



**Sequência de aulas para o ensino de Fenômenos Ondulatórios no Ensino Médio com a perspectiva de Unidades de Ensino Potencialmente Significativo**

Arivaldo Lopes

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

Orientador:  
Prof. Dr. Célio Adrega de Moura Junior

Volume 1 - Dissertação

Santo André-SP  
Agosto de 2016

Lopes, Arivaldo

Sequência de aulas para o ensino de Fenômenos ondulatórios no Ensino médio com a perspectiva de Unidades de ensino Potencialmente Significativos/ Arivaldo Lopes– Santo André: Universidade Federal do ABC, 2016.

85fls. 30cm.

Orientador: Célio Adrega de Moura Junior

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do ABC, Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física, 2016

1.Ensino de Física. 2.Sequência de aulas . 3.Fenômenos ondulatórios.4.Música 5. Jogo I. LOPES,Arivaldo. II. Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física, 2016 III. Sequência de aulas para o ensino de Fenômenos ondulatórios no Ensino médio com a perspectiva de Unidades de Ensino Potencialmente Significativos.

Este exemplar foi revisado e alterado em relação à versão original, de acordo com as observações levantadas pela banca no dia da defesa, sob responsabilidade única do autor e com a anuência de seu orientador.

Santo André, 8 de novembro de 2016.

Assinatura do autor: Orivaldo Lopes

Assinatura do orientador: Célio A. Moura Jr.



**MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO**  
**Fundação Universidade Federal do ABC**  
**Programa de Pós-Graduação em Mestrado Nacional Profissional em**  
**Ensino de Física**

Avenida dos Estados, 5001 – Bairro Santa Terezinha – Santo André – SP  
CEP 09210-580 · Fone: (11) 4996-0017  
ppg.mnpef@ufabc.edu.br

**FOLHA DE ASSINATURAS**

Assinaturas dos membros da Banca Examinadora que avaliou e aprovou a Defesa de Dissertação de Mestrado do candidato Arivaldo Lopes, realizada em 11 de agosto de 2016:

---

Prof.(a) Dr.(a) **Nelson Studart Filho** (UFABC) – Presidente

---

Prof.(a) Dr.(a) **Giselle Watanabe** (UFABC) – Membro Titular

---

Prof.(a) Dr.(a) **Franciole da Cunha Marinho** (UFSCAR) – Membro Titular

---

Prof.(a) Dr.(a) **Marcelo Oliveira da Costa Pires** (UFABC) – Membro Suplente

---

Prof.(a) Dr.(a) **Fernando Rossi Torres** (UNICAMP) – Membro Suplente

Dedico esta dissertação a minha mãe Marli Lopes, meu pai Sérgio Lopes,  
minha irmã Raquel Pampa e meu cunhado Romulo Pampa.

## **Agradecimentos**

À Deus e a Jesus Cristo, à CAPES pelo apoio financeiro, ao meu orientador pela paciência, a minha irmã e meu cunhado que são licenciados em música e colaboraram muito para a realização deste trabalho e a todos os Professores Doutores que colaboraram em suas disciplinas para minha formação e para a realização desta dissertação.

## RESUMO

Esta dissertação trata da proposição e aplicação de uma sequência de aulas com o objetivo de aprendizagem de tópicos de Fenômenos ondulatórios sendo estes: Velocidade de propagação; Comprimento de onda; Frequência; Ondas longitudinais e transversais; Ondas eletromagnéticas e Mecânicas Atributos do som – Timbre, Altura e Intensidade; Ondas estacionárias – Harmônicos, Oscilação em cordas e tubos, Nós, Ventres e Frequência fundamental.

Foi usado para tanto as Unidades de Ensino Potencialmente Significativas que divide a sequência didática em oito passos. A sequência de aulas foi aplicada no ensino regular e na Educação de Jovens e Adultos (EJA) das escolas municipais da cidade de São Caetano do Sul e Mauá, respectivamente.

A aplicação foi feita com jogos, experimentos, apresentação musical, vídeo, teste e construção de instrumentos musicais. A avaliação dos alunos foi feita utilizando-se relatórios, desempenho em jogos e resolução de exercícios. O bom desempenho dos alunos nas avaliações mostrou indícios de compreensão dos conteúdos trabalhados.

**Sequência didática para o ensino de Fenômenos ondulatórios no Ensino médio com a perspectiva de Unidades de Ensino Potencialmente Significativo**

Arivaldo Lopes

Orientador:  
Prof. Dr. Célio Adrega de Moura Junior

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

Palavras-chave: Ensino de Física, Sequência didática, Fenômenos ondulatórios.

Santo André-SP  
Agosto de 2016

## ABSTRACT

High school lecture series on wave phenomena using Potentially Meaningful Teaching Units

We propose the implementation of a series of high school lessons on wavelike phenomena with the following topics: propagation velocity; wavelength; frequency; longitudinal and transverse waves; electromagnetic waves and sound mechanical attributes - timbre, height and intensity; standing waves - harmonics, flicker on ropes and tubes, nodes, wombs, and fundamental frequency.

We use Potentially Meaningful Teaching Units as a method that divides the instructional sequence in eight steps. The sequence of lectures was applied in regular high school education and adult education at public schools in the cities of São Caetano do Sul and Mauá, respectively, in the industrial belt of São Paulo.

The lectures were conducted using games, experiments, musical presentations, videos, tests and construction of musical instruments. The students' evaluation was assessed using reports, gaming performance and problem solving.

Didactic sequence for wave phenomena of teaching in high school with a teaching perspective Potentially Significant Units

Arivaldo Lopes

Supervisor(s):

PhD Célio Adrega de Moura Junior

Abstract of master's thesis submitted to Programa de Pós-Graduação em Física no Curso de Mestrado Profissional de Ensino de Física (MNPEF), in partial fulfillment of the requirements for the degree Mestre em Ensino de Física.

Keywords: Physics education, Didactic sequence, Wave phenomena.

Santo André-SP  
August of 2016

## Sumário

Introdução.....	1
A experimentação no ensino.....	2
A música no ensino de Física.....	5
A importância do ensino de FEO no Ensino Médio.....	6
Objetivo.....	7
Capítulo 1 - <b>Metodologia</b> .....	8
1.1 Perfil dos alunos e das escolas onde foi aplicada a sequência de aulas .....	9
1.2 A Aplicação da sequência de aulas, passos 1 e 2: Delimitação do tema e Questionário.....	10
1.3 Passo 3 – Atividade experimental, Apresentação de conceitos e exercícios .....	12
1.4 Passo 4 – Apresentação musical e jogo musical.....	23
1.5 Passo 5 – Construção de xilofone, proposta de tocar flautas e questionário .....	38
1.6 Passo 6 – Vídeo, exercícios e jogo .....	42
1.7 Passo 7 – O jogo de tabuleiro.....	51
1.8 Passo 8 – Avaliação final.....	55
Capítulo 2 <b>Fenômenos Ondulatórios</b> .....	56
2.1 Ondas estacionárias.....	68
2.2 Ondas acústicas estacionárias.....	73
Capítulo 3 <b>Considerações finais</b> .....	75
Anexo A.....	76

Referências.....	80
------------------	----

## Índice de Tabelas

Tabela 1:Níveis experimentais de abertura.....	4
Tabela 2:Roteiro do experimento envolvendo molas e cordas.....	13
Tabela 3:Nota de aula para auxiliar no ensino-aprendizado das característicasde uma onda: velocidade, comprimento de onda, frequência e amplitude.....	15
Tabela 4:Slide que introduz o tema a ser tratado.....	16
Tabela 5:Slide que apresenta as ondas mecânicas e eletromagnéticas.....	16
Tabela 6:Exemplos de ondas mecânicas e eletromagnéticas.....	17
Tabela 7:Slide que diferencia ondas longitudinais e transversais.....	18
Tabela 8: Espectro eletromagnético.....	18
Tabela 9: Definição de comprimento, amplitude, frequência e velocidade de uma onda.....	19
Tabela 10: Exercício exemplo da nota de aula sobre características de uma onda.....	21
Tabela 11:Primeiro exercício que discute a relação $v=\lambda.f$ .....	21
Tabela 12:Segundo exercício.....	22
Tabela 13:Terceiro exercício.....	23
Tabela 14: Nota de aula que auxilia na apresentação musical.....	25
Tabela 15:Slide com o resumo da sequência de aulas.....	27
Tabela 16:Atributos dos sons musicais.....	28
Tabela 17:Relação entre ondas longitudinais e transversais.....	29
Tabela 18:Frequência das cordas do violino.....	30

Tabela 19:Espectro eletromagnético com aplicações.....	31
Tabela 20: Intensidade sonora e luminosa.....	32
Tabela 21:Definição de timbre .....	33
Tabela 22:Lista de cantores do jogo musical.....	35
Tabela 23:Lista do jogo musical.....	37
Tabela 24: Roteiro com as propostas de construção de um xilofone.....	39
Tabela 25:Números a serem colocados embaixo dos copos.....	40
Tabela 26:Música canção de ninar.....	41
Tabela 27:Nota de aula que trata de ondas estacionárias.....	44
Tabela 28:Difração e Interferência.....	45
Tabela 29:Exercícios sobre ondas estacionárias.....	46
Tabela 30:Definição de Interferência.....	47
Tabela 31:Reflexão e Refração.....	48
Tabela 32:Difração e polarização.....	49
Tabela 33:Jogo para identificar os Fenômenos.....	49
Tabela 34:Continuação do jogo.....	50
Tabela 35:Sorteio do jogo de tabuleiro.....	52
Tabela 36:Questões do jogo de tabuleiro.....	53

#### Tabela de figuras

Figura 1:relação entre onda longitudinal e transversal.....	20
Figura 2: Afinador eletrônico.....	26

Figura 3:Professor tocando violino.....	30
Figura 4:Copo para montar o xilofone.....	39
Figura 5:Jogo de tabuleiro.....	51
Figura 6:Pulso em corda.....	56
Figura 7:Reflexão de pulso.....	57
Figura 8: Cordas com densidades diferentes.....	57
Figura 9:Onda transversal.....	58
Figura 10:Onda longitudinal.....	58
Figura 11:Pulso se deslocando para a direita.....	59
Figura 12:Interferência construtiva e destrutiva.....	59
Figura 13: Segmento de corda.....	60
Figura 14: Pistão se deslocando para a direita.....	61
Figura 15:Características de uma onda.....	66
Figura 16:Ondas planas.....	67
Figura 17:Pulso em extremidade fixa.....	68
Figura 18:Onda resultante.....	68
Figura 19: Ondas estacionárias.....	70
Figura 20:Nós e ventres.....	70
Figura 21: Pulso em uma corda com extremidade livre.....	70
Figura 22:Reflexão do pulso sem inversão.....	71
Figura 23:Ondas resultante .....	71
Figura 24:Diapasão.....	71
Figura 25:Tubo fechado com pistão móvel.....	73

## Introdução

A dificuldade dos alunos em compreender os conteúdos de Física no Ensino Médio tem sido um constante desafio para os professores da área. As ferramentas para auxiliar neste desafio são as mais diversas, dentre elas a experimentação, a simulação computacional, jogos, vídeos, músicas, entre outras linguagens. Entretanto a dificuldade de encontrar material para utilização em sala vem sendo diminuída com a produção acadêmica de material específico, que vem sendo divulgado e difundido entre outras fontes pela Sociedade Brasileira de Física [SBF,2015] através dos SNEF (Simpósio Nacional de Ensino de Física), encontros a cada dois anos para discutir e apresentar trabalhos sobre o ensino de Física. As Sequências didáticas são um exemplo deste tipo de material. Trata-se de uma proposta envolvendo o emprego de uma ou mais das ferramentas citadas com o objetivo de facilitar o aprendizado de um conteúdo da área. Segundo Giordan [Giordan,2010] este conceito surge com os Parâmetros Curriculares Nacionais [PCN,1997], que tem por objetivo balizar o ensino a nível Nacional. No entanto, o termo vem sendo cunhado desde a década de 70 com os primórdios do que seria chamado depois de Sequência didática, como aponta em uma análise histórica das sequências didáticas [Giordan,2010].

Partindo do pressuposto de que o ENEM (Exame Nacional do Ensino Médio) é uma porta de entrada para o ensino superior com bastante relevância, uma vez que o acesso a maior parte das universidades públicas e privadas utiliza o ENEM como avaliação de ingresso. Sendo assim a cobrança de um determinado conteúdo neste instrumento avaliativo o assunto com maior relevância, como aponta Peixoto em seu artigo sobre a análise de questões de Física no ENEM [Peixoto,2009]. No ENEM 2014 houve sete questões de Física sendo que três eram de Fenômenos ondulatórios. Esta não foi a única aplicação que teve um número considerável de questões deste assunto, como é possível verificar no site do INEP (Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira) através da visualização das provas aplicadas desde a implementação no exame no país [INEP,2015]. Das 174 questões de Física aplicadas nesta prova desde sua criação 26 eram deste tema. Isso

representa cerca de 15% de ocorrência, ou seja, uma em sete questões trata do assunto. A SBF disponibiliza uma apostila feita pelo professor Fernandes que reúne as questões de Física até 2011, o que facilita a identificação das questões de Física até este ano [Fernandes,2013]. O presente trabalho vem colaborar com o ensino de Fenômenos Ondulatórios, propondo uma sequência de aulas que pode facilitar o ensino-aprendizado deste conteúdo no ensino médio.

### **A experimentação no ensino**

Segundo Giordan [Giordan,1999, p. 1] os professores têm ciência de como a experimentação desperta o interesse nos alunos. Ainda segundo o autor já citado, depoimentos de alunos levam a crer que tal prática seja motivadora e lúdica essencialmente ligada aos sentidos. Professores afirmam que a prática experimental seria capaz de aumentar a capacidade de aprendizado dos temas abordados. O autor da presente dissertação tem observado em sua prática docente a veracidade de tais afirmações.

Embora Aristóteles defendesse a experimentação como afirma Giordano trabalho já citado.

Suas ideias eram em maior parte pautadas na dedução lógica observacional, portanto, a observação era a mediação entre o sujeito e o fenômeno. As ideias Aristotélicas marcaram presença por toda a Idade Média para o entendimento dos fenômenos da natureza.

Segundo Giordan [Giordan, 1999, p. 2] a ciência se consolida através da experimentação no século XVII, através de situações empíricas, validando ou refutando hipóteses através de situações experimentais. A prática envolvendo formular enunciados gerais a partir de coletas de dados experimentais é conhecida como indução. Quem capitaneia a ciência indutivista da época é Francis Bacon, apoiado por Rene Descartes (seu contemporâneo) que não só acredita que experimentações repetitivas levem a leis gerais, mas que correlações entre grandezas poderia gerar leis ainda mais gerais, deixando as descobertas com uma importância ainda maior. Usando um exemplo prático, na visão de Bacon, uma grande quantidade de experimentos leva a conclusão de que em um determinado local a aceleração da gravidade vale  $9,80 \text{ m/s}^2$ . Na

visão de Descartes uma série de experimentos leva em conta que ao aumentar a altitude em relação ao solo altera-se o valor da aceleração da gravidade, por exemplo, a uma altitude maior em relação ao solo a aceleração da gravidade vale  $9,77 \text{ m/s}^2$ . Disso conclui-se que a aceleração da gravidade depende da altura em relação ao solo, portanto, na visão de Descartes chega-se à conclusão de que para uma determinada altura a aceleração da gravidade vale  $9,80 \text{ m/s}^2$ , que é uma lei menos geral do que a que correlaciona altura e aceleração gravitacional, o que a visão Cartesiana considera ter importância de descoberta ainda maior. Ainda no século XVII Galileu afirma que a experimentação tem papel legitimador na ciência. Segundo Giordan [Giordan, 1999, p. 4] Bacon, Descartes e Galileu são considerados fundadores da ciência moderna. A experiência feita com uma estratégia racional ficou conhecida como Método Científico, retomando as ideias dos três pensadores citados, Augusto Comte funda uma corrente filosófica conhecida como Positivismo (nome fruto do livro fundante de suas ideias, Curso de Filosofia Positiva), fundada no Método Científico. O Método Científico se caracteriza por normas básicas que devem ser seguidas, para que através da experimentação seja produzido e validado o conhecimento científico. O Método Científico influenciou a educação científica até a década de 60, já que seus métodos são semelhantes aos métodos de ensino Behavioristas. Segundo Moreira [Moreira, 1999, p. 21] o termo Behaviorista foi cunhado por J. B. Watson para deixar clara a conexão dos aspectos observáveis de comportamento. Um dos nomes mais conhecidos desta vertente de ensino é o americano B.F. Skinner, que segundo Moreira usava os controles de comportamentos observáveis através de estímulo e resposta. Para Moreira o Behaviorismo encara o aprendizado através de estímulo e resposta. Como o Método Científico segue parâmetros metodológicos pré-estabelecidos, o Behaviorismo como método de ensino predominante se apropria do Método Científico como modelo a sua execução. Com o progressivo crescimento dos métodos de ensino cognitivos, pautados pela construção do conhecimento, daí serem também conhecidos como construtivistas, ainda segundo Giordan, o Behaviorismo vai perdendo espaço para a chamada Educação Científica. O Método Científico defendido por Comte despreza a Teologia e a Metafísica, acreditando que somente a

experimentação tem capacidade para explicar os fenômenos. A Educação Científica contrapõe suas ideias e ganha espaço com ideias cognitivistas.

“As atividades de ensino deixaram de ser encaradas como transposições diretas do trabalho de cientistas e o desenvolvimento cognitivo do ser humano foi tomado como um parâmetro essencial para a proposição de estratégias de ensino. Nesse termos, os estágios de evolução do pensamento, as ideias prévias do indivíduo arquitetadas num ambiente sociocultural e histórico foram tomadas como elementos fundamentadores da aprendizagem. A linearidade do Método de matriz lógico-positivista foi desafiada e assim os elementos organizadores do Método foram reavaliados e seus lugares redefinidos”. [Giordan, 1999]

A Educação Científica tem como característica valorizar a construção do conhecimento, para que experimentos que levem ao erro possam se tornar barreiras a serem transpostas em direção a um novo conhecimento e não apenas uma repetição de procedimentos das quais já se sabe o resultado. Neste sentido o papel do professor na experimentação é o de mediador para que o aluno construa suas conclusões.

No contexto da Educação Científica Herron [Herron, 1971] propõe uma tabela para o nível de abertura dos protocolos experimentais conforme a tabela que segue:

<b>Nível</b>	<b>Problema</b>	<b>Método</b>	<b>Solução</b>
0	Dado	Dado	Dada
1	Dado	Dado	Aberta
2	Dado	Aberto	Aberta
3	Aberto	Aberto	Aberta

Tabela 1: Níveis experimentais de abertura [Herron, 1971]

No nível zero os problemas, métodos e soluções são fornecidos. Constitui uma constatação daquilo que já é esperado através de um roteiro ou de uma experimentação demonstrativa.

No nível um o problema está pronto e o método para encontrar a solução também. Resta ao experimentalista descobrir a relação que ainda não conhece.

No nível dois apenas o problema é dado, cabendo ao estudante a busca pelo método e ferramentas a serem usados para chegar a solução.

No nível três todas as variáveis estão em aberto cabendo ao estudante selecionar o problema e propor métodos que cheguem a solução.

Nota-se que quanto maior o grau de abertura dos procedimentos experimentais, em maior medida o modelo experimental se aproxima da escola Cognitivista (construtivista) e quanto menos, mais se aproxima da educação Behaviorista.

Em certa medida é interessante que o professor saiba quando está se apropriando de ideias Cognitivistas e Behavioristas em sua prática docente.

### **A música no ensino de Física**

A música é uma atividade lúdica no processo de ensino, que além de aprofundar conhecimentos específicos amplia horizontes culturais e leva a reflexão de valores, padrões e regras. A música aproxima a Física ao cotidiano do aluno. A música está inserida em um contexto político e social da sociedade e pode servir de ferramenta para o entendimento de fenômenos Físicos. Segundo Barros [Barros,2013] em pesquisa com uma amostra de 32 professores de Ciências naturais e Biologia sobre o uso de música como ferramenta didática, os principais motivos destes profissionais não usarem esta ferramenta pedagógica se deve à falta de tempo nas aulas para este tipo de atividade e a falta de recurso particular entre outras causas como a carga elevada de trabalho, com ensino em mais de uma escola. Apesar das dificuldades apresentadas, as atividades envolvendo música podem ser muito construtivas e inspiradoras para os alunos. No presente trabalho foi feita uma apresentação musical para a compreensão de alguns tópicos de Fenômenos ondulatórios. Além disso foi feito um jogo para classificar Altura, timbre e intensidade, usando diferentes cantores e instrumentos musicais. Com isso foi possível associar os benefícios do jogo aliado a música, se tornando um importante instrumento de facilitação do ensino de Fenômenos Ondulatórios.

## **A importância do ensino de FEO no Ensino Médio**

A visão só é possível devido à chegada da luz por reflexão difusa no olho, o que é um Fenômeno Ondulatório (FEO). As ondas sonoras são responsáveis pela maior parte da comunicação humana e de grande importância em muitas espécies animais. Os aparelhos celulares, tão comuns nas mãos dos jovens estudantes do Ensino Médio, funcionam com ondas eletromagnéticas, as ondas de rádio, TV, micro-ondas, laser entre outras tecnologias também permeia o cotidiano do aluno. O fato de o estudo de FEO ajudar a entender os fenômenos e as tecnologias do dia-a-dia do aluno já justifica sua importância no Ensino Médio.

Pensando em nível atômico a interação entre objetos ou objetos e pessoas é de ordem eletromagnética. Segundo a interpretação ondulatória de De Broglie percebe-se o mundo com manifestações de ordem ondulatória. Portanto, o estudo de FEO gera uma nova visão de mundo para o aluno de Ensino Médio. O PCN+(Parâmetros Curriculares Nacionais) para Ensino médio, especificamente nos parâmetros para Física versa que:

“Para situar-se no mundo contemporâneo é necessário compreender os atuais meios de comunicação e informação, que têm em sua base a produção de imagens e sons. Essa abordagem implica em trabalhar tanto a natureza ondulatória comum ao som e à luz, quanto reconhecer suas especificidades. Isso inclui, quanto ao som, reconhecer suas características físicas, relacionando-as a fontes, “volume”, timbre ou escalas musicais, os meios que aprimoram sua transmissão, amplificam ou reduzem sua intensidade e sua interação com a matéria” [PCN+,1997]

O que mostra também a importância do ensino-aprendizagem de FEO nos Parâmetros curriculares nacionais utilizados como base para o ensino-aprendizagem de Física no país.

