (MEC, 2000); Orientações Educacionais Complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais (PCN+) – Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias; Orientações Curriculares para o Ensino Médio – OCEM; Programa do Livro Didático – Física para o triênio 2015 – 2017 (MEC, 2014). O primeiro documento analisado, PCN – Bases Legais aponta para fundamentos que norteiam a exploração das questões ambientais no currículo do Ensino Médio. De acordo com a nossa percepção esses fundamentos correlacionam Meio Ambiente ao exercício da cidadania, ao significado dos conteúdos escolares (contextualização) e aos conhecimentos, como pode ser observado nos trechos do referido documento, citados a seguir:

Exercício de cidadania é testemunho que se inicia na convivência cotidiana e deve contaminar toda a organização curricular. As práticas sociais e políticas e as práticas culturais e de comunicação são parte integrante do exercício cidadão, mas a vida pessoal, o cotidiano e a convivência e as questões ligadas ao meio ambiente, corpo e saúde também (MEC, 2000 – Parte I, p. 80).

O cotidiano e as relações estabelecidas com o ambiente físico e social devem permitir dar significado a qualquer conteúdo curricular, fazendo a ponte entre o que se aprende na escola e o que se faz, vive e observa no dia a dia [...] (ibid, p. 81).

Na vida pessoal, há um contexto importante o suficiente para merecer consideração específica, que é o do meio ambiente, corpo e saúde. Condutas ambientalistas responsáveis subentendem um protagonismo forte no presente, no meio ambiente imediato da escola, da vizinhança, do lugar onde se vive. Para desenvolvê-las é importante que os conhecimentos das Ciências, da Matemática e das Linguagens sejam relevantes na compreensão das questões ambientais mais próximas e estimulem a ação para resolvê-las (ibid, p. 81).

O segundo documento, PCN – Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias, faz uma apresentação sobre uma proposta para o Ensino Médio que proporcione um aprendizado que seja útil à vida e ao trabalho, no qual:

[...] as informações, o conhecimento, as competências, as habilidades e os valores desenvolvidos sejam instrumentos reais de percepção, satisfação, interpretação, julgamento, atuação, desenvolvimento pessoal ou de aprendizado permanente, evitando tópicos cujos sentidos só possam ser compreendidos em outra etapa de escolaridade (MEC, 2000, p. 4).

Esse documento menciona que elementos do domínio vivencial dos educandos, da escola e de sua comunidade imediata, devem ser tratados como ponto de partida do processo educacional. Dessa forma, é possível dar um significado ao aprendizado, de modo que se possa garantir o diálogo.

Nessa perspectiva,

É necessário e possível transcender a prática imediata e desenvolver conhecimentos de alcance mais universal. Muitas vezes, a vivência, tomada como ponto de partida, já se abre para questões gerais, por exemplo, quando através dos meios de comunicação os alunos são sensibilizados para problemáticas ambientais globais ou questões econômicas continentais. Nesse caso, o que se denomina vivencial tem mais a ver com a familiaridade dos alunos com os fatos do que com esses fatos serem parte de sua vizinhança física e social (ibid, p. 7).

Os PCN+, ao tratarem das competências necessárias para lidar com o mundo físico, indicam que tais não possuem nenhum significado quando trabalhadas de maneira isolada, pois o processo de construção das mesmas está condicionado a um presente contextualizado, “[...] em articulação com competências de outras áreas, impregnadas de outros conhecimentos” (MEC, 2002, p. 59). Nesse contexto, enfatizando o sentido de tais competências:

Elas passam a ganhar sentido somente quando colocadas lado a lado, e de forma integrada, com as demais competências desejadas para a realidade desses jovens. Em outras palavras, a realidade educacional e os projetos pedagógicos das escolas, que expressam os objetivos formativos mais amplos a serem alcançados, é que devem direcionar o trabalho de construção do conhecimento físico a ser empreendido (MEC, 2002, p. 59).

Na análise desse documento é possível observar que quando se toma como referência o motivo pelo qual se deseja ensinar física, fica explícita a preocupação em atribuir ao conhecimento um significado no momento de seu aprendizado. Nesse sentido, é suposta uma preparação do jovem para “[...] ser capaz de lidar com

situações reais, crises de energia, problemas ambientais, manuais de aparelhos, concepções de universo, exames médicos, notícias de jornal, e assim por diante”. (ibid, p. 60). Ao analisar os espaços que são tradicionalmente demarcados por temas centrais da Física, o documento, por meio de eixos norteadores, cita possibilidades para um ensino que dê significado no momento da aprendizagem.

As OCEM reforçam as ideias dos PCN e PCN+, que sugerem um conjunto de temas e unidades temáticas para auxiliar as escolhas do professor. Esse documento ratifica a importância de um ensino de Física que explore temas atuais, incluindo aqueles que têm “forte relação com aspectos sociais, como as contribuições da Física nas questões ambientais” (MEC, 2006, p. 56). Esse documento evidencia a necessidade de revisão dos conteúdos ensinados e suas respectivas práticas, e reforçam a sugestão dos PCN+ sobre os temas estruturadores, dentre os quais, pode-se citar o tema 2: “[...] Calor, ambiente e usos de energia (unidades temáticas: fontes e trocas de calor, tecnologias que usam calor: motores e refrigeradores, o calor na vida e no ambiente, energia: produção para uso social)”. O Programa Nacional do Livro Didático (2018), ao comentar o propósito da Física no contexto escolar, faz referência à sua articulação com a educação ambiental como pode ser constatado no texto a seguir:

A Física escolar deve contemplar, portanto, a escolha cuidadosa dos elementos mais importantes presentes na estrutura conceitual da Física como uma disciplina científica, uma área do conhecimento sistematizado, em termos de conceitos e definições, princípios e leis, modelos e teorias, fenômenos e processos. Deve, ainda, incorporar um tratamento articulado desses elementos entre si e com outras áreas disciplinares, bem como com aspectos históricos, tecnológicos, sociais, econômicos e ambientais, de modo a propiciar as aprendizagens significativas necessárias aos alunos e, assim, contribuir para que o ensino médio efetive sua função como etapa final da formação educacional básica de todo e qualquer cidadão (MEC – SEB, 2018, p. 9).

Assim, o processo avaliativo das obras inscritas no Programa contou com critérios eliminatórios para o componente curricular Física que se relacionam com a educação ambiental.

2.2 EDUCAÇÃO AMBIENTAL E ENSINO DE FÍSICA NA PERSPECTIVA DA PESQUISA EM EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS

A Física, por sua própria condição de ciência básica, oferece conceitos e modelos para a compreensão dos fenômenos naturais. Assim, discussões relacionadas às problemáticas ambientais não podem ser devidamente compreendidas sem a sua contribuição.

A análise de questões relacionadas ao Meio Ambiente, bem como, a proposição de soluções, exige um olhar multidisciplinar, ou seja, há a necessidade de estabelecimento de relação com outras Ciências, tais como: Química, Biologia, Economia e Sociologia. Desse modo, coloca em evidência a característica transdisciplinar presente nas diversas formas do conhecimento.

Sendo a Física umas das mais abrangentes Ciências, a sua função tem devida importância para o desenvolvimento científico, desse modo, sendo amparada ou amparando outras disciplinas. O entendimento de problemas mais complexos possui como base essencial a interdisciplinaridade com participação da Física, podendo dessa forma, encontrar soluções beneficiando vários segmentos da sociedade.

Ao tratar dos problemas ambientais, Landulfo (2005) faz uma síntese com relação a tais problemas. Para esse autor:

Os problemas ambientais, em síntese, consistem na configuração de muitas diferentes variáveis, fatores negativos que despontam e crescem através do tempo, nos diversos ecossistemas do planeta, colocando em perigo – por vezes de forma ameaçadora e apocalíptica – a sobrevivência da espécie humana, a perpetuação da vida e a integridade do globo terrestre (p. 77).

Na perspectiva de um ensino de Física que contribua para uma melhor educação dos alunos do Ensino Médio, Leodoro e Santos (2007, p.2) consideram que “a natureza dual da ciência enquanto instituição concreta e, portanto, inserida permanentemente num jogo de múltiplos interesses” não pode ser descartada. Assim, esses autores defendem que “o desafio da educação ambiental no ensino de física implica em promover a problematização da ciência enquanto agente de contribuição ao estado crítico do ambiente contemporâneo” (LEODORO E SANTOS, 2007, p. 2).

No ensino de Física mais do que no de outras Ciências, se torna evidente o questionamento sobre a pertinência do que se ensina na escola e, conseqüentemente, sobre sua contribuição para a formação dos alunos.

O ensino oferecido nas instituições escolares está cada vez mais distante da realidade vivida pelos alunos e, sendo assim, assuntos com grande relevância para a sociedade contemporânea são deixados de lado. Essa forma de percepção dos conteúdos escolares não oferece subsídios para que os alunos possam enxergar a Física fora do ambiente escolar. Além disso, gera, ou, pelo menos, contribui para o desinteresse da maioria dos alunos. Essa falta de interesse acaba se tornando um dos principais obstáculos para uma aprendizagem com significado para a vida.

Na perspectiva de Ricardo (2010), os questionamentos de um professor reflexivo estão associados:

[...] a outros desafios impostos aos professores, a saber, administrar a heterogeneidade em sala de aula, criar situações de aprendizagem, compreender o processo de didatização dos saberes escolares e lidar com as representações e concepções dos alunos, entre outros. Todavia, se é verdade que em educação não se deve buscar receitas prontas para a solução de problemas dessa natureza, também é verdade que há alternativas e possibilidades para se enfrentar didaticamente os cenários que se apresentam (p. 30).

A contextualização, juntamente com a interdisciplinaridade, é citada nos documentos oficiais do MEC e estão cada vez mais presentes nos discursos educacionais, entretanto, a sua utilização não tem se mostrado como prática corriqueira na escola. É bastante usual associar a contextualização com o cotidiano do aluno, sendo vista dessa forma como elemento motivador da aprendizagem. Como bem coloca Ricardo (2010), esse tipo de interpretação é reforçado nos PCN, no sentido que nesse documento é considerado como viável “[...] generalizar a contextualização como recurso para tornar a aprendizagem significativa ao associá-la com experiências da vida cotidiana ou com os conhecimentos adquiridos espontaneamente” (MEC, 2000, p. 81).

Mello (2004) coloca a interdisciplinaridade e a contextualização como os dois recursos mais importantes para instrumentalizar a transposição didática ou o processo de didatização dos saberes escolares. Para essa autora, a interdisciplinaridade, a contextualização e a transposição didática não são apenas aspectos interligados, já que são partes de um mesmo processo:

[...] transformar o conhecimento em conhecimento escolar a ser ensinado; definir o tratamento a ser dado a esse conteúdo e tomar as decisões didáticas e metodológicas que vão orientar a atividade do professor e dos alunos com o

objetivo de construir um ambiente de aprendizagem eficaz (MELLO, 2004, p. 1).

No que diz respeito à interdisciplinaridade, Mello (2004) coloca que “o trabalho interdisciplinar implica em atividades de aprendizagem que favoreçam a vivência de situações reais ou simulem problemas e contextos da vida real que, para serem enfrentados, necessitarão de determinados conhecimentos e competências” (p. 8), enquanto que contextualizar “é uma estratégia fundamental para a construção de significações” (p. 8) e, sendo assim, “quanto mais próximos estiverem o conhecimento escolar e os contextos presentes na vida pessoal do aluno e no mundo no qual ele transita, mais o conhecimento terá significado” (p. 9). Mello (2004) e Ricardo (2010) alertam que contextualizar não tem o mesmo significado que exemplificar. Para Mello (2004) “contextualizar o ensino significa incorporar vivências concretas e diversificadas, e também incorporar o aprendizado em novas vivências” (p.10). Do mesmo modo, Ricardo (2010, p. 42) ressalta que: “um ensino de física contextualizado não se resume a relações ilustrativas com o cotidiano dos alunos, ou com exemplos de aplicações da física”.

Ricardo (2010, p. 43) condiciona a contextualização do ensino ao resultado de escolhas didáticas do professor, em outras palavras, ao processo de transposição didática, destacando a importância do papel da problematização. Sintetiza a diferença entre exemplificar e contextualizar, respectivamente, pelas curvas A e B do esquema representado na Figura 1.

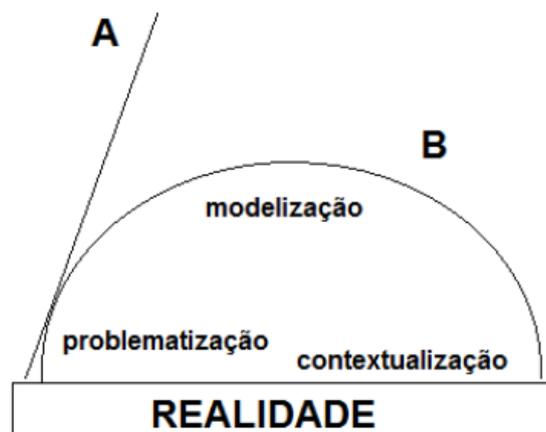


Figura 1: Esquema apresentado por Ricardo (2010, p. 43) para distinguir exemplificação de contextualização.

O ponto de partida é a realidade, entretanto, na exemplificação (curva A) não há a possibilidade de um novo olhar, uma nova reflexão balizada pelo conhecimento sistematizado.

Nessa concepção, para chegar a uma contextualização que retorne à realidade, se faz necessário partir de uma problematização, com o intuito de refletir a realidade ou parte dela, passando por uma sistematização do conhecimento.

Diversos foram os fatores que motivaram à escolha dessa temática, dentre os quais, contemporaneidade e presença na realidade urbana. Além disso, é uma tentativa de diversificar das temáticas que naturalmente articulam os conteúdos físicos com as questões ambientais (geração de energia, poluição do ar e radiação solar), como forma de contribuir com a ampliação de temas propícios a uma aproximação entre Ensino de Física e Meio Ambiente.

2.3 APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA NA PERSPECTIVA DO ENSINO DE CIÊNCIAS

Dentre as classificações de aprendizagem, a que é classificada como cognitiva se destaca pela forma de armazenar organizadamente informações na mente do indivíduo em questão, formando dessa forma sua estrutura cognitiva.

Nesse campo do cognitivismo, uma explicação sobre o processo de aprendizagem do indivíduo é proposta por Ausubel. Assim como outros teóricos da mesma área, ele tem como base o pensamento de que ocorre um processamento entre a organização e a integração, formando o conteúdo de ideias de cada indivíduo para se utilizar o conhecimento.

No contexto escolar, a forma como a aprendizagem ocorre tem papel de grande importância no processo. Nessa perspectiva, o conhecimento que o aluno traz deve servir de base para a construção de novos conhecimentos, devendo ainda, o professor ser capaz de identificar tal estrutura no aluno e a partir desse ponto, ensinar de forma a complementar a bagagem do aluno. Por mais que a experiência cognitiva seja influenciada diretamente pelos conceitos envolvidos na nova aprendizagem, ela também está relacionada com as mudanças ocorrentes de tal influência, revelando a existência de um processo de interação que permite conectar o novo com os conceitos de maior relevância, formando assim, o conceito de aprendizagem significativa. Nesse processo, a relação da nova informação com algum aspecto de

relevância da estrutura cognitiva do indivíduo, Ausubel a conceitua como subsunção, que é inerente da estrutura cognitiva. Com isso, uma hierarquia conceitual é formada, possibilitando a assimilação entre conteúdos específicos e conceitos mais gerais de modo a trazer significado à aprendizagem (AUSUBEL, 1982).

No contexto da Física, por exemplo, o som e algumas características já estão presentes na estrutura cognitiva do indivíduo, servindo desse modo, de subsunções para os conceitos de amplitude sonora, frequência sonora e timbre, tendo como consequência o desenvolvimento e modificação do conceito de subsunção por meio da aprendizagem significativa. Contrapondo essa ideia, a aprendizagem definida por Ausubel como mecânica possui pouco ou até mesmo nenhuma relação com os subsunções existentes na estrutura do aluno, não promovendo o seu aprimoramento. Nesse contexto, a memorização de fórmulas, leis e conceitos físicos pode ser caracterizada como esse tipo de aprendizagem, por mais que possa ocorrer algum tipo de associação. Entretanto, Ausubel não diferencia essa aprendizagem da significativa de forma descontínua, mas sim contínua, onde uma aprendizagem por descoberta e por percepção se complementam, fazendo com que após a descoberta a aprendizagem só se torne significativa se o conteúdo descoberto estabelecer ligação com os subsunções, de modo a incorporar à estrutura cognitiva de modo não arbitrário.

Num contexto onde não há existência de subsunções, se faz necessário refletir sobre sua formação, origem e como tornar algo que já foi aprendido mecanicamente em um elemento significativo. Desse modo, para que essa aprendizagem ocorra é preciso que o assunto objeto de estudo seja relacionado ou até mesmo incorporado à estrutura cognitiva do aprendiz de modo não arbitrário, fazendo com que as ferramentas utilizadas no processo sejam potencialmente significativas. No entanto, não basta que somente as ferramentas tenham essas características, mas que também o aprendiz esteja disposto a utilizá-las de forma não arbitrária e sem a intenção de somente memorizar os processos, pois a aprendizagem se torna mecânica mesmo o material sendo potencialmente significativo. Reciprocamente, o fato de o indivíduo estar disposto a aprender não garante que o processo será significativo, pois depende se o material será potencialmente significativo.

Nesse contexto, Ausubel ainda subdivide a aprendizagem significativa em três tipos: a representacional, de conceitos e proposicional.

Alicerçando o processo, a aprendizagem representacional está relacionada aos significados de determinados símbolos que desempenham papel de referência no que diz respeito aos objetos, eventos e conceitos, representando para o indivíduo o significado de seus referentes. Essa representação simbólica também é referida no contexto da teoria do desenvolvimento cognitivo de Piaget, em especial no período que ele define como pré-operatório (dos 2 aos 7 anos). Nesse período, o aparecimento da função simbólica e de imagens mentais ganham destaque nessa etapa, pois seu pensamento começa a organizar-se, entretanto ainda de modo não reversível, isto é, a criança consegue percorrer um caminho, mas não em seu sentido reverso, focalizando apenas os aspectos mais atraentes perceptualmente.

