INSTITUTO FEDERAL DE
EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA
RIO DE JANEIRO
Campus Nilópolis

Programa de Pós-graduação Stricto Sensu em Ensino de Ciências

Mestrado Profissional em Ensino de Ciências

Campus Nilópolis

Luiz Fernando Ferreira dos Santos

UMA SEQUÊNCIA DIDÁTICA PARA O ENSINO DE ACÚSTICA

Nilópolis – RJ

2016

Luiz Fernando Ferreira dos Santos

UMA SEQUÊNCIA DIDÁTICA PARA ENSINO DE ACÚSTICA

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Ensino de Ciências do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio de Janeiro, modalidade profissional, como parte dos requisitos necessários para obtenção do título de mestre em Ensino de Ciências.

Orientador: Prof. Dr. Alexandre Lopes de Oliveira

Nilópolis – RJ

2016

S237s Santos, Luiz Fernando Ferreira dos

Uma sequência didática para ensino de acústica / Luiz Fernando Ferreira dos Santos; Orientador: Alexandre Lopes de Oliveira. – Nilópolis, RJ: IFRJ, 2016.

103 f. : 30 cm.

Dissertação (Mestrado Profissional em Ensino de Ciências) – Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio de Janeiro. PROPEC, 2016.

1. Física – Estudo e ensino. I. Oliveira, Alexandre Lopes de orientador. II. Título

Luiz Fernando Ferreira dos Santos

UMA SEQUÊNCIA DIDÁTICA PARA ENSINO DE ACÚSTICA

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Ensino de Ciências do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio de Janeiro, modalidade profissional, parte dos requisitos necessários para obtenção do título de mestre em Ensino de Ciências.

Data de aprovação: 17 de junho de 2016.

Prof. Dr. Alexandre Lopes de Oliveira
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio de Janeiro (IFRJ)

Prof. Dr. Marcus Vinicius Tovar Costa
Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ)

Prof. Dr. Vitor Luiz Bastos de Jesus
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio de Janeiro (IFRJ)

Nilópolis-RJ
2016

Andréia, eu e você casados para sempre.

AGRADECIMENTOS

Gostaria de iniciar este espaço dando honra as primícias da minha vida que são do meu SENHOR. Que Deus seja louvado pelo encerramento desta etapa. Em segundo destaco três pessoas que contribuíram para conclusão deste trabalho e também merecem receber honra. A primeira é a minha esposa que por diversas vezes eu negligenciei minha atenção a ela e ao meu filho e do jeito dela soube suportar e me ajudar, eu te amo muito. A segunda é minha mãe que vem me apoiando desde o início da minha graduação. Seu apoio financeiro, moral e espiritual fez a diferença em diversos momentos durante o trabalho dessa pesquisa. A terceira é minha irmã, Glaucia. Ela me incentivou e sempre ajudou de forma técnica realizando correções ligadas à língua portuguesa e inglesa. Serei eternamente grato a todas vocês.

Quero destacar com muita satisfação, respeito e alegria o trabalho do meu orientador professor Alexandre Lopes de Oliveira para que eu chegasse ao final desta empreitada não só concluindo a escrita da dissertação, mas ajudando a forjar o espírito de um professor melhor para que os ensinos deste programa de pós-graduação não sejam apenas mais um curso ou etapa para alcançar um título. Vou levá-lo no meu coração para resto da minha vida. Sou extremamente agradecido também ao Roberto Chrysóstomo por sua criatividade nos desenhos da revista "A Física é uma onda". Foi ótima a escolha dos personagens.

Do PROPEC quero agradecer algumas pessoas por suas contribuições decisivas diretas e indiretas como a professora Giselle Rôças com quem trabalhei no projeto Novos Talentos e me ajudou bastante na disciplina metodologia de pesquisa, o professor Ophelio Walvy com quem a nossa turma de mestrado iniciou os estudos sobre a formação de professores de ciências e a professora Alcina Maria Testa Braz da Silva que contribuiu muito na área do currículo e depois com seus maravilhosos conselhos para as minhas tomadas de decisão na pesquisa todas as vezes que a abordava. Também agradeço a todos outros professores com quem tive aulas, pois todos foram importantes na minha formação.

Um agradecimento especial precisava deixar aqui também para o meu vizinho, amigo de infância e apoio técnico, Vinicius Flamarion, que gastou seus recursos com alguns experimentos, ficamos noites ajustando o material para uso nas atividades, sugeriu melhorias. Aprendi muito também com ele um grande e forte abraço para você amigo. Quero também deixar registrado meu grande agradecimento alguns colegas da turma de 2014 em especial a Krystina, Patricia Torres, Camille, Luiz Jorge e Luis Otávio obrigado pelos momentos bons e troca, conversa bate-papo e às vezes até discussões mais acaloradas, valeu mesmo por tudo.

Mas os que esperam no Senhor renovarão as forças, subirão com asas como águias; correrão, e não se cansarão; caminharão, e não se fatigarão.

Isaías 40:31 - Bíblia Sagrada

SANTOS, Luiz Fernando Ferreira dos. Uma sequência didática para ensino de acústica. 103 p. Dissertação de mestrado do Programa de Pós-graduação Stricto Sensu em Ensino de Ciências, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio de Janeiro (IFRJ), Campus Nilópolis, Nilópolis, RJ, 2016.

RESUMO

Nos dias atuais o problema ligado ao fato de existir um baixo interesse por parte dos alunos em estudar e aprofundar os conhecimentos da disciplina de física é de extrema relevância. As concepções prévias dos alunos indica uma irrelevância para com a disciplina que contrasta com as afirmações de especialistas sobre a importância do aprendizado da física. A experimentação no ensino de física tem finalidade de aprimorar o processo de aprendizagem. Pesquisas com essa temática têm grandes demanda. Percebe-se a existência de uma variedade de linhas de pensamento para o uso da experimentação no ensino. Entende-se que o aluno use o experimento para identificar as conexões do conteúdo com o mundo ao seu redor. Entretanto, para tal feito pensou-se em qual metodologia englobaria atividades que pudessem facilitar a aprendizagem significativa de temas ligados á acústica. Portanto, usou-se como aporte teórico a aprendizagem significativa juntamente com a estratégia de ensino utilizando a experimentação. O trabalho foi organizado utilizando três momentos pedagógicos para mapear o desenvolvimento do aluno. A formatação da pesquisa foi a de uma pesquisa participante. A sequência didática divide-se em: *1)* levantamento de concepções prévias, *2)* experimentos de ondas mecânicas estacionárias, *3)* construção de instrumento musical e ensino de acústica e *4)* fechamento e avaliação. As intervenções ocorreram em duas etapas. Uma em espaço não formal e duas em espaços formais. A sequência didática buscou comparar e avaliar a apreensão dos conceitos ensinados sobre acústica. Desenvolveu-se um material para trabalhar a sequencia didática e cada parte dela. Foi desenvolvida uma revista em formato HQ, um experimento com roteiro e atividade sugerida para tubo fechado e um roteiro de construção de instrumento musical. Quanto às concepções previas, existe um percentual maior na escola privada de alunos alinhados ao pensamento científico. A intervenção em espaço não formal ajudou no aperfeiçoamento das experimentações da sequencia. Com a sequencia estruturada verificou-se nas intervenções em espaços formais um percentual grande de alunos apontando nunca ter estudado o tema ondas e acústica até o momento. Esses alunos fazem comparações das caraterísticas das ondas sonoras com seu lado sensorial para discorrer sobre um evento. No colégio publico, há ocorrência de respostas que demonstram um conflito cognitivo, pois indicam características não pertencentes a uma onda sonora. A informação sobre a baixa relevância no ensino de física está presente no discurso de vários alunos. Os discursos dos alunos indicam que as aplicações da física estão limitadas a tarefas pontuais em seu cotidiano. Verifica-se então ser determinante criar atividades com foco em atrair o aluno. As atividades precisavam ser conduzidas com esse foco, visto que nelas os alunos tiveram mais interação e houve maior aproveitamento das tarefas. Na intervenção do espaço não formal, ocorreram tarefas simples, com menos rigor na realização. Entretanto, algumas atividades complexas foram realizadas com bastante interesse. Notou-se algum progresso na forma dos alunos abordarem o tema durante a sequência didática. De fato, suas respostas mostram pequeno avanço para um posicionamento científico. Esse fato aponta um progresso acadêmico de alguns alunos. Progresso esperado para todos futuramente.

Palavras-chave: acústica, ensino de física, experimentação.

SANTOS, Luiz Fernando Ferreira dos. A teaching sequence for teaching acoustics. 103P. Master's thesis of the Graduate Program Strict Sensu in Science Teaching, Federal Institute of Education, Science and Technology of Rio de Janeiro (IFRJ),Campus Nilópolis City, RJ, 2016.

ABSTRACT

Nowadays the problem linked to the fact that there is a low interest of students to study and deepen their knowledge of physical discipline is extremely important. The preconceptions of students indicates an irrelevance to the discipline that contrasts with the statements of experts about the importance of learning physics. Experimentation in physics education has purpose to improve the learning process. Research on this theme have great demand. It can be seen that there are a variety of lines of thought to use the teaching trial. It is understood that the student use the experiment to identify the content of the connections to the world around you. However, for such a feat he thought on what methodology would include activities that would facilitate meaningful learning will sound related issues. So if used as theoretical support meaningful learning with teaching strategy using experimentation. The work was organized using the three pedagogical moments to map the development of the student. Formatting the research was a participant research. The didactic sequence is divided into: 1) lifting preconceptions, 2) experiments stationary mechanical waves, 3) construction of musical instrument and sound education and 4) Closing and evaluation. The interventions occurred in two stages. One in non-formal space and two formal. The didactic sequence aimed to compare and evaluate the seizure of the concepts taught about acoustics. Developed a material to work the teaching sequence and each part of it. A magazine in HQ format was developed, an experiment with script and activity suggested for closed tube and a musical instrument construction script. Regarding preconceptions, there is a higher percentage in private school students lined up to scientific thinking. Intervention in non-formal space helped in the improvement of the trials of the sequence. With the structured sequence it was the interventions in formal spaces a large percentage of students pointing never having studied the subject and acoustic waves so far. These students make comparisons of the characteristics of sound waves with his sensory side to talk about an event. In public school, there is occurrence of answers that demonstrate a cognitive conflict; they indicate characteristics not belonging to a sound wave. Information on the low relevance in physics teaching is present in the discourse of several students. In the speeches of students indicate that physical applications are limited to specific tasks in their daily lives. It appears then be crucial to create activities with focus on attracting students. The activities needed to be conducted with this focus, since in them the students had more interaction and there was better use of tasks. In the intervention of non-formal space, there were simple tasks, with less rigorous achievement. However, some complex activities were carried out with considerable interest. It was noted some progress in the form of students approaching the subject during the teaching sequence. In fact, their answers show small advance for a scientific position. This fact points to an academic progress of some students. Expected progress for all future.

Keywords: acoustic, physics teaching, experimentation

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 3.1	Parte da estória que comenta acerca da importância da radiação na formação da vitamina D.	27
Figura 3.2	Parte da estória que mostra o personagem surfando e falando dos elementos da física neste esporte.	27
Figura 3.3	Tubo de Kundt montado e conectado ao computador.	28
Figura 3.4	Tubo fechado exibindo onda estacionária no seu modo fundamental frequência de 201 Hz.	29
Figura 3.5	Tubo fechado com onda no seu primeiro harmônico frequência 397 Hz.	29
Figura 3.6	Tubo fechado com onda no seu primeiro harmônico frequência 643 Hz.	29
Figura 3.7	Representação dos harmônicos (amplitude) no tubo fechado nas duas extremidades.	30
Figura 3.8	Formação dos vortex dentro do tubo e as estrias paralelas.	31
Figura 3.9	Frequências e timbres característicos por tipo de instrumento.	32
Figura 3.10	Escala pitagórica. Relação entre as frequências de cada nota musical.	32
Figura 3.11	O xilofone de garrafas. Cada uma das garrafas está afinada para uma nota musical.	33
Figura 4.1	Alunos preenchem questionários sobre concepções prévias.	37
Figura 4.2	Brinquedo sugerido para outras dinâmicas falando do assunto ondas.	38
Figura 4.3	Alunas do projeto aspiram o ar dos balões cheios de gás hélio e mesmo modificou suas vozes.	39
Figura 4.4	Alunos observando maquetes sobre propagação ondas no mar (á direita ao fundo) experimento do tubo de Kundt usado também neste encontro.	39
Figura 4.5	Palestra sobre a física da música.	40
Figura 4.6	Oficinas de instrumentos de percussão e de xilofone.	40
Figura 4.7	Alunos usando revista “A física é uma onda” para produzir os desenhos das histórias em quadrinhos.	51
Figura 4.8	À esquerda aluna manipulando experimento (xilofone de garrafas) e à direita o professor explicando funcionamento do instrumento.	58
Figura 4.9	Alunos preenchendo o questionário da aula 1.	55
Figura 4.10	História em quadrinhos feita pelos alunos na aula 1.	56
Figura 4.11	Alunos manuseando materiais na atividade experimental 2 da aula 2 referente ao tubo Kundt.	58
Figura 4.12	Aluno medindo altura de água na garrafa do xilofone.	59
Figura 4.13	Conjunto de garrafas que foram usadas na criação do xilofone.	60
Figura 4.14	Quadro comparativo das respostas questão 1.	65
Figura 4.15	Quadro comparativo das respostas questão 2.	66
Figura 4.16	Quadro comparativo das respostas questão 3.	66
Figura 4.17	Quadro comparativo das respostas questão 4.	67
Figura 4.18	Quadro comparativo das respostas questão 5.	67
Figura 4.19	Quadro comparativo das respostas questão 6.	68
Figura 4.20	Quadro comparativo das respostas questão 1.	69
Figura 4.21	Quadro comparativo das respostas questão 2.	69
Figura 4.22	Quadro comparativo das respostas questão 3.	70
Figura 4.23	Quadro comparativo das respostas questão 4.	71
Figura A.1	Representação da propagação das ondas circulares. As setas em verde	71

	indicam o sentido de propagação e λ o comprimento de onda.	
Figura A.2	Decomposição em séries de Fourier de uma onda sonora (Envelope do Som).	78
Figura A.3	Descrição da propagação de uma onda nos instantes t_1 e t_2 sua velocidade e posição no tempo.	80
Figura B.1	Revista “A física é uma onda” capa e contra capa.	82
Figura B.2	Revista “A física é uma onda” páginas 3 á 6.	83
Figura B.3	Revista “A física é uma onda” páginas 7 á 10.	84
Figura B.4	Revista “A física é uma onda” páginas 11 á 13.	86
Figura C.1	Detalhes técnicos do tubo acrílico construído para experimentação.	85
Figura C.2	Caixa de madeira contendo a placa amplificadora e fonte.	86
Figura C.3	Fragmentação do isopor no tamanho apropriado.	87
Figura C.4	Tubo de Kundt montado e conectado ao computador.	88
Figura D.1	Tubo de Kundt: representação das ondas estacionárias.	90
Figura D.2	Esquema da montagem do experimento com o tubo de Kundt.	89
Figura D.3	Configuração do programa Sweep Gen usada nesta atividade.	90
Figura G.1	Frequências e timbres característicos por tipo de instrumento.	94
Figura G.2	Xilofone de garrafas. Cada garrafa percutida emite o som de uma nota musical.	95
Figura G.3	Escala pitagórica . Relação entre as frequências de cada nota musical.	96
Figura H.1	Harmônicos em uma flauta transversal.	98
Figura H.2	Gráfico de frequências versus nível de intensidade sonora.	99
Figura H.3	Frente de Ondas entrando no canal auditivo.	99
Figura H.4	Geometria do canal auditivo, tubo sonoro aberto/fechado.	100
Figura H.5	Ossículos do ouvido médio.	100
Figura H.6	Ouvido interno propagação da onda (meio sólido para líquido).	101

LISTA DE TABELAS

Tabela 4.1	Questão 1 Aula 1.	45
Tabela 4.2	Questão 2 Aula 1.	46
Tabela 4.3	Questão 3 aula 1.	46
Tabela 4.4	Questão 4 aula 1.	47
Tabela 4.5	Questão 5 aula 1.	47
Tabela 4.6	Questão 6 aula 1.	48
Tabela 4.7	Questão 1 aula 2.	48
Tabela 4.8	Questão 2 aula 2.	49
Tabela 4.9	Questão 3 aula 2.	49
Tabela 4.10	Questão 4 aula 2.	49
Tabela 4.11	Questão 1 Aula 1.	53
Tabela 4.12	Questão 2 Aula 1.	53
Tabela 4.13	Questão 3 Aula 1.	54
Tabela 4.14	Questão 4 Aula 1.	54
Tabela 4.15	Questão 5 Aula 1.	54
Tabela 4.16	Questão 6 Aula 1.	55
Tabela 4.17	Questão 1 atividade experimental 1 aula 2.	56
Tabela 4.18	Questão 2 atividade experimental 1 aula 2.	57
Tabela 4.19	Questão 3 atividade experimental 1 aula 2.	57
Tabela 4.20	Questão 4 atividade experimental 1 aula 2.	57
Tabela 4.21	Questão 1 questionário de autoavaliação aula 4.	60
Tabela 4.22	Questão 2 questionário de autoavaliação aula 4.	61
Tabela 4.23	Questão 3 questionário de autoavaliação aula 4.	61
Tabela 4.24	Questão 4 questionário de autoavaliação aula 4.	62
Tabela 4.25	Questão 5 questionário de autoavaliação aula 4.	62
Tabela 4.26	Questão 6 questionário de autoavaliação aula 4.	63
Tabela 4.27	Questão 7 questionário de autoavaliação aula 4.	63
Tabela 4.28	Questão 8 questionário de autoavaliação aula 4.	63

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AS	Aprendizagem significativa
HQ	História em quadrinhos
IFRJ	Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio de Janeiro
SEEDUC/RJ	Secretaria de Estado de Educação do Rio de Janeiro
SD	Sequência didática

Sumário

1 INTRODUÇÃO 115

1.1 O ENSINO DE FÍSICA POR EXPERIMENTAÇÃO..... 115

1.2 A ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO **..... 18**

2 SOBRE OS PROCESSOS DE ENSINO-APRENDIZAGEM, APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA, CONCEPÇÕES PRÉVIAS DE ONDAS MECÂNICAS E A PESQUISA PARTICIPANTE..... 20

2.1 O QUE SE ENTENDE SOBRE OS PROCESSOS DE ENSINO-APRENDIZAGEM.....20

2.2 ELEMENTOS DA APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA.....20

2.2.1 O que se entende por aprendizagem significativa? 20

2.2.2 Elementos relevantes dentro da aprendizagem significativa..... 20

2.2.3 Organização sequencial e consolidação 21

2.3 A EXPERIMENTAÇÃO NO ENSINO DE FÍSICA COMO ESTRATÉGIA NA BUSCA POR UMA APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA.....21

2.4 CONCEPÇÕES ALTERNATIVAS SOBRE FÍSICA ONDULATÓRIA.....22

2.5. PESQUISA PARTICIPANTE: OBSERVAÇÃO E INTERVENÇÃO.....23

2.5.1 Ferramenta de coleta: A pesquisa-ação como recorte da pesquisa participante....23

2.6 COMENTÁRIOS SOBRE OS ELEMENTOS NORTEADORES DA PESQUISA 24

3. RECURSOS DIDÁTICOS-PEDAGÓGICOS E ESTRATÉGIAS PARA ENSINO DE ONDAS E ACÚSTICA..... 26

3.1 O DESENVOLVIMENTO DOS RECURSOS DIDÁTICOS-PEDAGÓGICOS.....26

3.1.1 Desenvolvimento da revista em formato de HQ 26

3.1.2 O tubo de Kundt 28

3.1.3 Construção do xilofone..... 32

4. OS DESDOBRAMENTOS DA PESQUISA..... 35

4.1 A INTERVENÇÃO NA PRIMEIRA ETAPA: NO PROJETO NOVOS TALENTOS..... 335

4.1.1 O projeto Novos Talentos no Ensino de Ciências.....36

4.1.2 A intervenção no projeto Novos Talentos 36

4.2 A INTERVENÇÃO NA SEGUNDA ETAPA: SEQUÊNCIA EM DOIS COLÉGIOS, UM ESTADUAL E OUTRO DA REDE PRIVADA.....41

4.2.1 Aplicação da sequência didática em um colégio público..... 42

4.2.1.1 Resultados dos questionários e relatos sobre as experiências.....44

4.2.1.2 Análise dos questionários da primeira e segunda aula das duas turmas do colégio público.....50

4.2.2 Aplicação da sequência didática em colégio da rede privada 51

4.2.2.1 Análises por aula da aplicação da sequência didática no colégio da rede privada..... 53

4.3 COMPARAÇÃO DOS CONHECIMENTOS ADQUIRIDOS ENTRE OS GRUPOS DE ESCOLARES COM UTILIZAÇÃO DA SEQUÊNCIA DIDÁTICA.....64
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....73
REFERÊNCIAS 775
APÊNDICE A FUNDAMENTOS SOBRE ONDAS MECÂNICAS.....78
APÊNDICE B. REVISTA A FÍSICA É UMA ONDA 81
APÊNDICE C. CONFECÇÃO DO TUDO DE KUNDT 885
APÊNDICE D. ATIVIDADE EXPERIMENTAL 1 TUBO DE KUNDT (AULA 2) 88
APÊNDICE E. SOBRE AS CONCEPÇÕES PRÉVIAS DE ONDAS (AULA 1) 92
APENDICE F QUESTIONÁRIO PARA ANÁLISE DE EXPERIMENTOS EM VÍDEO (AULA 2).....93
APENDICE G. CONSTRUÇÃO DE INSTRUMENTO MUSICAL XILOFONE (AULA 3).....94
APÊNDICE H. RELAÇÃO ENTRE OS INSTRUMENTOS MUSICAIS E A FÍSICA DO APARELHO AUDITIVO.....98
APÊNDICE I. AUTOAVALIAÇÃO E AVALIAÇÃO FINAL (AULA 4).....102

1 INTRODUÇÃO

Nas concepções dos alunos do ensino médio existem vários pontos consensuais no que diz respeito às dificuldades em apreender os conteúdos de física. Em um estudo exploratório de Ricardo e Freire (2007) verificou-se nas falas dos alunos que não se diferenciava quais conceitos podia-se atribuir a disciplina física e quais a matemática. Os alunos fazem citações que se restringem a aplicações diretas como determinados modelos matemáticos ou equações ligadas ao cotidiano como, por exemplo, a conversão de uma escala termométrica. Essas respostas emergem das indagações dos alunos a cerca da relevância do ensino da disciplina física para sua vida profissional e do dia a dia. O estudo também mostra que este problema está ligado diretamente ao fato de haver um baixo interesse em estudar e aprofundar os conhecimentos sobre a disciplina.

Em contraste com essas afirmações está o fato da existência de uma idéia consensual sobre a importância do aprendizado de física, isto porque essas concepções dos alunos não se alinham com as principais correntes de pensamento dentro da comunidade científica e tão pouco com o da sociedade como um todo.

1.1 O ENSINO DE FÍSICA POR EXPERIMENTAÇÃO

A proposta a ser desenvolvida neste trabalho visa auxiliar no ensino, trazendo a extratégia da experimentação em sala de aula como alternativa de trabalho. Essa estratégia será incorporada às práticas do docente. As atividades experimentais viriam como uma ferramenta de auxílio dentro do currículo das intuições de ensino. A utilização da experimentação em sala de aula como estratégia de trabalho não é nova. Esse tema com passar dos anos ainda é algo que tem grande centralidade nas pesquisas da sua área afim (GIORDAN, 1999).

Verifica-se no estudo de Araújo e Abib (2003) relatadas as diversas linhas ou correntes de pensamento sobre o uso da experimentação no ensino. Dentre essas correntes, a maior parte negligenciam aspectos metodológicos-experimentais, a saber: a natureza das demonstrações, as verificações e investigações, tal que sirvam para análise e melhoria do conteúdo que se é ensinado. Por que é dessa maneira que as atividades experimentais irão corroborar para que se tenha um ambiente mais propício á aprendizagem. Para essa análise, Araújo e Abib (2003) se basearam em nove anos de publicações, entre os anos de 1992 e

2001, dos bancos de publicações na Revista Brasileira de Ensino de Física e no Caderno Brasileiro de Ensino de Física. Segundo esses autores, a escolha desses repositórios se deu por concentrarem a maior parte das publicações especializadas em ensino de física do Brasil.

Foi concluído no estudo de Araújo e Abib (2003), sob os aspectos metodológicos nas propostas das experimentações, que a maior parte são obtidos de dados quantitativos. As atividades experimentais foram categorizadas em atividades demonstrativas fechadas, centradas na prática do professor, e outras em demonstrações do tipo abertas, em que o aluno é auxiliado em certas etapas duranto o processo da experimentação.

Para Araújo e Abib (2003), a simples aplicação de experimentações em sala de aula não traz uma contribuição positiva para a fixação dos conceitos dos conteúdos da física. Todavia, para que uso dessa estratégia seja positivo, o aluno deve estar inserido de forma ativa no trabalho. Essa participação mais ativa do aluno permitirá, durante a realização do experimento, o surgimento de concepções espontâneas e a oportunidade do professor explorar essas concepções no sentido de dar oportunidade ao aluno para refletir sobre sua prática, naquela atividade, e também melhorar aproveitamento na sua aprendizagem.

No estudo de Giani (2010), verifica-se uma baixa eficácia na aplicação das atividades experimentais oriundas da falta de problematização do fenômeno estudado pelo aluno. Isso acarreta em uma realização mecânica das etapas dos roteiros experimentais, ou seja, para o aluno, o objetivo da realização de certas atividades experimentais não fica muito claro. Isso poderia ocorrer com mais frequência nas demonstrações do tipo fechadas (GIANI, 2010).

Note que mesmo nas demonstrações do tipo fechadas, os alunos têm a possibilidade de assimilar conceitos. Os alunos nas experimentações do tipo fechadas, em geral, não têm liberdade para contestar as etapas e emitir posicionamento a respeito dela durante a sua realização. Entretanto, mais a frente os benefícios gerados pela realização dessas experimentações ficarão mais evidentes nas suas práticas de estudo (ARAÚJO e ABIB, 2013).

Um outro ponto de origem dos aparentes fracassos com a utilização das atividades experimentais advém das aulas do ensino fundamental, especificamente da disciplina ciências. O problema está relacionado ao despreparo e insegurança de alguns professores em conduzir atividades experimentais junto as suas práticas em sala de aula (URIAS E ASSIS, 2009). Com passar dos anos alguns desses alunos se tornam professores e trarão consigo as influências dessas posturas de mau uso da experimentação no ensino. Um professor com uma visão

equivocada das atividades experimentais, acaba adotando uma postura, em muitos momentos, de utilizar essas atividades semelhantes ao tipo livro de receita (ARAÚJO e ABIB, 2013).

A realização de práticas experimentais devem propiciar momentos de reflexão, críticas e retornos à teoria estudada, se distanciando, assim, da correlação das atividades experiementais com a abordagem puramente tecnicista do ensino. O modelo de ensino tecnicista terá suas atividades centrada em demonstrações fechadas, como um laboratório de verificação e confirmação de uma teoria previamente definida, o que sem dúvida, está muito distante das propostas de melhoria do ensino de física.

O professor que recorre com frequência ao uso da experimentação como uma ferramenta pode gerar uma contribuição importante para tornar o processo de aprendizagem atrativo. No momento em que o ensino de física se torna atrativo para o aluno, ele estará preparado, no final do nível médio, para o entendimento e reflexões sobre as contribuições da física para a construção do mundo contemporâneo (SÉRE et al*.,* 2003; RIO DE JANEIRO, 2012).

O modelo de escola tradicional tem características bem definidas como a busca pela igualdade entre os estudantes, formação de um cidadão disciplinado e que este cidadão tenha o mínimo de conhecimentos técnicos a fim de sua inserção no mercado de trabalho. As tendências educacionais de uma escola tradicional primam pelo método expositivo e de transmissão de conteúdos. O professor mantém certa distância do seu aluno como forma de criar um ambiente de respeito e ordem. Esse modelo de escola foi a base para os construtores da ciência moderna. Foi nessa escola que diversas gerações de cientistas, pensadores e ótimos profissionais surgiram. A escola tradicional ainda é uma tendência educacional vigente em diversas instituições de ensino (LEÃO, 1999). No entanto, entende-se que, atualmente, as propostas de trabalho por aulas puramente expositivas, a espelhar-se nas tendências extremamente tradicionais, não criam oportunidades para um ensino que gera conceitos e pensamentos baseados na reflexão dos fatos.

No decurso dos processos de ensino é de suma importância buscar a sua realização a partir de estratégias motivadoras. O ensino deve despertar a curiosidade e interesse por descobertas, novas ideias e um espírito inovador e de criatividade no educando. O trabalho experimental possibilita um acesso diferenciado aos conhecimentos científicos. Ele auxilia os alunos a se apropriarem dos conceitos físicos envolvidos na prática experimental, se essas estimularem a reflexão e os alunos participarem de forma ativa.

O currículo mínimo (RIO DE JANEIRO, 2012) da Secretária de Estado de Educação do Rio de Janeiro (SEEDUC/RJ) é um orientador curricular da prática docente nas escolas públicas dessa secretaria. Percebe-se que em sua proposta ocorre a priorização de certos conteúdos. Os conceitos de física ondulatória são estudados nos dois últimos bimestres do terceiro ano do ensino médio. Isso corrobora para que apenas ao final do último bimestre o professor realize uma análise das competências e habilidades que relacionam a diferenciação dos conceitos de onda, a compreensão das suas propriedades ligadas a fenômenos sonoros e a importância da sua utilização nas mais diversas aplicações em nosso cotidiano.

