

# MNPEF

Mestrado Nacional  
Profissional em  
Ensino de Física



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

## PRODUTO EDUCACIONAL

SEQUÊNCIA DE ENSINO POR INVESTIGAÇÃO SIGNIFICATIVA NO ESTUDO  
DAS RELAÇÕES ENTRE FÍSICA E MÚSICA EM ATIVIDADES  
EXPERIMENTAIS ENVOLVENDO O OSCILADOR DE MELDE

**Mestrando: Joel Vieira de Araújo**

Produto Educacional apresentado ao Programa de Pós-Graduação Profissional em Ensino de Física (MNPEF) pelo Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE) como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

**Orientador: Prof. Dr. Francisco Nairon Monteiro Júnior**

Recife/PE

Dezembro - 2018

## AOS COLEGAS E COMPANHEIROS DE LUTA POR UM ENSINO DE FÍSICA CONTEXTUALIZADO, CRÍTICO E MOTIVADOR,

Sabemos como é difícil nossa missão. Encontramos vários obstáculos: falta de local adequado a um ensino de física, falta de aparatos experimentais para a concretização dos conteúdos abstratos vistos em sala de aula, desmotivação dos estudantes,... Além disso, temos a própria desvalorização do trabalho docente, em forma de salários aquém do que seria justo para uma profissão tão importante para toda a sociedade. Porém, não devemos deixar-nos vencer. Como nos disse Freire (1994, p. 17)

Quem, melhor que os oprimidos, se encontrará preparado para entender o significado terrível de uma sociedade opressora? Quem sentirá, melhor que eles, os efeitos da opressão? Quem, mais que eles, para ir compreendendo a necessidade da libertação? Libertação a que não chegarão pelo acaso, mas pela práxis de sua busca; pelo conhecimento e reconhecimento da necessidade de lutar por ela. Luta que, pela finalidade que lhe derem os oprimidos, será um ato de amor [...].

Então, a liberdade de pensar, de formar cidadãos críticos, conscientes de sua vida, sua luta, não virá ao acaso, ou de graça. Virá pela luta diária de cada um de nós, juntos, com amor pela profissão, amor que não nega a indignação de todas as injustiças vistas diariamente.

Esse trabalho é uma pequena contribuição, feito com todo carinho e vontade de transformar-se para poder transformar. Pensando nisso, em que ninguém se liberta sozinho, elaboramos uma sequência de ensino investigativa e significativa, em que o estudante torna-se livre: pode falar, pode expor o que pensa, pode pensar cientificamente incoerente, pode investigar, pode fazer algo que, desde criança pequena, todos nós adoramos fazer – que é mexer, tocar, “bulinar”. Com a ajuda do aparato experimental, e de um instrumento musical presente na realidade do estudante, o violão, pretendemos tornar o ensino de conceitos de ondulatória e acústica musical motivador, estimulante e significativo.

Esperamos ter contribuído para um ensino de uma área da física, ondulatória e acústica musical, renovador. E esperamos também incentivar o colega professor à pesquisa de novos métodos, novos meios de fazer pensar sobre uma coisa para nós maravilhosa: a compreensão da natureza.

## SUMÁRIO

1. PRODUTO EDUCACIONAL - SEQUÊNCIA DE ENSINO POR INVESTIGAÇÃO SIGNIFICATIVA NO ESTUDO DAS RELAÇÕES ENTRE FÍSICA E MÚSICA EM ATIVIDADES EXPERIMENTAIS ENVOLVENDO O OSCILADOR DE MELDE....	4
1.1. Do Aparato Experimental.....	4
2.1. Conjunção Aprendizagem Significativa e Ensino por Investigação .....	16
2.2. Ondas Estacionárias na Música: uma proposta de Seqüência de Ensino por Investigação (SEI) Significativa.....	20

# CAPÍTULO 1: PRODUTO EDUCACIONAL - SEQUÊNCIA DE ENSINO POR INVESTIGAÇÃO SIGNIFICATIVA NO ESTUDO DAS RELAÇÕES ENTRE FÍSICA E MÚSICA EM ATIVIDADES EXPERIMENTAIS ENVOLVENDO O OSCILADOR DE MELDE

## 1.1. DO APARATO EXPERIMENTAL

Há tempo que se tem o debate sobre o ensino de Ciências da Natureza, notadamente Física, no Ensino Básico. Cachapuz *et al* (2011, p. 33) nos fala que

[...] as visões deformadas da ciência e da tecnologia transmitidas pelo próprio ensino, que estão contribuindo para o insucesso escolar, as atitudes de rejeição e, conseqüentemente, a grave carência de candidatos para estudos científicos superiores. Esta análise mostra a necessidade de uma reorientação das estratégias educativas e conduz ao esboço de um modelo de aprendizagem das ciências como investigação orientada, em torno de situações problemáticas de interesse.

Vê-se que um ensino de Física como uma Ciência pronta, matematizada e fora de contexto do que o estudante sabe, ou deseja saber, contribui para a grande rejeição e dificuldade que essa disciplina apresenta em todo Brasil. Além disso, nas aulas, costuma haver um enorme tempo gasto com a exposição oral, quase sempre monológica e sem qualquer situação de investigação ou problematização. Hodson (apud CARVALHO *et al*, 2012, p. 19) nos fala que “Os trabalhos de pesquisa em ensino mostram que os estudantes aprendem mais sobre ciência e desenvolvem seus conhecimentos conceituais quando participam de investigações científicas [ ... ].”

Pensando nessa problemática de um ensino-aprendizagem contextualizado, significativo e que os estudantes possam participar da construção do conhecimento, desenvolvemos um aparato experimental de fácil manipulação, grande poder de investigação e que tem aplicação em alguma área do conhecimento relevante para os aprendizes: o OSCILADOR DE MELDE. Do modelo original, que constitui um dos mais importantes aparatos experimentais históricos concernentes ao desenvolvimento da acústica física e musical, concebemos uma reconstrução de fácil montagem e que oferece vários parâmetros de fácil manipulação e medição (como frequência, tensão na corda, modos de vibração, etc) e pode ser aplicado para investigar as características do som produzido por vários instrumentos musicais de corda fixa, dentre eles, o violão, objeto de análise da presente dissertação.

Franz Emil Melde (1832 – 1901) foi um físico alemão. Ficou conhecido por seus trabalhos com ondas estacionárias. O Experimento de Melde conecta um cabo apertado

a um interruptor eléctrico. Com esse aparato, Melde separou, pela primeira vez, em 1860, as ondas estacionárias em uma corda, os modos normais de vibração. Ele foi capaz também de mostrar que ondas mecânicas podem apresentar fenômenos de interferência. Na sua montagem, Melde usou um pulsador eléctrico, preso a um cabo, que leva a uma polia contendo na outra extremidade uma massa que causa tensão na corda. Cada nó é típico da onda estável. Um esquema simplificado da montagem original de Melde é mostrado a seguir.