Além desta formação generalista necessária ao educando de Ensino Médio há uma necessidade de compreensão do assunto para uma possível formação que exija tal conteúdo, seja em nível técnico ou no Ensino superior. Formações superiores nas áreas tecnológicas e de engenharia exigem em diversos casos

a compreensão do tema para resolver problemas teóricos e aplicados (não necessariamente nesta ordem). Sendo assim, em alguns casos o tema FEO é importante para o prosseguimento dos estudos na vida do aluno de Ensino médio.

**Objetivo:** Propor uma sequência de aulas usando como referencial teórico UEPS (Unidades de Ensino Potencialmente Significativo)

# Capítulo 1

## Metodologia

As Unidades de Ensino Potencialmente Significativo (UEPS) são sequências de ensino fundamentadas em teorias da aprendizagem significativa (a aprendizagem significativa se contrapõe a memorização e aos processos mecânicos de ensino), tem como objetivo facilitar a aprendizagem significativa de tópicos específicos, sendo que todo material e esforços devem ser para que exista ensino-aprendizagem (sem separação) de maneira significativa. A maior influência desta aprendizagem é o conhecimento prévio defendido por Ausubel [Ausubel,2000], conhecimentos prévios estabelecem relações entre os conhecimentos novos aprendidos, situações problema precisam ter níveis crescentes de dificuldade, a avaliação é progressiva e feita através de evidências, o papel do professor é o de propor situações-problema para assim mediar significados, a aprendizagem precisa ser crítica no sentido de buscar as respostas e não decorar as mesmas.

Os princípios das UEPS são: conhecimentos prévios são fatores preponderantes na aprendizagem significativa, pensamentos, sentimentos e ações devem ser centradas no ser que aprende, as situações problema dão sentido ao aprendido, o papel do professor é a proposição e situações problema, a aprendizagem significativa se contrapõe a aprendizagem mecânica e de memorização.

O primeiro passo da UEPS é delimitar o tema a ser trabalhado dentro do contexto escolar. O segundo é montar um momento didático para obter as concepções prévias dos alunos através de questionários ou situação problema. O terceiro passo propõe situação problema em nível introdutório, o passo quatro é apresentar os conhecimentos a serem aprendidos, o passo cinco é caracterizado por retomar os conteúdos com uma abordagem mais avançada, o passo seis é uma nova abordagem no tema de maneira mais integradora, o passo sete consiste em uma avaliação formativa não sendo este o único instrumento de avaliação e o passo oito reúne as avaliações feitas em cada passo.

No presente trabalho fora feita na verdade uma sequência de aulas, já que em geral sequências didáticas são montadas por uma equipe de profissionais. Como o presente trabalho usou como referência uma sequência didática fundada em UEPS, quando se escreve sequência de aulas deve-se entender que é uma sequência didática montada por uma pessoa (o professor que escreve o presente trabalho), ou seja, uma sequência de aulas.

### **1.1 Perfil dos alunos e das escolas onde foi aplicada a sequência de aulas**

A sequência de aulas fora aplicada para alunos do grande ABC paulista, mais especificamente nas cidades de Mauá e São Caetano do Sul. O Grande ABC paulista é composto pelas cidades de Santo André, São Bernardo, São Caetano do Sul, Mauá, Ribeirão Pires, Rio Grande da Serra e Diadema. Os alunos da Cidade de Mauá pertencem a EJA (Educação de Jovens e Adultos, antigo supletivo) que são pessoas que não concluíram o Ensino médio na idade adequada, ou seja, até completar 18 anos. Sendo assim estes alunos têm mais de 18 anos de idade e pertencem a segunda série do Ensino Médio. Cada série tem a duração de seis meses. A maior parte dos alunos trabalha durante o dia e vêm para a escola à noite. A escola municipal onde fora aplicada a sequência de aulas se chama Clarice Lispector e atende nos períodos da manhã, da tarde e da noite apenas o público da EJA. A sequência foi aplicada nas quatro segundas séries do período noturno. Uma característica desta modalidade de ensino é o abandono da escola no meio do curso, devido ao trabalho, a falta de tempo livre para o estudo, a dificuldade em reingressar a um ensino formal depois de muito tempo fora da escola, conciliar trabalho doméstico e estudo entre muitos outros fatores que geram a evasão escolar nesta modalidade. Neste sentido práticas de ensino diferenciadas como a sequência de aula apresentada no presente trabalho, podem ajudar a motivar o aluno desta modalidade de ensino a não abandonarem a escola.

A escola municipal onde fora aplicada a sequência de aulas em São Caetano se chama Vicente Bastos. A escola funciona no período da manhã com o Ensino Médio regular (1<sup>o</sup>, 2<sup>o</sup> e 3<sup>o</sup> anos). O ano é dividido em trimestres.

A sequência foi aplicada no segundo trimestre, já que o plano de ensino de Física na escola prevê o tratamento do assunto Fenômenos Ondulatórios no segundo ano, neste trimestre.

## **1.2 A Aplicação da sequência de aulas, passos 1 e 2: Delimitação do tema e Questionário**

Esta parte da dissertação pretende descrever como fora aplicada uma sequência didática para tratar de Fenômenos ondulatórios em uma escola Municipal da Cidade de Mauá e São Caetano do Sul no ABC paulista. O autor deste texto fora o professor aplicador e idealizador desta sequência. O público na cidade de Mauá era composto de alunos da EJA das segundas séries do Ensino médio da escola municipal Clarice Lispector. As segundas séries E, F, G e H participaram das atividades. O público da escola Vicente Bastos em São Caetano do Sul era composto pelos segundos anos A, B, C, D e E. A mesma sequência fora aplicada ao ensino regular e a EJA para se verificar quais diferenças eram obtidas no ensino-aprendizagem das duas modalidades, usando um mesmo modelo. As diferenças são comentadas durante a análise das aplicações em cada modalidade de ensino.

O passo 1 foi a escolha e delimitação do tema como propõe Moreira [Moreira,2012], que é Fenômenos ondulatórios com os tópicos específicos: Características de uma onda- Velocidade de propagação, comprimento de onda, frequência, ondas longitudinais e transversais, ondas eletromagnéticas e mecânicas. Atributos do som- Timbre, Altura e Intensidade. Ondas estacionárias – Harmônicos, oscilação em cordas e tubos, nós, ventres e frequência fundamental.

Estes temas foram escolhidos levando-se em conta algumas atividades que já eram aplicadas em sala em semestres anteriores e o plano de ensino do assunto na escola.

O passo 2 consistiu da aplicação de um questionário para avaliar as concepções prévias dos alunos. O que Moreira define como um momento didático para obter as concepções prévias dos alunos. Durante a aplicação do questionário foi necessário o mínimo de intervenção por parte do professor já que concepções prévias são segundo Ausubel [Ausubel,2000] as visões que os alunos têm de um determinado assunto antes de ter aprendido sobre aquele tema de maneira formalizada. Durante a aplicação do questionário muitos alunos perguntaram se aquilo que pretendiam escrever estava certo ou errado e foi necessário dizer a eles que podiam responder sem medo, já que apenas a

participação no questionário valeria como avaliação e não havia certo e errado, apenas as suas opiniões sobre cada pergunta é que interessavam. Está característica foi comum as duas modalidades de ensino (EJA e Ensino regular)

Segue as questões aplicadas:

- a) Liste lugares, situações, tecnologias, entre outros, onde você já tenha visto algo ligado à onda ou ondas.
- b) Liste estações de rádio e processadores de computador com suas respectivas frequências, caso lembre delas.
- c) Como você acredita ser possível identificar a voz de diferentes professores sem os estar vendo?
- d) Liste cantores que você acredita ter voz aguda (“fina”) e grave (“grossa”).
- e) O que diferencia o sussurro de um grito?
- f) Como você supõe que funcione um instrumento de sopro e um instrumento de cordas?

As análises que seguem contam com os dados obtidos nas duas modalidades de ensino, houve uma certa convergência de respostas. Uma possível explicação para isso talvez seja a predominância de jovens (maior quantidade de pessoas com menos de 30 anos) nas turmas da EJA.

A questão a teve grande incidência de resposta ligada a ondas do mar. Também houve maiores ocorrências de respostas envolvendo rádio, micro-ondas e wifi.

A questão b costumava ser respondida com a frequência de uma rádio conhecida pelo aluno, sempre sem a unidade de medida (exemplo: 106.3) ou com as respostas AM e FM, houve uma confusão entre capacidade de armazenamento de dados e frequência com poucas respostas envolvendo frequência de processadores.

A questão c era respondida com argumentos como “eu conheço a voz deles”, ou seja, era uma capacidade perceptiva. Houve grande incidência as afirmações: Pelo som, pela voz e Ouvindo.

A questão d apresentou múltiplos artistas, com bastante coerência, salvo em algumas exceções em que o aluno trocava grave por agudo e vice-versa. Houve casos isolados de respostas apenas com o nome dos artistas, sem

referência a ele ser classificado como grave ou agudo. Os artistas com maior frequência de citação foram:

Aguda – Mariah Carey, Katy Perry e Adele.

Grave – Tim Maia, Seu Jorge e O Rappa

A questão e teve múltiplos olhares mostrando uma heterogeneidade de resposta. Houve uma pequena convergência para as respostas: Altura da voz; falar baixo e alto.

A questão f mostrou que os alunos conectam o movimento dos dedos do musicista com o ato de sair o som. As respostas mais comuns neste caso foram: O de sopro através de assoprar e o de cordas por tocar com a mão; Soprando e tocando.

### **1.3 Passo 3 – Atividade experimental, Apresentação de conceitos e exercícios**

O início do passo 3 foi a aplicação de um experimento com molas e cordas, o aluno deveria identificar em grupo ondas longitudinais, transversais, comprimento de onda e frequência. Como Moreira [Moreira,2012] propõe que o passo 3 seja um problema em nível introdutório, o experimento a apresentação de conceitos primários e os exercícios constituem um problema de nível introdutório.

O aluno fazia um “relatório” com seu grupo onde constavam as observações e a resposta as perguntas presentes no roteiro. A tabela que segue apresenta o roteiro usado para realizar o experimento:

<p style="text-align: center;"><b>Ondas</b></p> <p>Objetivo: Identificar ondas transversais e longitudinais; determinar seus comprimentos e variar sua frequência.</p> <p style="text-align: center;"><b>Material</b></p> <ul style="list-style-type: none"><li>• Corda;</li><li>• Mola;</li><li>• Fita métrica.</li></ul> <p style="text-align: center;"><b>Procedimentos</b></p> <p>Estique a mola no chão e dê um pulso na direção de seu comprimento. Dê mais pulsos para visualizar melhor. Esta é uma onda longitudinal. Estique a corda no chão e dê um pulso perpendicular ao seu comprimento (como na brincadeira chamada de “cobrinha”), dê mais pulsos para visualizar melhor. Esta é uma onda transversal.</p> <p><i>Desenhe uma onda longitudinal e uma transversal.</i></p> <p>Dê pulsos seguidos na corda e na mola e determine com a fita métrica e do</p>
--

professor o comprimento de onda de cada uma. Sabendo-se que o comprimento de onda na corda são as distâncias entre as duas “barrigas” ou pulsos da corda e o comprimento de onda da mola a distância entre dois pulsos ou duas compressões. Deixe a mola pouco estendida para visualizar melhor a distância entre duas compressões ou pulsos.

Frequência de uma onda são quantos pulsos se dá na corda ou na mola a cada segundo. Usando a corda e a mola responda. Como é possível ter uma frequência maior? E uma frequência menor?

Tabela 2: Roteiro do experimento envolvendo molas e cordas.

O professor distribuiu um roteiro para cada aluno e leu o roteiro, apresentou o objetivo, apresentou a corda, a mola e a fita métrica quando leu o material a ser utilizado, mostrou como era possível fazer uma onda longitudinal com a mola e uma transversal com a corda, ao ler o procedimento deixou claro que era necessário desenhar ondas longitudinais e transversais. Mostrou como era possível estimar o comprimento de onda medindo a distância entre uma crista e outra da corda e a distância entre duas compressões da mola. Leu as duas perguntas finais, recapitulou que no “relatório” a ser entregue deveria ter os desenhos das ondas, seus comprimentos de onda e a resposta as duas perguntas finais. Os alunos se reuniam em grupos de três pessoas. Este experimento é classificado como de nível zero por Herron [Herron, 1971], uma vez que o roteiro dá o problema a ser solucionado, o método a ser realizado e sua solução quase óbvia para obter resultados. Na maioria das vezes os alunos conseguiam desenhar e classificar ondas longitudinais e transversais, em alguns casos houve equívoco, trocando as classificações. Como este equívoco se demonstrou muito raro, parece que houve entendimento neste sentido. Na maioria das vezes os alunos precisavam de auxílio para estimar o comprimento de onda da mola e da corda, o que demonstra ser necessário uma clareza maior na escrita do roteiro e na explicação e leitura do mesmo pelo professor. Na maioria das vezes os alunos geravam mais pulsos para ter maior frequência e menos pulsos para ter menor frequência, o que já era esperado, já que o roteiro direcionava o aluno a fazer isso. A diferença entre a EJA e o ensino regular se deu no tempo de execução experimental, enquanto a EJA executava o experimento em menos de uma aula (em geral na metade de uma aula) o ensino regular levava uma aula para executar o mesmo

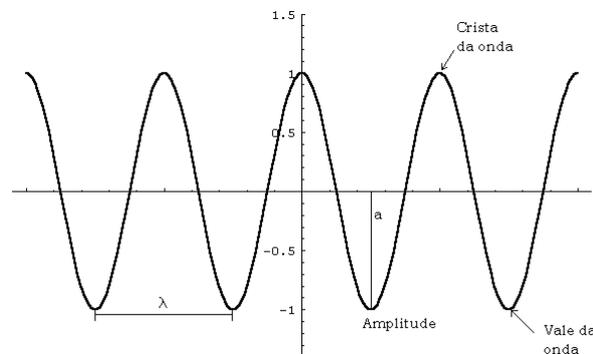
experimento. Uma hipótese para a diferença é a falta de foco dos alunos do ensino regular no experimento e a maior quantidade de grupos, já que na EJA havia de quinze a vinte alunos por sala e no ensino regular de 20 a 25 alunos. Outra possibilidade é a que o professor observa a algum tempo, alunos da EJA têm mais facilidade em realizar tarefas experimentais do que os alunos do ensino regular, daí mais uma hipótese, o adulto lida com o mundo do trabalho e do cuidado doméstico o que deixa sempre em situações de resoluções de problemas reais, ou seja, experimentais. A avaliação do chamado “relatório” era feita levando-se em conta os desenhos das ondas longitudinais e transversais, os comprimentos de onda da corda e da mola e a resposta as perguntas.

Na aula seguinte o professor distribui a nota de aula que está na próxima tabela, que o auxiliará a fazer uma rápida discussão com os alunos sobre as características de uma onda, neste caso a velocidade de propagação de uma onda, seu comprimento, sua frequência e a amplitude. A nota de aula está sem espaçamento para poder caber na tabela e ocupar apenas uma página, já que quando é distribuída aos alunos ocupa apenas uma página. Para fazer esta discussão na escola da EJA a lousa branca e o data show são usados. A escola tem uma copiadora e permite que cada professor tire a quantidade de cópias que ache necessário.

### Características de uma onda

A amplitude  $A$  da onda corresponde ao máximo afastamento que as partículas da corda podem apresentar em relação à posição de equilíbrio.

O **comprimento de onda**, grandeza geralmente representada por  $\lambda$  (letra grega lambda), corresponde ao comprimento de uma onda completa. Ele pode ainda ser medido pela distância entre uma crista e a vizinha, ou então, pela distância entre um vale e o vizinho.



Crédito: [Silva,2015]

$$V = \lambda \cdot f$$

$V$  = velocidade da onda  $\left[ \frac{m}{s} \right]$

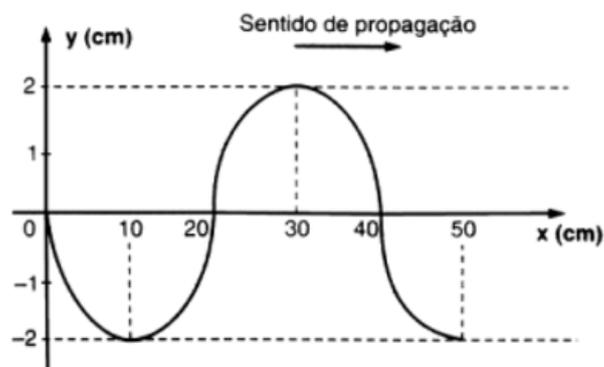
$f = \frac{1}{T}$   $T$  = período [s]

$\lambda$  = comprimento de onda [m, cm, etc.]

$f$  = frequência [Hz]

**Exemplo:** Crédito:[Tavares,2014]

(UFSE) Uma onda estabelecida numa corda oscila com frequência de 50Hz. O gráfico mostra a corda num certo instante:



Assinale as afirmações abaixo sobre esse fenômeno, dando a soma dos números correspondentes às alternativas corretas:

- 00) A amplitude da oscilação é de 4cm.
- 11) O comprimento da onda mede 40cm.
- 22) O período de oscilação é de 50s.
- 33) A velocidade de propagação é de 20m/s.
- 44) Essa propagação ondulatória é transversal.

Tabela 3: Nota de aula para auxiliar no ensino-aprendizado das características de uma onda: velocidade, comprimento de onda, frequência e amplitude.

Após distribuir a nota de aula da tabela o professor projeta os slides, explicando cada um com o auxílio da nota de aula. Os slides usados serão colocados em tabelas e explicados um a um. O primeiro slide está na tabela 4 que segue.

# Fenômenos Ondulatórios

Tabela 4: Slide que introduz o tema a ser tratado.

O primeiro slide apenas dá ao aluno uma ideia de qual assunto será tratado nas aulas que seguem.

*Há dois tipos de ondas.*

As ondas **Mecânicas** e **Eletromagnéticas**.

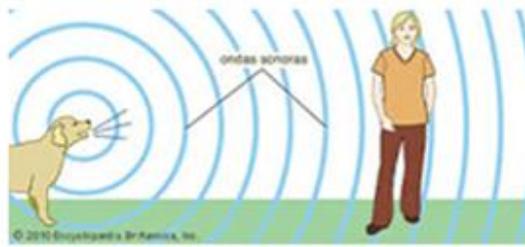
**Ondas Mecânicas** se propagam apenas em meios materiais, por exemplo ar, água, um fio, enfim tudo que é material.

**Ondas Eletromagnéticas** se propagam no vácuo (não material) ou em meios materiais.

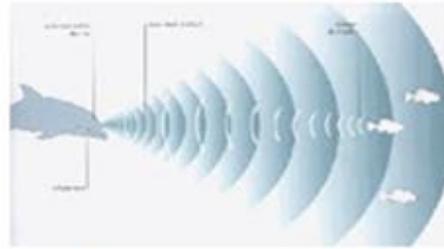
Tabela 5: Slide que apresenta as ondas mecânicas e eletromagnéticas.

Neste slide o professor apresenta e define as ondas mecânicas e eletromagnéticas.

## Exemplos de ondas Mecânicas e Eletromagnéticas

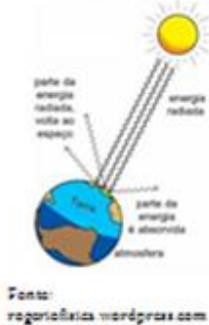


Fonte: [www.escola.britanica.com.br](http://www.escola.britanica.com.br)



Fonte: [www.educamor.net](http://www.educamor.net)

## Ondas sonoras (mecânicas) se propagando no ar e na água



Fonte: [rogoriofisica.wordpress.com](http://rogoriofisica.wordpress.com)



Fonte: [wikipedia.org](http://wikipedia.org)

As ondas eletromagnéticas de luz solar atravessam o vácuo e chegam até a Terra. A Voyager 1 lançada a cerca de 37 anos envia informações a Terra até hoje através de transmissões de ondas eletromagnéticas.

Tabela 6: Exemplos de ondas mecânicas e eletromagnéticas.

O professor mostra como as ondas mecânicas geram o som como ilustra a imagem de um cachorro latindo e como a onda chega até o ouvido que interpreta este som por percepção de diferença de pressão. Outro exemplo apresentado é o sonar usado por golfinhos para identificar animais ou objetos a sua frente. Os dois exemplos de ondas eletromagnéticas são a luz solar que atravessa o vácuo e chega até a Terra e as informações enviadas pela Voyager 1 que está a mais de seis bilhões de quilômetros da Terra e envia ondas eletromagnéticas que chegam até nós. Geralmente os alunos também tiram foto deste slide. No ensino regular, cada turma tem seu e-mail e recebe a apresentação antes ou depois da aula.

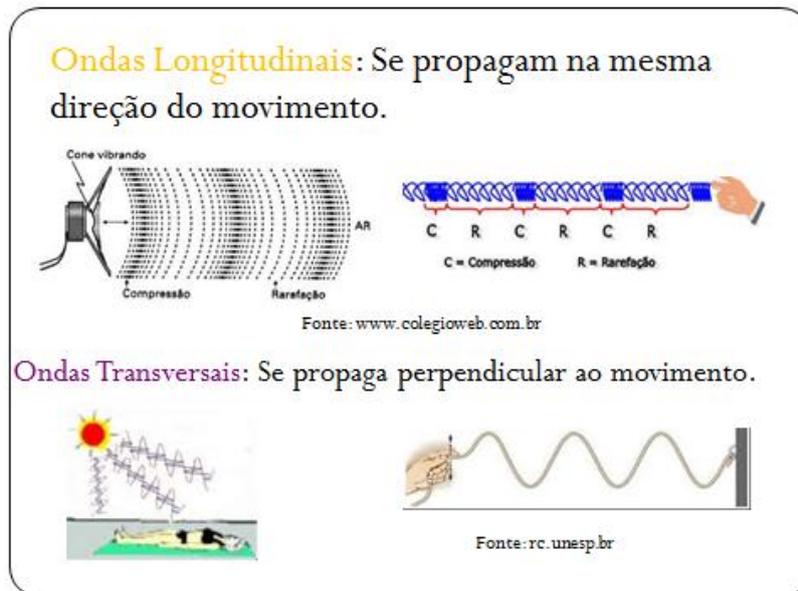


Tabela 7: Slide que diferencia ondas longitudinais e transversais.

