

**MNPEF**  
Mestrado Nacional  
Profissional em  
Ensino de Física



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO  
PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA

SEQUÊNCIA DIDÁTICA PARA A APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA DA  
ACÚSTICA FÍSICA E DA ACÚSTICA MUSICAL, RELATIVAS AOS TUBOS  
SONOROS, UTILIZANDO ORGANIZADORES PRÉVIOS E ATIVIDADES  
EXPERIMENTAIS COM O TUBO DE KUNDT

Airton dos Santos Maciel Neto

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

Orientador:  
Prof. Dr. Francisco Nairon Monteiro Júnior

Recife/PE  
Março de 2019

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)  
Sistema Integrado de Bibliotecas da UFRPE  
Biblioteca Central, Recife-PE, Brasil

M152s Maciel Neto, Airton dos Santos  
Sequência didática para a aprendizagem significativa da  
acústica física e da acústica musical, relativas aos tubos  
sonoros, utilizando organizadores prévios e atividades  
experimentais com o tubo de Kundt / Airton dos Santos Maciel  
Neto. - 2019.  
84 f.: il.

Orientador: Francisco Nairon Monteiro Júnior.  
Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal Rural de  
Pernambuco, Programa de Pós-Graduação Nacional de Mestrado  
Profissional em Ensino de Física, Recife, BR-PE, 2019.  
Inclui referências.

1. Acústica - Estudo e ensino
2. Música - Acústica e física
3. Aprendizagem cognitiva
4. Aprendizagem
5. Ausubel, David Paul, 1918 -
6. Som - Equipamento e acessórios I. Monteiro Júnior, Francisco Nairon, orient. II. Título

CDD 530.07

SEQUÊNCIA DIDÁTICA PARA A APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA DA  
ACÚSTICA FÍSICA E DA ACÚSTICA MUSICAL, RELATIVAS AOS TUBOS  
SONOROS, UTILIZANDO ORGANIZADORES PRÉVIOS E ATIVIDADES  
EXPERIMENTAIS COM O TUBO DE KUNDT

Airton dos Santos Maciel Neto

Orientador:  
Prof. Dr. Francisco Nairon Monteiro Júnior

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

Aprovada por:

---

Presidente: Prof. Dr. Francisco Nairon Monteiro Júnior (UFRPE)

---

Membro Interno: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Sara Cristina Pinto Rodrigues (UFRPE)

---

Membro Externo: Prof. Dr. Alberes Lopes de Lima (Colégio Militar do Recife)

---

Suplente Interno: Prof. Dr. Alexandro Cardoso Tenório (UFRPE)

---

Suplente Externo: Prof. Dr. Anderson Luiz da Rocha e Barbosa (UFRPE)

Recife/PE  
Março de 2019

## **Agradecimentos**

Agradeço primeiro a Deus pelo dom da vida e por todas as graças alcançadas.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) e à SBF (Sociedade Brasileira de Física) por constituírem suporte na realização desse mestrado através da gestão do programa Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física.

Ao meu professor orientador, Prof. Dr. Francisco Nairon Monteiro Júnior, pela paciência, disponibilidade, conhecimento e principalmente pela injeção de ânimo em terminar esse mestrado.

A toda equipe de professores da universidade que participaram diretamente e indiretamente da minha formação, e, em especial, ao professor e coordenador, Prof. Dr. Aduino José Ferreira de Souza.

Aos meus colegas de turma, pela troca de experiências e convívio saudável.

Aos meus queridos pais, que como professores que eram, estariam muito felizes e orgulhosos com essa conquista.

A toda minha família, irmão, irmã, cunhado, cunhadas, sobrinho, sobrinhas, sogra e, principalmente, às mulheres da minha vida, minha esposa Gabriela, minha filha Letícia e minha filha Amanda, por estarem sempre ao meu lado. Obrigado por vocês fazerem parte da minha vida! Amo vocês!

## RESUMO

### SEQUÊNCIA DIDÁTICA PARA A APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA DA ACÚSTICA FÍSICA E DA ACÚSTICA MUSICAL, RELATIVAS AOS TUBOS SONOROS, UTILIZANDO ORGANIZADORES PRÉVIOS E ATIVIDADES EXPERIMENTAIS COM O TUBO DE KUNDT

Airton dos Santos Maciel Neto

Orientador:

Prof. Dr. Francisco Nairon Monteiro Júnior

Dissertação de Mestrado submetida ao Programa de Pós-Graduação da Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE), Curso de Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física (MNPEF), como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Nessa pesquisa procuramos inovar o ensino de acústica em tubos sonoros, normalmente trabalhado nas escolas de forma tradicional, por meio da construção e utilização de um aparato experimental da versão do tubo de Kundt, bem como o desenvolvimento de um produto educacional, onde apresentamos uma sequência didática investigativa e motivadora, para ensinar acústica física e acústica musical em tubos sonoros, por meio de organizadores prévios e atividades experimentais, com participação ativa dos alunos na construção do seu conhecimento. Para isso, construímos um material potencialmente significativo, que partiu do pressuposto de que o aluno já tinha um conhecimento prévio do assunto, e que a partir desse conhecimento, podemos trabalhar toda teoria envolvida, juntando o conhecimento anterior com o novo. Essa construção foi feita a partir da teoria da aprendizagem significativa de David Ausubel, que relaciona subsunçores, elementos do arcabouço cognitivo, à aprendizagem significativa de um novo conteúdo.

Palavras-chave: Aprendizagem significativa, Aparato Experimental, Acústica Física e Musical.

Recife/PE  
Março de 2019

## **ABSTRACT**

### **DIDACTIC SEQUENCE FOR SIGNIFICANT LEARNING AND PHYSICAL ACOUSTICS AND MUSICAL ACOUSTICS, CONCERNING SOUND TUBES USING ORGANIZERS PREVIOUS AND EXPERIMENTAL ACTIVITIES WITH THE KUNDT'S TUBE**

Airton dos Santos Maciel Neto

Advisor:

Prof. Dr. Francisco Nairon Monteiro Júnior

Dissertation of Master submitted to the postgraduate program of the Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE), in the course of national professional master's of Physical Education (MNPEF), as part of the requirements to obtain a Masters degree in teaching Physics.

In this research, we seek to innovate the teaching of acoustic sound tubes, usually worked in schools in traditional way, through the construction and use of an experimental apparatus of Kundt's tube version, as well as the development of an educational product where, we present a didactic sequence research and motivating, to teach physical acoustic and musical acoustics in sound tubes, through previous and experimental activities organizers, with an active students participation in the construction of their own knowledge. For that, it was built up a potentially significant material, that started from the assumption that the student had a prior knowledge of the subject, which from this knowledge, we can work all theory involved, joining the previous knowledge with the new one. This construction was made from the meaningful learning theory of David Ausubel, relating subsumption, elements of the cognitive framework, for meaningful learning of a new content.

Keywords: Significant Learning, Experimental Apparatus, Physical and Musical Acoustics.

Recife/PE  
Março de 2019

# Sumário

Capítulo 1 Introdução .....	8
Capítulo 2 .....	14
Fundamentação teórica .....	14
2.1. A aprendizagem significativa e a experimentação no ensino de física .....	14
2.2. Parâmetros curriculares nacionais à luz da aprendizagem significativa.....	22
Capítulo 3 .....	35
O tubo de Kundt: nosso aparato experimental.....	35
3.1. Breve história de Kundt .....	35
3.2. Montagem e utilização do aparato.....	36
3.3. Análise acústica do tubo de Kundt .....	39
3.4. Os modos normais de vibração e a série harmônica do tubo .....	49
Capítulo 4 .....	55
Produto educacional .....	55
4.1. Introdução.....	55
4.2. O aparato experimental utilizado: o tubo de Kundt.....	57
4.3. Roteiro de desenvolvimento didático .....	60
Capítulo 5 .....	73
Análise e conclusões.....	73
5.1. Idas e vindas que são próprias da práxis contrutivista .....	73
5.2. Análise comparativa do pré-teste e pós-teste .....	77
5.3. O que dizer do percurso trilhado? .....	81
Referências Bibliográficas.....	82

# Capítulo 1

## Introdução

São várias as dificuldades encontradas por docentes e alunos no ensino e aprendizado da Física, a qual, por ser uma ciência que necessariamente requer o uso de conteúdos de vasta abstração teórica, demonstra o porquê da maioria dos alunos não se interessarem pelo seu entendimento e pela sua compreensão. Segundo Grillo [2016] uma grande dificuldade enfrentada pelo professor de física, especialmente do nível médio, é a falta de motivação de seus alunos, para quem a disciplina parece muito distante do cotidiano. No que diz respeito especificamente ao estudo da acústica, este assunto é trabalhado, nas escolas, no 2º e 3º anos do ensino médio, e é feito de forma rápida, matematizada e expositiva, sem relacionar com o cotidiano do aluno, aumentando, assim, o abismo existente entre o ensino de física e o mundo real.

Nossos estudantes lidam com um mundo de informação extremamente dinâmico no qual a informação sonora é essencial. Os assuntos relacionados à acústica estão presentes nas tecnologias de áudio digital e computacional, que estão cada vez mais disponíveis. E mesmo assim, o ensino de acústica continua sendo descontextualizado e sem interesse para a maioria deles. Além disso, essas tecnologias são utilizadas por nossos jovens sem qualquer conexão e reflexão de seus valores e riscos. Precisamos entender que o papel do professor deve ir além do estudo do som como uma onda mecânica, ou seja, formação de indivíduos auditivamente mais educados. Com isso não podemos deixar de refletir, também, sobre a responsabilidade social de cada um. Devemos ajudar nossos estudantes a construírem competências críticas do seu papel de cidadão no mundo atual. Além disso, devemos levar em consideração que os livros didáticos de física atuais, bem como as apostilas de ensino, não trazem essa reflexão entre ciência e humanismo. Um fator importante para que o ensino de acústica fique cada vez mais desconectado da realidade é que a maioria desses materiais didáticos, utilizados pela maioria das escolas, revelam a forma abstrata com que os conteúdos de acústica vêm sendo trabalhados e que orientam muitas das práticas de ensino materializadas pelos professores. Esses livros didáticos, além de servirem como referências para os professores, constituem-se no principal material de estudo por parte dos alunos.

O estudo do tema “música” no interior do capítulo de acústica assemelha-se mais a um exemplo de aplicação do que a um conteúdo em si. Tal apresentação, embora



coerente com a construção dos temas ao longo do texto, não explora as possibilidades que o tema música oferece para a apresentação de conteúdos relacionados à construção de competências e habilidades a eles relacionadas, sem esquecer que a maioria dos professores não fomenta tal relação. Uma das possíveis causas é que muitos professores de física desconhecem as ligações entre acústica física, matemática e música. Não conseguem interpretar, por exemplo, num som musical, as grandezas da acústica física que eles conhecem e ensinam com tranquilidade. No que diz respeito, especificamente, ao conteúdo relacionado ao nosso produto, qual seja, o estudo dos tubos sonoros, muitos dos colegas professores desconhecem as relações entre os modos naturais de vibração dos tubos e seus correlatos em termos de notas musicais. Desconhecem também o padrão de intervalos que subjaz à construção da escala igualmente temperada de 12 semitons e sua relação com os harmônicos produzidos por um tubo sonoro. Em última instância, desconhecem a relação entre as séries de Fourier e a série harmônica. Numa entrevista recentemente realizada por nós, com oito professores de física do ensino básico de escolas particulares, constatamos tais dificuldades encontradas por colegas professores ao relacionarem a física à música no estudo dos tubos sonoros, como mostra a tabela 1.1. Nesta entrevista foram feitas as seguintes perguntas:

1. Você leciona há quantos anos?
2. Você ensina acústica em tubos sonoros ou já ensinou?
3. Qual série?
4. O material que você trabalha ou trabalhou traz a relação com a música?
5. Você faz alguma relação com a música ao ensinar acústica em tubos sonoros?

A tabela 1.1, mostra a relação entre as respostas dos professores em função das perguntas.

	Prof.A	Prof.B	Prof.C	Prof.D	Prof.E	Prof.F	Prof.G	Prof.H
1	20	25	16	15	22	15	10	18
2	Sim	Sim	Sim	Não	Sim	Sim	Sim	Sim
3	3 <sup>a</sup>	2 <sup>a</sup> e 3 <sup>a</sup>	3 <sup>a</sup>	-----	3 <sup>a</sup>	3 <sup>a</sup>	2 <sup>a</sup>	3 <sup>a</sup>
4	Não	Sim	Sim	-----	Sim	Sim	Sim	Sim
5	Não	Não	Não	-----	Sim	Não	Não	Não

**Tabela 1.1** Resposta dos professores.

Conforme as respostas apresentadas na tabela 1.1, constatamos que dos oito professores entrevistados, sete trabalham ou já trabalharam com acústica e que desses seis não fazem nenhuma relação com a música ao ensinar esse tópico, mesmo sabendo que tais relações estão presentes nos livros didáticos que eles utilizam.

Pensando na inquietação que gerou nosso anseio de construir um ensino da acústica de tubos sonoros que possa contemplar física e música e se buscamos, de fato, proporcionar um ambiente em que seja possível a aprendizagem significativa de tais conteúdos, concluímos que é necessário tornar o ensino da acústica mais atraente e interdisciplinar para nossos alunos. Segundo Grillo [2016], é por meio da interdisciplinaridade que várias disciplinas são interligadas, proporcionando uma melhor compreensão dos fenômenos que acontecem diariamente. A música pode ser usada como ligação entre várias disciplinas desenvolvidas no ensino médio como, por exemplo, a matemática, a história, a filosofia e a física. As Orientações Curriculares para o Ensino Médio [Brasil 2006], demonstra uma grande preocupação quanto à inclusão da interdisciplinaridade nos projetos e pesquisas pedagógicas. Isso pode ser notado nos temas transversais que foram indicados, justamente por possuírem grande possibilidade de articulação dos saberes disciplinares em direção à reflexão em torno das relações entre ciência, tecnologia, sociedade e ambiente. As orientações Curriculares para o Ensino Médio [Brasil 2006], por meio dos PCN's, propõem ainda a divisão da física em seis temas estruturadores. O tema 3, "Som, Imagem e Informação", sugere que as fontes sonoras sejam abordadas "visando identificar objetos, sistemas e fenômenos que produzem sons para reconhecer as características que os diferenciam, bem como associar diferentes características de sons a grandezas físicas, tais como a frequência e a intensidade, para explicar, reproduzir, avaliar ou controlar a emissão de sons por instrumentos musicais ou outros semelhantes". É necessário que o ensino de física esteja em contato com outras linguagens e tecnologias, dentre estas, a cultura do som e da música. Segundo Monteiro Júnior [2012], observamos claramente um descompasso entre o que se pretende e a realidade de escolas, professores e livros didáticos.

É perceptível nos dias atuais um aumento do gosto dos jovens pelas artes e pela música. Este interesse possibilita uma abordagem de conteúdos da acústica inseridos em duas perspectivas presentes nas orientações encontradas nos PCN+: a da contextualização e da interdisciplinaridade. Na contextualização o ponto de partida para o que se quer ensinar ao aluno é a realidade vivida por ele. Esta realidade torna-se também o ponto de chegada, com um novo olhar e compreensão que vai além do cotidiano do aluno. Neste

cenário que vislumbra a aprendizagem significativa da acústica em contextos interdisciplinares, buscamos a discussão e a realização de atividades experimentais para o ensino de acústica em tubos sonoros, bem como sua relação com a música. Para tanto, elaboramos um produto, onde apresentamos uma metodologia para ensinar acústica, por meio de um aparato experimental, denominado tubo de Kundt e de uma sequência didática, repleto de possibilidades de utilização de tal aparato em atividades experimentais interdisciplinares em matemática, física e música.

Em meio à vasta dificuldade na compreensão da física em sala de aula, torna-se essencial a aproximação da ciência ao universo experiencial dos alunos por meio da realização de experimentos didáticos, os quais demonstram grande papel no desenvolvimento da aprendizagem dos alunos. Por meio deles os alunos são movidos pela curiosidade quanto às novas descobertas, constroem questionamentos sobre vários assuntos e sua participação colabora para uma aprendizagem expressiva<sup>1</sup>. O ensino experimental, na forma como conduzimos, apresenta-se como um convite à participação dos alunos no processo de ensino e aprendizagem para que estes consigam adquirir conhecimento suficiente para desenvolver um senso crítico e investigativo, para serem capazes de julgar e atuar com os avanços tecnológicos e instrumentais no qual estão inseridos. O uso do experimento, desta forma, revela-se como uma importante ferramenta de ensino utilizada pelos professores e pelos alunos, capaz de diminuir de maneira satisfatória as dificuldades encontradas no ensino básico teórico. O ensino experimental vem sendo utilizado como uma nova estratégia por diversos pesquisadores, cujos resultados são “vastos” e estão disponíveis nas publicações especializadas da área de educação em ciências, apresentando vantagens, tendências e a importância desse estudo no ensino da física [Azevedo 2009]. Muito embora autores ressaltem a importância dessa ferramenta de ensino nas escolas como um motivador, que desperta a atenção dos alunos pelas aulas de física, o seu uso não deve ser classificado somente como um instrumento

---

<sup>1</sup> Segundo Santos [2008], a concretização dessa aprendizagem se dá por meio de sete passos da (re) construção do conhecimento: o sentir, o perceber, o compreender, o definir, o argumentar, o discutir e o transformar. 1. O sentir – toda aprendizagem parte de um significado contextual e emocional. 2. O perceber – após contextualizar o educando precisa ser levado a perceber as características específicas do que está sendo estudado. 3. O compreender – é quando se dá a construção do conceito, o que garante a possibilidade de utilização do conhecimento em diversos contextos. 4. O definir – significa esclarecer um conceito. O aluno deve definir com suas palavras, de forma que o conceito lhe seja claro. 5. O argumentar – após definir, o aluno precisa relacionar logicamente vários conceitos e isso ocorre através do texto falado, escrito, verbal e não verbal. 6. O discutir – nesse passo, o aluno deve formular uma cadeia de raciocínio através da argumentação. 7. O transformar – o sétimo e último passo da (re)construção do conhecimento é a transformação. O fim último da aprendizagem significativa é a intervenção na realidade. Sem esse propósito, qualquer aprendizagem é inócua.

motivacional, mas como um elemento que auxilia significativamente na aprendizagem do aluno. A realização de experiências no ensino da física para o desenvolvimento do processo de investigação no qual o aluno está envolvido, considerando que o processo de aprendizagem é um tanto quanto difícil, requer do aluno diversas dimensões dos conhecimentos científicos e exige que a pesquisa de investigação demonstre inúmeras formas, as quais sejam capazes de possibilitar a realização de várias ações cognitivas, como o questionamento, a manipulação de materiais, o direito ao tateamento e ao erro, a comunicação e a expressão, bem como a verificação das hipóteses descobertas. Pode-se afirmar que esse também é um trabalho de análise e de síntese, sem esquecer a imaginação e o encantamento inerentes às atividades investigativas. A utilização de experimentos no ambiente didático demonstra um método eficaz para o ensino de física uma vez que é por meio desses experimentos que ocorrem as interações multidisciplinares que colaboram no diálogo entre aluno e professor, tanto na resposta aos questionamentos, quanto na junção de todos os elementos que contribuem para o entendimento mais apurado dos fenômenos naturais e dos processos tecnológicos.

Batista [2009] ressalta a atuação do professor como orientador e mediador dessas atividades experimentais, onde ele deve fazer surgir dos alunos a problematização dos conteúdos, motivando, observando o comportamento deles, orientando, sempre que for possível e necessário, salientando aspectos que tenham passado despercebidos por eles e que tenham importância para o desenvolvimento das atividades.

Em última instância, o professor é a pessoa com maior capacidade para orientar e acompanhar as atividades realizadas em sala de aula e deve, além de orientar, explicar o modelo teórico para que os alunos passem a despertar o interesse em buscar novos conhecimentos e, conseqüentemente, fazer com que o aprendizado dos alunos se desenvolva de forma significativa. Neste sentido, a utilização desse aparato experimental (tubo de Kundt) irá proporcionar uma abordagem interdisciplinar, contextualizada, motivadora, criativa, investigativa, além de contemplar as recomendações dos parâmetros curriculares. Permitirá, igualmente, um ensino de física articulado com a música, de maneira inovadora, materializando uma boa alternativa às apresentações textuais, auxiliando o professor a melhor compreender as relações entre ciência, matemática e música no contexto dos tubos sonoros, buscando o desenvolvimento de competências e habilidades que irão facilitar a compreensão da ciência e uma melhor aproximação do assunto com a realidade. Nosso produto educacional poderá ser utilizado por professores

de física no ensino básico, para que atuem como facilitadores no processo de ensino e da aprendizagem da acústica em tubos sonoros junto aos alunos do ensino médio.

Foi partindo deste cenário de inquietações que desenvolvemos a presente pesquisa, aqui materializada em cinco capítulos. O primeiro capítulo consiste na presente introdução, na qual apresentamos nossas inquietações e a inserção dentro da tradição de pesquisa. No segundo capítulo apresentamos a fundamentação teórica com base na teoria da aprendizagem significativa de David Paul Ausubel. No terceiro capítulo apresentamos o aparato experimental desenvolvido por nós, e que consiste numa reconstrução do tubo de Kundt. Neste capítulo descrevemos a montagem e utilização do aparato, bem como a análise matemática da acústica física em tubos sonoros. No quarto capítulo, apresentamos um produto educacional, onde descrevemos a uma sequência didática detalhada, por meio de uma metodologia inovadora, onde utilizamos organizadores prévios e o aparato experimental. Por fim, no quinto capítulo analisamos os resultados e suas implicações futuras.

## Capítulo 2

### Fundamentação teórica

#### 2.1. A aprendizagem significativa e a experimentação no ensino de física

David Ausubel, criador da teoria da aprendizagem significativa, dedicou vinte e cinco anos à pesquisa em psicologia educacional. Segundo ele, a aprendizagem ocorre quando uma nova informação ancora-se em conceitos já presentes nas experiências de aprendizado anteriores e, por isso, o fator mais importante que influencia na aprendizagem consiste no que o aluno já sabe. É a partir desse ponto de apoio que deve decorrer a aprendizagem dos novos conceitos, denominada de aprendizagem significativa.

Esta descrição da Teoria de Aprendizagem Significativa está baseada na obra mais recente de David Ausubel, “The acquisition and retention of knowledge: a cognitive view”, publicada em 2000, cuja tradução para o português foi publicada com o título “Aquisição e retenção de conhecimentos: uma perspectiva cognitiva” [Ausubel 2003]. Esta obra, por sua vez, praticamente reitera a atualidade da teoria original proposta por Ausubel, em 1963, na obra “The psychology of meaningful verbal learning” [Ausubel 1963] e no livro “Educational psychology: a cognitive view” [Ausubel 1968] New York: Holt, Rinehart & Winston, cuja segunda edição possui Joseph Novak e Helen Hanesian como co-autores [Ausubel 1980]. Essa teoria tem sido vastamente utilizada por diversos pesquisadores no Brasil e, em especial, pelo professor Marco Antônio Moreira, em várias de suas obras.