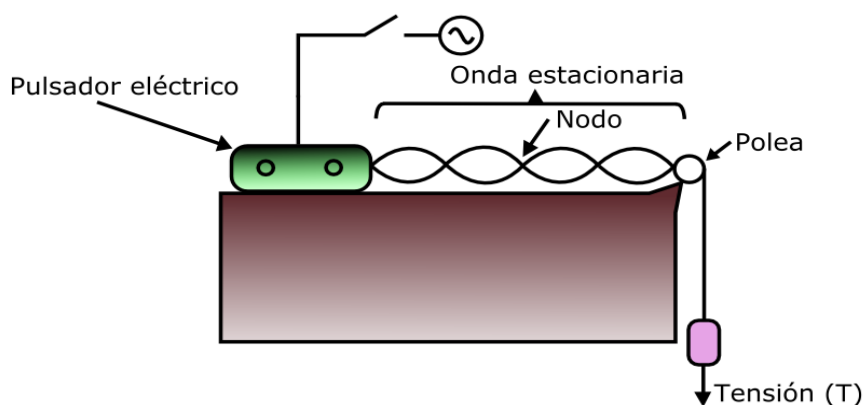


Figura 1.1: Montagem de Melde de seu oscilador. Retirado de <https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/2/27/Melde-experiment-es-version.PNG>, acessado em 03/02/2018

Temos hoje diversas reconstruções do modelo original, que diferem nos materiais utilizados, esquema de montagem do vibrador, tamanho e complexidade, desenvolvidos para estudos diversos de oscilações em cordas elásticas (COELHO E TONEGUZZO, 1990; CAVALCANTE, PEÇANHA E TEIXEIRA, 2013; CATELLI E MUSSATO, 2014). Propusemos uma montagem do aparato com materiais acessíveis, de baixo custo e que pode ser adaptado a qualquer comprimento da corda e que usa como gerador das ondas um aplicativo de celular de fácil manipulação e gratuito. Descrevemos, a seguir, a nossa montagem do aparato, que é composta de quatro partes. A parte 1 consiste no mecanismo vibrador, composto de base de madeira com alto-falante, haste rosqueada de alumínio e haste de cobre recurvada. A parte 2 consiste no mecanismo tracionador da corda, composto de suporte de madeira com polia e conjunto de pesos. A parte 3 consiste no sistema de amplificação do sinal, composto de base de madeira com amplificador e estroboscópio e cabos de ligação. A parte 4 consiste no aplicativo gerador de áudio.

DESCRIÇÃO DA PARTE 1: mecanismo vibrador, composto de base de madeira com alto-falante, haste rosqueada de alumínio e haste de cobre recurvada

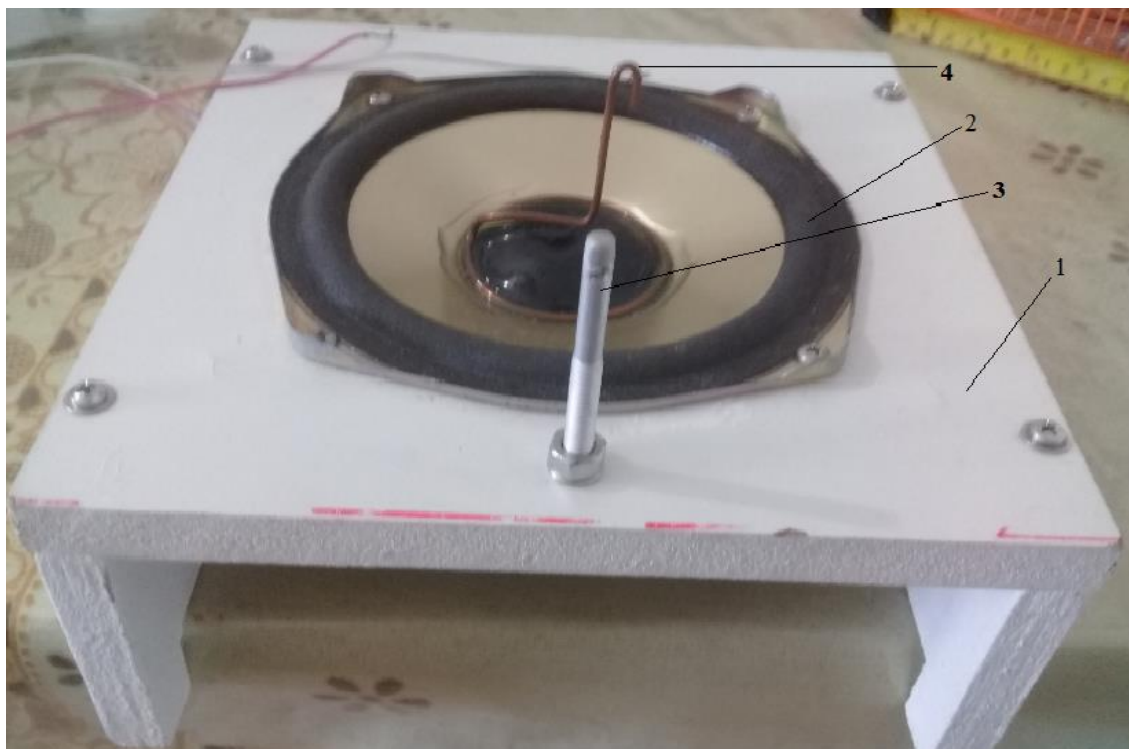


Figura 1.2: base de madeira com alto-falante acoplado: vista superior

A figura 1.2 mostra uma visão superior de parte do aparato, com a base de madeira (1) medindo 23 cm x 23 cm x 7 cm. No topo da base foi feito um orifício circular de diâmetro em torno de 16 cm, no qual foi acoplado um alto-falante de 6" (2), muito embora o aparato manifeste funcionamento satisfatório com outros alto-falantes menores e menos potentes. Em qualquer caso, o importante é certificar-se de que o cone do alto-falante possua um curso de oscilação suficientemente longo para produzir na corda harmônicos de amplitude que passam a ser visualizadas de qualquer canto de uma sala de aula. Próxima à borda do alto-falante, foi fixada uma haste rosqueada de alumínio de 3/16" de espessura e 6 cm de altura (3), no topo da qual foi feito um furo onde é fixada uma das extremidades da corda. No centro do cone do alto-falante, ao redor da calota central (domo), foi fixada, com cola, uma haste de cobre (4) que, após ser recurvada até o centro da citada calota, sobe perpendicularmente ao plano da borda do alto-falante até a mesma altura da haste de alumínio, tendo sido, então, recurvada em forma de "U" invertido, por dentro do qual passa a corda. Consiste, portanto, no mecanismo pelo qual as vibrações do alto-falante perturbam a corda quando o aparato está em funcionamento. Quando a corda é colocada dentro do "U" invertido, um pequeno pedaço de algodão, ou fita adesiva, ou ainda espuma deve ser colocado na

entrada do “U”, impedindo que a corda saia da posição no meio curso em que o alto-falante se encontra no movimento ascendente.

A figura 1.3 mostra uma visão frontal da mesma parte do aparato, com a base de madeira tendo um ressalto (espera) que permite seu ajuste na borda de um tampo, permitindo sua adaptação em qualquer mesa (1). A figura mostra ainda os detalhes da parte inferior do alto-falante (2) e da haste rosqueada de alumínio com o citado furo na extremidade superior (3).