O professor define ondas longitudinais e transversais com o auxílio da corda e da mola usada no experimento e usa os exemplos do alto-falante e da luz solar como exemplos de ondas longitudinais e transversais, respectivamente. O professor ainda coloca a mola próximo a sua boca e começa a falar dando pulsos nela, para deixar claro que as ondas sonoras são longitudinais. Neste momento o professor rapidamente fala sobre a dualidade onda partícula, dizendo que a Física não pode comprovar ainda se a luz é uma onda como a descrita, ou uma partícula.

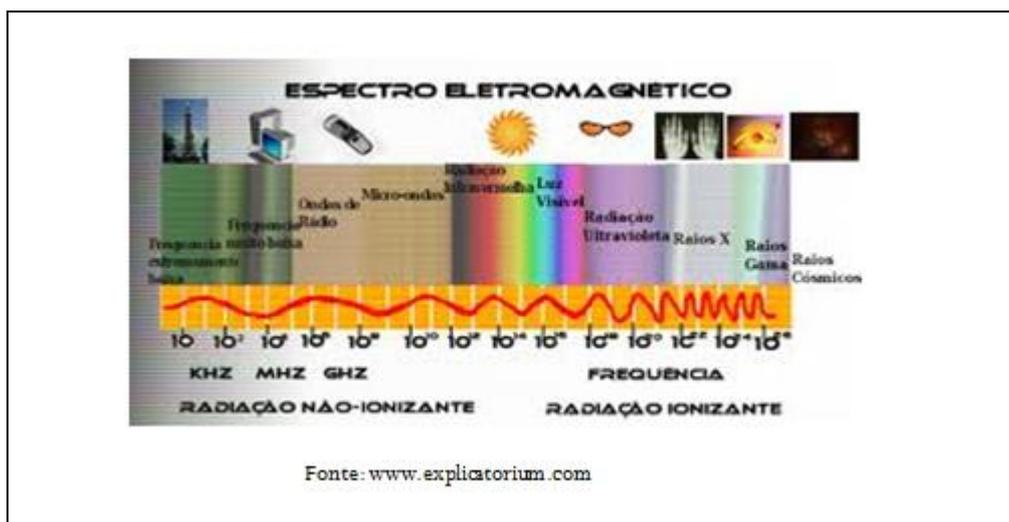


Tabela 8: Slide com o espectro eletromagnético, suas frequências e comprimentos de onda.

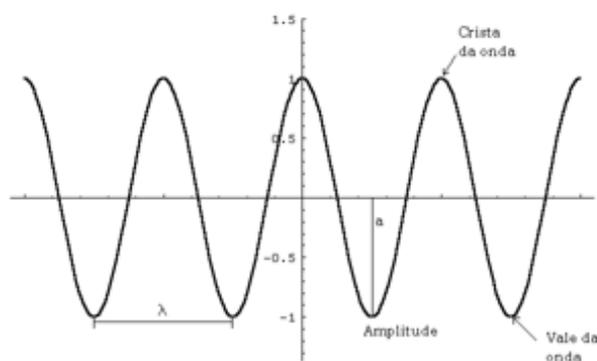
Neste slide o professor apresenta os diferentes tipos de ondas eletromagnéticas como as de rádio, wifi, telefone celular, solar, raio-x, raios

gama e raios cósmicos. Neste momento o professor relembra a primeira pergunta do questionário de concepções prévias (Liste lugares, situações, tecnologias, entre outros, onde você já tenha visto algo ligado à onda ou ondas) e mostra como o que a maioria das pessoas achava sobre ondas estava dentro das concepções científicas, até as ondas do mar são ondas, relembra o professor (a maioria das citações foi envolvendo onda do mar). Como ainda não foi definido o que é frequência e comprimento de onda o professor apenas mostra como as ondas mais “juntas” (menor comprimento de onda) estão concentradas do lado direito da figura e têm maior frequência e as mais “separadas” (maior comprimento de onda) estão do lado esquerdo. A corda usada no experimento é usada para mostrar que como no experimento, quando se dá mais pulsos a frequência é maior. Sendo assim as frequências maiores tem capacidade de ionizar onde passam gerando cargas positivas ou negativas, definindo assim o que é ionização. Um exemplo usado é a ionização de tecidos humanos que pode levar ao mal funcionamento de um órgão, ao câncer e até a morte.

### Características de uma onda

A amplitude  $A$  da onda corresponde ao máximo afastamento que as partículas da corda podem apresentar em relação à posição de equilíbrio.

O **comprimento de onda**, grandeza geralmente representada por  $\lambda$  (letra grega lambda), corresponde ao comprimento de uma onda completa. Ele pode ainda ser medido pela distância entre uma crista e a vizinha, ou então, pela distância entre um vale e o vizinho.



Crédito: [Silva,2015]

$$V = \lambda \cdot f$$

$V$  = velocidade da onda  $\left[ \frac{m}{s} \right]$

$$f = \frac{1}{T} \quad T = \text{período [s]}$$

$\lambda$  = comprimento de onda [m, cm, etc.]

$f$  = frequência [Hz]

Tabela 9: Slide que define velocidade, comprimento, amplitude e frequência de onda.

Neste slide está a projeção da primeira parte da nota de aula onde se define comprimento de onda, amplitude, velocidade de propagação, frequência de uma onda e período. Usando a lousa nas duas modalidades de ensino, é feita uma reprodução da figura e apresentado o que é comprimento de onda e amplitude. A frequência e a amplitude de onda são explicadas com o auxílio da mola e da corda. É feita uma relação entre a onda longitudinal e transversal que está na figura que segue:

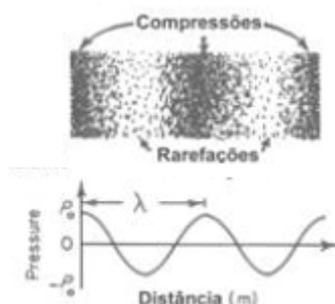


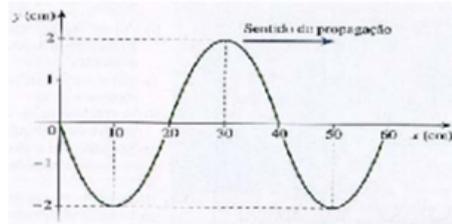
Figura 1: Relação entre onda longitudinal e transversal

O professor desenhou uma representação parecida com a da figura 5 e mostrou que os vales ou picos da função seno são respectivamente, rarefações máximas e compressões máximas das ondas sonoras.

O professor resolve na lousa o exemplo. Pergunta aos alunos qual a amplitude, a maioria dos alunos responde 2 cm, sendo que na EJA geralmente apenas um ou dois alunos respondem. Os alunos da EJA vêm de uma vida escolar onde o fracasso escolar foi uma constante e isso os constrange a interagir com os professores quando questionados. Sendo assim a opção 00) está errada. Novamente a validade da opção 11) é testada, após perguntar aos alunos o que acham, o professor mostra que a distância entre os vales é de 40 cm, portanto o comprimento de onda de fato vale 40 cm. O item 11) está certo. Assim são testados cada item ou opção até se chegar a conclusão de que os itens 11), 33) e 44) são verdadeiras. Somando os itens como propõe a questão, chega-se a  $11+33+44=88$ . Deve haver um sinal de certo ( ✓ ) nos itens 11), 33) e 44) e um sinal de errado (X) nos itens 00) e 22). Contendo a somatória das questões certas no final.

**Exemplo:**

(UFSE) Uma onda estabelecida numa corda oscila com frequência de 50Hz. O gráfico mostra a corda num certo instante:



Assinale as afirmações abaixo sobre esse fenômeno, dando a soma dos números correspondentes às alternativas corretas:

- 00) A amplitude da oscilação é de 4cm.
- 11) O comprimento da onda mede 40cm.
- 22) O período de oscilação é de 50s.
- 33) A velocidade de propagação é de 20m/s.
- 44) Essa propagação ondulatória é transversal.

Tabela 10: Este slide traz a outra parte da nota de aula, onde há um exemplo de como identificar as grandezas já discutidas. Nas duas modalidades foi usada apenas uma aula para expor os slides com o auxílio da nota de aula. Como a EJA acaba o experimento mais rapidamente, o professor começava os slides na mesma aula da experimentação, era necessário retomar os slides em outra aula, ou seja, era como se fosse usada meia aula para a metade dos slides e meia aula para a outra metade. Geralmente parava-se no slide da tabela 8, onde ainda não se iniciou o conteúdo da nota de aula.

Na outra aula os dois últimos slides eram retomados e os alunos faziam os exercícios que seguem. No caso da EJA não era necessário retomar, já que os alunos estavam vendo os dois últimos slides e, portanto, a nota de aula toda com o seu exemplo. A lista de exercícios era entregue aos alunos.

Crédito: [Tavares,2014]

1. Um roteador wireless emite ondas eletromagnéticas com frequência de 5,0 GHz ( $G=10^9$ ). Sabe-se que a velocidade de propagação desta onda, no ar, é igual à velocidade da luz no vácuo ( $c = 3 \cdot 10^8$  m/s). Calcule o valor do comprimento de onda  $\lambda$ , em metros, para essa onda.

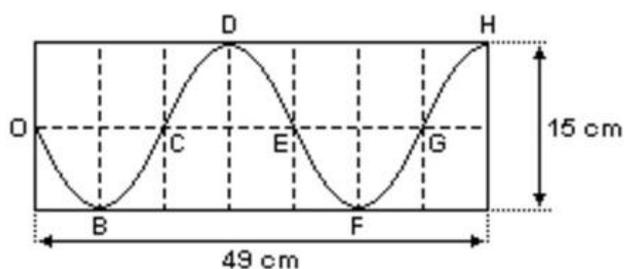
Tabela 11: Primeiro exercício que discute a relação entre velocidade, comprimento e frequência de uma onda.

No ensino regular os alunos tiveram dificuldade em entender que o G de GHz significava ter que escrever  $5 \cdot 10^9$  Hz, fora isso os alunos conseguiram substituir

os valores na relação  $V=\lambda.f$  e obtiveram o comprimento de onda. Alguns alunos apenas confirmaram se na divisão os expoentes eram subtraídos e alguns outros se  $\lambda$  representava comprimento de onda.

Na EJA os alunos tiveram a mesma dificuldade em associar G com  $10^9$  e não se lembravam mais como operar com potência de base dez, foi necessário escrever por extenso 5000000000 Hz e 300000000 m/s para que eles substituíssem na relação e obtivessem o comprimento de onda. Seria melhor ter usado um exercício sem potência de base dez na EJA.

2. (UFRJ) O gráfico a seguir registra um trecho de uma corda esticada, onde foi gerada uma onda progressiva, por um menino que vibra sua extremidade com um período de 0,40 s.



A partir do gráfico, obtenha as seguintes informações:

- amplitude e comprimento de onda;
- frequência e velocidade de propagação. Crédito: [Tavares,2014]

Tabela 12: Segundo exercício, cobra as relações do exercício 1 agora em um gráfico, além de cobrar o conceito de período e amplitude.

A dificuldade em ambas modalidades de ensino foi entender que era necessário dividir 49 cm em 7 partes para determinar o comprimento de onda. Com a intervenção do professor fazendo isso, foi possível realizar o exercício. Alguns alunos da EJA tiveram dificuldade em relacionar período e frequência para responder o item b.

3. Um trem de ondas propaga-se ao longo de uma corda tensa. A figura a seguir representa a corda com frequência de 0,25 Hz. Determine, o comprimento de onda e a velocidade de propagação:

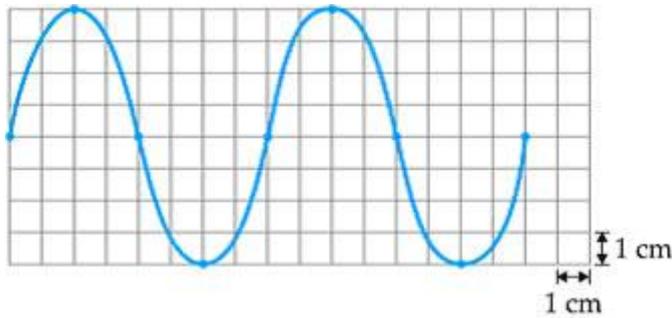


Tabela13: O exercício 3 cobra o que já fora feito nos dois primeiros exercícios. Trata-se de uma repetição para fixar os conceitos.

Não houve maiores dificuldades para resolver este exercício, na EJA foi necessário explicar que cada quadrado tem lado 1 cm para alguns alunos. Os alunos da EJA demoraram um tempo maior para fazer os exercícios do que o ensino regular. A avaliação foi feita levando em conta o fato do aluno ter feito os exercícios.

#### 1.4 Passo 4 – Apresentação musical e Jogo musical

Segundo Moreira(2012) o passo 4 constitui apresentar o que vai ser aprendido. Como uma apresentação musical e um jogo apresentam com os instrumentos e cantores todos os assuntos do objetivo da sequência de aulas, então neste caso os alunos veem tudo que vão aprender e parte do que já aprenderam no passo 3. Relembrando que o objetivo da sequência didática é tratar de: Velocidade de propagação; Comprimento de onda; Frequência; Ondas longitudinais e transversais; Ondas eletromagnéticas e Mecânicas Atributos do som – Timbre, Altura e Intensidade; Ondas estacionárias – Harmônicos, Oscilação em cordas e tubos, Nós, Ventres e Frequência fundamental.

A apresentação musical retoma os conceitos de Velocidade, comprimento e frequência de ondas. Retoma as ideias de ondas longitudinais, transversais, eletromagnéticas, mecânicas e introduz a ideia de timbre, altura e intensidade. As ondas estacionárias são tratadas a nível introdutório. O jogo musical dá ênfase a percepção de timbre, altura e intensidade. Portanto, ao mesmo tempo

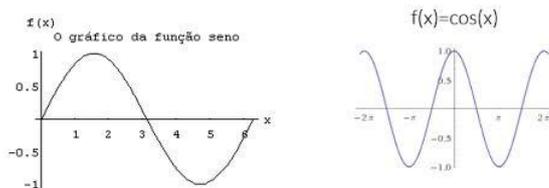
que apresenta o que vai ser aprendido, o passo 4 também introduz novos conceitos.

O autor deste trabalho toca violino e fez uma apresentação musical com o intuito de apresentar todos os conceitos que seriam aprendidos, visitar conceitos já discutidos e introduzir novos conceitos. Para fazer isso o professor distribuiu a nota de aula que consta da tabela 14. Além de usar uma apresentação de slides para auxiliar na discussão.

### Atributos dos sons musicais

Segundo Roederer elementos de todas as culturas confirmam que há três sensações primárias associadas a um determinado som musical: altura, intensidade e timbre. [Roederer,2002]

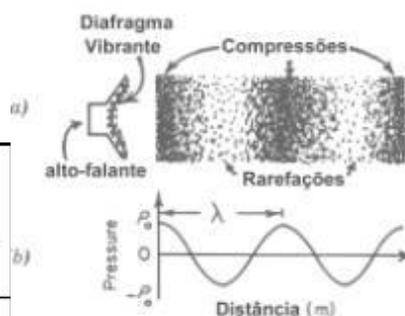
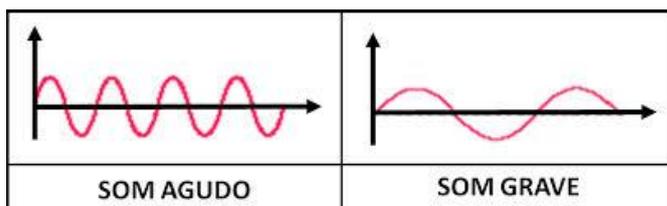
As ondas sonoras podem ser representadas por funções seno e cosseno. O primeiro trabalho completo associando estas funções a ondas, foi feito por Jean Baptiste Fourier, segundo Ricieri. [Ricieri,2013]



Função  $\text{sen}(x)$

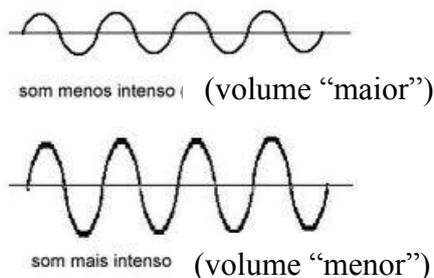
Função  $\text{cos}(x)$

A **altura** é normalmente relacionada a **graves** e **agudos**. A **frequência** caracteriza um som grave ou agudo.



(Ondas sonoras são longitudinais e aqui são representados por ondas transversais, por motivos didáticos.)

O **volume** de um som musical é a **intensidade** sonora. A **amplitude** de uma onda sonora define o volume ou intensidade deste som.



O **timbre**, é o que nos permite distinguir os sons de **diferentes instrumentos**, mesmo que eles tenham a mesma altura e a mesma intensidade.



Tabela 14: Nota de aula que auxilia na apresentação musical

Após distribuir a nota de aula o professor abre sua apresentação. Antes de começar, afina o violino mostrando que o afinador (frequencímetro) capta as ondas sonoras de cada corda e mostra se aquela corda está com a frequência correta ou não. Apertando as cordas ou soltando as mesmas o professor mostra como o aparelho capta através de um colimador a onda sonora, exibindo a nota da corda e verificando se a corda está afinada para o músico. O equipamento é mostrado nas figuras que seguem:

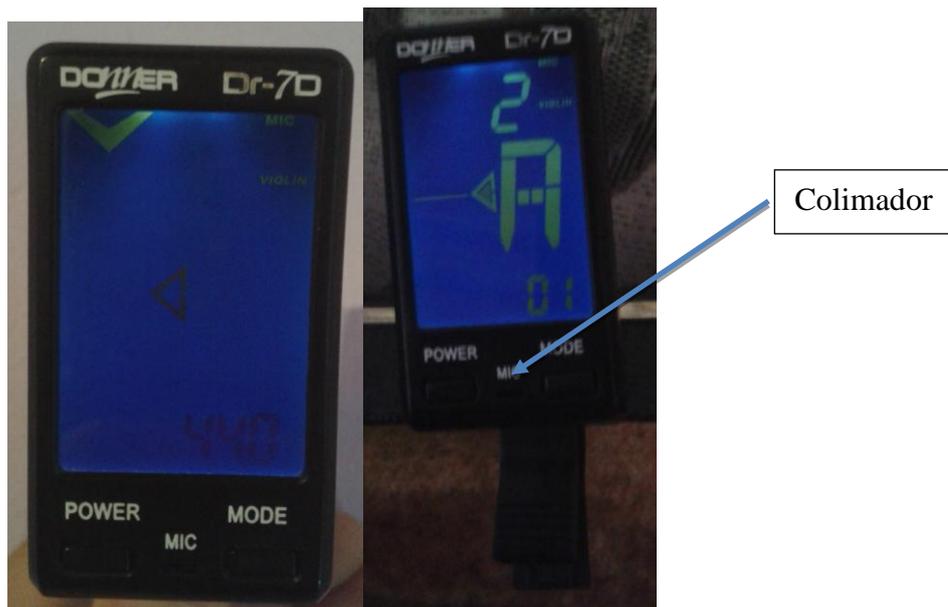


Figura 2: Afinador eletrônico ou frequencímetro

Note que o afinador está calibrado para que a corda lá do violino tenha 440 Hz na foto da esquerda. Na foto da direita a letra A representa a captação da frequência do lá (440Hz). O triângulo ao lado da letra A mostra que a corda está afinada e o número 2 mostra que no violino, a corda lá é a segunda corda do instrumento. O equipamento é capaz de verificar a afinação de todas as cordas do violino.

Com o instrumento afinado, o professor apresenta o primeiro slide, presente na tabela 15.

### Temas da sequência de aula

Velocidade de propagação;  
Comprimento de onda; Frequência;  
Ondas longitudinais e transversais;  
Ondas eletromagnéticas e Mecânicas  
Atributos do som – Timbre, Altura e  
Intensidade; Ondas estacionárias –  
Harmônicos, Oscilação em cordas e  
tubos, Nós, Ventres e Frequência  
fundamental.

Tabela 15: Slide que mostra o que será discutido na sequência de aulas

O professor explica que a sequência de aulas pretende discutir os tópicos ali mostrados. Lembra que os tópicos Velocidade de propagação; comprimento de onda; frequência; ondas longitudinais e transversais; ondas eletromagnéticas e mecânicas, já foram introduzidos em aulas anteriores. Restando entender Atributos do som – Timbre, altura e intensidade; Ondas estacionárias – Harmônicos, Oscilação em cordas e tubos, nós, ventres e frequência fundamental. O professor salienta que em um instrumento como o violino que ele segura estão quase todos os tópicos que ainda serão abordados, menos o de oscilação em tubos.

O professor mostra a frequência da corda mi tocando a mesma e escrevendo sua frequência na lousa (660 Hz), realiza o mesmo procedimento para a corda lá (440Hz), ré (294 Hz) e sol (196 Hz). O professor mostra que quanto maior a frequência mais “fino”(retomando o questionário de concepções prévias) está o som, ou seja, mais agudo é o som. E quanto mais “grosso” está o som, menor a frequência, ou seja, som grave. O professor vai para o segundo slide, que é o começo da nota de aula. Este slide está na tabela 16.

### Atributos dos sons musicais

Elementos de todas as culturas confirmam que há três sensações primárias associadas a um determinado som musical: altura, intensidade e timbre.

As ondas sonoras podem ser representadas por funções seno e cosseno. O primeiro trabalho completo associando estas funções a ondas, foi feito por Jean Baptiste Fourier.

