

**MNPEF**

Mestrado Nacional  
Profissional em  
Ensino de Física



INVESTIGANDO A EQUAÇÃO DE UMA ONDA ESTACIONÁRIA NO TEMPO E  
NO ESPAÇO POR MEIO DE ATIVIDADES EXPERIMENTAIS COMO  
ORGANIZADORES AVANÇADOS

Rodrigo Carneiro da Cunha

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

Orientador:  
Prof. Dr. Francisco Nairon Monteiro Junior

Recife  
Março, 2019.

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

C972i Cunha, Rodrigo Carneiro da.  
Investigando a equação de uma onda estacionária no tempo e no espaço por meio de atividades experimentais como organizadores avançados / Rodrigo Carneiro da Cunha. – Recife, 2019.  
98 f.: il.

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

1. Aprendizagem 2. Física – Estudo e ensino 3. Equação da onda estacionária  
4. Organizadores avançados 5. Didática I. Monteiro Júnior, Francisco Nairon, orient.  
II. Título

CDD 664

INVESTIGANDO A EQUAÇÃO DE UMA ONDA ESTACIONÁRIA NO TEMPO E  
NO ESPAÇO, POR MEIO DE ATIVIDADES EXPERIMENTAIS COMO  
ORGANIZADORES AVANÇADOS

Rodrigo Carneiro da Cunha

Orientador: Francisco Nairon Monteiro Junior

Dissertação de Mestrado submetida ao Programa de Pós-Graduação Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física – Polo 58 no Curso de Mestrado Profissional de Ensino de Física (MNPEF), como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Aprovada por:

---

(presidente / orientador):

Dr. Francisco Nairon Monteiro Júnior (DE - UFRPE)

---

(titular interno):

Dr. Michael Lee Sundheimer (DF - UFRPE)

---

(titular externo):

Dr. João Francisco Liberato de Freitas (CICEN - UFPE)

---

(suplente interno):

Dr. Adauto José Ferreira de Souza (DF - UFRPE)

---

(suplente externo):

Dr. Anderson Luiz da Rocha e Barbosa (DF - UFRPE)

Recife  
Março, 2019.

Dedico esta dissertação à minha família, a todos os meus professores de toda minha vida escolar e acadêmica, aos meus alunos e aos meus amigos.

## **Agradecimentos**

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

Também agradeço pelo apoio que recebi de todos os meus professores da UFRPE, principalmente ao meu orientador Francisco Nairon Monteiro Júnior.

## RESUMO

### INVESTIGANDO A EQUAÇÃO DE UMA ONDA ESTACIONÁRIA NO TEMPO E NO ESPAÇO POR MEIO DE ATIVIDADES EXPERIMENTAIS COMO ORGANIZADORES AVANÇADOS

Rodrigo Carneiro da Cunha

Orientador: Francisco Nairon Monteiro Junior

Dissertação de Mestrado submetida ao Programa de Pós-Graduação Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física – Polo 58 no Curso de Mestrado Profissional de Ensino de Física (MNPEF), como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

A presente dissertação consiste na elaboração de uma sequência didática e de um produto educacional, potencialmente significativos para o processo de ensino-aprendizagem da Física Ondulatória, utilizando organizadores avançados como uma estratégia de ensino na preparação dos alunos para o entendimento da equação da onda estacionária. Para tanto, fundamentamos esse estudo e a elaboração dos aparatos educacionais construídos a partir dele, na Teoria da Aprendizagem Significativa de David Ausubel (1968) e Marco Antônio Moreira (1997). Buscamos, com isso, minimizar as dificuldades relacionadas ao processo de ensino-aprendizagem de conceitos físicos, especialmente no tocante ao conteúdo de ondas e facilitar a aprendizagem e a compreensão de algumas propriedades das ondas estacionárias e das relações matemáticas existentes nas grandezas envolvidas. Dentre os resultados obtidos por meio da aplicação do produto e da análise dos dados coletados, é possível informar que alguns alunos conseguiram atingir níveis de sofisticação da aprendizagem e de aprimoramento das respostas, não verificados no início da atividade proposta, conseguindo compreender de forma adequada como são estabelecidas as relações matemáticas entre as grandezas presentes na equação da onda estacionária.

**Palavras-chave: equação da onda estacionária, aprendizagem significativa, organizadores avançados**

Recife  
Janeiro, 2019.

## ABSTRACT

INVESTIGATING A STATIONARY WAVE EQUATION IN TIME AND IN SPACE, BY MEANS OF EXPERIMENTAL ACTIVITIES SUCH AS ADVANCE ORGANIZERS.

Rodrigo Carneiro da Cunha

Advisor: Francisco Nairon Monteiro Junior

Masters Dissertation subject to the “Pós-Graduação Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física – Polo 58” in the “Curso de Mestrado Profissional de Ensino de Física” (MNPEF), as part of the necessary requirements in the achievement of the Physics Teaching Master’s Degree.

The current dissertation consists in the elaboration of a didactic sequence and an educational product, which are potentially significative to the process of teaching-learning of Wave Physics, utilizing advanced organizers as a strategy of teaching in preparation of students for the understanding of the stationary wave equation. For this, we base this study and the elaboration of educational devices built from it, in David Ausubel’s (1968) and Marco Antônio Moreira (1997) Theory of Significative Learning. It is aimed, through this, to minimize the difficulties related to the process of teaching learning of physics concepts, especially focusing on the subject of waves and facilitating the learning and comprehension of some properties of stationary waves and the existing mathematical relations in the greatness involved. Amongst the obtained results through the application of the product and analysis of collected data, it is possible to state that some students managed to reach sophisticated levels of learning and improvement in their answers, which were not verified at the start of the proposed activity, managing to comprehend in adequate form the establishment of mathematical relationships amongst the greatness present and the stationary wave equation.

**Key-words:** equation, stationary wave, significative learning, advance organizers.

Recife  
Janeiro, 2019.

## Sumário

Capítulo 1 .....	1
Introdução .....	1
Capítulo 2 .....	6
Desafios do ensino de ondas e a aprendizagem significativa .....	6
Capítulo 3 .....	15
3.1 Conceitos Básicos da Cinemática e da Ondulatória .....	15
3.2 Equação do Pêndulo Simples .....	17
3.3 Função de onda .....	18
3.4 Equação da Onda .....	20
3.5 Solução da Onda Unidimensional .....	23
3.6 Função de onda no caso estacionário .....	25
Capítulo 4 .....	29
4.1 Descrição e Aplicação do Produto .....	29
4.2 Sequência de atividades educacionais .....	31
Capítulo 5 .....	48
Análise e Conclusões .....	48
Capítulo 6 .....	53
Considerações Finais .....	53
Referências Bibliográficas .....	55
Apêndice A .....	59
O Produto Educacional .....	59
A.1 Introdução .....	59
A.2 Descrição do Produto .....	61
A.3 Confecção dos Aparatos .....	75
Apêndice B .....	83
Material de avaliação – Pré-teste .....	83
Apêndice C .....	84
Atividade da mola <i>Slinky</i> .....	84
Apêndice D .....	85
Atividade do Pêndulo Simples .....	85
Apêndice E .....	86
Atividade do Pêndulo Simples e do trenzinho motorizado .....	86
Apêndice F .....	87
Coleta de Dados – Alunos de 1 a 6 .....	87



# Capítulo 1

## Introdução

Neste trabalho, pretende-se discorrer sobre a elaboração de um produto educacional que consiste em uma sequência didática investigativa, potencialmente significativa para o processo de ensino-aprendizagem da Física Ondulatória. Para isso, se faz uso de diversas fontes, tais como os estudos de David Ausubel (1968) e de Marco Antônio Moreira (1997), incluindo a utilização de organizadores avançados (ou prévios) como uma estratégia de ensino na preparação dos alunos para o entendimento da equação da onda estacionária.

Acreditamos no potencial pedagógico da sequência didática e dos aparatos educacionais, pois os mesmos buscam minimizar as dificuldades dos estudantes relacionadas ao processo de ensino-aprendizagem de conceitos físicos, especialmente no tocante ao conteúdo de ondas, como também, facilitar a aprendizagem e a compreensão de algumas propriedades das ondas estacionárias em cordas vibrantes e das relações matemáticas existentes nas grandezas envolvidas.

A vivência adquirida ao longo dos anos de docência contribuiu para a percepção da dificuldade dos discentes de entenderem a equação de uma onda estacionária. Um dos principais motivos é porque, pela primeira vez no ensino básico, que eles se defrontam com uma função que se relaciona duas variáveis. Tal função relaciona uma variável  $y$ , a qual corresponde à posição da partícula da corda no eixo vertical com outras duas variáveis:  $x$ , que corresponde à posição da partícula da corda no eixo horizontal e  $t$ , associado ao instante de tempo.