Na aprendizagem de conceitos, ocorre também a representação por símbolos, pois os conceitos são representados dessa forma, entretanto, exprimem certas abstrações com relação aos referentes com um caráter mais genérico.

Já a aprendizagem proposicional se contrapõe à aprendizagem representacional, pois nesse tipo de aprendizagem o foco é aprender o significado de ideias por meio da proposição e não aprender de forma significativa o que palavras isoladas ou combinadas expressam. Embora, o significado dos conceitos seja pré-requisito, o objetivo não é representa-los, mas sim o significado das ideias expressas através deles, formando dessa forma uma proposição.

Ausubel ainda propõe a “teoria da assimilação”, que segundo ele torna mais claro e preciso o processo de aprendizagem por meio da explanação tanto da aprendizagem como da retenção. Na perspectiva da assimilação, Piaget em sua teoria do desenvolvimento cognitivo se baseia em conceitos chaves que tem como motivação inicial a desequilibração. A partir desse ponto ocorre todo um processo até que seja atingida a equilíbrio. Nesse contexto, a assimilação é a tentativa inicial do indivíduo buscar solucionar uma determinada situação a partir da estrutura cognitiva que ele possui em um determinado momento. Representa um processo contínuo na medida em que o indivíduo está em constante atividade de interpretação da realidade que vive. Quando esse objetivo não é atingido, começa então o processo de acomodação que consiste na capacidade de modificar a estrutura mental, podendo provocar alterações nos esquemas mentais a partir de uma estrutura de ideias já assimiladas, gerando novas ideias até que seja atingida a equilíbrio.

A formação de um indivíduo reflexivo e crítico diante de questões sociais envolve práticas pedagógicas que vão além de descentralizar o professor no processo

educativo, mas envolvem todo o contexto no qual está inserida e de modo a contemplar uma formação profissional continuada em que o professor acompanhe as mudanças no que diz respeito às tendências pedagógicas modernas. No contexto das mudanças curriculares não basta somente passar de uma área específica para interdisciplinaridade, mas também apresentar estratégias de ensino-aprendizagem que são como um desafio para a formação de professores do futuro, tais como metodologias ativas. Nessa perspectiva, há necessidade de que a criatividade do professor seja estimulada por meio de atividades que correlacionem teoria e prática buscando atender as necessidades da sociedade e aprimorando suas práticas levando em conta que o método tradicional deixa de atender demandas sociais, tornando-se sem eficiência no processo educativo. Nesse contexto, a aprendizagem ativa vem como meio pelo qual processos construtivos são estimulados por processos que envolvam prática e reflexão, tornando o estudante ativo no papel que diz respeito ao se aprendizado por meio de experiências e desafios que o permite encontrar soluções e desenvolver soluções reais.

2.4 APRENDIZAGEM ATIVA E A SALA DE AULA INVERTIDA

Oliveira, Araújo & Veit (2016) destacam que a divergência entre o perfil dos alunos atuais e o modelo de ensino se configura como um dos principais desafios enfrentados pelos professores para promover uma aprendizagem significativa. Nesse contexto, professores de diversas áreas, em particular do ensino de Física, vêm empregando esforços para mudar a sala de aula a fim de torná-la mais ativa. Nessa perspectiva, a aprendizagem ativa envolve atividades que possibilitam ao aluno o engajamento cognitivo e a reflexão ao longo do processo sobre suas ações.

Nesse cenário, a Sala de Aula Invertida (Flipped Classroom) vem se destacando como uma das diversas formas possíveis de se implementar uma aprendizagem ativa. Nesse modelo, ocorre contato dos alunos com os tópicos a serem discutidos em sala de aula por meio de atividades que antecedem as aulas, podendo ser feitas em casa, por exemplo, leituras e visualização de vídeos. Nesse sentido, o papel do professor tem um novo significado, pois o ensino é centrado nos alunos que contribuem de forma colaborativa na elaboração das aulas.

Oliveira, Araújo & Veit (2016) ressaltam que a Sala de Aula Invertida não é algo inédito e não existe uma única forma de inverter as aulas. Nesse sentido, reforçam que:

Inovações na sala de aula não são tão recentes quanto parecem. No final do Século XX, por meio do método de estudos de caso, começaram a aparecer as primeiras iniciativas de cobrir a informação fora da sala de aula e de práticas orientadas em sala. Um dos métodos de inversão de sala de aula mais difundidos no ensino de física, o Instrução pelos Colegas (Peer Instruction), teve origem na década de 1990. Outros métodos, como o Ensino sob Medida (Just-in-Time Teaching), Aprendizagem Baseada em Equipes (TeamBased Learning), Aprendizagem Baseada em Projeto (Project-Based Learning) e Aprendizagem Baseada em Problemas (Problem-Based Learning) têm origem entre as décadas de 70 e 90. (OLIVEIRA, ARAÚJO & VEIT, 2016, p.5)

De acordo com Oliveira, Araújo & Veit (2016), o termo Sala de Aula Invertida (Flipped Classroom) é comumente associado aos trabalhos dos professores norte-americanos Bergmann e Sams que divulgaram uma maneira de inverter a sala de aula por meio de vídeos assistidos pelos alunos fora da sala de aula no lugar das tradicionais exposições orais do professor. Essa maneira de inverter a sala de aula foi publicada em um livro pelos professores americanos e motivada pela experiência acumulada por eles no ensino de Química para o Ensino Médio. Embora sejam uma referência no que diz respeito à metodologia, destacam que o termo não pertence a nenhum pesquisador ou professor.

Nesse sentido, Oliveira, Araújo & Veit (2016) definem a sala de aula invertida como uma metodologia de ensino que inverte a lógica tradicional de ensino. Nessa perspectiva,

O aluno tem o primeiro contato com o conteúdo que irá aprender através de atividades extraclasse, prévias à aula. Em sala, os alunos são incentivados a trabalhar colaborativamente entre si e contam com a ajuda do professor para realizar tarefas associadas à resolução de problemas, entre outras (OLIVEIRA, ARAÚJO & VEIT, 2016, p.5).

Nesse contexto, o contato inicial pode ocorrer por meio de textos, vídeos ou qualquer outro material de apoio que o professor pode disponibilizar online. Nas aulas tradicionais, uma pequena distração do estudante, mesmo que breve, pode comprometer significativamente a compreensão de alguma explicação na exposição. Por outro lado, na sala de aula invertida, o aluno estuda no seu próprio ritmo, os

vídeos podem ser pausados e reproduzidos quantas vezes for preciso e os textos relidos diversas vezes. Além disso, em casos de dúvidas, não só outras fontes de informações podem ser consultadas, como também podem ser enviadas ao professor para que ele possa abordá-las em aula.

Oliveira, Araújo & Veit (2016) reforçam que, em aulas tradicionais, é comum observar que o professor assume a função de transmissor de informação, consumindo um tempo considerável com exposição oral e resolução de exercícios. No entanto, a propagação de informações pode ser feita de maneira mais eficiente, o estudante pode acessar a informação com poucos toques em seu smartphone. Nesse sentido:

Na Sala de Aula Invertida, o docente torna-se responsável por criar, selecionar e organizar o estudo, bem como auxiliar os estudantes, sanando as dúvidas deles e concentrando mais atenção às especificidades de cada um nos encontros presenciais. O professor de física, dispondo do tempo ganho em sala de aula ao diminuir consideravelmente o tempo destinado às exposições orais, pode concentrar-se em orientar atividades em sala de aula focadas no engajamento cognitivo dos estudantes e no estímulo da autonomia discente, enriquecendo assim sua prática (OLIVEIRA, ARAÚJO & VEIT, 2016, p.5).

O isolamento social, decorrente da pandemia do novo Coronavírus, acarretou em diversas mudanças no nosso cotidiano, dentre elas, aquelas relacionadas à educação. Nesse âmbito, o ensino presencial teve que ser interrompido dando lugar ao ensino remoto. Para um melhor aproveitamento do ensino realizado em um ambiente virtual, se faz necessário o uso de metodologias que dinamizem o processo de ensino-aprendizagem a fim de promover uma aprendizagem mais significativa. Além de ser utilizada no ensino presencial, a metodologia da sala de aula invertida ganha espaço nessa modalidade de ensino. Ela permite ao aluno uma maior autonomia, descentralizando o professor no processo de ensino-aprendizagem.

Nessa perspectiva, as metodologias ativas se adequam bem ao ensino remoto, permitindo maior autonomia na realização de atividades escolares em outros ambientes e horários alternativos. Por meio do ensino remoto, é possível manter a rotina da sala de aula através de um ambiente virtual acessado de várias localidades.

Sendo um modelo inovador, a sala de aula invertida inverte o modelo tradicional. Nesse sentido, a autonomia do aluno é trabalhada, pois faz com que ele busque, de forma ativa, um conhecimento prévio sobre o conteúdo a ser trabalhado e compartilhe com os colegas e com o professor.

Toledo (2020) reforça que com o envio do material selecionado com antecedência, o professor também pode sugerir que alguma tarefa seja realizada na aula ao vivo, podendo ser diferente para diferentes alunos, enriquecendo a troca de informações. Além disso, não é necessário esperar o término da aula para que novas perguntas possam ser enviadas, fazendo com que no encontro uma grande produção de conhecimento seja privilegiada e não somente exposição de conteúdo.

CAPÍTULO 3

A Física ondulatória e as ondas sonoras

3.1 Sistemas oscilantes

Considerando um pêndulo de um relógio ou um sistema massa-mola como um sistema oscilante, ao serem deslocados a partir da posição de equilíbrio em um determinado sentido, uma força atuará em sentido contrário a fim de restaurar tal configuração de equilíbrio. De acordo com Resnick, Halliday e Krane (2007), *“Independentemente do sentido do deslocamento, a força sempre atua no sentido de levar o sistema de volta à sua posição de equilíbrio”*, sendo esta força denominada de força restauradora e a posição de equilíbrio, equilíbrio estável.

3.1.1 Oscilador harmônico simples

O oscilador harmônico simples é um modelo ideal, porém movimentos de um sistema complexo podem ser mais facilmente analisados levando-se em consideração uma superposição de oscilações harmônicas, descritas por funções periódicas, tais como seno e cosseno.

Para esse fim consideremos um sistema oscilante unidimensional de uma partícula sujeita a uma força expressa por

$$F(x) = -kx, \quad (1)$$

onde k corresponde a uma constante e x ao deslocamento da partícula em relação a sua posição de equilíbrio. Configurando assim, um sistema oscilante é denominado de oscilador harmônico simples e seu movimento, movimento harmônico simples. Essa força deriva de um potencial e a energia potencial correspondente é expressa por

$$U(x) = \frac{1}{2} kx^2, \quad (2)$$

$$\text{onde } F(x) = -\frac{dU}{dx} \quad (3)$$

3.1.2 Movimento harmônico simples

Aplicando a segunda lei de Newton, $\Sigma F_x = m \cdot a_x$, ao movimento, fica

$$-k \cdot x = m \frac{d^2x}{dt^2} \quad (4)$$

ou

$$\frac{d^2x}{dt^2} + \frac{kx}{m} = 0 \quad (5)$$

O deslocamento x da partícula a partir da posição de equilíbrio é dado geralmente em função do tempo como:

$$x(t) = A \cos(\omega t + \phi) \quad (6)$$

onde A é a amplitude do movimento e ϕ é o ângulo ou constante de fase inicial. A função cosseno na Eq. 6 varia entre ± 1 , portanto, o deslocamento $x(t)$ varia entre $\pm A$, como mostra a figura:

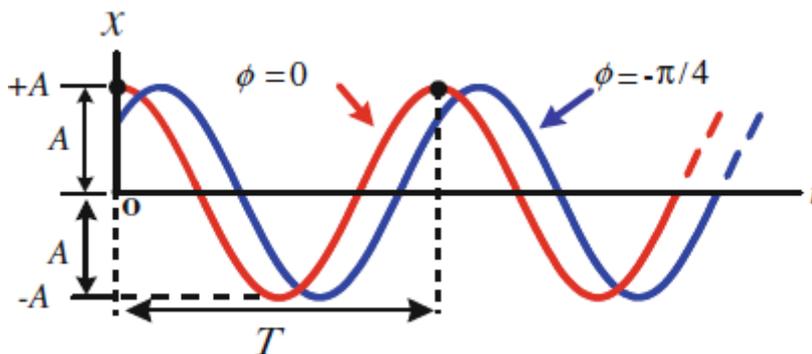


Figura 2: $x(t) = A \cos(\omega t + \phi)$ para $\phi = 0$ e $\phi = -\pi/4$

As expressões para a velocidade e a aceleração podem ser encontradas calculando-se as derivadas temporais a partir da equação (6)

$$v = \frac{dx}{dt} = -\omega A \text{sen}(\omega t + \phi) \quad (7)$$

e

$$a = \frac{d^2x}{dt^2} = -\omega^2 A \cos(\omega t + \phi) \quad (8)$$

onde $\omega^2 = \frac{k}{m}$.

Fisicamente, a função repete-se após um tempo igual a $\frac{2\pi}{\omega}$, denominado período T do movimento.

$$T = \frac{2\pi}{\omega} = 2\pi \cdot \sqrt{\frac{m}{k}} \quad (9)$$

A frequência f de um movimento harmônico simples é igual ao número de oscilações por unidade de tempo. Portanto, a frequência está relacionada ao período T pela seguinte relação:

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{2\pi} \cdot \sqrt{\frac{k}{m}} \quad (10)$$

e possui a unidade s^{-1} no SI, ciclo/s ou hertz (Hz). Além disso, é definida a frequência angular do movimento pela relação:

$$\omega = 2\pi f = \frac{2\pi}{T}, \quad (11)$$

onde a unidade no SI de ω é o rad/s.

Henrique (2002) considera que a fim de ocorrer oscilação é necessário haver massa e elasticidade. Nesse sentido, ressalta que, em rigor, um sistema com um único grau de liberdade – uma forma possível de oscilar – não existe. Considerando que massa real também tem elasticidade, ela terá frequências vibratórias próprias. E por uma mola real ter massa distribuída, terá ressonâncias próprias.

3.1.3 Energia no movimento harmônico simples

Na ausência de forças dissipativas a energia mecânica total $E (= K + U)$ é constante. Nessa perspectiva, é possível fazer um estudo da energia para o caso de um movimento harmônico simples.

A energia potencial U em qualquer instante é dada por:

$$U = \frac{1}{2}kx^2 = \frac{1}{2}kA^2 \cos^2(\omega t + \phi), \quad (12)$$

onde, o seu valor máximo ocorrerá quando a energia cinética for nula, $K = 0$. Desse modo, a energia potencial varia de zero até o valor máximo de $\frac{1}{2}kA^2$.

A energia cinética K é igual a $\frac{1}{2}mv_x^2$. Com o auxílio da equação (7) o valor de K fica expresso como

$$K = \frac{1}{2}mv_x^2 = \frac{1}{2}m\omega^2 A^2 \sin^2(\omega t + \phi) \quad (13)$$

Ao longo do movimento com energia mecânica constante, as energias cinética e potencial variam de zero até os seus valores máximos:

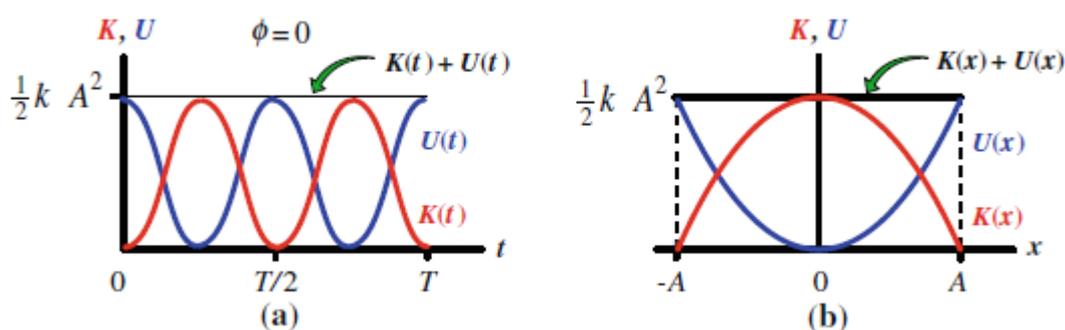


Figura 3: (a) A energia cinética $K(t)$ e a energia potencial $U(t)$ em função do tempo em que $\phi = 0$ para um oscilador harmônico simples. Observe que $K(t)$ e $U(t)$ atingem o pico duas vezes durante cada período. b) A energia cinética $K(x)$ e a energia potencial $U(x)$ em função de x . Para $x = 0$ a energia é inteiramente cinética, e para $x = \pm A$ é inteiramente potencial

A soma das energias cinética e potencial nos fornece a energia mecânica:

$$E = K + U = \frac{1}{2}kA^2 \cos^2(\omega t + \phi) + \frac{1}{2}m\omega^2 A^2 \sin^2(\omega t + \phi)$$

$$= \frac{1}{2}kA^2 \quad (14)$$

3.1.4 Movimento harmônico amortecido

As forças não conservativas estão sempre presentes em sistemas reais. Em situações que forças não conservativas, como o atrito, opõem-se ao movimento de um oscilador, verifica-se que sua energia mecânica diminui com o tempo. Assim, o movimento é harmônico amortecido. No caso de um bloco de massa m preso a uma mola e imerso num líquido viscoso, esse exercerá uma força de amortecimento ao movimento, resultando em perda na amplitude até que se torne nula.