De acordo com a teoria de Ausubel [2003], quando a aprendizagem significativa não se efetiva, o aluno utiliza a aprendizagem mecânica, isto é, ‘’decora’’ o conteúdo, que não sendo significativo para ele, é armazenado de maneira isolada, podendo inclusive esquecê-lo em seguida. É o caso de estudantes que depois de fazerem a prova, esquecem tudo o que lhes foi ensinado. Observa-se também que alguns não se dispõem a aprender de maneira ‘’mecânica’’ e, por isso, acabam não aprendendo de maneira alguma. Esses são aqueles que reprovam até mais de uma vez e para os quais é indispensável utilizar estratégias que contemplem oportunidades de aprendizagem significativa. E é a aprendizagem mecânica que leva muitos alunos e até professores a acreditarem que o ensino se efetivou. Esse engano ocorre quando o estudante consegue reproduzir nas

avaliações o conteúdo tal qual foi transmitido pelo professor. Por isso, muitos educandos são aprovados para a série seguinte sem ter aprendido realmente. Dessa forma a aprendizagem significativa é o processo por meio do qual novas informações adquirem significado por interação (não associação) com aspectos relevantes preexistentes na estrutura cognitiva [Moreira 2006].

Conforme Santos [2008] a aprendizagem somente ocorre se quatro condições básicas forem atendidas: a motivação, o interesse, a habilidade de compartilhar experiências e a habilidade de interagir com os diferentes contextos. Sendo assim, o desafio que se estabelece para os educadores é despertar motivos para a aprendizagem, tornar as aulas interessantes para os alunos, trabalhar com conteúdos relevantes para que possam ser compartilhados em outras experiências (além da escola) e tornar a sala de aula um ambiente altamente estimulante para a aprendizagem.

Esse pensamento é reforçado por Anastasiou e Alves [2006] que afirma ser importante entender um pouco melhor quem são os alunos enquanto pessoas com sonhos, aspirações e até desesperanças, pois dessa maneira serão planejadas atividades nas quais eles se sintam convocados a “fazer aulas” com o professor.

Afirma-se que um indivíduo aprende significativamente quando consegue relacionar, de maneira substantiva e não literal e arbitrária, a nova informação com uma estrutura de conhecimento específica que faz parte integrante da sua estrutura cognitiva prévia. Esta é singular, idiossincrásica e complexa, e nela constam as afirmações e os conceitos que o indivíduo previamente aprendeu, mas onde também está plasmada toda a componente afetiva do indivíduo e o resultado de todas as suas ações e vivências [Valadares 1999].

Este importante conceito de aprendizagem significativa como um processo de assimilação substantiva e não arbitrária do que se aprende a uma componente especificamente relevante da estrutura cognitiva foi estabelecido por Ausubel [1963, 1966, 1968]. A esta componente da estrutura cognitiva especificamente relevante para assimilar cada conhecimento a aprender Ausubel atribuiu o termo “subsunção”, onde o verbo subsumir significa a incorporação de um indivíduo numa espécie, a inferência de uma ideia a partir de uma lei, etc.

Moreira [2001, 2006] ensina que na perspectiva da aprendizagem significativa ausubeliana, a estrutura cognitiva prévia, os conhecimentos prévios e sua organização hierárquica, é o principal fator, a variável isolada mais importante, afetando a aprendizagem e a retenção de novos conhecimentos. A clareza, a estabilidade e a

organização do conhecimento prévio em um dado corpo de conhecimentos, em certo momento, é o que mais influencia a aquisição significativa de novos conhecimentos nessa área, em um processo interativo no qual o novo ganha significados, se integra e se diferencia em relação ao já existente que, por sua vez, adquire novos significados fica mais estável, mais diferenciado, mais rico, mais capaz de ancorar novos conhecimentos.

Ancoragem é uma metáfora. Diz-se que certos conhecimentos prévios funcionam como ideias-âncora e se lhes dá o nome de subsunçores. Quer dizer, os novos conhecimentos se ancoram em conhecimentos preexistentes e assim adquirem significados. É importante, no entanto, não atribuir um caráter estático, de mero ancoradouro aos subsunçores, pois o processo é interativo, dinâmico, e nele o subsunçor se modifica. A ancoragem é uma metáfora e, portanto, a subsunção não é uma ancoragem propriamente dita. Quando a modificação do subsunçor é bastante acentuada, fala-se em subsunção derivativa, quando apenas corrobora, reforça o subsunçor, usa-se o termo subsunção correlativa. Citamos como exemplo, quando um aluno de física resolve vários problemas envolvendo energia potencial e cinética sempre confirmando a conservação da energia mecânica, a subsunção é derivativa. Usando um exemplo já dado na visão geral da teoria, pode-se dizer que quando um estudante aprende que a Primeira Lei da Termodinâmica é um caso particular da Conservação da Energia aplicada a fenômenos térmicos, provavelmente a subsunção é correlativa: o que antes se aplicava à Mecânica agora se aplica também à Termodinâmica. Outro exemplo é o caso dos mamíferos: aprender que mais um determinado animal, relativamente conhecido, é mamífero é uma subsunção derivativa, porém aprender que o morcego e a baleia também são mamíferos certamente será uma subsunção correlativa.

A aprendizagem significativa é substantiva porque é a substância ou o ‘recheio’ do conceito que é apreendido e não apenas um nome e (ou) um enunciado sem qualquer significado para quem aprende. Para tal, a nova informação tem de interagir com as ideias que o aprendente já domina que incluem os conceitos, as proposições e símbolos previamente assimilados. Tais ideias mais ou menos familiares a quem aprende são os subsunçores e assumem uma enorme importância na aprendizagem significativa.

Quando uma nova informação é relacionada de um modo sistemático e concreto com um subsunçor que o aprendente já possui, essa nova informação passa a ter significado para ele, um significado que é o seu, mais ou menos próximo ou afastado do chamado significado científico, ou seja aquele que é comungado pelos membros da



comunidade que domina cientificamente essa nova informação. Ou seja: aprendizagem significativa não significa aprendizagem cientificamente correta.

$A + B \rightarrow A'B'$

A – informação nova potencialmente significativa

B – subsunçor (ideia já estabelecida)

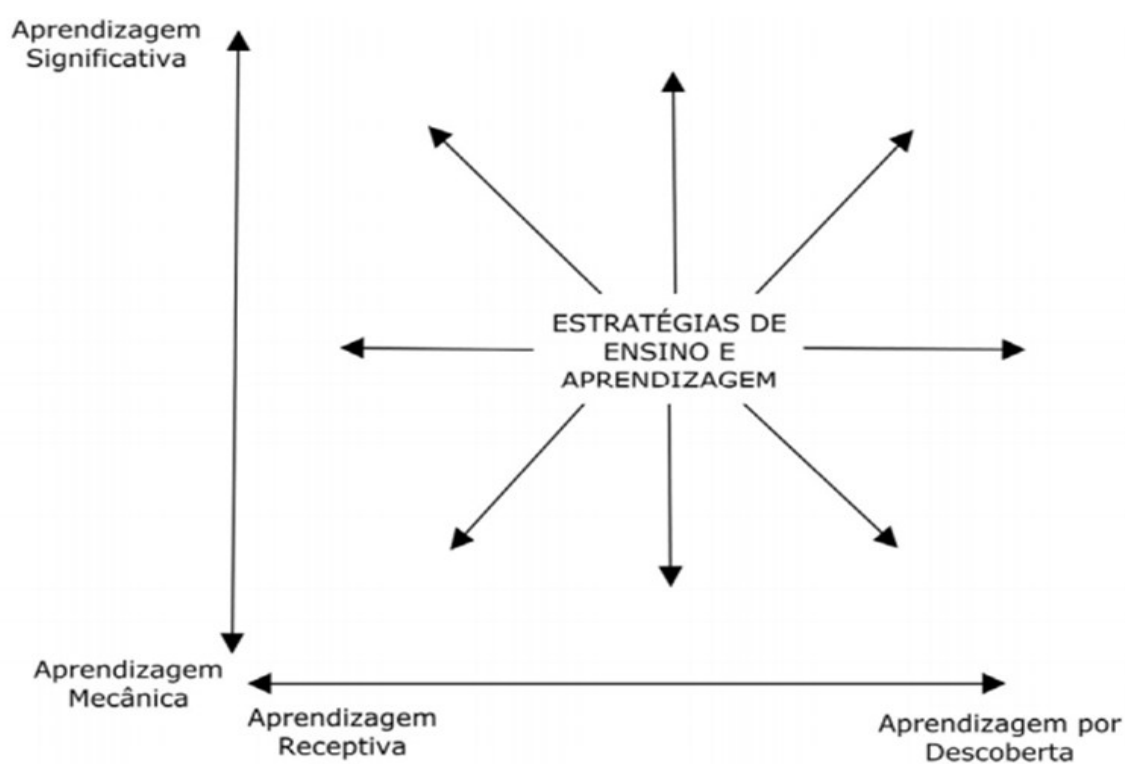
$A'B'$  – produto interacional resultante do subsunçor prévio mas agora modificado,  $B'$  e da ideia,  $A'$ , pessoal e idiossincrásica, que o aprendiz atribui à informação nova, mais ou menos diferente da ideia A de quem lhe pretende transmitir.

Logo a seguir ao apresentar o conceito de assimilação significativa, Ausubel [2003] realça imediatamente que aprendizagem significativa não é sinónimo de aprendizagem de material significativo. Por um lado, a informação a aprender é apenas potencialmente significativa. Por outro lado, tem de ocorrer o processo de assimilação significativa. E este não ocorre, por mais conceitualmente transparente que pareça ser a nova informação, desde que o aprendiz não disponha do subsunçor específico para integrar essa nova informação. O material a aprender tem de possuir significado lógico, para ser assimilável significativamente por quem tiver subsunçores adequados, mas se o aluno não possuir estes, o material não será potencialmente significativo para aquele aluno, podendo sê-lo para outro que disponha dos subsunçores adequados. Ainda que o material seja potencialmente significativo para o aluno, este tem de estar motivado para levar a cabo o processo de assimilação significativa, que não é necessariamente fácil.

Os alunos que ingressam na instituição escolar são obrigados a deixarem para trás o seu quotidiano em vista da estrutura regradada da escola que é um local onde, na maioria das vezes, não há espaço para a emoção e os sentimentos. Esse choque entre o quotidiano juvenil e o enquadramento escolar não é motivador porque limita a criatividade e o espírito crítico. As formas de perceber e viver o conteúdo que envolve a escola e o mundo exterior são muito diferentes. Enquanto na vida prática, os conhecimentos se expressam de maneira natural, na escola os conhecimentos são organizados, são definidos com antecedência e valem por si mesmos e por isso devem ser aprendidos, independentemente do interesse dos alunos. Sendo assim, fica evidente que as condições para que a aprendizagem significativa se efetive, desafia o professor a adotar a postura de mediador entre o aluno e o conhecimento. Para tanto, a atuação do professor deve levar em conta que o aluno é o sujeito do conhecimento e não mero receptor de informações. Por isso, é

válido todo o esforço no sentido de envolver os alunos, tornando as aulas momentos de interação e aprendizagem.

A aprendizagem significativa e a aprendizagem mecânica não são dicotômicas. Na realidade há uma variação contínua de uma aprendizagem altamente significativa até uma aprendizagem profundamente mecânica ou memorística. Em suma, uma aprendizagem predominantemente significativa só ocorre se estiverem reunidas duas condições fundamentais, quais sejam, a confrontação do aprendente com um conteúdo potencialmente significativo, o que requer que esse conteúdo tenha significado lógico, isto é, que seja conceitualmente coerente, plausível, suscetível de ser logicamente relacionável com qualquer estrutura cognitiva apropriada, portanto seja não arbitrário. Trata-se de uma característica do próprio conteúdo a de que existam subsunçores adequados no aprendente que permitam a assimilação significativa desse novo conteúdo e que o aprendente tenha uma atitude potencialmente significativa, ou seja uma predisposição psicológica para aprender de maneira significativa. A figura 2.1, mostra um esquema para relacionar aprendizagem significativa e mecânica, bem como as estratégias de Ensino.



**Figura 2.1.** Estratégias de ensino e aprendizagem (Fonte: autor).

Mais do que o simples resultado de atribuição de um significado a uma informação nova, a aprendizagem significativa é um processo dinâmico em que, por meio de atividades de ensino bem planejadas, os alunos aprofundam, modificam e ampliam os seus subsunçores. Por isso D. Bob Gowin afirma que a aprendizagem significativa de um indivíduo é um processo de “reorganização ativa de uma rede de significados pré-existentes na estrutura cognitiva desse indivíduo” [Gowin 1981].

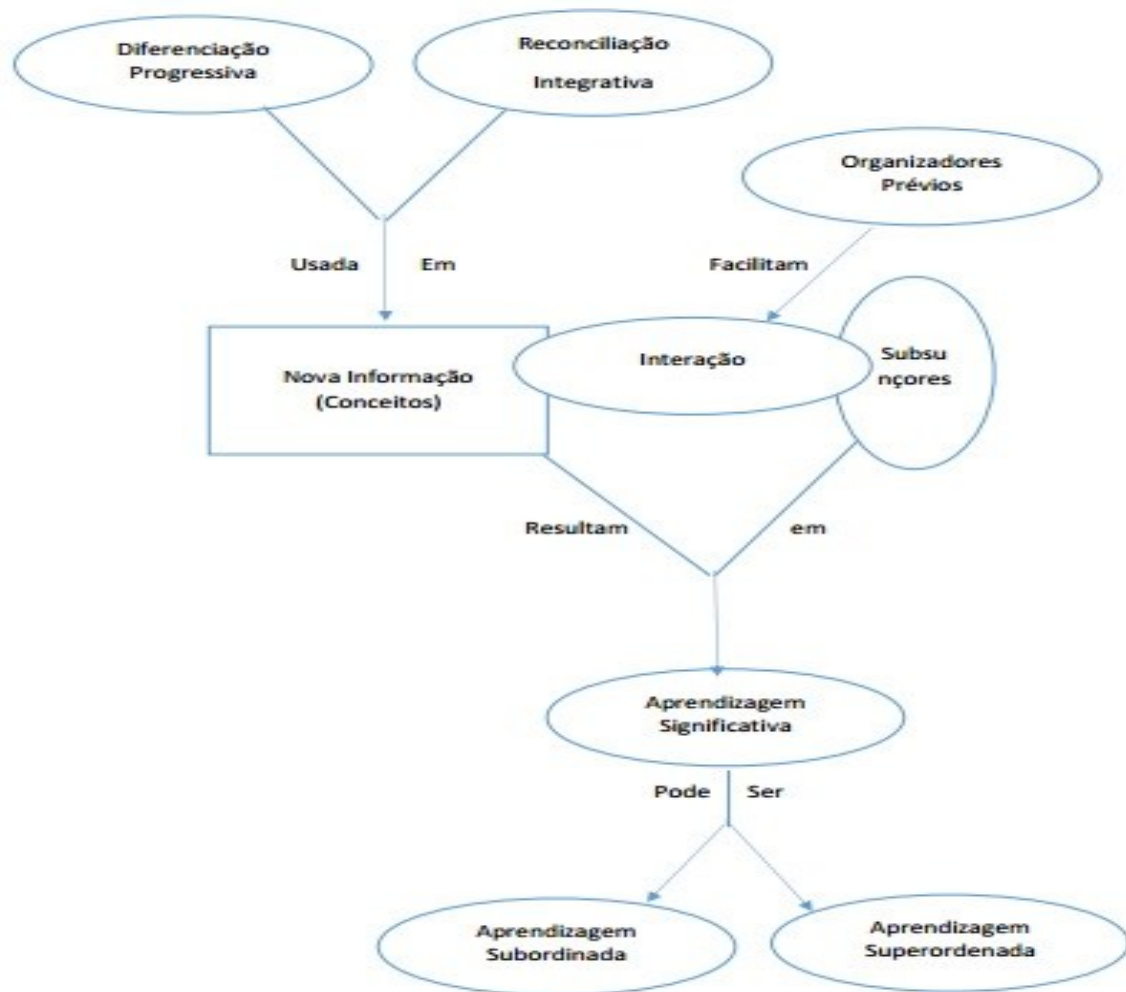
Por interação com as novas ideias, os conceitos subsunçores vão assimilando progressivamente mais conceitos e assim ampliando o seu âmbito, processo este designado por diferenciação progressiva. Mas, ao mesmo tempo, vão-se encontrando cada vez mais relações entre os conceitos, precisamente por estarem mais diferenciados e enriquecidos. Quando estas relações, estas pontes cognitivas são estabelecidas entre conceitos anteriormente separados, vão resultando conceitos mais gerais, mais abrangentes do que aqueles que se relacionaram, designados na teoria da aprendizagem significativa por conceitos superordenados. Este processo que conduz a conceitos superordenados designa-se por reconciliação integrativa.

O aluno aprende por meio da conjugação sistemática destes dois mecanismos: diferenciação progressiva de conceitos mais gerais e abrangentes que se vão diferenciando e especificando cada vez mais, e reconciliação integradora entre conceitos já suficientemente diferenciados e especificados para originarem conceitos mais gerais.

No curso da aprendizagem significativa, os conceitos que interagem com o novo conhecimento e servem de base para a atribuição de novos significados, vão também se modificando em função dessa interação, vão adquirindo novos significados e se diferenciando progressivamente. Imagine-se o conceito de “conservação”; sua aquisição diferenciada em ciências é progressiva: à medida que o aprendiz vai aprendendo significativamente o que é conservação da energia, conservação da carga elétrica, conservação da quantidade de movimento, o subsunçor “conservação” vai se tornando cada vez mais elaborado, mais diferenciado, mais capaz de servir de âncora para a atribuição de significados a novos conhecimentos. Este processo característico da dinâmica da estrutura cognitiva chama-se diferenciação progressiva.

Outro processo que ocorre no curso da aprendizagem significativa é o estabelecimento de relações entre ideias, conceitos, proposições já estabelecidas na estrutura cognitiva, relações entre subsunçores. Elementos existentes na estrutura cognitiva com determinado grau de clareza, estabilidade e diferenciação são percebidos como relacionados, adquirem novos significados e levam a uma reorganização da

estrutura cognitiva. É o que ocorreria, por exemplo, se o aluno tivesse conceitos de campo elétrico e magnético claros e estáveis na estrutura cognitiva, os percebesse intimamente relacionados e reorganizasse seus significados de modo a vê-los como manifestações de um conceito mais abrangente, o de campo eletromagnético. Essa recombinação de elementos, essa reorganização cognitiva, esse tipo de relação significativa, é referido como reconciliação integrativa, conforme a ilustração da figura 2.2 abaixo.

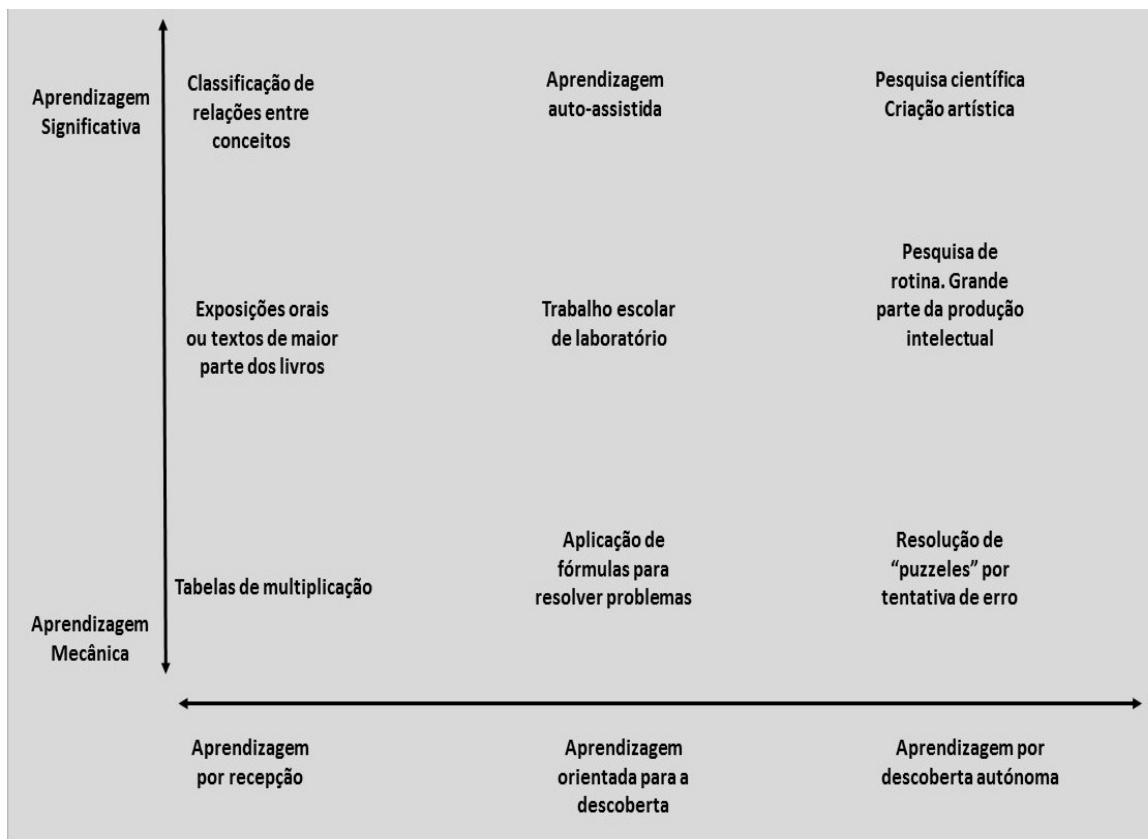


**Figura 2.2.** Conceitos da teoria de Ausubel (Moreira; Buchweitz, 1993) (Fonte: autor).

A reconciliação integrativa e a diferenciação progressiva são dois processos relacionados que ocorrem no curso da aprendizagem significativa. Toda aprendizagem que resultar em reconciliação integrativa resultará também em diferenciação progressiva adicional de conceitos e proposições. A reconciliação integrativa é uma forma de diferenciação progressiva da estrutura cognitiva. É um processo cujo resultado é o explícito delineamento de diferenças e similaridades entre ideias relacionadas.

Em uma conjuntura em que as transformações se processam de modo cada vez dinâmico, mais rápido, a aula tradicional ganha novos contornos na modernidade sem,

contudo, deixar de partir da exposição oral como recurso pedagógico indispensável que remete ao ato de transmitir conhecimentos, saberes e valores de geração em geração. Assim, de modo contextualizado, a tradição se mantém ao longo do processo de ensino-aprendizagem. Porém, se, epistemologicamente, da tese à síntese, há um referencial de muitas transições, o dialogismo e a interatividade renovam o papel social do professor, do aluno e da escola.



**Figura 2.3.** Aprendizagem Significativa – as duas dimensões (adaptado de Ausubel, Novak e Hanesian, 1980, p. 21).

Nestes termos, a demonstração, enquanto experimentação, apresenta-se como ferramenta de apoio que reforça a prática pedagógica, auxiliando a compreensão da estrutura superficial e profunda de conceitos teóricos abstratos, que dialogam, da teoria à prática, com metodologias de ensino as quais se propõem a um fazer didático interativo, participativo, produtivo, engajado com a compreensão de um conhecimento concreto, sensorial, palpável cognitivamente.

Assim, segundo Bojunga [2009], no célebre conto “A Professora e a Maleta”, diferentes métodos de demonstração são apresentados, pela docente, para somar-se ao modelo tradicional de ensino aplicado aos discentes, restando a esta professora uma resistência à sua metodologia, com a experimentação, na presente dissertação, também é

possível que o professor possa encontrar resistência à realização dos experimentos. Porém, o docente deve argumentar que tal conjunto de experiências é na verdade uma ferramenta educacional cuja finalidade é ter a possibilidade de facilitação e reforço da aprendizagem dos conceitos físicos abordados na aula tradicional e que tal experimentalismo utiliza o tato, órgão sensorial humano que não foi utilizado na aula tradicional, portanto, tal experimentação tende somar e não subtrair os conceitos físicos previamente estudados.