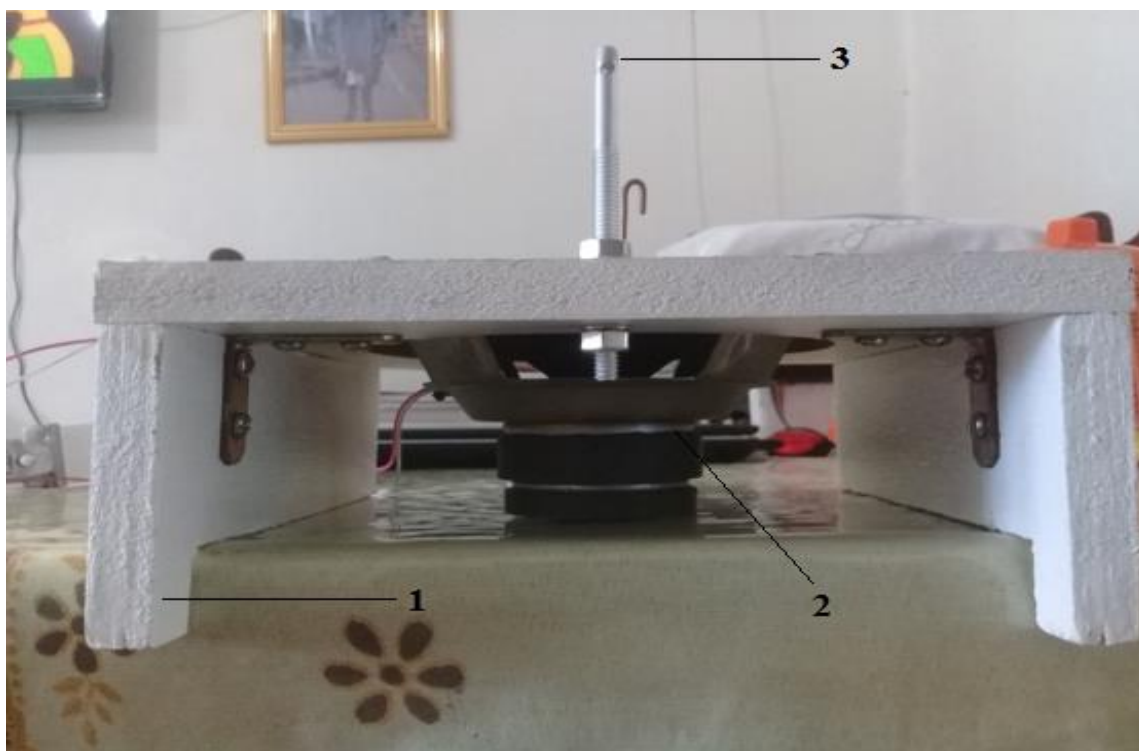


Figura 1.3: vista frontal da base de madeira com alto-falante acoplado

A figura 1.4, a seguir, mostra os detalhes da fixação de uma das extremidades da corda à haste rosqueada de alumínio, bem como a passagem da corda pela haste de cobre. Quando o aparato estiver ligado, perturbará a corda com a mesma frequência de oscilação do cone.



Figura 1.4: corda amarrada à haste rosqueada de alumínio e passando através do “U” da haste de cobre

DESCRIÇÃO DA PARTE 2: mecanismo tracionador da corda, composto de suporte de madeira com polia e conjunto de pesos. As figuras 1.5 e 1.6 mostram o mecanismo de fixação da parte 2 que se utiliza de um grampo universal, que pode ser adaptado a quase qualquer superfície ou mesa.



Figura 1.5: visão posterior do mecanismo tracionador



Figura 1.6: visão frontal do mecanismo tracionador



Encaixado neste grampo universal, temos o suporte de madeira no qual está presa a polia, por onde passa o fio que vem da primeira parte do aparato, como mostrado a figura 1.7. O fio, por sua vez, desce por trás do suporte de madeira e grampo, sendo tracionado em sua extremidade por cadeados, que tiveram suas massas aferidas, como mostradas na figura 1.8.



Figura 1.7: fio passando pela polia e descendo por trás do conjunto suporte e grampo



Figura 1.8: extremidade do fio presa a cadeados tracionadores

DESCRIÇÃO DA PARTE 3: sistema de amplificação do sinal, composto de base de madeira com amplificador e estroboscópio e cabos de ligação

As figuras 1.9 e 1.10 mostram, respectivamente, as visões frontal e posterior do amplificador multiuso modelo Deltrônica AM20 RCA 120/220V (1), específico para amplificar baixos sinais de áudio dos MP3, PC, Notebook, etc., bem como o estroboscópio. O amplificador é utilizado para amplificar o sinal oriundo do aplicativo gerador de áudio e que foi instalado num smartphone para ser utilizado junto com o produto. Sua saída amplificada que pode ser ligada a diversos tipos de caixa de som (2, 4, 6 ou 8 ohms). Tem dimensões 6cm x 9cm x 15cm, com entrada RCA e saída de encaixe por pressão. Possui controle de volume e fonte de alimentação 110/220 V (4). Esta afixado a uma base de madeira de dimensões 20cm x 15cm x 2cm, juntamente com

o estroboscópio. Na vista frontal é possível ver seu controle de volume e chave liga-desliga (2).

A figura 1.11 mostra o aparato experimental montado. Nela, podemos observar o cabo com o plugue P2 estéreo a ser conectado à saída de áudio do smartphone, cuja outra extremidade possui dois plugues RCA conectados às duas entradas de áudio do amplificador, como mostrado na figura 1.9. O alto-falante da parte 1 é então conectado a quaisquer umas das duas saídas de áudio do amplificador, mostradas na figura 1.11. Podemos ainda ver o fio preso à haste rosqueada de alumínio, passando pelo “U” recurvado da haste de cobre, passando pela polia, descendo por trás da parte 2 do aparato e, finalmente, sendo tracionado pelos cadeados aferidos.



Figura 1.9: visão frontal da base com amplificador e cabo de áudio com as duas entradas RCA conectadas



Figura 1.10: visão posterior da base de madeira com amplificador, estroboscópio e cabo de força



Figura 1.11: aparato montado

#### DESCRIÇÃO DA PARTE 4: aplicativo gerador de áudio

Depois de muita pesquisa, escolhemos o aplicativo gerador de sinais de onda senoidais ToneGen. Esse aplicativo, que pode ser baixado gratuitamente pelo PlayStore em qualquer celular Android, fornece um sinal de áudio senoidal, de frequência única, que pode ser ajustada de 1 Hz a 22 KHz. Pode gerar até 16 tons simultaneamente, mostrando a forma da onda e sua frequência no visor do celular. É de fácil manipulação e tem ajuste fino de frequência. As figuras 1.12 e 1.13 mostram, respectivamente, o ícone do aplicativo na área de trabalho de um smartphone e sua interface gráfica, com comandos e visor.

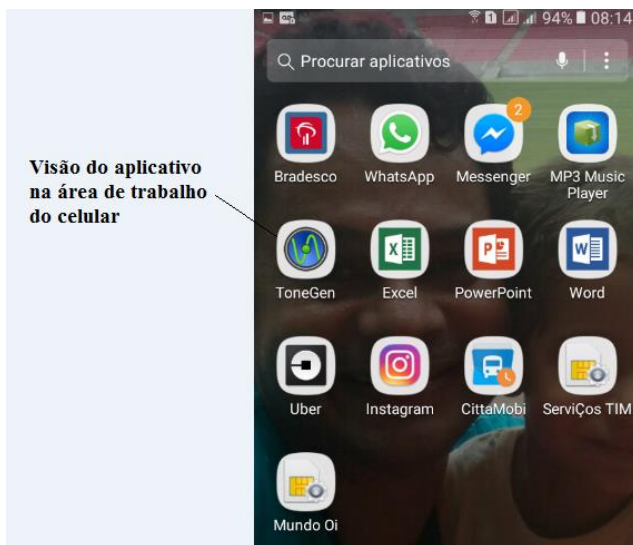


Figura 1.12: visão do ícone do aplicativo instalado na área de trabalho do celular