Outro problema para os estudantes é o entendimento de que numa onda estacionária em uma corda tensionada existe uma composição de dois movimentos diferentes, supostamente independentes, perpendiculares entre si e que podem ser analisados separadamente. No caso, de analisarmos apenas uma das ondas que se propagam num certo sentido, para resultarem um padrão de onda estacionária, os movimentos independentes seriam: o Movimento Retilíneo Uniforme (MRU) e o Movimento Harmônico Simples (MHS).

Nesse sentido, a escolha dessa temática é, em parte, motivada pela relevância social que tal problemática assume no Ensino de Ciências. De modo que, realçar a importância da construção de nosso produto termina sendo um recurso metodológico e temático que favorece o próprio potencial pedagógico de instrumentos educativos e a sua capacidade de articular e mediar numerosos processos de ensino-aprendizagem.

Assim, o produto desenvolvido na presente dissertação tem a sua gênese na experiência concreta de um professor em sala de aula, tal como dialoga com os objetivos do Programa Nacional de Mestrado Profissional em Ensino de Física (MNPEF): capacitar, em nível de pós-graduação, professores da Educação Básica e auxiliar na assimilação e construção de técnicas e estratégias atuais de ensino para a aplicação em sala de aula.

No Ensino Médio não é comum abordar conteúdos curriculares, tanto de Física como de Matemática, que possuam funções dependentes de duas variáveis. Desse modo, nos propomos a construir uma série de exercícios e experimentos que objetivam treinar as habilidades dos estudantes, com o propósito de facilitar o entendimento da equação de uma onda estacionária e de tornar o ensino de Física atraente e motivador para os jovens, pois para Ostermann,

“é fundamental também despertar a curiosidade dos estudantes e ajudá-los a reconhecer a Física como um empreendimento humano e, portanto, mais próxima a eles. Além disso, uma boa formação científica faz parte de um pleno exercício da cidadania.” (OSTERMANN, 1999, p.267).

Tal esforço é empreendido no sentido de que ao longo dessa sequência teórica e didática seja possível fomentar a construção científica de conhecimentos e de materiais que possibilitem a concepção de uma aprendizagem potencialmente significativa.

Segundo Moreira e Masini (1982), a aprendizagem significativa é:

“[...] um processo por meio do qual uma nova informação relaciona-se, de maneira substantiva (não-literal) e não-arbitrária, a um aspecto relevante da estrutura de conhecimento do indivíduo” (MOREIRA E MASINI, 1982, p.7).

No tocante à equação de uma onda estacionária, alguns desses conceitos prévios não estão presentes nas estruturas de conhecimentos dos estudantes, fato que dificulta a assimilação de um novo conteúdo. De modo que é comum,

no processo de ensino-aprendizagem, a ausência de estratégias educacionais que possibilitem a criação de elos entre os conceitos prévios adequados e o novo conteúdo a ser apresentado aos alunos.

Assim, podemos inferir, através dos estudos de autores como Assis (2011) e Castoldi e Polinarski (2009), que, no geral, as aulas do Ensino Fundamental e Médio são orientadas pela exposição de conteúdos pelo professor, sem que este utilize ferramentas metodológicas voltadas para a construção da aprendizagem significativa.

Tal desafio serve de contexto para a construção desta dissertação e de seu respectivo produto, desenvolvidos a fim de auxiliar e estimular a capacidade dos estudantes de construir uma aprendizagem significativa tomando como base os conceitos aqui ensinados.

Dentro desse contexto, almeja-se pontuar a construção de um produto educacional que promove a aprendizagem significativa da equação de uma onda estacionária por meio de atividades experimentais como organizadores avançados que possibilitam explorar as relações da ordenada de um ponto da corda vibrante ( $y$ ) com a abscissa do mesmo ponto da corda vibrante analisado ( $x$ ) e do ( $y$ ) como instante de tempo considerado ( $t$ ) simultaneamente ou isoladamente.

Assim como, propor aos colegas professores uma sequência didática composta de três momentos pedagógicos nos quais os organizadores avançados são trabalhados com os estudantes em movimentos de diferenciação progressiva e reconciliação integradora procurando o entendimento das partes e do todo, concernentes ao estudo da equação de uma onda estacionária.

No primeiro momento pedagógico existe uma aplicação de um pré-teste e posteriormente uma breve revisão sobre o Movimento Harmônico Simples (MHS) que é fundamental para a compreensão da equação de onda estacionária. Ainda no primeiro momento pedagógico há uma etapa que envolve o Pêndulo Simples, o qual é um exemplo de MHS, mostrando a relação entre o comprimento do fio e o período de oscilação. Para alguns comprimentos de fio deve-se medir o período associado. Com a média desses tempos se compara com o valor esperado pela fórmula mostrada na revisão feita pelo professor de

MHS. Na outra etapa do primeiro momento pedagógico, os estudantes manipulam a mola Slinky, constatando os tipos de ondas longitudinais e transversais e a relação entre a velocidade de propagação com o comprimento de onda e frequência. Obtém-se um conjunto de dados variando a frequência de oscilação e conseqüentemente o comprimento de onda correspondente. É discutido também nessa etapa como a força tensora na mola influencia na velocidade de propagação da onda.

No segundo momento pedagógico há uma utilização do Pêndulo Simples com um trenzinho motorizado de brinquedo que irá desenhar o gráfico da posição em função do tempo numa folha de papel. Mede-se a frequência do Pêndulo e comprimento de onda no papel, calcula a velocidade por meio da equação fundamental e compara com a velocidade do trenzinho. É possível estabelecer uma relação desse experimento com uma onda se propagando numa corda tensa.

Por fim, no terceiro momento pedagógico utiliza-se um gerador de ondas transversais, o oscilador de Melde, no qual os estudantes vão analisar as relações matemáticas da ordenada  $y$  de um ponto da corda com a abscissa  $x$  e também com o instante  $t$  analisado. Nessa etapa é utilizado também um osciloscópio para facilitar a visualização dos movimentos existentes numa onda estacionária em uma corda tensa.

Ao final é realizado um pós-teste com as mesmas questões verificando se houve com a atividade educacional um crescimento pedagógico do aluno em relação ao tema da onda estacionária.

Um aspecto muito importante da nossa atividade é sobre o grau de abertura que indica quanto o roteiro do professor especifica a tarefa do aluno. Segundo Borges (2002), em uma atividade investigativa aberta, há uma liberdade para o estudante para criar e planejar os procedimentos da atividade experimental desde a escolha dos equipamentos e materiais e da forma de montar os aparatos. O estudante também pode decidir a respeito da forma de coletar os dados e como estes seriam registrados em gráficos e tabelas. Porém, uma característica do nosso trabalho é que todas as atividades experimentais são propostas diretamente pelo professor com o roteiro definido de como serão feitos os procedimentos em cada etapa, ficando para o aluno a tarefa de colher

dados e tirar as conclusões, ou seja, uma atividade investigativa em laboratório fechado.

Nos dispomos a realizar, no segundo capítulo desta dissertação, uma breve incursão pela literatura sobre a aprendizagem significativa e as contribuições de Ausubel (1968) e de Moreira (1997) para a elaboração de estratégias pedagógicas e para a prática docente.

No decorrer de nossa pesquisa, como veremos adiante, buscamos situar teoricamente a elaboração do produto e dos aparatos educacionais aqui propostos, mostrando desde o roteiro de elaboração, aos componentes utilizados, findando nos resultados e discussões que articulam o processo de construção da aprendizagem significativa.

## Capítulo 2

### Desafios do ensino de ondas e a aprendizagem significativa

Como apresentado brevemente durante a introdução desta dissertação, propomos aqui a elaboração de um produto educacional objetivando promover a aprendizagem significativa da equação de uma onda estacionária. A importância da teoria da aprendizagem significativa em nossa pesquisa revela-se através da valorização do pressuposto, elaborado pelo autor David Ausubel, de que a aprendizagem ocorre verdadeiramente quando o conhecimento apresentado ao estudante é capaz de interagir com a sua experiência individual.