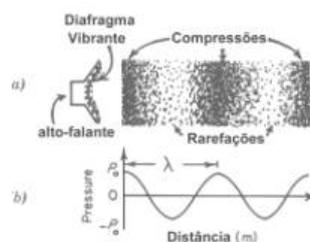
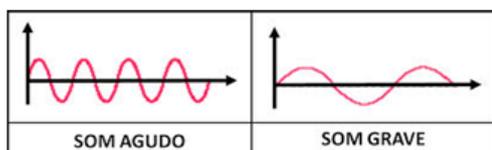


Tabela 16: Início da nota de aula que trata do assunto: Atributos dos sons musicais.

O professor lê o conteúdo do slide e mostra que o que acabou de ser demonstrado se chama altura, ou seja, grave e agudo são na verdade altura e que intensidade sonora na verdade é o que é chamado de altura no cotidiano.

O professor toca a música de Lowell Mason, uma música de domínio público que ficou famosa no filme Titanic com o apelido de música para afundar. No filme está é a última música executada por músicos clássicos, enquanto o navio afunda. Além disso esta música é usada em hinários, cantores e harpas de diferentes instituições religiosas. Com isso geralmente a maioria dos alunos conhece a melodia, o que facilita o entendimento do que será tratado. O professor toca a música usando as cordas mi e lá o que dá a música um som mais agudo. O professor desenha ondas transversais na lousa usando a função seno, com comprimentos de onda pequenos, para mostrar como se representa um som agudo. Neste momento o professor passa o próximo slide que está na tabela 17, trata-se de parte da nota de aula da tabela 14.

A **altura** é normalmente relacionada a **graves** e **agudos**. A **frequência** caracteriza um som grave ou agudo.



*(Ondas sonoras são longitudinais e aqui são representados por ondas transversais, por motivos didáticos.)*

Tabela 17: Relação entre ondas longitudinais e transversais, ideia de grave e agudo (altura), associado a frequência.

O professor mostra usando a figura do lado direito (que está na nota de aula na mão do aluno) que as compressões das ondas longitudinais são os picos da função cosseno e os vales as rarefações. O docente retoma a apresentação e toca a mesma música agora com as cordas lá e ré. É nítido que a mesma música agora está mais grave. Sem perder tempo o docente deixa a música ainda mais grave tocando a mesma música usando as cordas ré e sol. O docente então desenha uma função seno na lousa, com comprimentos de onda maiores. A próxima figura mostra como fica a lousa neste caso. O professor explica que como na nota de aula a representação de grave e agudo não tem unidade de medida em seus respectivos gráficos, pode-se adotar que a unidade de medida pode ser o metro pertencente ao Sistema Internacional de Medida (SI), ocorre que ao buscar figuras para representar isso, não encontrou nenhuma que tivesse unidade de medida em sua representação e a tentativa de coloca-las falhou devido a dificuldades técnicas.



Figura 3: O professor tocando violino. Note a representação de grave e agudo na lousa além da frequência das cordas do violino.

O professor toca de novo a música mais aguda (nas cordas mi e lá) e mostra o gráfico da parte de baixo da lousa mostrando ser está a representação para som agudo. Toca a música de novo, agora grave (nas cordas ré e sol), e mostra o gráfico da parte de cima da lousa como representação deste som. O professor deixa claro que as ondas estarem mais juntas e mais separadas, ou seja, com comprimento de onda menor ou maior modifica a frequência gerando grave e agudo.

O próximo slide é acionado e está na tabela 18. Este slide mostra as cores de lâmpadas e seus comprimentos de onda. Além de retomar o assunto ligado a grave e agudo.

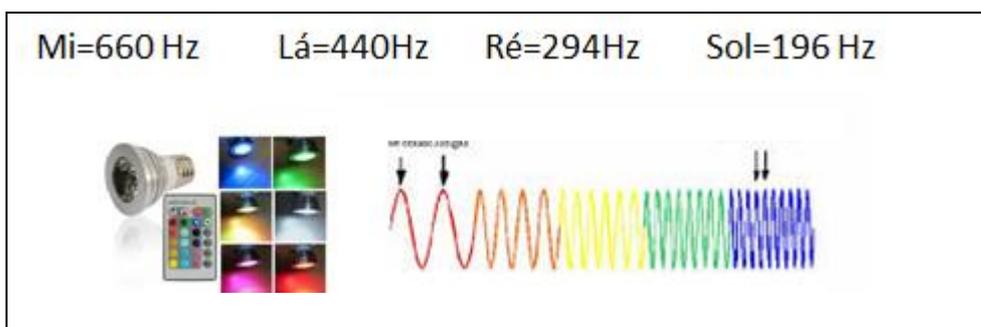


Tabela 18: Comprimento de onda em ondas eletromagnéticas

O docente questiona os alunos sobre qual frequência das cordas é mais grave e mais aguda. No ensino regular as respostas são em coral e como já mencionado, na EJA a resposta vem de um ou dois alunos. O aluno da EJA em geral vem de uma realidade de insucesso escolar, talvez por isso tenha medo de responder a perguntas em aula. O docente mostra que para ondas eletromagnéticas os campos elétricos e magnéticos interagem de maneira a formar ondas e que este conceito será melhor trabalhado no terceiro ano que é destinado a Eletricidade e Eletromagnetismo. Estas ondas quando têm comprimento de onda menor (estão mais juntas) tendem a cor azul e quando têm comprimento de onda mais espaçado (mais separados) tendem a cor vermelha. Sendo assim a frequência da onda determina a cor que se enxerga em lâmpadas. Como o assunto de reflexão difusa é tratado no próximo tópico que é Óptica, o exemplo é feito apenas com lâmpadas.

O próximo slide está na tabela 19 e mostra novamente o espectro eletromagnético para que agora com um entendimento um pouco melhor, o aluno possa compreendê-lo.

## Espectro eletromagnético

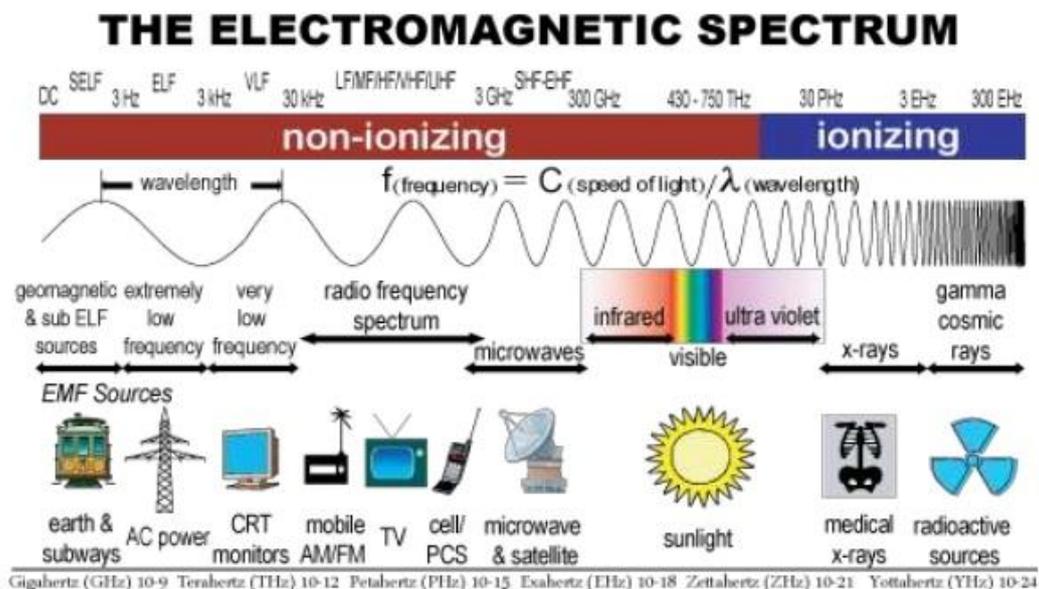


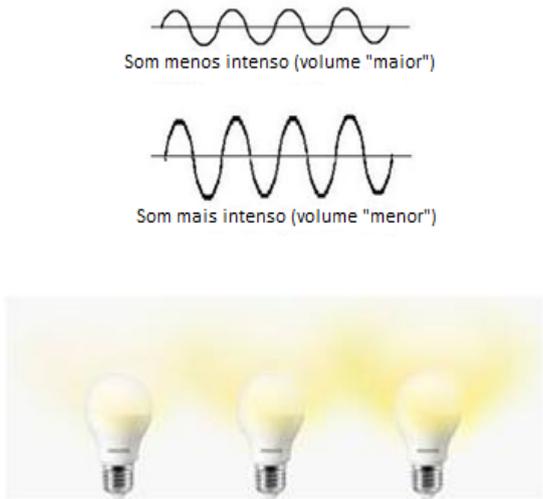
Tabela 19: Espectro eletromagnético, com a representação de seus comprimentos de onda

O fato de o slide estar em inglês se deve a um trabalho interdisciplinar em que a professora de inglês pede a seus colegas que façam uso da língua inglesa para que os alunos tenham ideia da sua importância nas ciências humanistas, biológicas e exatas.

O professor mostra as diferentes frequências e suas aplicações. A repetição de figuras e gráficos no fundo tem um objetivo único: o aluno precisa compreender que ondas mais “unidas” têm frequência maior e menor comprimento de onda e que ondas mais “separadas” têm menor frequência e maior comprimento de onda.

Retomando a apresentação o professor toca a música de Johannes Brahms que tem como nome original *Guten Abend, gute Nacht*, que fora feita em ocasião do nascimento da filha de uma amiga de Brahms, mas que hoje é conhecida como *Canção de ninar*. A música foi escolhida por ser sempre tocada com intensidade sonora menor para relaxar e fazer dormir. O professor primeiro toca com intensidade sonora menor e depois maior. Ao mesmo tempo passa o slide da tabela 20, para mostrar a relação entre intensidade sonora e amplitude. Parte do slide está na nota de aula do aluno, especificamente as figuras representando amplitude e sua relação com o volume ou intensidade sonora.

O **volume** de um som musical é a **intensidade** sonora. A **amplitude** de uma onda sonora define o volume ou intensidade deste som.



Som menos intenso (volume "maior")

Som mais intenso (volume "menor")

Tabela 20: Relação entre intensidade sonora e amplitude de onda, relação entre intensidade luminosa e intensidade de fótons.

Com o auxílio da nota de aula e do slide o docente mostra como a amplitude da onda representa o som com maior ou menor amplitude. Exatamente como fora

tocado, com intensidade sonora menor e maior. O professor lê o que está escrito no slide para deixar claro que intensidade sonora está ligado ao volume e é representado pela amplitude da onda.

As lâmpadas são para mostrar intensidade luminosa. O docente explica que a primeira lâmpada do lado esquerdo tem menos brilho, ou seja, menor intensidade luminosa, a da direita tem maior brilho e, portanto, maior intensidade luminosa. A intensidade luminosa depende do número de fótons que são pacotes de energia gerados pela lâmpada. Neste momento o professor mostra de novo a dualidade onda partícula, já que para entender as cores da luz se lança mão de uma teoria ondulatória e para explicara intensidade luminosa, usa-se uma natureza corpuscular da luz.

O professor agora toca o Minueto de Luigi Boccherini para mostrar o que é timbre. Como ao ouvir este minueto as pessoas costumam lembrar de violino, este minueto foi escolhido. Antes de tocar, o professor apresenta o slide da tabela 21.

O **timbre**, é o que nos permite distinguir os sons de **diferentes instrumentos**, mesmo que eles tenham a mesma altura e a mesma intensidade.



O diagrama ilustra a definição de timbre através de três exemplos. No topo, três ondas sonoras são mostradas: a primeira, rotulada 'diapasão', é uma onda senoidal regular; a segunda, rotulada 'clanneta', é uma onda complexa com múltiplas frequências; a terceira, rotulada 'trompete', é uma onda ainda mais complexa. Abaixo das ondas, há imagens dos instrumentos correspondentes: três diapásios (um em um suporte de madeira e dois outros), uma clanneta e uma trompete.

Tabela 21: Definição de timbre e timbre característico de cada instrumento

O docente mostra que cada instrumento tem suas ondas representadas de maneira diferente e que as ondas mostradas até agora eram de um diapasão, dispositivos a esquerda do slide que é usado para afinar instrumentos musicais.

Define timbre e mostra que é como uma assinatura que identifica o instrumento. O professor toca o minueto e define timbre como uma somatória de ondas sonoras diferentes (os harmônicos são tratados em outra aula).

Ao final da aula o professor lembra das questões de concepções prévias, e pergunta o que diferencia o sussurro de um grito. A maioria dos alunos associa a volume ou intensidade sonora no ensino regular, o aluno que responde na EJA costuma responder volume. Mais uma questão é retomada do questionário de concepções prévias: Como é possível diferenciar a voz de uma pessoa da outra? Os alunos respondem timbre. Como última provocação o professor ainda retoma o questionário e pergunta: O que diferencia uma voz grave e uma aguda? As respostas costumam se dividir em ondas mais juntas e mais separadas e diferença de frequência.

Na aula seguinte o professor traz em seu pen drive vídeos do Youtube para apresentar alguns cantores ou conjuntos musicais e instrumentos musicais que serão usados em um jogo musical onde os alunos terão que classificar intensidade, altura e timbre. O professor previamente havia feito em aulas anteriores uma pesquisa informal de quais cantores os alunos costumam escutar, além de ter a lista de cantores apontadas por eles como graves e agudos nas questões de concepções prévias. A lista de cantores, conjuntos musicais e instrumentos, além das músicas que foram usadas são as que seguem na tabela 22. Usando estas palavras chave no Youtube, pode-se obter estes vídeos. As músicas não foram necessariamente mostradas na sequência da tabela 22. Durante a exibição dos vídeos era falado o nome do cantor, do conjunto ou do instrumento. O docente deixava claro que isso era o timbre e que assim seria classificado timbre no jogo que seria feito na outra aula, ou seja, o nome do grupo musical, do artista (cantor ou cantora) ou o nome do instrumento musical. Na outra aula, dizia o professor, não haverá imagem, mas apenas som. O docente variou a intensidade sonora significativamente para alguns vídeos para mostrar que os alunos na outra aula deveriam classificar a intensidade em maior e menor. E os artistas ou conjuntos classificados pelo

professor como graves foram: Ana Carolina, O Rappa, MC Guime, Seu Jorge e Tim Maia. Os classificados como agudo: Adele, Anitta, Beyonce, Christina Perri, Rihanna, Katy Perry, Lady Gaga, Mariah Carey, Selena Gomez, Shakira e ValeskaPopozuda.

Os instrumentos não tinham classificação de altura, já que ficaria difícil classificar a altura dos instrumentos.

**Adele:** Skyfall

**Órgão (instrumento):** Alencar Santos, buscar por este nome seguido de marcha nupcial.

**Ana Carolina:** Quem de nós dois e Anjos pra quem tem fé

**Anitta:** Zen

**O Rappa (conjunto musical):** Auto reverse

**Violoncello:** Bach, cellosuite

**Beyonce:** Irrepleaceable

**Clarinete:** Carlos no clarinete (Fascinação)

**Christina Perri:** A Thousand Years

**Marimba (instrumento):** Cold play, viva la vida on marimba

**Rihanna:** Diamonds

**Fagote (instrumento):** JWeissembergbassonEtude N° 15

**Katy Perry:** DarkHorse

**Kenny G- Saxofone:** The moment

**Lady Gaga:** Aplause

**Mariah Carey:** WeBelong e touchmybody

**MC Guime:** País do futebol

**Trombone:** Prelúdio TV Cultura Rômulo Pampa (cunhado do autor do presente trabalho)

**Selena Gomez:** Come get it

**Seu Jorge (cantor):** Amiga da minha mulher

**Shakira:** WakaWaka

**Oboé (instrumento):**Sinfonia da Cantata BWV156 de J S Bach (primo do autor da dissertação)

**Tim Maia:** Não quero dinheiro

**ValeskaPopozuda:** Beijinho no ombro

**Trompa (instrumento):** ViennaHorns Back tothe Future

Tabela 22: Cantores, conjuntos musicais e instrumentos usados no jogo musical

A EJA teve bom entendimento de que se tratava de uma proposta didática. Já o ensino regular ficou muito eufórico durante a apresentação das músicas e se não fosse a constante intervenção do professor para pedir menos euforia, a proposta pedagógica da apresentação das músicas teria sido prejudicada.

Na aula seguinte o professor deu a lista a ser preenchida por trios, classificando, altura, intensidade e timbre. A lista segue na tabela 23.

Atribuições do som musical		
Nomes: _____	Nº _____	Série: _____
1. Altura: _____	Intensidade: _____	Timbre: _____
2. Intensidade: _____	Timbre: _____	
3. Altura: _____	Intensidade: _____	Timbre: _____
4. Altura: _____	Intensidade: _____	Timbre: _____
5. Altura: _____	Intensidade: _____	Timbre: _____
6. Intensidade: _____	Timbre: _____	
7. Altura: _____	Intensidade: _____	Timbre: _____
8. Altura: _____	Intensidade: _____	Timbre: _____
9. Intensidade: _____	Timbre: _____	
10. Altura: _____	Intensidade: _____	Timbre: _____
11. Intensidade: _____	Timbre: _____	
12. Altura: _____	Intensidade: _____	Timbre: _____
13. Intensidade: _____	Timbre: _____	
14. Altura: _____	Intensidade: _____	Timbre: _____
15. Altura: _____	Intensidade: _____	Timbre: _____
16. Altura: _____	Intensidade: _____	Timbre: _____
17. Intensidade: _____	Timbre: _____	
18. Altura: _____	Intensidade: _____	Timbre: _____
19. Altura: _____	Intensidade: _____	Timbre: _____
20. Altura: _____	Intensidade: _____	Timbre: _____
21. Altura: _____	Intensidade: _____	Timbre: _____
22. Intensidade: _____	Timbre: _____	
23. Altura: _____	Intensidade: _____	Timbre: _____
24. Altura: _____	Intensidade: _____	Timbre: _____
25. Altura: _____	Intensidade: _____	Timbre: _____
26. Intensidade: _____	Timbre: _____	

Tabela 23: Lista do jogo musical para classificar altura, intensidade e timbre.

Note que na lista quando o professor coloca um áudio de um cantor(a) o aluno deve classificar sua Altura em grave ou agudo, sua intensidade em maior ou menor (o professor variava o volume do áudio de maneira significativa para que isso fosse perceptível aos alunos) e o timbre com o nome do conjunto ou cantor(a). No caso de instrumento musical o aluno classificava apenas a intensidade e o timbre. A lista da tabela 23 coincide com a sequência de

artistas da tabela 22, ou seja, o artista de timbre 5 é o conjunto O Rappa (quinto nome na tabela 22). Foi nesta sequência que o professor trabalhou, variando apenas o volume dos áudios, como o professor tinha anotado previamente quais áudio teriam seus volumes nas intensidades mínimas e máximas era assim que a lista era corrigida.

Para compreender melhor como se classificava cantores (as) e instrumentos tomemos como exemplo a cantora 1 da tabela 22 Adele, que será classificada na tabela 23 como: 1. Altura: Aguda, Intensidade: Maior (neste caso o docente deixou o volume no máximo) Timbre: Adele. No caso do último instrumento da tabela 22, a trompa. Será classificada como: 26. Intensidade: Menor, Timbre: Trompa. Note que na tabela 23, realmente só há os itens Intensidade e timbre, justamente porque o professor previamente fez as duas tabelas terem equivalência em classificação, deixando três itens (Altura, Intensidade e timbre) para Cantores(as) ou conjuntos e dois itens (Intensidade e timbre) para instrumentos musicais. Na aula seguinte após a correção, os melhores trios foram premiados com medalhas. A avaliação foi feita por quantidade de acertos na classificação.

### **1.5 Passo 5 – Construção de xilofone, proposta de tocar flautas e questionário**

Na aula seguinte em que se devolvendo as atividades do jogo musical foi iniciada a construção de um xilofone (instrumento feito com taças ou copos com água) com copos e a proposição de tocar flautas. Moreira [Moreira,2012] propõe que em seu passo 5 os conteúdos sejam retomados de maneira mais avançada. Como a construção do Xilofone e a proposta de tocar flauta cobra que o aluno tenha hipóteses de como estes instrumentos funcionam (o que será melhor detalhado no passo 6) e terá que usar todo o conhecimento discutido até agora para tentar chegar a conclusões, esta atividade foi considerada mais avançada. Tanto a ponto de ser a única constante do passo 5. A tabela 24 mostra o roteiro fornecido aos alunos, bem como os materiais utilizados.

### **Ruído e som musical**

Objetivo: Distinguir ruído de som musical

Material

- 5 copos;
- Flauta e
- Caneta.

Procedimentos

Coloque água em um copo de maneira que o nível de água esteja entre o primeiro e o segundo risco do copo. Coloque água nos demais copos até o quarto, quinto, sexto e sétimo riscos (até próximo da borda). Coloque os copos em ordem crescente de quantidade de água, ou seja, do que tem menos até o que tem mais água. Tente tocar alguma música batendo levemente a caneta na lateral de cada um dos copos e tente tocar alguma música com a flauta.

1. Você acredita que fez ruído ou som musical com os copos e com a flauta?

Agora numere os copos colocando um pedaço de papel embaixo deles. O copo que tem menos água deve ser o número 1 e assim sucessivamente até o copo 5 que contém mais água.

Pegue com o professor os papéis com as instruções que vão fazer com que você possa tocar músicas na flauta e uma música com os copos.

2. O que você fez foi ruído ou som musical?

3. O que diferencia ruído de som musical?

4. Como você supõe que funcione a flauta?

5. Qual a relação entre a quantidade de água nos copos e a obtenção de sons graves e agudos?

Tabela 24: Roteiro com as propostas de construção de um xilofone.

A figura 8 mostra o modelo de copo que fora usado para construção do xilofone.



Figura 4: Note os riscos horizontais que permitem verificar a quantidade de água Crédito: [Maia, 1996]

A marcado copo é Civ, modelo ideal. Estes copos foram adquiridos na região do Pari em São Paulo (capital).

As flautas precisam ter instruções de como tocar. A tabela 25 tem a numeração que deve ser colocada embaixo dos copos.