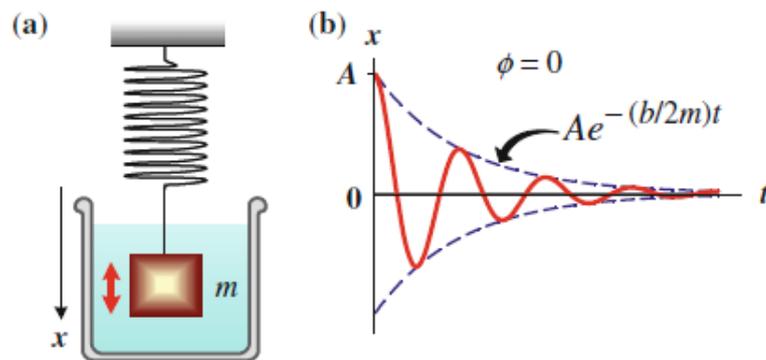


Figura 4: (a) Um oscilador amortecido que consiste em um bloco imerso em um líquido viscoso.
(b) Gráfico de x versus t para um oscilador amortecido

De acordo com Henrique (2002), as forças dissipativas são difíceis de serem descritas matematicamente, devido, muitas das vezes, a sua complexidade. Para estudar vibrações em presença de fluidos, é comum a utilização do modelo de dissipação viscoso devido a sua facilidade matemática. Nesse modelo, a força é proporcional e oposta à velocidade.

$$F_a = -bv_x, \quad (15)$$

onde b é uma constante de amortecimento. Aplicando a segunda lei de Newton:

$$\Sigma F_x = -kx - bv_x \quad (16)$$

ou

$$m \frac{d^2x}{dt^2} + b \frac{dx}{dt} + kx = 0 \quad (17)$$

A solução é:

$$x(t) = Ae^{-\frac{b}{2m}t} \cdot \cos(\omega t + \Phi) \quad , \quad (18)$$

onde $\frac{b}{2m} = 1/\tau$ é a constante de amortecimento, tempo necessário para que a amplitude seja reduzida de um fator $\frac{1}{e}$ em relação ao seu valor inicial.

Ao descrever o modelo de dissipação histerético, Henrique (2002) menciona que na modelagem de fenômenos dissipativos no interior dos materiais sólidos, o modelo de dissipação histerético é utilizado frequentemente. Nesse modelo a força dissipativa é dada por:

$$F_d = -i dx$$

sendo d um coeficiente de dissipação histerética. A força F_d é proporcional ao deslocamento x e se opõe à velocidade, devido à multiplicação pelo imaginário i .

Já no modelo de atrito de Coulomb, Henrique (2002) ressalta a sua importância no estudo de fenômenos dissipativos entre superfícies não lubrificadas. A fim de ilustrar, cita como exemplo os instrumentos musicais de cordas friccionadas, em que há o atrito do arco com a corda (violino e outros).

Nesse contexto, o modelo de dissipação viscoso é o mais utilizado por ser um modelo simples. Além disso, o formalismo matemático é pouco pesado e é capaz de reproduzir uma série de situações reais com um certo rigor. Por esse motivo foi utilizado para discutir os efeitos dissipativos.

3.1.5 Oscilações forçadas e ressonância

De acordo com Resnick, Halliday & Krane (2007), um oscilador oscila com sua frequência natural ω , e mesmo na presença de uma força de amortecimento pequena, o valor não difere muito desse. No entanto, as oscilações forçadas ocorrem com uma frequência externa que, em geral, é diferente da frequência natural de vibração do sistema, mas que estão relacionadas. Essa situação ocorre, por exemplo, quando nossos tímpanos vibram ao serem expostos à força periódica gerada pelas ondas sonoras. As oscilações resultantes são chamadas de oscilações forçadas.

Nesse contexto, pode-se aplicar uma força expressa matematicamente por:

$$F_x(t) = F_m \text{sen}(\omega' t), \quad (19)$$

onde a amplitude F_m é considerada constante.

Para pequenos amortecimentos, a frequência da força aplicada possui o mesmo valor da frequência natural de oscilação do sistema, resultando em oscilações forçadas que atingem amplitude de deslocamento máximo, caracterizando a condição de ressonância. E ω' é chamada de frequência angular de ressonância.

$$\omega' = \omega \text{ (Condição de ressonância) } (20)$$

3.2 Movimento ondulatório

Apesar de conhecermos e utilizarmos palavras referentes a ondas no cotidiano, entretanto passar desse ponto para um conjunto de conhecimentos sistemáticos e que possam ser quantificados, na maioria das vezes, não é uma tarefa simples. Como ponto de partida, uma onda pode ser entendida como qualquer sinal que se propaga de um ponto ao outro num determinado meio, essencialmente levando energia sem que haja transporte direto de matéria. Quanto a sua natureza podem ser classificadas como mecânicas e eletromagnéticas. A primeira pode ser exemplificada quando uma pedra é jogada no meio de um lago e ao se chocar com a água ela irá produzir uma onda que se propagará circularmente com raio crescente, que se afasta do ponto de choque da pedra. As ondas também podem se propagar

em uma corda esticada, presa por suas extremidades; se introduzirmos uma perturbação num ponto qualquer da corda uma onda se propagará ao longo dela. Esses são dois exemplos de ondas que necessitam de um meio para se propagar, que são as ondas mecânicas, como o som. A luz é uma onda eletromagnética e não precisa de um meio para se propagar.

As ondas sonoras são familiares e estão presentes em todo nosso cotidiano por meio de objetos que produzem sons. Os sons podem ser produzidos, por exemplo, através de choques entre dois corpos ou por instrumentos musicais que produzem melodias. Por ser uma onda mecânica, necessita de um suporte material para a sua propagação, que, portanto, não ocorre no vácuo.

3.2.1 Ondas Mecânicas

De acordo com Resnick, Halliday & Krane (2007), as ondas mecânicas necessitam de um meio elástico para a sua propagação, podendo originar-se a partir de uma perturbação em um determinado ponto do meio, que devido às suas propriedades, irá se propagar através dele.

Em escala microscópica, a propagação de ondas mecânicas deve-se a interações entre os átomos, fazendo com que o movimento seja transmitido pelas suas vizinhanças. Entretanto, não há transporte de matéria ao longo do meio, mas as partículas podem se deslocar ao longo da direção de propagação (ondas longitudinais), vibrando em torno de suas posições de equilíbrio.

A fim de obter uma análise mais refinada dos tipos de onda, devem ser feitas algumas outras classificações no que diz respeito à direção de movimento das partículas, ao número de dimensões, à periodicidade e ao perfil da frente de onda.

Nessa perspectiva, relacionando as direções de propagação da onda com as do movimento das partículas do meio em que ela se propaga, ela será classificada como transversal se essas direções forem perpendiculares e longitudinal quando for ao longo da direção de propagação.

Além disso, a propagação em uma, duas ou três dimensões também é parâmetro para classificação. As ondas propagando-se ao longo de uma corda ou uma mola são unidimensionais, na superfície da água são bidimensionais e sonoras são tridimensionais.

A periodicidade considera a forma com a qual partículas constituintes dos meios movem-se em relação ao tempo. Por exemplo, quando um pulso é produzido por um puxão, cada partícula fica em repouso até que o pulso atinja-a fazendo com que a partícula se mova durante um pequeno instante e retorne ao repouso. Agora, se puxarmos sucessiva e periodicamente, será produzido um trem de ondas periódico, no qual cada partícula terá um movimento periódico. O movimento harmônico simples é o caso de um movimento oscilatório que gera uma onda periódica harmônica. A onda harmônica, assim como o movimento harmônico simples, é ideal, porém importante, uma vez que qualquer movimento ondulatório periódico pode ser representado como a superposição de movimentos ondulatórios harmônicos, senoidais, através do teorema de Fourier.

Finalmente, quando todos os pontos de uma onda têm o mesmo estado, formam uma superfície que é definida como frente de onda, que podem ter diferentes perfis e formas.

3.2.2 Propagação de ondas

Para efeitos de simplificação, consideremos uma onda mecânica transversal propagando-se ao longo de uma corda tensa além de assumir uma corda ideal, em que a perturbação mantém a forma ao longo dos deslocamentos.

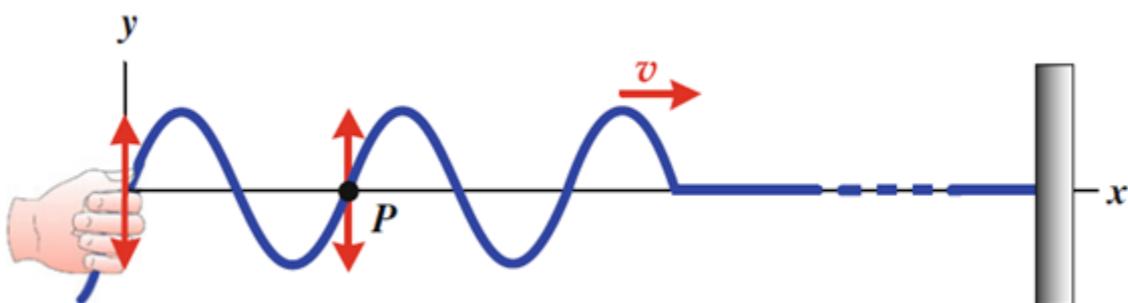


Figura 5: Uma onda senoidal numa corda longa e esticada. Todos os pontos da corda oscilam perpendicularmente à direção da velocidade da onda.

Para representar a forma da onda, podemos usar f , uma função que descreve o perfil da onda em qualquer instante de tempo.

$$y(x, 0) = f(x) \quad (21)$$

Para isso, devemos admitir que a forma da onda não será alterada com o seu deslocamento além de fazer uso de sistemas de referência relacionados entre si, de modo que $x' = x - vt$.

$$y(x, t) = f(x - v \cdot t) \quad (22)$$

onde $x - vt = \text{constante}$.

Fazendo sua derivada temporal, fica

$$\frac{dx}{dt} - v = 0 \quad \text{ou} \quad v = \frac{dx}{dt} \quad (23)$$

Uma onda harmônica que está viajando para aumentar x tem uma forma senoidal como a onda transversal numa corda. O deslocamento $y = y(x, t)$ de uma onda harmônica pode ser escrito em termos de uma função seno (ou cosseno) da posição x no tempo t da seguinte maneira:

$$y(x, 0) = y_m \cdot \text{sen}\left(\frac{2\pi}{\lambda} \cdot x\right) \quad (24)$$

y_m representa a amplitude da curva senoidal e λ o comprimento de onda do trem de ondas, a distância entre dois pontos adjacentes da onda que estejam na mesma fase. Considerando a propagação da onda no sentido positivo do eixo x com velocidade v , a equação será:

$$y(x, t) = y_m \cdot \text{sen}\frac{2\pi}{\lambda}(x - v \cdot t) \quad (25)$$

o período T da onda é o tempo que um ponto necessita para completar um ciclo percorrendo a distância λ , um comprimento de onda. Expresso por:

$$\lambda = vT$$

onde o inverso de T representa a frequência f , quantidade de ciclos por segundo (Hertz)

$$f = \frac{1}{T}$$

Reescrevendo a equação (25), fica

$$y(x, t) = y_m \cdot \text{sen } 2\pi \left(\frac{x}{\lambda} - \frac{t}{T} \right)$$

Para reduzir a equação (25) a uma mais compacta, deve-se considerar o número de onda k e a frequência angular ω , definidos por:

$$k = \frac{2\pi}{\lambda}$$

e

$$\omega = 2\pi f = \frac{2\pi}{T}$$

Reescrevendo a equação (25)

$$y(x, t) = y_m \cdot \text{sen}(kx - \omega t) \quad (26)$$

Vimos que os deslocamentos de todos os elementos oscilantes da corda são perpendiculares à direção da velocidade de propagação da onda. Esse movimento é chamado de transversal, sendo essa onda chamada onda transversal.

3.2.3 Velocidade transversal de uma partícula

De acordo com Resnick, Halliday & Krane (2007), o movimento de uma partícula ao longo de uma onda transversal ocorre na direção y . O movimento da onda na direção de propagação é descrito pela velocidade da onda que, no entanto, não caracteriza o movimento transversal das partículas da corda.

A velocidade transversal de uma partícula na corda é dada pela variação da coordenada y em relação ao tempo t e considerando x constante. Sendo o movimento descrito pela equação (25), a velocidade fica

$$u_y(x, t) = \frac{\partial y}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial t} [y_m \cdot \text{sen}(kx - \omega t)]$$

$$= -y_m \omega \cos(kx - \omega t) \quad (27)$$

Derivando mais uma vez em relação ao tempo, obtém-se a aceleração transversal da partícula em um ponto x , expressa por:

$$a_y(x, t) = \frac{\partial^2 y}{\partial t^2} = \frac{\partial u}{\partial t} = -y_m \omega^2 \text{sen}(kx - \omega t)$$

$$= -\omega^2 y \quad (28)$$

onde a aceleração transversal é proporcional ao deslocamento transversal e oposta a este em qualquer ponto. À proporção que a onda senoidal se propaga, cada partícula constituinte da corda fica sujeita a um movimento harmônico simples.

3.2.4 Fase e constante de fase

Resnick, Halliday & Krane (2007) levam em conta uma onda que se propaga no sentido positivo do eixo x . Nessa perspectiva, a expressão geral fica:

$$y(x, t) = y_m \cdot \text{sen}(kx - \omega t - \Phi)$$

onde $(kx - \omega t - \Phi)$ corresponde à fase da onda. Quando duas ondas possuem a mesma fase, executam o mesmo movimento simultaneamente. Além disso, Φ é chamada de constante de fase inicial, que desloca a onda para frente ou para trás, e não interfere na forma da onda. A fim de observar tal comportamento, reescreve-se a equação de duas maneiras que são equivalentes

$$y(x, t) = y_m \text{sen} \left[k \left(x - \frac{\phi}{k} \right) - \omega t \right]$$

ou

$$y(x, t) = y_m \text{sen} \left[kx - \omega \left(t - \frac{\phi}{\omega} \right) \right].$$

3.2.5 Velocidade de onda em uma corda tensa

De acordo com Resnick, Halliday & Krane (2007), ondas em cordas são os exemplos mais comuns de ondas transversais. Consideramos um pulso com velocidade v em uma corda esticada que está sob uma força tensional de magnitude F . A corda tem uma densidade linear μ dada por:

$$\mu = \frac{m}{L}$$

onde m é a massa da corda e L é o seu comprimento.

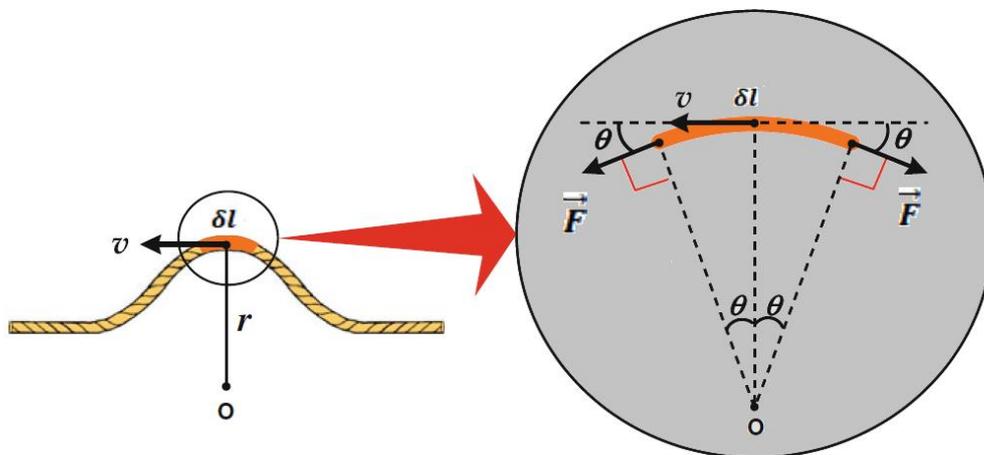


Figura 6: Um pulso movendo-se para a esquerda em uma corda esticada com velocidade v .

Um pequeno segmento no topo do pulso, de comprimento δl , forma um arco de um círculo de raio r . A força \vec{F} puxa tangencialmente esse segmento em cada extremidade e tem módulo igual ao da tração na corda. Enquanto as componentes horizontais dessa força se cancelam, as componentes verticais se somam, formando uma resultante F_y de modo que o seu módulo é dado por:

$$F_y = 2F \sin \theta \approx 2F\theta = F \frac{\delta l}{r}$$

onde a aproximação $\sin \theta \approx \theta$ é usada quando l é muito pequeno e também a relação $l = R(2\theta)$.

A massa δm do segmento δl é dada por:

$$\delta m = \mu \delta l$$

O segmento de corda l está movendo-se radialmente em direção ao centro de um círculo de raio r com uma aceleração centrípeta de módulo dado por:

$$a_y = \frac{v^2}{R}$$

Pela segunda lei de Newton:

$$F_y = \delta m a_y$$

$$F \frac{\delta l}{R} = \delta m \frac{v^2}{R}$$

$$F \frac{\delta l}{R} = \mu \delta l \cdot \frac{v^2}{R}$$

Isolando v na equação, fica

$$v = \sqrt{\frac{F}{\mu}}$$

Essa equação nos diz que a velocidade de uma onda transversal ao longo de uma corda esticada ideal depende de F e da densidade da corda. A frequência f é

fixada pela fonte geradora da onda, enquanto o comprimento de onda é fixado pela relação:

$$\lambda = \frac{v}{f}$$

3.2.6 Energia no movimento ondulatório

Ao movimentar-se uma extremidade de uma corda longa, manualmente, energia está sendo transferida pela realização de trabalho. Então a onda é a forma pela qual essa energia se propaga, destacando uma propriedade de extrema importância das ondas.

Fazendo um pulso propagar-se através de um objeto pendurado numa corda esticada, percebemos que tanto energia cinética como potencial podem ser transportadas pelas ondas quando se propagam através de um meio levando em conta o movimento de subida e descida do objeto.

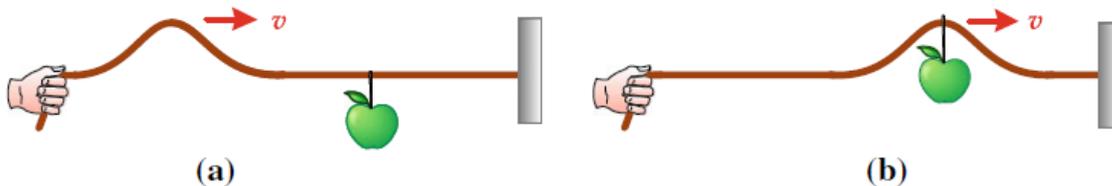


Figura 7: (a) propagação de um pulso numa corda esticada e com um objeto pendurado. (b) Energia cinética e energia potencial sendo transferidas para o objeto com a chegada do pulso.