Nesse sentido, para Freire (1996), “ensinar não é transferir conhecimento, mas criar as possibilidades para a sua própria produção ou a sua construção” (p. 47). Tal frase, tão poderosa para a construção de uma nova perspectiva diante da docência é, também, esteio para a promoção da aprendizagem significativa. De acordo com Almeida (2009),

as ideias de Paulo Freire vão até o mais íntimo da sala de aula. Os professores preparam suas aulas levando em conta o que os alunos já sabem. Eles não são mais elementos vazios, tornam-se um ponto de partida de toda a aprendizagem. Os exemplos, os problemas, a finalidade da aprendizagem nascem do que é o aluno concreto. (ALMEIDA, 2009, p. 82)

Contudo, a prática docente revela alguns desafios durante o processo de ensino-aprendizagem. Para Furtado (2006), a função instrumentalizante da educação vem sendo, cada vez mais, legitimada e difundida. Esse alarmante fato nos põe a refletir sobre a urgente demanda de repensar a práxis docente e seu papel social, pois de acordo com Malachias e Santos (2013), a preocupação com o ensino de ciências revela ser uma demanda essencial que requer discussões em âmbito mundial.

Para os autores, tal perspectiva instrumentalizante passa a impressão de ser necessário ensinar ao estudante a olhar o mundo com as lentes de um cientista, quando, na verdade, a ciência deveria lhes servir como esteio para a compreensão de si mesmo, como ser humano e do funcionamento e organização do mundo ao qual pertence. Para Ausubel (1980),

o ser humano constrói significados de maneira mais eficiente quando considera inicialmente a aprendizagem das questões mais gerais e inclusivas de um tema, ao invés de trabalhar inicialmente com as questões mais específicas desse assunto: O fator isolado mais importante que influencia a aprendizagem é aquilo que o aprendiz já conhece. Descubra o que ele sabe e baseie nisso os seus ensinamentos. (AUSUBEL ET AL., 1980, p. 160).

Dessa forma, é imprescindível que os professores disponham de ferramentas capazes de medir e avaliar o cabedal intelectual trazido por seus alunos, desprezando, assim, perspectivas educacionais pautadas no pressuposto de que alunos são em si uma "tábula rasa" ou uma "caixa vazia".

A perspectiva educacional seguida no presente estudo é ratificada por Santos (2007), ao sustentar que a construção de conhecimentos se dá através de trocas e de negociações de significados, sendo sempre singular em todos os casos, dado que depende dos sujeitos envolvidos e de um determinado contexto. Segundo Moreira (2004),

sabemos igualmente que a aprendizagem significativa é progressiva, quer dizer, os significados vão sendo captados e internalizados progressivamente e nesse processo a linguagem e a interação pessoal são muito importantes. (MOREIRA, et al , 2004, p. 5).

Essa proposta, de viés psicoeducacional, institui o estudante como cerne do processo de construção do conhecimento, ao valorizar sua bagagem intelectual. O discente assume um papel ativo no processo de ensino-aprendizagem, principalmente no tocante ao Ensino de Ciências, que deve transcender a assimilação arbitrária de nomenclaturas e dados.

Para tanto, a aprendizagem deverá deixar de ser mecânica e tornar-se significativa, voltada para o processo de apreensão, transformação, armazenamento e uso do conhecimento na estrutura cognitiva. Segundo Pereira (2008),

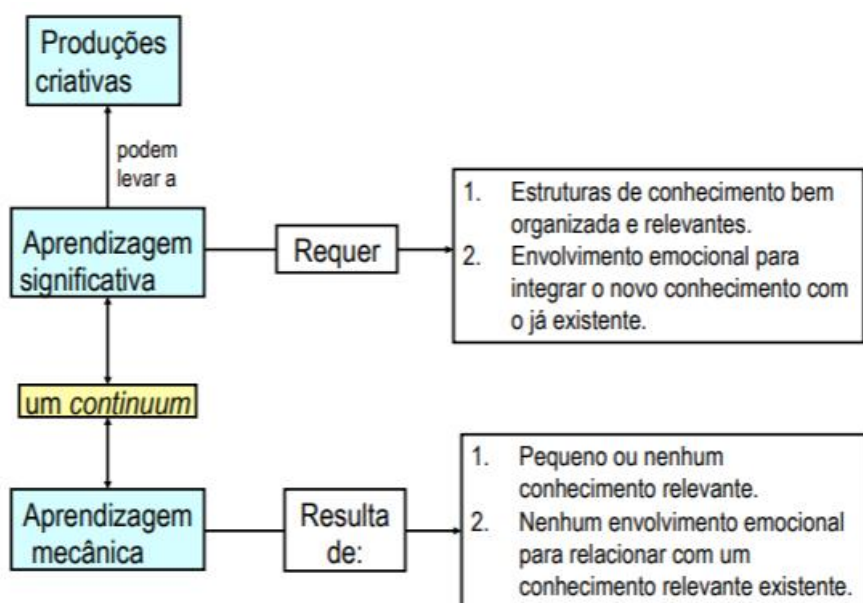
a Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional clarifica a importância de se conduzir o aluno a uma interação com a ciência e a tecnologia, que lhe oportunize um conhecimento dentro de seu cotidiano sociocultural. O aluno tem direito a um saber científico, não somente dos conteúdos sistematizados através de programas de ensino, livros didáticos, preferências do professor por este ou aquele conteúdo, esta ou aquela prática, mas um saber que lhe oportunize opinar, problematizar, agir, interagir, entendendo que o conhecimento adquirido, não é definitivo, absoluto. (PEREIRA, 2008, p. 2).

De acordo com os Parâmetros Curriculares Nacionais (BRASIL, 1998), a assimilação dos conteúdos pelos estudantes dá-se de modo distinto quando há a aprendizagem significativa e quando esta se reduz à memorização dos textos para futura avaliação.

O conteúdo assimilado através da aprendizagem mecânica não estabelece relação com o conhecimento preexistente na estrutura cognitiva do estudante, é armazenado de maneira arbitrária e tampouco é dotado de significado pessoal. Tais características fazem com que o discente seja capaz de reproduzir o conteúdo aprendido mecanicamente, sem que este possua qualquer significado.

Em contrapartida, o conhecimento adquirido por meio da aprendizagem significativa está ancorado em aspectos essenciais da estrutura cognitiva preexistente do aluno com certo nível de estabilidade, clareza e diferenciação. Nesse sentido, a teoria da aprendizagem significativa, proposta por Ausubel, insere no processo de ensino-aprendizagem a ideia de conceito de *subsunção*. Observemos a imagem a seguir:

**Figura 01: aprendizagem significativa x aprendizagem mecânica**



**Disponível em:**

[https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/3700444/mod\\_resource/content/2/ausubel.pdf](https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/3700444/mod_resource/content/2/ausubel.pdf)

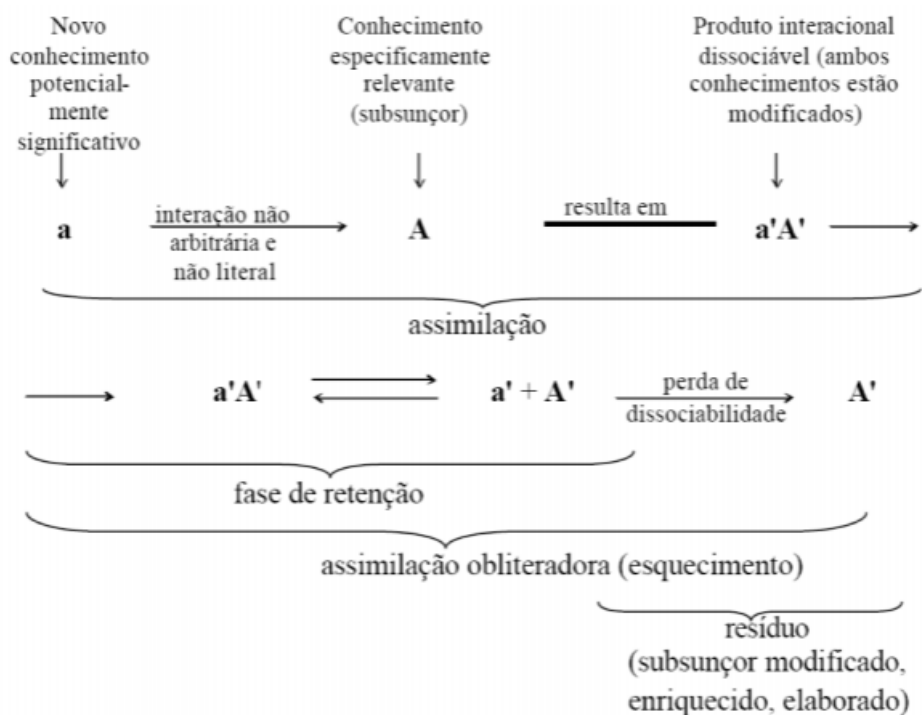


Para Ausubel, o que se verifica é um processo de apropriação hierarquizado, no qual um novo conteúdo é apreendido e transformado a partir do que o discente possui em seu cabedal intelectual. Assim, aprender implica na construção de um arcabouço teórico complexo e organizado para acesso a determinado tema (MOREIRA; MASINI, 2011).