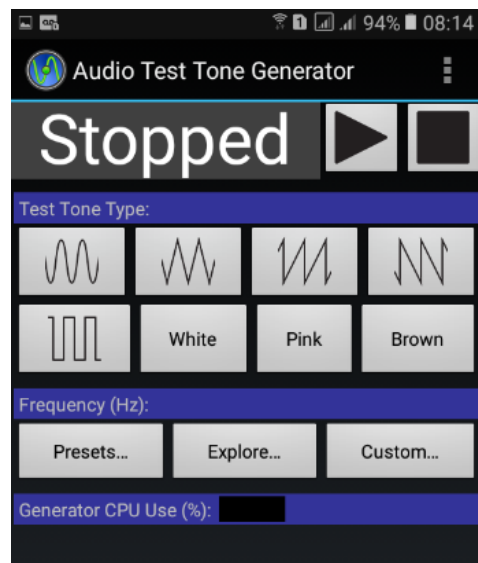


Figura 1.13: interface do aplicativo em funcionamento

## ORÇAMENTO MÉDIO DO APARATO

O aparato foi totalmente planejado e construído por nós, tendo como referencia principal a montagem feita por Melde em meados do século XIX. Fizemos primeiro um projeto, depois adquirimos todos os materiais para a sua montagem. Em um dia de domingo, fizemos a montagem da base de madeira da parte 1 do aparato, como mostrado nas figuras abaixo.



Figura 1.14: medição da madeira da base do aparato do alto-falante

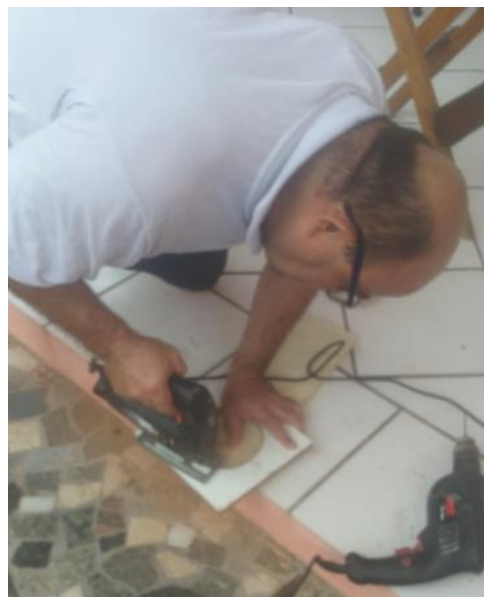


Figura 1.15: corte para acoplamento na base

Após o corte e montagem da base de madeira do aparato, fizemos a pintura e os acabamentos. Três dias depois, em uma quarta, no Departamento de Educação da UFRPE, fizemos a parafusagem do alto-falante na base de madeira e colamos no cone do alto-falante a haste de cobre. Fizemos também a montagem da madeira e parafusagem da roldana no mecanismo tracionador, como mostrado nas fotos abaixo.



Figura 1.16: parafusagem do alto-falante na base de madeira      Figura 1.17: colagem da haste de cobre

Porém, para quem não tem tempo ou habilidade na montagem da base de madeira, fizemos uma pesquisa entre marceneiros pelos bairros da Várzea e Caxangá da cidade de Recife, no período entre 15 e 20 de abril de 2018. E, em média, eles cobraram um preço entre R\$ 40,00 e R\$ 50,00 para fazer essa base e sua pintura, com as medidas descritas na parte 1 acima. Em qualquer loja de venda de equipamentos de som pode-se encontrar o alto-falante. O amplificador pode ser adquirido pela internet, em sites como Mercado Livre ou de lojas como a do Magazine Luiza. Parafusos, roscas, cola, chaves de fenda, polias, fio de cobre, cadeados, mecanismo tracionador, cabo de áudio, podem ser adquiridos em grandes lojas como a Tend Tudo ou Ferreira Costa. Usamos como fio oscilante cordas de violão, de aço e de náilon, que podem ser adquiridas facilmente em lojas de venda de instrumentos de som. A montagem do nosso modelo de oscilador de Melde, com parafusagem, colagem, etc, é um exercício prazeroso de física experimental e pode ser feito junto com os alunos. A própria montagem pode estimular o estudo de como funciona um alto-falante, um amplificador, para que servem, etc.

Abaixo mostramos um quadro contendo o orçamento de equipamentos mais importantes para montagem do aparato.

Equipamento	Descrição	Preço Médio
	<p>Base de madeira do aparato medindo 23cm x 23cm x 7cm com furo central de diâmetro de 16cm para acoplagem do alto-falante</p>	<p>Entre R\$ 40,00 e R\$ 50,00</p>
	<p>Alto-falante 6 polegadas, potência de 100W RMS 4 ohms bobina simples</p>	<p>Entre R\$ 35,00 a R\$ 40,00</p>
	<p>Mecanismo tracionador de aço</p>	<p>R\$ 17,00</p>
	<p>Amplificador de áudio DELTRÔNICA AM20 RCA 20WRMS 110/220 V E 12 V</p>	<p>R\$ 94,00</p>
	<p>Polia com parafuso</p>	<p>R\$ 7,50 cada</p>
	<p>Cabo MD9 P2 macho para P2</p>	<p>R\$ 13,00</p>

	<p>Haste rosqueada de alumínio</p>	<p>R\$ 15,00</p>
	<p>Cadeados de latão 25mm, 45mm e 70mm</p>	<p>Respectivamente R\$ 11,00, R\$ 24,00 e R\$ 45,00</p>
	<p>Conjunto de 6 cordas de violão de aço</p>	<p>R\$ 6,00 OBS: o conjunto de cordas de náilon custa R\$ 5,00</p>
	<p>Gerador de áudio com ajuste fino para celular Tone Generator</p>	<p>Grátis, baixado a partir do Play Store do celular</p>
		<p><b>CUSTO MÉDIO TOTAL: ENTRE R\$ 310 a R\$ 325</b></p>

Quadro 1 : Orçamento de equipamentos básicos para a montagem do aparato

É importante salientar que o aparato experimental, nesse trabalho, foi usado em investigação em cordas oscilantes fixas e em instrumentos musicais, com ênfase o violão. Mas, existem varias possibilidades de uso do aparato experimental por nós

desenvolvido, como mostram vários autores durante nossa pesquisa (COELHO E TONEGUZZO, 1990; CAVALCANTE, PEÇANHA E TEIXEIRA, 2013; CATELLI E MUSSATO, 2014). Algumas das possibilidades de uso descrevemos abaixo.

- A parte elétrica do aparato como o amplificador, pode ser estudada vários temas, tais como a relação entre som e eletricidade.
- No alto-falante existe um ímã, que pode ser investigado em suas propriedades: por que e como o ímã ajuda no funcionamento do alto-falante? Quais propriedades magnéticas estão relacionadas com o som produzido pelo alto-falante?
- Estudo da tensão na corda produzida pelos cadeados: as forças que estão presentes quando o aparato está funcionando. Isso seria uma ótima oportunidade do estudo de forças em corpos.

## 2. METODOLOGIA

### 2.1. Conjunção Aprendizagem Significativa e Ensino por Investigação

A Psicologia Cognitiva teve na década de 70 do milênio passado uma grande ascensão, com os estudos de Piaget, Ausubel, Novak, dentre outros (MOREIRA, 2011; ZOMPÊRO E LABURÚ, 2010). Essas pesquisas estavam direcionadas para a compreensão dos processos que envolvem aprendizagem, com base na estrutura cognitiva do aprendiz. Procurava-se entender a Estrutura Cognitiva como uma base de todos os conteúdos e idéias de um indivíduo, organizados em uma determinada área particular da complexa organização mental humana.