Considerando o modo que a energia na corda varia com o tempo, chegamos na potência que a onda libera. Para isso, devemos levar em conta um elemento de massa $dm(= \mu dx)$ que se move com velocidade v_y . Então sua mudança de energia cinética será:

$$\begin{aligned} dK &= \frac{1}{2} dm v_y^2 \\ &= \frac{1}{2} (\mu dx) [-y_m \omega \cos(kx - \omega t)]^2. \end{aligned}$$

Sendo dt o tempo em que ocorreu a mudança de energia cinética para a onda se deslocar por uma distância dx no eixo x , fica:

$$\begin{aligned}\frac{dK}{dt} &= \frac{1}{2} \mu \omega^2 y_m^2 \frac{dx}{dt} \cos^2(kx - \omega t) \\ &= \frac{1}{2} \mu \omega^2 y_m^2 v \cos^2(kx - \omega t).\end{aligned}$$

A energia potencial pode ser encontrada considerando o trabalho realizado pela força de tração no alongamento do elemento de comprimento de dx para dl . Desse modo, $dU = F(dl - dx)$ e calculando a derivada em relação ao tempo:

$$\frac{dU}{dt} = \frac{1}{2} F v y_m k^2 \cos^2(kx - \omega t).$$

3.2.7 Potência e intensidade no movimento ondulatório

Resnick, Halliday & Krane (2007), ao considerarem que $\frac{dU}{dt} = \frac{dK}{dt}$ na análise da taxa temporal com que a transmissão da energia mecânica é feita ao longo da corda, deduzem

$$\begin{aligned}P(x, t) &= \frac{dE}{dt} \\ &= \frac{dK}{dt} + \frac{dU}{dt} = 2 \cdot \frac{1}{2} \mu \omega^2 y_m^2 \frac{dx}{dt} \cos^2(kx - \omega t) \\ &= \mu \omega^2 y_m^2 \frac{dx}{dt} \cos^2(kx - \omega t),\end{aligned}$$

onde $P(x, t)$ representa a potência instantânea.

No entanto, é frequente que as ondas sejam observadas em intervalos de tempo muito maiores que seu período, onde o valor médio de $\cos^2(kx - \omega t)$ ao longo de um número de ciclos completos é igual a $\frac{1}{2}$. Sendo assim,

$$P(x, t) = \frac{1}{2} \mu \omega^2 y_m^2 v$$

Essa expressão, mostra que a potência média depende do quadrado da amplitude e do quadrado da frequência que são características das ondas, considerando que não há perdas de energia durante o transporte. Além disso, consideramos que a amplitude não é alterada na propagação. Com base nisso, os autores reforçam que no âmbito das ondas esféricas, a energia em cada frente de onda não se altera, embora seja distribuída sobre uma área crescente à proporção que a onda se move, sendo mais útil descrever a onda em função da sua intensidade. Desse modo, “a potência média por unidade de área transmitida através de uma área A perpendicular à direção em que a onda se propaga” é expressa por:

$$I = \frac{P_{\text{med}}}{A},$$

sendo sua unidade no sistema internacional de unidades, SI, Watt por metro quadrado, $\frac{W}{m^2}$. De modo semelhante à potência, a intensidade é proporcional ao quadrado da amplitude. No caso de fontes pontuais, que emitem luz ou som com frentes de onda de raio r , a intensidade é proporcional a $\frac{1}{r^2}$, visto que a área é $4\pi r^2$.

3.3 Princípio da superposição

Resnick, Halliday & Krane (2007), ao ilustrarem o princípio da superposição, mencionam que é possível observarmos duas ou mais ondas em propagação simultânea por meio de uma mesma região do espaço de forma totalmente independente. E como exemplo citam que, embora os sons emitidos por uma orquestra sejam muito complexos, o ouvinte é capaz de distinguir de forma nítida o som produzido por cada instrumento. Nesse contexto, esse princípio é estabelecido, considerando que várias ondas se combinam em um ponto e o deslocamento de cada partícula em dado instante de tempo é a soma dos deslocamentos nela causados por cada onda. O deslocamento de duas ondas simultâneas é dado por:

$$y(x, t) = y_1(x, t) + y_2(x, t)$$

No entanto, vale ressaltar que, considerando efeitos não lineares, o princípio da superposição não é válido.

3.4 Ondas sonoras

De acordo com Resnick, Halliday & Krane (2007), as ondas sonoras são de natureza mecânica, como ondas transversais numa corda. Sendo assim, sua propagação é devida às forças mecânicas (elásticas) que atuam nas partículas do meio. As ondas mecânicas são capazes de propagar-se nos diferentes meios (sólido, líquido e gasoso). Levando em conta os sólidos, podem ser longitudinais ou transversais, enquanto que nos fluidos, por não suportarem forças de cisalhamento, só longitudinais. Com isso, as partículas do meio oscilam na mesma direção de movimento da onda.

Uma onda sonora pode ser descrita de quatro maneiras: em termos de mudanças na pressão, em termos de deslocamento de moléculas de ar em relação às suas posições de equilíbrio, em termos da variação de sua massa específica e em termo da velocidade longitudinal de pequenos elementos de ar. Embora tenham formas matemáticas diferentes, as descrições fornecem as mesmas informações.

A propagação de ondas sonoras pode ser descrita por meio de variações de um ponto para outro e de um instante para outro na massa específica do ar no interior do tubo da Figura 8 na medida que o êmbolo oscila.

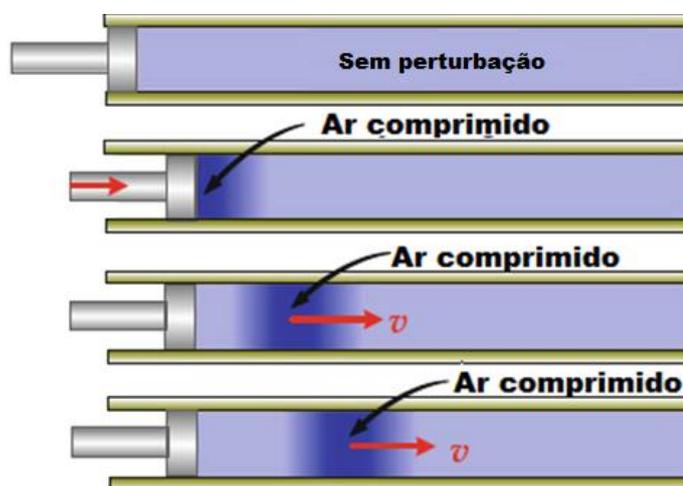


Figura 8: Movimento de um pulso sonoro em um tubo de ar.

As regiões com maior valor de massa específica são chamadas de compressões, enquanto que as com menores, rarefações. Com a propagação de ondas sonoras, as compressões e as rarefações se movem no tubo.

A massa específica do ar no tubo, $\rho(x, t)$, é expressa em função da posição e do tempo. Inicialmente, a massa específica do ar sem perturbação é ρ_0 , e alterações na massa específica do ar, $\Delta\rho(x, t)$, são causadas pelas ondas sonoras. Tais alterações são muito pequenas quando comparadas com ρ_0 . Dessa forma, $\rho(x, t) = \rho_0 + \Delta\rho(x, t)$, podendo $\Delta\rho(x, t)$ se positivo ou negativo, no entanto, $|\Delta\rho(x, t)| \ll \rho_0$.

Assumindo que o êmbolo é movido de maneira que sua posição possa ser descrita de forma senoidal, a variação da massa específica e a pressão também podem.

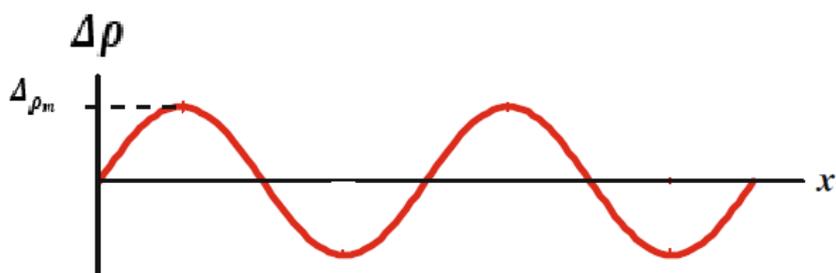


Figura 9: Um instantâneo de massa específica, que varia com a amplitude $\Delta\rho_m$ em torno de ρ_0 .

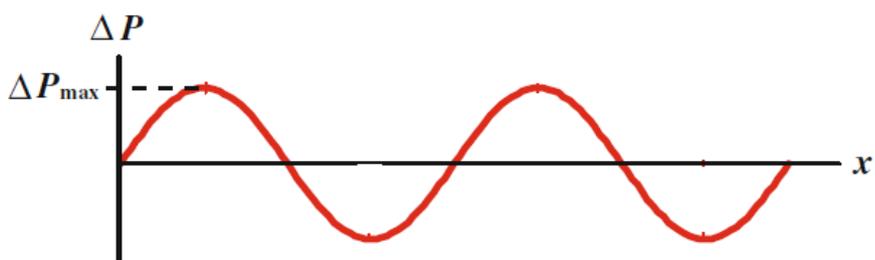


Figura 10: Um instantâneo de pressão, que varia com a amplitude Δp_m em torno de p_0 .

As figuras 9 e 10 mostram, respectivamente, as variações da massa específica e da pressão do ar. De início, desprezando qualquer constante de fase, pode-se escrever para a variação da massa específica

$$\Delta\rho(x, t) = \Delta\rho_m \text{sen}(kx - \omega t).$$

Analogamente, para variação da pressão

$$\Delta p(x, t) = \Delta p_m \text{sen}(kx - \omega t).$$

Considerando o módulo da compressibilidade, $B = -\Delta p \left(\frac{\Delta v}{v} \right)$, para a descrição da mudança relativa no volume de um elemento de fluido causado pela mudança de pressão, sendo ρ a massa específica dada por $\rho = \frac{m}{V}$ e tomando sua derivada em relação ao volume,

$$d\rho = -\left(\frac{m}{V^2}\right) dV = -\left(\frac{\rho}{V}\right) dV.$$

Substituindo as derivadas, fica

$$\Delta\rho = -\rho \left(\frac{\Delta V}{V} \right)$$

Usando a equação da compressibilidade,

$$\Delta\rho = -\rho \frac{\Delta V}{V} = -\rho_0 \left(-\frac{\Delta p}{B} \right) = \Delta p = \frac{\rho_0}{B}$$

Analogamente, em termos das amplitudes de massa específica e de pressão fica

$$\Delta\rho_m = \Delta p m \frac{\rho_0}{B},$$

sendo essa aplicada às ondas sonoras em qualquer fluido.

3.4.1 Sons puros e sons complexos

Henrique (2002), ressalta a importância fundamental do som puro, o mais elementar dos sinais para o estudo da acústica e no processamento de sinais em

geral. Nesse sentido, a forma da onda desse tipo de som pode ser descrita de forma senoidal ou cossenoidal e sua característica é resultado de ser constituída de uma única frequência. Nesse contexto, de acordo o teorema de Fourier, qualquer onda periódica de frequência fundamental f pode ser escrita em termos de uma soma de senos e cossenos. Portanto, esses sons são uma realidade física elementar, pois qualquer som é constituído por sons senoidais.

Embora um som real possa ser considerado como formado por sons puros, um som puro, de uma frequência apenas, não existe, logo a representação de uma onda como uma senoide não existe. Além disso, considerando a amplitude A , o período T , a fase inicial ϕ , e a frequência angular ω o som puro pode ser descrito por:

$$x(t) = A \text{ sen}(\omega t + \phi)$$

$$x(t) = A \text{ sen}(2\pi f t + \phi)$$

$$x(t) = A \text{ sen}(2\pi t/T + \phi)$$

Na perspectiva de que os sons puros são constituídos de uma única frequência, os sons complexos, de modo oposto, são constituídos por mais de uma frequência. Cada uma das frequências que constitui um som complexo é denominada componente ou parcial. As ondas de mais de uma frequência são chamadas ondas complexas para distinguir das ondas simples.

3.4.2 O teorema de Fourier

Henrique (2002) introduz o teorema de Fourier considerando uma função periódica do tipo $f = x(t)$ e de período T que pode ser representada por uma série, a série de Fourier, expressa por:

$$x(t) = A_0 + \sum_{n=1}^{\infty} A_n \cos\left(\frac{2\pi n t}{T}\right) + \sum_{n=1}^{\infty} B_n \text{ sen}\left(\frac{2\pi n t}{T}\right)$$

os coeficientes da série são expressos pelas integrais:

$$A_0 = \frac{1}{T} \int_{-T/2}^{T/2} x(t) dt$$

$$A_n = \frac{2}{T} \int_{T/2}^{t} x(t) \cos\left(\frac{2\pi nt}{T}\right)$$

$$B_n = \frac{2}{T} \int_{T/2}^{t} x(t) \text{sen}\left(\frac{2\pi nt}{T}\right)$$

3.4.3 A velocidade do som

De acordo com Resnick, Halliday & Krane (2007), assim como no caso das ondas mecânicas transversais, a velocidade do som depende da razão entre uma propriedade elástica do meio e uma propriedade inercial, a primeira, a pressão não-perturbada, e a segunda, a massa específica não-perturbada.

Levando em conta uma análise mecânica, para efeitos de simplificação, podemos considerar um pulso que viaja ao longo de um tubo. O pulso desloca-se com velocidade bem definida v , velocidade de propagação da onda. Além disso, considera-se L a largura do tubo e um aumento de pressão constante, Δp .

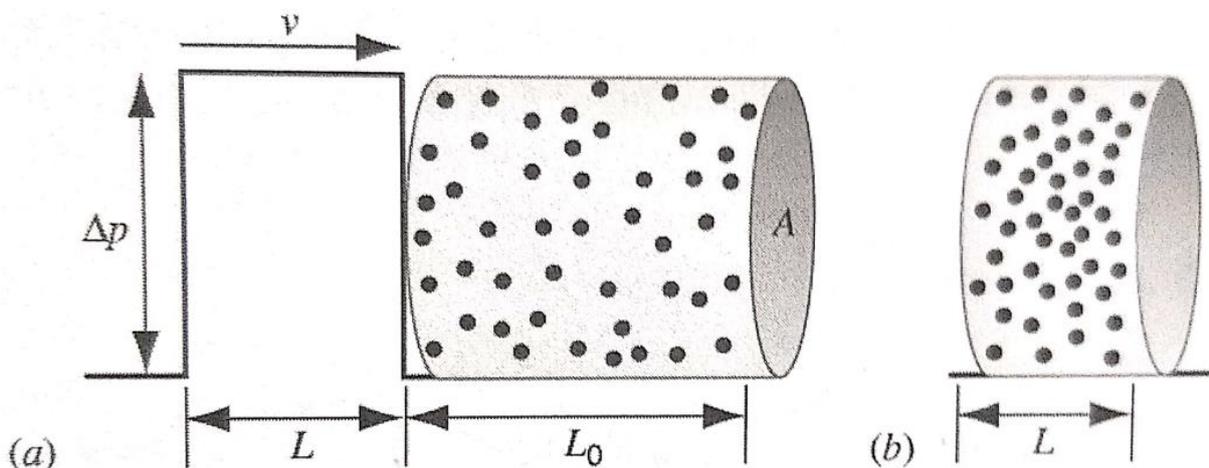


Figura 11: (a) Um pulso de compressão está próximo de penetrar um elemento de fluido cujo comprimento sem perturbação é L_0 . (b) Em um instante t posterior o pulso já alcançou o extremo direito do elemento e comprimiu o mesmo para um comprimento L .

A figura mostra, respectivamente, um pulso prestes a entrar em um elemento de fluido de comprimento L_0 e área de seção transversal A e pressão p_0 quando não-perturbada e o mesmo pulso, após um tempo t , tendo alcançado a extremidade do elemento de fluido com comprimento L .

Considerando que duas forças horizontais atuam sobre o elemento durante o tempo t , a força exercida pelo pulso compressivo é $(p_0 + \Delta p)A$, orientada para a direita, enquanto que p_0A orientada para a esquerda, é a força do fluido não-perturbado. Dessa forma, a força externa resultante sobre esse elemento nesse intervalo de tempo é $A\Delta p$, orientada para a direita.

Entretanto, não é possível aplicar a segunda lei de Newton para as partículas nesse elemento, pois as partes do elemento não se movimentam como um todo. Para isso, consideremos o elemento como um sistema de partículas. A lei de Newton fica

$$\Sigma F = Ma_{cm}$$

O centro de massa tem como extremidades $-\frac{L_0}{2}$ e $\frac{L}{2}$ em um tempo t . E considerando que a aceleração é dada por $x - x_0 = \frac{1}{2}a_x t^2$, a aceleração do centro de massa fica

$$a_{cm} = \frac{\alpha(x - x_0)}{t^2} = \frac{2 \left[\left(-\frac{L}{2}\right) - \left(-\frac{L_0}{2}\right) \right]}{t^2} = -\frac{\Delta L}{t^2}$$

Além disso, o elemento de massa é $M = \rho_0 A L_0$ e aplicando a segunda lei de Newton fica

$$A\Delta p = (\rho_0 A L_0) \left(-\frac{\Delta L}{t^2}\right)$$

Considerando ainda que o pulso tem velocidade v , o tempo para que se movimente através do elemento de fluido é $t = \frac{L_0}{v}$. Substituindo esse tempo na equação anterior

$$v^2 = \frac{1}{\rho_0} \frac{-\Delta p}{A\Delta l / A L_0}$$

Na equação acima, $A\Delta L$ corresponde à mudança de volume ΔV do elemento de fluido e seu volume original, V , é AL_0 e considerando que o módulo da compressibilidade é $B = -\Delta p \left(\frac{\Delta v}{v}\right)$, a equação para a velocidade fica

$$v = \sqrt{\frac{B}{\rho_0}}$$

A última equação nos dá, em função do módulo da compressibilidade e da massa específica, a velocidade do som em fluidos.