O presente trabalho pretende contribuir para tornar o ensino de física, em particular o ensino de acústica, um processo executado de forma investigativa tal que o aluno reconheça a física como uma ciência construída ao longo da história por processos culturais e científicos. O aluno deve identificar quais conexões existem do conteúdo com o mundo ao seu redor. Sendo assim, existe uma preocupação em ensinar a física buscando a formação de um cidadão, capaz de pensar criticamente a respeito de assuntos de variadas temáticas relevantes para si e para outrem (BRASIL, 2002). A questão que este trabalho levanta é: qual grupo de atividades possibilita ou facilita uma aprendizagem de conceitos de acústica com alunos do terceiro ano ensino médio? A estratégia da experimentação é inserida como ponto principal em todas as etapas. Na busca por executar tais atividades elegeu-se os objetivos específicos, a saber:

- Motivar o aluno a perceber os conceitos de acústica e ondas como aqueles que permeiam sua vida e que eles possam dar relevância na apreensão dos mesmos;
- Mapear as concepções prévias dos alunos sobre ondas (características gerais e específicas);
- Buscar maior diferenciação dos conceitos de onda e acústica para propiciar ancoragem dos mesmos com os novos conceitos sobre estes temas que serão apresentados;
- Adequar as práticas pedagógicas e metodológicas de trabalhado aos prazos e períodos para aplicação das aulas de física nas turmas de ensino médio.

1.2 A ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

A dissertação aborda os aspectos da experimentação como estragégia central do docente. Para tal a introdução deste trabalho inicia uma discussão sobre os impecílios e pontos

polêmicos dentro do ensino de física. As concepções dos alunos de ensino médio sobre ensino de física apontam para possíveis dificuldades ligadas a visões distorcidas sobre a disciplina, confusão entre conteúdos de física e de matemática além de mostrar uma idéia equivocada sobre a importância de estudar a disciplina física. A discussão neste primeiro capítulo será sobre pontos positivos e negativos com a utilização da experimentação no ensino de física.

No segundo capítulo, apresenta-se o aporte teórico usado para discutir as relações de ensino-aprendizado. Realizou-se um detalhamento sobre os aspectos relevantes da aprendizagem significatica referentes a este trabalho. Os pontos centrais sobre a experimentação dentro da pespectiva da aprendizagem significativa foram desenvolvidos neste capítulo também. Levou-se em conta as concepções prévias dos alunos. A pesquisa realizada neste trabalho adotou a metodologia de pesquisa-ação como recorte na pesquisa participante.

No terceiro capítulo, está o desenvolvimento da física envolvida nos materiais educacionais criados para realizar este trabalho de pesquisa. Foram criados materiais para realização de uma sequência didática focada em ondas sonoras. Detalhou-se os objetivos de cada parte do material. Foi criada uma revista com formato de história em quadrinhos (HQ) para abordar inicialmente os fundamentos da física ondulatória. Foi elaborado um material para experimentação de ondas estacionárias em um tubo fechado. Nos apêndices desta dissertação constam os detalhes técnicos para elaboração do experimento. Foi criado um roteiro para montar e afinar um instrumento musical. As atividades de montagem deste instrumento visam mostrar as qualidades das ondas sonoras que são timbre, altura e nível de pressão sonora. Todas as atividades experimentais auxiliaram na construção de elementos na compreensão dessas qualidades explicitadas.

No quarto capítiulo, é apresentado como foi desdobrada a pesquisa. Os locais onde as intevenções foram realizadas. A pesquisa foi realizada em dois espaços formais e um não formal de ensino. A primeira intervenção ocorreu em espaço não formal que foi o Projeto Novos Talentos no Ensino de Ciências. As outras duas foram em uma escola pública e uma em escola privada. Realizou-se neste capítulo o detalhento das intervenções, as informações coletadas e as análises de cada uma delas. No final do capítulo, temos as estatísticas do comparativo entre as duas intervenções feitas nos espaços formais com a sequência didática.

No quinto capítulo, são expostas as condiserações finais a cerca de todo o trabalho e as pespectivas de continuidade desta pesquisa e os pontos com possibilidade de maior aprofundamento.

2 SOBRE OS PROCESSOS DE ENSINO-APRENDIZAGEM, APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA, CONCEPÇÕES PRÉVIAS DE ONDAS MECÂNICAS E A PESQUISA PARTICIPANTE

2.1 O QUE SE ENTENDE SOBRE OS PROCESSOS DE ENSINO-APRENDIZAGEM

Toda vez que se fala de aprendizagem está se falando de como o indivíduo lida com conhecimentos. Entende-se por conhecimento todo conceito, ideia, modelo ou fórmula criada para dar significado a algum fenômeno observado, esperado ou previsto. O significado para tais fatos está nas pessoas e não nos objetos. A atribuição dos significados aos conhecimentos ocorre através da linguagem. O conhecimento se manifesta através da linguagem que pode ser escrita, oral ou iconográfica. A chave para compreender um conteúdo de uma disciplina é conhecer sua linguagem (MOREIRA, 2011, p. 61). Por conseguinte, no processo de ensino de algum conhecimento o que ocorre é a criação de mecanismos para tornar essas informações, pensamentos e os dados de diversas naturezas em algo com significado a estes aprendizes.

2.2 ELEMENTOS DA APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA

2.2.1 O que se entende por aprendizagem significativa?

Entende-se como aprendizagem significativa (AS) o processo que ocorre entre a estrutura cognitiva do aprendiz e o material potencialmente significativo para sua aprendizagem de modo não arbitrário. Esta não arbitrariedade se manifesta com base nas conexões criadas com as realidades dos aprendizes com o conteúdo ensinado. Os novos conceitos que serão apreendidos pelo aluno devem relacionar-se, de forma não arbitraria, aos conceitos dentro da sua estrutura cognitiva e assim servirão de ancoragem para os outros. Esses conceitos, presentes na estrutura cognitiva do aluno, recebem na perspectiva Ausubeliana, o nome de subsunçor (MOREIRA, 1999; MOREIRA, 2011; AUSUBEL, 2000).

2.2.2 Elementos relevantes dentro da aprendizagem significativa

Para Ausubel (2000), os conhecimentos respeitarão níveis de abstração e generalização de conceitos. Percebe-se nesse nível de abstração e generalização que há uma

relação de subordinação entre conceitos não arbitrários específicos a uma dada situação e conceitos mais gerais. Portanto, esse processo de aprendizagem recebe o nome de aprendizagem subordinada (MOREIRA, 1999).

Em um processo bem menos comum, temos a chamada recombinação e reconciliação de conceitos já presentes do aprendiz. À essa aprendizagem será chamada de aprendizagem superordenada (MOREIRA, 1999).

Toda vez que temos conceitos ou proposições que não podem ser subordinados ou superordenados a outros conceitos, chamamos de aprendizagem combinatória. A aprendizagem combinatória ocorre em conceitos muito gerais atribuídos a diversas situações como massa, volume, calor, energia entre outros (MOREIRA, 1999).

Existe um princípio adotado na teoria da AS que fala sobre um ordenamento progressivo das ideias. Essas ideias, já diferenciadas, são mais fáceis de serem assimiladas para se chegar a uma mais geral. As relações de similaridade e diferenças entre ideias mais gerais são chamadas de reconciliação integrativa que pode ser considerada uma etapa seguinte do processo de diferenciação progressiva (AUSUBEL, 2000; MOREIRA, 1999).

2.2.3 Organização sequencial e consolidação

Seguindo o processo de diferenciação progressiva, um conceito importante é o de organização sequencial, que nada mais é que um processo de hierarquização dos conceitos e conteúdos ou ordenação em tópicos e seções. Portanto, a consolidação da aprendizagem irá ocorrer quando a organização sequencial sofrer a diferenciação. Para a perfeita conexão dos processos, precisa-se ter a garantia de que os conhecimentos prévios foram modificados durante a aprendizagem dos conceitos, portanto, diferenciados e reagrupados para uma consolidação desta aprendizagem (MOREIRA, 1999).

2.3 A EXPERIMENTAÇÃO NO ENSINO DE FÍSICA COMO ESTRATÉGIA NA BUSCA POR UMA APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA

Entende-se que a experimentação auxilia na apreensão dos conceitos ensinados ao aluno. No entanto, deve-se ter cuidado quando as orientações teórico-metodológicas da atividade prática. Por exemplo, numa atividade prática, ao observar um fenômeno, extrair resultados e compará-los com as teorias vistas em sala de aula, o aluno poderá ser levado a

resultados diferentes do esperado. Muito razoável, uma vez que um experimento feito de forma descomprometida, às vezes, não possibilita o controle de todas as variáveis do processo.

A experimentação contribui para o processo de construção do pensamento científico, pois a prática permite ter ocorrência de falhas no processo (MELLO, 2011). O erro conduz ao estudante a estar comprometido com a aprendizagem, visto que nesse processo ocorre a quebra da sequência lógica entre o que se calcula e as medidas feitas na atividade (GIORDAN, 1999).

Nota-se que os nossos conhecimentos são processos construídos, passando por situações de acomodação e assimilação (MOREIRA, 1999; MOREIRA, 2011; HAJRA, 2013). As atividades experimentais não podem se restringir a etapas fechadas e regras extremamente determinadas, pois isso limitará a atuação do aprendiz. Sendo limitada ação desse aprendiz, ocorre uma impossibilidade para a manifestação de suas concepções espontâneas. Portanto, não se permitirá a criação de momentos de reflexão e aprofundamento dos conhecimentos teóricos (ARAÚJO e ABIB, 2003).

2.4 CONCEPÇÕES ALTERNATIVAS SOBRE FÍSICA ONDULATÓRIA

As recentes teorias sobre ensino-aprendizagem entendem que o estudante não é uma peça estática frente a dinâmica escolar. Entende-se que aquilo que aluno já sabe afeta o que lhe será ensinado. Quando um conceito ainda não foi sistematicamente apresentado para os alunos, os mesmo se valem de observação e interação para formar seus próprios modelos explicativos (AUSUBEL, 2000).

Em relação à física ondulatória percebe-se, em estudo recente de Gobara et al. (2007), que os alunos conseguem identificar esse fenômeno pelos seus sentidos e de representações gráficas em seu cotidiano. Nesse estudo, os desenhos e esquemas feitos pelos alunos mostram que eles associam a propagação das ondas ao transporte de matéria associado à energia. Esses alunos reconhecem a onda do mar como fenômeno ondulatório, porém não é atribuído a esse fenômeno ao som gerado pelas ondas do mar. Verifica-se também, nesse estudo, que existem concepções originadas do linguajar popular, porque nas escritas aparecem termos como "onda de calor" e "onda de frio".

Segundo a visão científica predominante, os conceitos de onda não são os que prevalecem nas concepções dos alunos participantes do artigo de Gobara et al. (2007). Existe

uma necessidade de reorientar as concepções desses alunos e mostrá-los como o fenômeno da propagação da onda acontece executando uma reordenação e exemplificação desses fenômenos.

2.5 PESQUISA PARTICIPANTE: OBSERVAÇÃO E INTERVENÇÃO

É importante destacar que os mecanismos adotados para realizar um trabalho de pesquisa como os passos metodológicos e a escolha dos instrumentos de coleta perfazem um conjunto de pontos importantes para qualquer trabalho. Quando se fala de pesquisa dentro de uma sala de aula, entende-se que não são todas as ações executadas pelo professor na sua prática diária. No entanto, esse docente deve planejar e elaborar as estratégias para aplicação de um trabalho de pesquisa em sua sala de aula, ciente de sua condição de componente observador dos fatos e que também é capaz de alterar decisivamente na realidade de sua pesquisa (DEMO, 1984).

A pesquisa participante tem um caráter investigativo do viés social juntamente com o pedagógico que coloca os dois em ação. Nesse caso, não está se explorando ou simplesmente coletando informações já que o professor tem um envolvimento indissociável com as rotinas e práticas do trabalho (DEMO, 1984).

Através da revisão de alguns trabalhos de autores que abordam o tema experimentação em ensino de física (GIORDAN, 1999; VIEIRA et. al., 2014; HAJRA, 2013; SILVA & ROCHA FILHO, 2010) almeja-se evidenciar o caráter relevante para ensino das experimentações em sala de aula como estratégia de intervenção dentro das aulas de física. As atividades experimentais forneceram as ferramentas que realizarão a transposição didática dos conceitos importantes da temática de física ondulatória ao ensino. Busca-se transpor os conhecimentos teóricos presentes na literaturas para o nível de entendimento que os alunos acessem de forma clara e concisa. Os conceitos basilares da física ondulatória trabalhados nas atividades experimentais são compreendidos como primordiais para entendimento dos fenômenos ligados à acústica.

2.5.1 Ferramenta de coleta: A pesquisa-ação como recorte da pesquisa participante

A literatura mostra que em um trabalho de pesquisa-ação coexistem variados estilos de aplicação do projeto, realização e da análise do mesmo, devido á existência de um cenário de

trabalho multiparadigmático. Esse cenário da pesquisa foi sendo alterado com passar dos anos e adaptado conforme as realidades regionais e peculiaridades dos alunos da época. Entende-se que o trabalho de pesquisa usando a metodologia da pesquisa-ação segue uma perspectiva de trabalho que objetiva transformar a realidade em que este pesquisador está inserido. O que na literatura se denomina pesquisa participante tem muitos pontos em comum com a chamada pesquisa-ação. Essa intervenção denominou-se como de pesquisa-ação por que existem aprimoramentos das práticas consolidadas de alunos e professores juntamente com a superação de diversos paradigmas existentes (BARBIER, 2007).

Na observação participante precisa-se ter a ciência de que o trabalho é repleto de situações permeadas de incertezas não passíveis de controle, mas que precisam de avaliação local desses processos para seguir com o trabalho. Os participantes fazem as atividades guiadas pelo pesquisador. A cada etapa terá algum registro escrito, de esquema ou fotográfico das tarefas. A maneira como se lida com as posições dos participantes, muita vezes contrária ao trabalho, mostrará o quanto pode ser confiável as intervenções do pesquisador naquele grupo. Todo o grupo deve ter noção dos limites do trabalho, dos impactos nas suas vidas e das situações de singularidade que envolve a referida pesquisa. Os resultados alcançados com aqueles alunos deveriam ser transmitidos para o mesmo. No final da pesquisa a intenção é gerar um momento de reflexão sobre como o assunto foi estudado. Esse momento de reflexão auxilia na consolidação dos conhecimentos do grupo participante (os alunos) e contribui para o trabalho do pesquisador (BARBIER, 2007).

2.6 COMENTÁRIOS SOBRE OS ELEMENTOS NORTEADORES DA PESQUISA

Esse trabalho se ateve em criar mecanismos para compreender os processos de aprendizagem, ou seja, como eles se consolidam. Para tal, foi preciso compreender como ocorre o processo de hierarquização dos conhecimentos dos aprendizes segundo a teoria da AS através de uma metodologia que avaliou os mesmos de forma continuada. As informações extraídas a cada intervenção auxiliaram na reorientação das estapas seguintes da pesquisa.

As intervenções que este trabalho se propõe a fazer se iniciaram com a identificação dessas concepções que os alunos trazem consigo sobre o assunto. Também é preciso explicitar no presente trabalho quais ideias consideradas como cientificamente aceitas. As concepções científicas foram comparadas com as dos alunos em cada atividade. Sendo assim, era

necessário falar sobre os elementos importantes da física ondulatória e suas concepções alternativas.

Nesse trabalho foi usado um aporte teórico-metodológico de uma pesquisa participante devido o caráter observacional intervencionista decisivo do professor que realiza a pesquisa. A análise das informações coletadas no trabalho foi executada usando um recorte dentro da metodologia proposta, este recorte se enquadra nos moldes de uma pesquisa-ação. Isto por que essa metodologia visa aprimorar a essa prática do docente.

3. RECURSOS DIDÁTICOS-PEDAGÓGICOS E ESTRATÉGIAS PARA ENSINO DE ONDAS E ACÚSTICA

Discorre-se, neste capítulo sobre o desenvolvimento dos materiais e as estratégias capazes de auxiliar no ensino-aprendizagem, em sala de aula, envolvendo os conteúdos básicos de ondas e acústica. Para tal feito foram desenvolvidos recursos didáticos-pedagógicos diversificados para cada etapa das intervenções.

Na seção 3.1 são descritos os recursos didáticos desenvolvidos para se trabalhar os conceitos básicos de ondas sonoras[1].

Na seção 3.2 está descrito o mapeamento sobre aplicação dos recursos seguindo o modelo dos momentos pedagógicos (GEHLEN, 2012).

3.1. O DESENVOLVIMENTO DOS RECURSOS DIDÁTICOS-PEDAGÓGICOS

3.1.1 Desenvolvimento da revista em formato de HQ

Para abordar os conceitos básicos de física ondulatória desenvolveu-se uma revista em formado de história em quadrinos (HQ), intitulada “A física é uma onda”. Essa revista foi idealizada como primeiro material de trabalho por conter conceitos básicos da física ondulatória, de forma ilustrada.

A estória dessa revista conta o diálogo entre dois personagens numa praia, um senhor e um menino. Com intensão de abordar a relação dos esportes com a física, mostra-se o personagem mais jovem em cima da onda no mar surfando criando uma conexão entre a física, como ilustrado na figura 3.1. Seus diálogos tratam das características gerais das ondas, como por exemplo uma conceituação para o termo onda, a natureza das ondas que trata da diferença entre uma onda eletromagnética e uma mecânica, os tipos de onda longitudinal e transversal. No Apêndice B, tem a reprodução dessa revista.

[1] O Apêndice A contém notas sobre fundamentos de ondas mecânicas.

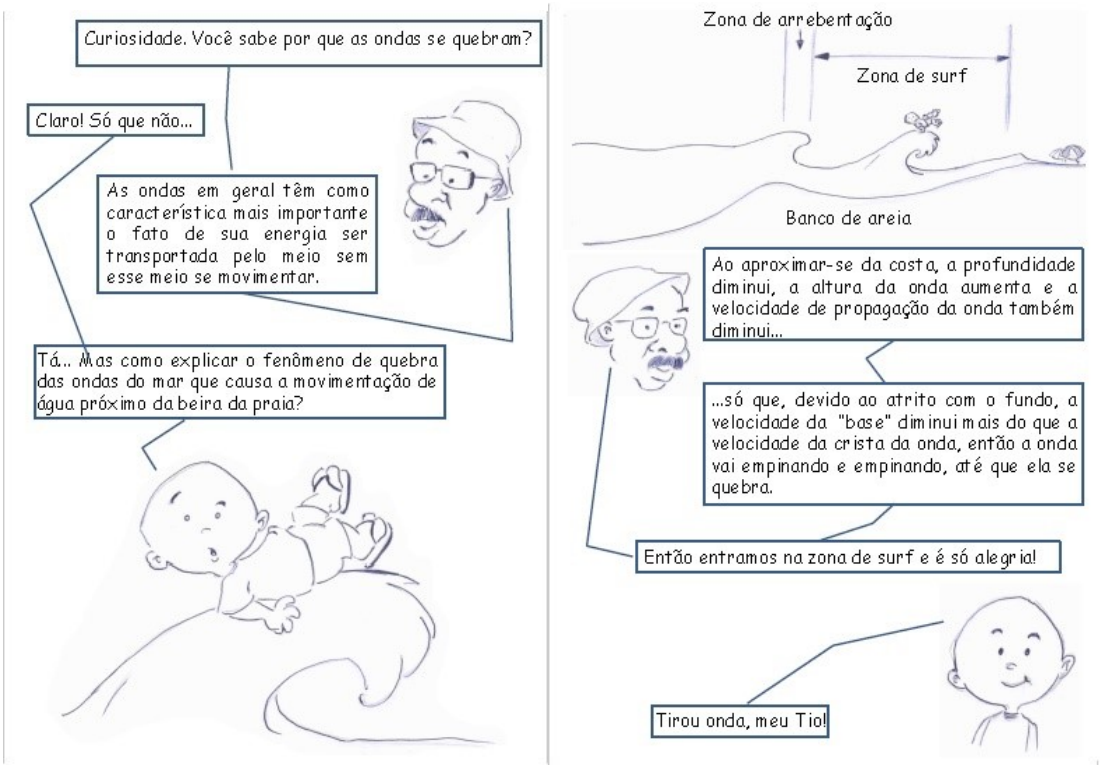

Figura 3.1 Parte da estória que mostra o personagem surfando e falando dos elementos da física neste esporte.

A revista também aborda assuntos de outras áreas disciplinares como biologia, isso é verificado ao se relacionar a geração de vitamina D com raio ultravioleta, como ilustrado na figura 3.2.

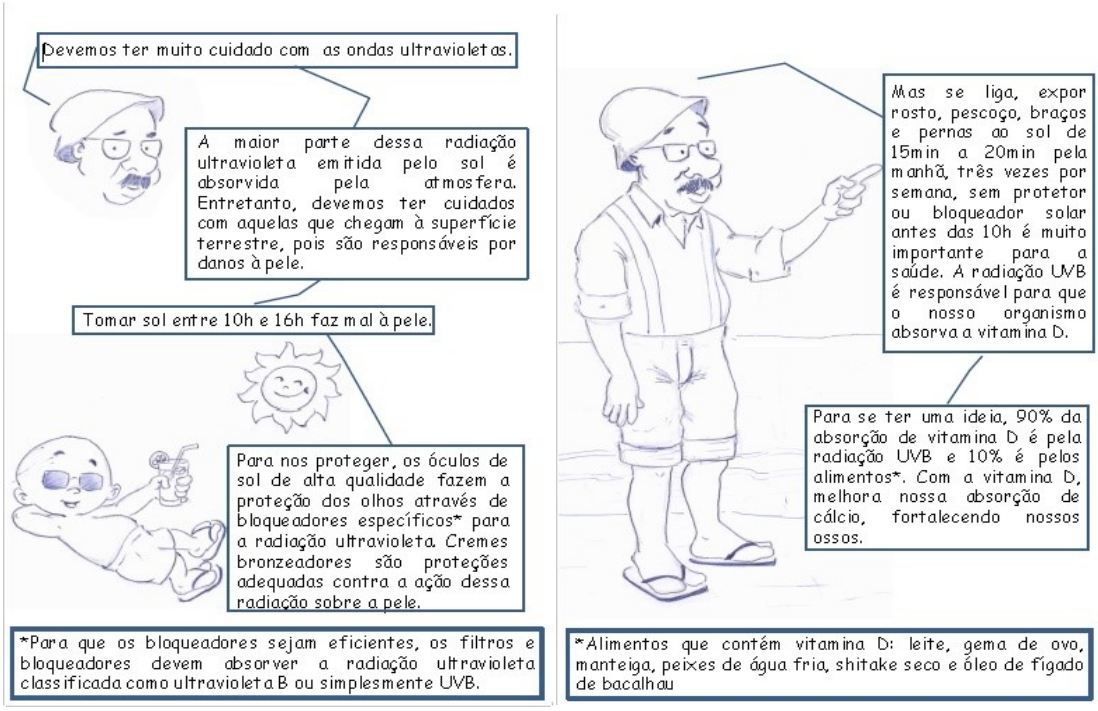

Figura 3.2 Parte da estória que comenta sobre a importância da radiação na formação da vitamina D.

Em linhas gerais, a revista age como componente motivador para iniciar a interlocução com os alunos se valendo de uma linguagem iconográfica.

3.1.2. O tubo de Kundt

Com a finalidade de se estudar ondas estacionárias, confeccionou-se um experimento com tubo fechado nas duas extremidades chamado de tubo de Kundt. Os artigos abordados em Vieira et al. (2014), sobre o tema tubos sonoros, apresentam experimentos, acompanhados de montagens e roteiros para um tubo de tamanho grande de forma que as atividades realizadas com o mesmo fossem realizadas e observadas a distâncias maiores que 1 metro. Entretanto, isso exigia um gerador das ondas sonoras que produzem sons de muita intensidade sonora. Esse fato demanda uso de equipamentos de proteção a todos participantes da atividade. Essa exigência não caberia dentro da realidade da maioria dos espaços de estudo, escolas, centros de exposição.

O experimento se resume ao tubo com material leve dentro, autofalante e o seu gerador de sinais sonoros. Os detalhes da confecção do tubo de Kundt estão no Apêndice C. Olhando para as necessidades de um experimento que fosse realizado em sala de aula comum o presente trabalho foi idealizado com tubo de acrílico de 100 cm. Um tubo até esse tamanho não demanda uma aparelhagem de som com muita intensidade sonora. Dentro do tubo tem um material leve que será deslocado pela energia sonora. No presente trabalho foram utilizados grãos de isopor. Uma extremidade do tubo permanece sempre tampada, a outra extremidade tem acoplado ao tampão um autofalante. O autofalante está ligado ao computador.

Para gerar sinais sonoros (emissão de som em frequências definidas) do computador para o autofalante, utilizou-se o programa *Sweep Gen*[2], versão 3.6.2.32. Os detalhes sobre a utilização do programa, ver Apêndice D.

Figura 3.3 Tubo de Kundt montado e conectado ao computador Fonte: Acervo do autor.

[2] Programa gratuito usado para gerar sinais sonoros no tubo. Disponível para download em http://www.brothersoft.com/sweepgen-162469.html acessado em 05.04.2016

Com o experimento do tudo de Kundt é possível fazer medições do comprimento da onda sonora encerrada no tubo. Pode-se observar na figura 3.4, dentro do tubo, a onda harmônica no seu estado fundamental. Esta característica é identificada pela presença de um único e grande anti-nó central gerado com acúmulo dos grãos de isopor no interior do tubo. Na figura 3.5, a onda sonora tem seu primeiro harmônico onde se identifica dois grandes anti-nós; enquanto na figura 3.6 o segundo harmônico com três grandes pontos de acúmulo do material.

Com experimento de tubo fechado foi possível representar uma onda harmônica visualizando, com razoável precisão, o que se entende ser o comprimento de onda até o oitavo harmônico. Percebeu-se que a eletricidade estática gerada pelo atrito do isopor dentro do tubo impede maior precisão para a medida após o segundo harmônico. O problema da estática pode ser minimizado usando um altofalante mais potente do que o usado nesta pesquisa. Entretanto, os participantes da atividade precisaram usar material de proteção individual durante a experiência.

Figura 3.4 Tubo fechado exibindo onda estacionária no seu modo fundamental frequência de 201 Hz

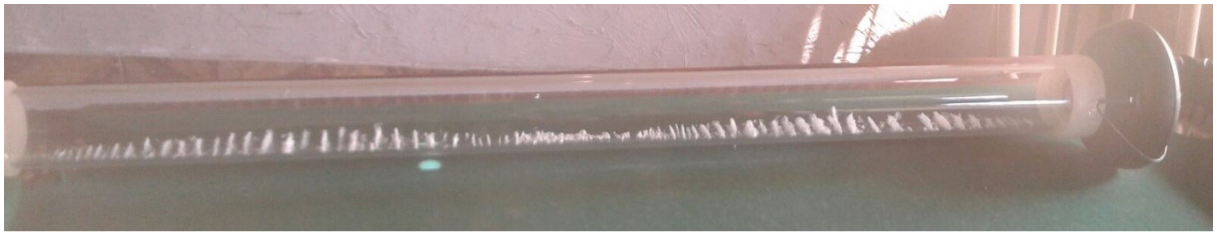

Figura 3.5 Tubo fechado com onda no seu primeiro harmônico frequência 397 Hz

Figura 3.6 Tubo Fechado com onda no seu segundo harmônico frequência de 643 Hz

A velocidade do som pode ser calculada pela temperatura[3] do ambiente. Pode-se utilizar as informações da frequência da onda sonora gerada dentro do tubo, através do software gerador de sinais *Sweep Gen*.

Uma sugestão de atividade para ser realizada é a de comparar os valores da velocidade do som dentro do tubo e no ar. Ao se efetuar a medida da distância entre os anti-nós (região mais concentração de material) determina-se o valor do comprimento de onda dentro do tubo através de uma medida direta neste experimento o que possibilita calcular a velocidade do som de outra maneira. Na figura 3.7, observa-se o desenho dos padrões esperado de cada harmônico da onda sonora.