Desse modo, para Ausubel (1968), a aprendizagem significativa, pressupõe o estabelecimento de relações entre o novo conhecimento apresentado e os conteúdos anteriormente adquiridos, chamados de subsunçores. Segundo o autor, o que se verifica é um processo de hierarquização dos conteúdos assimilados, caracterizado pela compreensão, reestruturação e estabelecimento do novo conhecimento à estrutura cognitiva do estudante, de forma gradativamente mais complexa (MOREIRA; MASINI, 2011).

A fim de auxiliar na compreensão do processo de construção da aprendizagem significativa e na visualização dos aspectos envolvidos na assimilação de um novo conteúdo, apresentamos a figura a seguir:

**Figura 02:** Esboço do processo de assimilação em que verifica-se a aprendizagem significativa.



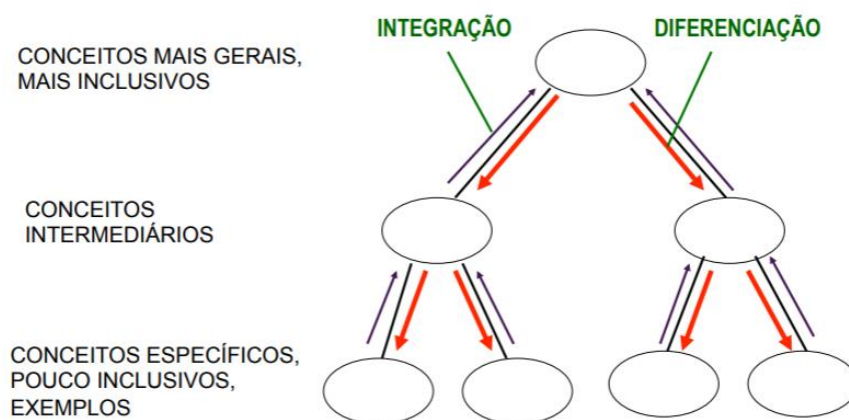
Disponível em:

[https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/3700444/mod\\_resource/content/2/ausubel.pdf](https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/3700444/mod_resource/content/2/ausubel.pdf)

No processo apresentado na figura acima, o *conceito a*, potencialmente significativo, é incorporado sob um conceito *subsunçor A*, mais inclusivo e previamente aprimorado e estabelecido, gerando, como consequência de tal interação, a modificação de ambos.

Em vista disso, a aprendizagem significativa ocorre através da interação e da transformação de conteúdos e da posterior ancoragem e rearranjo dos mesmos na estrutura cognitiva do estudante. Assim, no decorrer da aprendizagem significativa, Moreira e Masini (2011) verificam a existência de um processo de complexificação dos subsunçores, os quais se aprimoram a fim de ancorar cada vez mais novas informações.

**Figura 03:** o papel dos conceitos subsunçores.



**Disponível em:**

[https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/3700444/mod\\_resource/content/2/ausubel.pdf](https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/3700444/mod_resource/content/2/ausubel.pdf)

Considerando o acima exposto, é válido salientar a importância que os conhecimentos já assimilados assumem no processo de ensino-aprendizagem, de forma tal que serão responsáveis pela consolidação das novas informações apresentadas. Nesse sentido,

a Teoria da Aprendizagem Significativa procura explicar os mecanismos internos que ocorrem na mente humana com relação ao aprendizado e à estruturação do conhecimento. Segundo Ausubel, o processo de ensino necessita fazer algum sentido para o educando, ou seja, a nova informação precisa interagir e ancorar-se nos conceitos relevantes já existentes em sua estrutura cognitiva. Ausubel acrescenta ainda que o armazenamento de informação no cérebro humano é altamente organizado, onde os conceitos mais específicos são ligados aos conceitos mais gerais, mais inclusivos. (MALACHIAS E SANTOS, 2013, p. 23).

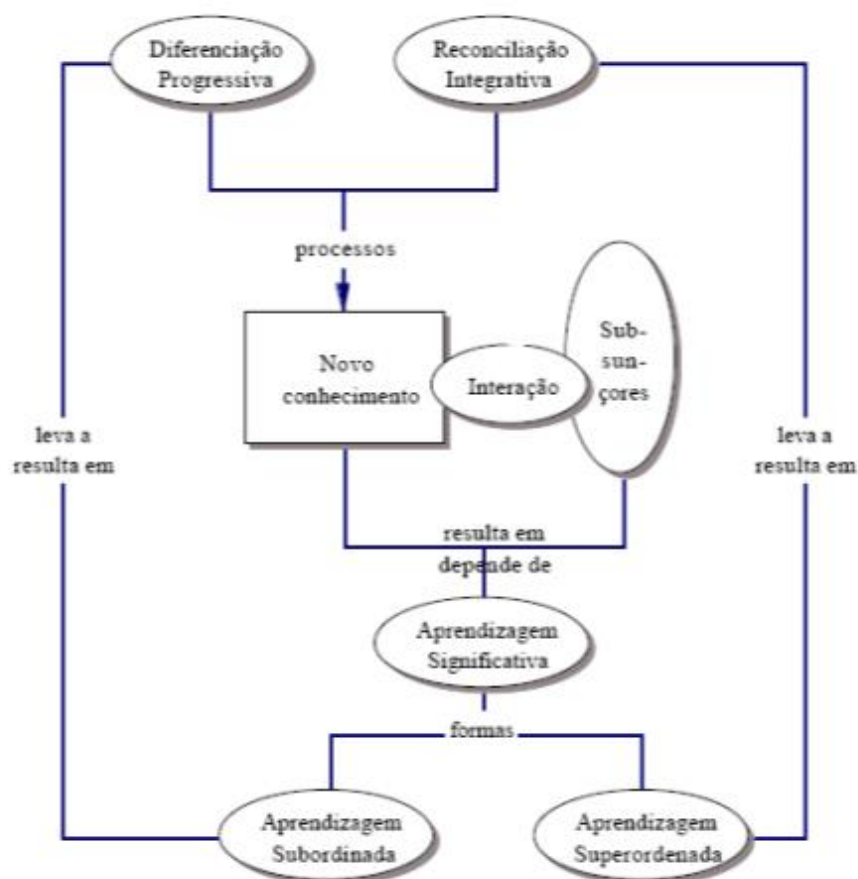
É necessário, no intuito de tornar a aprendizagem verdadeiramente significativa, que os novos conteúdos passem pelo processo elucidado acima, pois segundo Moreira (2011), na medida em que tal processo ocorre, o estudante, paulatinamente, torna-se mais apto e habilidoso ao relacionar as novas informações recebidas ao conhecimento que já possui. Destarte, o cerne da teoria de Ausubel é a valorização e a consideração daquilo que o discente já sabe no processo de aprendizagem.

Em contrapartida, na medida em que não há interação entre a nova informação a qual se pretende ser internalizada e os seus respectivos subsunçores, verifica-se, por definição Ausubeliana, a existência da aprendizagem mecânica. Esse tipo de aprendizagem, no tocante à teoria apresentada por Ausubel, não pode ser considerada num sentido pejorativo, pois ainda que não haja interação entre conceitos ou que a assimilação dê-se de maneira literal e arbitrária, tais fatos não configuram uma oposição à aprendizagem significativa. Vejamos:

Ausubel não estabelece a distinção entre aprendizagem significativa e mecânica como dicotômica, e sim como um continuum. Por exemplo, a simples memorização de fórmulas situar-se-ia em um dos extremos desse continuum (o da aprendizagem mecânica), enquanto que a aprendizagem de relações entre conceitos poderia estar no outro extremo (o da aprendizagem significativa) (SILVA, 2006, p 2).

No tocante à aprendizagem significativa, a assimilação ocorre através da diferenciação progressiva e da reconciliação integrativa. Para Moreira e Masini (2011), quando há a modificação mútua de uma nova informação e do conceito subsunçor, onde este último assume um novo significado, pode-se verificar a diferenciação progressiva, também chamada de aprendizagem significativa subordinada.