A tabela a seguir proporciona, de forma representativa, valores para a velocidade do som em meios materiais.

Meio	Velocidade (m/s)
Gases	
Ar (0°C)	331
Ar (20°C)	343
Hélio	965
Hidrogênio	1284
Líquidos	
Água (0°C)	1402
Água (20°C)	1482
Água do mar	1522
Sólidos	
Alumino	6420
Aço	5941
Granito	6000

Tabela 1: A velocidade do som

3.4.4 Características do som

De acordo com Grillo & Perez (2016), o tímpano – “*uma membrana responsável pelo processo primário de transformação das frequências das ondas em pulsos elétricos, permitindo que características fundamentais sejam percebidas para a diferenciação do som*” – capta as ondas sonoras.

Quatro características são apresentadas pelas ondas sonoras: altura, timbre, intensidade e duração. A altura, característica do som relacionada com a frequência, permite a distinção dos sons agudos (altas frequências) dos sons graves (baixas frequências). A faixa de 20 Hz a 20.000 Hz é a que o ouvido humano é capaz de perceber. Já o timbre é a propriedade que nos permite distinguir uma fonte sonora de outra. Por exemplo, uma mesma nota musical que é reproduzida por instrumentos distintos. A intensidade do som, confundida com a definição de volume do som, está relacionada com a amplitude da onda sonora, enquanto que essa definição com a variação da pressão no meio. Nas músicas, essa propriedade é indicada como pp (pianíssimo), p (piano), mf (meio forte), f (forte) e ff (fortíssimo). Já a duração é representada pelo tempo de duração do som. As notas musicais, numa música, possuem tempos diferentes. Como a sensibilidade do ouvido varia com a frequência, em uma mesma intensidade, variando a frequência, a percepção é de que a intensidade também variou.

3.4.5 Potência e intensidade sonora de ondas

Considerando a onda, ao longo do deslocamento, uma força é exercida pelo elemento de fluido sobre o elemento a sua frente. A partir da compreensão que o aumento de pressão no elemento é Δp inferimos que a força que ele exerce no elemento seguinte será $F_x = A\Delta p$. Explicitando os termos relacionados à pressão, temos

$$F_x = A\Delta p_m \text{sen}(kx - \omega t)$$

Na perspectiva que o elemento oscila em torno de sua posição de equilíbrio, sua velocidade longitudinal, $u_x(x, t)$ fica

$$u_x(x, t) = u_m \text{sen}(kx - \omega t).$$

Além disso, a potência P fornecida ao elemento é $P = u_x F_x$. Reescrevendo a potência, temos

$$P = A\Delta p_m u_m \text{sen}^2(kx - \omega t)$$

Levando em conta que a amplitude das variações de velocidade é dada por $u_m = \frac{v\Delta p_m}{B}$, podemos escrever a potência

$$P = \frac{Av(\Delta p_m)^2}{2B} \text{sen}^2(kx - \omega t)$$

Adotando que o tempo de observação é muito longo quando comparado ao período de oscilação, o valor médio de $\text{sen}^2 \theta$ para um número de ciclos completos é $\frac{1}{2}$, a potência média é

$$P_{méd} = \frac{Av(\Delta p_m)^2}{2B} = \frac{A(\Delta p_m)^2}{2\rho v}$$

A potência está relacionada com o quadrado da amplitude, semelhante ao caso da onda transversal. Embora a frequência pudesse aparecer na equação em termos da amplitude de deslocamento, nessa ela não aparece explicitamente. Desse modo, podemos comparar diretamente as intensidades de sons de frequências diferentes. Por esse motivo, é preferível usar instrumentos que medem alteração na pressão aos que medem deslocamentos.

Para comparar sons diferentes, o emprego da intensidade da onda torna-se mais útil, tal intensidade, I pode ser obtida por

$$I = \frac{P_{méd}}{A} = \frac{(\Delta p_m)^2}{2\rho v}$$

Assumindo como aproximadamente logarítmica a percepção do ouvido humano ao aumento de pressão, podemos inserir uma escala logarítmica de intensidade denominada nível de intensidade sonora, NIS

$$NIS = 10 \log \frac{I}{I_0}$$

com base em uma intensidade de referência I_0 , adotada como $10^{-12} \frac{W}{m^2}$, um valor característico do limite de audição humana. Desse modo, a medida dos níveis de intensidade sonora é feita em decibels (dB). Nesse contexto, um som no limite superior da audição humana é chamado limiar de dor.

A tabela 2, a seguir, apresenta, de forma representativa os valores para o nível de intensidade sonora de alguns sons do cotidiano:

Som	Intensidade (W/m^2)	Nível de intensidade Sonora (dB)
Limiar de audição	1×10^{-12}	0
Roçar de folhas	1×10^{-11}	10
Sussurro (a 1 m)	1×10^{-10}	20
Rua urbana, sem tráfego	1×10^{-9}	30
Escritório, sala de aula	1×10^{-7}	50
Conversa normal (a 1 m)	1×10^{-6}	60
Martelada (a 1 m)	1×10^{-3}	90
Banda de Rock	1×10^{-1}	110
Limiar de dor	1	120
Turbina (a 50 m)	10	130

Tabela 2: Algumas intensidades sonoras e níveis de intensidade sonora.

3.4.6 Batimentos

Knight (2009), considera o princípio da superposição para analisar um fenômeno que pode ser facilmente demonstrado com duas fontes de frequências ligeiramente diferentes. Para isso, o autor leva em consideração que, ao escutar simultaneamente dois sons de frequências muito diferentes, dois tons bem distintos podem ser percebidos. No entanto, se a diferença de frequência for muito pequena, de apenas um ou dois Hertz, por exemplo, será percebido um único tom cujo volume aumenta e diminui alternadamente, criando um padrão sonoro diferente, chamado de batimentos.

Considerando duas ondas senoidais que se propagam ao longo do eixo x com frequências angulares ω_1 e ω_2 , as duas ondas podem ser representadas por:

$$D_1 = a \operatorname{sen}(kx_1 - \omega_1 t + \phi_1)$$

$$D_2 = a \operatorname{sen}(kx_2 - \omega_2 t + \phi_2)$$

Para efeito de simplificação da análise, Knight (2009) propõe quatro hipóteses: as duas ondas têm a mesma amplitude a , um detector, como o ouvido humano, por exemplo, está localizado na origem ($x = 0$), as duas fontes estão em fase ($\phi_1 = \phi_2$) e suas fases são $\phi_1 = \phi_2 = \pi$ rad.

Considerando essas hipóteses e a identidade trigonométrica $\operatorname{sen}(\pi - \theta) = \operatorname{sen} \theta$, quando as duas ondas chegam ao ouvido, são representadas por:

$$D_1 = a \operatorname{sen}(-\omega_1 t + \pi) = a \operatorname{sen} \omega_1 t$$

$$D_2 = a \operatorname{sen}(-\omega_2 t + \pi) = a \operatorname{sen} \omega_2 t$$

Do princípio da superposição, o deslocamento de ondas simultâneas é dado por:

$$D = D_1 + D_2 = a(\operatorname{sen} \omega_1 t + \operatorname{sen} \omega_2 t)$$

Com base no princípio da superposição e na identidade trigonométrica:

$$\operatorname{sen} \alpha + \operatorname{sen} \beta = 2 \cos \left[\frac{1}{2}(\alpha - \beta) \right] \operatorname{sen} \left[\frac{1}{2}(\alpha + \beta) \right],$$

o deslocamento resultante das ondas fica:

$$D = 2 \cos \left[\frac{1}{2}(\omega_1 - \omega_2)t \right] \operatorname{sen} \left[\frac{1}{2}(\omega_1 + \omega_2)t \right].$$

onde $\omega_{med} = \frac{1}{2}(\omega_1 + \omega_2)$ representa a frequência média e $\omega_{mod} = \frac{1}{2}(\omega_1 - \omega_2)$ a frequência de modulação.

A fim representar a oscilação do ar contra o tímpano no ouvido humano, Knight (2009) ilustra, por meio de um gráfico-história, a onda que chega ao detector (em $x = 0$), representado pela figura 13.

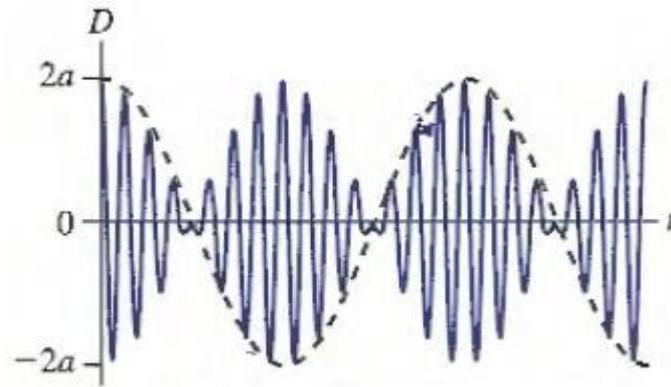


Figura 12: Batimentos causados pela superposição de duas ondas de frequências quase idênticas.

A oscilação representada tem frequência média $f_{med} = \frac{\omega_{med}}{2\pi} = \frac{1}{2}(f_1 + f_2)$, determina a nota que será escutada e difere um pouco das duas notas de frequências f_1 e f_2 . A dependência da amplitude com o tempo é representada pela linha tracejada, expressa variação periódica $2a \cos(\omega_{mod}t)$, denominada de modulação.

Na figura, durante cada ciclo da linha tracejada que representa a modulação, o nível de intensidade sonora aumenta e diminui duas vezes. Cada ciclo corresponde a um batimento de frequência f_{bat} , número de batimentos por segundo, dada por:

$$f_{bat} = 2f_{mod} = \frac{2\omega_{mod}}{2\pi} = 2 \cdot \frac{1}{2} \left(\frac{\omega_1}{2\pi} - \frac{\omega_2}{2\pi} \right) = f_1 - f_2$$

A frequência de batimento é dada pela diferença entre as frequências individuais, sendo a f_1 a maior das duas frequências.

3.4.7 O Efeito Doppler

Knight (2009), ao introduzir o efeito, considera que um ouvinte, ao movimentar-se no sentido de aproximar-se de uma fonte estacionária, percebe o som mais agudo enquanto que, ao afastar-se, um som mais grave. Os resultados são semelhantes quando o observador é estacionário e a fonte se movimenta. A sirene de uma viatura do corpo de bombeiros, como exemplo, tem sempre a mesma frequência, mas quando em movimento, a frequência é captada como diferente.

Considerando uma fonte de ondas sonoras que se afasta de um observador **A** e se aproxima de um observador **B** com velocidade constante v_F , a fonte emite ondas

sonoras de frequência f_0 durante o tempo que se desloca. O observador **B**, ao medir a frequência da onda emitida pela fonte que se aproxima, capta um valor f_B . Ao mesmo tempo, o observador **A** capta um valor f_A para a frequência emitida pela fonte sonora que se afasta. Essas diferenças na frequência captadas pelos observadores **A e B** quando a fonte se move em relação a eles é chamada de efeito Doppler.

Sendo v a velocidade do som no meio, a frequência captada pelo observador **A** da fonte de onda sonora que se afasta pode ser expressa por:

$$f_A = \frac{f_0}{1 + v_F/v}$$

Analogamente, a frequência captada pelo observador **B** da fonte de onda sonora que se aproxima pode ser expressa por:

$$f_B = \frac{f_0}{1 - v_F/v}$$

CAPÍTULO 4

Produto educacional

4.1 Introdução

No sentido de apresentar uma proposta de atividade didática contemporânea, voltada para a formação do estudante para o exercício pleno da cidadania, esse produto educacional visa evidenciar as aproximações entre a Física e a Poluição sonora. Para tal, sua aplicação será realizada por meio de uma atividade didática que se inicia com uma pergunta com respeito à relação entre a Física e a poluição sonora nos fones de ouvido.

4.2 Metodologia

Diante da pergunta inicial os alunos na primeira etapa da aula devem responder um questionário investigativo cujo intuito é conhecer suas concepções prévias em relação ao assunto, servindo como base para construção do conceito físico a ser abordado.

Para dinamizar essa primeira etapa, o questionário será respondido por meio do aplicativo Socrative, no qual o aluno participará de uma sala virtual tendo acesso somente às próprias respostas.

Inicialmente o professor fará uma introdução, incluindo as características físicas do som. Nessa etapa ele apresenta algumas simulações com Phet simulation. A partir daí, começará a problematização da temática poluição sonora. Para tanto, com o uso de recursos multimídia, o professor coloca os alunos frente à legislação, imagens e vídeos do cotidiano, onde aparecem situações nas quais estamos expostos à poluição sonora, assim como suas consequências a curto, médio e longo prazo.

O professor solicita aos alunos que se organizem em grupos (mais ou menos 4 alunos) para discutirem entre si sobre suas respostas e que cheguem a um consenso.

Após essa etapa, o professor reproduz para a turma os vídeos. É importante que haja ao término de cada vídeo uma rodada de discussão, na qual o professor poderá complementar informações e lançar novos questionamentos.

A fim de enriquecer o debate sobre as diversas fontes de poluição sonora, bem como uma conscientização sobre as causas, os danos e as possibilidades de intervenção dos cidadãos, é proposta aos alunos, como atividade extraclasse, a leitura de textos relativos à temática.

A segunda aula inicia-se com a reprodução de vídeos que complementam o conteúdo das leituras sugeridas ao término da aula anterior. Em seguida, o professor propõe aos alunos um momento de reflexão sobre as respostas fornecidas anteriormente no questionário investigativo, de modo que, caso seja necessário, o novo conhecimento adquirido seja utilizado em sua reformulação.

Os alunos devem ser estimulados a apresentar suas opiniões oralmente, de maneira que seja criado um clima de debate (argumentação e contra argumentação) por no máximo 5 minutos para cada pergunta. A fim de construir a resposta científica com os alunos, o professor propõe que eles acompanhem a realização de um experimento no qual, com o uso de sonômetro, devem fazer a medida do nível de intensidade sonora dos seus fones de ouvido de forma gradativa, ou seja, a partir do volume mínimo até chegar ao máximo, para perceberem que o volume ideal para ouvir suas músicas não é o máximo.

Por fim o professor apresenta os aplicativos e sugere que os alunos instalem em seus smartphones: Afinador, Spectroide, Metrônomo, Decibelímetro e WaveEditor. Em seguida indica alguns experimentos que podem ser feitos com o uso dos aplicativos.

4.3 Conhecendo os aplicativos

Os aplicativos permitem simular fenômenos físicos em ambientes de aprendizagem com o intuito de facilitar o processo de ensino e auxiliam o educador em seu trabalho, cabendo ao profissional a função de mediação para que a aprendizagem com esse recurso seja significativa.

4.3.1 – Socrative

O Socrative é um aplicativo que possibilita a interação com a turma num ambiente virtual a partir do smartphone, tablet ou computador. Além disso, permite

dinamizar as atividades e que o mediador responda à turma em seus aparelhos, contando com acesso à internet.

Para que essa interação ocorra é necessário criar um espaço virtual e convidar os alunos para participarem através de um código de acesso.

O mediador é capaz de visualizar e avaliar as atividades do aluno em tempo real. Os alunos podem perguntar e responder a partir de laptops, tablets, smartphones e outros dispositivos móveis.

Após acessar o site, basta clicar nos botões azuis **STUDENT LOGIN** (Estudante) ou **TEACHER LOGIN** (Professor):

Figura 13.1 – Apresentação inicial da página do SOCRATIVE



Fonte: <https://socrative.com/>

Agora, após abrir a caixa de diálogo deverá ser digitado o email e a senha, caso já tenha uma conta. Caso contrário, é necessário clicar antes no link azul “**Obter Conta**” para abrir a caixa de diálogo seguinte:

Figura 13.2: Criação de conta

The screenshot shows the Socrative logo at the top, followed by the text "Students do not need an account. Join a teacher's room here: [Login do aluno](#)". Below this is the heading "NOVA CONTA DE PROFESSOR" and a progress indicator with three steps, where the first step is active. The main form is titled "Perfil" and contains the following fields:

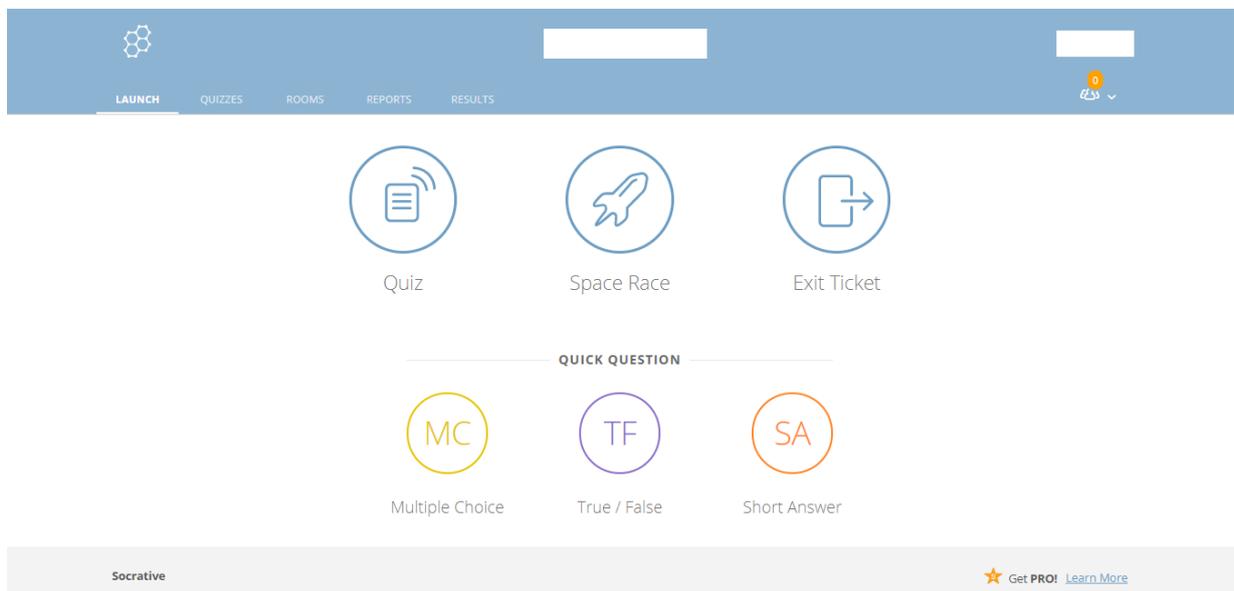
- Nome (Name)
- Sobrenome (Surname)
- E-mail
- Confirmar e-mail (Confirm email)
- Senha (Password)
- Confirmar senha (Confirm password)

At the bottom of the form are two buttons: "CANCELAR" (Cancel) and "PRÓXIMO" (Next).