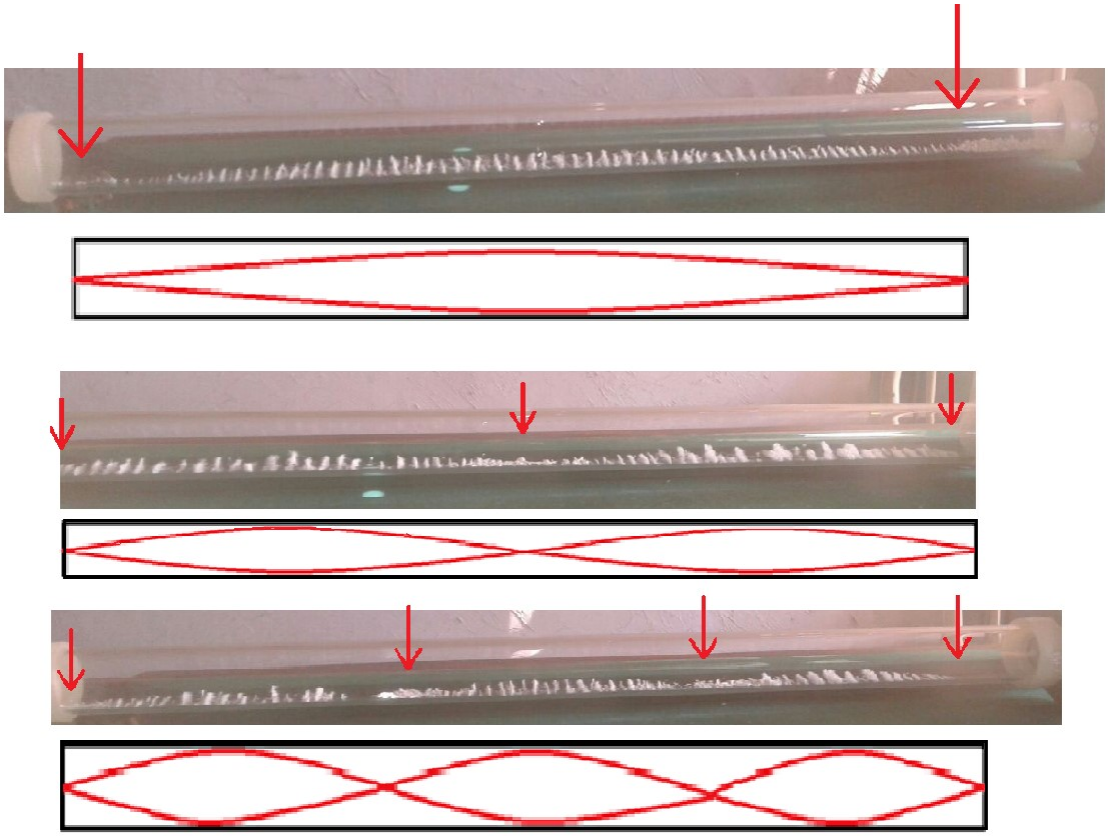

Figura 3.7 Representação dos harmônicos (amplitude) no tubo fechado nas duas extremidades. De cima para baixo, temos o modo fundamental, primeiro e segundo harmônicos, onde as setas indicam os nós.

O experimento do tubo de Kundt permite que os alunos percebam visualmente o padrão das ondas estacionárias em um tubo fechado na duas extremidades. Sendo assim, através de dados disponibilizados para a atividade pode-se calcular a velocidade de propagação do som no tubo, pois se tem a frequência e o comprimento da onda. Com a

[3] Velocidade de propagação do som calculada a partir da temperatura $v = 20{,}04\sqrt{T}$, sendo T é a temperatura informada em graus Kelvin (K) (SAAB et. al., 2003).

medida do tamanho do tudo sonoro é possível também estimar para quais valores de frequências pode-se esperar a formação de padrões de ondas estacionárias naquele tubo. A frequência (*f*) para cada padrão de harmônico é dada por

$$f = \frac{n.v}{2L}, \tag{3.1}$$

sendo *n* o número de harmônico, *v* a velocidade de progação som no meio e *L* o comprimento do tubo.

Devido ao tipo de material usado dentro do tubo acrílico, o experimento tem algumas limitações. A energia sonora contida no tubo não é suficiente para quaisquer padrões de harmônicos obtidos através da equação 3.1.

Optou-se por utilizar o isopor por ser um material leve. Porém, deve-se ter atenção ao usá-lo, pois seu movimento gera atrito e que causa o efeito de estática aglomerando os pedaços do isopor atrapalhando o fenômeno da formação das ondas estacionárias dentro do mesmo.

Note que nas figuras 3.4 – 3.7 ocorrem alinhamentos paralelos de isopor, chamados de estrias de Kundt (CARMAN, 1955). Essas estrias são formadas pelo efeito de vortex, ilustrados na figura 3.8

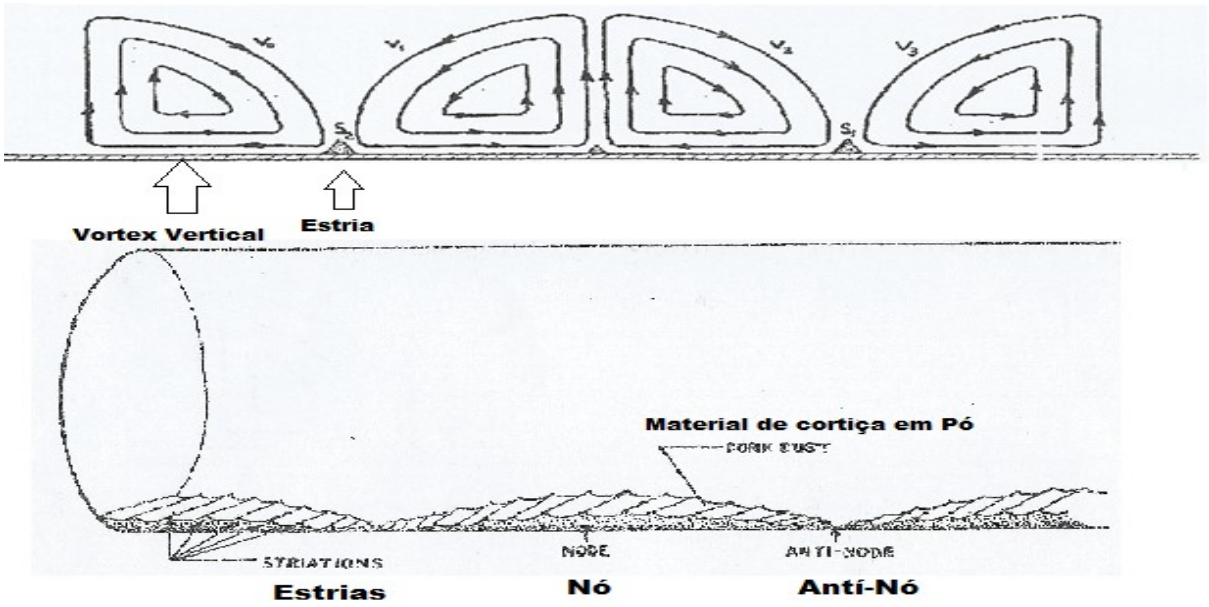

Figura 3.8 Formação dos vortex dentro do tubo e as estrias paralelas (CARMAN, 1955).

Como o critério de escolha para o experimento foi observar as ondas estacionárias segundo previsto na teoria de um tubo fechado nas duas extremidades, a pesquisa não se deteve no surgimento de fenômenos hidrodinâmicos que geram as chamadas estrias de Kundt.

Esse fenômeno não é foco principal da pesquisa deste trabalho e por isso, não foi o objetivo tratar com esse nível de detalhamento a formação dessas estrias.

3.1.3. Construção do xilofone

O xilofone é um instrumento que emite sons ao ser percutido com uma vareta rígida, fazendo vibrar dentro dele as moléculas do ar. Por esse instrumento as qualidades das ondas sonoras como timbre, altura e nível sonoro podem ser abordadas.

Utilizando materiais de baixo custo foi idealizado um instrumento musical que recebe o nome de xilofone, construído com modelo de tubo aberto-fechado. Utilizou-se um conjunto de 7 garrafas de vidro. Note que esse instrumento também pode ser elaborado com copos ou até algum objeto feito de vidro, como jarros de planta com altura superior a 25 cm.

Cada instrumento musical tem seu espectro de frequências característico como representado na figura 3.9. Na figura 3.10, temos a relação entre cada uma das notas musicais, a escala pitagórica, exibindo o seus intervalo entre elas.

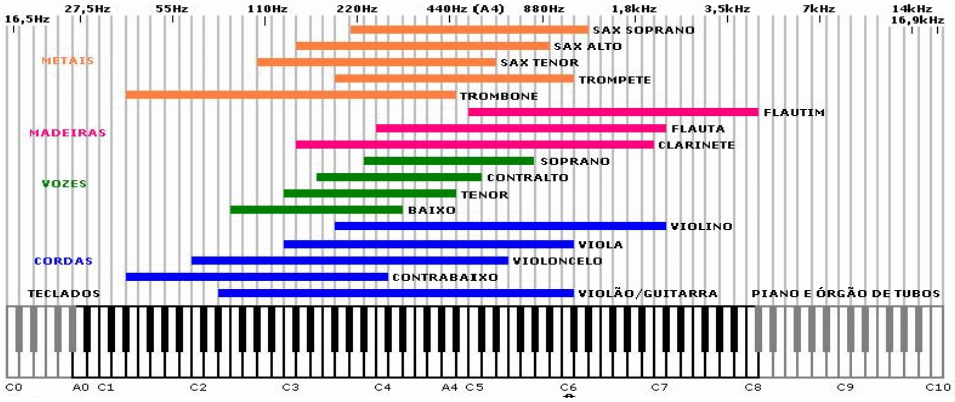

Figura 3.9 Frequências e timbres característicos por tipo de instrumento.
Fonte: http://www.monolitonimbus.com.br/resumao-de-musica-classica/

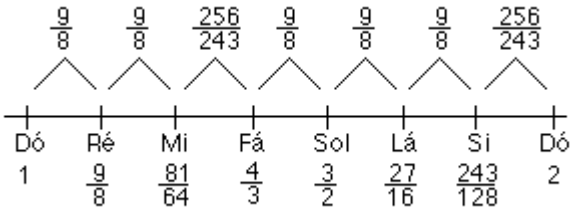

Figura 3.10 Escala pitagórica. Relação entre as frequências de cada nota musical.
Fonte: http://www2.eca.usp.br/prof/iazzetta/tutor/acustica/escalas/pitagorica.html

Na figura 3.11, temos o instrumento montado e ajustado para a escala musical pitagórica de sete notas e uma oitava.

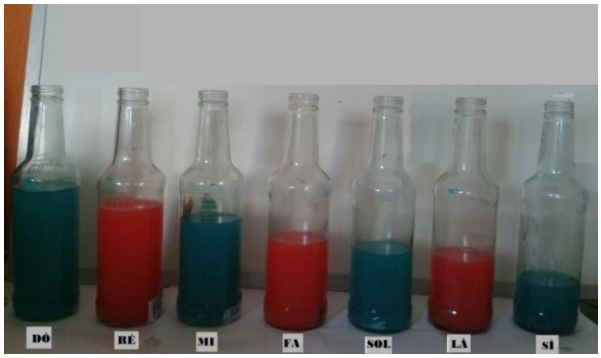

Figura 3.11 O xilofone de garrafas. Cada uma das garrafas está afinada para uma nota musical.

Na construção do xilofone é importante determinar primeiro qual será a frequência padrão. A frequência padrão utilizada foi o da nota Dó. Para efetuar a afinação das frequências do instrumento pode-se utilizar um programa gratuito chamado de Afinador CifraClub[4]. A partir da frequência padrão, calcula-se a frequência das outras notas musicais correspondentes para cada garrafa, usando a escala pitagórica.

Para preencher este espaço na garrafa e obter altura calculada deve-se colocar água ou outro líquido similar até altura obtida. Recomenda-se, para uma boa sonoridade e obtenção dos sons no padrão da escala sugerida, usar garrafas com uma secção reta igual do fundo até parte aberta.

As características geométricas das garrafas e o tipo do material influenciam a sonoridade do instrumento musical. Com base nas relações das frequências para cada nota musical respeitando os intervalos de frequência de uma nota para outra se pode usar a equação

$$f = \frac{nv}{4.L} \tag{3.2}$$

e determinar a altura (L) da parte vazia em cada garrafa. Na equação 3.2, n é o número de harmônico e v é a velocidade de propagação do som.

Os fenômenos audíveis para os seres humanos, nesta pesquisa, são analisados a partir das características de altura, diferença entre sons mais graves (menor frequência) e agudos (maior frequência), timbre que é a presença de mais de uma frequência e as intensidades sonoras dos fenômenos conhecidas como o volume do som. Verifica-se uma relação de frequências e timbres que irão ser característicos desse instrumento criado.

[4] Este é um afinador gratuito que foi usado para ajuste da frequência de cada garrafa representando as notas musicais. O afinador foi usado como aplicativo de celular, porém tem disponível a versão para PC e aplicativo para download em http://www.cifraclub.com.br/afinador/ acessado em 05.04.2016.

Os detalhes da montagem e afinação do xilofone criado neste trabalho constam no APÊNDICE G.

Pode-se ainda traçar uma relação dos instrumentos musicais com a capacidade do corpo humano de discernir os sons e ruídos utilizando seu próprio instrumento especializado que é o sistema auditivo. Essas relações estão detalhadas no APÊNDICE H.

3.3. ESTRATÉGIA PARA A APLICAÇÃO DOS RECURSOS DIDÁTICOS

A organização das atividades docentes deste trabalho está orientada em três momentos pedagógicos de acordo com o modelo proposto por Gehlen et. al. (2012). Os momentos pedagógicos são categorizados por:

- primeiro momento – Problematização inicial;
- segundo momento - Organização do conhecimento e primeira elaboração;
- terceiro momento - Aplicação do conhecimento e compreensão conceitual.

A problematização inicial irá reunir os elementos da teoria da fisica para propor as discusões sobre o tema com os alunos. O professor terá contato com as primeiras percepções dos alunos acerca da teoria. O primeiro contato dos alunos com as atividades, auxiliará na tarefa de evidenciar os pontos factíveis, viáveis e outros com necessidades de melhorias das tarefas propostas para o estudo. Neste primeiro momento, propõe-se uma primeira intervenção que recebe o nome de aplicação prévia. O foco desta primeira intervenção é analisar este primeiro contato com os alunos, iniciar a organização do trabalho e a elaboração das atividades envolvendo o tema.

No segundo momento, quando já se tem ideia da aplicabilidade de algumas atividades, inicia-se o trabalho inserindo elementos novos dos conteúdos de fisica que estão sendo estudados. Neste momento incia-se o aperfeiçoamento desses conteúdos, cria-se novas etapas e atividades para as próximas intervenções. O aluno já elabora suas primeiras conexões com conteúdo. Pode-se propor nesse momente uma primeira intervenção onde os alunos possam realizar atividades com coleta de dados.

No terceiro momento, ocore a aplicação dos conhecimentos assimilados. Essa aplicação irá evidenciar a compreensão conceitual dos alunos a cerca dos conteúdos estudados. Para utilizar os conhecimentos adquiridos durantes as intervenções anteriores os alunos serão estimulados a relizar conexões das atividades com os conceitos teóricos da disciplina. Sendo assim, o aluno poderá verificar as limitações da teoria e as situações de validade.

4. OS DESDOBRAMENTOS DA PESQUISA

No presente trabalho, a sequência didática sobre acústica foi o conjunto de atividades escolhidas para trabalhar, organizar e compreender os elementos importantes a serem estudados com foco na aprendizagem. O trabalho foi aplicado em duas etapas.

Na primeira etapa, a intervenção ocorreu dentro de um projeto maior, multidisciplinar em que professores de diversas áreas do conhecimento organizando e participando de atividades. Para a participação a ser descrita neste trabalho, aplicada nesse projeto, dispunha-se de 200 minutos para executar as práticas. Nas práticas dessa etapa, os alunos trabalharam com as atividades de acústica e ferramentas em desenvolvimento para as práticas. Essa intervenção auxiliou na montagem das atividades da sequência completa e dimensionar o tempo para as atividades da segunda etapa.

Na segunda etapa, as aplicações deram-se em duas escolas, uma pública e outra privada, ambas para o ensino médio. Para essa etapa, a sequência didática foi estruturada para intervenção em quatro encontros, a saber: uma aula com levantamento de concepções dos alunos sobre ondas, uma segunda para fazer duas experimentações sobre ondas, a terceira para construção de um instrumento musical e a quarta e última para fechamento das três aulas anteriores gerando documentos com diagnóstico final do processo. Em cada intervenção houveram atividades experimentais em que o tempo e o número de atividades a serem realizadas receberam ajustes, visto que nas escolas, tradicionalmente se tem dois tempos de cinquenta minutos no ensino médio regular, totalizando 100 minutos em cada encontro. Assim foi usado esse parâmetro para orientar o trabalho. Então, quando se fizer menção neste trabalho ao termo “aula” entende-se aos encontros de 100 minutos. Caso contrário, será explicitado.

4.1 A INTERVENÇÃO NA PRIMEIRA ETAPA: NO PROJETO NOVOS TALENTOS

A intervenção no espaço não formal teve o propósito de levantar as possíveis hipóteses, propor atividades e analisar quais etapas que caberiam também dentro de uma intervenção em espaço formal. Nosso interesse é aplicar as teorias e conceitos da física e analisar suas interações como descrito em Demo (1984).

> A prática é condição de historicidade da teoria; caso contrário, não acontece. A teoria é uma fuga da realidade. Mesmo que a prática limite a teoria, a traia e a deturpe, não há "história real precisamente sem limitações, sem traições e sem deturpações. Aí está toda a grandeza da prática: de ser realização histórica concreta. Recompõe-se nisto a igualdade dialética do relacionamento entre teoria e prática. Ambos os termos se necessitam e se repelem, numa identidade de contrários. Quer dizer, um não existe sem o outro, mas cada um possui identidade própria, o que possibilita um relacionamento dinâmico. De um lado temos a propensão absolutizante da teoria. Somente pela teoria podemos imaginar uma ciência totalmente evidente , verdadeira, acabada. Na prática, é um produto histórico, ou seja, limitado, relativo, processual, infindável. A teoria pode ser absoluta, abstrata, utópica, universal; a prática, por sua vez, é relativa, concreta, realizada, particular. (PEDRO DEMO, 1984, p. 65).

4.1.1 O projeto Novos Talentos no Ensino de Ciências

O trabalho com a sequência didática e os experimentos foi previamente testado no edital aprovado pela CAPES/DEBE N° 055/2012 – Despertando Novos Talentos no Ensino das Ciências - Uma parceria entre IFRJ e Colégio Estadual Pedro Ernesto Farias. O Subprojeto 2 – Experimentando ciência na sala de aula, onde parte deste trabalho foi implementada tendo a produção de partes deste material que serão usados na sequência didática. Neste trabalho a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) tem por objetivo criar atividades que vão além das atividades regulares executada nas escolas da educação básica, fazer oficinas e cursos para disseminar nas escolas públicas o conhecimento científico. A atividade deste projeto tem como meta sua execução em períodos distintos das aulas, podendo ocorrer concomitante as mesmas em contraturno ou no período de férias.

As propostas de trabalho devem valorizar o uso de espaços inovadores, laboratórios nas universidades, centros de pesquisa e museus em empresas públicas e privadas. O trabalho deve aprimorar os cursos de graduação e pós-graduação gerando articulações científicas, culturais e socioeconômicas contribuindo na formação dos docentes e discentes da educação básica (BRASIL, 2014).

4.1.2 A intervenção no projeto Novos Talentos

No colégio onde o projeto Novos Talentos Edital CAPES/DEBE N° 055/2012 foi aplicado, tem previsto outra edição onde será implementada a sequência didática com todas as etapas. Desta forma, pode-se ter um número maior de grupos submetidos ao trabalho possibilitando ampliar a validade desse estudo.

Na ocasião em que ocorreu o projeto, foram realizadas as intervenções com material que serviu de organizadores prévios e experiências sobre ondas. Todavia, a parte final da nossa sequência com a construção dos instrumentos musicais não foi totalmente executada visto que um dos instrumentos não foi construído. Não houve a possibilidade de fechar o ciclo de atividades planejadas colocando em prática algumas partes previstas para esta pesquisa. Na figura 4.1, os alunos estão preenchendo os questionários referentes ao primeiro encontro. Esta coleta serviu de base para iniciar o trabalho no projeto e também orientou as oficinas e práticas experimentais sobre o tema acústica. Os alunos fazem o preenchimento dos questionários em forma de entrevista com outro colega. Nesta fase, os professores se limitam a observar o procedimento.

Figura 4.1 Alunos preenchem questionários sobre concepções prévias.

Sugere-se que ao se repetir posteriormente esta aula da sequência didática se introduza a aula com uso de um brinquedo de mola nas atividades. Outra sugestão é o uso de dinâmicas com o tema envolvido. Trabalhar com a acústica dos materiais presentes na sala de aula (um som produzido por batidas na mesa, ruído do ar condicionado, arrastar de uma cadeira, fazer uma encenação do movimento das ondas do mar usando alunos). Estas atividades são sugestões para introdução e a aplicação dos questionários avaliativos deste encontro (questionário disponível no APÊNDICE E), um primeiro contato dos alunos com as atividades experimemtais. A sugestão do brinquedo de mola está ilustrado na figura 4.2.

Figura 4.2 Brinquedo sugerido para as dinâmicas do tema ondas

Fonte: http://hypescience.com/wp-content/uploads/2010/08/mola.jpg acessado em 05.04.2016.

A utilização das dinâmicas juntamente com o uso dos materais sugeridos são importantes para auxiliar no levantamento das concepções sobre os conceitos relacionados ao tema ondas. Junto com aplicação do questionário, se indica uso de uma revista sobre acústica, material criado para este projeto, usado como agente motivador para abordagem do assunto, com personagens vivenciando situações em sua rotina tecendo discussões sobre a temática da física em estudo. Foi sugerido aos alunos a criação de uma estória, que poderá integrar a revista. A estória e o questionário compõe o corpo de instrumentos avaliativos deste encontro.

As informações dos questionários serviram para nortear outra pesquisa realizada neste mesmo projeto e que tinha como foco apenas o aspecto da avaliação e não se restringindo apenas aos conhecimentos da física. Após este primeiro encontro ocorreram algumas oficinas (atividades práticas e demonstrativas) em que nem todas tiveram como temática a física, ondas sonoras. Em uma destas oficinas trabalhando em conjunto química e física fez se uso do gás hélio para verificar o fato desse gás modificar as propriedades da voz humana. Contrastando-se uma mudança no timbre de voz dos alunos que sofreu alteração. Na figura 4.3 observamos alunos inalando gás hélio contido nos balões. Após inalação do gás estes alunos cantaram uma música para que se pudesse observar a alteração na voz.

Figura 4.3 Alunas do projeto aspiram o ar dos balões cheios de gás hélio levando à alteração de suas vozes

Realizou-se outra oficina onde o experimento do tubo de Kundt foi demonstrado. Na ocasião aplicou-se o experimento com a finalidade de perceber como ondas sonoras em um experimento ou instrumentos são possíveis de serem observados. Os alunos visualizaram a formação dos nós e antinós de uma onda sonora em tubo fechado-fechado. Nesta oficina usou-se maquetes de formações de ondas no mar como recurso visual. Na figura 4.4, pode-se observar alunos junto às maquetes assistindo a explicação do professor ao fundo da imagem (à direita) vê-se o experimento do tubo de Kundt.

Figura 4.4 Alunos observando maquetes sobre propagação ondas no mar (à direita ao fundo) experimento do tubo de Kundt usado também neste encontro.

Dentro do ciclo de trabalho do projeto ocorreram palestras onde uma delas foi tratado o assunto acústica e instrumentos musicais. Alunos tiveram uma pesquisadora da área e ensino de física falando sobre diversos aspectos da física dos instrumentos musicais. Pode-se observar na figura 4.5.

Figura 4.5 Palestra sobre a física da música.

O fechamento das atividades do projeto ocorreu em duas oficinas. A primeira oficina os alunos puderam construir instrumentos de percussão com materiais de baixo custo na figura 4.6 (à direita). Na segunda, eles contruíram um instrumento, um xilofone, utilizando-se de garrafas de vidro na figura 4.6 (à esquerda).

Figura 4.6 Oficinas de instrumentos de percussão e de xilofone

Os mateiais da sequência didática foram aplicados de forma parcial nessa intervenção. Aqui através de observação do professor pode-se perceber quais atividades tiveram boa aplicabilidade. Algumas atividades mostraram necessidades de adaptação para aplicação nos espaços formais, exemplos foram oficina de ondas e as práticas e as oficinas de construção de instrumentos musicais, a última será proposto a realização em única intervenção. Não houve fechamento formal das atividades de acústica com alunos propiciando um momento específico de retorno do professor. Os materiais desenvolvivos para a SD, manuais, roteiros e

recomendações aos professores e alunos serão implementados nos espaços formais nos próximos momentos para realização de análise final das atividades.

4.2 A INTERVENÇÃO NA SEGUNDA ETAPA: SEQUÊNCIA EM DOIS COLÉGIOS, UM ESTADUAL E OUTRO DA REDE PRIVADA

Para primeira aula da sequência foi criada a revista “A física é uma onda” como organizador prévio para levantar concepções prévias, lançar as bases para estudo da acústica e colocar o aluno em contato como a estratégia de trabalho sugerida (revista consta do APENDICE B). Com o uso da revista pode-se levantar os conceitos prévios dos alunos sobre ondas abrindo-se caminho para problematizar a temática em qualquer turma do ensino médio e fundamental. Propõe-se utilizar como instrumento de coleta o questionário de levantamento destas conscepções prévias (veja APÊNDICE E).

Para a segunda aula propõe-se duas atividades. A primeira um questionário sobre o experimento de ondas em vídeo. No APÊNDICE F está o questionário da atividade experimental 1 para aula 2. O questionário almeja destacar os pontos mais importantes para os alunos em relação à experimentação demonstrada. Suas informações irão facilitar as atividades subsequentes que serão feitas. A atividade experimental 2 da aula 2 é o tubo de Kundt. As recomendações para os professores sobre aplicação dessa atividade constam no APÊNDICE D. Na utilização desse experimento o professor decidirá como efetuar a coleta de dados e avaliar a atividade. O professor pode solicitar o relatório dessa atividade ou então usará juntas a atividade do vídeo, ou seja, o questionário dela junto com a atividade do tubo de Kundt.

Para terceira aula foi desenvolvido um manual que consta no APÊNDICE G, para construção e compreensão da física dos instrumentos musicais. Como sugestão é indicado a montagem de um xilofone de garrafas Este guia apresenta a parte teórica sobre a física do instrumento a ser construído. No manual está também os detalhes da atividade sugerida para uso com o instrumento musical. Para esta aula, além de montar o instrumento, o professor poderá pedir um pequeno relatório constando dos cálculos para ajustar o instrumento juntamente com as conclusões do uso deste material.

Para o quarto e último encontro, optou-se por compilar todos os materiais usados nas atividades anteriores juntamente com um questionário usado como diagnóstico final sobre todas as atividades de ondas sonoras. Este questionário consta no APÊNDICE I. Isto produziu

um relato final de autoavaliação dos alunos, sobre os pontos esclarecidos e os conceitos que necessitam de aprimoramento. Esta autoavaliação e avaliação final foram sintetizadas em um único instrumento que permiti o professor produzir um documento avaliativo sintético do trabalho de cada aluno da turma.

O foco da análise nas atividades experimentais foi o conteúdos de acústica. Fez-se um recorte nos fenômenos ondulatórios a fim de tratar do assunto ondas mecânicas, em particular ondas sonoras. Utilizou-se as práticas experimentais para modelar o assunto de acústica a ser trabalhado. Nas experimentações optou-se por utilizar não só experimentos convencionais, mas também aparatos que se imagina próximos ao contexto do aluno tais como os instrumentos musicais. Com a utilização do instrumento musical, pode-se tratar das variáveis pertinentes na acústica como timbre e altura. Dedicou-se um espaço nesse trabalho também para ilustrar o funcionamento físico do sistema que funciona semelhantemente a um instrumento musical responsável no corpo humano por captar e decodificar as ondas sonoras; veja os detalhes no APENDICE H. Executou-se um recorte na teoria para explicar o funcionamento físico de mecanismos biológicos do aparelho auditivo. Esse aspecto interdisciplinar foi destacado com os alunos na primeira aula e na aula 3 onde se abordou os conteúdos específicos das ondas sonoras. Todas as atividades foram montadas pensando nesse encadeamento teórico-metodológico sobre o ensino das ondas sonoras.

Utilizou-se como referencial nas intervenções em espaços formais a ordenação dos conteúdos de física no novo currículo estabelecido pela Secretaria de Educação do Estado do Rio de Janeiro. Os conceitos de física ondulatória estão alocados no último semestre do terceiro ano do ensino médio. Para seus elaboradores a partir deste momento os alunos serão capazes de estabelecer as conexões dos fenômenos ondulatórios com avanços científicos recentes, aparatos tecnológicos criados para melhorar as telecomunicações, a saúde e bem estar da população que se fazem presente na nossa vida cotidiana (RIO DE JANEIRO, 2012).

Sendo assim, a escolha do trabalho apenas com turmas de terceiro ano para as coletas de dados se alinha à ideia de verificar o grau de alcance das metas apenas em alunos supostamente concluintes deste grau de ensino.

4.2.1 Aplicação da sequência didática em um colégio público

A sequência para ensino de acústica foi aplicado em um colégio da rede estadual do Estado do Rio de Janeiro. A escola se localiza na região norte da cidade, tem entre 600 e

700 alunos que oferece as modalidades regulares e EJA de ensino operando nos três turnos, manhã, tarde e noite.

Nessa escola, o trabalho foi desenvolvido em duas turmas do terceiro ano do turno da manhã. Numa das turmas havia 25 aluno e na outra 19, que frequentavam as aulas regularmente. As atividadas foram realizadas em duas semanas, sendo em cada semana um encontro de 100 min.

Neste contexto da escola pública, a sequência didática foi aplicada compactando as atividades em dois encontros suprimindo outros dois encontros sugeridos na concepção da sequência completa. Isto ocorreu porque não se dispõe de todo o bimestre para trabalhar a temática.

No primeiro encontro para abordar os conceitos de ondas e som ocorreu uma aula introduzida de expositiva. Ao iniciar o trabalho na primeira turma tinhasse apenas a metade dos alunos presentes. O trabalho começou com uma breve explicação sobre o objetivo da aula e porquê outro professor estava em sala. O grupo foi informado de que se tratava de um trabalho de pesquisa e o tema era ondas e som. A intensão era estudar a aplicação dos métodos e dos materiais usados naquela aula. Em seguida os alunos assistiram uma apresentação de imagens, duas a duas, nos slides que exibiam ambientes onde se supõe ter uma tranquilidade sonora, baixo nível sonoro e outro que seria de muito ruído e turbulência. Após exibição das imagens iniciou-se a preparação para a realização de duas dinâmicas de grupo. No principio, houve certa resistência dos alunos, mas por fim três alunos vieram à frente participar da dinâmica. A dinâmica simulou o movimento transversal e depois o longitudinal das ondas. No final os dois movimentos foram realizados em conjunto, tendo os alunos lado a lado de mãos dados e ao comando do professor da sala executavam os movimentos. Na segunda dinâmica, os alunos não aceitaram ir à frente da sala para executá-la e assim esta foi feita com os mesmos sentados em seus lugares. Reproduziu-se uma “ola” conforme professor corria na frente dos alunos.