**Figura 04:** diferenciação progressiva e reconciliação integrativa.



**Disponível em:**

[https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/3700444/mod\\_resource/content/2/ausubel.pdf](https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/3700444/mod_resource/content/2/ausubel.pdf)

Nesse sentido, para Moreira e Masini (2011), a aprendizagem significativa requer o cumprimento de alguns critérios, são eles: 1) existência de um conhecimento disponível na estrutura cognitiva ou de organizadores avançados (ou prévios) manipuláveis; 2) que o novo conteúdo seja assimilado de maneira não arbitrária, tampouco literal no tocante aos conceitos subsunções disponíveis e 3) que o estudante demonstre disposição de desejo para a ocorrência do processo de aprendizagem.

Isto posto, o papel do professor, no processo de facilitação da aprendizagem significativa, constitui-se de quatro atividades principais, entre elas: construir, hierárquica e progressivamente, os conteúdos a serem ensinados, dos mais amplos aos mais específicos; apontar os conceitos subsunções relevantes ao conteúdo apresentado; identificar e mapear os conhecimentos dos discentes e por fim, utilizar instrumentos educacionais e

técnicas pedagógicas que facilitem a compreensão dos conteúdos referentes à matéria de ensino de modo significativo.

Para realizar atividades de aula que efetivamente sejam potencialmente significativas, é necessário que de alguma maneira estas atividades promovam o “pensar sobre”. Isto significa que não é apenas executando atividades que se poderão promover aprendizagens com sentido, é necessária a reflexão permanente sobre o fazer do indivíduo, realizadas pelo próprio indivíduo. (MALACHIAS e SANTOS, 2013).

Objetivando alcançar a aprendizagem significativa, alguns professores empenham-se na construção de novas metodologias e processos didáticos, buscando transcender o uso recorrente de aulas expositivas. Tal fato baseia-se no entendimento de que a aprendizagem é um processo de transformação de conhecimento e de comportamentos, resultante da interação construtiva de fatores emocionais, neurológicos, relacionais e ambientais (ALEXANDRE, 2010). Isto é, tal transformação que finda por gerar conhecimento e mudanças comportamentais depende qualitativamente da relação entre a estrutura cognitiva do indivíduo e o seu meio social, no qual se insere, também, a escola.

Assim, pois, o professor desempenha uma função essencial para a construção da aprendizagem significativa, sendo o responsável por impulsionar, a partir de perspectivas e propostas pedagógicas inovadoras, o estímulo de todo o processo. Cabe ao docente,

a valorização do conhecimento reflexivo e a preparação do estudante para interpretar o mundo, praticar o discurso da responsabilidade social e a linguagem crítica; desierarquização e democratização do ambiente pedagógico de sala de aula; projetos com a problematização e tematização do ensino; trabalho com dados reais, contextualizados; estímulo ao debate e ao diálogo (SAMPAIO, 2010, p. 52).

Segundo D'Ambrosio (2002), a educação deve propiciar ao aluno a “aquisição e utilização de instrumentos comunicativos, analíticos e materiais que serão essenciais para seu exercício de todos os direitos e deveres intrínsecos à cidadania” (p. 66) e, nesse sentido, o professor emerge como facilitador de tal demanda.

Nesse sentido, abrimos mão, aqui, desse modelo de educação o qual reserva aos estudantes o papel de ouvintes passivos e o objetivo único de acumulação de narrativas conteudistas. Preferimos inseri-los no processo de

construção de conhecimento, que, mesmo muitas vezes problemático, os desafia a solucionar tais problemas e desafios conjuntamente. Assim,

quanto mais se problematizam os educandos, como seres no mundo e com o mundo, mais eles se sentirão desafiados. E ao serem desafiados, são chamados a responder a esse desafio. O que resulta é uma compreensão que tende a tornar-se crescentemente crítica, por isso, cada vez mais desalienada (CAMPOS, 2007, p. 94).

Tal proposta, desenvolvida com base nos preceitos da teoria da aprendizagem significativa, busca estimular a reflexão e a participação dos alunos, como sujeitos ativos no processo de ensino-aprendizagem, a fim de que estes possam aprimorar o seu poder de captação e assimilação dos conteúdos, de maneira crítica, assim como, promover a compreensão do mundo no qual se inserem e são partícipes, como um processo de permanente transformação.

Para alcançar tal fim, tendo como fundamentação a teoria de David Ausubel e de Marco Antônio Moreira e visando, a partir disso, tornar a aprendizagem gradativamente mais significativa através de instrumentos educacionais potencialmente pedagógicos diante do processo de ensino-aprendizagem, apresentaremos a seguir os conteúdos a serem utilizados na construção de nosso produto educacional.

## Capítulo 3

### 3.1 Conceitos Básicos da Cinemática e da Ondulatória

Nessa perspectiva, para auxiliar no entendimento da equação de uma onda estacionária em uma corda vibrante faz-se necessário discorrer anteriormente sobre alguns conteúdos da física que servirão como base para a fundamentação do tema abordado, a serem apresentados nos parágrafos seguintes.

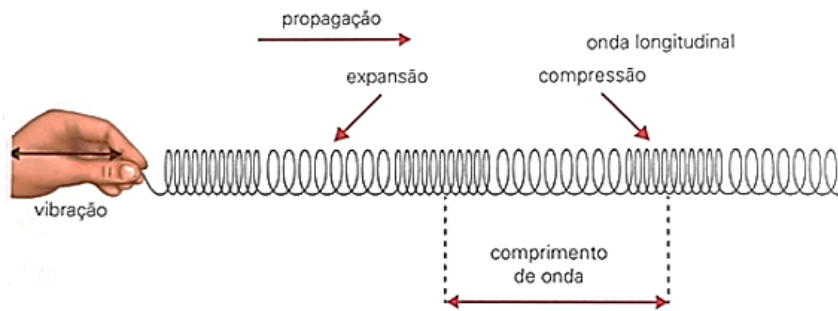
Os tópicos teóricos que serão abordados a seguir são de conhecimentos básicos, e, portanto, deixo Pietrocola (2016), Vilas Bôas (2012), Gaspar (2013), Porto e Porto (2009), Ramalho (2007), Nussenzveig (2014), Halliday (2016) e Serway (2014) como referências.

Para uma etapa da atividade foi importante rever com estudantes necessário um conhecimento de cinemática, que é o Movimento Retilíneo Uniforme (MRU). Nesse movimento o corpo percorre, numa trajetória retilínea, distâncias ( $\Delta S$ ) iguais em intervalos de tempo ( $\Delta t$ ) iguais, ou seja, sua velocidade escalar ( $v = \frac{\Delta S}{\Delta t}$ ) é constante. No MRU, a aceleração é nula e a única grandeza que varia com tempo é a posição.

Outro conteúdo de cinemática, que também será abordado, é o princípio da independência dos movimentos de Galileu. Quando um movimento é resultado da combinação de outros dois movimentos, realizados simultaneamente, cada um deles pode ser analisado como se o outro não existisse, ou seja, um movimento não influencia em nada o outro.

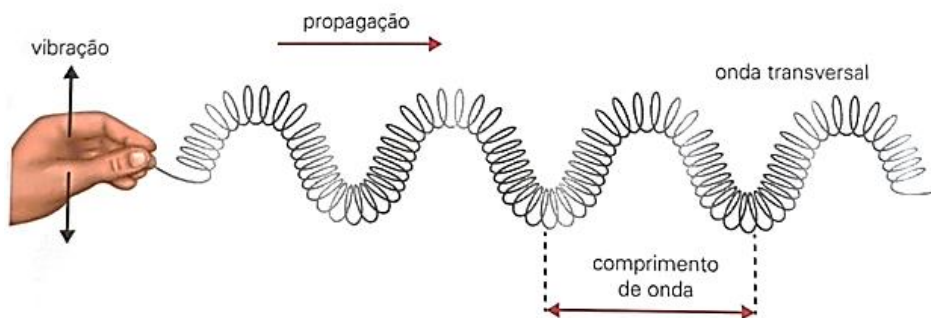
Sobre as ondas, é pertinente ressaltar que uma das formas de classificação das ondas mecânicas diz respeito ao movimento de vibração das partículas em relação à direção de propagação da onda. Quando ocorre uma transmissão de energia sem transporte de matéria, por exemplo, em uma mola metálica *Slinky*, de tal forma que as partículas se movimentam na mesma direção de propagação da onda, então as ondas desse tipo são denominadas **ondas longitudinais** (Figura 05). Caso o movimento das partículas seja perpendicular à direção de propagação da onda, então as ondas produzidas são chamadas **ondas transversais** (Figura 06).