Fonte: <https://b.socrative.com/login/teacher/?#register/info>

Depois de completar a ficha de cadastro basta clicar em “**PRÓXIMO**” para acessar o painel de controle:

Figura 13.3: Painel de Controle



Fonte: <https://b.socrative.com/teacher/#launch>

Para que o aluno possa participar, o professor deverá fornecer o seu nome de sala: basta digitar no campo apropriado na interface do aplicativo no dispositivo do aluno:

Figura 13.4: Acesso do aluno



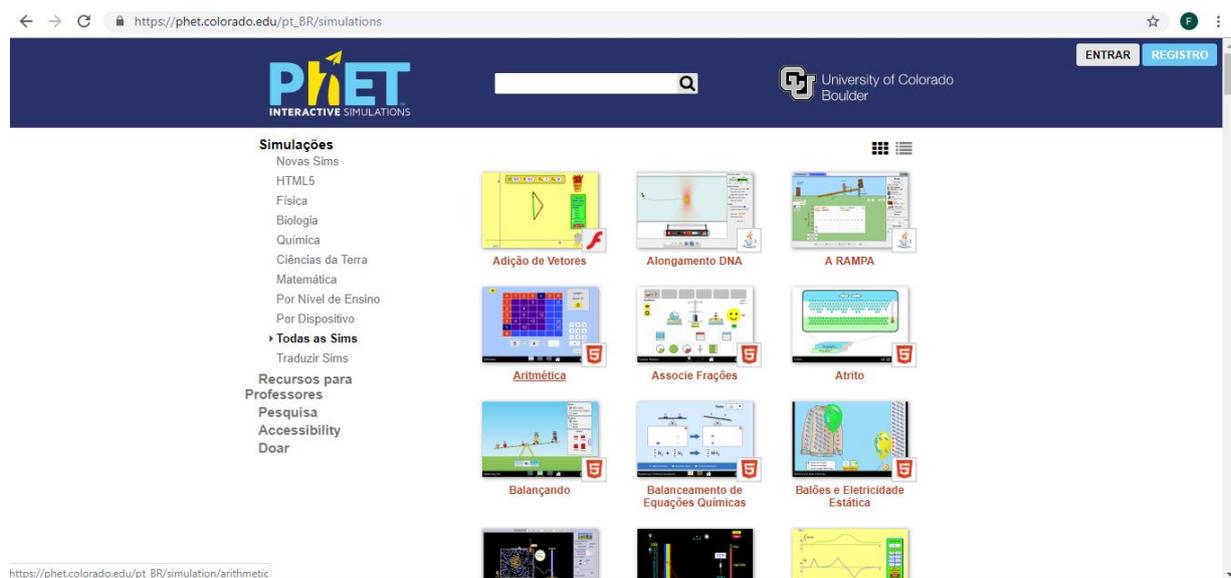
The image shows the Socrative logo at the top, which consists of a cluster of blue hexagons followed by the word "socrative" in a blue sans-serif font. Below the logo is a light blue rectangular box containing the text "Login do aluno". Underneath this text is a label "Nome da sala" followed by a white rectangular input field. Below the input field is a large orange button with the word "ENTRAR" in white capital letters. At the bottom right of the light blue box, there is a small Brazilian flag icon followed by the text "Português (Brasil)" and a downward-pointing chevron symbol.

Fonte: <https://b.socrative.com/login/student/>

4.3.2 - PhET - Interactive Simulations (Physics Education Technology)

Os simuladores da plataforma PhET - Interactive Simulations (Physics Education Technology) fazem parte de uma iniciativa da Universidade do Colorado com o intuito de fornecer ferramentas interativas voltadas para Ensino de Ciências e permitem ao usuário investigar conexões entre fenômenos reais e a ciência básica através da formulação e teste de suas próprias hipóteses.

Figura 14.1: Apresentação da página inicial das simulações da plataforma PhET.

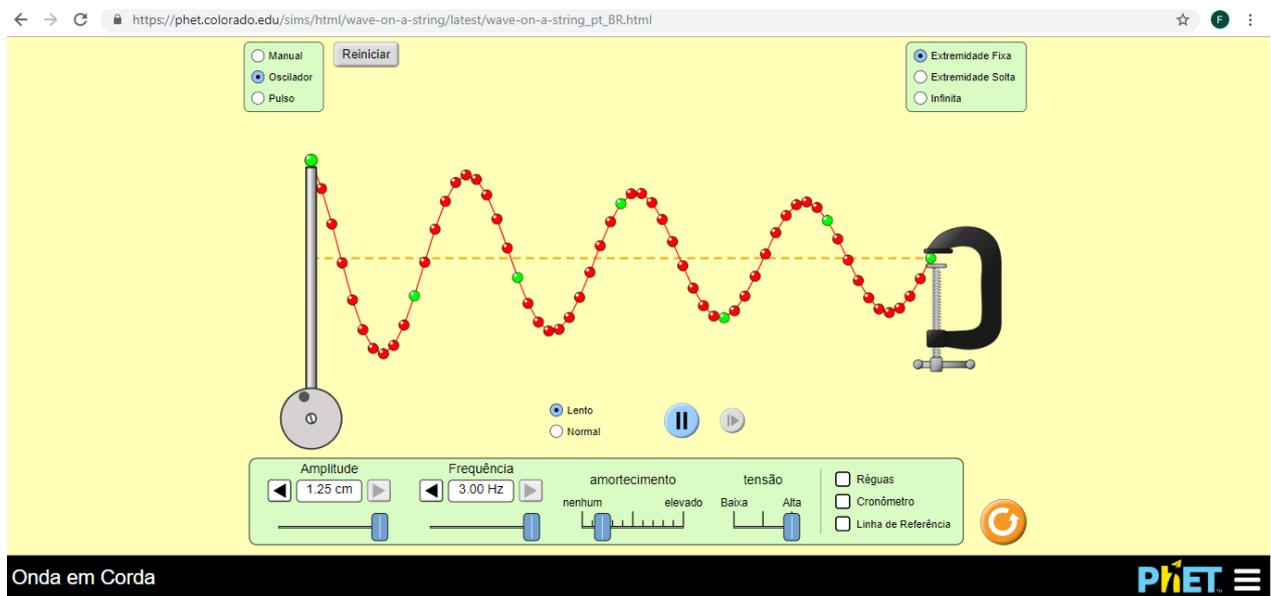


Fonte: https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulations

Nessa etapa o professor fará uma introdução à física ondulatória e às ondas sonoras, incluindo as características físicas do som por meio das simulações interativas do Phet simulation.

Na simulação a seguir é possível discutir os conceitos de amplitude e frequência sonora, assim como ilustrá-los virtualmente, além de ser possível verificar como a propagação de uma onda depende de outros fatores como tensão e amortecimento na corda.

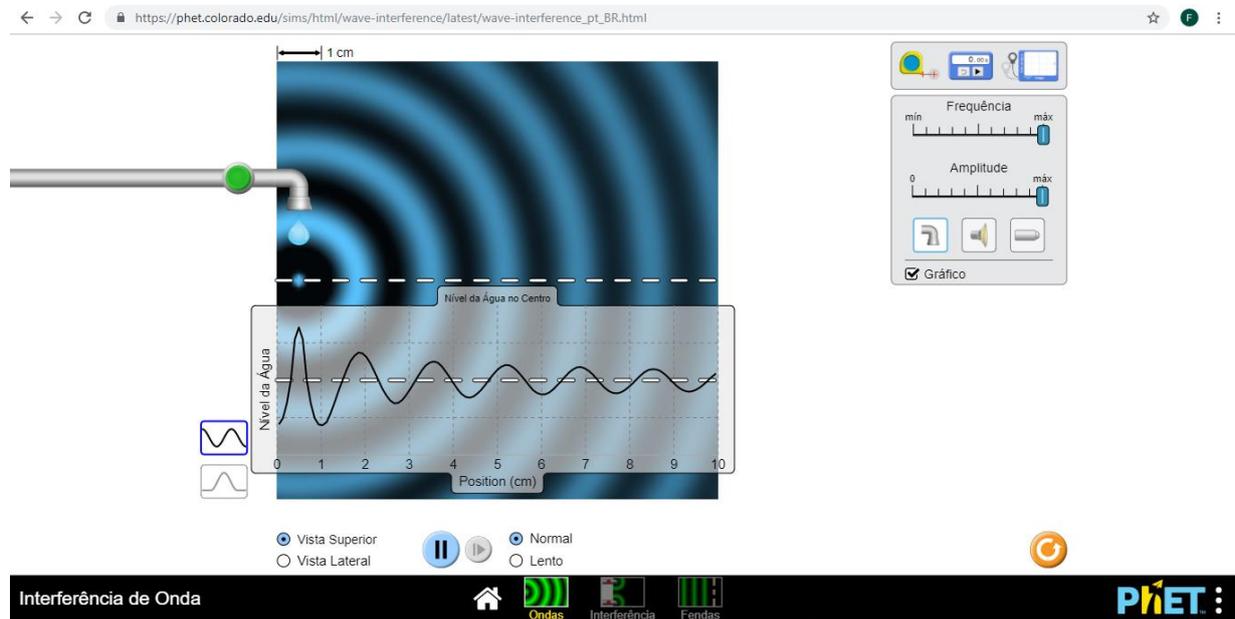
Figura 14.2: Simulação Ondas na corda



Fonte: https://phet.colorado.edu/sims/html/wave-on-a-string/latest/wave-on-a-string_pt_BR.html

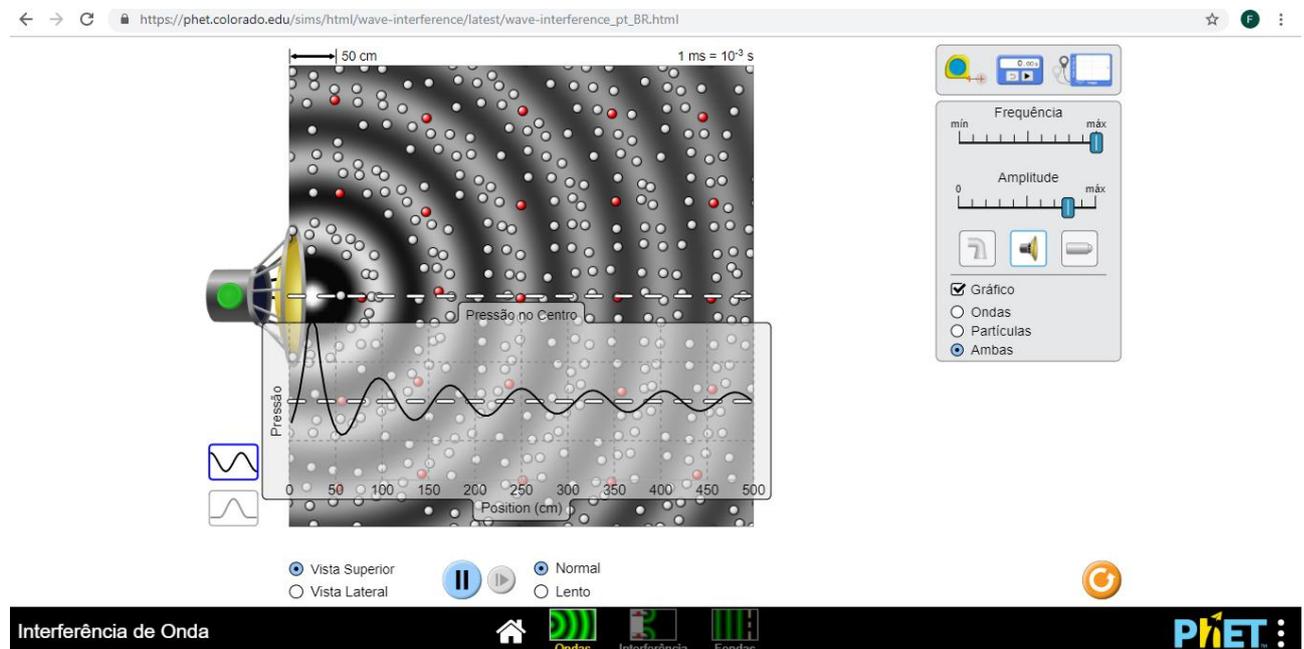
Com a simulação Interferência de Ondas é possível visualizar a propagação de ondas na superfície de um líquido, como se dá a movimentação de partículas em um meio durante a propagação de ondas sonoras e ainda a relação das cores com as respectivas frequências para o caso das ondas eletromagnéticas.

Figura 14.3: Simulação interferência de ondas (Propagação na superfície de um líquido)



Fonte: https://phet.colorado.edu/sims/html/wave-interference/latest/wave-interference_pt_BR.html

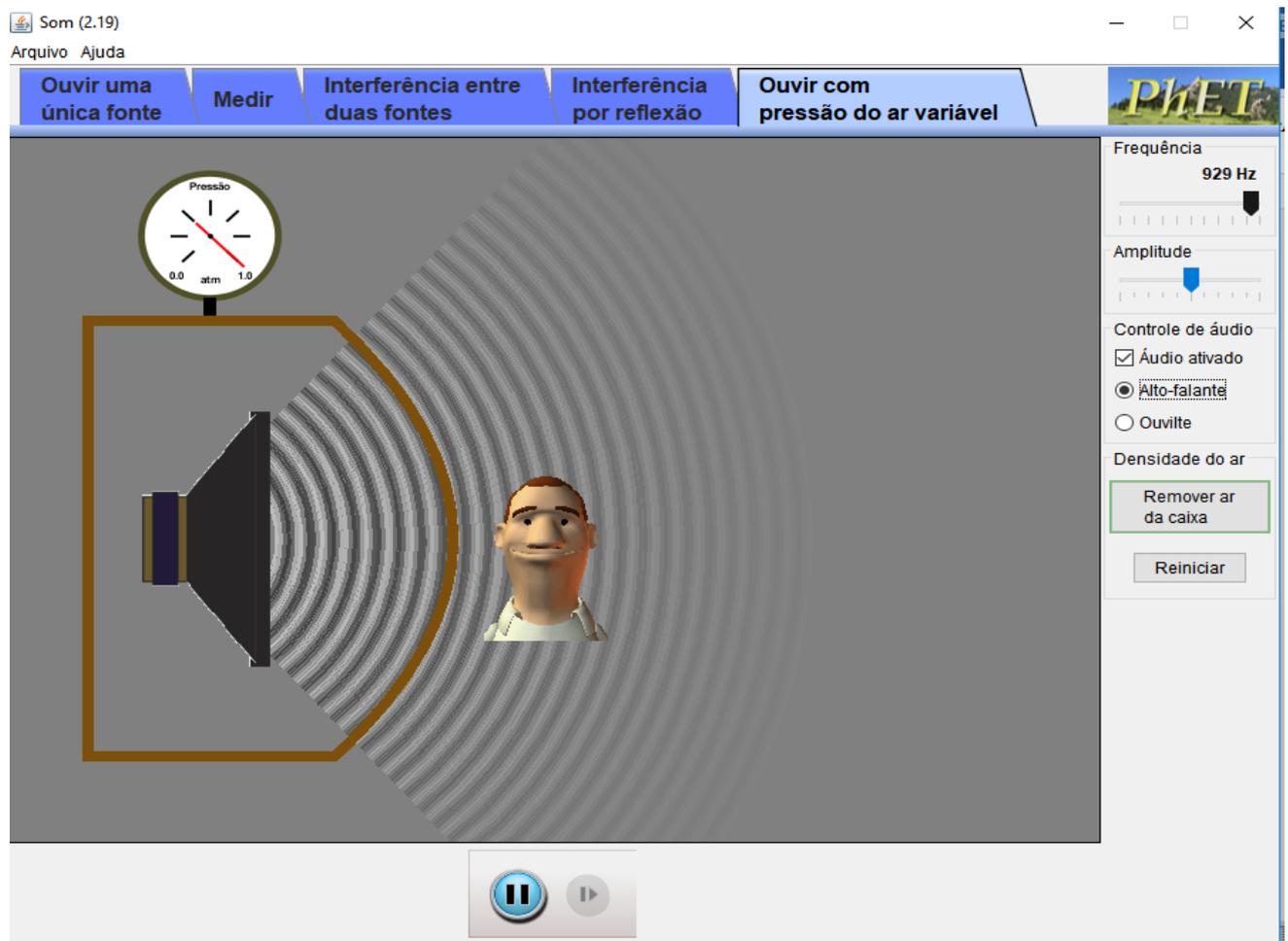
Figura 14.4: Simulação interferência de ondas (Propagação num meio e movimento das partículas)



Fonte: https://phet.colorado.edu/sims/html/wave-interference/latest/wave-interference_pt_BR.html

Com a simulação Som, por meio das suas abas, são verificados alguns dos aspectos sonoros, dentre eles “ouvir som com pressão do ar variável”. Nessa aba o usuário pode remover o ar da caixa onde a fonte sonora está localizada até que não seja mais possível ouvir nenhum ruído emitido pela simulação. Dessa forma, fica ilustrado o fato que de acordo com sua natureza o som é classificado como uma onda mecânica, isto é, necessita de um suporte (ou meio) material para sua propagação.