Com o término das dinâmicas, foi proposto o preenchimento de um questionário sobre ondas e som. A turma demorou quase quarenta minutos para este preenchimento. Ao final a turma foi dividida em grupos para criar uma estória falando sobre o tema abordado ou simplesmente a criação de charge. Foi distribuida a revista criada para a sequencia didática que serviu de exemplo de estória para auxiliá-los na confecção das suas próprias. Não foi possível terminar as histórias em quadrinhos nesta aula, então acordou-se que na próxima, eles entregariam ao professor da turma os desenhos realizados. Na segunda

turma, foi aplicado o trabalho no tempo após intervalo. Assim todos os alunos estavam em sala desde o início. Seguiu-se a mesma ordem das etapas. As dinâmicas transcorreram mais facilmente, pois na segunda turma houve uma resposta mais rápida dos alunos na realização das atividades. A segunda turma também não finalizou as estórias ficando os desenhos também para entrega posterior ao término da aula. Depois dessa atividade com auxilio da revista "A física é uma onda" pediu-se aos alunos que criassem desenhos e pequenas histórias em quadrinhos sobre o tema ondas sonoras. No final da aula os alunos preencheram o questionário sobre concepções prévias de ondas.

No segundo encontro, foram feitas duas atividades uma envolvendo ondas e outra com acústica. A primeira atividade foi a exibição de três vídeos sobre ondas mecânicas em uma corda. Após os vídeos serem exibidos os alunos deveriam preencher um questionário para avaliar itens do vídeo relacionados a teoria de ondas e aspectos da execução das atividades experimentais exibidas. A segunda atividade foi a discussão sobre a física envolvida no uso de um instrumento musical. Os alunos receberam um roteiro que dava orientações para montar um instrumento musical chamado xilofone. Como havia apenas garrafas para um xilofone o professor expôs os materias na mesa a frente da turma e pediu voluntários para ajustar o instrumento. Alguns alunos auxiliaram na montagem e a seguir utilizaram o instrumento tocando musicas a partir de partituras escritas com as notas musicais na escala pitagórica. Neste segundo encontro, o cenário de aplicação das atividades foi muito semelhante nas duas turmas. Tanto na primeira turma quanto na segunda em relação a atividade de construção do instrumento musical apenas uma aluna manuseou o instrumento na primeira e na segunda turma dois alunos vieram a frente auxiliaram na afinação usando seus celulares para detectar as frequências de cada garrafa e em seguida usaram as partituras para tocar uma música.

4.2.1.1 Resultados dos questionários e relatos sobre as experiências

Na primeira aula os questionários tinham seis perguntas sendo duas sobre ondas e duas específicas sobre acústica, sendo uma sobre o conceito de velocidade de propagação sonora e a última solicitando um desenho sobre ondas e som. A figura 4.7 mostra os alunos preenchendo os questionários e fazendo os desenhos para as histórias em quadrinhos.

Figura 4.7 Aula 1. Alunos usando revista A física é uma onda para produzir os desenhos das histórias em quadrinhos.

O questionário respondido pelos alunos sobre concepções prévias de ondas consta no APÊNDICE E. Participaram das atividades duas turmas de terceiro ano que chamaremos de turma A e turma B. A turma A, para a aula 1, 18 alunos responderam os questionários. Na turma B um total de 27 alunos responderam os questionários. As respostas foram agrupadas formando categorias e estas categorias foram formadas das palavras principais de cada frase ou termo, tendo como base os conceitos de física que se deseja observar nestes relatos. O número de respostas para cada categoria foi superior ao do número de alunos já que cada aluno, dependendo da resposta em uma determinada questão, poderia ter mais de uma categoria na sua resposta.

Na tabela 4.1 vemos as respostas para a seguinte pergunta: *Quais fenômenos da natureza ou artificiais vocês identificam como ondulatórios?* Os alunos não manifestaram grandes dificuldades para o preenchimento do questionário. De fato, grande parte dos alunos preencheu o questionário colocando exemplos como música, energia elétrica, ondas do mar e furacão.

Tabela 4.1 Respostas da Questão 1 Aula 1.

Respostas	**Turma A**	**Turma B**
Ondas do Mar	13	4
Clima, eventos geológicos e outros da natureza	6	3
Som	10	5
Armas e equipamentos tecnológicos	4	5
Em branco / Não sei	1	0
Outros (expressões que dependem do contexto)	2	5

Na tabela 4.2 temos as respostas para a questão 2: *Quais conceitos sobre física ondulatória você já estudou? Dê breve relato.* Nas duas turmas um número expressivo de alunos respondeu não se lembrar de conceitos sobre este assunto ou afirmou nunca ter formalmente estudado este tópico da física.

Tabela 4.2 Questão 2 Aula 1.

Respostas	**Turma A**	**Turma B**
Magnetismo	1	0
Efeito Doppler	0	1
Relatividade (espaço-tempo)	0	1
Outros (palavra depende contexto)	5	1
Som	2	3
Não sei /Nunca estudei	10	11
Em branco	7	2

Na tabela 4.3 as respostas da questão 3: *Que tipo de som/música mais lhe agrada?* A pergunta foi respondida por praticamente todos os alunos com a citação de uma grande variedade de estilos musicais. As categorias foram colocadas pensando em parâmetros físicos para classificação das musicas com presença de sons mais agudos ou graves em cada melodia ou estilo musical.

Tabela 4.3 Questão 3 aula 1.

Respostas	**Turma A**	**Turma B**
Eletrônica	5	4
Pagode/Samba	7	4
Funk	3	3
Sensações (sentidos)	0	5
Jazz	1	1
Pop e Rock	9	1
Instrumentos musicais	0	1
Outros (palavras dependem contexto)	4	3
Idioma (internacionais)	0	1
Gospel/evangélica	1	2
Reggae/Rap/Axe	9	3
Sertanejo	1	0
Em branco	1	0

Na tabela 4.4 as respostas da questão 4: *Comparando os sons do tipo freada de um carro, arrastar uma mesa e uma música de qualquer estilo, quais diferenças existem entre esses sons?* A maioria dos alunos fez associações ligadas à sensações fisiológicas com

certa subjetividade nas argumentações. Alguns alunos fizeram alguns comentários falando que o arrastar da mesa é um som extremamente desagradável semelhante, neste sentido, ao de uma freada de carro. Os alunos informaram que a música tem a melodia como componente que dá um sentido naquele som e por isso é agradável, suave e boa de ser escutada.

Tabela 4.4 Questão 4 aula 1.

Respostas	Turma A	Turma B
Sensações físicas	11	10
Período	5	1
Frequência	6	3
Não sei / em branco	1	1
Em branco	2	2
Palavras dependem contexto	6	2

Na tabela 4.5 a questão 5: *Em qual meio o som se propaga com maior facilidade?*, a maioria respondeu que o vácuo conduz melhor o som. Ninguém respondeu na letra "a) sólido", como trilho de trem que seria a mais adequada entre as alternativas. As duas turmas responderam em sua maioria a "letra d" entendendo ser o vácuo melhor meio de propagação do som. Um pequeno grupo respondeu a opção "e" e também poucos na "letra b". Apenas um aluno nas duas turmas entregou esta questão em branco e um aluno respondeu a "letra c".

Tabela 4.5 Questão 5 aula 1.

Respostas	Turma A	Turma B
Letra a	0	0
Letra b	8	5
Letra c	1	0
Letra d	11	11
Letra e	7	2

Na tabela 4.6 a questão 6: *Faça um desenho ou esquema dos tipos de onda que você conhece.* Na maior parte dos desenhos retratados instrumentos musicais em uso, ondas do mar e de praia na sua maioria. Alguns alunos fizeram desenho com alusão direta a som e a onda em duas e três dimensões explicitando o fenômeno que gerou as ondas.

Tabela 4.6 Questão 6 aula 1.

Respostas	Turma A	Turma B
Símbolos musicais e instrumentos musicais	10	5
Onda bidimensional/circular/senoidal	9	5
Ondas mar/praia/similar	15	5
Outros (desenhe depende de explicação autor)	3	2
Ondas corda, no ar e em meio material	2	0
Som	6	2
Não desenhou	1	0

No segundo encontro, aula 2, foi respondido um pequeno questionário sobre os vídeos[5] de ondas estacionárias. Participaram desta etapa 28 alunos na turma A e 20 alunos da turma B. Exibiu-se três vídeos a respeito do fenômeno usando o experimento máquina de ondas, dois em espanhol e um em português, dois realizados por alunos e um por professores. Os vídeos tinham entre quatro a dez minutos. Pediu-se que prestassem atenção à exibição e depois respondessem questionário sobre os experimentos. O questionário sobre os vídeos esta no APÊNDICE F. Foi feito semelhantemente processo de categorização das respostas dos questionários.

Na tabela 4.7 temos as respostas da questão 1 referente aula 2: *Quais as etapas mais importantes em cada experimento exibido nos vídeos?* As respostas foram dividiram majoritariamente em dois grupos um comentando sobre formato que as cordas tomavam no decorrer das atividades e o outro grupo enfatizando sobre as explicações em como montar o experimento.

Tabela 4.7 Questão 1 aula 2.

Respostas	Turma A	Turma B
Montagem do Experimento	6	7
Conceitos	0	3
Legenda e tradução	0	1
Procedimentos experimentais e materiais usados	14	9
Em branco	5	0

Na tabela 4.8 a questão 2: *Faça pequeno esquema ou desenho do fenômeno observado na corda em cada experimento:* A grande maioria fez desenhos dos aparatos mostrando alguns detalhes dos mesmos; outros alunos fizeram desenhos mostrando procedimentos onde se via os detalhes de certas etapas das experiências, por exemplo,

[5] Segue links dos vídeos usados nestas aulas https://www.youtube.com/watch?v=mr7SjQIELs4 vídeo de alunos espanhóis. https://www.youtube.com/watch?v=kvwgGE09YlE vídeo de professores https://www.youtube.com/watch?v=vfmtBhif6iw vídeo de alunas brasileiras

retratando o sentido das ondas progressivas e as ondas refletidas, alguns fizeram desenhos bem simples da corda se movendo.

Tabela 4.8 Questão 2 aula 2.

Respostas	Turma A	Turma B
Corda (desenho simples)	4	6
A corda mais aparato experimental (sem explicações)	12	6
Corda mais conceito	5	2
Desenho somente do aparato experimental	4	7
Não desenho	3	0

Na tabela 4.9 a questão 3: Qual ou *Quais relações entre o formato da corda e a velocidade que a mesma é movimentada?* A grande maioria respondeu que ao aumentar a tensão na corda mais ventres aparecem e consequentemente aumenta número de harmônicos. Outro grupo também relatou ter relação com o fenômeno a força (tensão) submetida na corda.

Tabela 4.9 Questão 3 aula 2

Respostas	Turma A	Turma B
Varia com módulo	13	12
Depende do modulo e também da tensão (força)	5	8
Outro (palavras sem conexão com atividade)	4	0
Em branco	4	0

Na tabela 4.10 a questão 4: *O que lhe chamou mais atenção nos vídeos que você assistiu?* A maioria das respostas trata das etapas dos experimentos e os conceitos explicados. No entanto, houve algumas respostas falando sobre a forma que vídeo foi elaborado. Foram apresentados dois vídeos em outra língua, legendados, que após sua exibição foram comentados pelos professores. Entretanto, mesmo com as explicações dadas após as exibições a língua e o tipo de filmagem foram categorias mais citadas entre tudo que foi falado pelos alunos.

Tabela 4.10 Respostas da questão 4 aula 2.

Respostas	Turma A	Turma B
Amador/profissional	2	0
Conceitos/formulas/procedimentos	17	17
Idioma/legendas	2	0
Outro (palavras dependem contexto)	5	2
Em branco	3	1

4.2.1.2 Análise dos questionários da primeira e segunda aula das duas turmas do colégio público

No que diz respeito aos conhecimentos sobre a física ondulatória os questionários de concepções prévias sobre ondas apresentaram respostas bem distantes dos conceitos que se entende como científicos (GOBARA et. al, 2007). Muitos alunos em suas respostas afirmaram nunca ter estudado o tópico e tiveram dificuldades em identificar o conceito de velocidade da onda. A grande parte dos alunos responderam que uma onda sonora viaja mais rápido no vácuo. Sabe-se que uma onda mecânica não pode viajar no vácuo, pois depende de meio material para sua propagação. Os desenhos obtidos na primeira aula, sem suporte de teoria, apenas com a apresentação inicial se mostraram bem simples limitando-se em retratar uma onda a partir do exemplo das ondas do mar. O tempo para a conclusão desses desenhos foi pequeno e acredita-se que para sua melhor confecção deveriam estar em outra parte da sequência recebendo mais tempo e auxílio específico na sua elaboração. Mesmo assim, já se percebe uma influência da interação dos alunos com a dinâmica realizada no início da aula. Isso porque surgem detalhes sobre a temática nos poucos desenhos recebidos (GOBARA et. al., 2007).

Do segundo encontro, o que se percebe é que os conceitos apresentados nos vídeos sobre os harmônicos nas ondas, timbre e velocidade da onda começam a ser identificados de forma bastante discreta nas respostas, necessitando que os mesmo sejam aprofundados em outra aula. Os desenhos, de alguns alunos já nesta aula, retratam mais detalhes sobre o conteúdo de acústica. Um ponto a ser mais trabalhado é o aspecto de crítica ao vídeo. Esta questão abriu um espaço para opiniões diversas. Aqui também houve possibilidade de livre expressão do aluno sobre as produções e notou-se uma preocupação dos mesmos com rigor de certos itens do vídeo. Aproveitando os vídeos e discussão sobre ondas o professor montou um instrumento musical para melhor conceituar o que são os harmônicos da onda sonora e o que é o timbre de um instrumento musical. A figura 4.8 mostra o xilofone de garrafas construído pelo professor, sendo manipulado por sua aluna.

Figura 4.8 Aula 2. À esquerda aluna manipulando experimento (xilofone de garrafas) e à direita o professor explicando funcionamento do instrumento.

4.2.2 Aplicação da sequência didática em colégio da rede privada

No terceiro momento da pesquisa ocorreu a terceira intervenção e a implementação da sequencia didática na sua versão completa, o trabalho foi aplicado em outro espaço formal, um colégio da rede privada de ensino. A instituição se localiza na cidade do Rio de Janeiro em um bairro classificado como de classe média da zona oeste da cidade do Rio de Janeiro com uma população pequena em relação aos bairros que cercam a escola. A escola considerada de pequeno porte, tem cerca de 250 alunos matriculados atuando da educação infantil ao ensino médio e funcionando em dois turnos.

O trabalho foi desenvolvido com a turma de terceiro ano do ensino médio. Foram feitos quatro encontros e todas as etapas da sequência foram executadas. Inicialmente, previu-se aplicar a sequência em dois tempos de 50 minutos totalizando 100 minutos para cada encontro. Devido à problemas de reorientação dos tempos disponíveis para disciplina de física, a sequência precisou ser aplicada em um tempo apenas de 50 minutos.

As quatro intervenções ocorrem na turma de terceiro ano com 17 alunos. Na primeira aula da sequência didática a abordagem inicial sugerida foi bem respeitada. Iniciou-se o trabalho com o uso de materiais pertencentes à sala de aula para falar sobre ondas. Foram expostas algumas ideias sobre som e acústica. Batucando na mesa, falando dos ruídos do ar-condicionado e cantarolando uma música os alunos foram estimulados a falar sobre que o esperavam estudar sobre o tema proposto. Ainda na introdução perguntou-se se notavam relação entre o ruído da cadeira e uma música. A seguir pediu-se que preenchessem um questionário abordando estas questões de forma ordenada. Depois do preenchimento,

receberam a revista sobre ondas para ser usada de exemplo e foram desafiados a fazer uma história sobre o tema ondas e som. Apenas um grupo finalizou a tarefa durante o período da aula.

No segundo encontro, dispunha-se de duas atividades experimentais para serem realizadas. A aula foi iniciada retomando a discussão sobre onde se percebe a existência de fenômenos classificados como ondulatórios, que tipo de fenômeno é ondulatório e explicando as atividades que seriam executadas. A primeira atividade foi em vídeo. O professor elaborou um vídeo de 9 minutos com um experimento chamado máquina de onda. No vídeo, o professor explica primeiramente qual é a finalidade da atividade, em seguida, pede que os alunos prestem atenção na realização do experimento e então eles farão o preenchimento de um questionário sobre detalhes da atividade em vídeo. A seguir, separou-se a turma em grupos de 4 alunos para realização da segunda atividade. Nesta segunda atividade foi utilizado o experimento do tubo de Kundt. Pediu-se que alunos verificassem a formação dos harmônicos no tubo e medissem os comprimentos de onda. Com estas informações, e as equações que fornecem a velocidade do som no ar e no tubo fechado eles calculariam essa velocidade e iriam comparar os dois valores para a velocidade do som. Os relatórios com base em perguntas do roteiro não foram entregues. Os alunos apenas apresentaram os cálculos.

Na terceira aula, a motivação inicial foi falar sobre os gostos musicais dos alunos e tentar descobrir se algum deles se interessava por instrumentos musicais. Nesta aula, projetou-se construir um instrumento de baixo custo, realizar atividade musical com o instrumento e ao final da aula usar um instrumento pensado pelo professor para discutir características deste instrumento, como o timbre. Por impossibilidade de construir os instrumentos naquela ocasião optou-se por entregar os roteiros sobre o instrumento xilofone e falar sobre como construí-lo. O professor levou as garrafas que serviriam para montar o instrumento, explicou sobre a relação da água dentro das garrafas e o som extraído ao percutí-las. Os alunos levaram para casa os roteiros para efetuar os cálculos e na aula seguinte falar sobre como obter estes dados solicitados. Apenas dois alunos fizeram as contas sobre como achar as frequências e a quantidade de água a ser posta em cada garrafa.

No último encontro, foi explicado que aquela aula seria o momento para finalizar o estudo sobre as ondas sonoras e acústica. Eles fariam uma autoavaliação de todas outras aulas. Esta autoavaliação foi feita através de um questionário com perguntas abertas e fechadas retomando partes do trabalho, perguntando sobre como eles julgavam suas participações, aquisição de conhecimentos e aproveitamento dos seus estudos.

4.2.2.1 Análises por aula da aplicação da sequência didática no colégio da rede privada

Na aula 1, os alunos responderam o questionários sobre concepções prévias de ondas e pediu-se que fizessem um desenho, uma história ou charge. Sete alunos estavam presentes e preencheram os questionários. Com base em categorias já criadas por ocasião de aplicação anterior deste mesmo questionário realizou-se a classificação das respostas. Abaixo temos as respostas dos questionários por pergunta. A primeira que consta na tabela 4.1 é a pergunta: *Quais fenômenos da natureza ou artificiais vocês identifica como ondulatório?*

Tabela 4.11 Questão 1, aula 1.

Respostas	**Número de respostas**
Ondas do Mar	7
Eventos geológicos e outros da natureza (terremoto)	1
Ondas sonoras	3
Ondas radio	4
Micro-ondas e Ultrassom	1
Instrumentos musicais	1
Cordas e mola	2

Nota-se que nenhum aluno deixou em branco ou informou não correlacionar seus conhecimentos com os fenômenos ondulatórios que eles entendem como tal.

A pergunta 2: *Quais conceitos sobre física ondulatória você já estudou? Dê breve descrição.* Segue na tabela 4.12 os padrões das respostas com base também em categorias definidas em outra aplicação da sequência.

Tabela 4.12 Questão 2, aula 1.

Respostas	**Número de respostas**
Comprimento de onda	3
Velocidade	3
Frequência	3
Não sei /Nunca estudei	2
Em branco	1

A pergunta 3: *Que tipo de som/musica mais lhe agrada?* Não houve uma variedade grande nas respostas. Aqui o importante foi perceber o perfil de identificação musical dos alunos para que assim ficasse evidente interesse por música e o entendimento deles sobre o que é música.

Tabela 4.13 Respostas da questão 3, aula 1.

Respostas	Número de respostas
Rock	4
Sensações (sentidos)	1
Pop	3
Outros (palavras dependem contexto)	1
Funk	1
Rap	1

Na pergunta 4: *Comparando os sons do tipo freada de um carro, arrastar uma mesa e uma música de qualquer estilo, quais diferenças existem entre esses sons*? A tabela 4.4 apresenta os padrões de resposta:

Tabela 4.14 Respostas da questão 4, aula 1.

Respostas	Número de respostas
Sensações físicas desagradáveis (incômodo por causa do ruído)	2
Melodia (Harmonia na música	3
Ondas mecânicas diferentes características	1
Em branco	1

As respostas estão concentradas em ressaltar ou as características que agradam os alunos como a harmonia nas melodias ou o desconforto em ouvir sons sem sincronia das cadeiras sendo arrastadas. Na pergunta cinco, *Em qual meio o som se propaga com maior facilidade? A* tabela 4.15 apresenta os padrões de respostas obtidos:

Tabela 4.15 Respostas da questão 5 aula 1.

Respostas	Número de respostas
Letra a	0
Letra b	3
Letra c	3
Letra d	1
Letra e	0

Percebe-se que dos tipos de meios de propagação mais usuais citados em exercícios sobre acústica, o ar e a água surgem as respostas da propagação mais veloz do som. Apenas uma resposta relacionada ao vácuo surge como pensamento de onda mais veloz provalmente proveniente do conflito comparativo entre onda eletromagnética versus mecânica. Da pergunta 6: *Faça um desenho ou esquema dos tipos de onda que você conhece.* Temos os padrões de respostas na tabela 4.16.

Tabela 4.16 Respostas da questão 6, aula 1.

Respostas	Número de respostas
Onda bidimensional/circular/senoidal	3
Ondas mar/praia/similar	2
Apenas senoidal/similar	3

Os desenhos feitos na primeira aula apresentavam símbolos de ondas bidimensionais. Nesses desenhos foram predominantes as ondas do mar como imagem representativa de uma onda. Na figura 4.14, os alunos preenchem os questionários e na figura 4.15, se observa a estória em quadrinho construída por um dos grupos de alunos durante a aula 1.

Figura 4.9 Alunos preenchendo o questionário da aula 1

Figura 4.10 História em quadrinhos feita pelos alunos na aula 1

Na aula 2, ocorreram duas atividades experimentais. A primeira atividade foi à exibição de um vídeo[6] com a experiência da máquina de ondas. No vídeo o professor por cerca de 3 minutos explica a experiência e depois segue um passo a passo de como executar e analisar o fenômeno na corda. Por fim, no vídeo ocorreram duas execuções da atividade experimental. Com auxílio de um questionário os alunos analisaram a atividade. Na tabela 4.16 tem-se as categorias respostas encontrado para pergunta 1: *Quais as etapas mais importantes no experimento exibido no vídeo?*

Tabela 4.16 Respostas da questão 1, atividade experimental 1, aula 2

Respostas	Número de respostas
Montagem do Experimento	1
Detalhes teoria /conceitos	1
O vídeo	1
Procedimentos experimentais e materiais usados	7
Material Usado	1

Verificou-se uma concentração das respostas em um item que trata explicação e forma de realização da atividade experimental. Outras respostas estavam divididas em falar da teoria em uma delas. Outra resposta sobre o material usado, outra sobre o ator e cenário usado. A tabela 4.17 apresenta os padrões de respostas obtidos para o item*: Faça um pequeno esquema ou desenho do fenômeno observado na corda em cada experimento.*

[6] O vídeo foi criado pelo professor e esta disponível através do link https://www.youtube.com/watch?v=4E_v5f25vmc

Tabela 4.17 Respostas da questão 2, atividade experimental 1, aula 2.

Respostas	Número de respostas
Corda (desenho simples)	6
A corda mais aparato experimental (sem explicações)	5
Corda mais conceito (uma equação ou outro simbolo)	2

Nos desenhos solicitados sobre a atividade em vídeo observa-se concentração de desenhos mostrando imagem simples do experimento sem muitos detalhes teóricos. Aparecem muitos desenhos apenas da corda e dois desenhos fazendo uma descrição que traz detalhes da teoria como amplitude e harmônicos das ondas estacionárias. Na tabela 4.18 está a resposta para a pergunta da pergunta 3: *Existe relação do formato da corda e a velocidade que a mesma é movimentada?*

Tabela 4.18 Respostas questão 3, atividade experimental 1,aula 2.

Respostas	Número de respostas
Depende de como é movimentada/agitada	3
Depende da velocidade para determinar formato da corda	9
Outro (palavras sem conexão com atividade)	1
É o comprimento onda que determina formato (harmônicos)	1

Um número expressivo das respostas informou que com aumento da tensão (força) na corda aparece com aumento da velocidade. Assim sendo, o formato observado varia de acordo com a velocidade. Observa-se apenas uma resposta que faz menção direta sobre os tipos de harmônicos que surgem à devido variação comprimento de onda consequentemente a frequência também. Em uma resposta sem justificativa informava que existe relação do movimento da corda com velocidade. Outras três respostas justificaram existir relação entre a velocidade e o formato da onda fazendo menção do termo "como é agitada" sem escrever explicitamente a relação deixando isso subentendido. Na pergunta 4: *O que lhe chamou mais atenção nos vídeos que você assistiu? O*s alunos apontaram aspectos gerais sobre o vídeo. A tabela 4.19 quantifica as respostas atribuídas a essa questão.

Tabela 4.19 Respostas da questão 4, atividade experimenta l, aula 2.

Respostas	Número de respostas
Ator e cenário	7
Conceitos/fórmulas/procedimentos	2
Detalhes execução experimento	2
Música de fundo	1

Nota-se que o ator e o cenário chamam muito a atenção dos alunos, isso ficou evidente durante os dialogos em sala e na forma que os alunos se expressaram nos questionários. Nenhum aluno deixou esta questão em branco. O número de alunos que descreveram a teoria e de detalhes da execução foi pequeno juntamente com um aluno que cita a música como algo também relevante.

Na segunda atividade experimental da aula, dois grupos de alunos não tiveram tempo para entregar os relatórios outros dois grupos fizeram os cálculos solicitadas pelo roteiro. Após as coletas de dados os alunos se comprometeram de trazer na aula seguinte o relatório da atividade. Apenas um dos grupo apresentou para o professor os cálculos feitos na tabela do próprio roteiro. Na figura 4.11 vemos os alunos realizando a coleta de dados da atividade experimental 2.

Figura 4.11 Alunos manuseando materiais na atividade experimental 2 da aula 2 referente ao tubo Kundt.

Na aula 3 a meta era realizar mais duas atividades experimentais. A primeira seria que cada aluno montasse o seu instrumentos de baixo custo, usando assim garrafas PET e latas de tinta criando tambores, chocalhos e reco-recos. Entretanto, não foi possível a realização dessa atividade. Sendo assim, a atividade foi substituída por uma dinâmica simulando uma "ola"[7]. Depois solicitou que alunos pensassem em quais matérias da sala seriam bons para criar

[7] Movimento com os braços para cima e para baixo em sequência simulando passagem de um pulso de onda.

instrumentos musicais. Na sequência, foi proposto o uso de um instrumento elaborado pelo professor para melhor estudo do tema ondas sonoras.

Este instrumento era o xilofone. O professor auxiliou na montagem do instrumento. Dois alunos se dispuseram a fazer afinação e manuseá-lo. O xilofone montado usou garrafas de vidro e o som era extraído percutindo um objeto de madeira ou ferro nas garrafas. A quantidade de líquido em cada garrafa precisava ser calculada. Os alunos receberam o roteiro para fazer cálculos e detalhes para montar e como usar o xilofone. Os alunos que ajustaram as garrafas usaram os dados já calculados pelo professor. Após colocar o líquido nas garrafas, um dos alunos que montou o instrumento tocou uma música. Foi proposto que os alunos recalculassem os valores das frequências e quantidade de agua dentro das garrafas. A intensão era que os alunos também montassem seu próprio xilofone usando copos de vidro posteriormente.

Um aluno apenas mostrou os cálculos feitos necessários para a obtenção de algumas notas do xilofone. Na figura 4.12, o aluno está medindo a altura coluna de água na garrafa e na figura 4.13, as garrafas estão alinhadas de acordo com as notas musicais.

Figura 4.12 Aluno medindo altura de água na garrafa do xilofone.

Figura 4.13 Conjunto de garrafas que foram usadas na criação do xilofone.

Na aula 4, abriu-se espaço para as discussções e colocações dos alunos sobre o tema estudado. O objetivo era sanar dúvidas sobre o conteúdo de acústica exposto nas outras aulas. Os alunos foram informados que eles iriam responder uma auto avaliação sobre os conhecimentos adquiridos nessas aulas através de um questionário. A finalidade desse questionário era de gerar um diagnóstico final para a sequência didática além de auxiliar no fechamento dessas aulas. Durante essa aula, o conteúdo da apostila do colégio referente à onda e acústica foi exposto como forma de embasar a teoria da sequencia didática, do estudo realizado, alguns exercícios sobre a matéria foram feitos encerrando o estudo de ondas e acústica com a turma. Na tabela 4.20, apresentam-se as repostas da questão 1: *No primeiro encontro desta sequência de aulas sobre física ondulatória, você falou sobre quais pontos conhecidos do assunto ondas e se reconhecia nos fenômenos ao seu redor algum fenômeno ondulatório. Você se recorda da sua resposta?*

Tabela 4.20 Questão 1, questionário de autoavaliação aula 4.