## **2.2. Parâmetros curriculares nacionais à luz da aprendizagem significativa**

Quanto ao processo de aprendizagem e ensino, os Parâmetros Curriculares Nacionais [Brasil 2013] ressalta sobre a ‘pedagogia renovada’ como uma forma de desenvolvimento pedagógico a ser utilizado pelos professores e alunos em sala de aula:

A “pedagogia renovada” é uma concepção que inclui várias correntes que, de uma forma ou de outra, estão ligadas ao movimento da Escola Nova ou Escola Ativa. Tais correntes, embora admitam divergências, assumem um mesmo princípio norteador de valorização do indivíduo como ser livre, ativo e social. O centro da atividade escolar não é o professor nem os conteúdos disciplinares, mas sim o aluno, como ser ativo e curioso. O mais importante não é o ensino, mas o processo de aprendizagem. Em oposição à Escola Tradicional, a Escola Nova destaca o princípio da aprendizagem por descoberta e estabelece que a atitude de aprendizagem parte do interesse dos alunos, que, por sua vez, aprendem fundamentalmente pela experiência, pelo que descobrem por si mesmos. O professor é visto, então, como facilitador no processo de busca de conhecimento que deve partir do aluno. Cabe ao professor organizar e coordenar as situações de aprendizagem, adaptando suas ações às características individuais dos alunos, para desenvolver suas capacidades e habilidades intelectuais. A ideia de um ensino guiado pelo interesse dos alunos acabou, em muitos casos, por desconsiderar a necessidade de um trabalho planejado, perdendo-se de vista o que deve ser ensinado e aprendido. Essa tendência, que teve grande penetração no Brasil na década de 30, no âmbito do ensino pré-escolar (jardim de infância), até hoje influencia muitas práticas pedagógicas.

Logo em seguida, salienta:

Os Parâmetros Curriculares Nacionais auxiliam o professor na tarefa de reflexão e discussão de aspectos do cotidiano da prática pedagógica, a serem transformados continuamente pelo professor. Algumas possibilidades para sua utilização são:

- rever objetivos, conteúdos, formas de encaminhamento das atividades, expectativas de aprendizagem e maneiras de avaliar;
- refletir sobre a prática pedagógica, tendo em vista uma coerência com os objetivos propostos;
- preparar um planejamento que possa de fato orientar o trabalho em sala de aula;

A Lei de Diretrizes de Base do Ensino Nacional [LDBEN 9394/96] trouxe modificações em aspectos administrativos e organizacionais na estrutura da educação brasileira. Inspirados pela nova LDB, um conjunto de documentos foram produzidos – Diretrizes Curriculares Nacionais (DCN), Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio (PCNEM) e Orientações Complementares aos PCNEM – no sentido de promover, juntamente com as transformações diretamente relacionadas aos aspectos

administrativos, mudanças de natureza pedagógica e didática. Tais transformações, de acordo com esses documentos e diretrizes, ajudariam a desencadear uma “evolução” das práticas educacionais realizadas nas mais diversas instituições de ensino do país, de maneira a concretizar nas escolas uma educação não apenas de melhor qualidade, mas em sintonia com as exigências contemporâneas para a formação de um cidadão inserido em seu tempo.

Os documentos supracitados procuram oferecer normas e orientações para a construção de um currículo que satisfaça as necessidades do homem e da sociedade moderna. Segundo os Parâmetros Curriculares Nacionais [Brasil 2003], não basta para o cidadão oriundo de o ensino centrado em conteúdos, formar-se para a vida. Tendo desenvolvido competências e habilidades relacionadas à reprodução de dados, denominações de classificações e identificação de símbolos, por exemplo. A formação para a vida exige outras competências: saber se informar, comunicar-se, argumentar, compreender, agir; enfrentar problemas de diferentes naturezas; participar socialmente, de forma prática e solidária; ser capaz de elaborar críticas ou propostas; e, especialmente, adquirir uma atitude de permanente aprendizado [Brasil 2003].

Não é difícil perceber que a nova proposta é bastante desafiadora, visto que uma formação baseada num aprendizado fundamentado num currículo predominantemente tradicional dificilmente seria capaz de promover condições para que os objetivos apontados pelos novos Parâmetros Curriculares pudessem ser atingidos. De acordo com Ricardo [2003], no ensino tradicional poderia se pensar que a sequência para as escolhas didáticas é: conteúdo, transposição didática, sala de aula, pré-requisitos, expectativa futura a cargo do aluno. Ou seja, os conteúdos são os primeiros a serem escolhidos e o que se vai fazer com eles ao final do Ensino Médio está a cargo do aluno.

Dessa forma, é possível perceber o distanciamento entre o ensino tradicional e aquele proposto pelas As Orientações Curriculares para o Ensino Médio PCNEM e orientados pelos PCN e PCN+. Na nova perspectiva trazida por estes documentos, o ensino deixa de ser centrado nos conteúdos. Educar é mais do que ensinar conhecimentos, é promover o desenvolvimento dos jovens, é possibilitar a construção de uma ética, é expor os valores em que acreditamos e discuti-los. Santos [2008], propõe que o professor: “pare de dar aulas” pois esse é um dos motivos do enorme desgaste de energia que muitos professores sentem atualmente, pois manter os alunos em silêncio, atentos ao professor, é muito difícil no atual contexto do mundo em constante transformação. Então, se o professor deverá provocar a aprendizagem, também o planejamento da aula deverá levar

em conta que o mais importante é elaborar perguntas que instiguem o aluno a vivenciar a busca, a exercitar as várias possibilidades de resposta. Afinal, esse é o exercício que conduz à aprendizagem significativa. É necessário fazer, como recomenda Santos [2008]: “provocar a sede” de aprender, problematizando o conteúdo, tornando-o interessante e não tirar o sabor da descoberta dando respostas prontas. Uma das primeiras condições para ser professor é dominar com segurança o conteúdo a ser trabalhado, pois somente assim será possível planejar aulas realmente interessantes, instigantes, que provoquem a turma a buscar respostas.

Quando o professor apresenta o conteúdo bem esmiuçado, os alunos copiam o texto seguido das respostas e pronto, não têm mais nada para fazer. E, em muitas dessas ocasiões, a indisciplina aparece. Portanto, é imprescindível estudar bem o conteúdo, utilizar textos curtos e fazer questionamentos que conduzam à reflexão. O desafio aos alunos pode ser feito com uma pergunta bem elaborada, um recorte de jornal, uma fotografia, uma cena de um filme, um vídeo ou uma pequena história. Para isso, é suficiente observar a realidade social que está repleta de situações que podem servir como ponto de partida para a introdução dos diversos conteúdos.

Assim como Santos [2008] que, ao refletir sobre pressupostos para as estratégias de trabalho em aula, sugere que a atuação do professor seja transformada de “dar aulas” pela ação conjunta de “fazer aulas”. Significa que alunos devem deixar de assistir aulas e, junto com o professor, fazer aulas, pois é preciso superar a aula tradicional com exposição de tópicos que não tem sido satisfatória para a apreensão do conteúdo. A aula expositiva é importante, entretanto não é suficiente porque cumpre apenas a primeira etapa do ensino, que é a apresentação do conhecimento. Para dar sentido ao que está sendo ensinado, é necessário organizar “atividades com as quais o aluno possa generalizar, diferenciar, abstrair e simbolizar os conceitos trabalhados” [Anastasiou 2006]. Para explicar como é possível promover a aprendizagem dos diferentes tipos de conteúdo, Anastasiou [2006] menciona que:

Diferencia na aprendizagem as características de quatro tipos de conteúdo: os factuais: conhecimentos de fatos, acontecimentos, [...] cuja aprendizagem é verificada pela reprodução literal; - os procedimentais: conjunto de ações ordenadas e com um fim, incluindo regras, técnicas, [...] verificados pela exercitação múltipla e tornados conscientes pela reflexão sobre a própria atividade; - os atitudinais: podem ser agrupados em valores, atitudes e normas, verificados por sua interiorização e aceitação, o que implica conhecimento, avaliação, análise e elaboração; - e a aprendizagem de conceitos (conjunto de fatos, objetos ou símbolos) e princípios (leis e regras [...]): possibilita elaboração e construção pessoal, nas interpretações e transferências para novas situações [apud Anastasiou, 2006, p. 17].



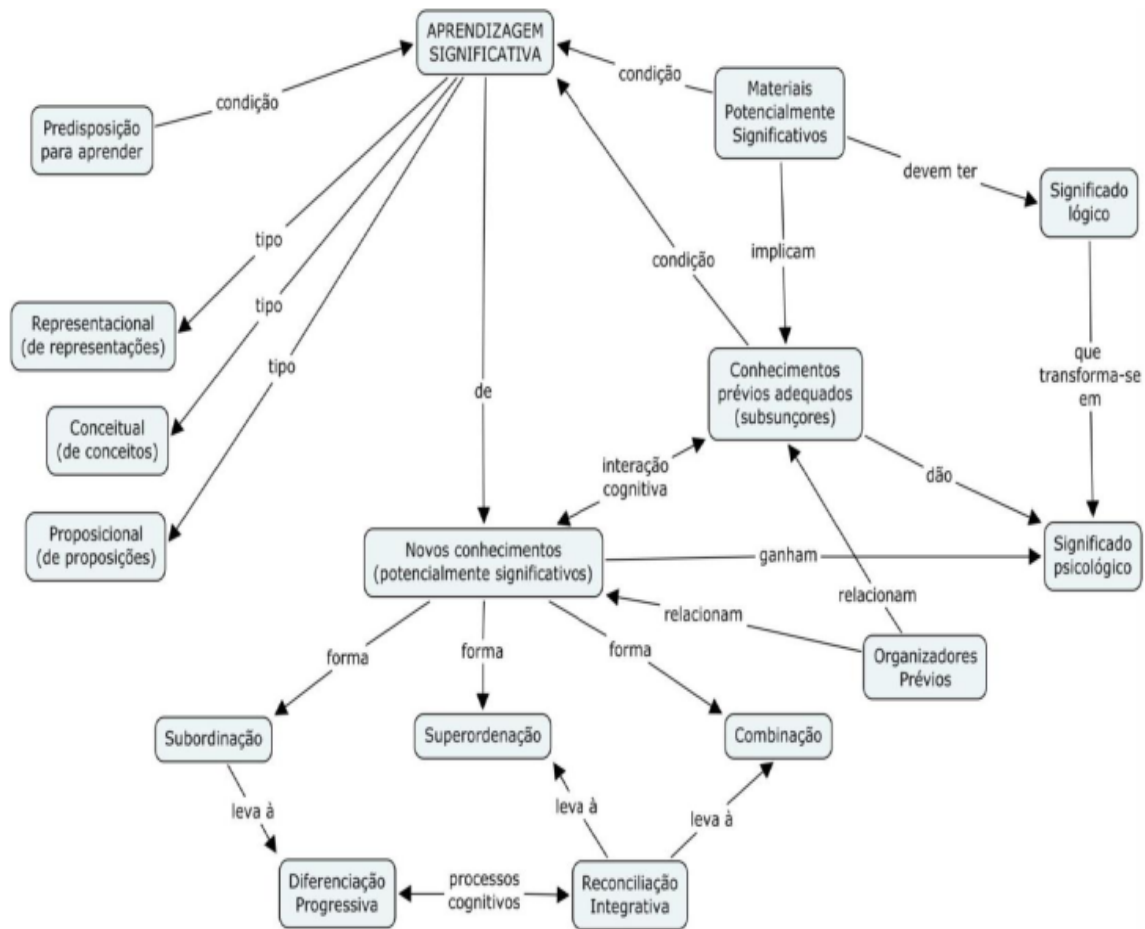
Gasparin [2001] também apresenta uma alternativa de ação docente-discente na qual o professor não trabalha pelo aluno, mas com o aluno e, para tanto, sugere: a) Descobrir aquilo que é aprendizagem significativa para os alunos, pois se interessarão por aquilo que, de alguma maneira, os afetar diretamente; b) Envolver, através de técnicas variadas de ensino-aprendizagem, os educandos na reconstrução ativa do conhecimento sistematizado; c) Trabalhar com os alunos (e não pelos alunos); d) Adotar, como forma de trabalho, o método dialético: prática-teoria-prática, onde o primeiro passo – a prática – consiste em conhecer, através de um diálogo com os alunos, qual a vivência cotidiana do conteúdo, antes que este que lhes seja ensinado em aula.

O segundo passo, a teoria, inicia-se por uma breve discussão sobre o conteúdo, buscando identificar as razões pelas quais ele merece ou precisa ser aprendido. Em seguida, transforma-se esse conhecimento em questões problematizadoras, levando em conta as suas dimensões científica, conceitual, cultural, histórica, social, política, ética, etc. Então, o conteúdo formal, abstrato é apresentado e contrastado com a vivência cotidiana desse mesmo conhecimento, a fim de que os alunos elaborem uma síntese e assumam uma nova postura mental, reunificando o cotidiano com o científico numa nova totalidade concreta. A terceira fase é a prática a qual é expressa nas intenções dos alunos sobre a possível aplicação do conteúdo aprendido e quais ações se propõem a realizar para que isso aconteça.

Vasconcellos [2006] refere-se a três momentos fundamentais da aula: a mobilização para o conhecimento, a construção do conhecimento e a elaboração da síntese do conhecimento. Nesta metodologia também parte-se da prática, que é a realidade social e a provocação para a aprendizagem. Em seguida, vem o momento do confronto com o conhecimento sistematizado que deverá conduzir o aluno à reflexão, bem como a superação da sua visão inicial sobre o objeto do conhecimento e, finalmente, a consolidação de conceitos, ainda que provisória, pois as sínteses poderão ser continuamente retomadas e superadas.

Pode-se distinguir entre três formas de aprendizagem significativa: por subordinação, por superordenação e de modo combinatório. Analogamente, podem-se identificar três tipos de aprendizagem significativa: representacional (de representações), conceitual (de conceitos) e proposicional (de proposições). A aprendizagem significativa é dita subordinada quando os novos conhecimentos potencialmente significativos adquirem significados para o sujeito que aprende, por um processo de ancoragem cognitiva, interativa, em conhecimentos prévios relevantes mais gerais e inclusivos já

existentes na sua estrutura cognitiva. A figura 2.4 sintetiza, por meio de um mapa conceitual, os passos da aprendizagem significativa, bem como os seus tipos.



**Figura 2.4.** Organograma sobre a aprendizagem significativa (Fonte: autor).

Moreira [2001] cita como exemplo se o aprendiz já tem uma ideia, uma representação do que seja uma escola, a aprendizagem significativa de distintos tipos de escola como escola técnica, escola aberta, escola normal, escola pública, e outros, será aprendida por ancoragem e subordinação à ideia inicial de escola, mas, ao mesmo tempo, como o processo é interativo, essa ideia inicial vai se modificando, ficando cada vez mais elaborada, mais rica e mais capaz de servir de ancoradouro cognitivo para novas aprendizagens. Contudo, se o aprendiz não tivesse uma ideia mais ampla, ou o conceito de escola e fosse aprendendo de modo significativo o que é uma escola pública, uma escola aberta, uma escola confessional, uma escola militar, etc. Poderiam começar a fazer ligações entre diferentes tipos de escola, buscando semelhanças e diferenças e chegar, por meio de um raciocínio indutivo, ao conceito de escola. Esta seria uma aprendizagem superordenada.

Para Ausubel, uma possível solução para essa dificuldade seria o uso dos organizadores prévios que seriam introduzidos antes do próprio material de aprendizagem, sendo utilizados para facilitar o estabelecimento de uma disposição significativa da aprendizagem, com isso, os alunos reconhecem que elementos dos novos materiais de aprendizagem podem ser significativamente aprendidos relacionando-os com os aspectos relevantes da estrutura cognitiva existente [Azevedo 2010]. Logo, organizadores prévios servem de âncora para aprendizagem e levam ao desenvolvimento de conceitos subsunçores que facilitam a aprendizagem subsequente. No caso de um material ser totalmente novo, um organizador explicativo é usado para formação de subsunçores que sustentariam de forma ordenada a relação com o novo material. A aprendizagem em sala de aula, em geral, se baseia na utilização de recursos que dificultam as relações entre os conceitos e sua integração à estrutura cognitiva do aluno, tornando o material não significativo [Moreira 2001]. Essencialmente, são duas as condições para a aprendizagem significativa: 1) o material de aprendizagem deve ser potencialmente significativo e 2) o aprendiz deve apresentar uma predisposição para aprender. Ensinar sobre a primeira condição, implica que: o material de aprendizagem (livros, aulas, aplicativos) tenha significado lógico (isto é, seja relacionável de maneira não arbitrária e não literal a uma estrutura cognitiva apropriada e relevante) e que o aprendiz tenha em sua estrutura cognitiva ideias-âncora relevantes com as quais esse material possa ser relacionado. Quer dizer, o material deve ser relacionável à estrutura cognitiva e o aprendiz deve ter o conhecimento prévio necessário para fazer esse relacionamento de forma não arbitrária e não literal. É importante enfatizar aqui que o material só pode ser potencialmente significativo, não significativo: não existe livro significativo, nem aula significativa, nem problema significativo, pois o significado está nas pessoas, não nos materiais. É o aluno que atribui significados aos materiais de aprendizagem e os significados atribuídos podem não ser aqueles aceitos no contexto da matéria de ensino. Naturalmente, no ensino o que se pretende é que o aluno atribua aos novos conhecimentos, veiculados pelos materiais de aprendizagem, os significados aceitos no contexto da matéria de ensino, mas isso normalmente depende de um intercâmbio, de uma “negociação”, de significados, que pode ser bastante demorada.

A segunda condição é talvez mais difícil de ser satisfeita do que a primeira: o aprendiz deve querer relacionar os novos conhecimentos, de forma não-arbitrária e não literal, a seus conhecimentos prévios. É isso que significa predisposição para aprender [Moreira 2006]. Não se trata exatamente de motivação, ou de gostar da matéria. Por

alguma razão, o sujeito que aprende deve se predispor a relacionar (diferenciando e integrando) interativamente os novos conhecimentos a sua estrutura cognitiva prévia, modificando-a, enriquecendo-a, elaborando-a e dando significados a esses conhecimentos. Pode ser simplesmente porque se sabe que: sem compreensão não terá bons resultados nas avaliações. Aliás, muito da aprendizagem memorística sem significado (a chamada aprendizagem mecânica) que usualmente ocorre na escola resulta das avaliações e procedimentos de ensino que estimulam esse tipo de aprendizagem. Por outro lado, o aluno pode querer dar significados aos novos conhecimentos e não ter conhecimentos prévios adequados, ou o material didático não ter significado lógico, e aí voltamos à primeira condição: o material deve ser potencialmente significativo.

Resumindo, são duas as condições para aprendizagem significativa: material potencialmente significativo (que implica logicidade intrínseca ao material e disponibilidade de conhecimentos especificamente relevantes) e predisposição para aprender. De acordo com Rosa e Rosa [2005], “olhando o aspecto histórico, identifica-se que o ensino de física no Brasil é algo recente, passando a ser objeto de estudo nas escolas de maneira mais efetiva a partir de 1837, com a fundação do Colégio Pedro II no Rio de Janeiro”. O ensino de Física utilizando atividades experimentais se deu a partir dos anos de 1950, quando ocorreu a obrigatoriedade da disciplina no currículo do Ensino Fundamental e Médio. Porém, a aula era centrada no professor; as atividades experimentais, de custos elevados com finalidade de comprovar a teoria, Rosa [2005]. Após 1960, ocorreram modificações na estrutura das aulas práticas ministradas aos estudantes. Elas passaram a serem montadas pelos alunos. Os estudantes recebiam Kits relacionados ao assunto, o que foi uma mudança radical na estrutura tradicional das aulas práticas de Física. Da década de 50 até hoje, ocorreram poucas mudanças na estrutura do Ensino Fundamental e Médio. Talvez seja hora de mudanças mais radicais no ensino de Física.

Estas deveriam ocorrer desde a revisão dos conteúdos, que são, geralmente, extensos demais, até a metodologia de ensino, que ainda é, predominantemente, baseada na resolução de exercícios que valorizam a repetição de cálculos.

Segundo Rosa e Rosa [2005], hoje, no início do século XXI, mais de cem anos de história se passaram desde a introdução da Física nas escolas no Brasil, mas sua abordagem continua fortemente identificada com aquela praticada há cem anos atrás: ensino voltado para a transmissão de informações através de aulas expositivas utilizando metodologias voltadas para a resolução de exercícios algébricos.

O ensino de física é predominantemente teórico, com aulas expositivas, pouco atrativas aos alunos. Grande parte deles não se interessam pela disciplina, pois não veem sentido algum na teoria, ficando restrita a fórmulas, equações físicas, sem entendê-las. O sentido físico do problema fica em segundo plano; o professor trabalha dando extrema importância às fórmulas e aos resultados. Considera-se que a imagem que as pessoas têm da física é geralmente criada na escola, resultado do ensino ali praticado. O que prevalece, na prática pedagógica da maioria dos professores, é o formalismo, enquanto o contato com a fenomenologia, esse lado da física que as pessoas consideram mais atrativo, é pouco valorizado, e por vezes até mesmo esquecido por completo. Enfatiza-se demasiadamente uma física matemática em detrimento de uma Física mais conceitual, mais experimental e com mais significado para a vida das pessoas. [Bonadiman 2004]. Após cálculos e mais cálculos, chega-se a um número, como se esse resultado fosse uma verdade absoluta e, geralmente, despreza-se o questionamento físico que foi utilizado para se chegar àquele resultado. É preciso entender a Física como uma ciência que nasceu da observação de fenômenos naturais. Assim, ela está diretamente ligada ao cotidiano de cada um. Uma forma de sintetizar as observações para que possam ser analisadas e melhor estudadas é estabelecer os padrões matemáticos da natureza, isto é, as leis Físicas. Para Feynman [1989], lei Física é um ritmo e um padrão nos fenômenos naturais que não é evidente a toda gente, mas apenas aos olhos dos cientistas. Para tornar o ensino de Física mais interessante e agradável aos alunos, é necessário que a disciplina esteja ligada ao cotidiano deles. Uma possibilidade é trabalhar aulas teóricas, com roteiros pré-definidos pelo professor, levando em conta um experimento qualitativo, já que os alunos de Ensino Médio não dispõem de ferramentas matemáticas para o estudo e a análise de um experimento quantitativo. Outra possibilidade é a visita a museus de Física ou a participação em mostra de divulgação de cursos.

Existe também a possibilidade de contextualizar a teoria com as aulas práticas. Apoiar-se na teoria em favor da prática e da experimentação é também um excelente meio de aprendê-la [Sére, Coelho e Nunes 2003]. Um roteiro de aula prático bem esquematizado pode ser uma ótima ferramenta para o processo de aprendizagem. Existem pessoas que têm dificuldades de abstrair e, para compreender a Física, às vezes, é necessário abandonar o senso comum ou adaptá-lo ao conhecimento científico. “Percebe-se claramente que a linguagem do senso comum está muito associada à experiência de vida das pessoas” [Bonadiman 2004]. A Física Experimental apresenta vários fatores que dificultam seu sucesso. No entanto, os problemas e dificuldades são tão amplos e variados

que vão da organização do currículo à aplicabilidade da aula tradicional ao cotidiano do estudante. Para que ocorram modificações significativas nas aulas de Física, há necessidade de uma adequação do conteúdo ao número de aulas semanais, o que seria comprometedor ao currículo do aluno, ou então adequar o número de aulas ao conteúdo, o que seria mais sensato. O que não deve continuar é o conteúdo de Física sendo dado de maneira mecânica, com preocupação quase que absoluta em cumprir o conteúdo, não levando em conta o ritmo de cada turma e o desenvolvimento das competências desejadas ao final de cada conteúdo. Pesquisas mostram que os professores são unânimes em destacar que, em virtude do pouco tempo e da gama imensa de conteúdos, a metodologia centra-se na aula expositiva com a utilização do quadro e giz, praticamente inexistindo atividades como aula experimental em laboratório ou a utilização de softwares para demonstrações [Rosa 2005]. A atividade prática em Física, como já foi dito antes, é um ótimo auxílio para a melhor compreensão da disciplina. Porém, ela toma muito tempo tanto do aluno quanto do professor. Para que prática, teoria e aproveitamento andem juntos, é necessário tempo adequado para o desenvolvimento das atividades e do aluno.