1	2	3	4	5
1	2	3	4	5
1	2	3	4	5

1	2	3	4	5
1	2	3	4	5

Tabela 25: Números a serem colocados embaixo dos copos

Os retângulos em branco acima dos números foram colocados embaixo dos copos para numerá-los. A grande quantidade de números se deve ao fato de molharem e como o experimento é feito no mesmo dia em mais de uma sala, é necessário ter bastante papéis.

Para realizar bem a tarefa o professor precisa ler o roteiro com os alunos e deixar claro qual a quantidade de água em cada copo. A atividade foi feita em grupo. Feito isso o professor passa de grupo em grupo para verificar e após dar um tempo para que os alunos tentem tocar o xilofone e a flauta, pede para que se responda à questão 1 e então distribui a instrução da tabela 26 para que seja possível tocar o xilofone, batendo com uma caneta na lateral do copo na sequência numérica.

<p>Canção de ninar</p> <p>553553531233454555455245413245345</p>
---

Tabela 26: Instruções para tocar a música Canção de ninar no xilofone

Seguindo a sequência numérica os alunos conseguiram tocar o início da canção de ninar. Os alunos da EJA demonstraram maior capacidade musical e muitos alunos responderam à questão 1 afirmando que conseguiram tocar músicas antes das instruções, como de fato foi verificado pelo professor. As instruções que vinham com a flauta de onde se devia colocar os dedos para obter músicas distintas também foi entregue aos alunos. Com isso foram respondidas as questões 2, 3, 4 e 5. A questão 1 tinha a resposta ruído com mais frequência. A questão 2 tinha mais respostas como som musical. Frequentemente a questão 3 foi respondida com uma associação de som “bom” para som musical e som “ruim” para ruído. A questão 4 ratificou o que era majoritário nas respostas de concepções espontâneas neste assunto, os alunos acreditam que soltar e colocar os dedos sobre os buracos da flauta gera sons diferentes. Em uma menor medida, alguns alunos associaram isso e diferença de frequência. A resposta a questão 5 foi quase unanime em afirmar que copos com menos água são mais agudos e copos com mais água são graves. A avaliação foi feita levando-se em conta a participação e ao devolver as questões, foi feita uma breve discussão sobre ruído e som musical. Esta atividade auxilia no passo 6 que discute o funcionamento de instrumentos musicais.

### **1.6 Passo 6 – Vídeo, exercícios e jogo.**

A característica do passo seis segundo Moreira [Moreira,2012] é abordar o tema de maneira mais integradora. Neste sentido este passo retoma os conceitos já discutidos e os usa para definir Interferência, Reflexão, Refração, Ressonância, Polarização e Difração. Além de dar uma ideia de como funcionam os instrumentos de sopro e de cordas através dos conceitos de Ondas estacionárias, harmônicos, oscilação em cordas e tubos, nós, ventres e frequência fundamental.

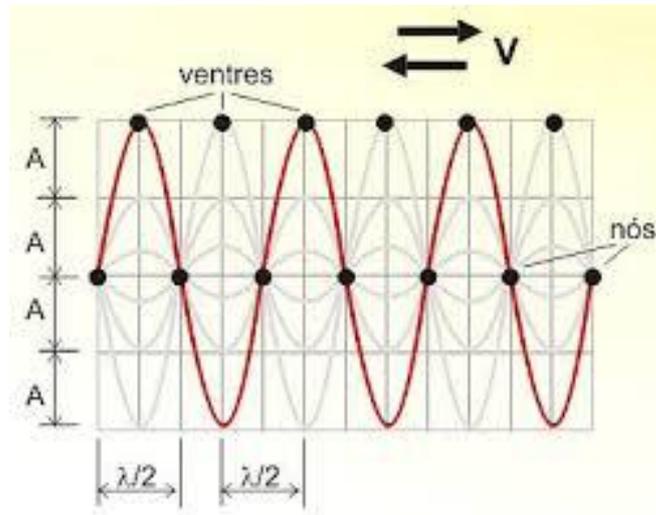
Na aula seguinte o professor inicia a aula com o vídeo disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=hdyAqBCVRtw>. Trata-se de um vídeo onde o músico André Rieu rege o bolero de Ravel. Esta música é caracterizada por ser tocada de maneira igual mudando apenas o instrumento que toca a música. Primeiro um tambor é tocado como fundo musical, depois um corne inglês (instrumento musical) acompanha o tambor, em seguida um sax reto toca a

mesma música, depois que o sax acaba a música um pífaro (tipo de flauta) assume a apresentação tocando a mesma música (o tambor não para), depois uma equipe de trombones de vara assume a apresentação, como o vídeo foi editado pelo professor, ele começa com o tambor iniciando a apresentação e termina com a equipe de trombones de vara (com uma trompa ao fundo). O professor apresenta cada instrumento assim que este entra em cena. Além de fazer isso ele ressalta que em caso de instrumentos de sopro a vibração feita pela palheta ou pela boca de quem toca gera o som e a abertura e fechamento de chaves para instrumentos que as têm, varia o tamanho do tubo gerando diferentes notas (diferentes frequências). O professor diz que isso na verdade é bastante complexo e que a ideia geral é que variando o tamanho do tubo através das saídas de ar e variando o tamanho de um instrumento de cordas com os dedos é possível variar a frequência e gerar notas diferentes. Esta aula foi montada em apresentação de slides com figuras do livro didático dos alunos do ensino regular, com o intuito de que pudessem acessar o livro depois para compreenderem melhor os conceitos, sendo assim este material não pode ser colocado nesta dissertação, já que para isso seria necessário pedir permissão ao autor do livro. Uma saída para a EJA foi deixar alguns exemplares na biblioteca caso algum aluno tivesse a curiosidade de rever o conteúdo. A tabela 27 mostra a nota de aula usada com estes slides para tratar do assunto.

### Ondas estacionárias

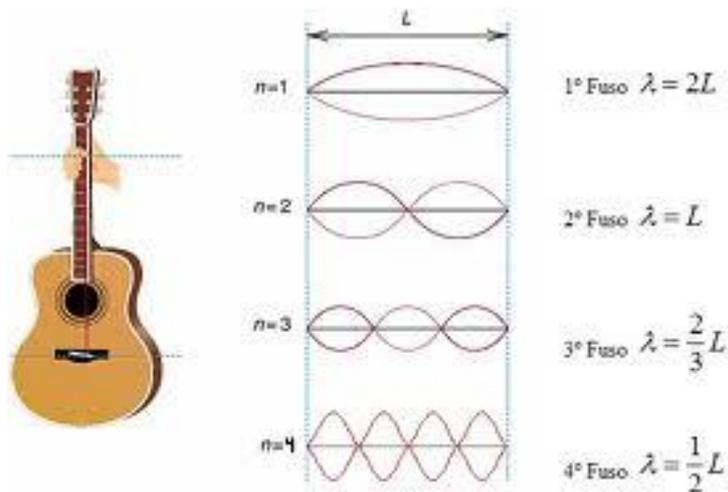
As ondas estacionárias em uma determinada corda podem se formar a diferentes frequências.

Em uma onda estacionária, a distância de nó ao nó vizinho ou de ventre a ventre vizinho, o comprimento de um fuso é igual a  $\frac{\lambda}{2}$ .



Crédito: [Braz,2015]

A frequência mais baixa, para a qual forma-se a onda estacionária mais simples, com um único fuso, é denominada frequência fundamental ou primeiro harmônico.



Relação entre o comprimento da corda e da onda Crédito: [Cavalcante,2015]

Tabela 27: Nota de aula que trata de ondas estacionárias, harmônicos, nós, ventres e frequência fundamental

Com a ajuda da nota de aula o professor define o que são nós e ventres. Mostra a formação do primeiro harmônico em uma corda e em um tubo aberto. Desenha na lousa o motivo do primeiro comprimento de onda ser igual a  $2L$ , e que esta frequência é a chamada fundamental. O segundo e o terceiro

harmônicos são apresentados, mostrando o caso de um tubo aberto e de uma corda. Sempre justificando na lousa, por qual motivo o comprimento de onda tem as frações do comprimento da corda ou do comprimento do tubo. Como estas explicações são apenas para que o aluno tenha uma noção de como funciona um instrumento musical e o professor a todo instante diz que o funcionamento de um instrumento é bem mais complexo do que as deduções ali apresentadas, o docente retoma a ideia dos nós e ventres que serão cobrados nos exercícios que seguem. O professor ainda define interferência e difração com o auxílio da nota de aula da tabela 28, que fica no verso da nota de aula da tabela 27.

### Difração

**Difração** é o nome dado à capacidade que uma onda apresenta de contornar obstáculos ou passar por fendas. (Definição de Nicolau [Nicolau,2010])

Apesar de todas as ondas poderem sofrer a difração, esta só é facilmente perceptível, quando o comprimento de onda e o tamanho do obstáculo, são da mesma ordem de grandeza. As ondas sonoras, por exemplo, apresentam grandes comprimentos de onda e podem contornar grandes obstáculos. Por esse motivo, você pode ouvir o som emitido por uma pessoa do outro lado de um muro, apesar de não poder vê-la.

No entanto, a difração da luz passa despercebida no dia a dia, pois ocorre apenas quando a luz passa por fendas muito estreitas ou quando contorna obstáculos minúsculos, isso porque o comprimento de onda da luz é muito pequeno.

### Interferência

pulsos de onda não sofreram a superposição

pulsos de ondas superpostos

pulsos de ondas após superposição

Interferência Construtiva

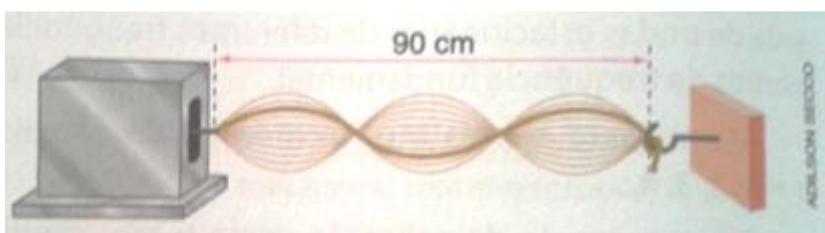
Interferência Destrutiva

Tabela 28: Difração e Interferência

Os alunos da EJA e do ensino regular fazem alguns exercícios conceituais sobre difração e interferência que não podem ser colocados aqui por fazerem parte do livro didático já mencionado.

Os exercícios da tabela 29 são feitos depois dos exercícios conceituais do livro.

1. Uma onda estacionária estabelece-se em uma corda de 50 cm fixa pelas extremidades. Incluindo-se as extremidades, observa-se, ao longo da corda, a formação de 6 regiões nodais. Determine o comprimento de onda das ondas progressivas que originaram a onda estacionária. Crédito: [Nicolau,2010]
2. Uma corda vibra em regime estacionário com nós separados por 25 cm. Sabendo que a fonte de ondas que gera o fenômeno opera com frequência de 50HZ, determine: crédito: [Nicolau,2010]
  - a) o comprimento de onda das ondas progressivas que deram origem à onda estacionária;
  - b) a velocidade de propagação das ondas na corda. [Nicolau,2010]
3. Uma fonte de ondas imprime vibrações transversais a uma corda de 90 cm fixa pelas extremidades. A velocidade de propagação das ondas na corda é de 18 m/s, e a corda vibra como mostradona figura abaixo.



Crédito: [Nicolau,2010] (Ilustração: Adilson Secco)

- a) Qual é a frequência das ondas progressivas que se propagam na corda?
- b) Com que frequência a fonte deveria operar para que na corda se estabelecessem apenas duas regiões ventrais?
- c) Represente a onda estacionária que se estabelece na corda se a fonte operar com frequência de 40HZ.

Tabela 29: Exercícios sobre nós, ventres, frequência, comprimento e velocidade de propagação de uma onda

Para resolver os exercícios 1 e 2 foi necessário no caso de alguns alunos, desenhar a situação para que eles compreendessem. No caso do exercício 3 no item c, foi necessário auxiliar os alunos a compreender o que se pedia. A EJA teve mais dificuldade para interpretar e resolver os exercícios. O exercício três acabou sendo resolvido quase que integralmente pelo professor na lousa. Seria melhor não usá-lo na EJA.

A avaliação foi feita corrigindo o caderno dos alunos e verificando seus erros, isso levou mais uma aula.

Na outra aula foi feita uma apresentação de slides definindo Interferência, Reflexão, Refração, Ressonância, Polarização e Difração. A tabela 30 mostra o título de Fenomenologia ondulatória a estes tópicos, os alunos receberam uma nota de aula com a definição de cada fenômeno (sem figuras) e uma lista de exercícios do ENEM. Neste primeiro slide a interferência é retomada.

## Fenomenologia ondulatória

**Interferência:** Quando uma onda interage com outra formando uma nova onda.

Interferência

The diagram illustrates wave interference. On the left, under 'Interferência Construtiva', it shows two pulses (1 and 2) moving towards each other, their superposition, and the resulting larger pulse. On the right, under 'Interferência Destrutiva', it shows two pulses (1 and 2) moving towards each other, their superposition, and the resulting flat line.

Tabela 30: Definição de Interferência

Para todos os slides que seguem, a prática foi a mesma. Definir o que é o fenômeno e dar um exemplo com figura. Verbalmente foram dados outros exemplos para melhor compreensão.



Tabela 31: Reflexão e Refração

Note que os exemplos de reflexão só tratam de reflexão regular. A ideia é que o aluno apenas associe reflexão a espelhos para poder identificar o fenômeno. Isso é feito, já que o assunto reflexão é retomado depois em Óptica, o tema que vem depois de Fenômenos ondulatórios. O assunto refração também é retomado em óptica, contando com experimentos inclusive. O professor dá ênfase na diminuição da velocidade da luz em meios diferentes, para explicar a alteração da posição de objetos em meios distintos. A tabela 32 continua a apresentação.

O slide da tabela 32 trata de difração e polarização trazendo duas figuras como exemplos onde estes fenômenos se manifestam.

**Difração:** Capacidade da onda em contornar obstáculos.



**Polarização:** Quando um filtro deixa passar apenas as características da onda que interessam ao observador.

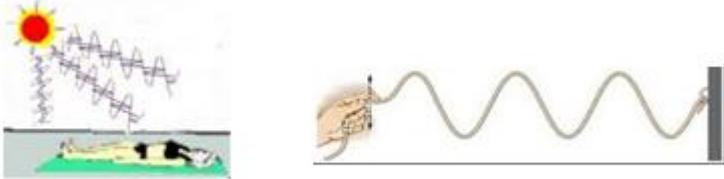


Tabela 32: Difração e polarização, definição e exemplos

O professor relembra a definição de difração que já havia sido definido em aula anterior, dá o exemplo da figura em que o latido do cachorro contorna o muro e chega ao ouvido do homem. A polarização é definida, usa-se o exemplo da polarização feita por óculos escuros e por insul filmes em carros. A tabela 33 mostra o próximo slide.

## Identificando os Fenômenos

1) Ondas no mar se encontrando.      4)




2)



3)

5) Lentes escuras de óculos.

6)

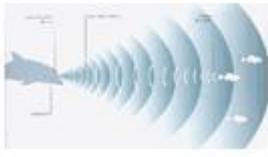


Tabela 33: Os alunos devem identificar os fenômenos que acabaram de aprender

No ensino regular os alunos usaram suas notas de aula para responder qual era o fenômeno associado a cada figura. Na EJA foi necessário voltar aos fenômenos e recapitulá-los antes de começar, já que o professor viu pouca interação no surgimento das figuras 1 e 2. Depois da recapitulação houve uma interação espantosa, pouco comum até então na EJA. As figuras surgiam uma a uma de acordo com seus números e os alunos respondiam, como em um jogo. Este jogo era feito por toda a sala. Ao apresentar a figura 2 foi necessário explicar que o fenômeno que se queria associar era o fato de a piscina parecer mais rasa quando cheia de água. A figura também precisou de uma explicação melhor, mostrando que se tratava de uma frente de onda que passava por um orifício. Cada figura ou situação era explicada oralmente pelo docente, com maior detalhamento nas figuras já citadas. A tabela 34 mostra a continuação do jogo.

7) Ouvir um professor dando aula na outra sala.	12) Óculos de sol
8) Dispositivo que inibe ligações em presídios	13)
9)	14) Enxergar objetos
10)	15) Uma onda que passa em volta de uma ilha.
11) Rádio pirata que influencia comunicação de voos.	

Tabela 34: Mais figuras e situação do jogo, a serem identificadas

A figura nove mostra o desvio da luz ao trocar de meio, a figura dez a reflexão da montanha na água e a figura treze representa a posição do sol e onde ele realmente é visto por um observador na Terra.

Após o jogo, os alunos resolvem exercícios do ENEM. Os exercícios se encontram no anexo A.

A correção dos exercícios foi feita em aula posterior, no caso de algumas turmas foi necessário deixar um tempo da aula de correção para que os alunos terminassem. O exercício dois, correlaciona o fenômeno de difração de ondas eletromagnéticas (luz) e ondas sonoras. O exercício três cobra o bom entendimento do jogo feito em aula para identificar os fenômenos. O exercício quatro além de cobrar o entendimento fenomenológico, também cobra o entendimento textual. Os exercícios 5,6 e 7 continuam cobrando fenômenos e entendimento de como se dá os mesmos. A questão 8 requer que o aluno se lembre do espectro eletromagnético. A avaliação foi feita pela participação em aula, fazendo os exercícios. O professor passou nas carteiras verificando quem os estava fazendo.

### 1.7 Passo 7 – O jogo de tabuleiro

Segundo Moreira [Moreira,2012] o passo sete deve ser uma avaliação final. Neste caso a avaliação final foi feita através de um jogo de tabuleiro. O jogo dura duas aulas, caso ele seja interrompido pelo fato de o professor só ter uma aula, uma foto do tabuleiro é tirada para que se possa continuar o jogo na próxima aula. Os alunos se reúnem em trios, cada trio conduz um pino (o que diferencia os pinos são suas cores e formas) no tabuleiro. O trio que completa o circuito primeiro ganha.

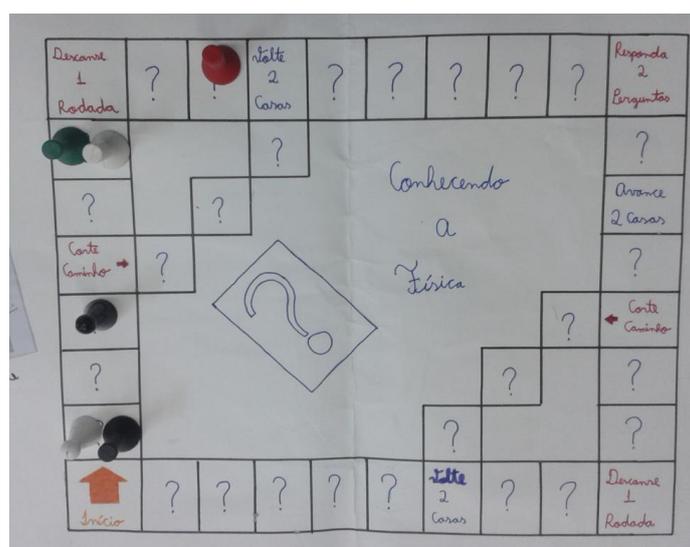


Figura 5: O trio que completa o circuito, ou seja, sai da casa início voltando a ela, ganha o jogo.

O professor já sorteou previamente uma sequência de jogo para cada pino, quando o trio escolhe o pino que vai conduzir, indiretamente sorteia sua vez de jogar. Cada turma tem um sorteio diferente para evitar que uma turma passe o sorteio para outra, deixando alguma equipe em vantagem, ao saber qual pino começa o jogo. A tabela 36 mostra um exemplo de sorteio. Após cada equipe pegar um papel, se identificar e identificar a cor do pino que conduzem, o professor pega o sorteio da tabela 36 e risca os possíveis pinos fora do jogo e anuncia qual será a sequência de jogo pré sorteada. Note que no exemplo do 2ºE o branco retangular é o primeiro a jogar. Na verdade, estes pinos têm um formato de tronco de cone, mas como os chamados redondos têm forma de cone, para não gerar confusão estabeleceu-se esta linguagem para diferenciar pinos da mesma cor. Note que há o pino amarelo redondo (com uma esfera sobre o pino) e o amarelo retangular (que tem forma de tronco de cone).

2ºE
Branco retangular
Azul
Verde
Branco redondo
Vermelho
Amarelo retangular
Preto retangular
Amarelo redondo
Preto redondo

Tabela 35: Sorteio previamente feito pelo professor, cada turma tem seu sorteio

O professor diz as regras. Há nos bolsos do docente, cartões com perguntas, o trio tem 30 segundos para responder à pergunta. O professor lê a pergunta e dá o cartão na mão do trio ao mesmo tempo que aciona o cronômetro e espera a resposta. Se o trio acerta sem consulta, avança três casas, se precisar de consulta para responder avança apenas uma casa. A tabela 37 traz as questões usadas no jogo. Note que algumas delas são do questionário de concepções prévias, para que se retome as questões para verificar se os alunos substituíram suas concepções espontâneas por conceitos científicos.

Questões do jogo de tabuleiro

1) Liste lugares, situações, tecnologias, entre outros, onde você já tenha visto algo ligado a onda ou ondas.

2) Liste estações de rádio e processadores de computador com suas respectivas frequências, caso lembre delas.

3) Como você acredita ser possível identificar a voz de diferentes professores sem os estar vendo?

4) Liste cantores que você acredita ter voz aguda (“fina”) e grave (“grossa”).

5) O que diferencia o sussurro de um grito?

6) Como funciona um instrumento de sopro e um instrumento de cordas?

7) Defina ou exemplifique reflexão.

8) Defina ou exemplifique refração.

9) O que significa cada letra da relação que segue:  $v = \lambda \cdot f$ ?

10) Defina ou exemplifique polarização.

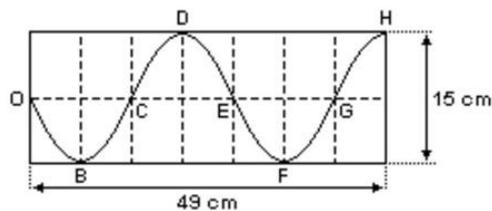
11) Defina ou exemplifique difração.