**Figura 05: ondas longitudinais.**



Fonte: PIETROCOLA, 2016, p. 318.

**Figura 06: ondas transversais.**

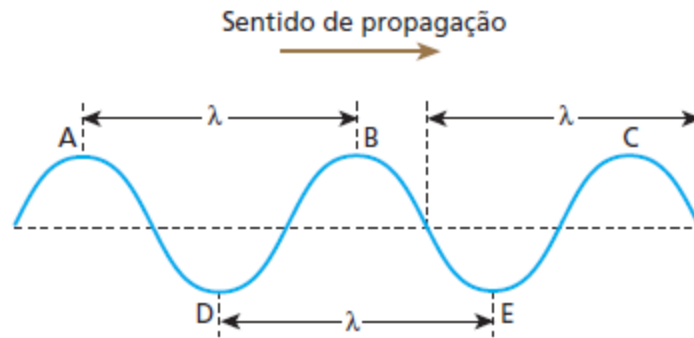


Fonte: PIETROCOLA, 2016, p. 318.

Ainda no que se refere à temática de ondulatória, os conhecimentos de período, frequência e comprimento de onda são imprescindíveis para a análise desse experimento. Quando uma onda se propaga numa corda, o período da onda ( $T$ ), corresponde ao intervalo de tempo necessário para um ponto qualquer da corda executar um ciclo completo. Conseqüentemente, observamos na Figura 07, que o comprimento de onda ( $\lambda$ ) corresponde a distância percorrida pela onda num intervalo de tempo igual ao período ( $T$ ). A frequência da onda corresponde ao número de oscilações ( $n$ ) executadas por um ponto da corda na unidade de tempo, ou seja,  $f = \frac{n}{\Delta t}$ . Caso  $n = 1$ , então  $\Delta t = T$  e  $f = \frac{1}{T}$ . Como  $v = \frac{\Delta S}{\Delta t}$  e em um ciclo  $\Delta t = T$  e  $\Delta S = \lambda$ , então temos como consequência  $v = \frac{\lambda}{T}$  e  $v = \lambda \cdot f$ .



**Figura 07**



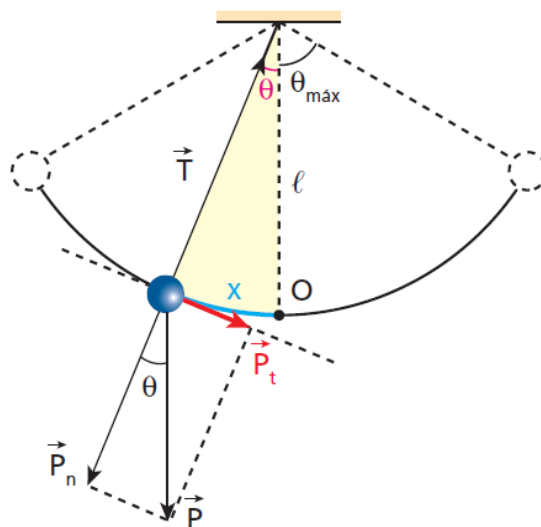
Fonte: VILAS BÔAS, 2012, p. 209.

### 3.2 Equação do Pêndulo Simples

Outro componente teórico abordado diz respeito ao tema sobre o pêndulo simples. A força restauradora que atua no corpo da Figura 08, quando o mesmo sai da posição vertical de equilíbrio, corresponde ao componente tangencial do peso, ou seja:

$$F_{Restauradora} = P_t = P \cdot \text{sen}\theta \quad (I) .$$

**Figura 08**



Fonte: VILAS BÔAS, 2012, p. 183.

Para  $\theta$  pequeno, ou seja  $\theta \leq 10^\circ$ , então  $\text{sen}\theta \cong \theta$  em radianos, tal componente fica praticamente na horizontal, o arco de comprimento  $x$  se aproxima de um segmento de reta e o movimento pendular, com certa aproximação, pode ser considerado um Movimento Harmônico Simples (MHS).

Substituindo  $P = m \cdot g$  (II) e  $\text{sen}\theta \cong \theta$  (III) na equação (I) obtemos  $F_{\text{Restauradora}} = m \cdot g \cdot \theta$  (IV).

Sabendo que a força restauradora é diretamente proporcional a elongação do corpo, ou seja,  $F_{\text{Restauradora}} = K \cdot x$  (V), na qual  $K$  é denominada como constante de força, e associando com a equação (IV) concluímos que:

$$m \cdot g \cdot \theta = K \cdot x \quad (VI).$$

Como  $\theta = \frac{x}{l}$  (VII) e a equação  $m \cdot g \cdot \theta = K \cdot x$  (VI) podemos concluir que a constante de força para esse MHS é igual a  $K = \frac{m \cdot g}{l}$  (VIII).

Uma expressão geral do período de qualquer MHS é  $T = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{m}{K}}$  (IX). Se o MHS em questão for um sistema massa-mola, por exemplo, a constante de força é a própria constante elástica da mola. Porém, no caso do pêndulo simples, a constante de força é, de acordo com a equação (VIII),  $K = \frac{m \cdot g}{l}$ . Caso a equação (VIII) for substituída na equação (IX), obteremos a equação do período do pêndulo simples,  $T = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{l}{g}}$ .

### 3.3 Função de onda

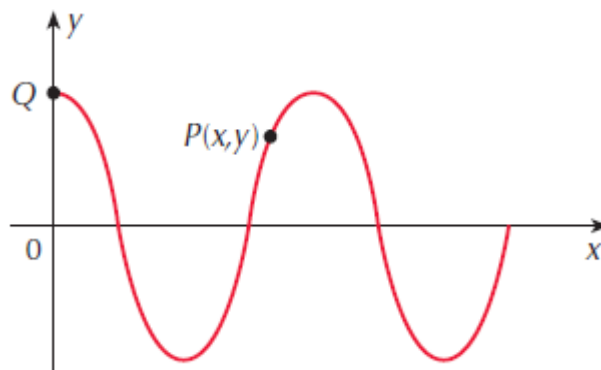
Para o entendimento da função de onda, precisamos realizar, uma breve discussão da equação da elongação (posição) do Movimento Harmônico Simples. Ao ser analisada a projeção do Movimento Circular Uniforme (MCU) sobre o eixo  $x$  (horizontal) é constatado que essa projeção executa um movimento periódico, oscilatório e sua equação da posição ou da elongação pode ser descrita por funções harmônicas (funções seno ou cosseno), ou seja, MHS.

A partir do exposto acima, obtemos a equação de elongação  $x$ ,  $x = A \cdot \cos \varphi$ . A letra  $A$  corresponde a amplitude do MHS e o ângulo  $\varphi$ , denominado de fase do movimento, corresponde à posição angular da partícula no MCU em função do instante  $t$ ,  $\varphi = \varphi_0 + \omega \cdot t$ . Desta forma obtemos:

$$x = A \cdot \cos (\varphi_0 + \omega \cdot t).$$

Com a equação da elongação é possível determinar a função horária da onda. Na figura 09, existe uma fonte que gera ondas transversais, de tal forma que todos os pontos da corda vibram na vertical enquanto a onda se propaga na horizontal. A onda gerada em Q atinge o ponto P após certo intervalo de tempo  $\Delta t = \frac{x}{v}$  (sendo  $v$  a velocidade de propagação da onda).