As Atividades de Ensino Investigativas tem a finalidade de fazer com que os alunos construam representações coerentes com o Conhecimento Científico. Em vários estudos, são conhecidos também por Aprendizagem por Projetos ou Ensino por Descoberta, com algumas poucas variações (ZOMPERO E LABURÚ, 2010), todas tendo alguns objetivos comuns, tais como partir de um problema, promover o raciocínio, desenvolver habilidades cognitivas e incentivar a cooperação. Novak (apud CARVALHO, 2017, p. 37) afirma que “Alguém aprende quando troca significados com: professor, colegas, livros, etc. Por isso a importância das atividades em grupo.”



Carvalho (2017) nos oferece também uma Metodologia de Ensino por Investigação, através de cinco etapas:

**Etapa 1: Problematização** – em que um, ou vários, problemas iniciais sobre o conteúdo a ser trabalhado é apresentado aos alunos. Esses problemas podem também ser elaborados pelos próprios alunos a partir dos Organizadores Prévios apresentados pelo professor, que são recursos didáticos introdutórios ativadores de subsunçores dos alunos.

**Etapa 2: Hipóteses** – a partir das idéias prévias dos alunos, eles organizam respostas às problematizações da primeira etapa.

**Etapa 3: Plano de Trabalho** – são elaborados planos de trabalho e pesquisa, no intuito de pesquisar como resolver a problematização inicial. Essa pesquisa pode ser bibliográfica, experimental, de campo, etc.

**Etapa 4: Obtenção de Dados** - elaborado o plano de trabalho, passa-se à obtenção de dados, registro, tabelas, análise.

**Etapa 5: Conclusão** – a partir dos dados, tabelas, registros obtidos, faz-se uma análise para a comprovação, ou não, da hipótese inicialmente elaborada. Essa conclusão é, então, divulgada a outros grupos, para debate e análise.

A depender do envolvimento dos professor (P), e da liberdade dos alunos (A), Carvalho nos mostra cinco níveis de planos de atuação: do puramente tradicional, centrado e desenvolvido pelo professor, com o aluno como espectador (nível I), ao nível mais puramente científico, em que o aluno tem total liberdade e responsabilidade de todo processo (nível V).

GRAU	I	II	III	IV	V
Problema	-	P	P	P	A/P
Hipótese	-	P/A	P/A	P/A	A
Plano de trabalho	-	P/A	A/P	A	A
Obtenção dos dados	-	A/P	A	A	A
Conclusão	-	A/P/Classe	A/P/ Classe	A/P/Classe	A/P/ Sociedade

Quadro 2: Graus de liberdade professor/aluno na aula investigativa

Filmar a aula é uma atitude muito produtiva não só para o ensino investigativo, mas para qualquer espécie de metodologia que se queira ter sucesso no processo ensino-aprendizagem em sala de aula. Obviamente, parece-nos muito difícil, para não dizer quase impossível, filmar todas as aulas ministradas em todas as turmas. O que propomos é que se registrem pelo menos algumas aulas, aquelas que se queira iniciar novos conteúdos, que se queira saber a reação da turma frente a organizadores prévios. É importante também para descobrir-se o que esses alunos já sabem sobre o conteúdo a ser apreendido. Essa investigação prévia é essencial para a condução das aulas posteriores: partir do que o aluno já sabe. A própria Anna Maria Pessoa de Carvalho, em uma entrevista para a UNESP TV, em agosto de 2012 (entrevista essa que pode ser acessada em: <https://www.youtube.com/watch?v=IMyfqxACezE>), nos relata que

[...] esta relação entre o agir do professor e o crescimento do aluno ela (a professora) precisa ver [...] aí que está a construção do conhecimento dela: leva a ela tomar consciência e explicar a sua aula [...]. Gravar a aula é essencial: uma coisa é você achar que fez isto, e outra coisa é você ver se você fez ou não [...] ver o aluno fazendo com sua pergunta antes, ver a relação professor-aluno. (vídeo acessado e assistido em 11 de março de 2018).

Zompêro e Laburú (2011) nos mostram que a Metodologia de Ensino por Investigação tem muito a contribuir para uma real Aprendizagem Significativa dos aprendizes. Veremos:

- I. Se o aprendiz deseja investigar, ele deve estar engajado no processo de investigação. Então, esse aluno adquire a disposição em aprender, condição essencial para uma aprendizagem significativa.
- II. Quando é apresentado um problema aos alunos, estes buscam uma solução através de seus conhecimentos prévios. Por isso, o problema proposto deve ser significativo aos estudantes, de modo que estes possam representá-lo mentalmente através de modelos mentais, esquemas. Com isso, conseguem levantar hipóteses.
- III. A busca por comprovação de suas hipóteses faz com que os alunos se envolvam na busca de novos conhecimentos e na aplicação desses conhecimentos em novas situações. A busca por um plano de trabalho requer a pesquisa de novas informações necessárias à resolução do problema. Numa pesquisa envolvendo aparato experimental podem-se relacionar dados, elaborar tabelas e gráficos, que podem revelar relações entre entes grandezas. Isso é característica de aprendizagem significativa: uso de subsunçores como ponto de ancoragem para novos conhecimentos.

IV. A comunicação dos resultados é uma avaliação do que foi realmente significativamente apreendido, evidenciando os significados que foram adquiridos e propondo a troca de informação entre grupos e grupos e sociedade.

A partir do que foi exposto acima, fica claro que a Metodologia de Ensino por Investigação é fortemente capaz de conseguir com que o aprendiz desenvolva uma aprendizagem Significativa dos conteúdos a serem trabalhados pelo professor. Sasseron (2015, p. 50) afirma que

[...] a Alfabetização Científica tem se configurado no objetivo principal do ensino das ciências na perspectiva de contato do estudante com os saberes provenientes de estudos da área e as relações e os condicionantes que afetam a construção de conhecimento científico em uma larga visão histórica e cultural. O ensino por investigação e a argumentação, por outro lado, cumprem uma função dupla em nossas pesquisas: ao mesmo tempo em que representam modalidades de interação trabalhadas para o desenvolvimento da Alfabetização Científica em sala de aula, constituem-se em formas de estudo dos dados provenientes de nossas pesquisas.

Dessa forma, a conjunção de Investigação com uma aprendizagem Significativa pode possibilitar a Alfabetização Científica dos aprendizes, tornando-os sujeitos conscientes numa sociedade em constante mudança e de frequentes usos de aparatos tecnológicos. Além disso, possibilita ao estudante-cidadão tomar decisões claras e conscientes frente a problemas do uso da Ciência em sociedade, na economia e na política. Acreditamos fortemente que a problematização, a investigação e a aprendizagem significativa em Ensino de Ciências podem formar uma cultura de Alfabetização Científica – que não deve ser confundida com a formação de técnicos em Ciências – e, com isso, cidadãos capazes de decidir os rumos das políticas socioeconômicas no que se refere ao uso da Ciência em sociedade.

Fica, porém, bem nítido que a função da junção Teoria da Aprendizagem Significativa mais Metodologia de Ensino por Investigação não é simplesmente substituir de uma só vez o que os professores vem fazendo há anos no Ensino de Ciências, mesmo os que só praticam o Ensino Tradicional. O que ensinar em sala de aula deve partir da realidade do próprio aprendiz, de sua conjuntura socioeconômica. A sala de aula deve ser um espaço de encontro de várias metodologias, de vários modos de saber, de vários modos de aprender. Com isso, o que propomos deve ser mais um recurso à disposição do profissional de educação em sua tarefa principal: desenvolver nos alunos aprendizagens, e, além disso,

Do ponto de vista prático, trata-se de retomar vigorosamente a luta contra a seletividade, a discriminação e o rebaixamento do ensino das camadas

populares. Lutar contra a marginalidade por meio da escola significativa engajar-se no esforço para garantir aos trabalhadores um ensino da melhor qualidade possível nas condições históricas atuais [...] (SAVIANI, 2012, p. 31).