Respostas	Número de respostas
Tipos de onda (mecânica e eletromagnética)	2
Período/amplitude/frequência	1
Sim (sem justificativa)	4
Não lembro	5
Em branco	1

Nota-se que a maior parte dos alunos diz não lembrar o que respondeu enquanto que um grupo que diz lembrar, de suas respostas não especifica qual conceito escreveu. Uma pequena parcelo dos alunos deu detalhes dos tópicos citados e apenas um aluno deixou em branco. Na tabela 4.21 estão as respostas da questão 2: *Ainda falando sobre o primeiro*

encontro, você fez um desenho para exemplificar as situações reconhecidas por você como fenômenos ondulatórios. Ao final do estudo de física ondulatória e acústica você verifica no seu desenho conceitos estudados nas aulas anteriores, sim ou não ? Por quê?

Tabela 4.21 Questão 2, questionário de autoavaliação aula 4.

Respostas	Número de respostas
Sim, sem detalhes relevantes pergunta	4
Não, sem justificativas correlatas ao estudo	1
Sim, (Uso de detalhes da teoria)	1
Não, Sem justificativa com informações da atividade	6
Em branco	1

Neste item, um grupo expressivo dos alunos usou de características, palavras e expressões que não estão diretamente ligadas à teoria ondulatória para afirmar que seus desenhos tratavam do tema ondas. De fato, os termos usados por esses alunos estavam ligados aos fenômenos ondulatórios. Um outro grupo maior de alunos cuja resposta foi não responde com uso de palavras sem nenhuma característica de onda, de modo que se percebe alguma correlação entre o fenômeno e as explicações fornecidas. Apenas um aluno justificou seu desenho como sendo sobre onda usando argumentos da teoria ondulatória. Apenas um aluno também não respondeu esta questão. Na tabela 4.22, as respostas da questão 3: *Sobre o segundo encontro realizamos nessa aula uma experiência chamada tubo de Kundt e assistimos a um vídeo sobre um experimento de ondas estacionárias em uma corda, qual relação existe da velocidade da corda e da onda no tubo e do comprimento de onda nas duas situações? Explique.*

Tabela 4.22 Questão 3 questionário autoavaliação aula 4

Respostas	Número de respostas
Detalhes da teoria de ondas	4
A frequência influencia	2
Comprimento de onda é a influência decisiva	2
Outro	3
Não sei	2

Na questão 3 do questionário de autoavaliação fica claro que a maioria dos alunos cita termos desconexos com a teoria sem apontar quais as característica em comuns nas experiências sobre ondas. Quatro alunos apontaram conceitos como comprimento de onda e frequência das ondas como detalhes em comum a serem destacados. Dois alunos não

souberam responder. Na tabela 4.23, estão presentes as resposta da questão 4: *No terceiro encontro construímos um instrumento musical, existe alguma relação a respeito de características de som ou formato desse instrumento construído com algum outro conhecido por você?*

Tabela 4.23 Questão 4, questionário de autoavaliação aula 4.

Respostas	Número de respostas
Comparação com a teoria acústica	3
Não/Não sei/ Faltei aula	8
Notas musicais	1
Sim sem justificativa	1

Verifica-se nas respostas da questão 4 discursiva do questionário de autoavaliação um um grupo de alunos que não conseguem fazer relação do instrumento trazido para sequência didática afim de falar mais sobre características da acústica do aparatos musicais. Apenas três alunos traçaram algum paralelo entre teoria da acústica e instrumento e um responde sim sem dizer qual instrumento ele pode comparar com xilofone e discorrer sobre algumas semelhanças. Na tabela 4.24, as respostas da questão objetiva 5 sobre *Aquisição de conhecimentos.*

Tabela 4.24 Questão 5, questionário de autoavaliação aula 4

Respostas	Número de respostas
Não adquiri qualquer conhecimento novo.	1
Adquiri alguns conhecimentos que não sei utilizar.	5
Não compreendi nem adquiri todos os conhecimentos, no entanto, os que adquiri sou capaz de os utilizar em novas situações.	5
Adquiri e compreendi todos os conhecimentos básicos e ainda outros, não tendo dificuldade em os utilizar em novas situações.	1
Adquiri e compreendi não só os conhecimentos básicos como ainda outros que pesquisei por minha própria iniciativa, não tendo dificuldade na sua aplicação.	1

A maior parte dos alunos avalia seus estudos proveitosos informando ter adquirido diversos conhecimentos. Todavia, não sabem manejá-los de forma adequada. O mesmo quantitativo expressa ter adquirido conhecimentos que sabe manejar, mas que ainda precisa aprender mais para maior aprofundamento. Na tabela 4.25, a questão 6 fala sobre linguagem e pergunta *Você compreende os termos e palavras usadas nas aulas de física (sobre acústica)?*

Tabela 4.25 Questão 6, questionário de autoavaliação aula 4.

Respostas	Número de respostas
Desconheço os conceitos fundamentais da física desse tema.	0
Conheço muito poucos conceitos da física e não sei se são fundamentais.	5
Compreendi claramente alguns conceitos da física ondulatória.	4
Compreendi bem a maior parte dos conceitos de física ondulatória.	3
Compreendi muito bem a globalidade dos conceitos da física ondulatória.	1

Na questão 7 do questionário de autoavaliação, nenhum aluno informou não ter compreendido alguma parte do conteúdo de ondas (acústica). A maioria deles informa conhecer ao menos alguns conceitos enquanto que parcela expressiva informa ter sido relevante os conhecimentos adquiridos e um único aluno diz ter aprendido muito sobre acústica. Na tabela 4.26, temos respostas da questão 7 *Qual seu grau de interesse nas aulas de física?*

Tabela 4.26 Questão 7, questionário de autoavaliação aula 4.

Respostas	Número de respostas
A física não tem nada que me interessa	4
A física interessa-me de modo regular.	8
A física interessa-me bastante.	1
A física sempre me atrai permanentemente.	0

Na questão 7 do questionário de autoavaliação, aparece o aspecto de afinidade com conteúdo definindo a intensidade dos estudos de cada aluno. Um grupo grande de alunos não é muito focado nos estudos, mas entendem a importância da física e assim mesmo busca estudar. Um grupo de quatro alunos não tem interesse algum na disciplina. Apenas um aluno considerou física ser muito interessante para ele. Na tabela 4.27 *Como você classifica a sua atuação nos trabalhos de física e nas ultima atividades na série de aulas sobre acústica?*

Tabela 4.27 Questão 8, questionário de autoavaliação aula 4.

Respostas	Número de respostas
Não tenho concentração no trabalho nem reconheço valor em participar das aulas	2
Trabalhei algumas vezes, mas desisto com facilidade. Tenho pouca iniciativa	5
Persisti no trabalho mas não tomei a iniciativa. Fiz apenas o que era obrigatório.	3
Concentrei-me bem no trabalho e tenho espírito de iniciativa, embora não seja criativo.	3
Concentrei-me bem no trabalho e tenho espírito de iniciativa. Sou criativo.	2

Na questão 8 do questionário de autoavaliação, a maior parte dos alunos alega sempre trabalhar intensamente nas atividades, mas sempre fazendo apenas o que lhe é mandado sem tomar iniciativa. As outras alternativas receberam quase mesmo quantitativo ficando todas com valores próximos.

4.3 COMPARAÇÃO DOS CONHECIMENTOS ADQUIRIDOS ENTRE OS GRUPOS DE ESCOLARES COM UTILIZAÇÃO DA SEQUÊNCIA DIDÁTICA

Após a aplicação completa da sequência didática se traçou os comparativos entre a aplicação feita no colégio público e no colégio privado. Esta comparação é importante, pois evidencia diversos aspectos em comum nos dois grupos, mapeia as características de perfil semelhantes, apontas as dificuldades com assimilação em relação a determinado conceito e contabiliza os progressos de um ou dos dois grupos dentro dessa comparação (GOBARA et. al., 2007).

Busca-se com esses mapeamentos, classificações e anotações a respeito dos perfis de cada grupo e perceber a evolução dos processos de aprendizagem sobre a temática acústica. Ao se identificar possíveis conflitos cognitivos existentes o trabalho com aluno, as experimentações, poderá sofrer reorientações afim de contribuir para uma mudança conceitual deste alunos o que é o ponto central deste estudo (NARDI e GATTI, 2004).

Na aula 1, utilizou-se o questionário sobre concepções prévias e assim pode-se perceber as concepções de cada grupo ao iniciar estudo. Analisada a questão 1, percebe-se que nos dois grupos praticamente o mesmo quantitativo de respostas para o termo ondas do mar como fenômeno ondulatório aparece. Isto é esperado, as peculiaridades dos fenômenos naturais influenciam as respostas dos alunos, por exemplos, ao citar eventos da física ondulatória era previsível que os alunos de uma cidade litorânea associassem o conceito ondas ao movimento do mar (GOBARA et. al., 2007).

No entanto, o quantitativo do colégio público com respostas mais alinhada aos fenômenos clássicos de ondas é de 26% inferior ao do colégio privado que totaliza 49%. As respostas dos alunos do colégio público usam termos ligados a física ondulatória diretamente juntamente com outros que necessitam do contexto para relacionar a estes fenômenos. Abaixo está exibido o figura 4.14 do comparativo das respostas da questão 1:

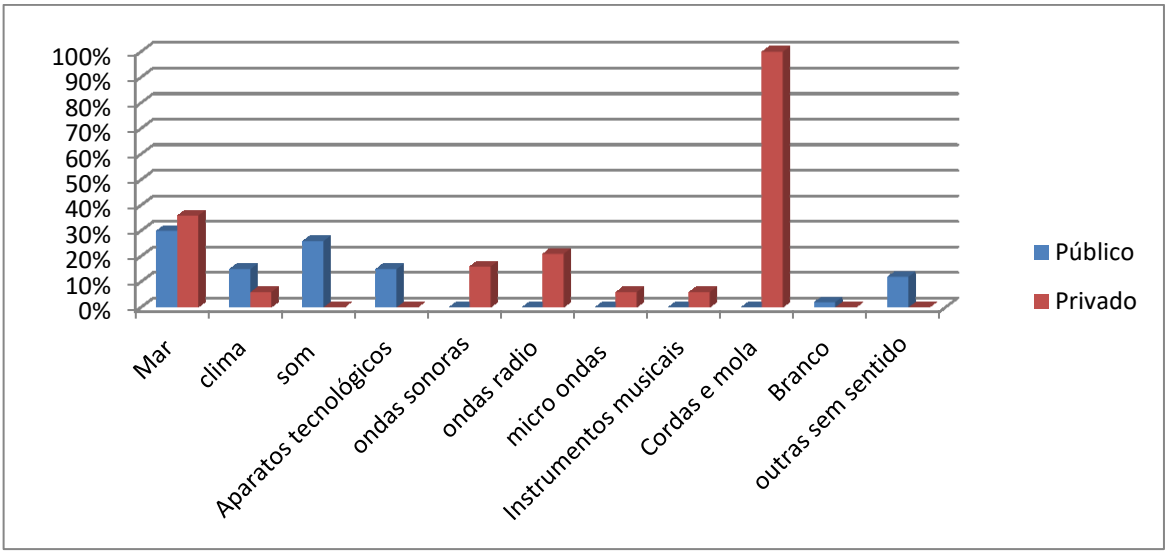

Figura 4.14 Quadro comparativo das respostas questão 1 questionário aula 1.

Na questão 2, verifica-se uma diferença grande entre as respostas dos dois grupos em comparação. No colégio público a maioria relata nunca ter estudado ondas. Ainda sobre o colégio público, percebe-se que os mesmo citam conteúdos da física que não tem ligação direta com tema ondas necessitando do contexto da citação do fenômeno para ser efetuada a correlação. No colégio privado a maioria cita termos pertinentes ao tema ondas. Importante destacar que o grupo do colégio privado tem o estudo de ondas previsto em um bimestre de forma explícita na grade do ano anteriormente cursado. No entanto, os alunos do colégio público, somente durante o terceiro ano, tem previsto a inserção do conteúdo de ondas em seus estudos. A seguir na figura 4.15, tem-se o comparativo das respostas da questão 2:

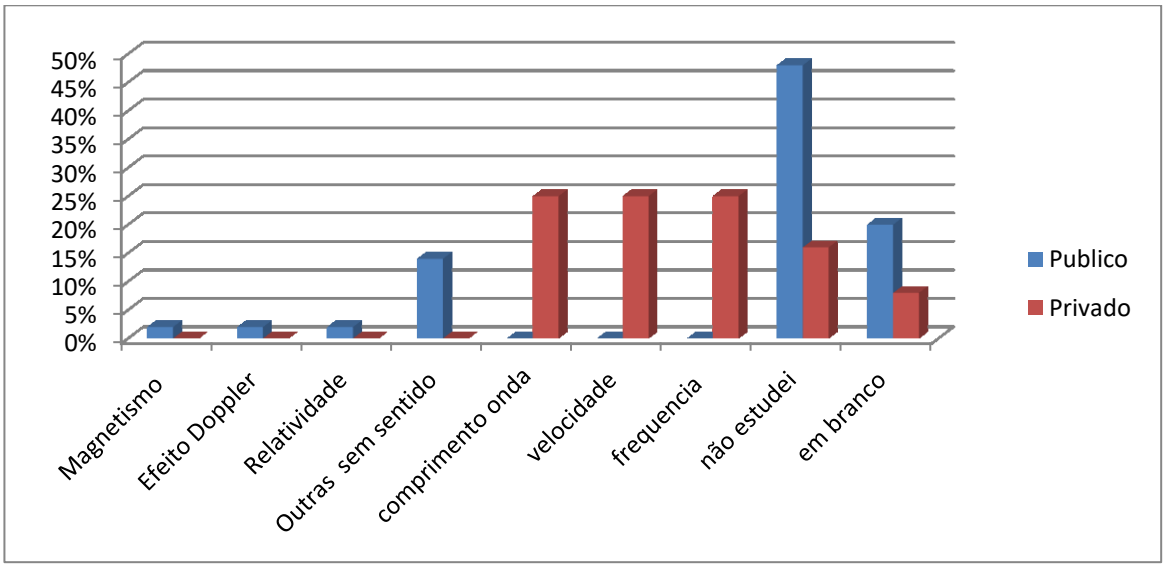

Figura 4.15 Quadro comparativo das respostas questão 2 questionário aula 1.

Nas respostas da questão 3, verifica-se uma maior diversidade de estilos musicais citados pelos alunos do grupo do colégio público. No colégio privado foi menor o quantitativo de estilos citados. Pelas respostas temos um panorama dos interesses e conhecimentos sobre estilos de música dos alunos. A exposição dos estilos musicais mostram que os alunos compreendem as música hieranquizando e as agrupandos utilizando seus conhecimentos internalizados sobre o tema.

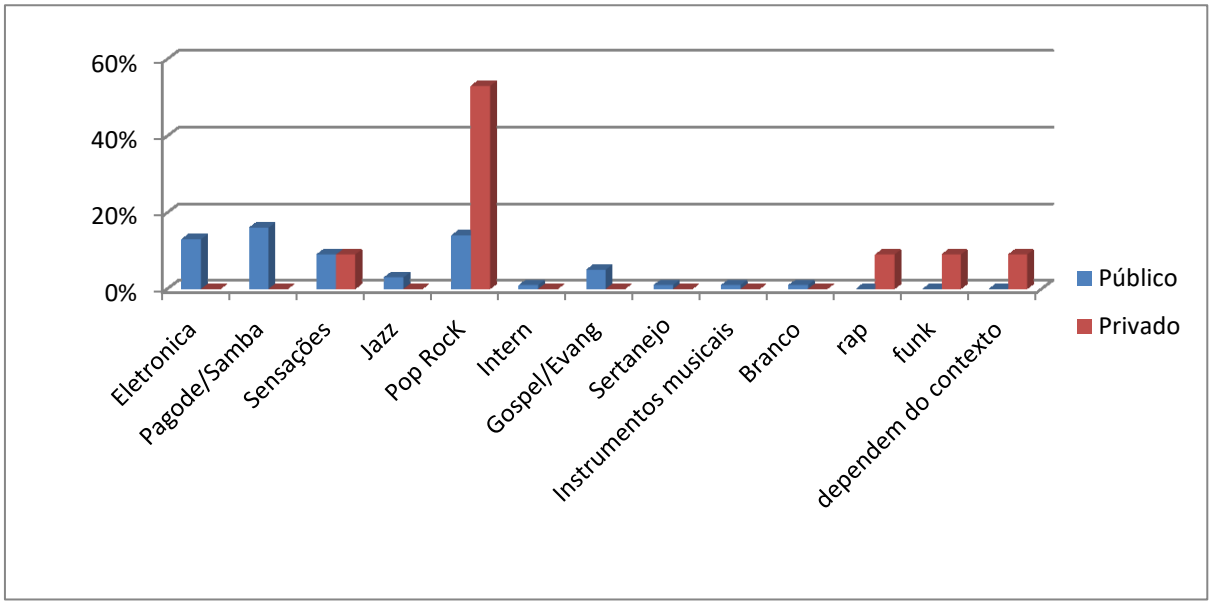

Figura 4.16 Quadro comparativo das respostas questão 3 questionário aula 1.

Sobre a questão 4, nota-se que o maior percentual dos dois grupos concentrou-se em falar dos eventos usando as sensações físicas mencionando as palavras "incômodo", "desconforto", "agradável", "suave" para comparar os sons. O grupo da escola pública usa os termos da acústica como período e frequência para fazer comparações assim como grupo da escola privada também usa termos pertinentes como ondas mecânicas e melodia. Na figura 4.17, tem-se a comparação das respostas dos dois grupos.

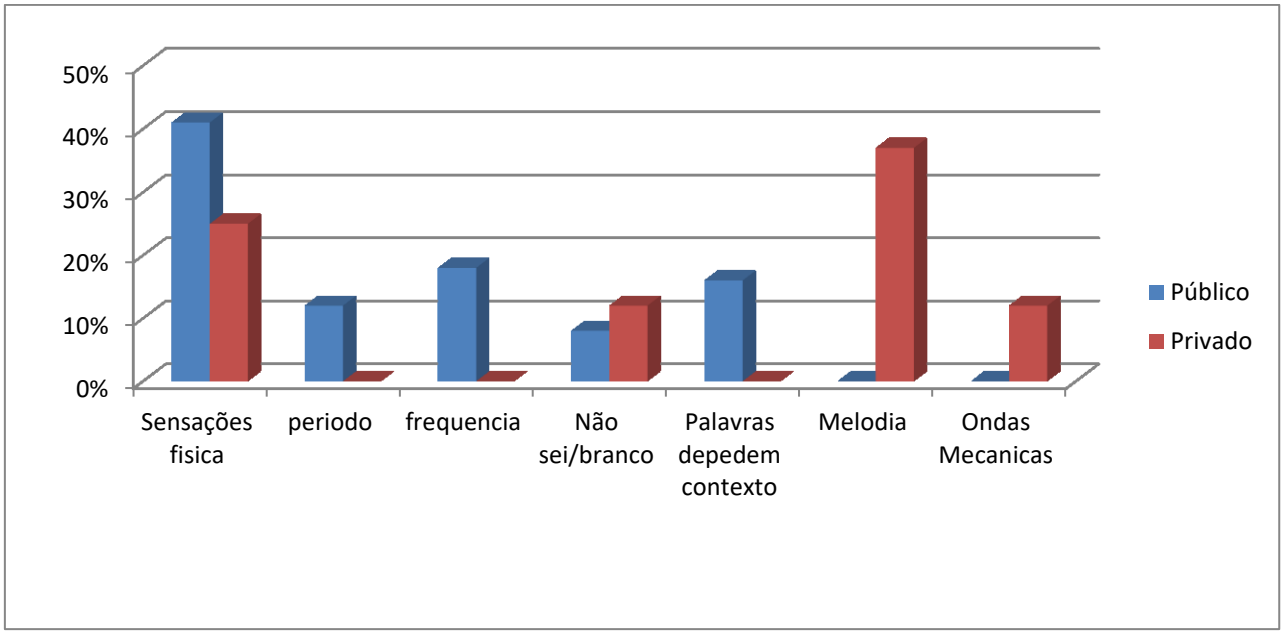

Figura 4.17 Quadro comparativo das respostas questão 4 questionário aula 1

Percebe-se que nas respostas do grupo do colégio público as ondas sonoras podem se propagar no vácuo. Esse tipo de resposta demonstra o desconhecimento da teoria sobre ondas mecânicas e aponta a existência de um conflito cognitivo. No caso do grupo do colégio privado, não ocorreu respostas desta natureza, porém, alunos não identificaram o meio sólido como meio de maior facilidade para som se propagar. No figura 4.18, estão as respostas comparadas da questão 5 de cada grupo.

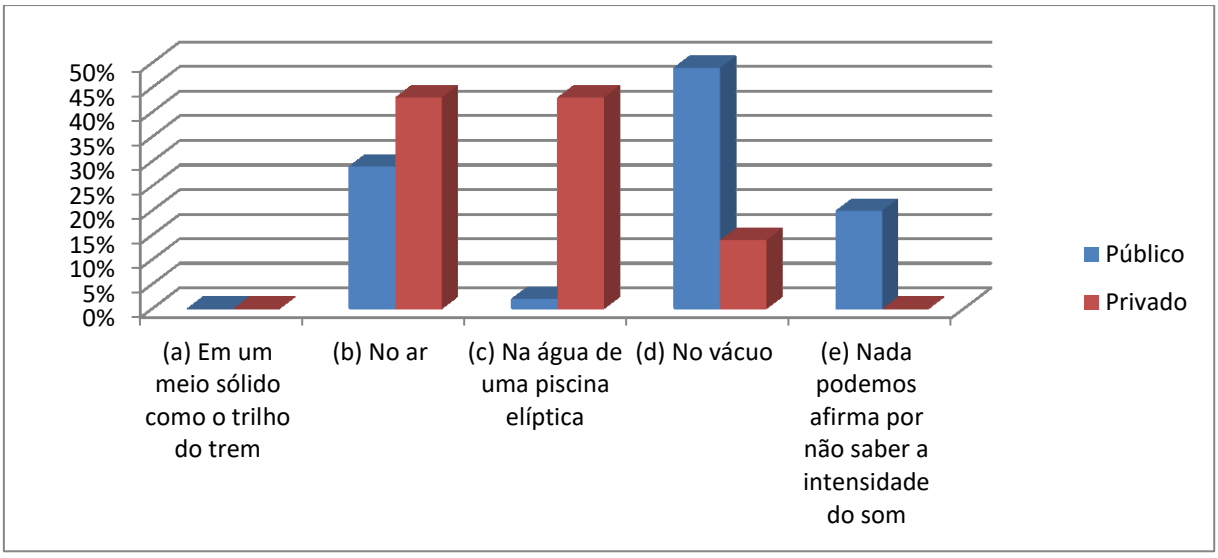

Figura 4.18 Quadro comparativo das respostas questão 5 questionário aula 1.

Os desenhos do grupo do colégio público em sua maioria faz menção a elementos musicais da acústica sendo que um pequeno percentual não desenhou e não expressou algo com relação direta à física das ondas, necessitando que o autor explicasse melhor suas intenções com seu desenho. Nos desenhos dos alunos do colégio privado prevaleceram modelos de desenhos sobre ondas bidimensionais como as senoídes e ondas circulares. Os padrões de desenhos agrupados em categorias estão presentes no figura 4.19.

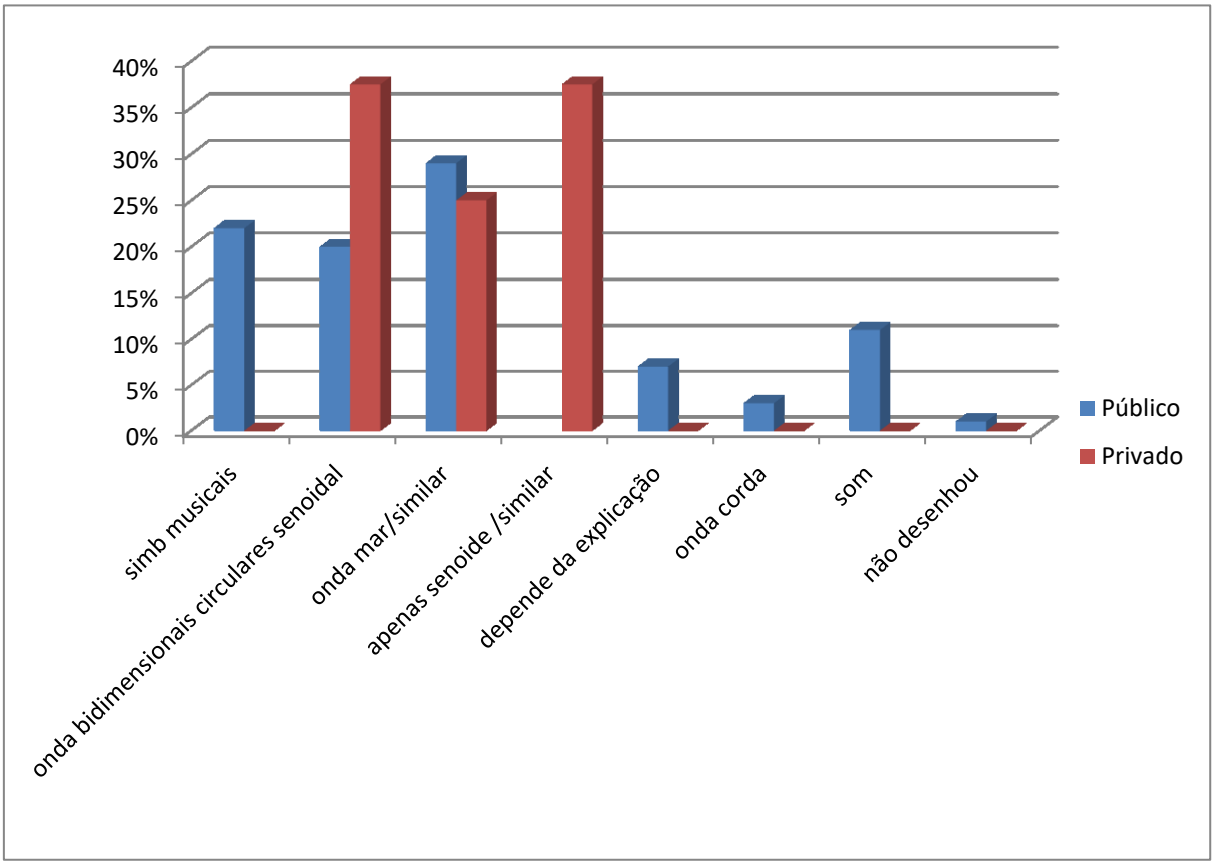

Figura 4.19 Quadro comparativo das respostas questão 6 questionário aula 1.

Da aula 2, usou-se para a comparação os questionários sobre a atividade exibida em vídeo. Na pergunta 1 que indagou sobre as etapas mais importantes da atividade o grupo do colégio publico, tem a maioria das respostas direcionadas a uma etapa, cerca de 30% para os detalhes de como criar a experiência e o maior grupo indicando que o mais importante são os procedimentos e que tipo de materiais usar. Um percentual pequeno não respondeu o questionário e outro sinalizou ser importante melhorar legendas e áudio (qualidade do vídeo). Na figura 4.20, tem-se a comparação em percentuais da questão 1.

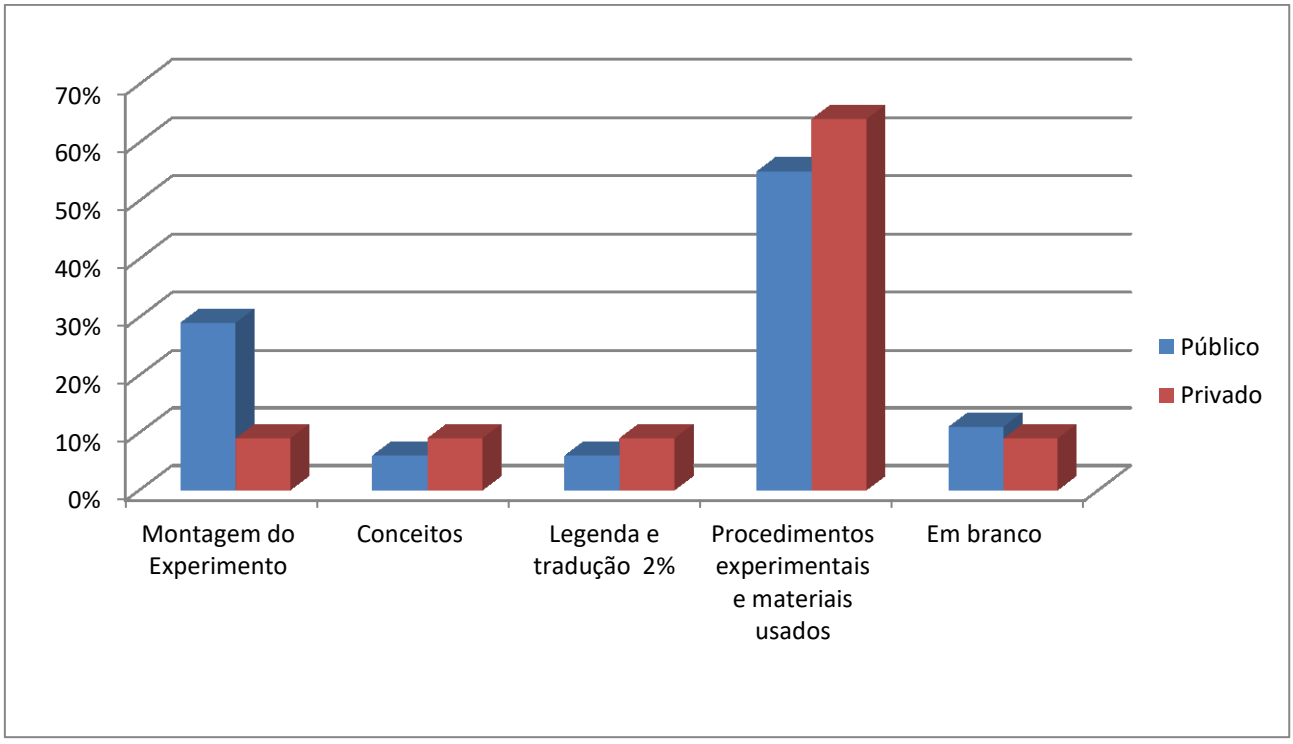

Figura 4.20 Quadro comparativo das respostas questão 1 questionário aula 2.