A formação dos professores pode contribuir positiva ou negativamente na formação dos alunos. Nas escolas do Brasil é comum durante a aula o professor se atrapalhar na explicação dos conceitos e ter dificuldades em exemplificar de modo prático o assunto. Tal acontecimento está relacionado ao domínio do assunto por professores que ensinam física que não têm formação específica. Isso ocorre porque a falta de professores de Física abriu as portas para que profissionais de outra formação ministrassem as aulas de Física. A situação atual dos professores em geral não é muito boa, a remuneração é uma vergonha e não há incentivos à docência. Os professores da rede pública estadual não são estimulados a aperfeiçoarem os conhecimentos e as vantagens salariais para quem vai além da graduação não são atrativas. Talvez por isso a carreira de professor seja quase estacionária tanto na questão salarial, quanto na questão de incentivos à formação complementar. Existe também a necessidade de investimentos na estrutura física da escola, uma vez que, geralmente, as escolas não têm uma sala de aula destinada a aulas práticas. Um laboratório de Física básico montado com material alternativo de baixo custo seria uma boa saída. Não é necessário um aparato sofisticado para desenvolver uma boa aula de Física experimental. O aluno manipular e construir seu próprio material de laboratório pode tornar-se de grande importância para a formação.

O laboratório de Física para o ensino deve priorizar fenômenos do dia - adia do aluno, de modo que ele possa perceber a aplicabilidade da teoria. Os materiais a serem

utilizados, geralmente, deverão se de fácil acesso e baixo custo. Dá-se como exemplo o caso do estudo do movimento uniformemente acelerado. Pode-se montar um experimento simples e de fácil compreensão, por exemplo, um trilho de cortina colocado de forma que se constitua numa rampa com inclinação em relação ao solo no qual é solta uma bolinha de gude, de modo que ela descerá a rampa acelerando uniformemente. Porém, se o aluno estiver na sala de aula, fica difícil fazer essa montagem em uma mesa pequena; o ideal seria uma mesa grande ou uma bancada. O que é novo pode ser mais interessante, sair da rotina da aula para muitos faz bem. A escola, disposta de um espaço específico para as aulas práticas, facilita o armazenamento dos materiais que serão utilizados posteriormente.

A falta de interesse pela Física é hoje, posteriormente, o fator que mais dificulta a aprendizagem na disciplina. Criou-se uma imagem de que a Física é a disciplina mais difícil na escola e essa imagem é repassada aos alunos ano após ano e quase nada é feito para mudar tal situação. No ensino de Física, a ausência da experiência e do pensamento crítico são questões que podem ser percebidas pela dificuldade ou, até mesmo, impossibilidade de o aluno relacionar a teoria observada em sala com a realidade à sua volta, comprometendo-se, assim, a percepção do conteúdo pelo insucesso do processo. O processo de aprendizagem compreende uma série de analogias e inferências necessárias à abstração das leis científicas. Sendo incapaz de compreender a teoria, o aluno não reconhece o conhecimento científico em situações cotidianas. Por essa razão deve-se apostar na experiência de ensino não formal de ciências como metodologia para a aprendizagem, ao contrário da simples memorização da informação, método tradicionalmente empregado nas salas de aula.

Aliado a estas questões tem-se o grande desafio de tornar o ensino de Física prazeroso e instigante sendo capaz de desenvolver no aluno a educação científica, fazendo-o alcançar o conhecimento e permitindo que este tenha sentido e possa ser utilizado na compreensão da realidade que o cerca. A partir dessa concepção, propõe-se um projeto que tem como objetivo a construção do conceito científico através da experimentação com o intuito de verificar se a experimentação pode contribuir efetivamente no processo ensino-aprendizagem, garantindo um aprendizado significativo por parte do aluno.

O modelo de ensino tradicional é ainda amplamente utilizado por muitos educadores nas nossas escolas de Ensino Fundamental e Médio. Tal modelo de educação trata o conhecimento como um conjunto de informações que são simplesmente

transmitidas pelos professores para os alunos, não resultando em um aprendizado efetivo. Os alunos têm o papel de ouvintes e, na maioria das vezes, os conhecimentos transmitidos pelos professores não são realmente absorvidos por eles, são apenas memorizados por um curto período de tempo e, geralmente, esquecidos posteriormente, comprovando a não ocorrência de um aprendizado significativo. Segundo Ausubel [2003], uma aprendizagem mecânica possa conduzir a uma transferência de aprendizagem com alguma associação com os conhecimentos prévios dos estudantes, a aprendizagem dos alunos do ensino fundamental se torna mais significativa quando os novos conhecimentos, trabalhados pelo professor, venham se relacionar e interagir com a estrutura cognitiva existente somando e servindo de suporte para novas informações.

De acordo com as reflexões que embasam tal justificativa, propõem-se que dois sejam os alicerces pedagógicos no ensino de Física para uma aprendizagem significativa:

1. A contextualização do fenômeno a ser estudado
2. A organização de um ambiente de aprendizagem diferente do tradicional, com a participação de professores mediador-orientadores e de alunos interessados.

Nos Parâmetros Curriculares Nacionais [Brasil 1998], uma proposta governamental no Brasil, e a primeira com abrangência nacional, pode-se ler: “Os desafios para experimentar ampliam-se quando se solicita aos alunos que construam o experimento”.

De acordo com Manacorda [2001] há mais de trezentos anos, John Locke (1632-1704) apontou a necessidade do uso de atividades práticas pelos estudantes.

O reconhecimento da importância das atividades práticas na educação das crianças também pode ser encontrado em Rousseau (1712-1778), Pestalozzi (1746-1827), Montessori (1870-1952), Dewey (1859-1952), e outros. As atividades práticas são vistas por estes sob diferentes enfoques, ora tomadas como suportes para o desenvolvimento dos conhecimentos da criança, ora tomadas como indutoras de conhecimentos existentes.

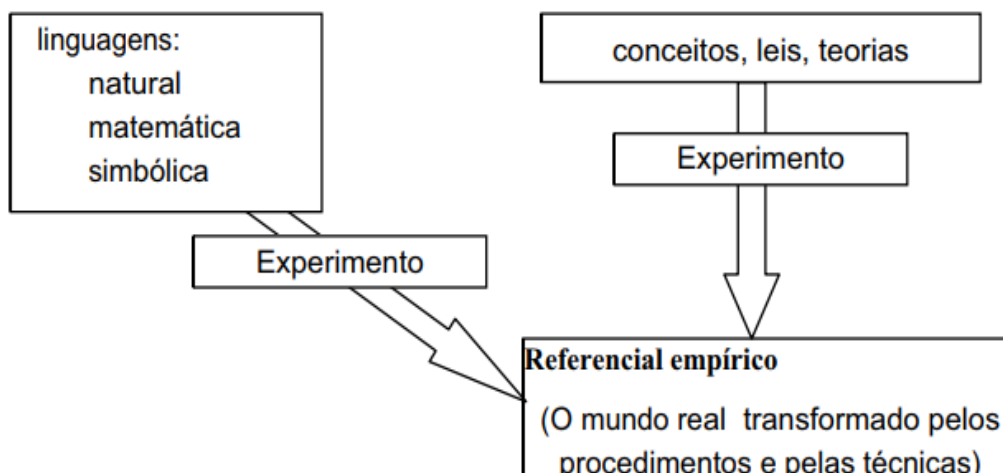
Na verdade, a experimentação no ensino de Física como é feita em no Brasil, não resume todo o processo investigativo no qual o aluno está envolvido na formação e desenvolvimento de conceitos científicos. Há que se considerar também que o processo de aprendizagem dos conhecimentos científicos é bastante complexo e envolve múltiplas dimensões, exigindo que o trabalho investigativo do aluno assuma, então, varias formas que possibilitem o desencadeamento de distintas ações cognitivas, tais como: manipulação de materiais, questionamento, direito ao tateamento e ao erro, observação, expressão e comunicação, verificação das hipóteses levantadas.



Não se deve deixar de destacar que a importância da afetividade, em termos de emoções, motivação e interesse no processo ensino-aprendizagem, vem sendo apontada na literatura como uma forma de superação de uma dicotomia entre os processos cognitivos e afetivos, presentes nos currículos escolares. Autores da psicologia cognitiva, como Jean Piaget, Henri Wallon e Lev Semenovitch Vygotsky, por exemplo, mencionavam a grande importância que a afetividade possui nos processos cognitivos, evidenciando a impossibilidade de desconsiderar tal associação. Mas quem deu grande ênfase à dimensão afetiva para o aprendizado foi Wallon, que de forma mais explícita destacou a associação entre afetividade e cognição. A dimensão afetiva, em especial as emoções, ocupa lugar central, tanto na construção do sujeito, como na construção do conhecimento. A importância dessa relação é explicitada por Wallon ao mencionar que o aparato orgânico, sem a componente afetiva, não é capaz de construir a obra completa da natureza humana, que pensa, sente e se movimenta em um mundo material [La Taille, Oliveira, Dantas 1992].

Observa-se que o aluno, na prática da Física, aprende a utilizar esquemas, a servir-se de relações matemáticas (principalmente a não se enganar nos cálculos). É preciso considerar a importância das linguagens simbólicas na aprendizagem da Física.

O mundo dos objetos intervém na experimentação. Segundo vários autores, denomina-se referencial empírico aquilo que é real, organizado especificamente para a experimentação, de forma a permitir o estudo dos fenômenos. Em um laboratório de Física, por exemplo, raramente observam-se, de forma direta, os fenômenos a serem estudados. O estudo pressupõe vários aparelhos de medida e computadores: é a primeira visão que se tem quando se entra em um laboratório. Francis Bacon, que vivia na época da rainha Elisabeth I da Inglaterra, expressava uma ideia semelhante de forma figurada: dizia que fazer ciência experimental não era simplesmente "observar o leão, mas também torcer o seu rabo". Sobre um leão que dorme pode-se fazer algumas observações, mas ao torcer o seu rabo obter-se-ão outras observações. Por meio dos trabalhos práticos e das atividades experimentais, o aluno deve se dar conta de que para desvendar um fenômeno é necessária uma teoria. Além disso, para obter uma medida e também para fabricar os instrumentos de medida é preciso muita teoria. A figura 2.5 ilustra a descrição da experimentação dos polos.



**Figura 2.5.** Representação dos polos na descrição da experimentação (Fonte: autor).

Pode-se dizer que a experimentação pode ser descrita considerando-se três polos: o referencial empírico; os conceitos, leis e teorias; e as diferentes linguagens e simbolismos utilizados em física. As atividades experimentais têm o papel de permitir o estabelecimento de relações entre esses três polos. Ausubel vê o armazenamento de informações na mente humana como sendo altamente organizado, formando uma espécie de hierarquia conceitual, na qual elementos mais específicos de conhecimento são ligados (e assimilados por) a conceitos, ideias, proposições mais gerais e inclusivos. Esta organização decorre, em parte, da interação que caracteriza a aprendizagem significativa [Moreira 2009]. A forma tradicional de ensino de física, fundamentada basicamente em transmissão de equações e algumas demonstrações experimentais, não é suficiente para esclarecer as várias dimensões das ciências físicas.

## Capítulo 3

### O tubo de Kundt: nosso aparato experimental

#### 3.1. Breve história de Kundt

August Kundt foi um físico alemão. Nasceu em Schwerin, em Mecklenburg em 1839. Em 1867, tornou-se privatdozent na Universidade de Berlim e em 1868 foi nomeado professor de Física no Instituto Politécnico Federal de Zurique, e em 1872 foi convidado para Estrasburgo, onde exercendo um ofício relevante na organização da universidade, preocupou-se com a construção do Instituto de Física. No início de sua carreira, dedicou-se à astronomia. Contudo, após ser influenciado por H. G. Magnus, interessou-se exclusivamente pela física e em 1864 elaborou uma tese sobre a despolarização da luz. Posteriormente, em 1888, mudou-se para Berlim, para exercer a sucessão de Hermam Von Helmholtz, ocupando a cadeira de física experimental e de diretor do Instituto de Física de Berlim. Em 21 de maio de 1894 faleceu em virtude de uma doença prolongada em Israelsdorf.

Kundt elaborou um método simples quanto ao estudo da propagação do som em tubos, a fim de medir a velocidade de propagação do som no ar e em outros gases por meio do tubo de Kundt, constituindo-se num empreendimento original e bem sucedido sobre a verificação das ondas aéreas dentro dos tubos, utilizando para a devida visualização um pó fino e de pequena densidade, como, por exemplo, o pó de licopódio. Uma vez que tal método tornou fácil a visualização dos ventres e nós, como pode ser visto na figura 3.1, foi possível determinar diretamente o comprimento da onda estacionária e, indiretamente, o cálculo da velocidade do som no gás lá encerrado.



**Figura 3.1.** Imagem de um tubo de Kundt em funcionamento (Fonte: <http://nurseryrhymes.pw/watch/P3LHO4hNQv8/ondas-estacionarias-en-tubo-de-kundt-kundt-s-tube>. Acessado em 22 abr. 2017).

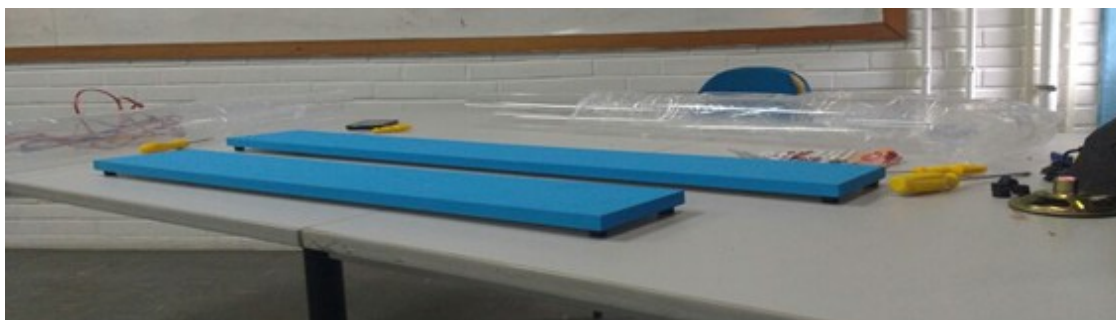
### 3.2. Montagem e utilização do aparato

Nosso modelo artesanal do tubo de Kundt consiste de dois tubos de acrílico, nos quais espalhamos pequenas bolinhas de isopor. Na extremidade de um dos tubos colocamos uma caixa de som amplificada, que será responsável pela amplificação do sinal senoidal de áudio, advindo do smartphone, no qual instalamos um dos inúmeros aplicativos geradores de áudio ‘freeware’, disponíveis na internet. O quadro 3.1 discrimina os materiais utilizados e suas funções no modelo montado por nós.

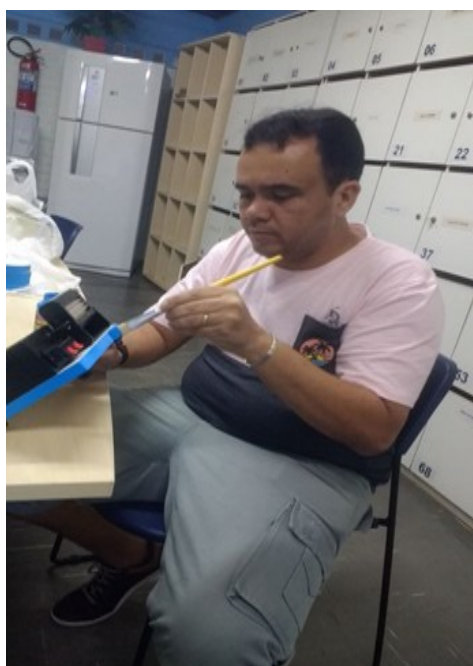
Material	Utilidade
Parafuso em inox	Prender o cobre e os pés na base de madeira
Cobre	Segurar o tubo na base de madeira
Madeira Naval	Suporte do tubo
Bolinhas de isopor	Identificar dentro do tubo as ondas estacionárias
Caixa de som	Emitir o som para dentro do tubo
Pote de plástico	Aparar as bolinhas que caem do tubo
O tubo de Acrílico	Visualizar as ondas sonoras
Celular	Emitir som com várias frequências para caixa de som

**Quadro 3.1.** Materiais utilizados na montagem do tubo de Kundt.

Entre os citados acima, o que tivemos maior dificuldade de adquirir foi o tubo, pois abortamos, desde o início, a possibilidade de utilizar um tubo de vidro, por conta do risco de acidente. Optamos, então, por um tubo de acrílico com boa transparência e que seria melhor para utilizar, sem o risco de quebra e provocar acidentes. Porém, esse tubo de acrílico, com essas características, teve que ser encomendado em uma empresa especializada em São Paulo. Outra dificuldade encontrada foi quanto ao alto falante apropriado para colocar no tubo. Realizamos vários testes com diversos tipos diferentes, até encontrar o mais adequado para esse experimento. As figuras 3.2 a 3.8 ilustram as várias fases de desenvolvimento e montagem do aparato. Como podemos ver nas citadas figuras, foram construídas duas bases de madeira (figuras 3.2 e 3.3) para a fixação dos dois tubos de acrílico, com abraçadeiras de cobre (figuras 3.4, 3.5 e 3.6), igualmente construídas por nós, e parafusos de aço inoxidável. O amplificador responsável pela amplificação do sinal do foi fixado, juntamente com seu transformador numa base de madeira quadrada, construída por nós para este fim (figura 3.7). A figura 3.8 mostra o aparato finalizado, completo e ligado. Nesta figura podemos observar a saída de áudio do ‘smartphone’ ligada à entrada de áudio do amplificador, bem como a saída de áudio deste ligada à caixa de som.



**Figura 3.2.** Base para fixação do tubo de acrílico, já com pintura e pés de borracha.



**Figura 3.3.** Pintando de azul a base do tubo.



**Figura 3.4.** Colocando a caixa de som em uma das extremidades do tubo.



**Figura 3.5.** Confeção das abraçadeiras de cobre para fixação do tubo de acrílico na base de madeira.



**Figura 3.6.** Fixação do tubo de acrílico na base de madeira.



**Figura 3.7.** Testando a posição da caixa de som.

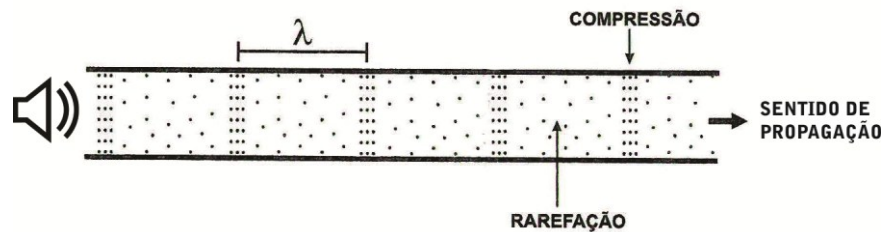


**Figura 3.8.** Aparato completo com os dois tubos unidos com fita adesiva transparente e caixa de som amplificada posicionada numa das extremidades do tubo.

### 3.3. Análise acústica do tubo de Kundt

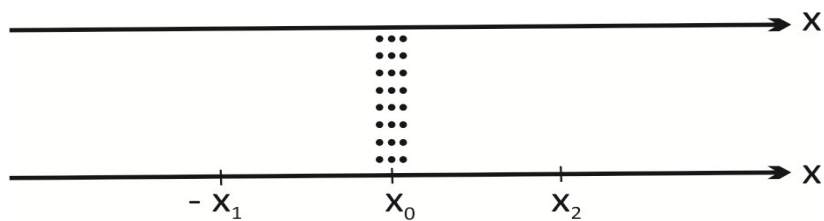
O som é uma onda mecânica. Portanto se propaga através de meios materiais, tais como: fluidos, tanto na atmosfera como nos líquidos, e também em sólidos. Os sons só são percebidos pelo ouvido humano somente num intervalo limitado de frequência entre 20Hz e 20kHz.

Um fluido como a atmosfera não pode transmitir tensões tangenciais (cisalhamento). Com isso, as ondas sonoras são longitudinais, associadas às variações de pressão, em consequência das variações de densidade do fluido, provocando regiões de compressões e rarefações quando em um tubo de ar, como mostra a figura 3.9.



**Figura 3.9.** Fonte sonora produzindo uma onda sonora em um tubo de ar.

Para a nossa análise, consideremos apenas uma faixa de ar dentro do tubo como mostra a figura 3.10.



**Figura 3.10.** Coluna de ar oscilando entre  $-x_1$  e  $+x_2$ .

Quando uma coluna de ar, situada em  $x_0$ , é atingida por esta onda de compressões e rarefações, ela vibra entre os pontos  $-x_1$  e  $+x_2$ , ou seja, ela vibra na mesma direção em que a onda se propaga, tornando-se um elemento oscilante. Logo, é uma onda longitudinal, com amplitude igual a  $x_2$ . Basicamente o que ocorre a nível microscópico é que quando as moléculas de ar são comprimidas, elas perturbam as moléculas vizinhas, provocando o mesmo efeito nas moléculas mais próximas.

Com isso o deslocamento longitudinal do elemento oscilante, representado na figura 3.10, é dado por:

$$y = x_2 \cdot \cos(kx - wt) \quad \text{Eq 1}$$

$$\left[ \begin{array}{l} x_2 = \textit{amplitude do movimento} \\ w = \textit{frequência angular da onda, onde } w = 2\pi f \\ k = \textit{número de onda angular, onde } k = \frac{2\pi}{\lambda} \\ x_2 = \textit{amplitude da onda} \end{array} \right.$$

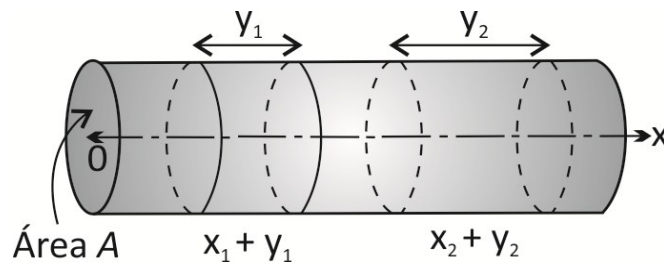
De modo geral, essas variações são extremamente pequenas quando comparadas com a pressão atmosférica. O deslocamento de ar provocado por alguma perturbação muda a densidade do ar na camada adjacente, podendo ser uma condensação ou rarefação provocando assim, uma mudança de pressão (compressão ou descompressão), que por sua vez, produz deslocamento da camada de ar.

Podemos sintetizar o mecanismo de propagação da onda sonora no ar pelo esquema a seguir:



**Figura 3.11.** Mecanismo de propagação da onda sonora

Considerando um elemento cilíndrico (tubo de ar), onde o comprimento de onda  $\lambda \gg (x_2 - x_1)$  e o volume é dado por  $V = A \cdot (x_2 - x_1)$ , conforme a figura 3.12.