**Figura 09**



**Fonte:** RAMALHO JÚNIOR, 2007, p. 411.

O ponto P executa, na vertical, um MHS com atraso em relação ao ponto Q. Portanto, a função horária do movimento do ponto P será:

$$y = A \cdot \cos [\omega \cdot (t - \Delta t) + \varphi_0].$$

Como  $\omega = \frac{2\pi}{T}$  e  $\Delta t = \frac{x}{v}$  então,  $y = A \cdot \cos [\frac{2\pi}{T} \cdot (t - \frac{x}{v}) + \varphi_0]$ . Aplicando a propriedade distributiva da multiplicação, temos que:

$$y = A \cdot \cos \left[ 2\pi \cdot \left( \frac{t}{T} - \frac{x}{T \cdot v} \right) + \varphi_0 \right].$$

Já que  $\lambda = T \cdot v$  podemos substituir  $T \cdot v$  por  $\lambda$  na equação acima e finalmente temos a função horária da onda em função do cosseno:

$$y(x, t) = A \cdot \cos \left[ 2\pi \cdot \left( \frac{t}{T} - \frac{x}{\lambda} \right) + \varphi_0 \right].$$

Fazendo algumas manipulações algébricas, pode-se reformular a função da onda. Esse novo formato da expressão irá facilitar a discussão sobre as interferências de ondas numa corda vibrante. Aplicando novamente a propriedade distributiva da multiplicação temos que:

$$y(x, t) = A \cdot \cos \left[ \left( \frac{2\pi \cdot t}{T} - \frac{2\pi \cdot x}{\lambda} \right) + \varphi_0 \right].$$

Definindo o número de onda ( $k$ ) como sendo  $k = \frac{2\pi}{\lambda}$ , substituindo  $\omega = \frac{2\pi}{T}$  e considerando a fase inicial igual a zero ( $\varphi_0 = 0$ ), então, a expressão passa a ser:

$$y(x, t) = A \cdot \cos(\omega \cdot t - k \cdot x).$$

É possível expressar a função de onda utilizando o seno e não o cosseno, como mostrado anteriormente. Porém, para isso, será necessário fazer uma mudança na fase inicial. Desse modo, a expressão seria:

$$y(x, t) = A \cdot \sin(k \cdot x - \omega \cdot t).$$

### 3.4 Equação da Onda

Uma onda é uma perturbação que se transmite entre dois pontos de um meio. De uma forma geral, uma onda mecânica, eletromagnética ou gravitacional, transporta energia sem transporte de matéria. O modelo mais simples no estudo do comportamento ondulatórios é o da corda vibrante. Para este caso, vamos considerar uma corda esticada, como por exemplo a de um instrumento musical de corda, e supondo que a corda tenha comprimento  $L$  e

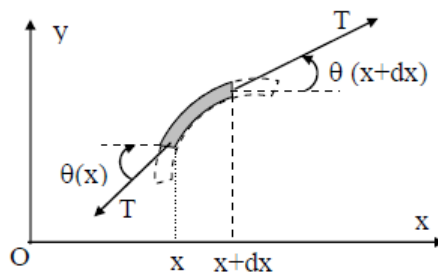
suas extremidades estejam fixas nos pontos  $x = 0$  e  $x = L$ , e que possui densidade linear uniforme dada por  $\mu = dm/dx$  sendo esticada com uma tensão constante  $T$ .

Fazendo as seguintes suposições:

1. A tensão  $T$  que estica a corda é muito grande, ou seja, a força gravitacional que age sobre a corda é desprezível;
2. A corda é perfeitamente elástica, isto é, ela não oferece resistência a dobras;
3. Os deslocamentos da corda ocorrem apenas direção  $y$ , e seus valores são muito pequenos.

Agora, podemos encontrar uma equação que descreva o problema da corda vibrante. Em algum instante de tempo, um pedaço qualquer da corda estará na posição genérica indicada pela figura abaixo.

**Figura 10:** Um pedaço de uma corda inextensível sujeita a pequenas deformações.



**Disponível em:**

<https://www.fisica.net/ondulatória/Mecanica-Calor-Ondas.pdf>.

Vamos aplicar a 2ª lei de Newton a este elemento da corda, cuja massa é igual a  $dm = \mu dx$ . As componentes horizontal e vertical da força resultante atuando sobre esse segmento de corda são:

$$F_x = T \cos(\theta + \Delta\theta) - T \cos\theta \quad (1)$$

e

$$F_y = T \sin(\theta + \Delta\theta) - T \sin\theta. \quad (2)$$

A corda executa movimento apenas na direção  $y$  e vibra somente na direção  $x$ , isto implica que a força resultante na direção  $x$  é nula, então a Eq. (1) torna-se

$$\cos(\theta + \Delta\theta) = \cos\theta. \quad (3)$$

Já na direção  $y$ ,  $F_y$  é dada por

$$F_y = (\mu\Delta x)a_y = (\mu\Delta x)\frac{\partial^2 y}{\partial t^2}, \quad (4)$$

onde expressamos a aceleração  $a_y$  em termos de uma derivada parcial porque  $y$  é função de duas variáveis,  $x$  e  $t$ . Substituindo (4) em (2) temos:

$$\sin(\theta + \Delta\theta) - \sin\theta = \Delta x \frac{\mu}{T} \frac{\partial^2 y}{\partial t^2}. \quad (5)$$

Dividindo os dois lados da Eq.(5) por  $\cos\theta$  e usando a Eq. (3), temos que

$$\frac{\sin(\theta + \Delta\theta)}{\cos(\theta + \Delta\theta)} - \frac{\sin\theta}{\cos\theta} = \frac{\Delta x}{\cos\theta} \frac{\mu}{T} \frac{\partial^2 y}{\partial t^2}. \quad (6)$$

Isto implica que

$$\tan(\theta + \Delta\theta) - \tan\theta = \frac{\Delta x}{\cos\theta} \frac{\mu}{T} \frac{\partial^2 y}{\partial t^2}. \quad (7)$$

Em cálculo, vemos que o coeficiente angular da reta tangente a uma função em um certo ponto do seu domínio é igual à derivada da função neste ponto. Então, podemos reescrever a Eq.(7) da seguinte forma:

$$\frac{\partial y}{\partial x}(x + \Delta x, t) - \frac{\partial y}{\partial x}(x, t) = \frac{\Delta x}{\cos\theta} \frac{\mu}{T} \frac{\partial^2 y}{\partial t^2}. \quad (8)$$

Dividindo os dois lados da Eq.(8) por  $\Delta x$ , e aplicando o limite no lado esquerdo quando  $\Delta x \rightarrow 0$ , temos que

$$\frac{\partial^2 y}{\partial x^2}(x, t) = \frac{1}{\cos\theta} \frac{\mu}{T} \frac{\partial^2 y}{\partial t^2} \quad (9)$$

A terceira suposição implica que  $\theta \ll 1$ . Com esta condição, temos que  $\cos\theta = 1$ , e a Eq. (9) torna-se

$$\frac{\partial^2 y}{\partial x^2}(x, t) = \frac{1}{v^2} \frac{\partial^2 y}{\partial t^2}, \quad (10)$$

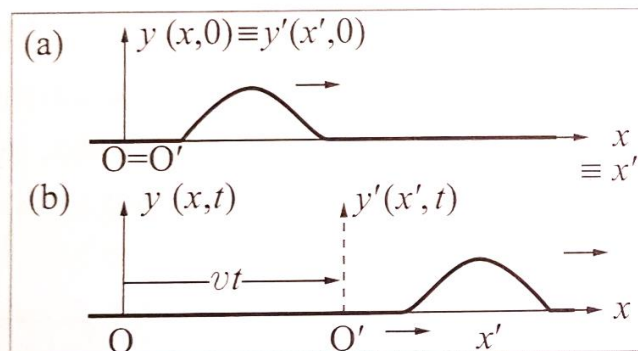
onde  $v = \sqrt{\frac{T}{\mu}}$ .

A Eq.(10) é chamada de equação de onda e descreve totalmente o movimento de um pulso numa corda de densidade linear de massa  $\mu$  e tensão  $T$ . Esta equação descreve com sucesso ondas em cordas, ondas sonoras e também ondas eletromagnéticas.

### 3.5 Solução da Onda Unidimensional

Vamos analisar algumas propriedades de um pulso propagando-se numa corda, este é o caso mais simples, pois a direção de propagação é reduzida em uma única direção. Supondo que não há dispersão, ou seja, o pulso mantém sua forma original. Vamos considerar um referencial fixo  $O$  e um referencial  $O'$  movendo-se com velocidade  $v$  junto com o pulso, como mostra a Figura 11.

**Figura 11:** Pulso de uma onda progressiva.



Fonte: Nussenzveig, 2014, p. 127

Consideremos um pulso se propagando em uma dimensão descrita pela coordenada  $x$ , em um dado instante de tempo o perfil da corda pode ser descrita por uma função de  $x$ . Por exemplo, em  $t = 0$  poderíamos ter a função  $y(x; 0)$ , como na Figura 11 (a). Após um tempo  $t$  o perfil seria  $y(x; t)$ , isto é, a perturbação se desloca sem mudar de forma.

Então, para o observador do referencial  $O'$  a forma do pulso será a mesma. Como mostrado na Figura 11 (b) o referencial  $O'$  deste observador coincide com  $O$  em  $t = 0$ . Ou seja,

$$y'(x', t) = y'(x', 0) = f(x'). \quad (11)$$

A função  $f(x')$  descreve a forma estática do pulso, como vista pelo observador  $O'$ . Usando a transformação de Galileu na direção  $x$ , temos que  $y'(x', t) = y(x, t)$  e  $x' = x - vt$ , e como isso, obtemos

$$y(x, t) = f(x - vt), \quad (12)$$

ou seja, uma onda progressiva se propagando para a direita com velocidade  $v$  é uma função que depende de  $x$  e  $t$  somente através de  $x' = x - vt$ , podendo ser uma função qualquer de  $x'$ . Analogamente, uma onda se propagando para a esquerda será uma função do tipo

$$y(x, t) = g(x + vt) \quad (13)$$

Agora, vamos mostrar a solução geral da equação de onda que foi obtida por d'Alembert em 1747 Eq. (10).