Portanto, o desenvolvimento de uma alfabetização científica pode ser mais uma arma na luta contra as desigualdades sociais. Uma escola cientificamente inclusiva, principalmente nas camadas populares, pode garantir uma sociedade inclusiva, em que os trabalhadores possam decidir conscientemente sobre políticas sociais, ambientais e econômicas que envolvam ciência e tecnologia. Por isso, para a desalienação da sociedade, acreditamos fortemente numa alfabetização científica como um dos suportes de construção de uma sociedade mais igualitária e consciente de suas decisões para si e para o futuro.

## 2.2. Ondas Estacionárias na Música: uma proposta de Sequência de Ensino por Investigação (SEI) Significativa

O estudo das ondas é de fundamental importância em várias áreas da ciência e tecnologia do mundo de hoje. Celulares, música, internet, exames mais sofisticados usando ondas, laser como instrumento na medicina... Então, essa área do conhecimento tem potencial incrível de atrair os estudantes, pois há sempre algo relacionado a ondas e o dia a dia do aprendiz. Por tudo isso, o estudo das Ondas em vários de seus aspectos tem um potencial enorme de desenvolvimento de aprendizagens significativas, por:

- a) Estar relacionado ao cotidiano do aluno em vários aspectos: na música, no uso do celular, nos problemas causados pelo Efeito Estufa, etc. Assim, tem enorme potencial de ativar subsunçores nos estudantes;
- b) Tem uma enorme gama de problematizações a serem construídas.

Não é novidade que a música atrai, impressiona, emociona e possui uma bela história no desenvolvimento não só da Física, como da matemática e outras áreas do conhecimento (ABDOUNUR, 2003; MONTEIRO JUNIOR; CARVALHO, 2011). Porém, pesquisas mostram que os livros didáticos que abordam o tema ACÚSTICA, tratam-no de modo superficial, sem uma problematização significativa e sem uma relação mais acurada com o mundo da música, deixando de lado uma poderosa arma de um ensino que envolva aspectos conhecidos pelos estudantes: instrumentos musicais,

como o violão, a flauta ou o tambor. Monteiro Junior e Carvalho (2011, p. 140) nos dizem que

Tais textos didáticos quando fazem uso de ligações com a música, o fazem de forma bastante superficial, limitando-se, quase sempre, a falar das cordas e tubos sonoros, das notas musicais e, quando muito, das escalas maior e menor natural. [...] De forma geral, não há qualquer relação das apresentações textuais com os diversos mundos com os quais a acústica, enquanto ciência, se relaciona, retratando um aparente descompasso entre tais livros e o mundo real.

Ondas estacionárias se formam pelo encontro de duas ondas iguais, mas em sentidos opostos, normalmente confinados em uma região do espaço. Por isso, possuem uma velocidade de propagação nula, apesar de possuírem energia. Estão presentes como ondas sonoras confinadas em um tubo ou em cordas fixas. No encontro dessas ondas existe o fenômeno da SUPERPOSIÇÃO dessas ondas, que ocasiona a INTERFERÊNCIA de uma onda em outra. Os ventres são os pontos em que ocorrem as interferências construtivas, pontos em que a onda estacionária possui amplitude máxima, e os vales serão os pontos onde ocorre interferência destrutiva, em que a amplitude é nula. A distância entre dois ventres, ou dois nodos, será a metade do comprimento de onda da onda estacionária, como mostra a figura abaixo.

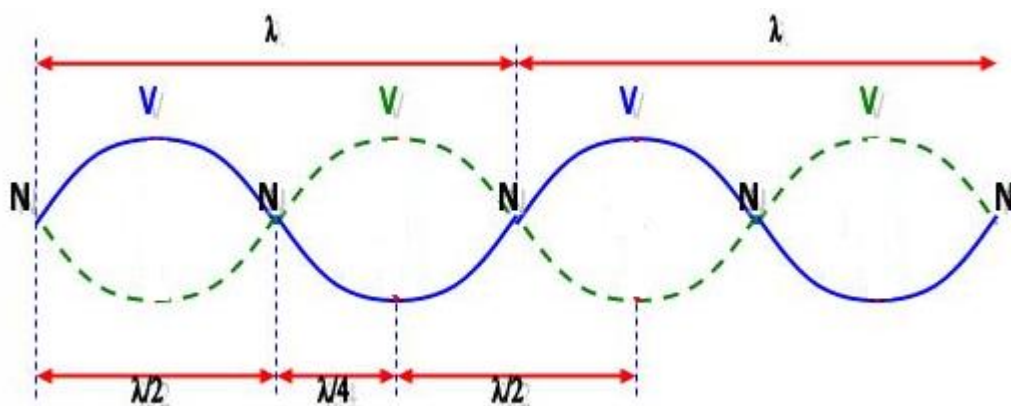


Figura 2.1: elementos de uma onda estacionária. Retirado de <https://www.colegioweb.com.br/fenomenos-ondulatorios/ondas-estacionarias.html>, acessado em 25/02/2018

Em música, temos os seguintes termos importantes:

- I. Nota Pura: som produzido que possui frequência única, uma única nota.
- II. Intervalo entre Notas: razão entre as frequências das notas. Assim:

$$I = \frac{f_{n+1}}{f_n}, n = 1, 2, \dots$$

- III. Semitom: intervalo entre duas notas consecutivas.
- IV. Tom: intervalo entre duas notas, separadas por uma terceira.
- V. Intervalo de Oitava: é o intervalo entre uma nota musical e outra com metade ou dobro da frequência. Em musica, diz-se que quando duas notas estão separadas por um intervalo de oitava, elas são iguais.
- VI. Escala Cromática: divide o intervalo de oitava em 12 partes, criando 12 intervalos iguais, chamados semitons. Na escala cromática, a nota será  $\sqrt[12]{2}$  vezes maior que sua anterior, definindo uma progressão geométrica.
- VII. Consonante: duas notas que, tocadas juntas, soam de forma agradável.

Monteiro Jr., Medeiros e Medeiros (2003) apontam que os termos da progressão geométrica que determina o padrão de intervalos da escala cromática são dados por  $f_n = f_1(\sqrt[12]{2})^{(n-1)}$ , com  $f_1$  como a frequência fundamental e n variando de 1 a 13, completando uma oitava. No mesmo artigo mostram ainda a escala cromática inteira, com seus “acidentes”: sustenidos (símbolo #) e bemóis (símbolos b), que apresentam frequência maior que a nota anterior e menor que a nota posterior, respectivamente, do Lá central do teclado do piano ( $f = 220$  Hz).