Nota-se que nos dois grupos o maior percentual de alunos enfatizou em seus desenhos reprodução dos mecanismos experimentais tais como cordas, pesos, instrumentos elétrico e eletrônicos usados em seus desenhos. Na figura 4.21 vê-se que no colégio público um percentual de alunos, cerca de 15%, demonstraram possuir algum conceito sobre amplitude e comprimento de onda. Foi observado um percentual praticamente idêntico ao grupo do colégio privado.

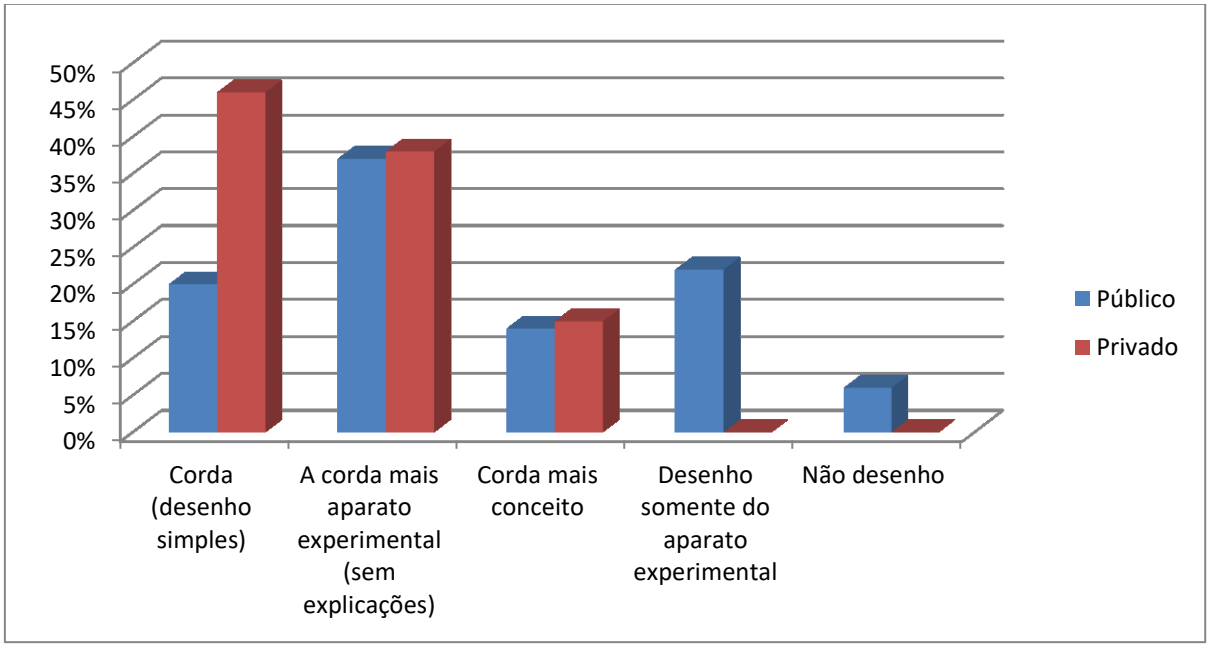

Figura 4.21 Comparativo das respostas questão 2 questionário aula 2.

Na questão 3 foi feita a pergunta sobre quais relações podem existir entre os fenômenos observados e alguns como velocidade e força conceitos apresentados. Na figura 4.22, são apresentados os percentuais das respostas de cada grupo. Os alunos do colégio público sinalizaram que a velocidade é a grandeza de maior influência sobre o formato da onda em experimento de onda em uma corda. Um menor percentual atribuiu a força e a velocidade a responsabilidade de um determinado formato da onda na corda. O grupo da escola privada também concentrou a maioria das respostas nestes itens, com maior percentual indicando que força e velocidade determinam formato da corda.

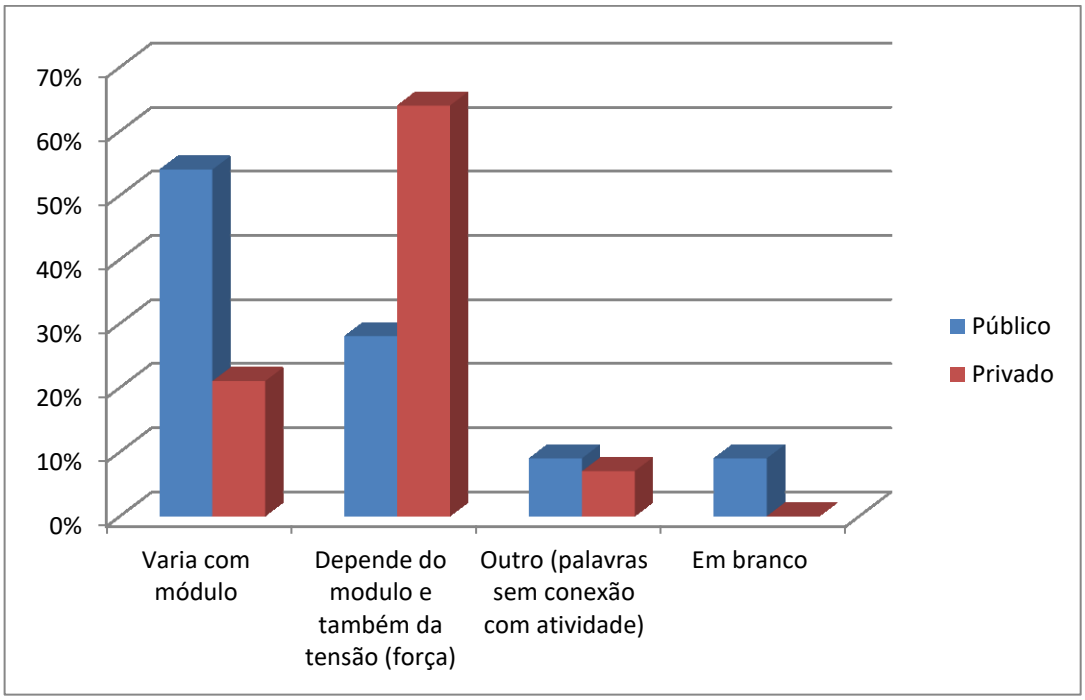

Figura 4.22 Quadro comparativo das respostas questão 3 questionário aula 2.

Na questão 4 relacionada sobre quais os aspectos do vídeo mais chamaram atenção, vemos a retomada de alguns, itens já citados nas suas próprias respostas. No grupo do colégio público um percentual grande deu ênfase sobre aspectos da teoria destacou tal item. Um pequeno percentual destacou problemas devido ao idioma, legendas e qualidade do trabalho dos produtores do vídeo, citando palavras amadores e profissionais. O grupo da escola privada deu maior número de respostas destacando o fato do professor da turma ser o ator principal dos vídeos. Percentuais iguais, nas respostas dos dois grupos, apontaram detalhes sobre a execução do vídeo e conceitos da disciplina. No gráfico da figura 4.23, estão descritos os percentuais de respostas dos dois grupos.

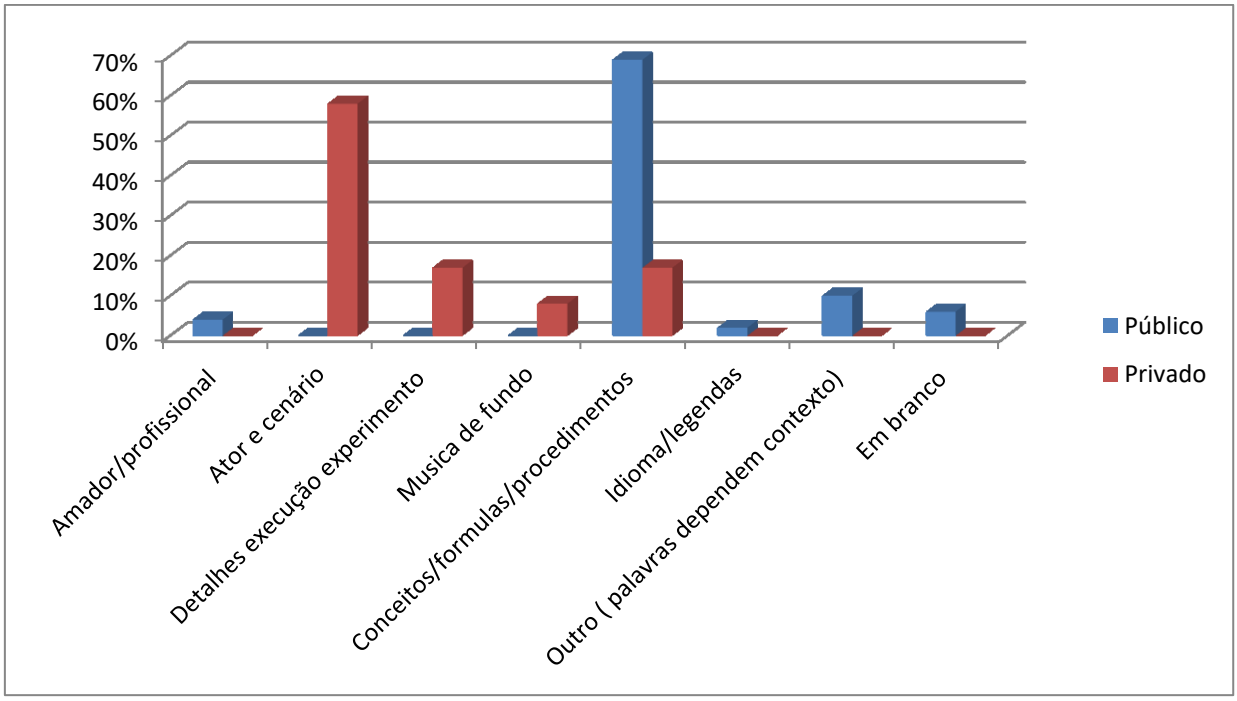

Figura 4.23 Quadro **c**omparativo das respostas questão 4 questionário aula 2.

Na aula 2 da sequência aplicada no grupo do colégio público foi realizada a montagem do instrumento musical. Na ocasião foram distribuídos os roteiros sobre como criar um xilofone e o professor explicou as etapas a serem seguidas. Todavia, como havia apenas um conjunto de material para construir o instrumento, a atividade precisou ser executada por um aluno de cada vez. Assim, o professor montou o instrumento e depois pediu que algum voluntários ajustassem e tocassem o xilofone. Por ocasião, um aluno com maiores conhecimentos em música tocou o instrumento e auxiliou na afinação. Outros alunos também usaram instrumento já afinado. No colégio privado, as atividades envolvendo a criação e desenvolvimento do instrumento musical foram realizadas na aula 3. Apenas um aluno se dispôs a ajustar o instrumento. Entretanto, houve mais tempo para que o roteiro fosse explicado e os alunos tentassem executar os cálculos para criar o xilofone. Os relatórios sobre a atividade 2 da aula 2 e da aula 3 no colégio privado que foram as maiores atividades práticas, realizadas não foram entregues. Os alunos, desta escola apenas fizeram os cálculos solicitados, usando os roteiros, e na própria aula foram discutidos os resultados desses cálculos.

Apenas os alunos do colégio privado tiveram a aula 4 e o fechamento da sequência. O fechamento da sequência possibilitou a identificação, o posicionamento dos alunos frente ao conteúdo estudado como seus interesses na disciplina e o grau de empenho em realizar as tarefas propostas. A sequência didática gerou novas ferramentas para avaliação e interação

com os alunos ao se utilizar as situações do seus interesses contextualizada à suas realidades locais.

Os alunos ao lidarem com a montagem e afinação de um intrumento musical estavam acessando os conhecimentos sobre o conteúdo de acústica. Este processo de montagem e execução da atividade com instrumento musical foi facilitado por elementos pertinentes aos seus cotidianos. Verifica-se isto, pois os alunos do colégio público se expressam utilizando termos ligados a expressões sensorial. Eles se utilizam de termos ligados a sensações físicas que remetem as ondas sonoras. Os alunos do colégio privado usam termos que remetem mais diretamente a conceitos de música e som como melodia e ondas mecânicas.

Em todas as intervenções que a sequência foi aplicada a motivação para realizar as tarefas propostas foi sempre maior em comparação com uso de material apostilado ou livro ao se abordar o tema proposto. Ficou evidente que o tempo para as práticas experimentais foi pequeno se comparado as etapas e procedimentos experimentais sugeridos nos roteiros. O fechamento da sequência didática sofreu alterações de formato na sua aplicação na instituição privada pela necessidade de inserção do material apostilado. Este fato ocorreu por que o uso da apostila deveria acompanhar o conteúdo ministrado nas aulas de física usado na sequência. Contudo, o processo contribuiu para avaliação daquele bimestre auxiliando no diagnóstico final dos alunos concluintes. Também ficou evidente a necessidade de retorno e fechamento do conteúdo sobre acústica para os alunos do colégio público. As estatísticas da aplicação das aulas sobre acústica, *feedback* final a respeito das respostas dadas aos questionários, a proposta de aula de autoavaliação como fechamento foram encaminhadas ao professor das turmas do colégio público. O professor fez posteriormente o fechamento das aulas de acústica. No entanto, até o momento relatar no presente trabalho esses resultados.

As aulas da sequência didática que envolvendo experimentações com coleta dados demandaram bastante tempo, a saber: tubo de Kundt e o Xilofone, sendo necessário análises posteriores mais detalhadas. Essas atividades precisam ser aprimoradas quanto à suas coletas de dados e adequação ao tempo disponível. O aperfeiçoamento na coleta dos dados dessas atividades práticas, e análise mais aprofundada da sequência didática, que traçe relações do que foi assimilado pelos alunos com um padrão de letramento científico, a verificações de possíveis mudanças conceituais esperado para esses alunos concluintes do ensino médio e os impactos desse tipo de formação na vida desses discentes e futuros profissionais abrem margem para continuidade deste trabalho em maior grau de estudo e detalhamento.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

As oficinas e práticas experimentais aplicadas na primeira intervenção deste estudo ajudaram de forma decisiva no planejamento e execução das demais etapas dentro de cada aula aplicada na sequência didática. Devido a problemas de orçamento e prazo, a segunda edição do projeto Novos Talentos não ocorreu, acarretando a não aplicação em espaço não formal da sequencia didática. Destaca-se aqui que não ocorreu *feedback* direcionado para aqueles alunos sobre as práticas experimentais realizadas no projeto Novos Talentos, pois ocorreu encerramento das aulas desobrigando a ida a escola dos alunos. Entretanto, alguns desses alunos que apresentavam baixo rendimento ou desinteresse nas áreas de química, física e matemática ao final do projeto relataram aos monitores e tutores sua mudança de postura em relação às disciplinas e em alguns casos melhoras nos seus rendimentos escolares.

Quanto aos levantamentos realizados com os questionários sobre as concepções prévias dos alunos, nas intervenções nas escolas pública e particular da sequência didática obteve-se um panorama semelhante para os dois grupos de alunos, tanto do colégio público como do privado. Percebe-se que os alunos do colégio privado fazem menção a termos ligados a física ondulatória de forma mais explícita usando a palavra ondas em certos casos. O detalhe importante é que a concepção de onda do mar como fenômeno ondulatório é comum aos grupos. Nos relato dos alunos do colégio público apareceram termos que necessitaram, de seu contexto ou explicação do autor, para sua plena compreensão. No grupo do colégio público, os alunos tem mais dificuldade em usar modelos conceituais já estudados sobre a física ondulatória. Os alunos do colégio privado fazem menção em suas respostas aos conceitos de ondas utilizando os conceitos estudados em acústica.

Os dois grupos mostram dificuldades em identificar conceitualmente qual o meio de melhor propagação do som. Entretanto, percebe-se um conflito cognitivo entre os conhecimentos prévios sobre acústica, nos alunos do colégio público, e as teorias cientificas adequadas usadas neste trabalho. Quando esses alunosfizeram uso de recursos de imagens, desenhos e símbolos, seus conhecimentos foram expressos mais livremenre em relação ao conteúdo abordado. Isto auxiliou no processo de evidenciar quais distorções existem sobre os conceitos assimilados e o que está mais alinhado às teorias adotadas nas aulas de física .

Na interação com as atividades práticas os alunos enfatizaram os aspectos procedimentais das atividades, dando maior ênfase a seus detalhes estéticos. Nos desenhos feitos sobre a atividade em vídeo pode-se perceber que conceitos importantes sobre ondas

como amplitude, frequência e comprimento de onda influenciam suas análises acerca dos fenômenos ondulatórios. Entretanto, a maioria dos alunos não expressa, explicitamente nas respostas dos questionários, essa influência. Por isso, percebe-se que as relações do conceito de onda com velocidade, comprimento de onda e frequência não estão presentes nas respostas relacionadas à atividade em vídeo.

Na aula envolvendo o uso das habilidades músicais ao se discutir sobre acústica e construção do instrumento os alunos precisam lidar com certas características desse instrumento para expressar seu entendimento sobre timbre, melodia e harmonia e desta forma acabam acessando os conhecimentos trabalhados. O que se percebeu é que os conhecimentos adquiridos nas aulas de acústica para compreensão do conceito de altura (grave e agudo) e intensidade sonora estão relacionadas com manuseio do instrumento e as especificidades do material usado para criar o xilofone. O progresso dos alunos na aula se deu por uma relação colaborativa existente. Isto ocorreu também por haver entre os mesmos alguns alunos com mais bagagem da disciplina. Neste caso, alunos estudantes de música: vale mencionar também que alguns alunos já exercem papel de monitor em grupo de estudo.

Alguns alunos, dos dois grupos analisados, mostraram algun avanço em seus conhecimentos de acústica durante o processo de aplicação da sequência didática. Isto permitiu que a cada aula houvesse um espaço para sanar dúvidas existentes. O trabalho auxiliou os alunos na transição dos seus conhecimentos prévios, sem alinhamento científico, para um entendimento da física e das ciências cientificamente aceitos. O objetivo é que, daqui em diante, todos alunos alvos desta pesquisa possam enxergar os fatos ligados ao tema da acústica e fenômenos ondulatórios com uma base mais estruturada e uma forma mais crítica acerca de conteúdos dos física estudados.

REFERÊNCIAS

AUSUBEL, David P. Aquisição e Retenção de Conhecimentos: Uma Perspectiva Cognitiva. NEW YORK, Plátano Edições Técnicas Lisboa, 2000. 217p.

ARAUJO, Mauro Sérgio Teixeira de **ABIB**, Maria Lúcia Vital dos Santos. Atividades experimentais no ensino de física: diferentes enfoques, diferentes finalidades. REVISTA BRASILEIRA DE ENSINO DE FÍSICA, São Paulo, vol. 25, numero 2, 176até194, junho 2003.

BARBIER, René, A Pesquisa-Ação, Tradução de Lucie Didio, Brasília: Liber Livro Editora, 2007. 159p.

BRASIL. Programa Novos Talentos, Fundação CAPES. MEC, DF, outubro de 2014. http://www.capes.gov.br/educacao-basica/novos-talentos acessado em 19 de Junho de 2015.

BRASIL. Parâmetros Curriculares Nacionais Mais: Ensino Médio. Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias MEC. Brasília, DF, 2002.

BROMBERG, Carla Música e Instrumentos IV Simpósio Nacional de Tecnologia e Sociedade Ciência e Tecnologia construindo a igualdade na diversidade, Universidade Tecnológica Federal do Paraná - UTFPR | Campus Curitiba, Curitiba, PR, 09 a 11 de Novembro de 2011.

CAVALCANTE, Marisa Almeida **PEÇANHA**, Renata **TEIXEIRA,** Anderson de Castro Ondas estacionárias em cordas e determinação da densidade linear de um fio. REVISTA BRASILEIRA DE ENSINO DE FÍSICA, São Paulo, vol. 35, numero 2, 3502-2, Setembro de 2013.

CARMAN, Robert A. Kundt tube Dust Striations. American Journal of Physics Carnegie Institute of Technology, Pittsburg, Pennsylvania, v. 25, p. 505-507 January 10, 1955.

CHINAGLIA, D. L. **GOZZI,** G. **ALFARO**, R. A. M. **HESSEL**, R. Espectroscopia de impedância no laboratório de ensino Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 30, n. 4, 4504, 2008.

DEMO, Pesquisa Participante Mito e Realidade, SENAC/Rio de Janeiro, 1984

GEHLEN, Simoni Tormöhlen; **MALDANER**, Otavio Aloísio **DELIZOICOV**, Demétrio Momentos pedagógicos e as etapas da situação de estudo: complementaridades e contribuições para a educação em ciências Revista Ciência e Educação, v. 18, n. 1, p. 1-22, 2012.

GIANI, Kellen A experimentação no Ensino de Ciências: possibilidades e limites na busca de uma Aprendizagem Significativa UnB, 2010. 190 p. Dissertação (Mestrado) – Universidade de Brasília Decanato de Pesquisa e Pós-Graduação Instituto de Ciências Biológicas Instituto de Física Instituto de Química Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências Mestrado Profissional em Ensino de Ciências Universidade de Brasília – UnB, Brasília, DF, 2010.

GIORDAN, Marcelo O papel da experimentação no ensino de ciências: subtítulo do artigo. II ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA EM EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS, USP Valinhos - SP, 1999.

GOBARA, S. T. **ERROBIDART**, N. C. G. **MARQUES**, S. M. **JARDIM,** M. I. A. **ERROBIDART,** H. A. **PLAÇA,** L. F. O conceito de ondas na visão dos estudantes VI ENPEC Encontro Nacional de Pesquisa e Educação em Ciências. NUTES-UFRJ, SC, Florianópolis, 26 Novembro á 01 de Dezembro 2007.

GUERRA, Rui Manuel F. Neves Apostila de acústica do curso de terapeuta da fala, Departamento de Física Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade do Algarve, Portugal, Fevereiro de 2006. Link http://w3.ualg.pt/~arodrig/Documentos/InfPagina/ACUSTICA.pdf Acessado em 11 de junho de 2015 as 16 horas.

HAJRA, Sayonita G. Teaching experiment and its role in teaching University of Georgia, Athens, 2013.

HALLIDAY, David; **RESNICK**, Robert; **WALKER**, Jearl. Fundamentos de física; v.2. 6.ed. RIO DE JANEIRO: LTC, 2002. 228p.

LEÃO, Denise Maria Maciel Paradigmas contemporâneos da educação: Escola Tradicional e a Escola Construtivista, Cadernos de Pesquisa, n. 107, p. 187-206, julho de 1999.

MOREIRA, Marco A**.** Teorias de Aprendizagem. São Paulo: EPU Editora Pedagógica e Universitária, 1999. 199p.

_____: O professor-pesquisador como instrumento de melhoria do ensino de ciências. Em Aberto 7(40), 43-54, DF, Brasília, 1988.

_____: Aprendizagem Significativa: São Paulo: LF Editora Livraria da Física, 2011. 179p.

MOREIRA, Marco A. **CABALLERO**, M.C. e **RODRÍGUEZ**, M.L. (orgs.) Actas del Encuentro Internacional sobre el Aprendizaje Significativo. Burgos, España. pp. 19-44., 1997.

NARDI, Roberto; **GATTI**, Sandra Regina Teodoro Uma revisão sobre as investigações construtivistas nas últimas décadas: concepções espontâneas, mudança conceitual e ensino de ciências Revista Ensaio, v. 6, n. 2, p. 145-175, 2004.

OLIVEIRA, Naylor A Física da música, Revista Eletrônica de Ciências, USP Numero 25 Abril, São Carlos, SP, 2004.

PEREIRA, Marco do Carmo Matemática e música de Pitágoras aos dias de hoje UNIRIO, 2013. 91 p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro Centro de Ciências Exatas e Tecnologia Curso de Pos-graduação em Matemática Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Programa de Pós-graduação em Matemática PROFMAT da UNIRIO, como requisito para a obtenção do grau de MESTRE em Matemática Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, 2013.

NUSSENZVEIG, Moysés, H**.** Física Básica. São Paulo: Edgar Blüncher, volume 2 Fluidos, Oscilações, Ondas e Calor 1981. 310p.

MELO, Marcos Gervânio de Azevedo A física no ensino fundamental: Utilizando o jogo educativo "viajando pelo universo" Lajeado: UNIVATES, 2011. 99 p. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências Exatas, Mestrado em Ensino de Ciências Exatas, Centro Universitário UNIVATES, Lajeado, 2011.

RIO DE JANEIRO. Currículo Mínimo: Ensino Médio. SEEDUC. Rio de Janeiro, 2012. http://www.conexaoprofessor.rj.gov.br/curriculo_aberto.asp acessado em 07 de Janeiro 2015 ás 18hs.

RICARDO, Maurício Nogueira Maciel da; **FREIRE**, João Bernardes da Rocha A concepção dos alunos sobre a física do ensino médio: um estudo exploratório Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 19, n. 2, p. 251-266, 2007.

SAAB, Sérgio da Costa; **CÁSSARO**, Fabio Augusto Meira; **BRINATTI**, André Maurício Laboratório caseiro: tubo de ensaio adaptado como tubo de kundt para medir a velocidade do som no ar Caderno Brasileira de Ensino de Física, v. 20, n. 1, Abril, 2003.

SANTOS, Antônio Carlos Fontes dos Aula 7 Sobreposição de ondas Disponível em: http://www.if.ufrj.br/~toni/otica7.pdf Acessado em: 21.08.2015.

SÉRÉ, Marie-*Geneviève* **COELHO**, Suzana Maria **NUNES**, António Dias O papel da experimentação no ensino da física Caderno Brasileira de Ensino de Física, v. 20, n. 1, Abril, 2003.

SILVA, Maurício Nogueira Maciel da; **FILHO**, João Bernardes da Rocha O papel atual da experimentação no ensino de física xi salão de Iniciação Científica PUCRS Faculdade de Física, PUCRS, Porto Alegre, 09 á 12 de Agosto de 2010.

SOUZA, D. F. de **OLIVEIRA**, H. M. de Uma ferramenta para análise de sons musicais: A Série Quantizada de Fourier XXII Simpósio brasileiro de telecomunicações, Campinas, SP, 4 á 8 de setembro de 2005.

URIAS, Guilherme **ASSIS**, Alice Experimentos físicos nas salas de aula do ensino fundamental: meio de acesso a linguagem física XVIII Simpósio Nacional de Ensino de Física Universidade Federal do Espirito Santo UFES, Vitória, ES, 26 á 30 de Janeiro 2009.

VIEIRA, L. P. **AMARAL**, D. F. **LARA**, V. O. M. Ondas sonoras estacionárias em tubo: Análise de problemas e sugestões Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 36, n. 1, 1504, 2014.

APÊNDICE A. FUNDAMENTOS SOBRE ONDAS MECÂNICAS

FREQUÊNCIA, PERÍODO E COMPRIMENTO DE ONDA

Essas grandezas são comuns a todos os tipos de onda, sejam eletromagnéticas ou mecânicas. Em se tratando de ondas mecânicas, pode-se utilizar o exemplo da pedra que cai no lago da figura A.1 gerando as perturbações que se propagam o numero destes eventos no tempo, ou seja, a passagem destas frentes da onda em um ponto, que recebe o nome de frequência. O tempo entre estes eventos sucessivos chamamos de período. O espaço percorrido por esta perturbação durante este ciclo (um período) é o que chamamos de comprimento de onda. Na figura A.1 estão representadas as frentes onda se propagando. As setas indicam sentido de propagação da onda juntamente com a indicação do seu comprimento de onda λ.

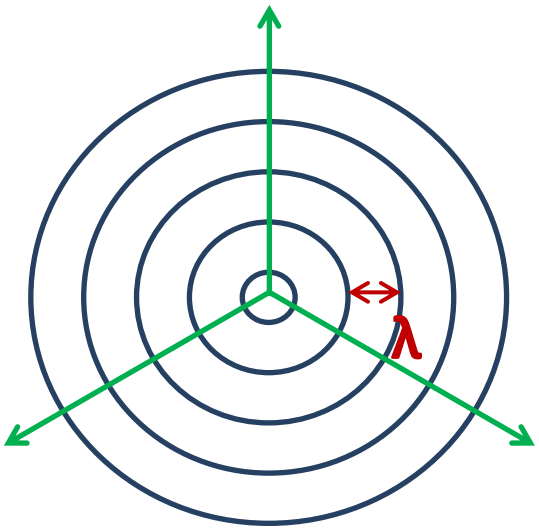

Figura A.1. Representação da propagação das ondas circulares em meio homogêneo. As setas em verde indicam o sentido de propagação das frentes de onda e λ o comprimento de onda.