Figura 14.5: Simulação Som



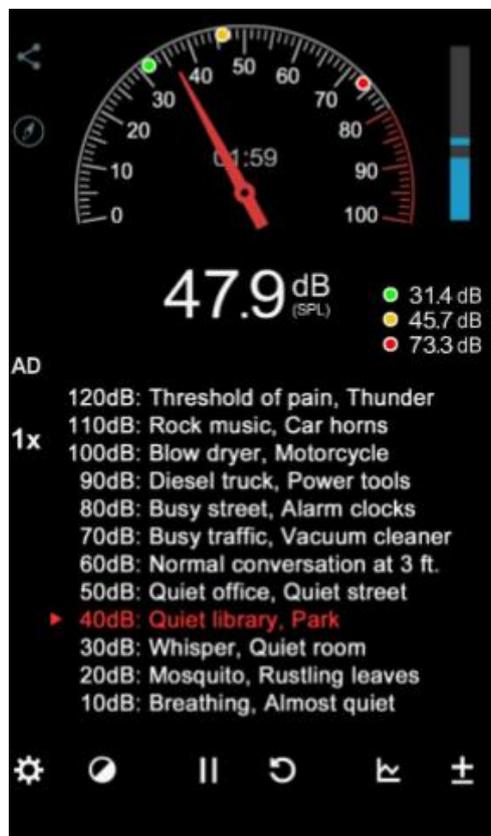
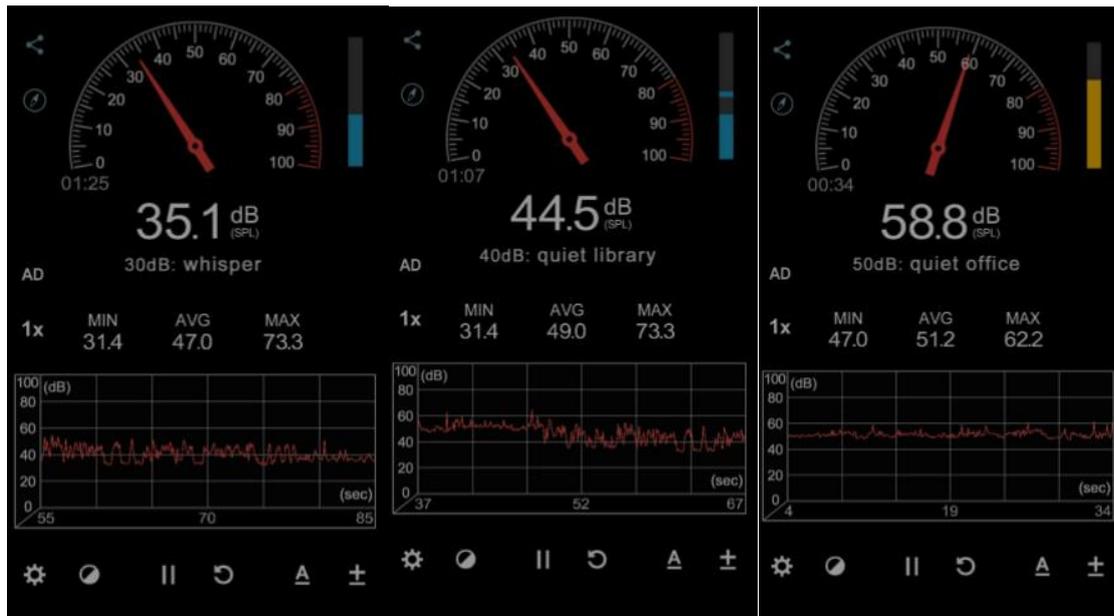
Fonte: https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulation/legacy/sound

Além das aplicações interativas do Phet simulation, que também podem ser baixadas nos smartphones, o professor apresenta outros aplicativos e sugere que os alunos instalem em seus aparelhos a fim de realizar experimentos mais diretos: Afinador, Spectroide, Metrônomo, Decibelímetro e WaveEditor.

4.3.3 – Decibelímetro

O aplicativo para smartphone decibelímetro mede continuamente o nível de intensidade sonora em dB (decibel) do ambiente traçando um gráfico para o valor da medida.

Figura 15: Aplicativo decibelímetro



4.4 – Descrição da aplicação do produto

O produto foi aplicado numa instituição privada de ensino no Estado do Rio de Janeiro. A instituição possui uma turma para cada uma das respectivas séries, incluindo o Ensino Fundamental e o Ensino Médio. A escola adota um sistema de ensino cujo material é baseado em apostilas, devendo o professor trabalhar uma certa quantidade de módulos dentro de um período pré-estabelecido em calendário anual. Nesse material didático tanto a física como as outras disciplinas apresentam conteúdos programáticos que são trabalhados em paralelo, de modo que pelo menos dois conteúdos sejam trabalhados dessa forma por professores distintos. E no caso da 3ª série do Ensino Médio, turma na qual o produto foi aplicado, a Física é umas das disciplinas que apresentam três conteúdos paralelos, sendo esse trabalho aplicado de acordo com o material didático no cronograma da Física 3. Os encontros ocorreram sempre às segundas-feiras no turno da tarde com duração de uma hora e quarenta minutos. E por esse motivo, a aplicação ficou condicionada a tal planejamento.

Inicialmente foi feita uma introdução à física ondulatória, incluindo as características físicas do som. Para isso, foram usados recursos de multimídia para apresentação de slides e para utilização de simulação computacional. Para conclusão dessa primeira etapa foram necessários dois tempos de aula, incluindo os questionamentos levantados pelos alunos referentes ao conteúdo de física.

O segundo encontro inicia-se com um questionário investigativo, com o intuito de conhecer as concepções prévias dos discentes em relação a poluição sonora. Para essa etapa, inicialmente foi sugerido que as respostas do questionário fossem dadas juntamente a uma plataforma virtual onde os smartphones de cada aluno seriam usados como ferramenta par tal fim. Entretanto por conta de problemas técnicos provenientes da distribuição da rede de internet, essa forma ficou inviabilizada. E como o calendário já estava apertado, a solução imediata foi recorrer para respostas manuais das onze perguntas do questionário. Após o término do questionário foi iniciada a problematização da temática poluição sonora, que com o uso de recursos multimídia foram apresentados vídeos mostrando algumas situações de exposição a poluição sonora no cotidiano (APÊNDICE E), assim como suas consequências a curto, médio e longo prazo. Além disso foi distribuído um texto para leitura em classe relacionado a esse tipo de poluição. Vale ressaltar que esse texto inicialmente estava

previsto para uma leitura extraclasse após o primeiro encontro, mas o desenrolar das atividades oportunizou esse outro momento para essa leitura. Tendo como base os vídeos e a leitura do texto foi proposto aos alunos um momento de reflexão sobre as respostas fornecidas anteriormente no questionário, para que esse novo conhecimento fosse utilizado para reformulação das respostas por meio de exposição oral criando um clima de debate que acabou levando mais de 5 minutos para cada pergunta.

A fim de construir a resposta científica com os alunos, o professor propôs que eles acompanhassem a realização de um experimento no qual, com o uso de sonômetro, deveriam fazer a medida do nível de intensidade sonora dos seus fones de ouvido de forma gradativa, ou seja, a partir do volume mínimo até chegar ao máximo, para perceberem que o volume ideal para ouvir suas músicas não é o máximo.

Embora toda a aplicação do produto tenha sido feita de forma presencial, no ano de 2020 com a pandemia do novo Coronavírus, foi possível enxergar uma outra possibilidade de aplicação levando em conta a condição de isolamento social e o ensino remoto. Nesse sentido, os aplicativos Socrative e PHET, os links de texto e vídeos dão suporte a esse modo de aplicação. Além disso, mesmo sem o aparelho que mede a percepção sonora (o sonômetro) a atividade pode ser aplicada com o uso do aplicativo para smartphone decibelímetro. Ele mede continuamente o nível de intensidade sonora em dB (decibel) do ambiente traçando um gráfico para o valor da medida. Desse modo, o produto pode ser aplicado tanto no ensino presencial, como no ensino remoto.

CAPÍTULO 5

Conclusão

O ensino de Física da forma que vem sendo desenvolvido por grande parte das instituições não tem proporcionado aos alunos a visão ampla e diversificada que a Física pode oferecer. Apesar de avanços significativos nas pesquisas educacionais, em âmbitos internacional e nacional, o modelo atual de ensino passa por muitas críticas.

A educação ambiental, perpassando os conteúdos escolares de todas as disciplinas da Educação Básica, tem respaldo legal. Nessa perspectiva, o ensino de Física pode proporcionar ao aluno a formação de um cidadão mais atuante na sociedade, de forma a poder intervir em diversos problemas sociais.

O desenvolvimento do produto teve como objetivo uma conscientização dos estudantes, bem como a inserção da temática poluição sonora no contexto das aulas de Física do Ensino Médio, considerando os efeitos dessa poluição a curto, médio e longo prazo. Nesse sentido, com aplicação do produto foi possível perceber que o ensino de Física, em particular no estudo da Física ondulatória, se deu de forma mais espontânea, uma vez que foram levados em conta os conceitos de Física ligados às questões do cotidiano: relacionadas à poluição sonora. Para isso, foram realizadas atividades: questionários, exposições, problematização, vídeos e no final um experimento que consistiu na medição do nível de intensidade sonora nos fones de ouvido, com objetivo de construir, de forma significativa, os conceitos de Física abordados.

Com a aplicação do produto, os alunos puderam compreender de forma ampla e contextualizada alguns dos aspectos do cotidiano relacionados à Física ondulatória, em especial às ondas sonoras. Não só pelos questionários aplicados antes e depois das atividades, mas também pelas observações feitas em sala diante das exposições e problematização, a atividade mostrou-se eficiente no que diz respeito a uma melhora na compreensão de alguns aspectos relacionados à poluição sonora e as suas implicações. Comparando as respostas dos questionários após a atividade (APÊNDICE C) com as respostas do início (APÊNDICE B), por exemplo, observa-se que as respostas melhoraram levando em conta as perguntas feitas no questionário investigativo (APÊNDICE A) relativas a alguns aspectos da poluição sonora e suas implicações e efeitos no cotidiano.

Com isso, foi possível desenvolver nos alunos um pensamento crítico sobre as consequências da exposição a sons com volumes elevados, com destaque para os fones de ouvido que são bastante utilizados pelos estudantes.

Foi possível evidenciar a importância da Física para a compreensão do mundo que nos cerca e que ela não se resume a números, fórmulas e resolução repetitiva de exercícios.

Sendo assim, as aulas de Física podem ser propostas e ministradas de maneira mais reflexiva, baseadas em atividades problematizadoras, que possam contribuir para a construção de um conhecimento amplo e diversificado dessa disciplina, deixando um pouco de lado o modelo tradicional de ensino, no qual o aluno fica limitado a decorar fórmulas para serem aplicadas na resolução de exercícios, provocando, conseqüentemente, nesses alunos uma rejeição ou até mesmo aversão à Física.

ANEXO 1 - IMAGENS DURANTE O EXPERIMENTO DE MEDIÇÃO DO NÍVEL DE INTENSIDADE SONORA NOS FONES DE OUVIDOS COM O USO DO SONÔMETRO.





APÊNDICES

APÊNDICE A – QUESTIONÁRIO INVESTIGATIVO USADO NO ÍNICIO DA ATIVIDADE

1. Quais os principais tipos de poluição?
2. O que é poluição sonora?
3. O que são ruídos? Existem limites de ruídos tolerados?
4. Como é feita a medida de um ruído?
5. Cite exemplos de fontes de poluição sonora
6. O que é o sonômetro?
7. Existe fiscalização sobre sons intensos? Caso afirmativo, como é realizada?
8. Que fatores contribuem para uma significativa perda auditiva?
9. Como o uso contínuo de fones de ouvido no volume máximo pode contribuir para perda de audição? Como?
10. Como prevenir a perda auditiva?
11. Além da perda auditiva, os ruídos podem gerar mais algum problema de saúde?

APÊNDICE B – RESPOSTAS DE ALGUNS QUESTIONÁRIOS ANTES DA ATIVIDADE

▶ exercícios → sem pesquisa

① sonora, visual e ambiental (no geral)

② É a que ocorre por meio da audição, onde existe a presença de barulhos e sons extremamente altos que incomodam os ouvidos.

③ Sons com frequências diferentes que não seguem um padrão e são desorganizados. Sim.

④ Em decibéis

⑤ Pavões de som, ouzinhos, transistores.

⑥ Um medidor de som.

⑦ Sim. Através de um sonômetro.

⑧ O uso de fones altos, barulhos altos, rompimento dos tímpanos e etc.

⑨ Danificando a audição aos poucos.

⑩ Dor de cabeça, náuseas

Respostas da lista de vozando com o que eu ACHO:

- 1- Poluição sonora, ambiental, visual e etc.
- 2- É quando um volume muito alto ou uma frequência via perturbadora afeta / prejudica a saúde auditiva.
- 3- Ruídos são sons em frequências específicas que implicam com a audição. E volume, há limites.
- 4- A medida é feita com um medidor específico.
- 5- Locais de som excessivos, vizinhos e etc.
- 6- Medidor de som.
- 7- Sim, em locais residenciais, por exemplo, existem regras para montar câmeras, caso contrário as autoridades podem ser afetadas.
- 8- Sons de ruídos muito altos, visto um ambiente com ruído poluição sonora e etc.
- 9- Sim, desordem e tinnitus.
- 10- Ruído ambiente ou objetos com constante som excessivo prejudicial à saúde auditiva.
- 11- Sim.

Questionário de Física

1) Quais os principais tipos de poluição?

Poluição visual, sonora, ambiental (terrestre, aquática, atmosférica)

2) O que é poluição sonora?

é aquela causada por sons que podem gerar desconforto auditivo

3) O que são ruídos? Existem limites de ruídos tolerados?

São perturbações sonoras. Sim.

4) Como é feita a medida de um ruído?

Usa-se a medida em Db (decibéis)

5) Cite exemplos de fontes de poluição sonora:

Caixas de som, celulares com música alta, caixas de som, etc.

6) O que é o sonômetro?

Equipamento usado para medir som.

7) Existe fiscalização sobre sons intensos? Caso afirmativo, como é realizada?

Sim, porém não em todo lugar. É realizada com uma visita policial no local com som alto para que vergam se o som se adequa aos limites de Db para o local e horário.

8) Que fatores contribuem para uma perda significativa na audição?

Música e som em volume alto em geral.

9) Como o uso contínuo de fones de ouvido no volume máximo pode contribuir para a perda da audição?

O fone prejudica a estrutura interna da orelha, podendo causar danos nos tímpanos, etc.

10) Como prevenir a perda auditiva?

Evitar ouvir som em volume alto.

11) Além da perda auditiva, os ruídos podem gerar mais algum problema de saúde?

Podem gerar problemas de equilíbrio, de fala.

→ Respostas de acordo com o que eu acho:

1. Poluição sonora, poluição atmosférica, poluição visual, entre outros.

2. Está ligada a transmissões de ruído que podem prejudicar a audição.

3. São barulhos repetitivos e desagradáveis. Sim.

4. De acordo com a intensidade do ruído, uns mais altos e outros mais baixos.

5. Buzina, caixa de som, fone de ouvido em alto volume, etc.

6. O aparelho que mede o volume do som.

7. Sim. Quando alguém faz uma denúncia, a polícia vai até o local e pede para abafar.

8. Som em alto volume, ruídos, etc.

9. Porque existe um limite tolerável no sistema auditivo, que é de 80 dB a 85 dB. Quando esse volume é ultrapassado, a audição é prejudicada.

10. Evitar executar músicas no fone de ouvido em alto volume e ruídos, não usar constantemente, etc.

11. Sim. Problemas mentais, como estresse e dor de cabeça.

Questionário Investigativo - parte I

1. poluição sonora, poluição do ar e água, e poluição visual

2. Muito barulho constante

3. Barulho indesejado. Provavelmente sim, para não causar danos na saúde.

4.

5. Trânsito

6. Medidor de som

7. Sim, com focalização policial

8. Atrito de objetos na região do ouvido, traumatismo crâniano, febre e alguns tipos de doenças.

9. Por causa da poluição sonora.

10. Não colocam objetos no ouvido, como cotonete, e se associar

11. Dor de cabeça e estresse

Questionário - 1

1- sons altos

2- Um ruído, som muito alto ou não mas que perturbe a tímpano

3- Um som que acaba incomodando a tímpano. Sim

4- Por uma máquina que use a potência do ruído

5- Barulhos como buzinas dos automóveis, sirene, ruído com som, etc

6- Uma máquina que provavelmente deve medir, ser a potência de um ruído, som

7- Sim

9- Escutância músicas com ele uma máximo praticamente todos os dias

10- Evitar no uso do fone de ouvido com o volume alto, usar protetores de ouvidos quando necessário

11- Dor de cabeça

APÊNDICE C – RESPOSTAS DE ALGUNS QUESTIONÁRIOS APÓS A ATIVIDADE

- ① Poluição atmosférica, das águas, do solo, sonora e visual.
- ② Comuns em ambientes urbanos e a grande aglomeração de pessoas que geram um excesso de barulho.
- ③ No tempo comum ruído e barulho ou som não desejado, foi na eletrônica e associado à percepção acústica. Segundo a OMS, o limite recomendado para a audição é de até 50 decibéis.
- ④ Para a medida de ruídos são utilizados aparelhos chamados de medidores de Intensidade sonora ou Decibelímetros.
- ⑤ Obras com britadeiras, latadeiras, furas e festas em casas noturnas.
- ⑥ Sonômetro ou decibelímetro é um instrumento destinado a medir e comparar os sons e intervalos harmônicos, além de medir os níveis de intensidade sonora.
- ⑦ Sim
- ⑧ Obesidade, pressão alta, altos níveis de decibéis, envelhecimento.
- ⑨ O uso contínuo em altos decibéis.
- ⑩ Não colocar objetos no ouvido, evitar exposição acima de 25 dB diariamente.

1- Poluição atmosférica, dos ruidos, dos vozes, sonora e visual.

2- A poluição sonora ocorre quando se usam alguma vez condições anormais de audição em um determinado ambiente e pode causar diversos danos à saúde do ser humano como o estresse e a insônia.

3- Ruído é a mistura de sons ou sons, cujos frequências difere entre si por um valor inferior ao poder de discriminação de frequência do ouvido, ou seja, qualquer sensação sonora considerada indesejável. E assim, existem limites nos níveis residenciais com escolas e hospitais e em locais de trabalho e zonas.