NOTA	SÍMBOLO <sup>7</sup>	TERMOS DA PROGRESSÃO GEOMÉTRICA $a_n = 220(\sqrt[12]{2})^{(n-1)}$	FREQUÊNCIA <sup>8</sup> (Hz)
La	A	$a_1 = 220$	220
La#/Sib	A#/Bb	$a_2 = 220(\sqrt[12]{2}) = 233,081880$	233
Si	B	$a_3 = 220(\sqrt[12]{2})^2 = 246,941650...$	247
Dó	C	$a_4 = 220(\sqrt[12]{2})^3 = 261,625565...$	261
Dó #/Reb	C#/Db	$a_5 = 220(\sqrt[12]{2})^4 = 277,182630...$	277
Re	D	$a_6 = 220(\sqrt[12]{2})^5 = 293,664767...$	293
Re#/Mib	D#/Eb	$a_7 = 220(\sqrt[12]{2})^6 = 311,126983...$	311
Mi	E	$a_8 = 220(\sqrt[12]{2})^7 = 329,627556...$	330
Fá	F	$a_9 = 220(\sqrt[12]{2})^8 = 349,228231...$	349
Fá#/Solb	F#/Gb	$a_{10} = 220(\sqrt[12]{2})^9 = 369,994422...$	370
Sol	G	$a_{11} = 220(\sqrt[12]{2})^{10} = 391,995435...$	392
Sol#/Láb	G#/Ab	$a_{12} = 220(\sqrt[12]{2})^{11} = 415,304697...$	415
Lá	A	$a_{13} = 220(\sqrt[12]{2})^{12} = 440$	440

Figura 2.2: escala cromática do Lá central de um piano (MONTEIRO; MEDEIROS; MEDEIROS, 2003).

Em um violão, a escala cromática determina a distancia entre os trastes. O 12º traste será o ponto médio. Os trastes encurtam a corda a ser excitada do violão, modificando os modos normais de vibração (harmônicos) da corda. Ondas estacionárias correspondem a cada um dos modos normais de vibração da corda do violão. Geralmente, a corda vibra em mais de um harmônico, assim produzindo um som composto de muitas frequências naturais. Naturalmente, com o aumento do harmônico, há a diminuição da intensidade sonora, representada pela amplitude da onda. Por isso, existe predominância na audição de poucas frequências quando a corda é dedilhada, como mostram as figuras abaixo.

Traste	Harmônica Predominante
<b>Corda Solta</b>	<b>1º</b>
<b>12</b>	<b>2º</b>
<b>7 ou 19</b>	<b>3º</b>
<b>5 ou 24</b>	<b>4º</b>
<b>4*</b>	<b>5º *</b>
<b>3 (um pouco acima)*</b>	<b>8º *</b>

Figura 2.3: harmônicos predominantes a partir dos trastes de um violão. Retirado de [http://www.handmades.com.br/forum/index.php?page=Func\\_Dist](http://www.handmades.com.br/forum/index.php?page=Func_Dist), acessado em 28/03/2018

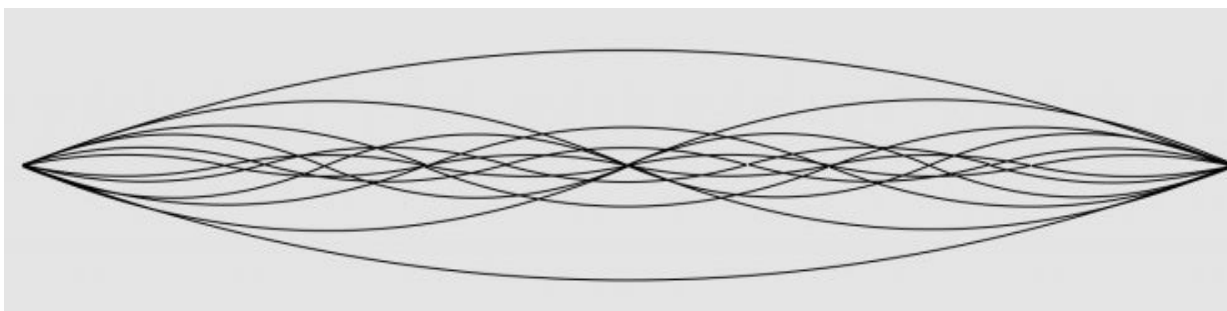


Figura 2.4: vibração de uma corda de um violão com suas várias frequências (sons diferentes), cada som representando um harmônico. Retirado de <http://violaoparainiciantes.com/o-que-e-harmonico-natural/#sthash.T8YJjQjO.rNJD3tZQ.dpbs>, acessado em 28/03/18

A corda de um violão pode ser considerada de densidade linear, massa por comprimento, constante  $\mu$  e suas frequências de oscilações naturais (harmônicos) podem ser calculadas por

$$f_n = \frac{n}{2Lr} \sqrt{\frac{T}{\mu\pi}}$$

em que L será o comprimento da corda, r o raio da corda, T a força tensora sobre a corda e n o número de harmônico.

A partir de tudo isso, construímos uma Sequência de Ensino por Investigação (SEI) Significativa que possa fazer com que o estudante aprenda significativamente conceitos de ondulatória e acústica. Usamos o violão como elemento problematizador por ser um instrumento de fácil manipulação e atrativo, podendo ativar um dos elementos chave numa aprendizagem significativa: a vontade do aluno em aprender. O aparato Oscilador de Melde por nós construído, com uma nova forma de montagem, nos ajudará a obter dados essenciais para resposta aos questionamentos levantados. O quadro a seguir mostra nossa proposta de SEI Significativa.



ETAPAS	OBJETIVOS	TEMPO ESTIMADO
1. Organizadores Prévios	Aula inicial, em power point, ministrada pelo professor, com a finalidade de despertar/construir subsunçoes, tais como elementos de uma onda, tipos de ondas, ondulatória e música, etc.	1º encontro: 2 horas/aula
2. Problematização	Com o violão, problematizar com questões propostas pelo professor ou pelos próprios alunos.	
3. Construção de Hipóteses	Dividir a turma em grupos e deixá-los encontrar hipóteses de resolução das problematizações.	
4. Construção de Plano de Trabalho	Planejar com os grupos datas para trabalho no aparato. Explicar o funcionamento básico do aparato.	
5. Obtenção de dados (uso do aparato)	Cada grupo separadamente, em data e horários pré marcados, manipulará o aparato, na busca de relações e dados para a possível resolução das hipóteses. Poderá ser debatidas entre o grupo conclusões prévias da análise dos dados obtidos.	2º encontro: 2 horas/aula para cada grupo
6. Conclusão e Comunicação	Após análise dos dados, os grupos debaterão os resultados entre si e depois entre os grupos.	3º encontro: 2 horas/aula, divididas da seguinte maneira: - 1 hora/aula para o debate dentro de cada grupo - 1 hora/aula para o debate entre os grupos

Em nossa proposta de SEI Significativa, iniciamos com uma aula ministrada pelo professor. Essa aula servirá para despertar e/ou criar subsunçores relativos à ondulatória e acústica. Essa aula deve ter um maior nível de generalização e inclusão, sendo planejada para servir de ponte entre o que o estudante já sabe e o que se deseja que esse estudante aprenda. Assim, os organizadores prévios podem ter grande potencial facilitador da conceituação, pois, como diz Vergnaud (apud MOREIRA, 2013) “são as situações que dão sentido aos conceitos.”. Nessa aula apresentamos os principais conceitos, tais como: O que é uma onda e os tipos de onda, frequência, comprimento de onda, amplitude e velocidade de onda, interferência, ondas sonoras, altura e intensidade do som, ondas estacionárias e harmônicos, nota musical, e escala temperada.