12) Qual a unidade de medida de frequência (f)?

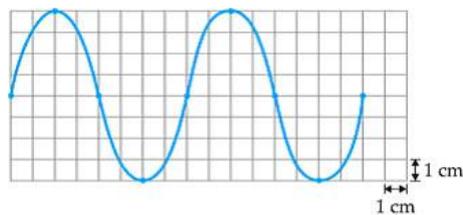
13) Qual a unidade de medida de comprimento de onda ( $\lambda$ )?

14) Qual a unidade de medida de velocidade de propagação de uma onda (V)?

15) Quanto vale o comprimento de onda da figura?



16) Quanto vale o comprimento de onda da figura?



17) Quanto vale a amplitude da onda da figura?

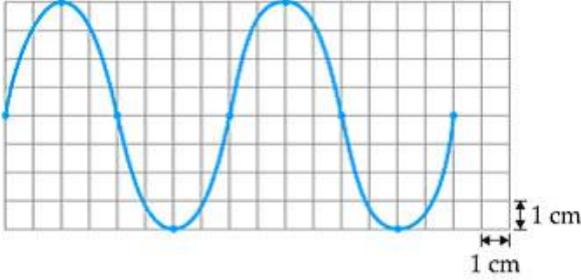
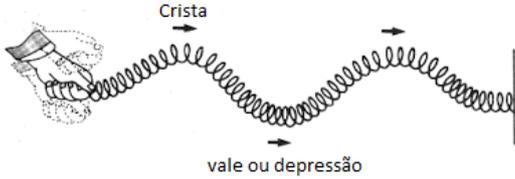
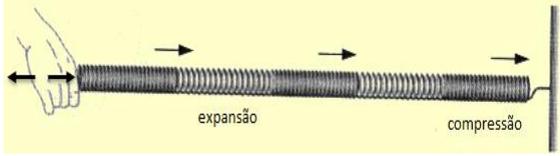

18) O que é timbre?
19) O que é intensidade?
20) O que é altura?
21) Dê um exemplo de onda eletromagnética.
22) Dê um exemplo de onda mecânica.
23) Que tipo de onda está representado na figura? 
24) Que tipo de onda está representado na figura? 
25) Que fenômeno ondulatório é predominante em ondas na praia se encontrando?
26) Que fenômeno ondulatório é predominante na visão (enxergar objetos)?
27) Que fenômeno ondulatório é predominante na luz atravessando um vidro?
28) Que fenômeno ondulatório é predominante no micro-ondas aquecendo água?
29) Que fenômeno ondulatório é predominante no uso de óculos escuros?
30) Que fenômeno ondulatório é predominante quando duas pessoas conversam com um muro entre elas?

Tabela 36: Questões para serem colocadas nos cartões

Cada questão da tabela ocupa um slide inteiro de uma apresentação, quando se pede a impressão de seis ou oito slides em uma folha, isso gera os cartões para o jogo. Para dar maior durabilidade e resistência, as folhas de sulfite

recortadas e impressas recebem um papel cartão um pouco maior. Assim é feito o chamado cartão, com as questões.

Os três primeiros trios a completar o circuito, recebem medalha de ouro, prata e bronze. A avaliação é feita através da participação, com notas ou menções (A,B e C) melhores para os três primeiros colocados. O professor costuma anotar quantas questões cada grupo acertou na tabela de sequência de jogo (tabela 36). O que se verificou na prática é que os alunos se empenham bastante no jogo para estar entre os três primeiros colocados. A diferença entre a EJA e o ensino regular neste jogo foi comportamental. A euforia do ensino regular em algumas salas precisou ser contida pelo docente.

### **1.8 Passo 8 – Avaliação final**

A avaliação foi feita usando todas as atividades propostas, como orienta Moreira ao descrever o passo 8 da UEPS. No caso da EJA e do ensino regular as avaliações são compostas por:

- Relatórios experimentais;
- Ficha do jogo;
- Questões do experimento;
- Exercícios e
- Desempenho no jogo de tabuleiro.

Na EJA cada avaliação é dada entre A e D compondo uma menção final para cada aluno. Para os alunos do ensino regular a nota máxima das atividades foi quatro, já que há uma prova que vale os outros seis pontos. O desempenho dos alunos foi bom, com menções de maioria A e B na EJA e com notas entre três e quatro. A prova não foi incluída na avaliação do ensino regular, porque, seria necessário aplicar a mesma prova (ou similar) na EJA e a aplicação do jogo foi a última atividade na EJA que só teria mais uma semana para a recuperação.

## Capítulo 2

### Fenômenos Ondulatórios

Para desenvolver o produto educacional é necessário ter uma noção do que vem a ser os Fenômenos Ondulatórios ensinados. Este assunto é abordado neste trecho do trabalho com o objetivo de auxiliar o docente que eventualmente tomar contato com o presente trabalho para aplica-lo em sala de aula, fazendo uma revisão rápida do assunto.

Os Fenômenos Ondulatórios são manifestações de ondas mecânicas ou eletromagnéticas. O movimento ondulatório transporta energia e momento, de uma para outra parte de uma região espacial, no entanto, transportar matéria. Nas ondas Mecânicas o momento e a energia são transportados mediante perturbações em um meio com propriedades elásticas. As ondas eletromagnéticas transportam energia e momento por campos elétricos e magnéticos. Apesar do grande número de fenômenos envolvendo ondas na natureza, muitos deles têm traços em comum. Segundo Tipler (1984), por esse motivo fenômenos como ondas em cordas e ondas na água são fenômenos que podem ser comparados e ainda fenômenos como a luz e ondas sonoras guardam traços em comum. [Tipler,1984]

Uma perturbação em uma corda em equilíbrio e sob tensão que se desloca ao longo da corda é chamado de pulso. A forma da corda se altera como na figura que segue.

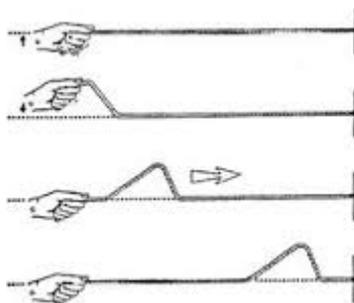


Figura 6: Pulso em corda com extremidade fixa Crédito:[Ferreira,2006]

Note que a mão da pessoa ao se mover de cima para baixo gera um pulso na corda sob tensão, é importante notar que a mão ao descer gera um pulso para cima, esta discussão será importante para compreender ondas estacionárias.

Outra observação importante é que a forma do pulso se altera à medida que passa o tempo, isso é chamado de dispersão. A dispersão acontece normalmente nas ondas (exceto no caso das ondas eletromagnéticas no vácuo), mas pode ser considerada desprezível em muitos casos. Quando o pulso reflete na extremidade rígida ele retorna invertido, como mostrado na figura que segue.

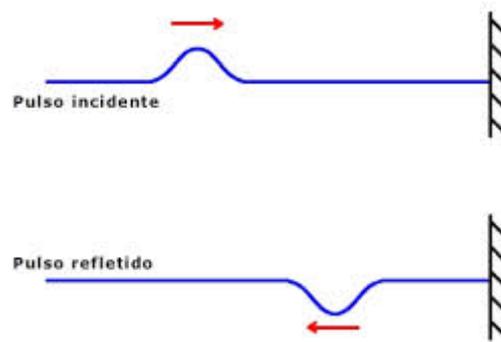


Figura 7: Reflexão do pulso Crédito:[Felipe,2015]

O pulso reflete na superfície rígida e retorna invertido com a mesma forma. A reflexão ocorre pois a força exercida sobre a extremidade fixa feita pela corda obedece ao princípio da terceira lei de Newton, gerando uma reação contrária. Supondo uma situação em que exista uma corda de maior densidade acoplada a uma corda com densidade menor como no caso da figura que segue, o pulso irá se refletir e não se inverterá. Neste caso é como se a corda de maior densidade estivesse com uma superfície livre, assumindo-se que parte do pulso não seja absorvido na reflexão, tem-se o resultado apresentado na figura. Os conceitos envolvendo pulsos são importantes para a compreensão de Fenômenos ondulatórios, em especial neste trabalho a parte concernente a Ondas estacionárias.

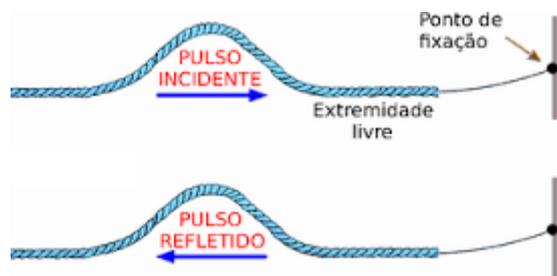


Figura 8: Cordas com densidades diferentes Crédito: [Gomes,2010]

Segundo Tipler o pulso se deslocando em uma corda é apenas um exemplo de pulso ondulatório. Tem-se um ruído sonoro, um pulso ondulatório luminoso (relâmpago) e uma onda de maré como exemplos. [Tipler,1984]

Uma onda que tenha sua perturbação perpendicular à direção do movimento é chamada de onda transversal. São exemplos de ondas transversais as ondas eletromagnéticas (celular, micro-ondas, rádio etc.). As ondas sonoras por sua vez são chamadas de longitudinais. A característica destas ondas é a perturbação ser paralela à direção de propagação. As figuras que seguem ilustram as ondas transversais e longitudinais.

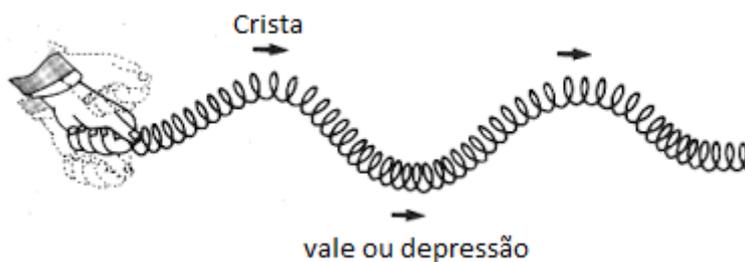


Figura 9: Onda transversal Crédito: [Prof2000,1999] (editado)

Este é um exemplo de onda transversal. É importante perceber que quando a mão faz movimento para baixo forma-se uma crista e quando a mão faz movimento para cima forma-se uma depressão ou vale.

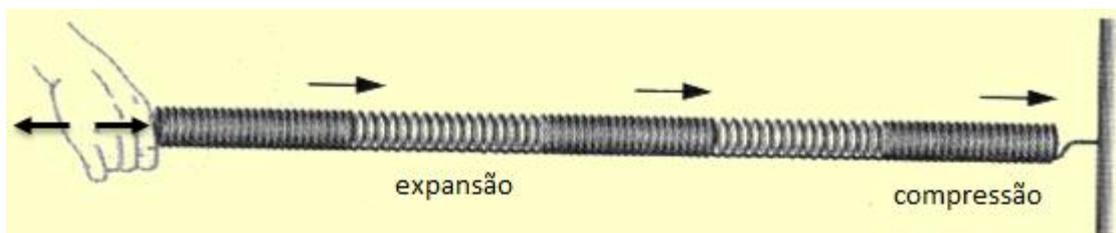


Figura 10: Onda longitudinal Crédito: [Prof2000,1999](editado)

Exemplo de onda longitudinal. A mão (fonte) faz um vai e vem para trás e para frente, gerando a onda. Quando a mão (fonte) vai para frente gera compressão, quando é puxada para trás gera expansão.

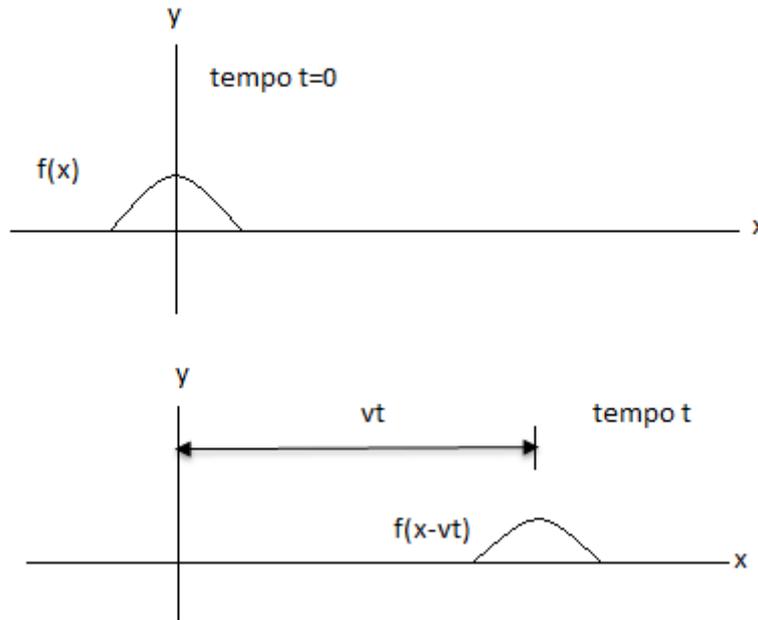


Figura 11: Pulso se deslocando para a direita [Figura do autor da dissertação]  
 A figura acima tem um esboço de pulso que se desloca da esquerda para a direita em um eixo de coordenadas. Sendo a função que representa a forma do pulso  $y=f(x)$  em  $t=0$ , decorrido um tempo  $t$  o pulso terá percorrido uma distância  $Vt$  e será representado pela função  $y(x, t) = f(x-vt)$ . Sendo o deslocamento do pulso para a esquerda a função é  $y(x, t) = f(x+vt)$ . As duas funções apresentadas são chamadas de função de onda. No caso de um pulso em uma corda a função representa o deslocamento vertical no ponto  $x$  e no intervalo de tempo  $t$ .

No caso de haver dois pulsos em direções contrárias como ilustra a figura que segue, a forma da corda é dada pela soma dos deslocamentos dos pulsos.

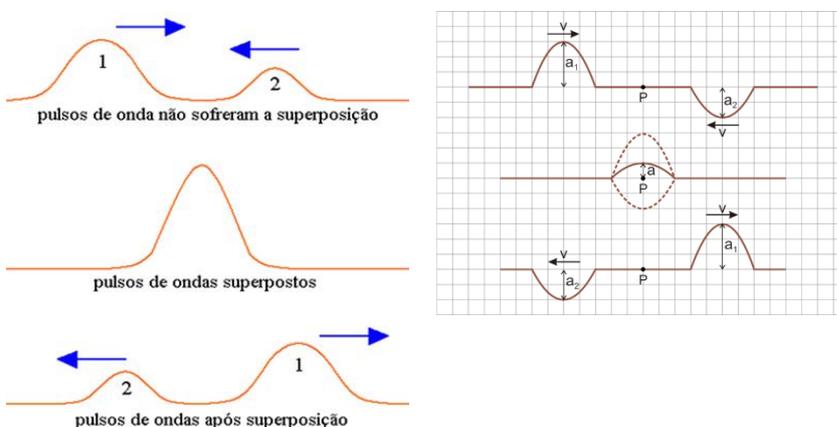


Figura 12: Interferência construtiva e destrutiva Crédito: [Marques,2015]

No caso da figura do lado esquerdo os pulsos se encontram e ao se somarem formam um pulso maior, note que os pulsos se somam e depois seguem seu deslocamento sem alterarem sua forma original. Na figura do lado direito os pulsos se somam gerando um pulso menor e novamente cada um dos pulsos depois de interagir entre si, seguem sem alteração em sua forma. Nos dois casos houve um fenômeno chamado interferência, que é a combinação de ondas para gerar ondas resultantes. No caso da figura do lado esquerdo uma interferência construtiva e no caso do lado direito uma interferência destrutiva. Analisando matematicamente o fenômeno da interferência podemos somar duas funções de onda como segue:

$$y(x,t) = y_a(x-vt) + y_b(x+vt)$$

onde  $y_a(x-vt)$  representa uma onda se deslocando para a direita e  $y_b(x+vt)$  uma onda se deslocando para a esquerda. A função de onda resultante da soma das ondas individuais é chamada de o princípio da superposição.

Supondo um pulso em uma corda tensionada com velocidade  $v$  para a esquerda, num intervalo de tempo este pulso com forma circular está envolto por um tubo de vidro como mostra a figura que segue, para garantir que se trata de um arco circular com raio  $r$ . A tensão sobre o segmento da corda (b) gera uma aceleração centrípeta  $v^2/r$ .

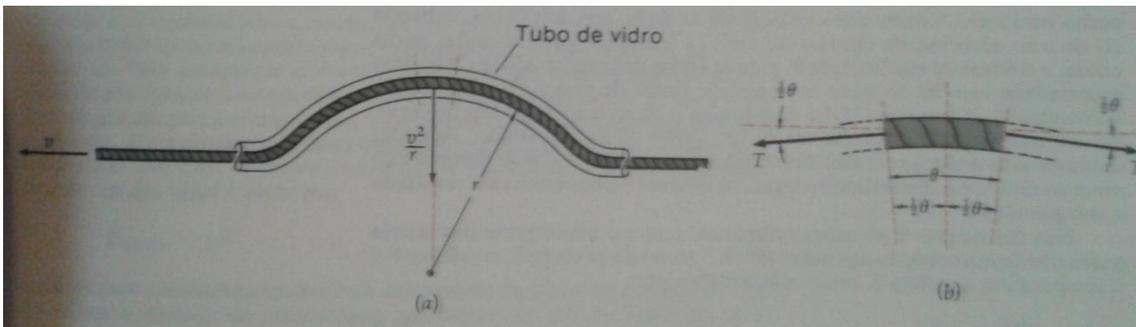


Figura 13: Segmento de corda Crédito: Adaptado de Tipler[Tipler,1984]

Sendo  $\theta$  o ângulo do segmento, a figura mostra que a tensão  $T$  gera um ângulo  $\theta/2$  com a horizontal. A Tensão radial neste caso é  $T \text{ sen}(\theta/2)$ . A força resultante sobre o segmento é ,portanto,  $F_r = T \text{ sen}(\theta/2) + T \text{ sen}(\theta/2)$  , já que a direita e a esquerda do segmento há tensões no sentido radial.  $F_r = 2T \text{ sen}(\frac{1}{2}\theta)$

Assumindo que  $\theta$  seja pequeno o suficiente para admitir a aproximação  $\text{sen}(\theta/2) \approx \theta/2$ , então,  $F_r \approx 2T(\frac{1}{2}\theta) = T\theta$ . Admitindo que a densidade linear da

corda (massa por unidade de comprimento) seja representada pela letra grega  $\mu$ , a massa será  $m=\mu L$ , onde  $L$  é o tamanho do segmento. Como o segmento tem tamanho  $r\theta$ , vem  $m=\mu r\theta$ . Igualando a força resultante ao produto da massa pela aceleração centrípeta tem-se:

$$T\theta = \mu r\theta \frac{v^2}{r}$$

$$T = \mu v^2$$

O que resulta em:  $v = \sqrt{\frac{T}{\mu}}$

Sendo a velocidade de propagação independente do raio  $r$  e do ângulo  $\theta$ , que fariam a forma circular ser alterada, este resultado vale para todos os outros segmentos da corda. Sendo assim a velocidade de propagação depende da tensão aplicada na corda e da densidade linear da mesma.

A última relação obtida nos dá a velocidade de propagação de um pulso característico de uma onda transversal. Falta discutir ainda do que depende a velocidade em uma onda longitudinal como, por exemplo, as ondas sonoras. A análise é feita para os dois casos para auxiliar na compreensão do funcionamento de instrumentos de corda e de sopro, na sequência de aulas.

Dado um pistão de área  $A$  no cilindro da figura, que contém um fluido com densidade  $\rho_0$  e pressão  $P$ . Comprimindo o fluido bruscamente aumentando sua pressão de  $\Delta P$  num intervalo de tempo  $\Delta t$  com o deslocamento do pistão para a direita.

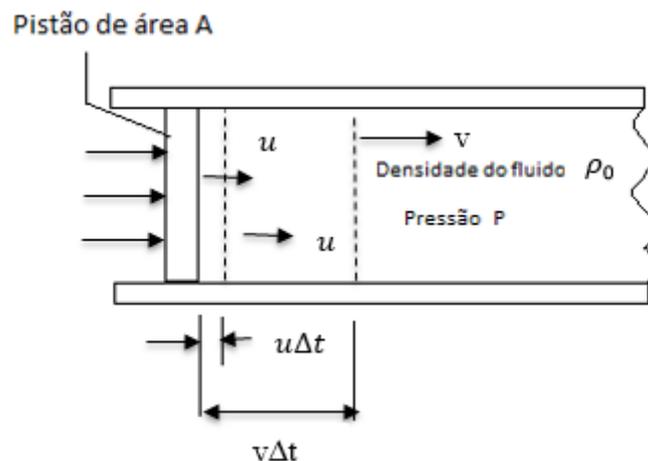


Figura 14: Pistão se deslocando para a direita [Figura do autor da dissertação]

Sendo a velocidade do pistão constante e igual a  $u$  e a velocidade de propagação do pulso  $v$ . O pistão percorre a distância  $u\Delta t$  e o pulso percorre a distância  $v\Delta t$ . A velocidade do pulso será obtida igualando a variação do momento do fluido ao impulso que atua sobre o fluido.

$$\text{Impulso} = (A\Delta P)\Delta t$$

A massa do fluido que entra em movimento é o produto da densidade ( $\rho_0$ ) pelo volume ( $Av\Delta t$ ). A variação de momento é o produto da massa por  $u$ .

$$\text{Variação de momento} = \rho_0(Av\Delta t)u$$

$$\text{Impulso} = \text{Variação de momento}$$

$$(A\Delta P)\Delta t = \rho_0(Av\Delta t)u$$

$$\Delta P = \rho_0 v u \quad (1)$$

O módulo de elasticidade volumétrica é uma grandeza física que relaciona o aumento de pressão a diminuição relativa do volume ( $-\Delta V/V$ ):

$$B = -\frac{\Delta P}{\Delta V/V}$$

Isolando  $\Delta P$ , tem-se:

$$\Delta P = B \frac{-\Delta V}{V}$$

Neste caso em particular  $\Delta V = Au\Delta t$  e  $V = Av\Delta t$ , Substituindo:

$$\frac{-\Delta V}{\Delta t} = \frac{Au\Delta t}{Av\Delta t} = \frac{u}{v}$$

$$\Delta P = B \frac{u}{v} \quad (2)$$

Substituindo (2) em (1), tem-se:

$$\frac{Bu}{v} = \rho_0 v u$$

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

Esta relação mostra que a velocidade de propagação de um pulso em um fluido (que poderia ser o ar e conseqüentemente ondas sonoras) depende do módulo de elasticidade volumar e da densidade do fluido.