4- Medidas de Intensidade Sonora ou Decibélicas.

5- Fontes de veículos, atividades domésticas e públicas e o ruído industrial.

6- Instrumental destinado a medir os níveis de intensidade sonora.

7- A fiscalização existe e é realizada por meio dos municípios que colocam em vigor a Lei de Silêncio.

8- Alérgicos, asmáticos, diabéticos, pressão alta, estômagos e etc podem contribuir.

9- Jato excessivo acima de 100 decibéis por mais de 6 min por semana pode causar surdez.

10- Não colocar qualquer objeto no canal auditivo;
• Usar protetor auricular e tampão;
• Evitar assar e variar, quando respirado;
• Usar equipamentos de Proteção Individual quando estiver em locais com níveis acima de 85 dB;
• Outros.

11- Estresse, doenças cardiovasculares, insônia, hiper-tensão, ansiedade e etc.

Questionário de Física

1. Quais os principais tipos de poluição?

Atmosférica, do solo, das águas, sonora e visual.

2. O que é poluição sonora?

É aquela poluição que se refere aos sons em volumes que ultrapassam os limites normais para os seres humanos.

3. O que são ruídos? Existem limites de ruídos tolerados?

São barulhos não desejados, enfiados. Limite é 55Db no período do dia e 50Db para a noite.

4. Como é feita a medida de um ruído?

Utiliza-se o decibelímetro, que transforma as vibrações dos ruídos em sinais elétricos que indicam os decibéis.

5. Cite exemplos de fontes de poluição sonora:

Os centros urbanos, trânsito, aeroportos, construções, etc.

6. O que é o sonômetro?

Instrumento usado para medir sons e intervalos harmônicos.

7. Existe fiscalização sobre sons urbanos? Caso afirmativo, como é realizada?

Sim, porém no Brasil isso não é muito presente. Em caso de perturbação sonora em um horário não permitido, um órgão fiscalizador é acionado para conferir se se encaixa ou excede os níveis de Db permitidos.

8. Que fatores contribuem para uma perda significativa da audição?

Envelhecimento, hereditariedade, barulhos em um longo período de tempo, fones com música alta, doenças, etc.

9. Como o uso contínuo de fones de ouvido no volume máximo pode contribuir para a perda da audição?

Sons altos danificam a orelha interna, causando danos irreversíveis aos tímpanos, pois tal som está chegando aos 90Db, acima dos 85Db suportados.

10. Como prevenir a perda auditiva?

Evitar exposição a ruídos, evitar enfiar objetos, como bastões flexíveis, profundamente nas orelhas, vacinar contra doenças que prejudicam a audição.

11. Além da perda auditiva, os ruídos podem gerar mais algum problema de saúde?

Pode causar distúrbios cardiovasculares, alteração de humor, danos ao equilíbrio, alteração no sono, hipertensão, entre outros problemas.

1. Poluição atmosférica, poluição das águas, poluição dos solos, poluição sonora e poluição visual.

2. É quando um som ultrapassa o limite audível normal, afetando a saúde física e mental da população.

3. É um som ou um conjunto de sons desagradáveis ao ouvido de indivíduos. Sim.

4. Litranes de aparelhos denominados Medidores de Intensidade Sonora ou Decibelímetros.

6. Instrumentos destinados a medir os níveis de intensidade sonora.

7. Sim. A polícia militar fará uma "visita" a festa que estiver extrapolando os limites, e solicitará que os ruídos sejam diminuídos.

8. Traumatismos, tampões de cera, perfurações do tímpano, uso indevido de tecnologias e barulho intenso no trabalho.

9. Quando usa o fone de ouvido com volume máximo, prejudica as estruturas sensoriais, levando a perda irreversível da audição.

10. Não utilizar objetos no conduto auditivo, usar fones de ouvido com sons de intensidade máxima de 60 dB por até 60 minutos, quando exposto a ruído diário acima de 85 dB, sempre utilizar EPIs, entre outros.

11. Sim. Tumbidos, ansiedade, insônia e depressão.

→ Questionário Informativo - parte II

1. Poluição sonora, do solo, da água, visual e atmosférica.
2. É o excesso de ruído. O alto nível de decibéis provocam pelo barulho constante proveniente de atividades que perturbam o silêncio ambiental.
3. A mistura de sons ou tons, cujas frequências diferem entre si por um valor inferior ao poder de discriminação de frequência do ouvido, ou seja, é qualquer sensação sonora considerada indesejável.
Sim, o máximo de limite tolerado é de 50 decibéis.
4. Com um aparelho chamado decibelímetro.
5. Ruídos de trânsito;
Ruído domésticos: sons de liquidificador, aspiradores de pó, batidas, aparelhos de som, etc.
Ruído industrial: equipamentos nas indústrias, serras, máquinas, etc.
6. Instrumento destinado a medir e comparar os sons e intervalos harmônicos.
7. Existe a lei do silêncio, que deveria ser focalizada pela polícia civil.

Questionário - 2

1- Atmosférica, hídrica, dos solos, sonoras
visual

2- Excesso de ruídos que afeta a saúde
mental e física

3- Mistura de sons ou tons onde as
frequências se diferem, sensação sonora
indiscreta. Sim

4- Sonometria

5- Trânsito, aeroportos, construções

6- Medidor do nível do som

7- Sim

8- Diabetes, pressão alta, osteoporose, etc

9- O uso contínuo

10- Não colocar objetos no ouvido
tomar vacinas de sarampo e cacumbra

11- ansiedade, nervosismo, impotência
sexual

APÊNDICE D – TEXTO COMPLEMENTAR PARA LEITURA EXTRACLASSE

¹Organização Mundial da Saúde considera poluição sonora, um problema de saúde pública

Cerca de 10% da população mundial está exposta a níveis de ruído que podem causar diversos problemas. Além dos danos à audição o ruído causa perturbação e desconforto, prejuízo cognitivo, distúrbios do sono e doenças cardiovasculares.



Dados mais recentes da Organização Mundial da Saúde estimam que 10% da população mundial está exposta a níveis de pressão sonora que potencialmente podem causar perda auditiva induzida por ruído. Em aproximadamente metade destas pessoas o prejuízo auditivo pode ser atribuído ao ruído intenso. Segundo artigo publicado na Revista Lancet (2013), a perda auditiva induzida por ruído é um problema de saúde pública.

No ambiente urbano, o conjunto de todos os ruídos provenientes de inúmeras fontes sonoras, tais como meios de transporte, atividades de lazer, de obras, indústria, etc, causam o que vem sendo definido como poluição sonora, ou seja, uma sobreposição de sons indesejáveis que provocam perturbação. Além dos danos à audição causados pelo ruído, como a perda auditiva e o zumbido, existem também os efeitos

¹ Disponível em: <http://www.proacustica.org.br/publicacoes/artigos-sobre-acustica-e-temas-relacionados/oms-considera-poluicao-sonora-problema-de-saude-publica.html>

extra auditivos, tais como perturbação e desconforto, prejuízo cognitivo (principalmente em crianças) e doenças cardiovasculares, dentre outros problemas de saúde.

Outro fator importante são os efeitos do ruído na perturbação do sono, com consequências para a vida cotidiana com efeitos sobre o sistema endócrino. Segundo Alessandra Giannella Samelli, professora do Curso de Fonoaudiologia do Departamento de Fisioterapia, Fonoaudiologia e Terapia Ocupacional, da Faculdade de Medicina da USP, os distúrbios do sono podem prejudicar a performance e o estado de alerta das pessoas durante o dia, assim como a qualidade de vida e a saúde em geral.

“Sabe-se que as pessoas percebem, avaliam e reagem aos sons (ruído) mesmo quando estão dormindo. Por este motivo, o organismo pode reagir ao ruído com aumento da produção de hormônios, elevação do ritmo cardíaco, contração dos vasos sanguíneos, entre outras reações”, explica. Se a exposição ao ruído ocorrer por longo tempo, estas reações podem se tornar persistentes e afetar o organismo e a saúde como um todo (Organização Mundial da Saúde, 2011; Basner et al, 2013).

No Brasil, segundo Alessandra, o ruído excessivo é aceito e, muitas vezes, tido como fundamental em algumas atividades de lazer. “O número de jovens expostos a ruído excessivo triplicou desde os anos 1980. Alguns estudos vêm mostrando os efeitos auditivos temporários decorrentes desta exposição ao ruído no lazer e que a prevalência da perda auditiva em adultos e idosos também está aumentando cada vez mais. Em virtude deste panorama, deve haver incentivo para o desenvolvimento de produtos seguros, por exemplo, fones de ouvido com cancelamento de ruído, bem como campanhas de conscientização no âmbito da saúde pública”, recomenda.

Perda Auditiva

As perdas auditivas induzidas por níveis de pressão sonora elevados são grandes no Brasil, chegando a 6,8% da população, de acordo com a professora doutora do Departamento de Fonoaudiologia da Unifesp-EPM, Ana Cláudia Fiorini, que proferiu palestra na 1ª Conferência Municipal sobre Ruído, Vibração e Perturbação Sonora, em São Paulo. “Mas como não existe uma constância nas notificações no país esse número deve ser bem maior. Isso reforça a importância da notificação, que torna

possível o conhecimento da realidade e o dimensionamento das ações de prevenção e assistência necessárias”, destaca Ana Cláudia.

Para ela, a perda auditiva é uma preocupação internacional, em função do impacto que tem na vida das pessoas. Seja na aprendizagem, na orientação vocacional, no isolamento social, sempre haverá um impacto. Os principais agentes causadores da perda auditiva são o ruído e o processo de envelhecimento.

A professora da Unifesp-EPM lembra ainda os outros efeitos na saúde desencadeados pela poluição sonora. “Irritabilidade, stress, distúrbios do sono podem ter relação com ruído, mas a população não é alertada com relação a isso. Às vezes, as pessoas já sofrem com esses problemas e não sabem qual a causa”. Quando o ruído é intenso e a exposição a ele é continuada, em média 85 dB(A) por oito horas por dia, ocorrem alterações estruturais na orelha interna, que determinam a ocorrência da Pair (Perda Auditiva Induzida por Ruído).

Além dos sintomas auditivos, há dificuldade de compreensão, zumbido e intolerância a sons intensos, cefaleia, tontura, irritabilidade e problemas digestivos, entre outros. Ela descreve a Pair como uma perda auditiva do tipo neurossensorial, geralmente bilateral, irreversível e progressiva de acordo com o tempo de exposição ao ruído. Ana Cláudia destaca ainda as pesquisas que vêm assinalando como o ruído prejudica as crianças, tanto na concentração como na capacidade de aprendizagem. Alessandra também ressalta que estudos recentes sugerem que a exposição ao ruído afeta a concentração, o funcionamento cognitivo geral e particularmente as habilidades de leitura nas crianças em idade escolar. “Desta forma, a importância do ambiente acústico na escola é fundamental, visando a proteção dos ruídos intrusivos e garantindo a inteligibilidade da fala, o que resultaria num melhor aproveitamento escolar”, aponta. O nível de ruído estabelecido como aceitável para salas de aula segundo a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) é de no máximo 50 dB (A).

Atuação do poder público

O poder público necessita atuar no ambiente urbano para ordenar e reduzir o ruído nas grandes cidades. O mapeamento sonoro das metrópoles pode fornecer um diagnóstico e criar estratégias e ações para reduzir o ruído. Segundo Alessandra, para que essas ações sejam efetivas o poder público deve adotar o mapeamento

acústico, uma vez que no Brasil isso ainda não é uma “realidade.” A partir da definição de áreas mais problemáticas, se torna possível adotar medidas para mitigar, controlar e fiscalizar efetivamente o cumprimento das restrições. Além disso, a conscientização da população é fundamental”, destaca.

Ana Cláudia enfatiza a importância de uma ação interdisciplinar, associada ao desenvolvimento de políticas públicas, que visem o benefício da população. “A poluição sonora, considerada a terceira principal causa de poluição no mundo, é um problema de saúde pública, uma vez que todos estão expostos, em maior ou menor grau, a níveis sonoros que podem provocar diversos efeitos deletérios na saúde”, pondera.

E acrescenta que há necessidade iminente de esclarecer a população acerca dos efeitos não auditivos. “Dentre eles podemos destacar o nervosismo e a irritabilidade, estresse, tontura, dores de cabeça, alterações e distúrbios do sono, zumbidos e outros. A própria Organização Mundial da Saúde possui guia específico para tratar do ruído ambiental e efeitos na saúde da comunidade. Diversos países possuem recomendações específicas para a poluição sonora nas cidades”, explica.

Apesar dos avanços na tecnologia e nas pesquisas científicas, a poluição sonora continua tendo um impacto extremamente negativo na saúde da população. Desta forma, iniciativas de atuação conjunta entre autoridades, governantes, cientistas e cidadãos poderão criar subsídios para o enfrentamento da poluição sonora em nossas cidades. “A atuação voltada à identificação dos efeitos na saúde e a implantação de programas de educação ambiental extensivos a toda população consolida a participação e a importância do fonoaudiólogo”.

APÊNDICE E – VÍDEOS A SEREM EXIBIDOS PARA AS RODADAS DE DISCUSSÃO

“Ouça o som do Trânsito em uma Grande Cidade” – Disponível em:

<<https://www.youtube.com/watch?v=DaQmk51yec4>>

“São Paulo - O barulho da cidade” - Disponível em:

<<https://www.youtube.com/watch?v=tubEqPtEUNo>>

“Britadeira na Madrugada” - Disponível em:

<<https://www.youtube.com/watch?v=MRdgo9UBTg0>>

“Ambulância do SAMU no dia a dia” - Disponível em:

<https://www.youtube.com/watch?v=cr1ezyAHU_g>

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AUSUBEL, D. P. A aprendizagem significativa: a teoria de David Ausubel. São Paulo: Moraes, 1982

BRASIL. MEC. SEB. SECADI. SEPT. CNE. CNEB. *Diretrizes Curriculares Nacionais Gerais da Educação*. Brasília: MEC, SEB, DICEI, 2013

BRASIL. Ministério da Educação. Base Nacional Comum Curricular. Brasília, 2018. Disponível em: <http://basenacionalcomum.mec.gov.br/wp-content/uploads/2018/04/BNCC_EnsinoMedio_embaixa_site.pdf>

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. RESOLUÇÃO/CONAMA/N.º 002 de 08 de março de 1990. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res90/res0290.html>>

ESTEVAM, Guilherme Demori. Poluição sonora e seus efeitos na saúde humana: estudo da Região Metropolitana de Campinas.

GRILLO, Maria Lúcia e PEREZ, Luiz Roberto. Física e música. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2016

HENRIQUE, Luís L. Acústica Musical. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, Lisboa 2002

KNIGHT, Randall D. Física: uma abordagem estratégica. 2 ed. ed. Porto Alegre: Bookman, 2009. v. 2.

LADEIA, Gabrielly Lima. POLUIÇÃO SONORA: uma ameaça à saúde? Revista Saúde e Meio Ambiente – RESMA, Três Lagoas, v. 9, n.3, p. 34-40, Agosto/Dezembro. 2019. Edição especial. ISSN: 2447-8822 Disponível em: <<https://seer.ufms.br/index.php/sameamb/article/view/8387>>

LANDULFO, Eduardo. *Meio Ambiente e Física*. São Paulo: Editora Senac São Paulo, 2005.

LEODORO, Marcos Pires; SANTOS, Rodrigo Corrêa dos. A perspectiva ambiental no ensino de Física. In: XVII SIMPÓSIO NACIONAL DE ENSINO DE FÍSICA, 2007. Disponível em: < <https://sec.sbfisica.org.br/eventos/snef/xvii/atas/resumos/T0201-2.pdf>>

MEC. PCN+ - *Ensino Médio Orientações Educacionais Complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais – Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias*, 2002. Disponível em: < <http://portal.mec.gov.br/seb/arquivos/pdf/CienciasNatureza.pdf>>

_____. *Parâmetros Curriculares Nacionais (Ensino Médio) Parte I e Parte III - Bases Legais*. 2000. Disponível em: <<http://portal.mec.gov.br/seb/arquivos/pdf/blegais.pdf>>.

_____. *Orientações Curriculares para o Ensino Médio – Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias*. Brasília: MEC/SEB, 2006. Disponível em: <http://portal.mec.gov.br/seb/arquivos/pdf/book_volume_02_internet.pdf>.

MEC – SEB. *Guia de livros didáticos: PNLD 2015: física: ensino médio*. Brasília: Ministério da Educação, Secretaria de Educação Básica, 2014.

MELLO, Guiomar Namó de. *Transposição Didática, interdisciplinaridade e contextualização*. São Paulo: 2004 Disponível em: <<http://www.namodemello.com.br/pdf/escritos/outros/contextinterdisc.pdf>>.

O IMPACTO SOCIAL DA NORMA NBR 10151 E A IMPORTÂNCIA DE COMBATER A POLUIÇÃO SONORA. Disponível em: <<http://www.pucrs.br/labelo/o-impacto-social-da-norma-nbr-10151-e-importancia-de-combater-poluicao-sonora>>.

OLIVEIRA, T. E., ARAUJO, I. S., & VEIT, E. A. Sala de aula Invertida (flipped classroom): Inovando as aulas de física. In.: *Física na Escola*, 14(2), 2016, p. 4-13

RESNICK, Robert; HALLIDAY, David; KRANE; Kenneth S, *Física 2*. 5. ed. Rio de Janeiro, RJ: LTC 2007 vol 2.

RICARDO, Elio Carlos. Problematização e contextualização no ensino de Física. In: CARVALHO, Anna Maria Pessoa de et al. *Ensino de Física* (Coleção Ideias em Ação). São Paulo: Cengage Learning, 2010, p. 29 - 51.

SAE DIGITAL. Metodologias Ativas no Ensino Remoto. Disponível em: <https://sae.digital/metodologias-ativas-no-ensino-remoto/>

TOLEDO, I. **Educação:** Sala de Aula Invertida e Ensino Remoto, 17 de maio de 2020. Disponível em: <http://folhade Florianopolis.com.br/2020/05/17/educacao-sala-de-aula-invertida-e-ensino-remoto/>>