A partir dessa aula, vamos à problematização: com o uso de um violão, introduzimos ondas estacionárias nas cordas do violão. Damos uma breve explicação sobre as principais partes do violão: braço, rastilhos, cordas, boca, etc. Então, dedilhando as cordas do violão, produzindo os sons, podemos fazer vários questionamentos, tais como:

- a) Por que a 1<sup>o</sup> corda é mais fina?
- b) Para que servem os trastes?
- c) Para que serve a boca do violão?
- d) Quando dedilhamos uma corda solta, quantos harmônicos são produzidos?

Podemos, também, deixar que os próprios estudantes criem problematizações, a partir de suas curiosidades. Separados em grupos de 5 a 8, os alunos irão discutir as problematizações propostas pelo professor ou criar seus próprios questionamentos. Cada grupo irá escrever em uma folha de papel ofício, previamente fornecida pelo professor, seus questionamentos. Então, os grupos discutirão possíveis respostas aos questionamentos. Isso é uma fase muito importante da atividade, pois irá mostrar que subsunçores serão ativados na busca de respostas. Para levantar hipóteses sobre os questionamentos, os alunos terão que ativar conhecimentos prévios, discutir em grupo cada possível resposta, escrever. A experiência demonstra que se trata de uma etapa muito proveitosa para a construção do conhecimento.

Após isso, junto a cada grupo é construído um plano de trabalho. A função principal desse plano será responder à seguinte pergunta: como comprovar que a hipótese está correta? Esse plano envolverá o planejamento de utilização do aparato experimental (oscilador de Melde) para a aquisição de dados úteis, tais como frequência dos harmônicos, tensão na corda, amplitude, etc. Cada grupo marcará uma data e horário para trabalhar no aparato. Os grupos trabalharão no aparato separadamente, cada um livre para pesquisar e medir as variáveis que definam como mais importante para suas hipóteses. O professor irá apenas ajudar os grupos quando necessário, na manipulação do aparato e como obter os dados que o grupo precisa.

A manipulação do aparato experimental será a fonte de obtenção de dados. Cada grupo, em data pré marcada, terá duas hora/aula para obtenção dos dados/medidas que serão usados para comprovar/refutar as hipóteses levantadas pelo grupo. Os dados obtidos pelo aparato, como frequência, comprimento de onda, amplitude, tensão na corda, número de harmônicos, podem ser usados também para novas descobertas. As cordas usadas no aparato são as cordas de um violão, de náilon ou aço. Com isso, cada grupo investigará as características dessa corda oscilando em ondas estacionárias no aparato.

Os próprios estudantes, durante a fase de questionamento e produção de hipóteses, identificaram que variáveis em uma corda oscilante fixa, como a do violão, são importantes para a verificação e resposta de suas problematizações. A esse tipo de abordagem Carvalho (2013) chamou de roteiro aberto, na qual os alunos decidem quais medidas são importantes para a manipulação do aparato, elaborando uma tabela de medidas que será muito importante para o estudante tomar consciência das grandezas que influenciam o fenômeno a se ser estudado. Com essa liberdade de escolha, e não uma tabela pronta trazida pelo professor, o estudante pode começar a pensar, por si só e em grupo, nas variáveis que ele acredita serem importantes na compreensão do fenômeno. Isso faz que ele tome consciência sobre por que medir, como medir e para que servirá essa medida, ou seja, o que essa medida mostra. Isso é construção de conhecimento novo! A partir disso, os estudantes decidiram quais variáveis seriam importantes para a compreensão da corda oscilante e sua relação com a música, e com isso foi criado o quadro a seguir, feito pelos próprios estudantes, para auxiliá-los na fase de obtenção de dados. Ficou acertado que cada grupo trabalharia com um tipo de corda de violão: náilon ou aço. É importante que os grupos tenham liberdade para

investigar, no aparato experimental, os dados que sejam como significativos na compreensão de suas inquietações. Isso destoa do que é normalmente feito em aulas experimentais: os dados a serem investigados são previamente escolhidos pelo professor, deixando aos alunos apenas a tarefa de medir e obter dados que o professor já sabia previamente que seriam obtidos.

EREM OLINTO VICTOR

Data: \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_

Grupo: \_\_\_\_\_

TRABALHO EXPERIMENTAL COM APARATO OSCILADOR DE MELDE: MEDIDAS

Corda do violão (\_\_\_\_\_)

	COMPRIMENTO DA CORDA	TENSÃO NA CORDA	FREQUENCIA 1º HARMONICO	FREQUENCIA 2º HARMONICO	FREQUENCIA 3º HARMONICO
Cumprimento da amplitude	_____	_____			

Corda do violão (\_\_\_\_\_)

	COMPRIMENTO DA CORDA	TENSÃO NA CORDA	FREQUENCIA 1º HARMONICO	FREQUENCIA 2º HARMONICO	FREQUENCIA 3º HARMONICO
Cumprimento da amplitude	_____	_____			

Corda do violão (\_\_\_\_\_)

	COMPRIMENTO DA CORDA	TENSÃO NA CORDA	FREQUENCIA 1º HARMONICO	FREQUENCIA 2º HARMONICO	FREQUENCIA 3º HARMONICO
Cumprimento da amplitude	_____	_____			

Corda do violão (\_\_\_\_\_)

	COMPRIMENTO DA CORDA	TENSÃO NA CORDA	FREQUENCIA 1º HARMONICO	FREQUENCIA 2º HARMONICO	FREQUENCIA 3º HARMONICO
Cumprimento da amplitude	_____	_____			

CONCLUSÕES

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

Figura 2.5: tabela de dados e conclusão criada pelos grupos para pesquisa no aparato

Com esse quadro, o grupo pode obter o comprimento da corda, a tensão, frequências dos harmônicos com suas respectivas amplitudes. Essas medidas podem ser

obtidas de cordas diferentes, e comparadas. Pode-se ficar livre ao grupo pesquisar outros dados além dos constantes no quadro. Obtidos os dados, pode-se verificar a relação existente entre várias variáveis na corda oscilante fixa do violão. A partir da verificação das relações entre essas medidas, pode-se chegar a conclusões sobre conceitos importantes em ondulatória-acústica. Deve ficar claro que o quadro acima foi criado pelos estudantes em nossa fase de aplicação da SEI Significativa. Logo, outra turma, em outra escola, pode decidir que outras variáveis sejam importantes para a compreensão do fenômeno de cordas fixas oscilantes em música, como período de vibração, velocidade da corda ou área de seção transversal, variáveis que nosso aparato consegue obter. Então, o quadro acima é um modelo elaborado por nossos estudantes em uma aplicação da SEI Significativa, não sendo algo que necessariamente deva se repetir em outras aplicações, para outro grupo de alunos. Os estudantes pensam e decidem o que medir no aparato e por que.

Após obtenção dos dados-medidas, cada grupo se reunirá e irá discutir os resultados encontrados. Debaterá sobre as hipóteses levantadas e as mensurações conseguidas no aparato, comparando-as. No debate dentro do grupo serão expostas as aprendizagens significativas sobre o conteúdo, e as inquietações de cada um. É fundamental salientar que, nos processos investigativos, as atitudes devem sobressair o simples fazer, conduzindo os estudantes à verdadeira compreensão do por que fazer e como fazer, passando da atividade apenas manipulativa para a atividade reflexiva, consciente e racional. O debate, então, se estenderá aos grupos, em uma reunião final de conclusão dos trabalhos. Assim, cada grupo compartilhará suas inquietações, seus resultados obtidos e suas conclusões.

Desse modo, esperamos que nosso produto educacional sirva como um instrumento pedagógico eficiente em sua finalidade de tornar o processo de ensino-aprendizagem de conceitos principais e importantes de ondulatória, acústica e música significativos e estimulantes.