**Figura 3.12.** Variação de volume sofrida dentro de um tubo.



Com isso, o volume do cilindro passa a ser:

$$V + \delta V = A(x_2 + y_2 - x_1 - y_1)$$

$$\delta V = A(x_2 + y_2 - x_1 - y_1) - V$$

$$\delta V = A(x_2 + y_2 - x_1 - y_1) - A(x_2 - x_1)$$

$$\delta V = A(y_2 - y_1) \quad Eq 2$$

Podemos escrever que a pressão é uma variação de volume, medida pelo volume vezes uma constante do material (módulo de compressibilidade), representado pela expressão:

$$P = -k \frac{\delta V}{V} \quad Eq 3$$

Sabendo que:  $\delta V = A(y_2 - y_1)$  e  $V = A(x_2 - x_1)$

Substituindo na equação 3, temos:

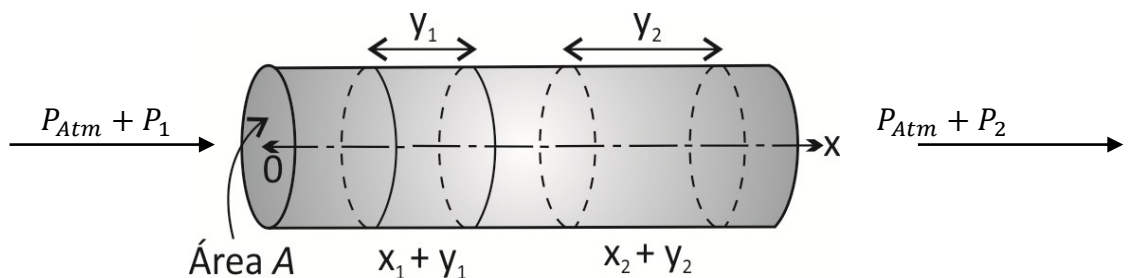
$$P = -k \cdot \frac{A(y_2 - y_1)}{A(x_2 - x_1)}$$

$$P = -k \frac{\Delta y}{\Delta x} \quad Eq 4$$

Tomando dimensões muito pequenas, temos:

$$P = -k \frac{\partial y}{\partial x} \quad Eq 5$$

Com isso podemos associar pressões a variações de deslocamento desse elemento cilíndrico de ar numa direção de propagação ao longo do tubo. Aplicando a 2ª lei de Newton para esse elemento cilíndrico de ar, em que as tampas ficam sujeitas a pressões  $(P_{Atm} + P_1, P_{Atm} + P_2)$ , conforme a figura 3.13.



**Figura 3.13.** Deslocamento de ar em função da pressão.

Considerando que dentro do cilindro tenha um fluido de massa ( $m$ ), densidade ( $\rho$ ) e volume ( $V$ ), podemos escrever a seguinte expressão:

$$m = \rho \cdot V, \text{ substituindo a expressão: } V = A(x_2 - x_1)$$

$$\text{Obteremos: } m = \rho \cdot A \cdot (x_2 - x_1) \quad \text{Eq 6}$$

Podemos expressar a força resultante ( $\vec{F}$ ) que atua sobre esse cilindro em função da pressão ( $\Delta P$ ) e da área ( $A$ ) de secção da seguinte forma:

$$\vec{F} = \Delta P \cdot A \therefore \vec{F} = (P_1 - P_2) \cdot A \quad \text{Eq 7}$$

Usando a expressão da 2ª Lei de Newton ( $\vec{F} = m \cdot \vec{a}$ ), na equação 7, obtemos:

$$m \cdot \vec{a} = (P_1 - P_2) \cdot A \quad \text{Eq 8}$$

Substituindo a equação 6 na equação 8, obtemos:

$$\rho \cdot A (x_2 - x_1) \cdot \vec{a} = (P_1 - P_2) \cdot A \quad \text{Eq 9}$$

Sabendo que a aceleração é dada por:  $\vec{a} = \frac{\partial^2 y}{\partial t^2}$ , a equação 9 pode ser escrita da seguinte forma:

$$\rho \cdot (x_2 - x_1) \cdot \frac{\partial^2 y}{\partial t^2} = (P_1 - P_2) \quad \text{Eq 10}$$

Podemos dividir toda equação 10 por  $\Delta x$  e fazer o limite, temos:

$$\frac{\partial P}{\partial x} = - \rho \frac{\partial^2 y}{\partial t^2} \quad \text{Eq 11}$$

↓  
Derivada parcial

Temos:  $\left( \frac{P_1 - P_2}{x_2 - x_1} \right) \Rightarrow \frac{-\Delta y}{\Delta x}$

Com relação ao deslocamento

Lembramos que:  $\frac{\partial P}{\partial x} = -\rho \frac{\partial^2 y}{\partial t^2}$

Resulta a equação de onda:

$$\frac{\partial^2 y}{\partial t^2} = \frac{k}{\rho} \frac{\partial^2 y}{\partial x^2} \quad Eq 12$$

Como o termo  $\frac{k}{\rho}$  está relacionada com a velocidade  $\vartheta = \sqrt{\frac{k}{\rho}}$

Então, substituindo a expressão  $\frac{k}{\rho}$  na equação 12, obtemos a equação de onda em função da velocidade.

$$\frac{\partial^2 y}{\partial t^2} = \vartheta^2 \frac{\partial^2 y}{\partial x^2} \quad Eq 13$$

Vamos lembrar um pouco de termodinâmica para analisar a velocidade do som. Como no tubo essas variações de pressão são muito rápidas, não há tempo para haver troca de calor, o processo é adiabático. Então, podemos usar a seguinte equação para gases ideais:

$$PV^\gamma = constante \quad Eq 14 \quad \left\{ \begin{array}{l} P = \text{pressão} \\ V = \text{volume} \\ \gamma = \text{constante de Poisson} \end{array} \right.$$

Onde a constante de Poisson pode ser expressão da seguinte forma:

$$\gamma = \frac{C_P}{C_M} \rightarrow \begin{array}{l} \text{calor específico molar a pressão constante} \\ \text{calor específico molar a volume constante} \end{array}$$

Tirando o logaritmo natural da equação 14, obtemos:

$$\ln P + \gamma \ln V = constante \quad Eq 15$$

Diferenciando a equação 15, temos:

$$\frac{dP}{P} + \gamma \frac{dV}{V} = 0 \quad Eq 16$$

Sabendo que  $dP = -\gamma P \frac{dV}{V}$ , e comparando com a expressão  $dP = -k \frac{dV}{V}$ ,

teremos que:  $k = \gamma P$  Eq 17

Substituindo a equação 17 na expressão da velocidade  $\vartheta = \sqrt{\frac{k}{\rho}}$ , teremos a relação entre a velocidade em função da pressão e densidade.

$$\vartheta = \sqrt{\frac{\gamma P}{\rho}} \quad \text{Eq 18} \quad \left\{ \begin{array}{l} P = \textit{pressão} \\ \rho = \textit{densidade} \\ \gamma = \textit{constante do gás} \\ (\textit{ondatômico ou diatômico}) \end{array} \right.$$

Considerando a expressão de um gás ideal  $PV = n \cdot R \cdot T$ , onde  $n = \frac{m}{M}$ , teremos

$$PV = \frac{m}{M} \cdot R \cdot T \quad \text{Eq 19}$$

Dividindo toda equação 19 por  $m$ , teremos:  $\frac{PV}{m} = \frac{RT}{M}$  Eq 20

Sabendo  $\frac{1}{\rho} = \frac{V}{m}$ , e substituindo na equação 20, obtemos:

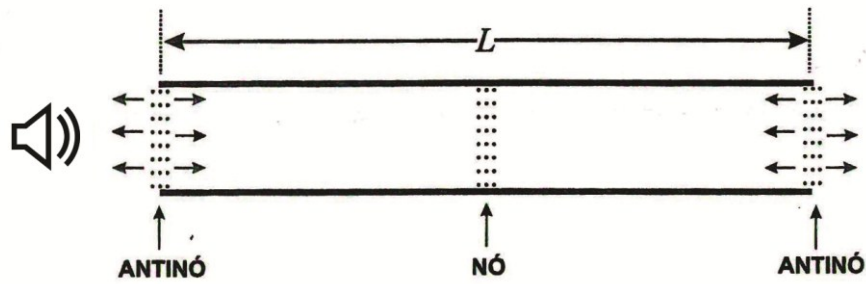
$$P \frac{1}{\rho} = \frac{RT}{M} \quad \text{Eq 21}$$

Relacionando a equação 18 com a 21, chegamos a equação da velocidade para um gás ideal.

$$\vartheta = \sqrt{\frac{\gamma \cdot R \cdot T}{M}} \quad \text{Eq 22} \quad \left\{ \begin{array}{l} R = \textit{constante universal dos gases ideais} \\ T = \textit{temperatura do gás} \\ M = \textit{massa molar} \end{array} \right.$$

Como o ar é composto por moléculas relativamente pesadas (oxigênio e nitrogênio) que são gases diatômicos, onde  $\gamma = 1,4$ , podemos considerar a velocidade do som ar  $\vartheta \cong 340 \frac{m}{s}$ , onde ( $P = 1 \textit{ atm}$ ;  $\rho_{Ar} = 1,3 \textit{ kg/m}^3$ ;  $T = 20^\circ C = 293K$ )

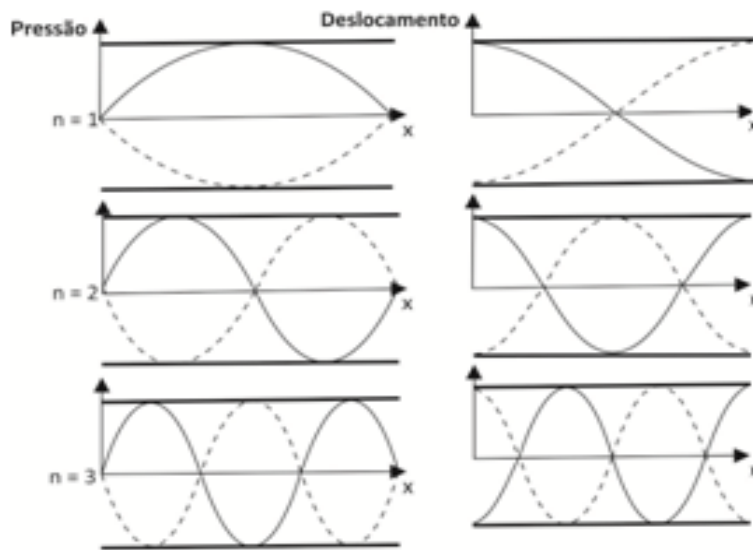
Segundo (Borges 2017), se fizermos propagar uma onda sonora através de um tubo contendo ar, poderemos obter também ondas sonoras estacionárias. Essas ondas estacionárias podem ser obtidas com uma das extremidades do tubo aberta e a outra fechada (tubo fechado) ou com ambas as extremidades abertas (tubo aberto). Podemos ilustrar uma onda estacionária num tubo aberto por meio da figura 3.14.



**Figura 3.14.** Um exemplo de onda estacionária que pode ser obtido em tubo aberto.

Podemos perceber que quando temos uma variação de pressão máxima temos um deslocamento mínimo e vice-versa. Assim, em tubos de som podemos ter ondas estacionárias em que na parede esse deslocamento é nulo enquanto na parte aberta temos o deslocamento máximo.

A figura 3.15 mostra a variação de pressão e variação do deslocamento no interior de um tubo aberto, por meio de uma sequência de padrões de ressonância do 1º harmônico até o 3º harmônico.



**Figura 3.15.** Variação de pressão e deslocamento em tubos abertos

Observamos que os padrões de ressonância ocorrem nas condições:

$$1^\circ \text{ harmônico: } L = 1 \frac{\lambda}{2}$$

$$2^\circ \text{ harmônico: } L = 2 \frac{\lambda}{2}$$

$$3^\circ \text{ harmônico: } L = 3 \frac{\lambda}{2}$$

Podemos generalizar esta série pela seguinte expressão:  $L = n \frac{\lambda}{2}$ ,  $n = 1, 2, 3, \dots$ , onde  $n$  é o modo de ressonância ou número de harmônico.

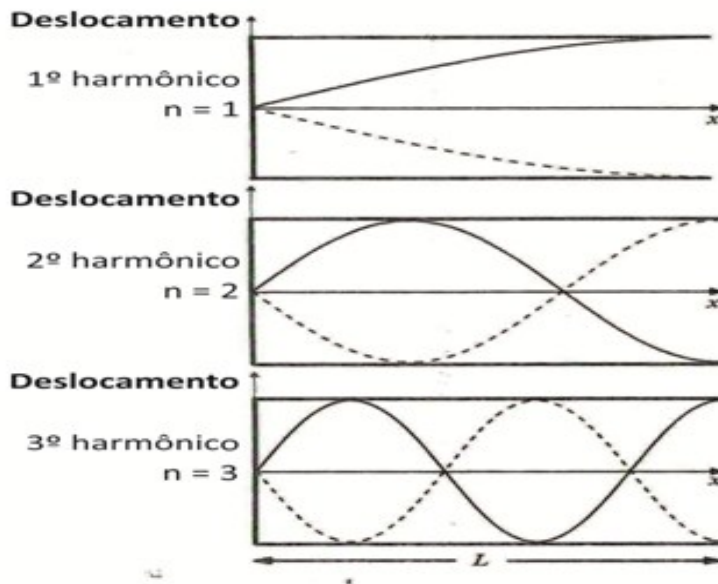
Podemos escrever a expressão anterior por:  $\lambda = \frac{2L}{n}$

Sabendo que a equação fundamental de onda é dado por:  $\vartheta = \lambda f$ , onde  $\lambda = \frac{\vartheta}{f}$

Então, chegamos a seguinte expressão:

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

Em tubos fechados, onde uma das extremidades, é fechada e a outra é aberta. A figura 3.16 representa os três primeiros modos de vibração da amplitude de deslocamento horizontal dos elementos de volume em cada local do interior do tubo.



**Figura 3.16.** Padrão de ondas estacionária num tubo fechado.

Observamos que os padrões de ressonância ocorrem nas condições:

1º harmônico:  $L = 1 \frac{\lambda}{4}$

2º harmônico:  $L = 3 \frac{\lambda}{4}$

3º harmônico:  $L = 5 \frac{\lambda}{4}$

Podemos generalizar esta série pela seguinte expressão:  $L = n \frac{\lambda}{4}$ ,  $n = 1, 3, 5, \dots$ ,

onde  $n$  é o modo de ressonância ou número de harmônico.

Podemos escrever a expressão anterior por:  $\lambda = \frac{4L}{n}$ ,  $n = 1, 3, 5, \dots$ ,

Sabendo que a equação fundamental de onda é dado por:  $\vartheta = \lambda f$ , onde  $\lambda = \frac{\vartheta}{f}$

Então, chegamos a seguinte expressão:

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

Cada tubo ressoa em sua própria frequência fundamental, permitindo que o nível do som nessa frequência seja produzido.

$$f = n \frac{\vartheta}{2L} \quad , \quad n = 1,2,3 \quad (\text{tubo aberto})$$

$$f = n \frac{\vartheta}{4L} \quad , \quad n = 1,3,5,7 \quad (\text{tubo fechado})$$

O quadro 3.2 a seguir, mostra os harmônicos, bem como suas respectivas frequências, nos tubos abertos e fechados.

TUBO ABERTO		TUBO FECHADO	
HARMÔNICO	FREQUÊNCIA	HARMÔNICO	FREQUÊNCIA
1°	$f_0$	1°	$f_0$
2°	$2f_0$	2°	$3f_0$
3°	$3f_0$	3°	$5f_0$
4°	$4f_0$	4°	$7f_0$
5°	$5f_0$	5°	$9f_0$
6°	$6f_0$	6°	$11f_0$
7°	$7f_0$	7°	$13f_0$
8°	$8f_0$	8°	$15f_0$

**Quadro 3.2.** Frequências dos oito primeiros harmônicos naturais do tubo aberto e do tubo fechado

Vamos determinar a intensidade (volume) no tubo

$u(x, t) = U \cos(kx - \omega t + \varphi)$ , onde  $u = \text{deslocamento}$  e  $U = \text{amplitude}$

Lembrando que:  $P = -k \frac{\Delta y}{\Delta x} \rightarrow P = -k \frac{\partial y}{\partial x} e \quad \vartheta = \sqrt{\frac{k}{\rho}}$

A derivada desse deslocamento em relação a  $x$ , gera uma função senoidal:

$$P(x, t) = \text{sen}(kx - \omega t + \varphi) \cdot W$$

Deduzindo o valor de  $W$

$$\frac{dy}{dx} = -U \text{sen}(kx - wt + \varphi) \cdot k$$

$$-\frac{P}{k} = -Uk \text{sen}(kx - wt + \varphi)$$

$$P = Uk^2 \text{sen}(kx - wt + \varphi)$$

$$P = Uk^2 \rho \text{sen}(kx - wt + \varphi)$$

$$P = W \text{sen}(kx - wt + \varphi)$$

$$W = \rho k^2 U^2$$

Então uma força exercida sobre uma camada de fluido é:

$$F = P(x, t) \cdot A = W \text{sen}(kx - wt + \varphi) \cdot A, \text{ onde a potência é dada por: } F \cdot V = F \cdot \frac{\partial u}{\partial t},$$

Derivando o deslocamento em relação ao tempo, temos:

$$w \cdot A \cdot W \cdot U \cdot \text{sen}^2(kx - wt + \varphi)$$

Então a intensidade é a potência média dividida pela área  $A$ .

$$I = \frac{1}{A} \cdot F \cdot \frac{\partial u}{\partial t} = \frac{1}{2} w W U^2$$

$$I = \frac{1}{2} \rho_0 w^2 U^2$$

$U$  = amplitude do deslocamento;

$w$  = velocidade de propagação;

$\rho_0$  = densidade do meio;

$w$  = frequência



### 3.4. Os modos normais de vibração e a série harmônica do tubo

Antes de interpretarmos as frequências dos modos normais de vibração do tubo sonoro (harmônicos do tubo sonoro) em termos de notas musicais, precisamos entender como funciona a estrutura de intervalos das escalas ocidentais mais comuns. Segundo Júnior [2002], a estrutura da música ocidental moderna está baseada na escala cromática de 12 semitons e, portanto, treze notas, igualmente temperados. Nesta escala, as treze notas musicais dividem a oitava numa progressão geométrica na qual o 13º termo (que é a oitava, ou seja, a nota de mesmo nome) possui o dobro da frequência fundamental (primeira nota). Por outro lado, sabemos que a distinção entre sons, percebida pelo ouvido, ocorre pelo fato de que notas diferentes possuem alturas (frequências) diferentes. Tais conceitos são correlatos, sendo a altura um conceito da acústica musical e a frequência, da acústica física. Assim sendo, o que caracteriza a qualidade de uma nota pura ser “mais alta” ou “mais baixa” é o fato de ela ter maior ou menor frequência de vibração. Aqui, não podemos confundir com o uso corriqueiro da palavra altura. Na linguagem popular, este termo é usado para denominar volume, ou seja, a amplitude com que uma fonte sonora vibra, o que está ligado à quantidade de energia sonora que a fonte emite. Popularmente, quando dizemos “o som está alto”, estamos nos referindo ao volume que está alto, quando, cientificamente, deveríamos dizer o “som está intenso”, pois se trata de intensidade e não de frequência. Desta forma, quanto mais aguda uma nota, maior sua frequência e quanto mais grave uma nota, menor sua frequência. Podemos, então, definir o intervalo entre duas notas quaisquer como sendo a razão entre suas frequências.

Em música, diz-se que quando duas notas estão separadas por um intervalo de oitava, elas são iguais e a razão entre suas frequências é 2. Assim temos, para intervalo de oitava,  $I = \frac{f_2}{f_1} \rightarrow I = 2$ . Toda escala musical começa e termina na mesma nota musical, separada por um intervalo de oitava, ou seja, começa com uma nota de frequência “f” e termina com a mesma nota, agora com frequência “2f”. Podemos, então, dizer que a estrutura harmônica moderna é baseada neste padrão de intervalos, conhecido como escala temperada ou escala cromática. A escala cromática possui doze notas. A décima terceira é chamada oitava, a mesma nota musical da primeira, agora com o dobro da frequência, ou seja, a oitava é o intervalo de altura entre duas notas de mesmo nome, em que uma delas possui o dobro da frequência da outra. Assim, para construirmos a escala cromática, dividimos o intervalo de oitava, o qual inclui 13 notas musicais, numa progressão geométrica de 13 termos (12 intervalos), criando-se, então, doze intervalos

iguais em altura, chamados de semitons. Assim, a frequência de cada nota da escala cromática será  $\sqrt[12]{2}$  vezes maior que a sua anterior, definindo, como dissemos acima, uma progressão de razão igual a  $\sqrt[12]{2}$ . A tabela 3.3 mostra a escala cromática iniciando-se no ‘Lá’ central do piano ( $A_3$  de frequência  $f=220\text{Hz}$ ). Observe que são 12 intervalos iguais em altura e não em variação de frequência, uma vez que o intervalo musical é definido como sendo a razão entre as frequências de duas notas, e não a diferença entre tais frequências.

Nota	Termos da P.G. $a_n = 220 \cdot (\sqrt[12]{2})^{(n-1)}$	Frequência (Hz)	Nome do intervalo
Lá (A)	$a_1 = 220$	220	Unísono
Lá sustenido/Si bemol (A#/Bb)	$a_2 = 220 \cdot (\sqrt[12]{2}) = 233,0818$ 80...	233	Segunda menor
Si (B)	$a_3 = 220 \cdot (\sqrt[12]{2})^2 = 246,9416$ 50...	247	Segunda maior
Dó (C)	$a_4 = 220 \cdot (\sqrt[12]{2})^3 = 261,6255$ 65...	262	Terça menor
Dó sustenido/Ré bemol (C#/Db)	$a_5 = 220 \cdot (\sqrt[12]{2})^4 = 277,1826$ 30...	277	Terça maior
Ré (D)	$a_6 = 220 \cdot (\sqrt[12]{2})^5 = 293,6647$ 67...	294	Quarta justa
Ré sustenido/Mi bemol (D#/Eb)	$a_7 = 220 \cdot (\sqrt[12]{2})^6 = 311,1269$ 83...	311	Quarta aumentada/ Quinta diminuta
Mi (E)	$a_8 = 220 \cdot (\sqrt[12]{2})^7 = 329,6275$ 56...	330	Quinta justa
Fá (F)	$a_9 = 220 \cdot (\sqrt[12]{2})^8 = 349,2282$ 31...	349	Quinta aumentada/ Sexta menor
Fá sustenido/Sol bemol (F#/Gb)	$a_{10} = 220 \cdot (\sqrt[12]{2})^9 = 369,994$ 422...	370	Sexta maior/ Sétima diminuta
Sol (G)	$a_{11} = 220 \cdot (\sqrt[12]{2})^{10} = 391,99$ 5435...	392	Sétima menor
Sol sustenido/Lá bemol (G#/Ab)	$a_{12} = 220 \cdot (\sqrt[12]{2})^{11} = 415,30$ 4697...	415	Sétima maior
Lá (A)	$a_{13} = 220 \cdot (\sqrt[12]{2})^{12} = 440$	440	Oitava

**Tabela 3.3.** Escala cromática de 12 semitons

Por exemplo, como podemos ver na tabela 3.3, a variação em frequência da nota ‘Lá’ para a nota ‘Lá#’ é  $233,08 \text{ Hz} - 220 \text{ Hz} = 13,08 \text{ Hz}$ , enquanto que a variação em frequência da nota ‘lá#’ para a nota ‘si’ é  $246,94 \text{ Hz} - 233,08 \text{ Hz} = 13,86 \text{ Hz}$ . Se considerarmos a diferença em frequência do próximo intervalo, ‘si’ para ‘dó’, a diferença em frequência será  $261,63 \text{ Hz} - 246,94 \text{ Hz} = 14,69 \text{ Hz}$ . Observe que a diferença em

frequência vai aumentando na medida em que nos deslocamos para o agudo. Contudo, a diferença em altura entre qualquer um destes intervalos de semitom será sempre a mesma, ou seja,  $\frac{261,63}{246,94} = \frac{246,94}{233,08} = \frac{233,08}{220} = \sqrt[12]{2}$ , e assim por diante.