Observando melhor a última relação obtida nota-se que a unidade de medida de B é pressão, o que permite escrever:

$$v = \sqrt{\frac{P}{\rho_0}} \quad (3)$$

Partindo desta relação é possível verificar qual a relação entre a temperatura e a velocidade de propagação do som no ar. Sendo a equação dos gases ideais  $PV=nRT$  (neste caso assumindo que o ar é um gás ideal), onde P é a pressão, V o volume, n o número de moles do gás, R a constante dos gases ideais e T a temperatura. Isolando P

$$P = \frac{nRT}{V}$$

Se  $\rho_0 = \frac{nM}{V}$ , onde M é a massa molecular, então:

$$P = \frac{nRT}{V} = \frac{\rho_0 RT}{M} \quad (4)$$

Substituindo (4) em (3), obtém-se:

$$v = \sqrt{\frac{RT}{M}}$$

Esta expressão difere em 20% dos valores de velocidade obtidos experimentalmente, ou seja, as velocidades obtidas experimentalmente têm valor 20% menor. Isso se deve porque as compressões e rarefações não são isotérmicas (o que foi suposto a priori) já que o ar (e outros gases) são maus condutores de calor. A compressão do ar eleva sua temperatura. Neste caso o ar sofre uma compressão adiabática.

Em um processo adiabático  $dq=0$  para a Primeira Lei da Termodinâmica  $dq=du+dW$ , onde dq é a quantidade de calor, du a energia interna e dW o trabalho. Assumindo que  $dU = nC_v dT$ , onde n é número de moles,  $C_v$  a capacidade calorífica a volume constante e dT a variação infinitesimal de temperatura e que  $dW=PdV$ , onde P é a pressão e dV a variação infinitesimal de volume. Tem-se:

$$0 = dU + PdV$$

$$-PdV = dU$$

$$-PdV = nC_v dT$$

Isolando P na equação geral dos gases

$$P = \frac{nRT}{V}$$

$$\frac{\cancel{nRT}dV}{V} = \cancel{n}C_v dT$$

Isolando os elementos dependentes de V e T

$$-\frac{R}{C_v} \frac{dV}{V} = \frac{dT}{T} \quad (1)$$

Sabendo que  $C_p - C_v = R$  e substituindo na relação  $-R/C_v$ , vem:

$$\frac{C_p}{C_v} - 1 = \frac{R}{C_v} \quad (2)$$

Substituindo 2 ( $\frac{R}{C_v}$ ) em 1

$$-\left(\frac{C_p}{C_v} - 1\right) \frac{dV}{V} = \frac{dT}{T}$$

Integrando os dois lados

$$-\left(\frac{C_p}{C_v} - 1\right) \int_{V_i}^{V_f} \frac{dV}{V} = \int_{T_i}^{T_f} \frac{dT}{T}$$

$$\left(\frac{C_p}{C_v} - 1\right) \ln \frac{V_f}{V_i} = \ln \frac{T_f}{T_i}$$

$$\ln \left(\frac{V_f}{V_i}\right)^{\left(\frac{C_p}{C_v} - 1\right)} = \ln \left(\frac{T_f}{T_i}\right), \text{ chamando } \frac{C_p}{C_v} = \gamma$$

$$\left(\frac{V_f}{V_i}\right)^{\gamma-1} = \left(\frac{T_f}{T_i}\right)$$

$$\frac{V_f^{\gamma-1}}{V_i^{\gamma-1}} = \frac{T_f}{T_i}$$

No entanto,  $PV=nRT$  e  $T = \frac{PV}{nR}$

$$\frac{T_f}{T_i} = \frac{\frac{P_f V_f}{nR}}{\frac{P_i V_i}{nR}}, \text{ o que gera:}$$

$$\frac{V_i^{\gamma-1}}{V_f^{\gamma-1}} = \frac{P_f V_f}{P_i V_i}$$

$P_i V_i^\gamma = P_f V_f^\gamma$ , concluindo que

$$PV^\gamma = K, \text{ onde } K = \text{constante}$$

Diferenciando a equação  $PV^\gamma = K$  dá

$$P\gamma V^{\gamma-1}dV + V^\gamma dP = 0$$

$$dP = -\frac{\gamma P dV}{V}$$

O módulo de elasticidade volumar é então

$$B = -\frac{dP}{dV/V} = \gamma P$$

Sabendo que  $B = \gamma P$ , pode-se corrigir a relação  $v = \sqrt{\frac{RT}{M}}$  para

$$v = \sqrt{\frac{\gamma RT}{M}}$$

Está nova relação gera a velocidade obtida experimentalmente. O valor de  $\gamma$  para o ar é 1,4.

Se em vez de dar-se um pulso na corda forem dados pulsos contínuos gerando um trem de onda. Este trem de onda é representado por um gráfico de função sen ou cosx. Esta onda é chamada de harmônica.

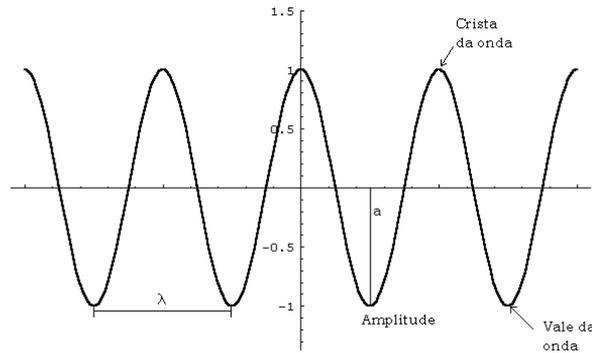


Figura 15: Características de uma onda Crédito:[Silva,2015]

A distância entre dois vales ou duas cristas é o comprimento de onda  $\lambda$  e a distância entre o eixo x e uma crista é a amplitude da onda. O comprimento de onda é a região em que ela se repete. A onda tem uma velocidade  $v$  uma frequência  $f$  que tem relação com o comprimento de onda  $\lambda$ . O número  $N$  de ondas geradas num determinado intervalo de tempo  $t$  é  $N=ft$ . A primeira onda percorre uma distância  $vt$ . A razão entre esta distância e o número de ondas é o comprimento de onda  $\lambda$ . Ou seja:

$$\lambda = \frac{vt}{N} = \frac{vt}{ft} = \frac{v}{f}$$

Sabendo que a frequência é a razão entre 1 e o período em que a onda se repete  $f = \frac{1}{T}$  substituindo:

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

Uma perturbação feita por uma fonte puntiforme em um tanque com água gera curvas onde a distância entre duas delas é um comprimento de onda. Esta propagação radial é chamada de frente de onda. Para um observador longe da fonte as ondas são aproximadamente paralelas e para este observador as ondas são chamadas de planas. Outro modo de obter ondas planas é perturbar a água no tanque com uma régua disposta horizontalmente.

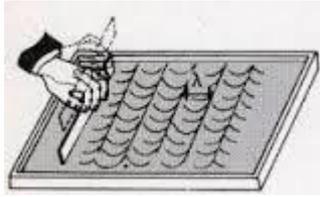


Figura 16: Ondas Planas Crédito: [Arantes,2009]

Uma onda harmônica que se desloca para a direita pode ser representada pela função de onda

$$y(x, t) = A \sin k(x - vt)$$

Onde  $A$  é a amplitude e  $k$  o número de onda.

Assumindo que  $\omega = kV$ , onde  $\omega$  é a velocidade angular, tem-se

$$y(x, t) = A \sin(kx - kvt)$$

$$y(x, t) = A \sin(kx - \omega t)$$

Agora a onda também depende da velocidade angular. Sabendo que a função também pode ser representada por cosseno, verifica-se que uma função  $y(x,t)$  para uma onda pode ser representada por funções seno e cosseno. Na verdade, uma onda pode ser representada por outras funções, no entanto, a discussão de Ondas estacionárias e Ondas acústicas estacionárias que será feita neste trabalho necessitam da compreensão destas funções.

Ondas confinadas em um espaço como é o caso de uma onda em uma corda de piano ou um tubo de órgão se deslocam em direção as extremidades e as sucessivas reflexões geram interferência. A combinação das leis de interferência gera frequências de vibração que são denominadas ondas estacionárias. Em particular neste trabalho este tipo de onda é de fundamental importância para a compreensão da parte concernente a música.

## 2.1 Ondas estacionárias

Por questão didática será feita novamente uma análise de pulsos em cordas para compreensão da formação de ondas estacionárias. Um pulso gerado pela mão de um observador em movimento para baixo como na figura, gera um pulso para cima.

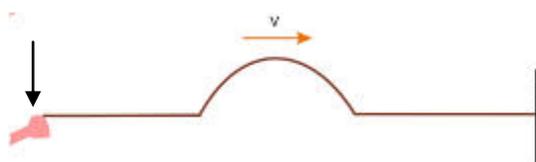


Figura 17: Pulso em extremidade fixa Crédito:[Nicolau,2015 ]

Ocorre reflexão na extremidade fixa que retorna com o pulso invertido. Quando este pulso reflete na mão do experimentador ele se inverte, se o mesmo fizer o mesmo movimento para baixo no momento em que ocorre a reflexão a amplitude da nova onda gerada será somada a primeira onda.



Figura 18: Onda resultante Crédito:[Nicolau,2015]

A primeira onda é representada pela onda de baixo. O intervalo de tempo entre os dois movimentos da mão feito para baixo é um período ( $T$ ). Sendo  $L$  o comprimento da corda, o pulso terá percorrido uma distância  $2L$  para ocorrer a soma de amplitudes do primeiro e do segundo pulso.

Se no lugar da mão do observador houvesse um diapasão com uma frequência  $f$  e uma pequena amplitude, ao refletirem na extremidade fixa a onda se inverte. O diapasão também gera reflexão invertendo a onda. Este vai-e-vem de ondas e as interferências geradas, são chamadas de ondas estacionárias.

Supondo um diapasão que gera uma crista da esquerda para a direita em direção a uma extremidade fixa. Ao refletir na extremidade a onda se inverte (como no caso do pulso feito na corda) e chegando ao diapasão tem nova inversão(ou seja, como no caso do pulso a onda volta a ter a orientação do pulso gerado pela mão), se o diapasão tiver o mesmo período que a onda percorre a distância do diapasão até a extremidade e depois até o diapasão de novo, a onda estará em fase com a nova onda gerada pelo diapasão, como no

exemplo do pulso feito na corda. Sendo assim, se a corda tiver um comprimento  $L$  e o comprimento de onda for igual a  $2L$ , haverá interferência construtiva nas ondas continuamente geradas (como no exemplo dos pulsos).

A amplitude aumenta devido a absorção da energia do diapasão pela corda, gerando amplitude crescente. A amplitude máxima é limitada por alguns fatores como a perda de energia na reflexão e imperfeição na flexibilidade da corda.

A ressonância é um fenômeno em que um sistema físico recebe excitação de frequência igual a sua frequência natural gerando amplitudes cada vez maiores. Este é o fenômeno que se apresenta neste caso. A ressonância acontece neste caso quando o diapasão apresenta uma frequência tal que o comprimento de onda da corda é duas vezes o seu comprimento.

Sendo assim a condição de ressonância para este caso é:

$$\lambda = 2L$$

No entanto, se o comprimento de onda dobrar ( $2\lambda$ ) ainda haverá ressonância, quando a primeira onda refletir novamente no diapasão ela estará em fase com a terceira onda. Fazendo o mesmo raciocínio para  $3\lambda, 4\lambda, n\lambda$ , chega-se à conclusão de que qualquer número inteiro de onda gera ressonância no sistema. O que leva a generalização de que:

$$n\lambda = 2L$$

O que leva a condição de onda estacionária em uma corda fixa nas extremidades, já que neste caso o diapasão além de fornecer energia à corda funciona também como uma extremidade fixa. Substituindo  $\lambda = \frac{v}{f}$  na condição de onda estacionária, vem:

$$n \frac{v}{f} = 2L$$

Quando  $n=1$ , têm-se a frequência mais baixa do sistema, esta frequência é denominada de frequência fundamental.

$$f_1 = \frac{v}{2L} \text{ (Frequência fundamental)}$$

Note que sendo assim haverá múltiplos inteiros da frequência fundamental, por exemplo, a segunda frequência (quando  $n=2$ ) será  $f_2 = 2f_1$  e assim sucessivamente até o  $n$ ésimo harmônico. Estes múltiplos são um conjunto chamado série harmônica. O primeiro harmônico é seguido do segundo harmônico e assim sucessivamente, gerando o conjunto já citado.

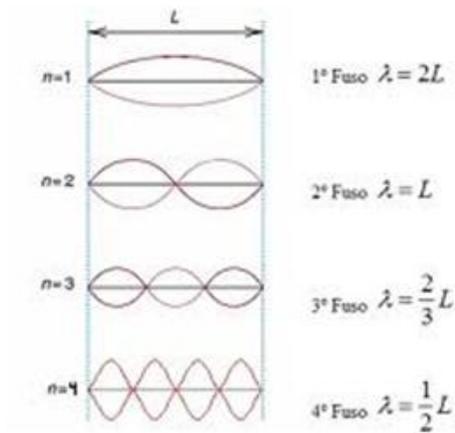


Figura 19: Ondas estacionárias Crédito:[Cavalcante,2015] (Editado)

Note que a região em repouso é denominada nó e a região em oscilação harmônica é denominada ventre.

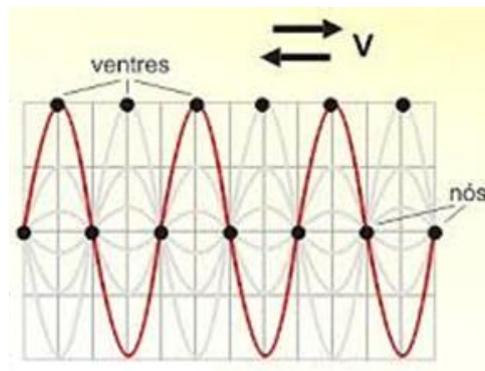


Figura 20: Nós e ventres Crédito: [Braz,2015] (editado)

Considerando uma corda onde há um observador segurando uma das extremidades e a outra extremidade livre. O observador dá um pulso na corda fazendo um movimento com a mão para baixo como mostra a figura.



Figura 21: Pulso em uma corda com extremidade livre Crédito:[Borges,2015] (Editado)

Ocorre reflexão na extremidade livre que retorna com o pulso com as mesmas características do pulso enviado, mas com sentido de propagação contrário.



Figura 22: Reflexão do pulso sem inversão Crédito:[Borges,2015](Editado)  
 Quando a reflexão acontece na mão do observador o pulso se inverte, se neste momento o observador fizer um movimento para cima, será gerado um novo pulso que se somará ao primeiro, ou seja, ocorre ressonância.



Figura 23: Onda resultante Crédito:[Borges,2015] (Editado)

O pulso de cima é o primeiro pulso gerado. Considerando que um Período completo seja a diferença de tempo entre dois pulsos para baixo (dois pulsos), o movimento da mão para cima, seria metade de um período. Assim, para que ocorra ressonância é necessário que o pulso percorra a distância  $2L$  com o observador gerado com a mão um período  $T/2$ .

Ocorre a formação de ondas estacionárias também em uma corda com uma extremidade livre.

Supondo uma corda com um diapásão acoplado a uma de suas extremidades e na outra extremidade um fio longo e leve ligado a uma massa, como na figura que segue:



Figura 24: Diapasão ligado a corda com extremidade quase livre Crédito:[Geocities,2001]

Esta é uma condição de extremidade quase livre. Ao refletir na extremidade livre a onda não se inverte, o que ocorre na reflexão com o diapasão como no caso do pulso, se o período do diapasão for  $T/2$ , haverá ressonância estabelecendo ondas estacionárias na corda. Quando o comprimento de onda é  $2L$  o período deve ser  $T/2$ , como  $\lambda = \frac{v}{f}$  e  $f = \frac{1}{T}$ , tem-se:  $\lambda = vT$ , neste caso  $\lambda = v \frac{T}{2}$ , o que gera:

$$\lambda = 2L$$

$$v \frac{T}{2} = 2L$$

$$vT = 4L$$

$$\lambda = 4L$$

Verifica-se que também há ressonância no caso de a primeira onda cobrir dois comprimentos da corda em um e meio (1,5) vezes o período, ou ainda em dois e meio (2,5) vezes o período ou ainda em qualquer número ímpar de períodos. O que permite generalizar:

$$n v T = 4L, \text{ onde } n = 1, 3, 5, 7, \dots$$

$$\text{Como } v T = \lambda$$

$$n \lambda = 4L \quad n = 1, 3, 5, 7, \dots$$

Outra relação possível substituindo  $\lambda = \frac{v}{f}$  é  $n \frac{v}{f} = 4L$

$$f = n \frac{v}{4L} \quad n = 1, 3, 5, 7, \dots$$

Novamente para  $n=1$  tem-se a frequência fundamental:

$$f_n = \frac{V}{4L}$$

## 2.2 Ondas acústicas estacionárias

Podem-se usar muitos dos princípios discutidos sobre ondas estacionárias para entender este assunto. Instrumentos de corda como violino, violoncelo, cavaquinho entre outros, têm seu comprimento  $L$  alterado pela colocação dos dedos do músico em posições diferentes da corda, alterando sua frequência fundamental.

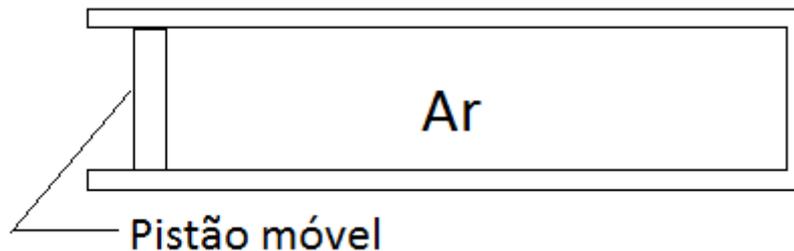


Figura 25: Tubo fechado com pistão móvel [Figura do autor da dissertação]  
A figura mostra um tubo fechado com um pistão móvel, se a amplitude de movimento do pistão for pequena haverá um nó de deslocamento em cada extremidade do tubo como no caso de uma corda fixa nas duas extremidades. O que permite escrever:

$$n\lambda=2L$$

Onde  $L$  é o comprimento do tubo. As frequências deste tubo podem ser dadas pela relação  $f = n \frac{v}{2L}$ , onde  $v$  é a velocidade do som. Este tubo funciona semelhante a um tubo de órgão para igreja, seu comprimento determina a sua frequência (cada nota).

Se a extremidade da direita for aberta, haverá o mesmo padrão de uma corda livre em uma das extremidades, o que valida a relação:

$$f = n \frac{v}{4L}$$

No caso já citado do órgão para igreja há tubos abertos também, apesar do princípio de funcionamento do órgão como um todo e de cada tubo ser bem

complexo, esta relação mostra a dependência do comprimento do tubo em relação a cada frequência.

O estudo de ondas acústicas dá o princípio de funcionamento dos instrumentos, apesar de este funcionamento ser bem mais complexo do que as discussões aqui apresentadas, elas dão pistas de como funcionam os instrumentos.

Dos fenômenos tratados na sequência didática desta dissertação falta ainda definir Difração, Polarização e Refração.

“**Difração** é o nome dado à capacidade que uma onda apresenta de contornar obstáculos ou passar por fendas.

Apesar de todas as ondas poderem sofrer a difração, esta só é facilmente perceptível, quando o comprimento de onda da onda e o tamanho do obstáculo, são da mesma ordem de grandeza. As ondas sonoras, por exemplo, apresentam grandes comprimentos de onda e podem contornar grandes obstáculos. Por esse motivo, você pode ouvir o som emitido por uma pessoa do outro lado de um muro, apesar de não poder vê-la.

No entanto, a difração da luz dificilmente é percebida no dia a dia, pois ocorre apenas quando a luz passa por fendas muito estreitas ou quando contorna obstáculos minúsculos, isso porque o comprimento de onda da luz é muito pequeno.”[Nicolau,2010]

“A **Polarização** de uma onda caracteriza a direção das oscilações da mesma”. [Keller,1999] Uma onda eletromagnética possui duas componentes transversais, um filtro polarizador deixa “passar” apenas uma destas componentes deixando a onda polarizada.

“Refração é a mudança da direção de uma onda que se propaga em um determinado meio ao passar obliquamente para outro meio no qual a velocidade de propagação é alterada; (A refração ocorre em diferentes tipos de onda, embora seja mais comumente associada à luz.) ” [Dicionário,2015]

## Capítulo 3

### Considerações finais

Quando considerado que cada vez mais as abordagens em ensino-aprendizagem defendem que apenas a aula expositiva não é suficiente para proporcionar situações de ensino-aprendizagem significativas [Moreira,2012], o objetivo de auxiliar o ensino-aprendizagem de Fenômenos ondulatórios, no tocante aos assuntos abordados(e o objetivo ligado a compreender características e atributos das ondas), foi alcançado. Uma vez que a sequência didática usa em cada passo métodos distintos da simples aula expositiva, como a experimentação, jogos, construção de instrumentos, vídeo e apresentação musical, o desempenho satisfatório da maior parte dos alunos nas avaliações é mostra suficiente de aprendizagem significativa. O indício de compreensão dos conteúdos abordados é o jogo de tabuleiro, onde a maior parte dos alunos conseguiu responder as questões do jogo satisfatoriamente. Tendo como base que este jogo relacionava todos os conteúdos abordados nas aulas, este instrumento avaliativo pode ser considerado de maior relevância para evidenciar a compreensão dos alunos. Quanto a facilitar ou auxiliar a resolução de exercícios do Enem referentes ao tema, o presente trabalho não é capaz de medir esta capacidade, sendo necessário um trabalho destinado a isso, dada a sua complexidade.