CARACTERÍSTICAS IMPORTANTES DAS ONDAS SONORAS

Nesta pesquisa, as experimentações servirão de ferramenta para trabalhar os conceitos sobre ondas sonoras de natureza mecânica longitudinal. Esta onda terá velocidade, frequência e comprimento de onda ligado ao meio onde ela se propaga. Os estudos na área de acústica nos mostram como se diferenciam os sons produzido por um violão de um ruído desagradável ou o ruído de arrastar uma mesa no chão e o acorde de uma guitarra (OLIVEIRA, 2004). Esta percepção das características únicas de tais fenômenos sonoros são modelados como uma

soma de ondas harmônicas de amplitudes conhecidas. A equação do tipo oscilador harmônico representa a equação de uma onda harmônica. A representação dessa soma de ondas harmônicas é modelada no teorema do matemático Jean-Baptiste Joseph Fourier (1768-1830). Em seu teorema Fourier relaciona uma série com somatório de senos e cossenos onde uma onda completa é escrita pelo somatório das ondas harmônicas de amplitude e fase inicial (NUSSENZVEIG, 1981). Este processo onde o som é decodificado, diferentes ondas ocorrem no sistema auditivo humano e é chamado de análise de Fourier. Neste estudo três grandezas das ondas sonoras destacam-se, a intensidade da onda ou amplitude, frequência e o seu timbre. A intensidade refere-se à amplitude das oscilações da pressão do ar, conhecido mais comumente como volume. Na transformada de Fourier temos a amplitude de cada onda harmônica e as frequências associadas a elas. O timbre é uma grandeza relativa à presença de frequências dos harmônicos que compõe aquela onda sonora (OLIVEIRA, 2004). Um exemplo do que seria uma decomposição via análise de Fourier está ilustrado na figura A.2.

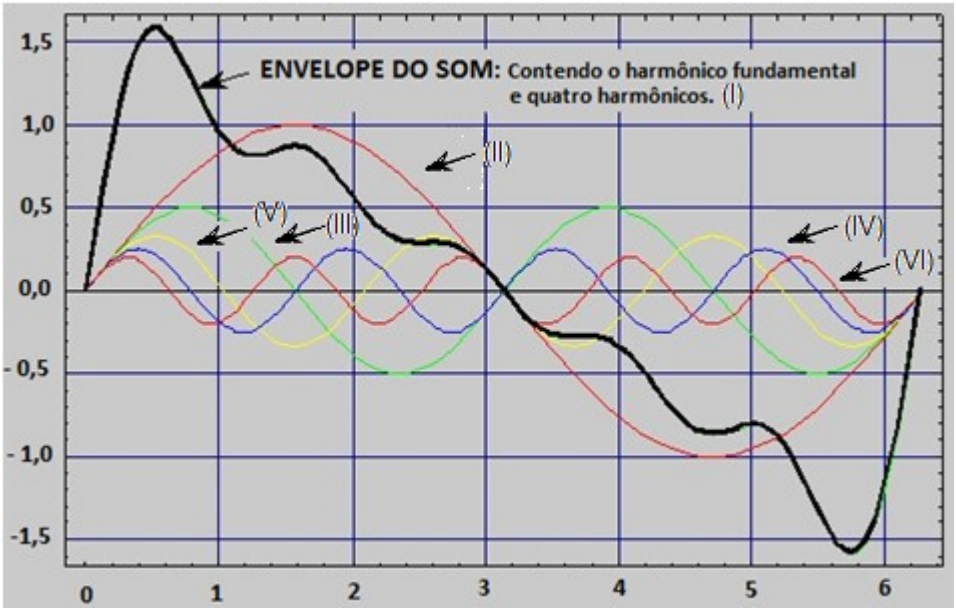

Figura A.2 Decomposição em séries de Fourier de uma onda sonora (Envelope do Som) (I). Em vermelho (II) com maior amplitude e um comprimento de onda está o harmônico fundamental, (III) primeiro, (IV) segundo e (V) terceiro, (VI) quarto harmônico . O eixo das ordenadas representa a amplitude e da abscissa o tempo, ambos em unidades arbitrárias. Fonte: http://www.navaching.com/shaku/timbre.html (adaptada).

Na figura A.2, está representado o timbre de uma onda sonora (I) de alguém pronunciando a letra "u" e sua decomposição em séries de Fourier, sendo a onda senoidal de maior amplitude (II) o harmônico fundamental e as demais (III, IV, V e VI) ondas senoidais com os outros quatro harmônicos subsequentes.

A VELOCIDADE DE PROPAGAÇÃO DA ONDA

Transpõe-se aqui para uma onda um importante conceito que é oriundo da cinemática que é o conceito de velocidade, todavia este conceito precisa ter parâmetros ligados ao movimento ondulatório. Isto por que este conceito foi originalmente concebido para uma partícula. Este conceito é importante, pois ele simplifica a descrição do movimento de qualquer corpo desprezando suas dimensões olhando apenas para movimento do centro de massa (CM)[8] deste corpo. Por definição a velocidade média para uma onda usando a conceito da teoria corpuscular é

$$v_m = \frac{s_2 - s_1}{t_2 - t_1}, \tag{A.1}$$

sendo s_2 e t_2 posição e tempo finais e s_1 e t_1 espaço e tempo iniciais, respectivamente representados na figura A.3. Na teoria de ondas tem-se

$$s_2 - s_1 = \lambda, \tag{A.2}$$

sendo λ o comprimento da onda. O período T é dado por

$$t_2 - t_1 = T. \tag{A.3}$$

Usando a relação T = 1/f onde f é a de frequência obtemos a seguinte equação para velocidade:

$$v_m = \frac{s_2 - s_1}{t_2 - t_1} = \frac{\lambda}{T} = \lambda . f. \tag{A.4}$$

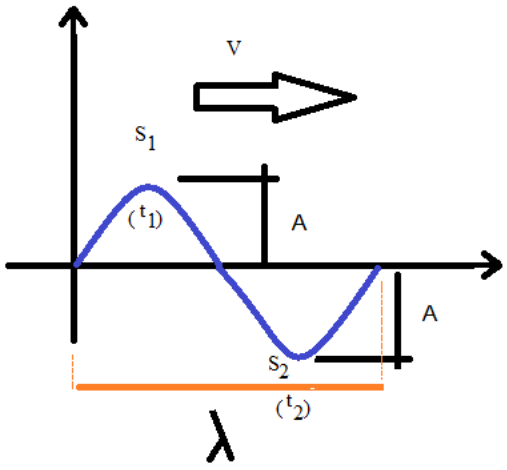

Figura A.3 Descrição da propagação de uma onda nos instantes t_1 e t_2 sua velocidade e posição no tempo.

[8] O Centro de Massa é um ponto do corpo onde se convencionou concentrar toda massa do mesmo. Isto permite descrever toda dinâmica desse corpo usando com a dinâmica desse ponto que é a dinâmica de uma partícula. (NUSSENZVEIG, 1981)

APÊNDICE B. REVISTA A FÍSICA É UMA ONDA

Figura B.1 Revista a física é uma onda capa e contra capa

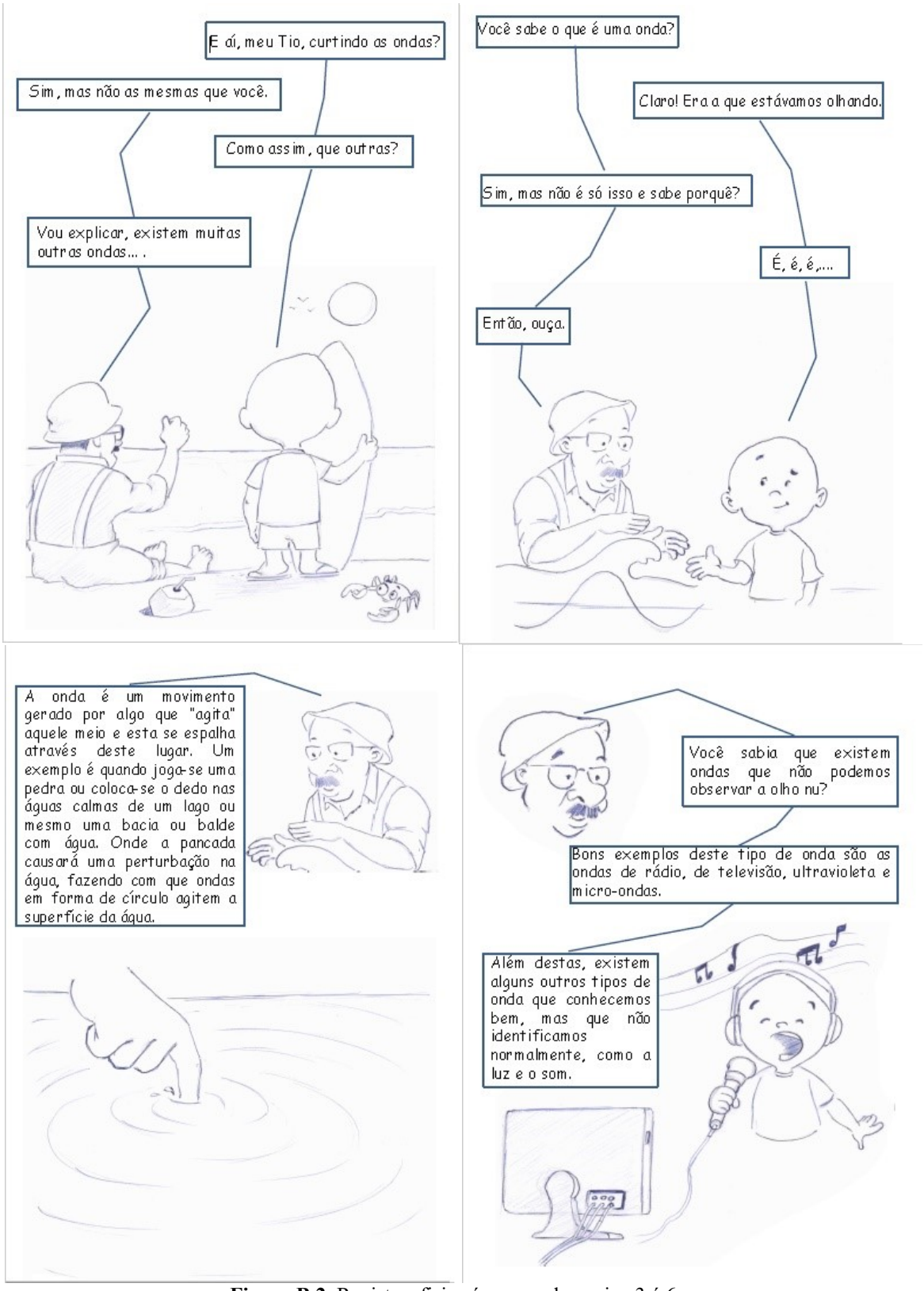

Figura B.2 Revista a fisica é uma onda pagina 3 á 6

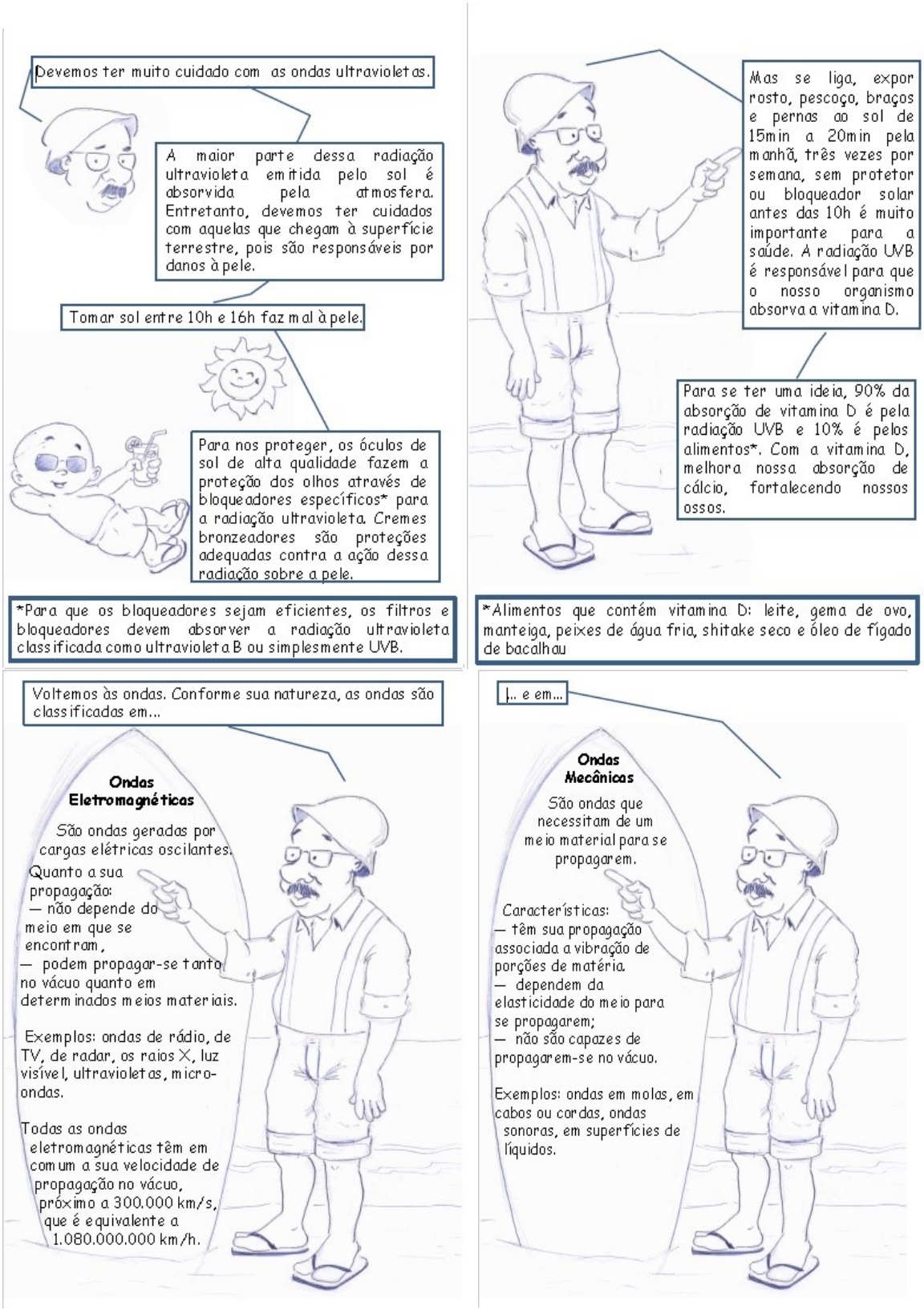

Figura B.3 Revista a fisica é uma onda pagina 7 á 10

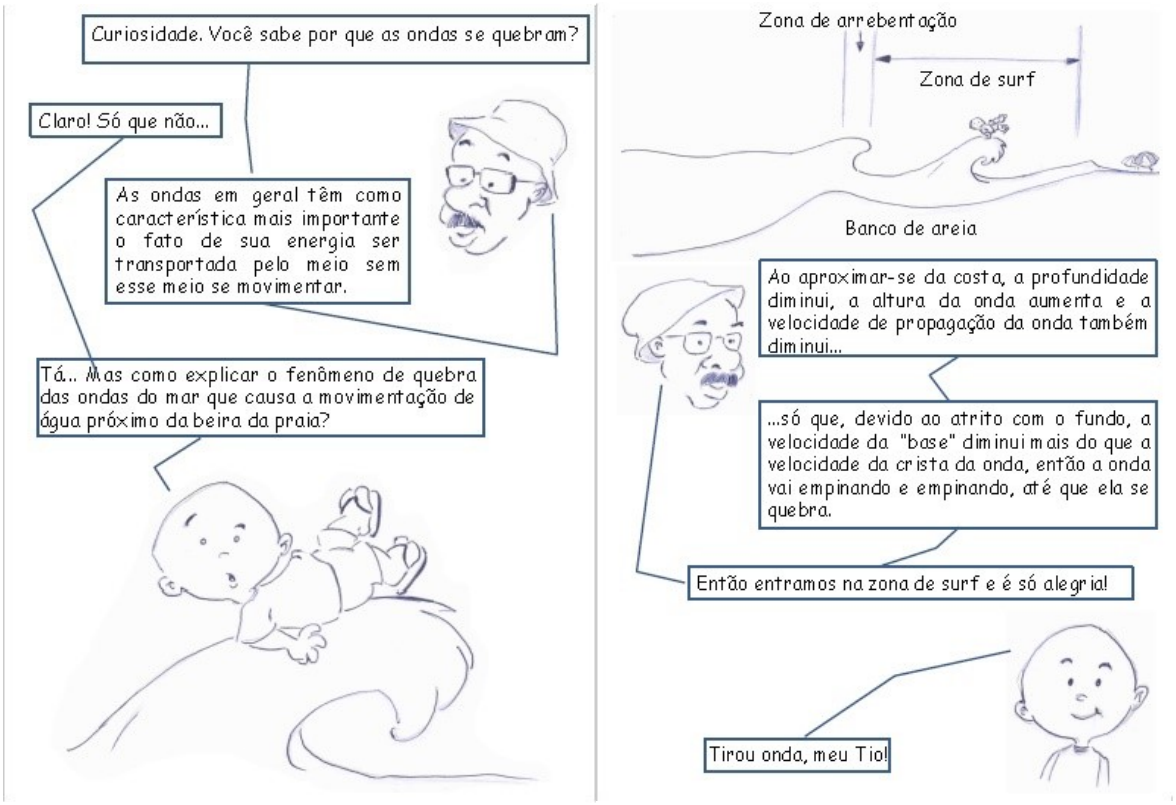

Figura B.4 Revista a fisica pagina 11 á 13

APÊNDICE C. CONFECÇÃO DO TUDO DE KUNDT

Para fabricar o tubo inciou-se uma busca pelo melhor material acessível dentro das condições financeiras de um professor de ensino médio. Identificou-se bons materiais fabricação do tubo. Aventou-se o uso de garrafas PET e lampâdas florencentes como possiveis tubos. Esses materiais foram descartados, após se verificar a fragilidade, baixo isolamento acústica esta atividade e pouca transparência dos mesmos.

O que se percebeu foi a necessidade de contruir o tubo com material leve, transparente e resistente. Optou-se por solicitar em local especializado um tubo de acrílico, ilustrado na figura C.1, de comprimento L = 100 cm, espessura d = 5 mm e diâmetro D = 3 cm.

Figura C.1 Detalhes técnicos do tubo acrílico construído para experimentação.

Quanto a escolha do autofalante, precisava-se de um material que gerasse pouco ruído, com abertura de saída de som pequena, tal que fosse menor que a abertura do tubo de acrílico, ver figura C.1, e em condições de aquisição com qualidade. O modelo de alto falante adotado foi o da marca JBL Selenium, modelo D200, com potência 50 W RMS. Havia ainda a possibilidade de usar outros modelos menos potentes, porém o material usado no interior do tubo para a visualização das ondas estacionária teria que sofrer adaptações e o tamanho do tubo também.

Ligado ao alto falante, foi usada uma placa amplificadora de potência 250 W RMS e essa ligado ao computador ou laptop para gerar sinais sonoros. Existe a possibilidade de usar apenas um gerador de sinais junto com um amplificador em único equipamento. Isso

descartaria o uso do computador ou laptop. Entretanto, seria exigido do gerador de sinais uma potência superior a 300 W RMS. Na figura C.2, pode-se ver a caixa metálica que contém a placa amplificadora com fonte conectada ao alto falante. Na figura C.2, o cabo conectado onde se lê “In” é cabo que vai do computador ou laptop para placa e onde se lê “Out” da placa para o autofalante. Usou-se dois cabos de pugles P2 áudio para conectar o autofalante, placa amplificadora e laptop.

Figura C.2 Caixa de madeira contendo a placa amplificadora e fonte.

A escolha do material no interior do tubo foi influênciada pela potência do autofalante. Para este projeto o isopor foi o material mais leve encontrado. Usou-se também farinha de trigo, amido de milho e areia. Porém a conformação da onda foi melhor visulizado com o isopor. Para chegar ao tamanho ideal dos pedaços de isopor o mesmo foi fragmentado usando um utensílio doméstico com abertura regular. Isso permitiu que a formação dos grãos tivessem tamanhos na ordem de 1 mm de diâmetro. Na figura C.3, exibiu-se a forma de obter os grãos no tamanho desejado juntamente com a régua para verificar magnitude dos grãos.

Figura C.3 Fragmentação do isopor no tamanho apropriado.

Em resumo, segue o material utilizado para a montagem do experimento. Veja APENDICE D para detalhes da atividade sugerida com tubo de kundt.

- Um tubo transparente de acrílico (comprimento do tubo 100 cm diamentro interno 3 cm espessura da parede 5 mm);
- Um alto falante automotivo com saída do som de diametro 5 mm potência 50 W RMS;
- Computador com programa *Sweep Gen* instalado para gerar o sinal de áudio;
- Isopor (raspas ou flocos pequenos) diametro de 1mm;
- Durex, fita adesiva de papel ou cola para plástico;
- Suportes de PVC (para apoiar o tubo).

Na figura C.4, é apresentado o tubo de Kundt montado para executar as atividades.

Figura C.4 Tubo de Kundt montado e conectado ao computador Fonte: Acervo do autor.

APÊNDICE D. ATIVIDADE EXPERIMENTAL 1 TUBO DE KUNDT (AULA 2)

Neste experimento pode-se observar dentro do tubo a formação de ondas estacionárias. Estas ondas mecânicas são geradas pelo autofalante acoplado ao tubo fechado. Será discutido neste roteiro como o passo a passo para obter o comprimento de onda e a velocidade de propagação da onda. A velocidade da onda pode ser obtida através da equação D.1, isto por que o ar se comporta aqui como gás ideal,

$$v = 20{,}04\sqrt{T} \quad , \tag{D.1}$$

sendo v é a velocidade de propagação som e T a temperatura dada em Kelvin. No ar, à uma temperatura de 293 K (20 °C), a velocidade de propagação do som é de aproximadamente 343 m/s e pode ser determinada utilizando-se um tubo de Kundt. Com valor da velocidade de propagação som, pode-se calcular o comprimento de onda. Utiliza de um aparelho para emitir o som com o valor da frequência dessa onda sonora conhecida. A fim de trabalhar as características de uma onda sonora se propõe agora calcular a velocidade do som dentro do tubo.

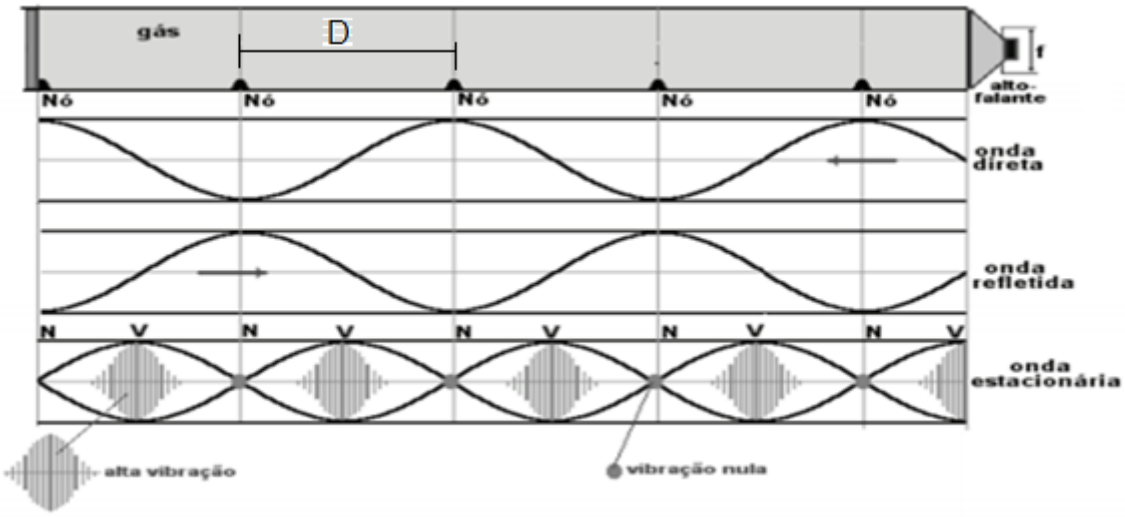

Figura D.1 Tubo de Kundt: representação das ondas estacionárias (SAAB et. al., 2003).

Na figura D.1, foi utilizado a distância entre dois pontos consecutivos representando a distância com a letra (D). Estes pontos que demarcam a distância D recebem o nome de nó e pode ser calculado por

$$D = \lambda/2, \tag{D.2}$$

sendo λ o comprimento da onda no tubo.

Fazendo uso da equação, válida para qualquer onda,

$$v = \lambda f \ , \tag{D.3}$$

em que f é a frequência, e substituindo λ obtido na equação (D.2) em (D.3), verifica-se que a velocidade de propagação da onda será dada por

$$v = 2Df. \tag{D.4}$$

Em uma atividade prática pode-se comparar os dois valores da velocidade do som, um calculado pela equação (D.1) e o outro pela equação (D.4).

Os pontos chamados de nó (N) são pontos onde as amplitudes são nulas e os pontos chamados de ventres (V) são de amplitude máxima. Neste trabalho, sugere-se utilizar isopor dentro do tubo porque esse é um material bem leve capaz de formar um padrão de desenho compatível com a onda estacionária presentes no tubo. O tubo acrílico é fechado nas duas extremidades sendo que em uma das extremidades está o autofalante (VIEIRA et. al., 2014). Conhecido o valor de d, tamanho do tubo e ainda usando o valor da velocidade de propagação do som calculado pode-se através da equação D.5 determinar a frequência e retornando na equação (D.3) calcular o comprimento de onda :

$$f \ = \ \frac{(n.v)}{2L} \tag{D.5}$$

onde n é numero de ventres presentes no tubo, v velocidade som e L tamanho total do tubo.

MONTAGEM DO APARATO

1. O conjunto do tubo, o computador e o amplicador devem ser montado conforme está na figura D.2.

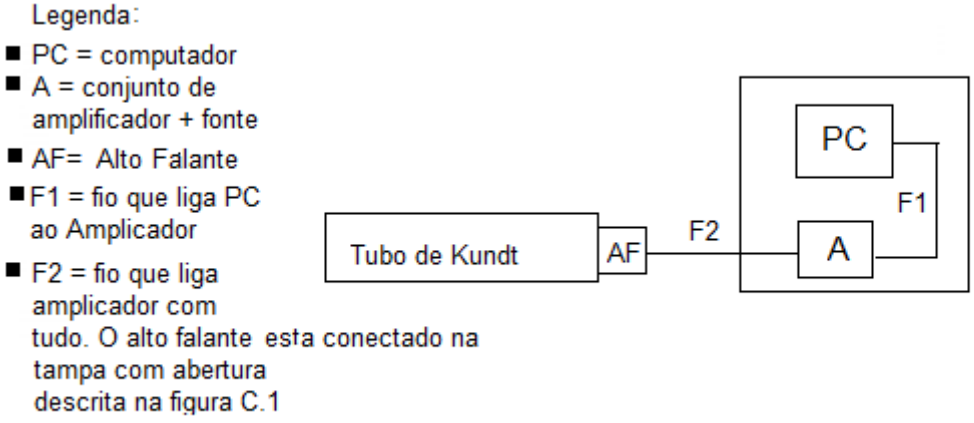

Figura D.2 Esquema da montagem do experimento com o tubo de Kundt.

2. Coloque isopor dentro do tudo (use uma vareta para distribuir material dentro tubo).

3. Balance o tubo antes conectar o autofalante para buscar uma distribuição homogeneamente do isopor.

4. Apoie o tubo sobre os dois suporte nas extremidades.

5. Conecte o alto falante no tampão vazado e depois coloque o tampão na extremidade aberta. Nesta etapa o tubo já pode ser vedado eliminando os espaços nas extremidades com durex ou cola específica.

6. Ajuste no programa *Sweep Gen* a frequência que deseja gerar a onda.

OBS: O isopor é um material que ao sofrer atrito gera estática consideravel, por isso é necessário refazer a etapa 3 após cada medida. Isto evita situações na qual o isopor em muitos flocos se aglomera conduzindo a resultados dúbios nas medidas.

DESCRIÇÃO DA ATIVIDADE:

1. Executo os ajustes no programa *Sweep Gen* em seguida de start no programa. Aguarde a distribuição do isopor ser igual em todo tubo. Os ajustes usados para esta atividade constam na figura D.3

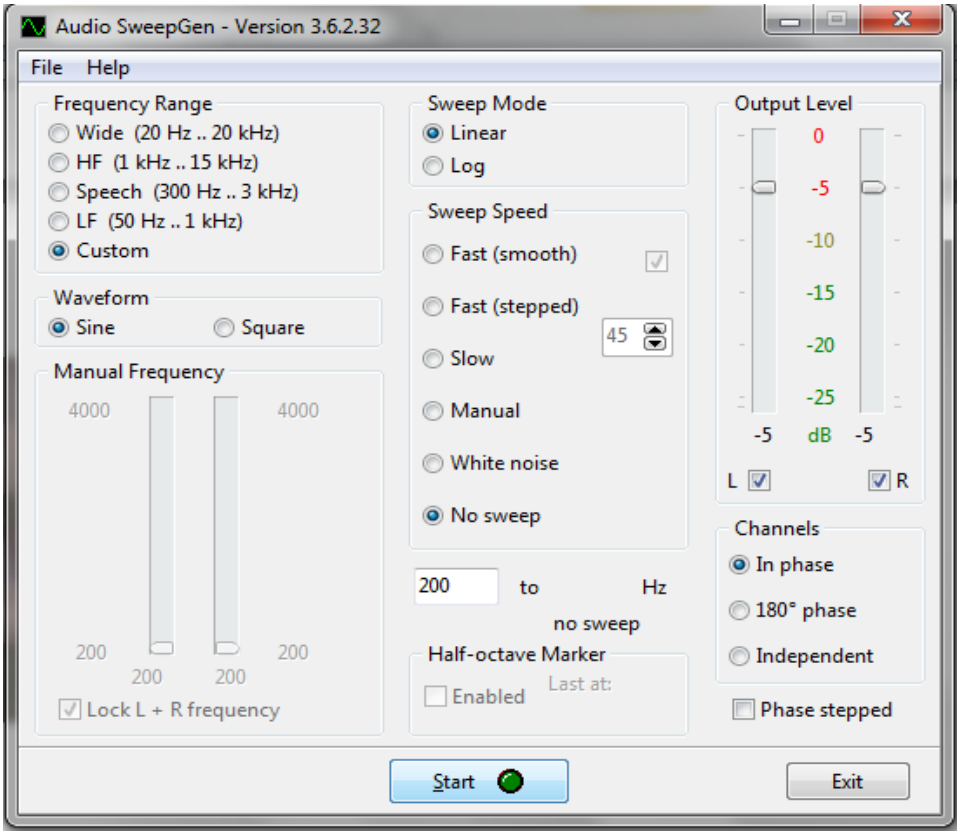

Figura D.3 Configuração do programa *Sweep Gen* usada nesta atividade.