O mesmo cálculo é feito para definir os valores das frequências de todas notas musicais, alcançando toda a extensão dos sons musicais emitidos pelos instrumentos e voz humana. A tabela 3.4 mostra os valores das frequências das notas musicais em toda extensão de sete oitavas acima do lá central (220 Hz) e três abaixo. Observe que quando percorremos uma oitava (qualquer uma das sete colunas) os valores crescem numa progressão geométrica de  $\sqrt[12]{2}$ , enquanto que, quando percorremos os valores das frequências das oitavas de uma mesma nota musical (qualquer uma das treze linhas), constatamos que seus valores vão sempre dobrando, o que define uma progressão geométrica de oitavas com razão 2. Desta forma, temos que qualquer nota da sétima oitava terá uma frequência 64 vezes maior do que a mesma nota da primeira oitava.

		FREQUÊNCIA EM Hz DAS NOTAS MUSICAIS NAS 10 OITAVAS QUE COMPÕEM A FAIXA AUDÍVEL									
NOTA	INTERVALO	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
E	Uníssono	20,602	41,203	82,407	164,814	329,628	659,255	1.318,510	2.637,020	5.274,041	10.548,082
F	Segunda menor	21,827	43,654	87,307	174,614	349,228	698,456	1.396,913	2.793,826	5.587,652	11.175,303
F#/Gb	Segunda maior	23,125	46,249	92,499	184,997	369,994	739,989	1.479,978	2.959,955	5.919,911	11.839,822
G	Terça menor	24,500	48,999	97,999	195,998	391,995	783,991	1.567,982	3.135,963	6.271,927	12.543,854
G#/Ab	Terça maior	25,957	51,913	103,826	207,652	415,305	830,609	1.661,219	3.322,438	6.644,875	13.289,750
A	Quarta justa	27,500	55,000	110,000	220,000	440,000	880,000	1.760,000	3.520,000	7.040,000	14.080,000
A#/Bb	Quarta aumentada Ou quinta diminuta	29,135	58,270	116,541	233,082	466,164	932,328	1.864,655	3.729,310	7.458,620	14.917,240
B	Quinta justa	30,868	61,735	123,471	246,942	493,883	987,767	1.975,533	3.951,066	7.902,133	15.804,266
C	Quinta aumentada Ou sexta menor	32,703	65,406	130,813	261,626	523,251	1.046,502	2.093,005	4.186,009	8.372,018	16.744,036
C#/Db	Sexta maior ou Sétima diminuta	34,648	69,296	138,591	277,183	554,365	1.108,731	2.217,461	4.434,922	8.869,844	17.739,688
D	Sétima menor	36,708	73,416	146,832	293,665	587,330	1.174,659	2.349,318	4.698,636	9.397,273	18.794,545
D#/Eb	Sétima maior	38,891	77,782	155,563	311,127	622,254	1.244,508	2.489,016	4.978,032	9.956,063	19.912,127
E	Oitava	41,203	82,407	164,814	329,628	659,255	1.318,510	2.637,020	5.274,041	10.548,082	21.096,163

**Tabela 3.4. Tessitura completa da faixa audível**


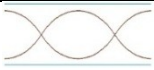
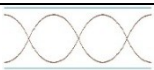
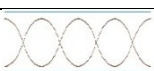
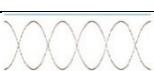

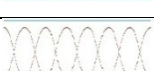

A tabela 3.4 mostra a progressão das frequências das notas musicais em toda a extensão audível, que vai de 20Hz a 20.000Hz, o que compreende uma extensão de 10 oitavas, numeradas com índices de zero (0) a dez (9). Desta forma, por exemplo, o Fá da terceira oitava ( $F_2$ ) teria uma frequência de 87,307Hz, enquanto que o  $C_5$ , que seria o dó da sexta oitava, teria uma frequência de 1.046,502 Hz. A razão entre a frequência de qualquer nota musical e a frequência de sua anterior dará  $\sqrt[12]{2} \cong 1,059$ . Desta forma, percorrendo todas as colunas, começando da primeira, a frequência das notas cresce, do  $E_0$  ao  $E_{10}$  numa progressão geométrica de razão  $\sqrt[12]{2}$ . Por outro lado, percorrendo qualquer uma das linhas da tabela 3.4, temos as frequências da mesma nota musical, que, por suas vezes, crescem numa progressão de razão 2, caracterizando a variação das oitavas. Por exemplo, para a nota Mi, temos  $\frac{E_{10}}{E_9} = \frac{E_9}{E_8} = \frac{E_8}{E_7} = \dots = \frac{E_2}{E_1} = 2$ , ou seja,

$$\frac{21.096,163}{10.548,082} = \frac{10.548,082}{5.274,041} = \frac{5.274,041}{2.637,020} = \dots = \frac{41,203}{20,602} = 2.$$

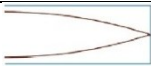
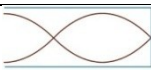
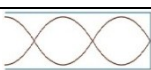
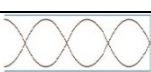




Muito embora as frequências audíveis se situem entre o  $E_0$  de 20,602Hz e o  $D\#_9/Eb_9$  de 19.912,127Hz, uma vez que o  $E_{10}$  está acima da faixa audível, a maioria dos instrumentos musicais tem uma tessitura que se situa entre estes limites, não alcançando a parte grave do espectro, como é o caso da família das flautas, ou a parte aguda, como é o caso do contrabaixo e da tuba, ou ainda ambas, tendo sua tessitura na parte intermediária deste, como é o caso do oboé e das vozes masculina e feminina. O órgão de tubos é o instrumentos de maior tessitura, alcançando desde o  $E_0$  até o  $D\#_9/Eb_9$ . O piano clássico, por sua vez, possui um teclado que vai do  $A_0$  de 27,5Hz até o  $C\#_8$  de 8.869,844Hz.

Como estabelecido pela própria progressão geométrica, as frequências das notas musicais crescem exponencialmente e, cada extensão de uma oitava, a frequência dobra. Esse fato é interessante, pois denota que a variação em frequência cresce do grave para o agudo, muito embora a variação em altura, que é correlato perceptivo da variação da frequência, permaneça a mesma. Confirmando assim, que a frequência não tem haver com altura do som. Por exemplo, a variação em frequência do semitom A-A $\sharp$ /Bb, na primeira oitava da tabela 3.4, é 29,135 Hz – 27,500 Hz = 1,635 Hz. Por outro lado, quando consideramos a variação de frequência do mesmo semitom A-A $\sharp$ /Bb, agora na sétima oitava mostrada na citada tabela, constatamos que a variação em frequência passa a ser 1864,655 Hz – 1760,00 Hz = 104,655 Hz. A razão entre as diferenças em frequência nos dois semitons considerados resulta em 104,655 Hz/ 1,635 Hz = 64,009. Muito embora a variação do semitom considerado seja 64 vezes maior na sétima oitava, em relação a primeira, a variação em altura permanece a mesma.

As tabelas 3.5. e 3.6 ilustram, respectivamente, os oito primeiros componentes da série harmônica do tubo aberto e do tubo fechado, evidenciando suas posições na extensão das notas musicais na faixa de audibilidade humana, mostrada na tabela 3.4.

Harmônico (n)	Comprimento de onda ( $\lambda = \frac{2L}{n}$ )	Frequência ( $f = n \cdot f_0$ )	Intervalo	Onda estacionária	Nota musical ( $A_3 = 220\text{Hz}$ )
1° (n=1)	$\lambda = 2L$	$f_0$	Uníssonos		$A_3 = 220\text{Hz}$
2° (n=2)	$\lambda = L$	$2f_0$	Oitava		$A_4 = 440\text{Hz}$
3° (n=3)	$\lambda = \frac{2L}{3}$	$3f_0$	Oitava + Quinta Justa		$E_5 = 660\text{Hz}$
4° (n=4)	$\lambda = \frac{L}{2}$	$4f_0$	2 Oitavas		$A_5 = 880\text{Hz}$
5° (n=5)	$\lambda = \frac{2L}{5}$	$5f_0$	2 Oitavas + Terça Maior		$C\#_5 / D_b5 = 1.100\text{Hz}$
6° (n=6)	$\lambda = \frac{L}{3}$	$6f_0$	2 Oitavas + Quinta Justa		$E_6 = 1.320\text{Hz}$
7° (n=7)	$\lambda = \frac{2L}{7}$	$7f_0$	2 Oitavas + Sétima Menor		$G_6 = 1.540\text{Hz}$
8° (n=8)	$\lambda = \frac{L}{4}$	$8f_0$	3 Oitavas		$A_6 = 1.760\text{Hz}$

**Tabela 3.5.** Série harmônica do tubo sonoro aberto

Harmônico (n)	Comprimento de onda ( $\lambda = \frac{4L}{n}$ )	Frequência ( $f = n \cdot f_0$ )	Intervalo	Onda Estacionária	Nota musical ( $A_3 = 220\text{Hz}$ )
1° (n=1)	$\lambda = 4L$	$f_0$	Uníssonos		$A_3 = 110\text{Hz}$
2° (n=3)	$\lambda = \frac{4L}{3}$	$3f_0$	Oitava + Quinta Justa		$E_4 = 330\text{Hz}$
3° (n=5)	$\lambda = \frac{4L}{5}$	$5f_0$	2 Oitavas + Terça Maior		$C\#_4 / D_b4 = 550\text{Hz}$
4° (n=7)	$\lambda = \frac{4L}{7}$	$7f_0$	2 Oitavas + Sétima Menor		$G_5 = 770\text{Hz}$
5° (n=9)	$\lambda = \frac{2L}{9}$	$9f_0$	3 Oitavas + Segunda Maior		$B_5 = 990\text{Hz}$
6° (n=11)	$\lambda = \frac{4L}{11}$	$11f_0$	3 Oitavas + Quarta Aumentada		$D\#_5 / E_b5 = 1.210\text{Hz}$
7° (n=13)	$\lambda = \frac{4L}{13}$	$13f_0$	3 Oitavas + Sexta Maior		$F\#_6 / G_b6 = 1.430\text{Hz}$
8° (n=15)	$\lambda = \frac{4L}{15}$	$15f_0$	3 Oitavas + Sétima Maior		$G\#_6 / A_b6 = 1.650\text{Hz}$

**Tabela 3.6.** Série harmônica do tubo sonoro fechado

O comprimento de onda e a frequência de cada harmônico estão em função, respectivamente, do comprimento  $L$  do tubo e da frequência  $f_0$  do primeiro harmônico, também chamado harmônico fundamental. No caso do tubo fechado, apenas os harmônicos ímpares formam ondas estacionárias, uma vez que na extremidade fechada haverá sempre um nó. Em ambas as tabelas, a sexta coluna mostra, como exemplo, os valores, em hertz, das frequências, assumidos pelos oito harmônicos, caso o tubo aberto reproduzisse em seu modo fundamental a nota Lá ( $A_3 = 220\text{Hz}$ ) e no tubo fechado, conseqüentemente, a nota Lá ( $A_2 = 110\text{Hz}$ ). Observe que aqui estamos preocupados apenas com as frequências destes componentes, sem, no entanto, considerar suas respectivas amplitudes. Juntos, estes dois parâmetros constituem-se nos mais importantes para a determinação do timbre de uma fonte sonora e, em particular, de um instrumento musical. A representação da série harmônica, considerando as frequências e amplitudes, ficaria mais bem compreendida fazendo-se uso de gráficos analisadores de espectro.

Comparando as duas tabelas, podemos observar que a nota musical do modo fundamental de um tubo fechado encontra-se uma oitava abaixo da nota do fundamental de um tubo aberto de mesmo comprimento. Em outras palavras, quando fechamos um tubo, a frequência do modo fundamental cai para a metade. No próximo capítulo apresentamos uma seqüência didática para ser aplicada em turmas do ensino médio para o estudo das relações entre física e música no contexto dos tubos sonoros. Tal seqüência, juntamente com o tubo de Kundt, consiste no nosso produto educacional.

## Capítulo 4 - Produto educacional

### 4.1. Introdução

Normalmente o assunto de acústica é trabalhado nas escolas no 3º ano do ensino médio de forma superficial, matematizada e expositiva, sem relacionar com o cotidiano do aluno, aumentando, assim, o abismo existente entre o ensino de física e o mundo real. Sem esquecer que a maioria dos livros didáticos de física traz no capítulo de acústica a relação com as escalas musicais. Entretanto, a maioria dos professores não fomenta tal relação. Numa pesquisa recente, percebemos que, muitas vezes, isto acontece porque os colegas desconhecem as relações entre física, matemática e música no contexto da acústica. Além de toda a dificuldade encontrada pelos colegas, fruto, muitas vezes, de uma formação na licenciatura em física compartimentalizada, em que tais relações não são discutidas, os livros textos apresentam-nas de forma superficial e, muitas vezes, distorcida, com relação aos saberes de referência [Júnior 1998].

O estudo do tema “música”, no interior do capítulo de acústica, assemelha-se mais a um exemplo de aplicação do que a um conteúdo em si. Dá-se, então, uma importância menor a algo que é surpreendentemente valioso no entendimento da acústica como uma ciência única. Tal apresentação, embora coerente com a construção dos temas ao longo do texto, não explora as possibilidades que o tema música oferece para a apresentação de conteúdos relacionados à construção de competências e habilidades a ele relacionadas. Se as relações entre ciência, matemática e música não são exploradas em nossa prática docente, não possibilitamos a construção de competências para lidar com o entendimento da construção das escalas musicais, com o estudo da harmonia, nem da física que está na base da construção de instrumentos musicais de corda ou sopro. Contudo, se buscamos, de fato, proporcionar um ambiente em que seja possível a aprendizagem significativa, é necessário tornar o ensino da acústica mais atraente e interdisciplinar para nossos alunos. Partindo de conceitos subsunçores, podemos desenvolver atividades experimentais lúdicas e que permitam refletir sobre as relações entre ciência, matemática e música.

Segundo Grillo [2016] é por meio da interdisciplinaridade que várias disciplinas são interligadas, proporcionando uma melhor compreensão dos fenômenos que acontecem diariamente. A música pode ser usada como ligação entre várias disciplinas desenvolvidas no ensino médio como, por exemplo, a matemática, a história, a filosofia e a física. É, historicamente, inclusive, um tema transversal.

As Orientações Curriculares para o Ensino Médio [Brasil 2006] e as diretrizes Curriculares Nacionais demonstram uma grande preocupação quanto à inclusão da interdisciplinaridade nos projetos e pesquisas pedagógicas. Isso pode ser notado nos temas transversais que foram indicados, justamente por possuírem grande possibilidade de articulação dos saberes disciplinares em direção à reflexão em torno das relações entre ciência, tecnologia, sociedade e ambiente. As orientações Curriculares para o Ensino Médio [Brasil 2006], por meio dos PCN's, propõem ainda a divisão da Física em seis temas estruturadores. O tema 3, Som, Imagem e Informação, sugere que as fontes sonoras sejam abordadas visando identificar objetos, sistemas e fenômenos que produzem sons para reconhecer as características que os diferenciam, bem como associar diferentes características de sons a grandezas físicas, tais como a frequência e a intensidade, para explicar, reproduzir, avaliar ou controlar a emissão de sons por instrumentos musicais ou outros semelhantes.

É perceptível nos dias atuais um aumento do gosto dos jovens pelas artes e pela música. Este interesse possibilita uma abordagem de conteúdos da acústica inseridos em duas perspectivas presentes nas orientações encontradas nos PCN+: a da contextualização e da interdisciplinaridade. Na contextualização o ponto de partida para o que se quer ensinar ao aluno é a realidade vivida por ele. Esta realidade torna-se também o ponto de chegada, com um novo olhar e compreensão que vai além do cotidiano do aluno.

Neste cenário que vislumbra a aprendizagem significativa da acústica em contextos interdisciplinares, buscamos a discussão e a realização de atividades experimentais para o ensino de acústica em tubos sonoros, bem como sua relação com a música. Para tanto, elaboramos um produto, onde iremos apresentar uma metodologia para ensinar acústica, por meio de um aparato experimental, denominado tubo de Kundt, repleto de possibilidades de utilização de tal aparato em atividades experimentais interdisciplinares em matemática, física e música.

A utilização desse aparato experimental proporciona uma abordagem interdisciplinar, contextualizada, motivadora, criativa, investigadora, que busca contemplar as determinações dos parâmetros curriculares. Além disso, oferece, ainda, um ensino conectado com a música, de maneira inovadora, contemplando e melhorando a teoria dos livros didáticos do ensino básico. Assim, temos um desenvolvimento de competências e habilidades que facilita a compreensão da ciência e uma melhor aproximação do assunto com a realidade.



Esse produto educacional pode ser utilizado por professores de física no ensino básico, para que atuem como facilitadores no processo do ensino e da aprendizagem do assunto de acústica dos tubos sonoros, para alunos do ensino médio.

#### **4.2. O aparato experimental utilizado: o tubo de Kundt**

Objetivo geral:

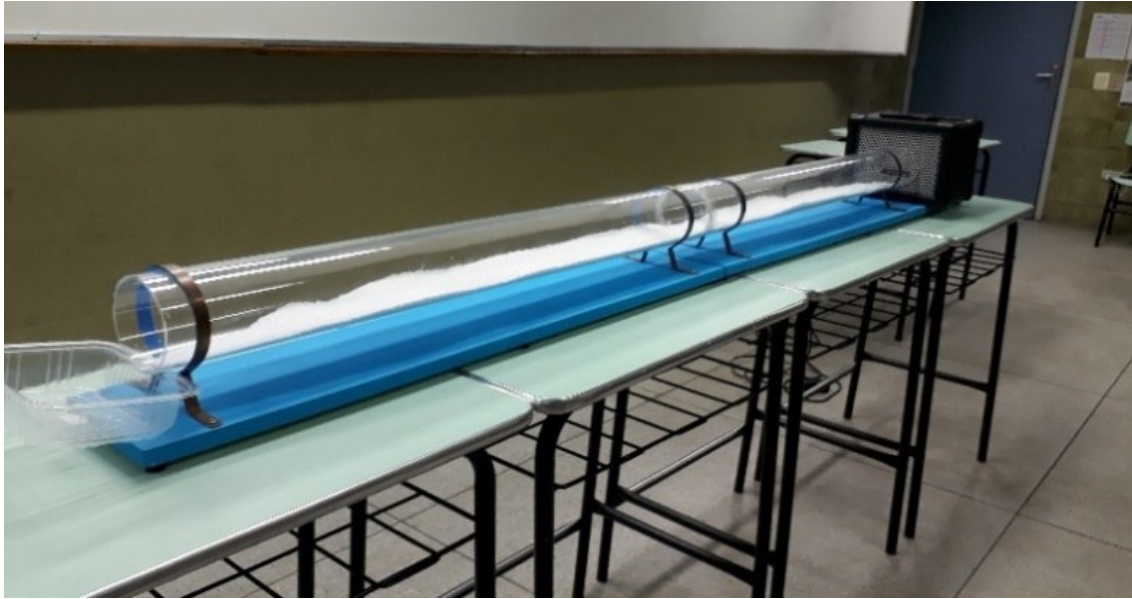
Possibilitar, de maneira contextualizada, interdisciplinar, motivadora, reflexiva e problematizadora, a aprendizagem significativa de vários conceitos estudados em acústica física, relacionando-os aos correlatos da acústica musical.

Objetivos específicos:

- Visualizar a formação de ondas sonoras estacionárias dentro de tubos abertos e fechados.
- Identificar elementos que compõem essas ondas sonoras.
- Entender conceitos de frequência, amplitude, velocidade, ressonância, comprimento de onda entre outros.
- Medir e relacionar o comprimento de onda das ondas estacionárias obtidas com o comprimento do tubo.
- Determinar a velocidade do som.
- Identificar e diferenciar as qualidades fisiológicas do som.
- Fazer conexões das frequências obtidas com as escalas musicais por meio dos instrumentos de sopro.

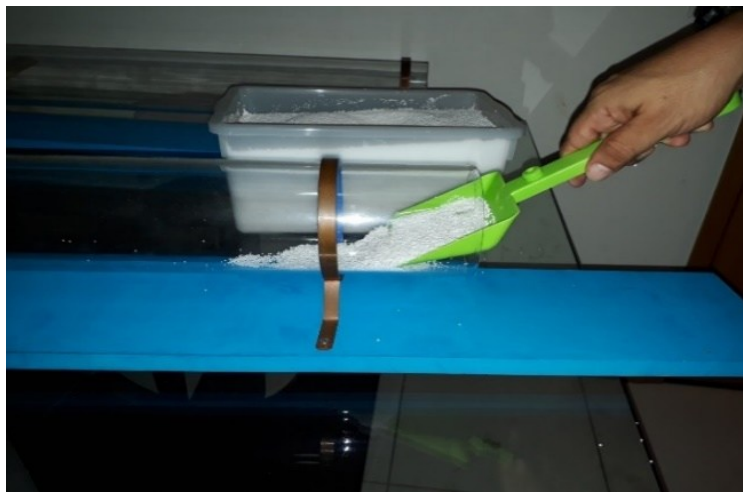
Disposição do aparato na bancada

O aparato é composto de dois tubos de acrílico cilíndrico com comprimento  $L$  de 1,00 metro, cada, e com diâmetro interno  $D$  de 10 centímetros, onde, no interior dos quais é depositada uma camada de bolinhas de isopor com 2mm de diâmetro aproximadamente. O aparato foi confeccionado com dois tubos para facilitar o transporte e armazenamento. Na extremidade livre do primeiro tubo dispomos uma caixa de som amplificada, que vibrará conforme o comando de um aplicativo gerador de áudio instalado num smartphone, enquanto na outra extremidade colocamos um aparador para recolher as bolinhas que são lançadas pra fora do tubo pelo movimento vibratório. Quando da utilização, os dois tubos são unidos por uma fita adesiva, conforme mostra a figura 4.1, montado na sala de aula.



**Figura 4.1.** Foto do aparato montado na sala de aula.

1. Com auxílio da pá com haste, distribua uma pequena camada uniforme de bolinhas de isopor ao longo do interior do tubo, conforme a figura 4.2, formando assim uma camada de espessura média. Coloque duas cubas coletoras nas extremidades do tubo.



**Figura 4.2.** Depósito das bolinhas de isopor.

2. Ligue a caixa de som e selecione o modo *bluetooth*. Em seguida, ative o modo *bluetooth* do smartphone e acione o comando ‘parear’. Uma vez pareado, o sinal de áudio oriundo do aplicativo ‘gerador de áudio’ será enviado à caixa de som via ‘wireless’. Certifique-se que, ao ligar a caixa de som, o volume principal esteja próximo do mínimo, para não incomodar. Em seguida, posicione a caixa de som próxima a uma das extremidades do tubo aberto, conforme mostra a figura 4.3.



**Figura 4.3.** Ativação *bluetooth* e arranjo da caixa próxima à extremidade do tubo.

3. Estando os controles de volumes e frequência do gerador desligados, ligue a chave geral e acione o oscilador, estando o volume do smartphone com uma intensidade em torno de 50% do máximo. Ajuste o volume da caixa de som para um nível de 50% do máximo. Em seguida, varie lentamente a frequência até que se observe a formação de regiões alternadas de nós (imóveis) e ventres (movimento) de bolinhas de isopor. As figuras 4.4 e 4.5 mostram, respectivamente, o primeiro e o segundo modos naturais de vibração do tubo aberto, onde podemos observar, no primeiro modo, um único nó no ponto médio do tubo e dois ventres, um em cada extremidade, enquanto que, no segundo modo, podemos observar dois nós, a um quarto e três quartos distais em relação a qualquer uma das extremidades e três ventres, sendo um numa extremidade, outro na outra extremidade e o terceiro no ponto médio do tubo.