Para melhorar a presente sequência de aulas seria interessante fazer alterações em alguns pontos da sequência para diminuir algumas dificuldades. A definição de comprimento de onda apesar de muitas vezes trabalhado ainda gera dúvidas, precisava de outro modo de abordagem, talvez um jogo onde fossem apresentados diferentes gráficos em que o aluno deveria identificar o comprimento de onda. Ainda paira dúvidas quanto a distinção de altura e intensidade sonora (embora em menor medida). Seria necessário também dar mais ênfase a formação de ventres e nós para melhor compreensão na resolução de exercícios e no entendimento da propagação de som em tubos. Fazer uma quantidade maior de exercícios deve resolver o problema. Apesar dos exemplos dados em que um tubo de órgão, um instrumento de corda e o

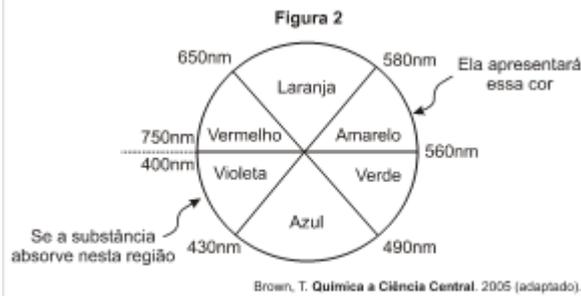
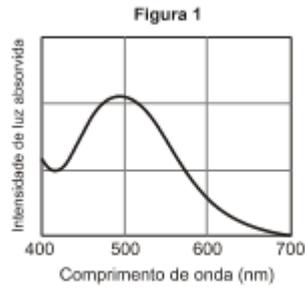
tamanho de uma tecla de marimba (xilofone em que se toca as teclas metálicas com baquetas) são o que geram as frequências proporcionais ao comprimento, seria necessário mostrar vídeos para fazer uma relação mais forte entre o comprimento (L) e a frequência, deixando mais claro que a mudança da posição do dedo do instrumentista (e ,portanto, do comprimento L) em um instrumento de corda muda a nota (frequência) e a variação no comprimento do instrumento de sopro varia os harmônicos gerados. Sempre deixando claro que o funcionamento dos instrumentos é mais complexo do que a sequência didática á capaz de explicar com a Física em nível de Ensino médio.

A presente sequência didática precisa ser aplicada mais vezes em diferentes realidades escolares tanto por outros professores como pelo professor autor da presente dissertação, sendo modificado para seu melhoramento, sempre no sentido de facilitar o ensino-aprendizagem de Fenômenos ondulatórios.

#### Anexo A

##### Exercícios do ENEM (Crédito: [INEP,2015])

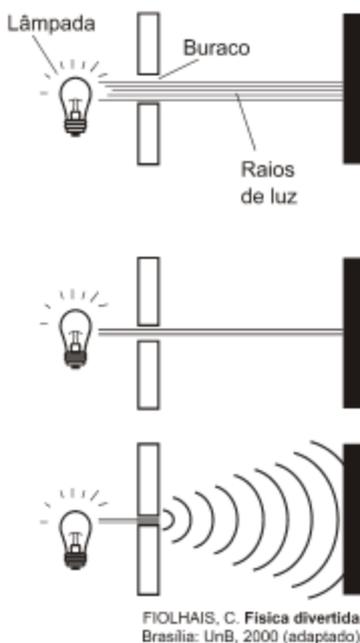
1.(Enem 2011) Para que uma substância seja colorida ela deve absorver luz na região do visível. Quando uma amostra absorve luz visível, a cor que percebemos é a soma das cores restantes que são refletidas ou transmitidas pelo objeto. A Figura 1 mostra o espectro de absorção para uma substância e é possível observar que há um comprimento de onda em que a intensidade de absorção é máxima. Um observador pode prever a cor dessa substância pelo uso da roda de cores (Figura 2): o comprimento de onda correspondente à cor do objeto é encontrado no lado oposto ao comprimento de onda da absorção máxima.



Qual a cor da substância que deu origem ao espectro da Figura 1?

- a) Azul. b) Verde. c) Violeta. d) Laranja. e) Vermelho.

2. (Enem 2011) Ao diminuir o tamanho de um orifício atravessado por um feixe de luz, passa menos luz por intervalo de tempo, e próximo da situação de completo fechamento do orifício, verifica-se que a luz apresenta um comportamento como o ilustrado nas figuras. Sabe-se que o som, dentro de suas particularidades, também pode se comportar dessa forma.



Em qual das situações a seguir está representado o fenômeno descrito no texto?

- a) Ao se esconder atrás de um muro, um menino ouve a conversa de seus colegas.
- b) Ao gritar diante de um desfiladeiro, uma pessoa ouve a repetição do seu próprio grito.
- c) Ao encostar o ouvido no chão, um homem percebe o som de uma locomotiva antes de ouvi-lo pelo ar.
- d) Ao ouvir uma ambulância se aproximando, uma pessoa percebe o som mais agudo do que quando aquela se afasta.
- e) Ao emitir uma nota musical muito aguda, uma cantora de ópera faz com que uma taça de cristal se despedace.

3. (Enem 2010) As ondas eletromagnéticas, como a luz visível e as ondas de rádio, viajam em linha reta em um meio homogêneo. Então, as ondas de rádio emitidas na região litorânea do Brasil não alcançariam a região amazônica do Brasil por causa da curvatura da Terra. Entretanto sabemos que é possível transmitir ondas de rádio entre essas localidades devido à ionosfera. Com ajuda da ionosfera, a transmissão de ondas planas entre o litoral do Brasil e a região amazônica é possível por meio da

- a) reflexão. b) refração. c) difração. d) polarização. e) interferência.

4. (Enem 2ª aplicação 2010) Ao contrário dos rádios comuns (AM ou FM), em que uma única antena transmissora é capaz de alcançar toda a cidade, os celulares necessitam de várias antenas para cobrir um vasto território. No caso dos rádios FM, a frequência de transmissão está na faixa dos MHz (ondas de rádio), enquanto, para os celulares, a frequência está na casa dos GHz (micro-ondas). Quando comparado aos rádios comuns, o alcance de um celular é muito menor.

Considerando-se as informações do texto, o fator que possibilita essa diferença entre propagação das ondas de rádio e as de micro-ondas é que as ondas de rádio são

- a) facilmente absorvidas na camada da atmosfera superior conhecida como ionosfera.

b) capazes de contornar uma diversidade de obstáculos como árvores, edifícios e pequenas elevações.

c) mais refratadas pela atmosfera terrestre, que apresenta maior índice de refração para as ondas de rádio.

d) menos atenuadas por interferência, pois o número de aparelhos que utilizam ondas de rádio é menor.

e) constituídas por pequenos comprimentos de onda que lhes conferem um alto poder de penetração em materiais de baixa densidade.

5. (Enem 2ª aplicação 2010) Um garoto que passeia de carro com seu pai pela cidade, ao ouvir o rádio, percebe que a sua estação de rádio preferida, a 94,9 FM, que opera na banda de frequência de megahertz, tem seu sinal de transmissão superposto pela transmissão de uma rádio pirata de mesma frequência que interfere no sinal da emissora do centro em algumas regiões da cidade. Considerando a situação apresentada, a rádio pirata interfere no sinal da rádio do centro devido à

a) atenuação promovida pelo ar nas radiações emitidas.

b) maior amplitude da radiação emitida pela estação do centro.

c) diferença de intensidade entre as fontes emissoras de ondas.

d) menor potência de transmissão das ondas da emissora pirata.

e) semelhança dos comprimentos de onda das radiações emitidas.

6. (Enem 2014) Ao sintonizarmos uma estação de rádio ou um canal de TV em um aparelho, estamos alterando algumas características elétricas de seu circuito receptor. Das inúmeras ondas eletromagnéticas que chegam simultaneamente ao receptor, somente aquelas que oscilam com determinada frequência resultarão em máxima absorção de energia.

a) difração. b) refração. c) polarização. d) interferência. e) ressonância.

7. (Enem 2014) Quando adolescentes, as nossas tardes, após as aulas, consistiam em tomar às mãos o violão e o dicionário de acordes de Almir Chediak e desafiar nosso amigo Hamilton a descobrir, apenas ouvindo o acorde quais notas eram escolhidas. Sempre perdíamos a aposta, ele possui o ouvido absoluto. O ouvido absoluto é uma característica perceptual de poucos

indivíduos capazes de identificar notas isoladas sem outras referências, isto é, sem precisar relacioná-la com outras notas de uma melodia. No contexto apresentado a propriedade Física da onda que permite esta distinção entre as notas é a:

- a) frequência.
- b) intensidade.
- c) forma de onda.
- d) amplitude da onda.
- e) velocidade de propagação.

8. (Enem 2014) Alguns sistemas de segurança incluem detectores de movimento. Nesses sensores, existe uma substância que se polariza na presença de radiação eletromagnética de certa região de frequência, gerando uma tensão que pode ser amplificada e empregada para efeito de controle. Quando uma pessoa se aproxima do sistema, a radiação emitida por seu corpo é detectada por esse tipo de sensor. WENDLING, M. Sensores. Disponível em: [www2.teg.unesp.br](http://www2.teg.unesp.br) acesso em 7 maio 2014 (adaptado)

A radiação captada por esse detector encontra-se na região de frequência

- a) Da luz visível.
- b) do ultravioleta.
- c) do infravermelho.
- d) das micro-ondas
- e) das ondas longas de rádio

## Referências

[Ausubel,2000] Ausubel, D. P. The Acquisition and Retention of Knowledge: a cognitive view. International: Springer, 2000. 234p.

[Arantes,2009] Arantes.J. Roteiros de experimentos de Física para os alunos do terceiro ano, 2009 Disponível em <<http://fisicanoja.blogspot.com.br/search?updated-max=2009-10-20T15:37:00-07:00&max-results=14>> acesso em 01 jul. 2015

[Barros,2013]. M.D.M; Zanella. P.G; Araújo-Jorge .T.C. Revista Ensaio. Vol. 15,2013

[Bertolo,2010] Bertolo. L.A. Site professor Bertolo, 2010. Disponível em <<http://www.bertolo.pro.br/Biofisica/Som/ULTRASOM.htm>>acesso em 01 jul. 2015

[Braz,2015] Braz, D. Física na veia, 2006. Disponível em: <[http://fisicamoderna.blog.uol.com.br/arch2006-05-28\\_2006-06-03.html](http://fisicamoderna.blog.uol.com.br/arch2006-05-28_2006-06-03.html)> acesso em 01 jul. 2015.

[Borges,2015] Borges,S. Cursos do Blog: Termoilogia, óptica e ondas, 2014. Disponível em: <[http://plutaoplanetaplutao.blogspot.com.br/2011/11/cursos-do-blog-termologia-optica-e\\_22.html](http://plutaoplanetaplutao.blogspot.com.br/2011/11/cursos-do-blog-termologia-optica-e_22.html)> acesso em 01 jul. 2015.

[Cavalcante,2015] Cavalcante, K. Brasil escola: A Física dos instrumentos musicais, 2015. Disponível em: <<http://www.brasilecola.com/fisica/a-fisica-os-instrumentos-musicais.htm>>acesso em 01 jul. 2015

[Colombo,2014] COLOMBO JR, P. D Inovações Curriculares em Ensino de Física Moderna: Investigando uma Parceria entre Professores e um Centro de Ciências, Programa de Pós- Graduaçãointerunidades em Ensino de Ciências da Universidade de São Paulo, 2014. pp. 71-80

[Diana,2011] Diana, M.C. Blog Sorria na vida, 2011 Disponível em <<http://sorrriana vida.blogspot.com.br/2011/03/brinquedo-mola-maluca.html>> acesso em 14 fev. 2015

[Dicionário,2015] Dicionário Google, 2015. Disponível em: <[www.google.com.br/#q=defini%C3%A7%C3%A3o+de+refra%C3%A7%C3%A3o](http://www.google.com.br/#q=defini%C3%A7%C3%A3o+de+refra%C3%A7%C3%A3o)>acesso em 01 jul. 2015.

[Explicatorium,2000] Explicatorium, 2000. Disponível em: <[http://www.explicatorium.com/CFQ8/Luz\\_espectro\\_eletromagnetico.php](http://www.explicatorium.com/CFQ8/Luz_espectro_eletromagnetico.php)> acesso em 01 jul. 2015.

[Faria,2015] Faria, J. A. Pulsos e Ondas. Disponível em<[moodle.ufsc.br/mod/book/tool/print/index.php?id=504285](http://moodle.ufsc.br/mod/book/tool/print/index.php?id=504285)> acesso em 05 fev. 2015.

[Ferreira,2006] Ferreira,R.N. Lei de Taylor. Disponível em <<http://www.infoescola.com/fisica/lei-de-taylor>> acesso em 08 fev. 2016

[Fernandes,2013] Fernandes.S. GABARITO APOSTILA Fisica ENEM 2011(disponível em: <[http://www.sbfisica.org.br/v1/novopion/arquivos/GABARITO\\_APOSTILA\\_Fisica\\_ENEM\\_Sandro%20Fernandes.pdf](http://www.sbfisica.org.br/v1/novopion/arquivos/GABARITO_APOSTILA_Fisica_ENEM_Sandro%20Fernandes.pdf)> acesso em 13 jul. 2013

[Felipe,2015] Felipe,G.Simulab: Ambiente virtual de aprendizagem. IFRN,2015. Disponível em <<http://simulab.ifisica.org/ondas>> acesso em 08 fev. 2016

[Filipe,2013] Filipe. A. CFQ 8º ano e 9º ano. 2013. Disponível em: <<http://cfq8anolimao.blogspot.com.br/2013/06/o-som.html>> acesso em 01 jul. 2015.

[Giordan,1999] QUÍMICA NOVA NA ESCOLA .Experimentação e Ensino de Ciências.Nº 10, NOVEMBRO 1999

[Giordan,2010] Giordan M; Guimarães Y. A. F; MassiL. UMA ANÁLISE DAS ABORDAGENS INVESTIGATIVAS DE TRABALHOS SOBRE SEQUÊNCIAS DIDÁTICAS: TENDÊNCIAS NO ENSINO DE CIÊNCIAS. 2010

[Geocities,2001] Geocities, 2001. Disponível em:  
<<http://www.geocities.ws/resumodefisica/ondas>>acesso em 01 jul. 2015

[Gomes,2010] Gomes,J. M. Ondas- Refração de ondas em cordas tensas, 2010. Disponível em  
<<http://portaldoprofessor.mec.gov.br/fichaTecnicaAula.html?aula=21210>>  
acesso em 08 fev. 2016.

[Herron,1971] HERRON, M. The natureofscientificinquiry. *SchoolReview*, v. 79, nº 2, 171-212,1971.

[Inep,2015] (INEP) Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira. Disponível em<disponível em:  
<http://portal.inep.gov.br/web/enem/edicoes-ant anteriores/provas-e-gabaritos>>  
acesso em 06 abr. 2015.

[Klajn, 2002] KLAJN, S. **Física a vilã da escola**. Passo Fundo: UPF, 2002.

[Keller,1999] Keller,F.J, Gettys,W.E, Skove, M.J. Traduzido por Farias, A. A. São Paulo: Editora Pearson Education do Brasil, vol 2,3 edição, 1999 615p

[Komoret,2007] Komoret,M&Duit, Rteaching and learning sequences in the domain of non-linear systems. 2007 The teaching experiment as a powerful method to develop and evaluate.

[Lijnse,2004] Lijnse, P.L. &Klaassen, C.W.J.M. .Didactical structures as an outcome of research on teaching-learning sequences?InternationalJournalof Science Education 26, 2004 p. 537-554.

[Lopes, 2001]LOPES, M. da G. **Jogos na Educação: criar, fazer e jogar**. 4º Edição revista, São Paulo: Cortez, 2001. NEVES, M. C. D; S

[Marques,2015] Marques,D. Interferência de ondas, 2015 disponível em  
<<http://www.brasilecola.com/fisica/interferencia-ondas.htm>> acesso em 02  
mai. 2015

[Maia,1996] Maia. J. Distribuidora, 1996. Disponível em:  
<[http://www.distribuidorajmaia.com.br/produto.php?produto\\_id=2058](http://www.distribuidorajmaia.com.br/produto.php?produto_id=2058)> acesso  
em 01 jul. 2015

[Méheut,2004] MÉHEUT, M.; PSILLOS, D. Teaching-Learning Sequences.  
Aims and tools for science education. International Journal of Science Education,  
v. 26, n. 5, 2004. p. 515–535

[Menezes,2012] Menezes,L.C. et al Caderno de Física do aluno da Secretaria  
Estadual de Educação do Estado de São Paulo. 2 série, Volume 4. São Paulo:  
Governo do Estado de São Paulo, 2012 32p

[Michelle,1991] Michelle,D.J. Didactic Engineering. Canada, 1991

[Moreira, 1999] Moreira.M.A. Teorias da aprendizagem. SP. EPU, 1999

[Moreira,2012] Moreira, M. A. Unidades de Ensino Potencialmente  
Significativas – UEPS (original a ser submetido à publicação). Porto Alegre:  
Instituto de Física(UFRGS), 2012. 22p.

[Nicolau,2010] Nicolau,A.L. et al. Física Ciência e Tecnologia. São Paulo:  
Moderna, 2010. 215p

[Nicolau 2015] Nicolau,G. F. Os Fundamentos da Física, 2009. Disponível em:  
<[http://osfundamentosdafisica.blogspot.com.br/2013/11/cursos-do-blog-termologia-optica-e-ondas\\_19.html](http://osfundamentosdafisica.blogspot.com.br/2013/11/cursos-do-blog-termologia-optica-e-ondas_19.html)>acesso em 01 jul. 2015

[Nogueira,2014] Nogueira. F. Atividades Musicais- Intensidade, 2014.  
Disponível em: <<http://musicasaude.blogspot.com.br/2011/04/atividades-musicais-intensidade.html>>acesso em 01 jul. 2015

[PCN,1997] (PCN) Parâmetros curriculares nacionais : introdução aos  
parâmetros curriculares nacionais / Secretaria de Educação Fundamental. –  
Brasília : MEC/SEF, 1997.126p.disponível em  
<[portal.mec.gov.br/seb/arquivos/pdf/livro01.pdf](http://portal.mec.gov.br/seb/arquivos/pdf/livro01.pdf)> acesso em 14 set. 2014

[PCN+,1997] (PCN) Parâmetros curriculares nacionais: Ensino médio-Física  
Brasília: MEC/SEF, 1997. Disponível em:  
<[WWW.sbfisica.org.br/arquivos/PCN\\_FIS.pdf](http://WWW.sbfisica.org.br/arquivos/PCN_FIS.pdf)>

[Peixoto,2009] Peixoto.K.C. Q. da C; Martins R. L. C; LinharesM. P. Um olhar investigativo sobre as questões do Enem que abordam a Física.Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. SNEF 2009.

(disponível em:

<[www.cienciamao.usp.br/dados/snef/\\_umolharinvestigativosobr.trabalho.pdf](http://www.cienciamao.usp.br/dados/snef/_umolharinvestigativosobr.trabalho.pdf)>

Acesso em 20 ago. 2014

[Pereira,2009] Pereira, R.F. Fusinato, P.A. Neves, M.C.D. Desenvolvendo um jogo de tabuleiro para o ensino de física. Florianópolis: Enpec,2009. 23p

(Adaptado pela ex-aluna do IFSP Beatriz Fernandes) Disponível

em<<http://portaldoprofessor.mec.gov.br/fichaTecnicaAula.html?aula=38193>>ac

esso em 09 mar. 2015.

[Prado,2014] Prado, J. Pular corda emagrece até 800 calorias em 1 hora, 2014

Disponível em <<http://www.dicasdemulher.com.br/pular-corda-emagrece>>

acesso em 15 fev. 2015

[Prof2000] Prof2000. Tipos de ondas, Portugal, 1999. Disponível em

<<http://www.prof2000.pt/users/mrsd/pub/rhinosoft/8ano/ondas.htm>> acesso em

08 fev. 2016

[Quora,2015] Fórum de discussão do site Quora, 2015 Disponível em

<<http://www.quora.com/How-do-you-tell-whether-a-function-is-even>>acesso em

16 jan. 2014

[Ramos,2010] Ramos, E.O. Timbre sonoro,2010. Disponível em:

<<http://professor-cebola.blogspot.com.br/2010/10/timbre-sonoro.html>>aceeso

em 01 jul. 2015

[Ricieri,2013] RICIERI, A.P. Funções sex e cosx. São Paulo: Museu da Matemática, 14 set. 2013. Aula integrante do Curso Matemática aplicada à vida.

[Ritts,2001] Ritts Bordados. Site de vendas, 2001 Disponível em

<<http://www.rittsbordados.com.br/fita-metrica-com-estojos-1-peca.html>>acesso

em 15 fev.2015

[Roederer,2002] Roederer, J.G. Introdução à Física e psicofísica da música. São Paulo: Editora Edusp,1 edição,2002 413p

[SBF,2015] Sociedade Brasileira de Física. Disponível em <[www.sbf.org.br](http://www.sbf.org.br)>

[Santos,1999] Santos, S. Qual é a música, São Paulo: SBT (Sistema Brasileiro de Televisão), 1999-2008, Programa de TV.

[Silva,2015] Silva, T. Ondas Mecânicas. Disponível em<<http://www.nordesttino.com/fisica/arquivos/apostila01.pdf>> acesso em 02 jan. 2015.

[Stress,2011] Blog Matemática sem Stress, 2011 Disponível em<<http://matematicasemstress.blogspot.com.br/>> acesso em 16 jan. 2014

[Tavares,2014] Tavares, F. Apostila de Física. Disponível em<[www.sbfisica.org.br/v1/index.php?option=com\\_content&view=article&id=270&Itemid=303](http://www.sbfisica.org.br/v1/index.php?option=com_content&view=article&id=270&Itemid=303)>acesso em 19 dez.2014

[Tipler,1984] Tipler, P.A. Traduzido por Macedo.H. Física. Rio de Janeiro:  
Editora Guanabara Dois, 2 edição, 1984 596p