2. Meça a distância entre dois ventres (*D*) (ilustrado figura D.1). Coloque este valor na tabela no local indicado.

3. Execute essas medidas entre dois ventres consecutivos diferentes duas vezes .

4. Desligue o som. Levante tubo acrílico realinhe isopor e faça estas medidas por mais 2 (duas) vezes pelo menos.

5. Preencha na tabela fornecida o valor do comprimento medido *D* e para frequência desejada. Calcule o valor da velocidade do som usando a equação (D.4).

Tabela para anotar dados do experimento.

Número de Onda (Ventres) (*n*)	**Frequência - (selecionada pelo programa) (*f*)**	**Valor entre dois nós consecutivos (*D*)**	**Velocidade de propagação do som (calculado com a eq. (D.4)) (*v*)**

Após realizar as medidas do comprimento de onda e os cálculos para a velocidade do som responda as perguntas a seguir:

Questão 1. Existe diferença entre os valores calculados da velocidade do som com equação E.1 e a equação E.4 usando o comprimentos de onda medido? Por que existe a diferença nos valores?

_____

_____

_____

_____

Questão 2. Se você medisse com outra régua ou outro instrumento o valor seria diferente? Por que não é qualquer valor de frequência selecionado que gera as figuras regulares dentro do tubo?

_____

_____

Questão 3. Qual melhoria você sugere para que as medidas sejam mais bem executadas?

_____

_____

_____

APÊNDICE E. SOBRE AS CONCEPÇÕES PRÉVIAS DE ONDAS (AULA 1)

QUESTIONÁRIO SOBRE MOVIMENTOS ONDULATÓRIOS

Questão 1 Quais fenômenos da natureza ou artificiais você identifica como ondulatório?

Questão 2 Quais conceitos sobre física ondulatória você já estudou? De uma breve descrição.

Questão 3 Que tipo de som/música mais lhe agrada?

Questão 4 Comparando os sons do tipo freada de um carro, arrastar uma mesa e uma música de qualquer estilo, quais diferenças existem entre esses sons?

Questão 5 Em qual meio o som se propaga com maior facilidade (velocidade)?
(a) Em um meio sólido como o trilho do trem
(b) No ar
(c) Na água dentro de uma piscina elíptica
(d) No vácuo
(e) Nada podemos afirmar por não saber a intensidade do som

Questão 6 Faça um desenho ou esquema dos tipos de onda que você conhece.

APENDICE F QUESTIONÁRIO PARA ANÁLISE DE EXPERIMENTOS EM VÍDEO (AULA 2)

ATIVIDADE EXPERIMENTAL 1: QUESTIONÁRIO PARA ANÁLISE DE EXPERIÊNCIA EM VÍDEO

Questão 1 Quais detalhes você julga ser mais importante na realização da atividade?

Questão 2 Faça um desenho do formato da corda nas situações exibidas no(s) vídeo(s)?

Questão 3 Quais as relações possíveis entre velocidade corda, a tensão (a força que a corda esta amarrada) e o formato exibido pela corda no experimento?

Questão 4 Quais as partes da execução do experimento exibido em vídeo que lhe chamaram atenção?

APENDICE G. CONSTRUÇÃO DE INSTRUMENTO MUSICAL XILOFONE (AULA 3)

DESCRIÇÃO SOBRE A FÍSICA DOS INSTRUMENTOS MUSICAIS

Compreende-se que toda onda sonora é de natureza mecânica longitudinal. Esta onda terá velocidade, frequência e comprimento de onda ligado ao meio onde ela se propaga O som pode ser modelado como uma soma de ondas harmônicas de amplitudes conhecidas A representação dessa soma de ondas harmônicas é modelada no teorema do matemático Jean-Baptiste Joseph Fourier (1768-1830). Em seu teorema relaciona Fourier uma série com somatório de senos e cossenos onde uma onda completa é escrita pelo somatório das ondas harmônicas de amplitude b_n e sua fase δ_n (NUSSENZVEIG, 1981). Estes b_n e δ_n da equação F.1 são os valores dos coefientes que geram a solução da equação da onda sonora. Na transformada de Fourier temos a amplitude de cada onda harmônica e as frequências associadas a elas. O timbre é uma grandeza relativa à presença de frequências dos harmônicos que compõe aquela onda sonora (OLIVEIRA, 2004).

$$y(x,t) = \sum_{n=1}^{\infty} b_n \; sen\,(\frac{n\pi}{l}.x)cos(\frac{n\pi}{l}v.t) \qquad \text{(G.1)}$$

A acústica é o estudo das ondas mecânicas que se propagam em um meio material estão compreendidas na faixa de frequência entre 20 e 20000 Hz (NUSSENZVEIG, 1981). Para cada geometria de determinado instrumento teremos uma relação de frequências e timbres que irão ser característicos do mesmo como se observa na figura G.1.

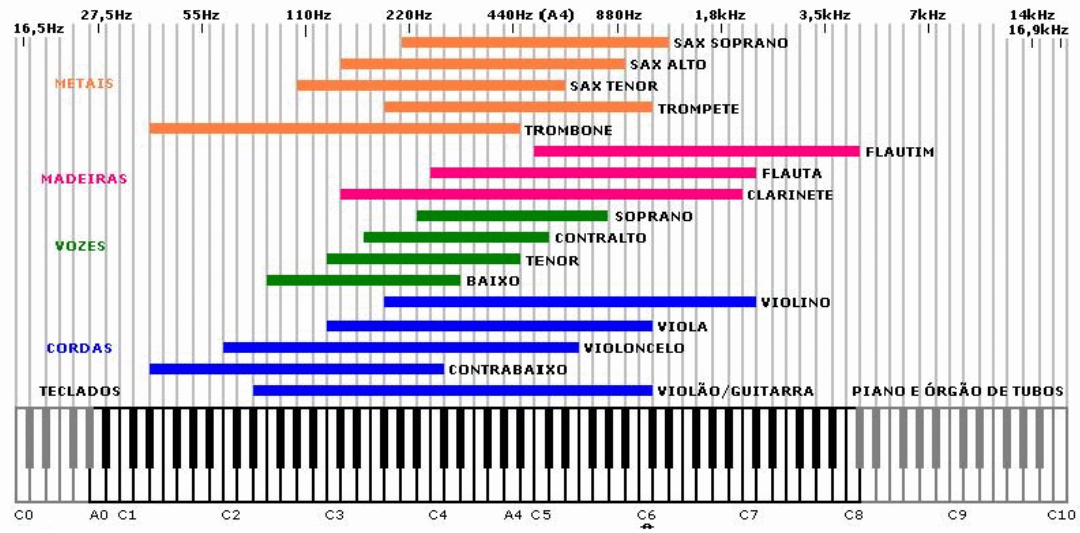

Figura G.1 Frequências e timbres característicos por tipo de instrumento.
Fonte: http://www.monolitonimbus.com.br/resumao-de-musica-classica/

DETALHES DA CONSTRUÇÃO DO INSTRUMENTO MUSICAL:

O Xilofone era um instrumento originalmente feito de paletas de maneira para serem percutidas. Sugere-se que o mesmo seja a montado usando um conjunto de garrafas ou copo para serem preenchidos de líquido. Existe uma relação entre o som extraído ao se percutir o copo ou garrafa e a quantidade de líquido, (veja figura G.2).

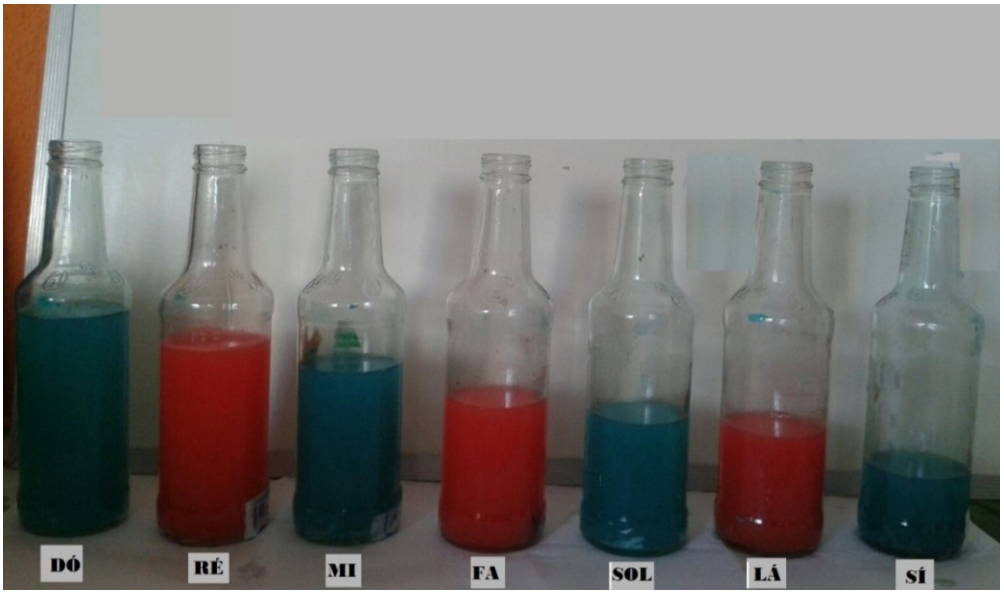

Figura G.2. Xilofone de garrafas. Cada garrafa percutida emite o som de uma nota musical.

MATERIAIS USADOS

- 7 garrafas de bebida com alturas de 15 a 20 cm;
- Objeto rígido para percutir nos copos;
- Líquido colorido (água + anilina);
- Régua;
- Afinador CifraClub (programa celular ou aparelho eletrônico[9]).

AJUSTES E AFINAÇÃO DO INSTRUMENTO

- Encha uma garrafa e anote o valor da altura do líquido dentro dela. O valor da altura do espaço vazio servirá de referência no cálculo da frequência esperada para esta garrafa. Calcule

[9] Este link fornece o afinador gratuito que pode ser baixado para celular e computadores e que foi utilizado neste trabalho http://www.baixaki.com.br/download/afinador-do-cifra-club.htm

a velocidade do som com a equação G.1 pela temperatura do ar. Com a velocidade do som e com o valor da altura do líquido da garrafa padrão pode-se calcular pela equação G.2 o valor esperado da frequência para essa garrafa. Nessa atividade, a frequência padrão é o valor da frequência da garrafa que representa a nota Dó.

$$v = 20{,}04\sqrt{T} \qquad \text{(G.1)}$$

$$f = \frac{n.v}{4.L} \qquad \text{(G.2)}$$

Sendo n = número do harmônico, v = velocidade do som, L = tamanho da coluna vazia dentro da garrafa.

- Depois de obter o valor da frequência da garrafa Dó, use-o para obter os outros valores de frequência da escala conforme mostrado na figura G.3.
- Com os valores de frequências calculados retorne na equação G.2 e calcule e anote os valores de L (altura parte vazia da garrafa) para cada garrafa que representa uma nota musical.
- Como sugestão utilize a garrafa referência para ter o valor de f = 340 Hz (frequência fundamental da nota Dó) a altura da parte vazia na garrafa deve ser de $L_{dó}$ = 25 cm.
- Despeje o líquido nas garrafas até que a altura atinja o valor calculado pela equação G.2.
- Coloque as garrafas alinhadas na ordem da escala de 7 notas usada neste material (veja na figura G.2 a posição de cada garrafas).

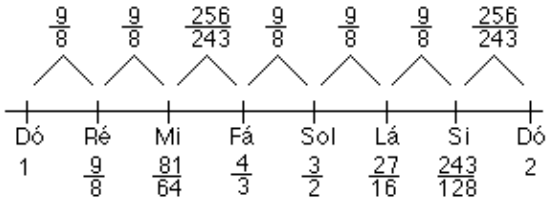

Figura G.3 Escala pitagórica[10]. Relação entre as frequências de cada nota musical.
Fonte: http://www2.eca.usp.br/prof/iazzetta/tutor/acustica/escalas/pitagorica.html acessado em 23.08.2015

- Execute a calibração do valor da frequência para cada garrafa usando o afinador.
- Para fazer a calibragem basta ligar o aplicativo e aproximar o microfone da parte aberta da garrafa (sem enconstar o microfone).

[10] Relação entre as notas musicais criadas pelo matemático e músico Pitágoras. A relação foi criada a partir do seu instrumento o monocórdio. A escala usada neste trabalho é a diatônica, escala de 7 notas (PEREIRA, 2013).

- Depois da calibração, o instrumento pode ser tocado percutindo a vara nas garrafas.

ATIVIDADES SUGERIDAS (PÓS-CONSTRUÇÃO DO INSTRUMENTO)

- Uma sugestão é que se toque alguma melodia e depois explique por que temos sons mais altos (agudo) ou baixos (grave).
- Sugira que alguém que assite a atividade toque uma música conhecida ou o grupo toque uma melodia usando o novo instrumento [11].
- Peça para que os mesmos tentem desenvolver uma música tocando a partir das notas musicais cifradas e a seguir registre em áudio ou vídeo a atividade para exibição posterior. Este registro serve como sugestão de atividade de culminância para uma apresentação de fechamento do conteúdo estudado ou apresentação em evento escolar.

[11] Nos links a seguir existem sugestões de cantigas populares e simples que tem as notas musicais na escala usada com instrumento construído. Disponível também com a letra da música.
http://letras.mus.br/cantigas-populares/984006/ Samba Lelê
http://letras.mus.br/cantigas-populares/134098/ Se Essa Rua Fosse Minha
http://letras.mus.br/cantigas-populares/870902/ Não Atire o pau no gato, sites acessados em 19.08.2015.

APÊNDICE H. RELAÇÃO ENTRE OS INSTRUMENTOS MUSICAIS E A FÍSICA DO APARELHO AUDITIVO

Percebe-se que a geometria dos instrumentos irá determinar qual ou quais harmônicos da onda sonora será ou serão amplificados. Na figura H.1 há uma representação de um tipo de flauta transversal[12] um instrumento musical construído em tubo aberto fechado. O desenho mostra os harmônicos que se formam de acordo o tamanho efetivo do tubo ao se tapar um ou alguns furos desta flauta (OLIVEIRA, 2004).

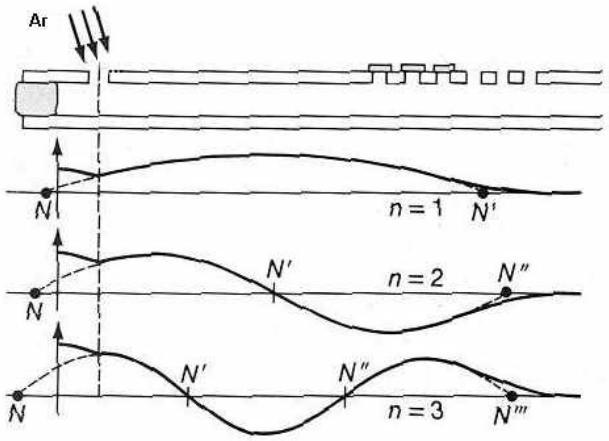

Figura H.1 Harmônicos em uma flauta transversal.
Fonte : http://www.cdcc.sc.usp.br/ciencia/artigos/art_25/musica.html#sop.

O som de um instrumento também pode ser descrito pelas amplitudes e o tempo de cada um dos harmônicos presentes no som resultante. A esse grupo de características, frequências e alturas combinadas, chamamos de timbre (veja figura G.1 no APENDICE G). A mesma nota emitida por uma trompa soa diferente quando produzida por um violino. Percebe-se que embora a frequência fundamental dos sons seja a mesma em ambos os instrumentos, a excitação das frequências harmônicas é diferente. No violino, uma extensa gama de harmônicos comparece juntamente com o fundamental, e do conjunto desses sons resulta o timbre do instrumento. Por isso também uma nota tocada em um instrumento pode ser percebida com mais volume (intensidade) do que em outro instrumento (OLIVEIRA, 2004). A figura H.2 apresenta um gráfico que mostra as frequências audíveis relacionando-as com sua percepção em termos do volume de cada frequência. Vale ressaltar a parte central da figura (região de fala) e seu entorno próximo chamado de frequências musicais.

[12] Flauta transversal é um instrumento não paletado que é soprado de forma perpendicular ao sentido do instrumento para formar seus sons (OLIVEIRA, 2004).

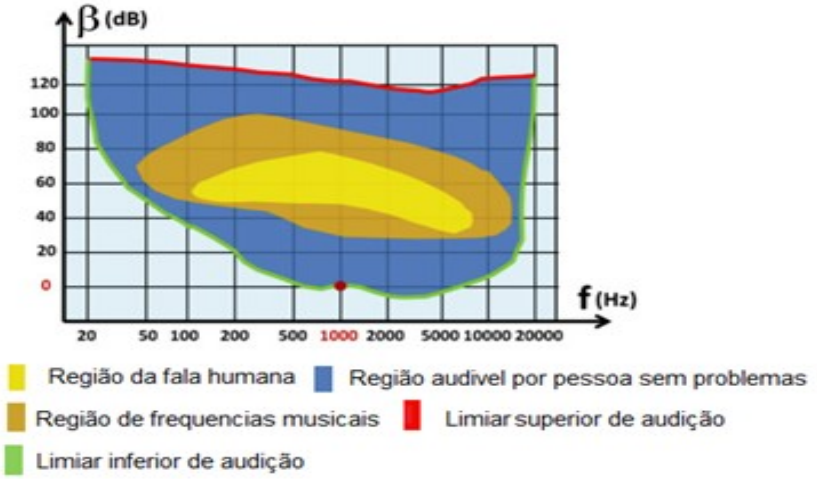

Figura H.2 Gráfico de frequências versus nível de intensidade sonora.
Fonte: http://fisicamoderna.blog.uol.com.br/arch2011-12-25_2011-12-31.html

Todo ser humano fisicamente saudável possui um aparelho auditivo que é composto de diversos dispositivos preparados para captar e transmitir as ondas sonoras até o sistema nervoso que fara análise e compreensão destas ondas. Entende-se que o aparelho dispõe de mecanismos para tal captação e transmissão que podem ser analisados por modelos similares aos elaborados para entendimento dos instrumentos musicais.

A seguir breve exposição sobre estes sistemas do corpo humano semelhantes aos experimentos propostos no estudo da acústica. O ouvido tem três segmentos que o compõe são eles o ouvido externo, médio e interno. O pavilhão externo e o canal auditivo compõe o chamado ouvido externo. Os três ossículos que se seguem ao tímpano, o martelo, bigorna e o estribo são o ouvido médio. E o ouvido interno é formado pelos canais semicirculares, que estão ligados ao sentido de equilíbrio, o caracol ou cóclea, onde se faz a transdução dos impulsos de pressão em sinais elétricos enviados para o cérebro através do nervo auditivo (GUERRA, 2006). O pavilhão externo faz a amplificação das ondas sonoras que chegam ao ouvido conforme representado na figura H.3.

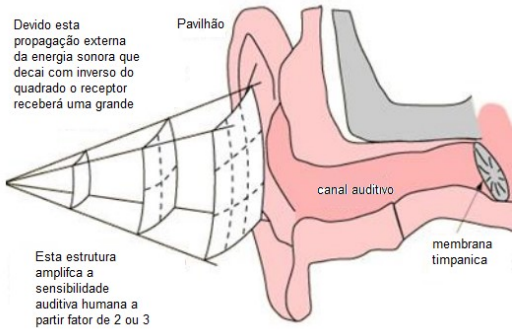

Figura H.3 Frente de Ondas entrando no canal auditivo. (GUERRA, 2006)

No canal auditivo temos um dispositivo que em primeira aproximação se assemelha a um tubo de ar fechado. Nesta parte do ouvido o desenho da disposição das ondas é semelhante ao ilustrado para as ondas em tubos sonoros. Segue, na figura H.4, um esquema do canal auditivo.

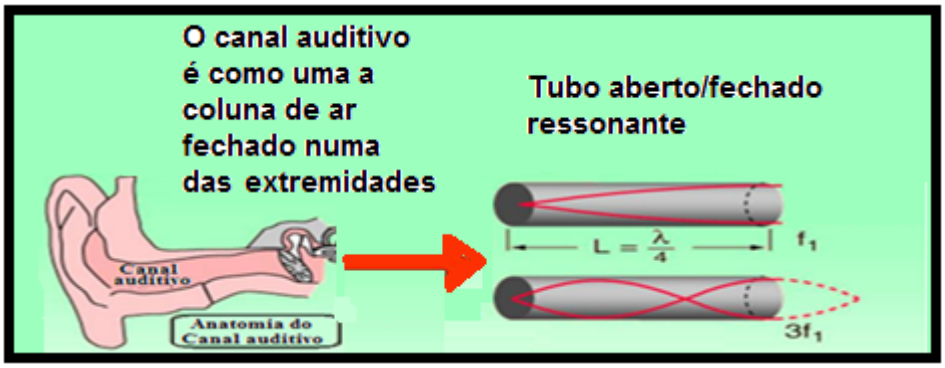

Figura H.4 Geometria do canal auditivo, tubo sonoro aberto/fechado. (GUERRA, 2006)

Quando a onda sonora atinge o tímpano o mesmo vibra como um instrumento musical e transmite essa onda a região interna do ouvido. O tímpano tem uma espessura de cerca de 0,1 mm e área 60 mm². Ondas sonoras com valores superiores a 160 dB[13] podem danificá-lo. Através do ouvido médio a onda sonora será transmitida por vibrações nos ossículos em contato com tímpano (GUERRA, 2006).

A razão entre a área de contato das ondas sonoras nos ossículos e do tímpano realiza uma regulação e amplificação do som juntamente com o efeito alavanca presente no ouvido médio como está ilustrado na figura H.5.

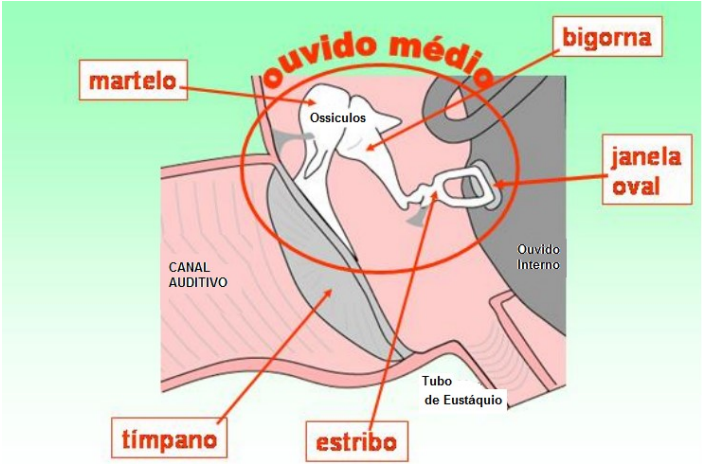

Figura H.5 Ossículos do ouvido médio. (GUERRA, 2006)

[13] O dB ou decibel é um submúltiplo da escala logarítmica Bel. Devido o fato dos intervalos entre os valores da escala ser muito grandes opta-se por usar o submúltiplo para expressar as medidas de intensidade sonora

O ouvido interno é composto dos canais semicirculares que conferem equilíbrio ao corpo humano. Juntamente com a cóclea, processa o som para transmiti-lo ao sistema nervoso que levará a região do sistema nervoso responsável por interpretar o som captado. A figura H.6 ilustra a cóclea e os canais semicirculares.

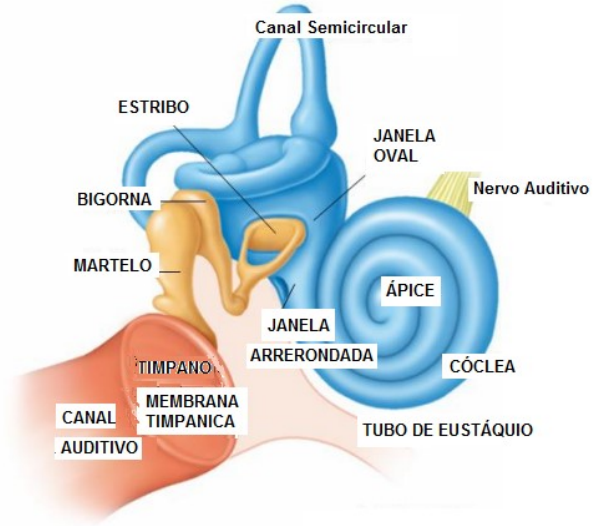

Figura H.6 Ouvido interno propagação da onda (meio sólido para líquido). (GUERRA, 2006)

Existe uma conexão do ouvido médio com interno através de uma janela oval em uma região cheia de um líquido semelhante a um pote, na figura H.6. A janela oval faz a ligação permitindo a passagem da onda sonora realizando um casamento de impedância[14] que é a possibilidade de o sistema no ouvido interno cheio de líquido vibrar recebendo a onda sonora. Caso não houvesse essa janela com uma membrana móvel conectada ao sistema com líquido do ouvido interno não haveria propagação do som, pois o módulo da elasticidade dos líquidos em relação aos gases é maior.

Na cóclea se tem estruturas internas responsáveis por transformar impulsos de pressão em impulsos nervosos que chegarão até as regiões do sistema nervoso responsáveis por interpretar essas ondas sonoras (GUERRA, 2006).

[14] Realizando uma generalização do conceito de resistência e estendendo o mesmo a componentes não elétricos clássicos, entende-se como a energia dissipada pela diferença de valores das resistências de entrada e saída dos meios onde há o fluxo da energia (CHINAGLIA, 2008).

APÊNDICE I. AUTOAVALIAÇÃO E AVALIAÇÃO FINAL (AULA 4)

QUESTIONÁRIO DE AUTOAVALIAÇÃO DISCENTE E AVALIAÇÃO FINAL

Questão 1 No primeiro encontro desta sequência de aulas sobre física ondulatória você falou sobre quais pontos conhecia do assunto ondas e se reconhecia nos fenômenos ao seu redor algum fenômeno ondulatório. Você se recorda da sua resposta?

Questão 2 Ainda falando sobre o primeiro encontro, você fez um desenho para exemplificar as situações reconhecidas por você como fenômenos ondulatórios. Ao final do estudo de física ondulatória e acústica você verifica no seu desenho conceitos estudados nas aulas anteriores, sim ou não ? Por quê?

Questão 3 Sobre o segundo encontro onde se realizou uma experiência chamada tubo de Kundt e também assistimos a um vídeo sobre um experimento de ondas estacionárias em uma corda, responda: Qual é relação existente entre a velocidade da corda, da onda no tubo e do comprimento de onda nas duas situações? Explique.

Questão 4 No terceiro encontro construímos um instrumento musical, existe alguma relação a respeito de características de som ou formato desse instrumento construído com algum outro conhecido por você ?

A partir da questão 5 as perguntas são objetivas . Deve ser marcada uma única alternativa em cada questão.

Questão 5 Sobre a aquisição de conhecimentos
( ) Não adquiri qualquer conhecimento novo.
( ) Adquiri alguns conhecimentos que não sei utilizar.
( ) Não compreendi nem adquiri todos os conhecimentos, no entanto, os que adquiri sou capaz de os utilizar em novas situações.
( ) Adquiri e compreendi todos os conhecimentos básicos e ainda outros, não tendo dificuldade em os utilizar em novas situações.
( ) Adquiri e compreendi não só os conhecimentos básicos como ainda outros que pesquisei por minha própria iniciativa, não tendo dificuldade na sua aplicação.

Questão 6 Linguagem: Você compreende os termos e palavras usadas nas aulas de física (sobre acústica)?
( ) Desconheço os conceitos fundamentais da física desse tema.
( ) Conheço poucos conceitos da física e não sei se são fundamentais.
( ) Compreendi claramente alguns conceitos da física ondulatória.
( ) Compreendi bem a maior parte dos conceitos de física ondulatória.
( ) Compreendi muito bem a globalidade dos conceitos da física ondulatória.

Questão 7 Qual seu grau de interesse nas aulas de física?
( ) A física não tem nada que me interessa
( ) A física interessa-me de modo regular.
( ) A física interessa-me bastante.
( ) A física sempre me atrai permanentemente.

Questão 8 Como você classifica a sua atuação nos trabalhos de física e nas últimas atividades na série de aulas sobre acústica?
( ) Não tenho concentração no trabalho nem reconheço valor em participar das aulas.
( ) Trabalhei algumas vezes, mas desisto com facilidade. Tenho pouca iniciativa.
( ) Persisti no trabalho mas não tomei a iniciativa. Fiz apenas o que era obrigatório.
( ) Concentrei-me bem no trabalho e tenho espírito de iniciativa, embora não seja criativo.
( ) Concentrei-me bem no trabalho e tenho espírito de iniciativa. Sou criativo.