**Figura 4.4.** Primeiro modo de vibração do tubo aberto.



**Figura 4.5.** Segundo modo de vibração do tubo aberto.

No interior do tubo de 2 metros (dois tubos de um metro cada, unidos por fita adesiva) estabelecem-se ondas estacionárias quando o alto-falante emite um som cuja frequência seja uma das frequências naturais do tubo. As vibrações são transmitidas para bolinhas de isopor pelo ar que está contido dentro do tubo. Observa-se que, quando ocorre a ressonância, em qualquer um dos modos naturais de vibração do tubo. Em certas partes do tubo, há acúmulo de bolinhas em alguns locais que não apresentam vibrações longitudinais; essas locais representam os nós da onda estacionária estabelecida. Noutras regiões, há uma intensa vibração das bolinhas, caracterizando os ventres. Sabendo-se a distância entre dois centros sucessivos de acúmulos de bolinhas é o comprimento de onda da onda estacionária estabelecida dentro do tubo e conhecendo-se a frequência de tal onda (lida no gerador de áudio), pode-se determinar a velocidade de propagação do som no ar contido no tubo, usando a equação fundamental de ondas ( $v = \lambda \cdot f$ ).

### **4.3. Roteiro de desenvolvimento didático**

Para atingir os objetivos propostos nesse produto educacional, indicamos dois encontros semanais sucessivos de duas horas cada, totalizando quatro horas de aula. No primeiro encontro, organizamos a turma em dois grupos, aplicamos o pré-teste, individualmente, e, na sequência, desenvolvemos as atividades tomadas como organizadores prévios, com as quais tornamos possível ‘passar’ por todos os conceitos que julgamos importantes no entendimento das relações entre acústica física e acústica musical no estudo dos tubos sonoros. Encerramos este primeiro encontro com a indicação de uma pesquisa a ser realizada pelos participantes, cujos resultados serão compartilhados durante o segundo encontro. No segundo encontro, além da apresentação dos resultados da citada pesquisa, haverá a condução de um debate sobre tais resultados, bem como sobre o entendimento construído acerca da utilização do tubo de Kundt, que será realizada, por cada um dos dois grupos, no período compreendido entre os dois encontros. Para isto, o professor ficará, entre uma aula e outra, à disposição dos alunos para que possam utilizar o aparato na presença do professor, bem como tirar algumas dúvidas caso necessário, num horário acordado por ambos. Como forma de otimizar a organização destas atividades, sugerimos a criação, assim como fizemos, de um grupo no *WhatsApp*.

## 1ª AULA (2 horas)

Objetivo: Identificar conhecimentos já existentes nos alunos sobre acústica, por meio de organizadores prévios, da aplicação de um pré-teste e da exposição do conteúdo pelo professor.

Uma vez que a acústica em tubos sonoros, normalmente, é o último tópico a ser trabalhado em ondulatória, os alunos precisam de alguns pré-requisitos no que diz respeito ao conhecimento sobre ondas. Em resumo, o aluno precisa ter clareza que só se estabelece no tubo sonoro uma onda estacionária quando a frequência da fonte sonora for uma das frequências naturais do tubo, ou seja, o conceito de ressonância. Além disso, pode se estabelecer mais de uma onda estacionária ao mesmo tempo. Precisa ter clareza, igualmente, que estamos tratando de ondas mecânicas e que, no caso do som, são longitudinais e cuja velocidade é função das características mecânicas do meio, a saber, densidade e elasticidade. Em última instância, precisa entender que num instrumento musical de sopro, quando uma nota é tocada, se estabelece mais de uma onda estacionária, ou seja, mais de um harmônico, que depende de fatores como, a forma do tubo, a embocadura do instrumento, o sopro do executante. O conjunto dos harmônicos e suas respectivas amplitudes, relativas à amplitude do primeiro harmônico, ou modo fundamental, constituem-se, juntas, as duas características mais importantes na formação do timbre de um instrumento musical. O timbre depende ainda do ataque, ou seja, da forma como o som é produzido pelo executante, bem como de outros fatores, tais como a diferença de fase entre os harmônicos. Por fim, precisa entender também que os harmônicos guardam, em relação ao modo fundamental, intervalos bem definidos e que são os mesmos da escala cromática de 12 semitons. No quadro 4.1, a seguir, apresentamos, em resumo, os objetivos a serem alcançados, bem como os organizadores prévios a serem utilizados para alcançar cada um dos objetivos.

OBJETIVOS	ORGANIZADORES PRÉVIOS
1. Classificação de ondas: Saber a diferença entre onda mecânica e eletromagnética, bem como entre onda longitudinal e transversal. Conceito inicial de ressonância.	- Dinâmica do barulho e silêncio - Mola grande de caderno (espiral) - Folha de papel amassada e um barbante
2. Ressonância e ondas estacionárias: Saber como se formam e suas características. Quando a fonte sonora próxima ao tubo emite um som puro cuja frequência seja uma das frequências naturais do tubo, estabelecer-se-á uma onda estacionária. No caso de tons complexos, basta que qualquer uma das frequências que o compõem seja uma das frequências naturais do tubo para que também se estabeleçam ondas estacionárias.	- Mola grande de caderno (espiral) - Conjunto de tubos sonoros da escala maior. - Kazzo Hook

<p>3. Diferenciação entre altura e intensidade: por meio da integração reconciliativa e da diferenciação progressiva, relacionar amplitude e volume como correlatos da intensidade, assim como frequência e altura, como correlatos da diferenciação entre as notas musicais. Trabalhar a relação entre frequência, comprimento de onda e velocidade. Intervalo musical e escalas musicais básicas.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Flauta doce</li> <li>- Escaleta</li> <li>- Utilização de um aplicativo afinador.</li> </ul>
<p>4. Conceito de timbre: relacionar o conceito de timbre à série harmônica de um instrumento musical, comparando a forma de onda resultante da mesma nota musical, tocada em diferentes instrumentos, utilizando-se a representação gráfica de um aplicativo ‘osciloscópio’ e do exercício de treinar a audição para perceber as diferenças.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Flauta doce</li> <li>- Escaleta</li> </ul>

**Quadro 4.1.** Objetivos e organizadores prévios

A aula será dividida em dois momentos:

1º MOMENTO (60 minutos)

Esse momento se inicia com a aplicação de um pré-teste individual sobre acústica em tubos sonoros. Os alunos terão 20 minutos para responder. A aplicação do pré-teste (figura 4.6) tem o objetivo principal de identificar se os conceitos prévios, acima elencados, já estão presentes no pensamento dos alunos, e, assim, possam ser aperfeiçoados. Caso não estejam em sua totalidade, serão construídos. A seguir, elencamos as perguntas que compõem o citado pré-teste.



**Figura 4.6.** Alunos realizando o pré-teste.

## PRÉ-TESTE

- 1) O que é, para você, uma onda?
- 2) Qual a diferença entre uma onda mecânica e eletromagnética?
- 3) O som é uma onda longitudinal ou transversal? Bidimensional ou tridimensional?
- 4) Explique o que são ondas mecânicas audíveis.
- 4) O que você entende por ressonância?
- 5) O que é uma onda estacionária?
- 6) O que é frequência fundamental ou primeiro harmônico?
- 7) Uma onda sonora possui velocidade de 354m/s e uma frequência de 1000Hz. Qual o comprimento de onda?
- 8) Podemos distinguir a voz de duas pessoas pela frequência, pela intensidade ou pelo timbre? Explique.
- 9) O que é intervalo de oitava?
- 10) Uma nota musical cuja frequência é  $f_1 = 125\text{Hz}$  está duas oitavas acima de uma nota musical cuja frequência é  $f_2$ . Qual é o valor de  $f_2$ ?
- 11) Determine a frequência fundamental de um som emitido em um tubo aberto de 2m de comprimento. Considere a velocidade do som no ar de 340m/s.

Após recolher o pré-teste, o professor deve despertar o interesse e a curiosidade dos alunos, tornando esse primeiro momento da aula, lúdico, curioso e motivador. Para isso, é necessária uma aula dialogada e com a utilização dos organizadores prévios citados anteriormente. É muito importante que o professor não defina nada e nem diga se está certo ou errado, limitando, assim, a liberdade de expressão. Neste momento, o papel do professor é o de mediador, identificando conhecimentos já existentes no pensamento dos alunos e que eles precisam construir seus próprios conceitos preliminares.

O professor começa a aula com a seguinte dinâmica: peça aos alunos que façam barulho utilizando a voz, as mãos, as pernas e objetos; em seguida peça para que fiquem em silêncio. Após alguns instantes, pergunte: O que foi necessário para haver o barulho? E o silêncio? Então é possível fazer barulho sem movimento? As respostas dos alunos podem ser diversas. Porém o objetivo é levar o aluno a perceber que o som vem do movimento, possibilitando o entendimento do som enquanto uma onda mecânica. Em seguida, o professor deve utilizar a mola espiral (figura 4.7), pedindo que os alunos formem duplas, para que cada dupla receba uma. A partir daí começa a atividade, onde um aluno segura uma extremidade e outro aluno, a outra conforme a figura 4.8.



**Figura 4.7.** Mola espiral.



**Figura 4.8.** Alunos utilizando a mola.

O professor pede que as duplas façam o que ele está propondo. Primeiro o professor pede que vejam a diferença de uma onda longitudinal e transversal. Em segundo, que visualizem o primeiro harmônico e o segundo harmônico por meio de perturbações provocadas nas extremidades da mola. Com isso mostrar ondas estacionárias e seus respectivos harmônicos, bem como o conceito de ressonância. Agora o professor deve utilizar o barbante amarrando a bolinha de papel, formando um pêndulo simples, conforme mostra a figura 4.9. Mostrar que se soprarmos de qualquer forma o pêndulo não terá uma grande oscilação (figura 4.10). Só quando os jatos de ar são lançados com intervalos de tempo que são múltiplos do período de oscilação do pêndulo é que haverá ressonância.



**Figura 4.9.** Pêndulo simples.



**Figura 4.10.** Utilização do pêndulo

Podemos dar o exemplo de uma criança num balanço, resgatando experiências vivenciadas pela maioria das pessoas, colocando, assim, em discussão as primeiras conceituações da ressonância. Percebam aqui nossa preocupação com os processos de diferenciação e reconciliação em torno de um conceito de ressonância mais amplo e



profundo. Ainda, com o intuito de ampliar a experiência sensorial em torno do conceito de ressonância, utilizamos um conjunto de tubos sonoros, os quais foram construídos para utilização como organizador prévio neste roteiro de desenvolvimento didático. O modelo montado por nós pode ser visto nas figuras 4.11 e 4.12. Tomamos por base a velocidade do som com um valor de 340m/s, calculamos, por meio da relação  $v = \lambda \cdot f$ , o comprimento do menor tubo.



**Figura 4.11.** Conjunto de tubos



**Figura 4.12.** Utilização do Tubos

Daí, por meio da progressão geométrica de razão  $\sqrt[12]{2}$ , calculamos os comprimentos dos outros oito tubos, formando a escala diatônica maior. Os tubos são então ‘passados’ perto do ouvido, produzindo a sensação ascendente da escala maior. Com isso, mostramos que o som do ambiente entra em ressonância com os tubos. Em seguida, utilizaremos o Kazzo (figura 4.13) para reforçar ainda mais a ressonância e a produção de ondas estacionárias dentro de tubos. Mostrando que não é qualquer sopro que conseguimos emitir o som pela membrana do instrumento. O professor pode até pedir que alguns alunos tentem emitir um som utilizando o Kazzo, conforme figura 4.14.



**Figura 4.13.** Kazzo



**Figura 4.14.** Utilização do Kazzo

Novamente, aqui, buscamos a diferenciação progressiva e que, num dado momento, haverá a tarefa de ‘juntar tudo’ num conceito só, o que caracteriza a reconciliação integrativa. É importante frisar que, durante todo o processo, devemos, enquanto professores mediadores, identificar relações entre tais organizadores e os conceitos subjacentes às qualidades fisiológicas do som e suas relações com as notas musicais.

Por fim, o professor, utilizando a flauta doce (figura 4.15) e a escaleta (figura 4.16) colocará em discussão a relação entre frequência e altura e intensidade e volume, emitindo algumas notas musicais. Mas, antes o professor deve mostrar como funciona a flauta doce e a escaleta, fazendo sempre analogia com outros instrumentos, reforçando a forte relação da frequência com as notas musicais, bem como a diferença de um som grave e agudo.



**Figura 4.15.** Flauta doce.



**Figura 4.16.** Escaleta.

O professor deve propor que os alunos baixem nos seus celulares um afinador de notas, em seguida passar nas bancas emitindo notas na escaleta e pedindo que visualizem, por meio do aplicativo, nos seus respectivos celulares, conferindo suas frequências, notas, investigando, inclusive, o grau de afinação desse instrumento conforme figura 4.17. Para reforçar ainda mais essa etapa, o professor pode propor que em duas eles façam a mesma atividade com uma flauta comercial que será entregue pelo professor, conforme figura 4.18.



**Figuras 4.17 e 4.18.** Medindo a frequência emitida pela escaleta e flauta doce

No final desse momento, o professor deve pedir que dois alunos, cada um com um instrumento diferente, emita no escuro a mesma nota musical, um de cada vez. E pedir que os alunos, verifiquem se existe diferença entre as duas notas emitidas, ou até de uma de dois instrumentos, podendo o professor pedir que os alunos tragam instrumentos musicais para a aula. É um convite a uma escuta pensante dos sons, buscando experimentar e identificar a variação em altura, a variação em volume, a existência de mais de um harmônico.

## 2º MOMENTO (60min)

O professor irá falar sobre o aparato experimental aos alunos, mostrando como funciona, para que serve e como foi produzido (figura 4.19).



**Figura 4.19.** Professor mostrando o aparato.

Pedir que se dividam em dois grupos e que um membro do grupo baixe o aplicativo no celular (gerador de frequência). Neste momento inicial, mesmo estando os grupos já definidos, todos os alunos participantes experimentarão a utilização do tubo, desenvolvendo a habilidade de utilizar o aplicativo gerador de áudio, bem como as peças que compõem o tubo de Kundt. Cada um dos alunos participantes terá a oportunidade de, pelo menos uma vez, estabelecer uma onda estacionária, possibilitando uma interação com todo o processo que envolve a utilização do aparato experimental conforme a figura 4.20. Tudo sendo supervisionado pelo professor.



**Figura 4.20.** Os alunos utilizando o aparato experimental

Por fim, o professor passará uma pesquisa para ser realizada por cada um dos dois grupos separadamente e cujos resultados serão apresentados e discutidos entre os grupos e sob a mediação do professor, na aula seguinte. O professor deverá marcar, com cada um dos grupos, separadamente, um horário para que os alunos possam ter acesso ao aparato para fazerem os procedimentos experimentais necessários às demandas constantes que venham a surgir no decorrer da pesquisa que será realizada entre a 1ª aula e 2ª aula. A seguir apresentamos os questionamentos que compõem a pesquisa que será realizada pelos dois grupos, separadamente, durante o intervalo entre as duas aulas.

## PESQUISA PARA OS DOIS GRUPOS

- 1) Como se dá o fenômeno de ressonância em tubos sonoros abertos? E fechados?
- 2) O que é uma onda estacionária e como se forma no interior do tubo aberto? E fechado?
- 3) Por meio de uma pequena apresentação, faça uma analogia entre os tubos sonoros e os instrumentos de sopro. Como são produzidas as diferentes notas nesses instrumentos? (Fazendo um paralelo entre acústica física e acústica musical).
- 4) Anote a frequência para a qual foi encontrada a onda estacionária e meça o comprimento de onda  $\lambda$  utilizando uma régua milimetrada. Repita para outros valores de frequência para os quais possam ser observadas formações de ondas estacionárias; com os dados obtidos, encontre o valor da velocidade de propagação do som.
- 5) O que evidencia experimentalmente que a velocidade da onda sonora no ar é a mesma para todos os comprimentos de onda?
- 6) Apresente para os outros os colegas os resultados obtidos.

É importante destacar a disposição do professor em tirar dúvidas e permitir que os alunos realizem medições no aparato que auxiliem na realização da pesquisa. Esse horário deverá ser combinado por meio do grupo de WhatsApp entre a primeira aula e a segunda aula. O professor montou o aparato num local da escola e ficou duas horas disponível para que os alunos fizessem as medições necessárias, bem como tirar as dúvidas necessárias.

### 2ª AULA (2 horas)

Objetivo: Socializar as apresentações e promover a consolidação da aprendizagem significativa.

A aula será dividida em três momentos

1º MOMENTO (30min): Nesse momento, cada grupo se reunirá com seus integrantes para dialogarem entre si e refletirem sobre a pesquisa passada na aula anterior pelo professor. Durante trinta minutos, o aparato ficará disponível no centro da sala para quem quiser utilizar com o intuito de realizar algum teste adicional que julgar necessário ou ainda com o intuito de dirimir dúvidas que possam ter surgido após o período de utilização do aparato ou durante o diálogo entre os integrantes de cada grupo. O professor nesse momento da aula será um facilitador no processo, dando o suporte necessário aos grupos para suas respectivas apresentações.

2º MOMENTO (40min): Nesse momento iniciará as apresentações da pesquisa pelos grupos. Onde os alunos de cada grupo irão socializar o resultado da pesquisa para os alunos do outro grupo e o professor. Essa apresentação poderá ser feita de forma coletiva ou por um representante do grupo (figura 4.21). O mais importante é que a palavra esteja sempre aberta para quem quiser. Cada grupo terá 20 minutos para expor para a classe.



**Figura 4.21.** Aluno apresentando a pesquisa.

3º MOMENTO (30min): Depois das duas apresentações, o professor fará as devidas intervenções e complementações, gerando diálogos e debates entre professor e alunos, aperfeiçoando ainda mais os conhecimentos adquiridos durante as aulas. Nesse momento, o professor deverá fazer um resgate e complementação do que foi trabalhado e discutido, utilizando um data show conforme a figura 4.22.



**Figura 4.22.** Professor explicando a relação de frequência com as notas musicais.

Ao projetar a imagem de um teclado, o professor conseguiu reforçar e esclarecer a relação da física com a música, principalmente com relação aos intervalos musicais. Com isso esclarecendo ainda mais a associação entre a física e a música.

Outra forma utilizada pelo professor para resgatar e aprimorar os conhecimentos vivenciados e por meio de um mapa conceitual, apresentando os conceitos da acústica física e da acústica musical, bem como suas inter-relações. No momento dessa exposição é importante o professor fazer sempre associação com os organizadores prévios feitos anteriormente. Com isso, o mapa conceitual (figura 4.23), se torna um recurso que possibilita a integração reconciliativa, atingindo uma superordenação dos processos cognitivos trabalhados no primeiro momento.



**Figura 4.23.** Mapa conceitual da acústica física e da acústica musical dos tubos sonoros.

Por fim, será aplicado um pós-teste individual, igual ao pré-teste que foi aplicado no início da primeira aula, com o qual teremos um modo de verificar se houve aprendizagem significativa. Tal pós-teste é composto das mesmas questões do pré-teste, por entendermos que são questões abertas e subjetivas e que os não sabem que haverá a repetição. O aluno terá os mesmos 20 minutos do pré-teste para responder (figura 4.24).



**Figura 4.24.** Alunos realizando pós-teste.



## Capítulo 5

### Análise e conclusões

#### 5.1. Idas e vindas que são próprias da práxis contrutivista

Existe uma forma de expressar a questão da música, do som, em uma aula de física, que pudesse trazer essa manifestação para a sala de aula? Usualmente, como nos livros didáticos que analisamos, primeiro é trabalhada uma parte teórica sobre o objeto de estudo para depois entendermos o seu funcionamento. Parte-se do princípio de que o aluno não tem nenhum conhecimento prévio do assunto, o que, obviamente, é fortemente questionável. Entretanto, em nosso cotidiano, estamos acostumados a escutar vários tipos de sons de diferentes frequências (alturas) e tonalidades, com os quais podemos, por exemplo, nos comunicar e obter informações (por meio da linguagem), visualizar tecidos do corpo humano (por meio da ultrassonografia) e desfrutar do conhecimento cultural (por meio da música). Assim quando o tema é relacionado à música, devemos lembrar que estamos a todo o momento expostos a vários tipos de sons, sejam eles ruídos ou alguma nota musical. No caso do ruído, seja pela definição científica, qual seja a de um sinal de frequência variável ou ainda um amálgama de vários sons de frequências variáveis, ou pela definição advinda dos estudos de paisagens sonoras, protagonizados pelo educador canadense Raymond Murray Schafer [2003], os quais o definem como um som indesejado, há uma enorme experiência cultural trazida pelos estudantes, que poderia enriquecer as aulas de física, se fosse tratada com respeito pelos colegas professores. No caso das notas musicais, enxergamos, no percurso por nós trilhado, que os estudantes sentem-se motivados quando o estudo físico do som é articulado ao estudo da música.

A música está presente em vários momentos de nossa vida. De um modo geral aprendemos a cantar músicas e seguir diferentes ritmos desde a pré-escola, com músicas que envolvem diferentes atividades. A importância da música não fica restrita apenas à física. Ela ajuda a desenvolver a mente humana, promove o equilíbrio, ritmos, e vários outros benefícios para nós. Com isso, oferecemos uma maneira de trabalhar acústica física e musical com o aluno em sala de aula, de forma lúdica e problematizadora, por meio de um aparato experimental que proporciona ao aluno manuseá-lo e perceber como o som é gerado em um instrumento musical de tubos.

Na sequência didática aplicada que compõe nosso produto educacional, verificamos um interesse muito bom por parte dos alunos em aprenderem. Por meio de

uma aula lúdica e inovadora, no qual o assunto de acústica em tubos sonoros foi abordado pelo professor em consonância com a música, despertou no aluno uma inquietação e, por sua vez, um caráter investigativo. Para isso, construiu-se um material potencialmente significativo, que partiu do pressuposto que o aluno já tinha um conhecimento prévio do assunto, por mais superficial que fosse, e que a partir deste conhecimento, se poderia trabalhar toda a teoria envolvida, juntando o conhecimento anterior com o novo. Para isso, foi usada uma metodologia investigativa e motivadora, por meio de organizadores prévios, onde o aluno teve uma participação ativa na construção do conhecimento e o professor pode ensinar acústica física em consonância com acústica musical, inovando assim a abordagem do tema de acústica, normalmente trabalhado nas escolas. Essa construção foi feita com base na teoria da aprendizagem significativa de David Ausubel, que relaciona subsunçores, elementos do arcabouço cognitivo, à aprendizagem significativa de um novo conteúdo.

A teoria da aprendizagem significativa é uma teoria construtivista na medida em que defende que o conhecimento é um processo construtivo e valoriza muito o papel da estrutura cognitiva prévia de quem aprende. A aprendizagem é considerada, em última instância, um processo pessoal e idiossincrásico, ainda que muito influenciado por fatores sociais e pelo ensino na sala de aula que é um processo eminentemente social. Trata-se de uma teoria cognitivo-humanista em que o ser humano atua recorrendo a pensamentos, sentimentos e ações para dar significado às experiências que vai vivendo. O professor e o aluno usam o material educativo do currículo, procurando atingir a congruência de significados. O professor deverá apresentar da forma conceitualmente mais transparente possível, sem prejuízo da correção, as concepções científicas referidas no currículo e o aluno deverá tentar construir ativamente os seus significados acerca dessas concepções e deixar transparecer com toda a honestidade esses significados (concepções pessoais). O professor deve avaliar em que medida os significados do aluno são os que se pretende que ele assimile e o aluno também deve tentar verificar se os significados de que passou a dispor são os que se pretendia que ele captasse e correspondem, de fato, às concepções científicas.

A avaliação da aprendizagem dos alunos participantes do programa realizou-se por meio da montagem do aparato do tubo de Kundt e sua relação com a música. Ao finalizar as atividades, pudemos afirmar que os resultados do trabalho foram satisfatórios e que atenderam às expectativas. A dinâmica das atividades foi um fator de essencial importância neste processo, contribuindo para uma efetiva participação dos alunos e de

fato, promovendo o interesse pela aprendizagem. Os experimentos geraram discussões e debates que permitiram estimular a aprendizagem mediante a observação, análise, exploração, planejamento e o levantamento de hipóteses, tornando-a significativa pelo estabelecimento de vínculos entre conceitos físicos e fenômenos naturais vivenciados.

O desenvolvimento das experiências pelos próprios alunos contribuiu para aquisição de novos conhecimentos, uma vez que oportunizou momentos de reflexão, reavaliação, retomada e a socialização de experiências, além de dar oportunidade para o desenvolvimento de uma atitude científica nos participantes. Esse tipo de estratégia desenvolve nos estudantes a criatividade, o espírito de cooperação, investigação, promove a troca de ideias com a construção do conhecimento de forma significativa, pois consegue fazer a relação entre a teoria e a prática, entre o novo e o antigo, criando vínculos e expandindo as conceituações já presentes, por meio da reconciliação integrativa. Além disso, fortalece a integração entre os diversos saberes, tanto populares, como científicos, ampliando a percepção da necessidade da integração das áreas do conhecimento, que são fundamentais para a manifestação da aprendizagem significativa.

No momento em que as dúvidas ou dificuldades dos alunos surgiam foram realizadas as intervenções de forma mais adequada possível. Sempre que necessário, a continuidade dos estudos foi interrompida para a realização de intervenções convenientes, pois entendemos que somente assim, haveria avanço no propósito estabelecido.

Os organizadores prévios foram utilizados pelo professor de maneira problematizadora, onde o professor fazia perguntas e questionava as respostas dos alunos, sem responder se estava certo ou errado, provocando uma grande inquietação neles, mas que, na nossa avaliação, foi um momento muito enriquecedor. Quando realizamos a dinâmica do barulho e silêncio, os alunos adoraram a bagunça. O professor, por meio de questionamentos, conseguiu extrair a ideia de que o som é uma onda mecânica e que precisa de um meio material para se propagar. Não houve uma definição, mas surgiram frases e palavras que atingiram o objetivo.

Na sequência, ao utilizarmos a mola espiral, outra atividade no conjunto dos organizadores prévios, verificamos que houve uma grande participação de todos, e que os alunos puderam produzir ondas longitudinais e transversais, discernindo-as entre si. Como precisávamos introduzir o conceito de ressonância, usamos um pêndulo simples e o conjunto de tubos para oportunizar a construção das primeiras ideias de ressonância. O conjunto de tubos foi aparentemente um sucesso. Pois o aluno nunca imaginou que sons do próprio ambiente gerariam uma “harmonia sonora” palavra utilizada pela maioria

deles, conceito musicalmente importante e que possui ligação direta com o fenômeno físico em questão. Ficaram sem entender como era possível produzir aqueles sons sem soprar os tubos. Despertou assim, uma percepção nova em muitos deles, inclusive nos que tocavam algum instrumento. O uso do aplicativo de afinação, da escaleta e da flauta foi muito bom. Todos os alunos puderam manusear seu próprio celular e fazer suas visualizações de notas musicais e suas respectivas frequências, proporcionando ainda mais o entendimento da acústica física em consonância com a acústica musical. Em todos esses momentos, procuramos nos policiar na nossa ação enquanto professor mediador, questionando e orientando os alunos. Nesta nova perspectiva, pudemos aquilatar o quanto é mais difícil atuar como mediador do que como um professor expositor tradicional. Ser mediador exige o *'feeling'* de perceber os momentos em que devemos nos calar, em que devemos questionar, conceituar, ser mais professor do que observador ou mais observador do que professor. Esta práxis construtivista, muito pouco vivenciada em tempos idos, nos fez perceber a beleza que surge quando garantimos um mínimo de liberdade no pensar e no agir por parte de nossos alunos, além de nos transformar em professores mediadores pesquisadores, entendendo que, muito além de ceifar nossa autoridade, como muitos críticos ingênuos do construtivismo afirmam, nos traz o desafio de lidar com situações do ato cognoscente muito mais próximas da realidade dos participantes, do que aquela aula tradicional onde, no mais das vezes, se reproduz acriticamente o que está nos livros textos, ou seja, o *'mais do mesmo'*. A avaliação da aprendizagem dos alunos participantes do programa realizou-se por meio da utilização e interpretação do aparato do tubo de Kundt. O experimento por si só já traz uma curiosidade muito grande ao aluno, além de nos proporcionar um mecanismo prático para trabalhar conceitos elementares de teoria ondulatória e acústica em tubos sonoros, bem como a música, em sala de aula. O tubo despertou muito o caráter investigativo do aluno, o que se evidenciou pela incontinência em quererem manuseá-lo o tempo todo.

Apesar de serem alunos do 3º ano, em que disponham de pouco tempo extra, devidos aos vários horários de cursinho, o interesse deles em todos os momentos das aulas foi muito satisfatória. Inclusive no encontro entre a primeira aula e a segunda. Pois puderam tirar as dúvidas e fazer as medições necessárias para realização da pesquisa proposta pelo professor no final da primeira aula. No início da segunda aula, após os alunos dialogarem entre si e socializarem suas pesquisas com nossa mediação, observamos, em geral, uma evolução, tanto na questão da quantidade de conceitos presentes, quanto em conseguiram organizar suas ideias e hierarquizar os conceitos de

maneira satisfatória. Em seguida, buscamos realizar uma revisão dos principais conceitos abordados durante as aulas, por meio de um mapa conceitual, evidenciando a diferenciação progressiva, por meio da hierarquização entre os conceitos gerais e os específicos, o que foi percebido pelos participantes. De fato, na aprendizagem significativa, quando o indivíduo diferencia os conceitos ou muda seus significados e os especifica, conseqüentemente estará diferenciando-os progressivamente, ou seja, tornando-os mais ricos seus significados. Neste sentido, verificamos que os alunos estavam confortáveis nas nossas exposições, atingindo, assim, uma reconciliação integrativa. Por meio das observações e das análises, verificamos que os alunos aprenderam de maneira simples e prazerosa.

## 5.2. Análise comparativa do pré-teste e pós-teste

Essa aprendizagem será um dos focos na análise dos resultados desse trabalho. E uma das formas da análise dos dados foi feita por meio de um pré-teste e pós-teste, no qual aplicamos as mesmas questões sem que eles soubessem. E por serem questões abertas e subjetivas acreditamos que ficaria melhor para fazer as devidas comparações do antes (pré-teste) e o depois (pós-teste). Tudo isso foi registrado por meio de fotos, onde tivemos 25 alunos (100%) que realizaram o pré-teste e pós-teste. Criamos seguinte legenda para fazer essa análise: a) Não respondeu ou respondeu errado; b) Respondeu parcialmente; c) Respondeu de forma cientificamente coerente.

Questão 1: O que é, para você, uma onda?

ALUNOS	PRÉ-TESTE	PÓS-TESTE
25	a) 8 alunos (32%) b) 13 alunos (52%) c) 4 alunos (16%)	a) 2 alunos (8%) b) 8 alunos (32%) c) 15 alunos (60%)

Tabela 5.1. Questão 1

Observamos que houve um avanço significativo nos alunos que responderam de forma cientificamente coerente o pré-teste para o pós-teste. Com isso, 92% ou responderam parcialmente ou responderam de forma coerente cientificamente.

Questão 2: Qual a diferença entre uma onda mecânica e eletromagnética? Longitudinal e transversal?

<b>ALUNOS</b>	<b>PRÉ-TESTE</b>	<b>PÓS-TESTE</b>
<b>25</b>	a) 15 alunos (60%) b) 8 alunos (32%) c) 2 alunos (8%)	a) 4 alunos (16%) b) 6 alunos (24%) c) 15 alunos (60%)

**Tabela 5.2.** Questão 2

Mais de 50% dos alunos, no pré-teste, não conseguiu sequer responder. Entretanto, no pós-teste 84% conseguiu responder parcialmente ou totalmente. É importante salientar que muitos alunos diferenciaram onda longitudinal e transversal por meio de desenhos.

Questão 3: O que são ondas mecânicas audíveis?

<b>ALUNOS</b>	<b>PRÉ-TESTE</b>	<b>PÓS-TESTE</b>
<b>25</b>	a) 6 alunos (24%) b) 18 alunos (72%) c) 1 aluno (4%)	a) 2 alunos (8%) b) 3 alunos (12%) c) 20 alunos (80%)

**Tabela 5.3.** Questão 3

Constatamos que no pré-teste, 18 alunos conseguiram responder da seguinte forma: “são ondas que conseguimos escutar”. Percebemos que no pós-teste além de responderem cientificamente correto, colocaram também o intervalo de frequência audível.

Questão 4: O que você entende por ressonância?

<b>ALUNOS</b>	<b>PRÉ-TESTE</b>	<b>PÓS-TESTE</b>
<b>25</b>	a) 14 alunos (56%) b) 8 alunos (32%) c) 3 alunos (12%)	a) 3 alunos (12%) b) 14 alunos (56%) c) 8 alunos (32%)

**Tabela 5.4.** Questão 4

Questão 5: O que é uma onda estacionária?

<b>ALUNOS</b>	<b>PRÉ-TESTE</b>	<b>PÓS-TESTE</b>
<b>25</b>	a) 18 alunos (80%) b) 5 alunos (20%) c) 2 alunos (8%)	a) 3 alunos (12%) b) 10 alunos (40%) c) 12 alunos (48%)

**Tabela 5.5.** Questão 5

Questão 6: O que é frequência fundamental ou primeiro harmônico?

ALUNOS	PRÉ-TESTE	PÓS-TESTE
25	a) 18 alunos (72%) b) 6 alunos (24%) c) 1 alunos (4%)	a) 3 alunos (12%) b) 10 alunos (40%) c) 12 alunos (48%)

**Tabela 5.6.** Questão 6

Nas questões 4, 5, e 6 a análise foi bastante similar. Observamos que no pré-teste, em torno de 18 alunos deixaram em branco essas perguntas. Entretanto, após aplicação do pós-teste, verificamos que em torno de 10 alunos responderam de maneira satisfatória e menos de 10% não responderam.

Questão 7: Uma onda sonora possui velocidade de 354m/s e uma frequência de 1000hz. Qual o comprimento de onda?

ALUNOS	PRÉ-TESTE	PÓS-TESTE
25	a) 5 alunos (20%) b) 8 alunos (32%) c) 12 alunos (48%)	a) 1 alunos (4%) b) 4 alunos (16%) c) 20 alunos (80%)

**Tabela 5.7.** Questão 7

Percebemos que foi a resposta mais acertada no pré-teste. Acreditamos que foi pela aplicação direta da equação fundamental de ondas. Porém, observamos uma evolução de 48% para 80% de alunos que responderam de forma cientificamente coerente.

Questão 8: Podemos distinguir a voz de duas pessoas pela frequência, pela intensidade ou pelo timbre? Explique.

ALUNOS	PRÉ-TESTE	PÓS-TESTE
25	a) 17 alunos (68%) b) 7 alunos (28%) c) 1 alunos (4%)	a) 16 alunos (64%) b) 5 alunos (20%) c) 4 alunos (8%)

**Tabela 5.8.** Questão 8

Verificamos que apenas um aluno, no pré-teste, conseguiu explicar porque o timbre era o responsável para distinguir a voz de duas pessoas. Observamos pouca evolução nos resultados do pós-teste, onde esse número subiu para apenas 4 alunos. Consideramos que

não houve uma boa assimilação do conceito de timbre. Sugerimos um maior tempo para discursão do conceito de timbre. Mas que não é o foco da nossa pesquisa

Questão 9: O que é intervalo de oitava?

ALUNOS	PRÉ-TESTE	PÓS-TESTE
25	a) 20 alunos (80%) b) 3 alunos (12%) c) 2 alunos (8%)	a) 3 alunos (12%) b) 5 alunos (20%) c) 18 alunos (68%)

**Tabela 5.9.** Questão 9

Questão 10: Uma nota musical cuja frequência é  $f_1 = 125\text{Hz}$  está duas oitavas acima de uma nota musical cuja frequência é  $f_2$ . Qual é o valor de  $f_2$ ?

ALUNOS	PRÉ-TESTE	PÓS-TESTE
25	a) 23 alunos (92%) b) 0 alunos (0%) c) 2 alunos (8%)	a) 5 alunos (20%) b) 0 alunos (0%) c) 20 alunos (80%)

**Tabela 5.10.** Questão 10

As questões 9 e 10, exigiam, do aluno, um conhecimento básico de notas musicais. Por meio do pré-teste, verificamos que a maioria deles não sabiam o que era uma oitava e muito menos que estava relacionada a frequência do som. Entretanto, observamos que no pós-teste, houve um avanço significativo no entendimento das notas musicais.

Questão 11: Determine a frequência fundamental de um som emitido em um tubo aberto de 2m de comprimento. Considere a velocidade do som no ar de 340m/s.

ALUNOS	PRÉ-TESTE	PÓS-TESTE
25	a) 23 alunos (92%) b) 0 alunos (0%) c) 2 alunos (8%)	a) 5 alunos (20%) b) 0 alunos (0%) c) 20 alunos (80%)

**Tabela 5.11.** Questão 11

Observamos que no pré-teste 93% não respondeu. Acreditamos que foi devido a dois motivos, o primeiro por ser uma pergunta muito específica logo eles não sabiam e o outro motivo seria por não ter dado tempo para respondê-la. E após a realização do pós-teste verificamos uma grande evolução no entendimento da questão, onde 80% responderam de maneira satisfatória.



### **5.3. O que dizer do percurso trilhado?**

Os nossos 18 anos de magistério na rede privada, com os conteúdos engessados e uma metodologia de repetição de tais conteúdos nos fez abandonar, gradativamente, o ato de planejar as aulas. O planejar ao qual nos referimos é o de conhecer os alunos, suas necessidades e sua bagagem conceitual, adequar os conteúdos à realidade dos mesmos. O que praticávamos era o reciclar de planos de anos anteriores. As escolas particulares com seus materiais apostilados também contribuíram para esta acomodação. Com a elaboração deste produto e realização deste mestrado, resgatei este hábito tão importante para o processo ensino-aprendizagem, qual seja o de planejar aulas. Contudo, não nos referimos a um planejar sozinhos, levando tudo pronto para a sala de aula, mas, verdadeiramente, a partir dos resultados dos organizadores prévios, que levam a novos questionamentos, novos caminhos, novas atividades, reinaugurando, a cada encontro, o que está por vir. O caminho por nós trilhado nos elevou a novos horizontes de respeito à liberdade de expressão e de ação por parte de nossos estudantes, a valorizar ainda mais a investigação das idas e vindas da interdisciplinaridade entre ciência e música e a uma postura de valorização da atividade experimental como ponte entre o conhecimento novo e os conhecimentos prévios, como via de ancoragem, como um ‘parque’ onde se aprende de forma lúdica e mediada. Foi ainda um desafio sair deste ‘mundo’ seguro, de leis, fórmulas e exercícios repetitivos, para o ‘mundo’ incerto da mediação. A cada nova inquietação dos participantes, pensar no exercício de ligá-las, sempre almejando a conceituação científica por excelência, sem, contudo, desprezar as interpretações trazidas pelos estudantes, tratando-as com o devido respeito. Separar um tempo para pensar cada etapa dessa sequência didática, escolher as metodologias didáticas que seriam usadas e escolher os temas a serem trabalhados, nos proporcionou momentos de prazer e satisfação profissional que, somados à boa participação dos alunos, nos fez refletir sobre nossa prática enquanto professor.

## Referências Bibliográficas

Anastasiou [2006] L. das G. C. Anastasiou; L. P. Alves (orgs.), *Processos de ensino na universidade: pressupostos para as estratégias de trabalho em sala de aula*, 6ª Ed. Joinville, SC: Univille, 2006, p.14, 17, 22, 31-33

[Ausubel, 1963] D. P. Ausubel, *The psychology of meaningful verbal learning*. New York: Grune & Stratton, 1963.

[Ausubel, 1966] D. P. Ausubel, *Early versus delayed review in meaningful learning*, *Psychology in Schools*, 1966 3, 195-198.

[Ausubel, 1968] D. P. Ausubel, *Educational Psychology: a cognitive view* (1ª ed.), New York: Holt, Rinehart & Winston, 1968

[Ausubel 1980] D. P. Ausubel; J. D. Novak; H. Hanesian, *Psicologia educacional*, Tradução Eva Nick, Heliana de Barros Conde Rodrigues, Luciana Peotta, Maria Ângela Fontes e Maria da Glória Rocha Maron. 2. ed. Rio de Janeiro: Interamericana, 1980. 625p.

Ausubel [2003] D. P. Ausubel, *Aquisição e Retenção de Conhecimentos: Uma Perspectiva Cognitiva*, Lisboa: Plátano Edições Técnicas, 2003.

[Azevedo 2009] H. L. Azevedo, et al. *O uso do experimento no ensino da física: tendências a partir do levantamento dos artigos em periódicos da área no Brasil*. In: Encontro Nacional de pesquisa em Educação em Ciências - Enpec, Florianópolis, 9. Atas... Florianópolis: Abrapec, 2009.

[Azevedo 2010] H. L. Azevedo, *Utilização de Organizadores Prévios para Aprendizagem Significativa do Magnetismo e do Eletromagnetismo*. 2010. 185f. Dissertação (Mestrado em Ensino de Física) – Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, Minas Gerais. 2010, p 46.

Batista [2009] M. C. Batista, et al, *Reflexões sobre a importância da experimentação no ensino de Física*, Universidade Estadual de Maringá, DOI: 10.4025/actascihumansoc.v31i1.380, 2009.

[Bonadiman 2004] Hélio Bonadiman; Rolando AXT; Adriana R. Blumk; Giseli Vincensi, *Difusão e popularização da ciência, Uma experiência em Física que deu certo*, XVI Simpósio Nacional de Ensino de Física, 2004 p.1.

[Brasil 2003] Ministério da Educação. Secretaria de Educação Média e Tecnológica. *Linguagens, códigos e suas tecnologias: orientações educacionais complementares aos parâmetros curriculares nacionais – PCN+*. Brasília: MEC, 2002.

[9394/96] *Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional*, Lei nº. 9.394, de 20 de dezembro de 1996. <http://portal.mec.gov.br/secad/arquivos/pdf/ldb.pdf>

[Brasil 2013]Ministério da Educação, Secretaria de Educação Básica, Diretrizes Curriculares Nacionais Gerais da Educação Básica: MEC, SEB, DICEI, 2013, p 9.

[Brasil 1998] *Secretaria de Educação Fundamental*. Parâmetros Curriculares Nacionais: Ciências Naturais. Brasília: MEC / SEF, 1998, p 123.

[Brasil 2006] Orientações curriculares para o ensino médio. Brasília, 2006. Disponível em: <[http://portal.mec.gov.br/seb/arquivos/%20pdf/book\\_volume\\_01\\_interne t.pdf](http://portal.mec.gov.br/seb/arquivos/%20pdf/book_volume_01_interne t.pdf)> Acesso em: 13 Jul.2017.

Bojunga [2009] L. Bojunga, Disponível em: <<http://www.casalygiabojunga.com.br>>. Acesso em: 23 ago, 2017.

Feynman [1989] Richard Feynman, *O que é uma lei Física*, Editora Lisboa: Gradiva, 1989. 222p. Trad. Carlos Fiolhais, Universidade Coimbra

Gasparin [2001] J. L. Gasparin, *Motivar para aprendizagem significativa*, Jornal Mundo Jovem. Porto Alegre, n. 314, p. 8, mar. 2001.

[Gowin 1981] D. Gowin, *Educating*, 2nd ed. Ithaca, N.I: Cornell University Press, 1981.

Grillo [2016] M. L. Grillo; Perez, L. R , *Física e Música*, Ed livraria da Física, 2016. p 61, p 66

Manacorda [2001] Mário Manacorda, *A História da educação: da antiguidade aos nossos dias*, 9.ed, Tradução por Gaetano Lo Mônaco, São Paulo: Cortez, 2001.

Júnior [1998] F. N. M. Júnior; A. J. G. Medeiros, *Distorções conceituais dos atributos do som presentes nas sínteses dos textos didáticos: aspectos físicos e fisiológicos*, Ciência & Educação, v 5, n. 2, 1998.

Monteiro Júnior [2012] F. N. M. Júnior, *Educação sonora: encontro entre ciências, tecnologia e cultura*, Tese Doutorado, Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Ciências, Bauru, 2012. p.14.

Moreira [2001] M. A. Moreira; E. F.S. Masini, *Aprendizagem significativa: a teoria de David Ausubel*, 2 ed, São Paulo: Centauro, 2001.

[Moreira 2006] M. A. Moreira, *A teoria da aprendizagem significativa e sua implementação em sala de aula*, Brasília: Editora Universidade de Brasília, 2006.

[Moreira 2009] M. A. Moreira, *Mapas conceituais como instrumentos para promover a diferenciação conceitual progressiva e a reconciliação integrativa*, Ciência e Cultura. 2009 p.9.

[LaTaille1992] Y. De la Taille; M. K. Oliveira; Dantas; H. Piaget, Vygotsky, Wallon, teorias psicogenéticas em discussão. São Paulo: ed. Summus, 1992.

Raymond Murray Schafer [2003] R. M. Schafer, *A afinação do mundo - uma exploração pioneira pela história passada e pelo atual estado do mais negligenciado aspecto do nosso ambiente: a paisagem sonora*, Tradução: Maria Trench Fonterrada, São Paulo: Editora da UNESP, 2001, ISBN 85-7139-353-2.

Ricardo [2003], C. E. Ricardo, “*Implementação dos PCN em Sala de Aula: Dificuldades e Possibilidades*”. Revista Física na Escola, vol. 4, no 1, pp 8-11, 2003.

Rosa [2005] C. W. da Rosa; Á. B. da Rosa, *Ensino de Física: objetivos imposições no Ensino Médio*, Revista Electronica de Ensenanza de las Ciências vol. 4, nº 1. 2005 p 4, 6, 13.

Santos [2008] José César Furtado dos Santos, *Aprendizagem Significativa: modalidades de aprendizagem e o papel do professor*. Porto Alegre: Mediação, 2008, p.65.

[Séré, Coelho e Nunes 2003] Marie Genevieve Séré, Maria Suzana Coelho, Antônio Dias Nunes, *O papel da experimentação no ensino de Física*, Cad. Bras, Ens. Fís., v.20, nº 1, p.30-42, abr 2003, p.37.

[Valadares 1999] J. Valadares, *O Vê de Gowin: um instrumento poderoso de construção conceptual*, Comunicação no “VII Encontro Nacional - Educação em Ciências”, Universidade do Algarve, Portugal, 1999.

Vasconcelos [2006] C. dos S. Vasconcelos, *Construção do conhecimento em sala de aula*. São Paulo: Libertad, 2006.