As condições de contorno para a equação de onda são:

$$y(0, t) = 0 \text{ e } y(L, t) = 0. \quad (14)$$

Isto significa que a corda tem que estar presa nas suas extremidades. As condições iniciais especificam a posição inicial da corda e a velocidade inicial da corda em todos os pontos da configuração para  $t=0$ . Essas condições podem ser escritas como,



$$y(x, 0) = y_0(x) \quad (15)$$

$$\frac{\partial y}{\partial t}(x, 0) = y_1(x) \quad (16)$$

onde  $y_0(x)$  e  $y_1(x)$  são duas funções arbitrárias.

Isto implica que a solução geral da equação de onda unidimensional depende de duas funções arbitrárias. Vimos que a Eq. (12) descreve uma função arbitrária para a direita e a Eq. (13) descreve uma função arbitrária para a esquerda. Logo, podemos representar a solução geral da equação de onda por

$$y(x, t) = f(x - vt) + g(x + vt). \quad (17)$$

A solução geral da equação de onda unidimensional pode ser escrita como a superposição de duas ondas em sentidos opostos, uma propagando-se para a direita e outra propagando-se para a esquerda.

### 3.6 Função de onda no caso estacionário

Agora, vamos analisar um caso particular extremamente importante, são as chamadas ondas harmônicas. Vamos supor duas ondas harmônicas propagando-se em direções opostas e com fase inicial igual a zero. As funções dessas ondas são dadas por

$$y_1(x, t) = A \sin(kx - \omega t),$$

e

$$y_2(x, t) = A \sin(kx + \omega t).$$

Pelo princípio da superposição, é possível numa corda vibrante, realizar uma combinação linear de duas ondas progressivas harmônicas de mesma frequência. Se as ondas também tiverem os sentidos opostos, a mesma amplitude e a mesma fase inicial, então a onda resultante será uma onda

estacionária. As ondas superpostas não se afetam mutuamente e se somam algebricamente para produzir uma onda resultante.

De acordo com o princípio da superposição, a onda resultante é dada por:

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

$$y_R(x, t) = A \cdot \text{sen}(k \cdot x - \omega \cdot t) + A \cdot \text{sen}(k \cdot x + \omega \cdot t)$$

Como as ondas possuem a mesma amplitude ( $A$ ), então:

$$y_R(x, t) = A \cdot [\text{sen}(k \cdot x - \omega \cdot t) + \text{sen}(k \cdot x + \omega \cdot t)]$$

Utilizando a identidade trigonométrica:

$$\text{sen}\alpha + \text{sen}\beta = 2 \cdot \text{sen}\left(\frac{\alpha + \beta}{2}\right) \cos\left(\frac{\alpha - \beta}{2}\right)$$

Fazendo  $\alpha = (k \cdot x - \omega \cdot t)$  e  $\beta = (k \cdot x + \omega \cdot t)$  implica que:

$$\left(\frac{\alpha + \beta}{2}\right) = k \cdot x \text{ e } \left(\frac{\alpha - \beta}{2}\right) = \omega \cdot t$$

Portanto, a equação final da onda estacionária será:

$$y_R(x, t) = \underbrace{[2 \cdot A \cdot \text{sen}(k \cdot x)]}_{\text{Fator amplitude}} \cdot \overbrace{\cos \omega \cdot t}^{\text{Fator oscilatório}}$$

O fator  $[2 \cdot A \cdot \text{sen}(k \cdot x)]$  pode ser considerado a amplitude do movimento de um ponto da corda correspondente a uma posição  $x$ , ou seja, a amplitude varia de acordo com a posição. Por exemplo, os pontos que não vibram,

denominados de nós, pontos de amplitude zero, são os que possuem  $\text{sen}(k \cdot x) = 0$ . Logo, a solução para essa equação seria:

$$k \cdot x = n \cdot \pi \text{ em que } n = 0, 1, 2, 3, \dots$$

Fazendo  $k = \frac{2 \cdot \pi}{\lambda}$  e substituindo na solução acima, obtemos:

$$x = n \cdot \frac{\lambda}{2} \text{ em que } n = 0, 1, 2, 3, \dots$$

Percebemos que a distância entre dois nós vizinhos é a metade do comprimento de onda ( $\frac{\lambda}{2}$ ). Já os pontos que correspondem aos antinós, pontos de amplitude máxima, possuem  $|\text{sen}(k \cdot x)| = 1$  e a solução para a equação fica sendo:

$$k \cdot x = \left(n + \frac{1}{2}\right) \cdot \pi \text{ em que } n = 0, 1, 2, 3, \dots$$

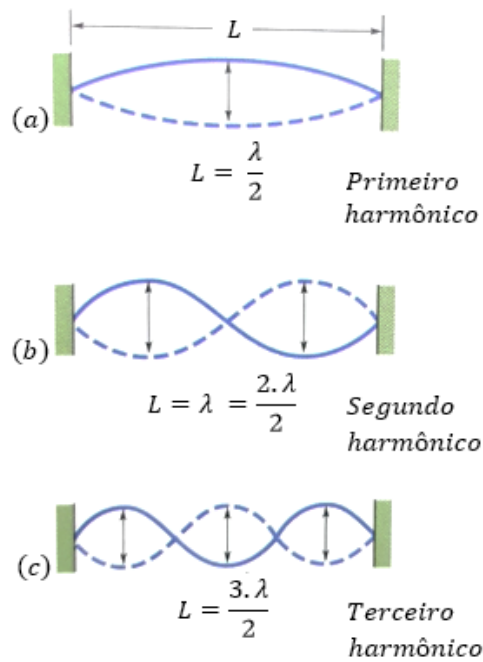
Fazendo  $k = \frac{2 \cdot \pi}{\lambda}$  e substituindo na solução acima, obtemos:

$$x = \left(n + \frac{1}{2}\right) \cdot \frac{\lambda}{2} \text{ em que } n = 0, 1, 2, 3, \dots$$

Com isso, verifica-se que a distância entre dois antinós vizinhos é também a metade do comprimento de onda ( $\frac{\lambda}{2}$ ) e se encontram no ponto médiodos nós mais próximos.

Ao analisarmos os modos de vibração em uma corda vibrante, na figura 12, temos que para o primeiro harmônico ou modo fundamental ( $n = 1$ ) a relação do comprimento da corda  $L$  com o comprimento de onda fica sendo  $L = 1 \cdot \frac{\lambda}{2}$ . Já no segundo harmônico ( $n = 2$ ), a relação passa a ser  $L = 2 \cdot \frac{\lambda}{2}$  e para o terceiro harmônico ( $n = 3$ ) fica  $L = 3 \cdot \frac{\lambda}{2}$ .

**Figura 12**



**Fonte:** HALLIDAY, 2016, p. 142.

Dessa forma, uma expressão geral do comprimento da corda  $L$  em função do comprimento de onda ( $\lambda$ ) seria:

$$L = n \frac{\lambda}{2} \text{ em que } n = 1, 2, 3, \dots$$

Caso isolarmos o  $\lambda$  e utilizarmos a equação da velocidade de propagação  $v = \lambda \cdot f$ , logo, a expressão das frequências de ressonância seria igual a:

$$f = n \frac{v}{2L} \text{ em que } n = 1, 2, 3, \dots$$

A série harmônica corresponde ao conjunto de todos os modos de vibração possíveis e  $n$  é denominado de número harmônico no  $n$ ésimo harmônico.

## Capítulo 4

### 4.1 Descrição e Aplicação do Produto

O nosso produto educacional é uma sequência didática e investigativa em um laboratório experimental fechado. No produto há um conjunto de aparatos experimentais, sendo que um deles consiste numa reconstrução do oscilador de Melde, denominado de organizador avançado 4, com o qual investigamos os fundamentos físicos da equação de uma onda estacionária. Analisando a propagação de uma das ondas que formam o padrão de ondas estacionárias existe a composição de dois movimentos perpendiculares, considerados independentes, sendo eles o Movimento Horizontal Retilíneo e Uniforme (MRU) e o vertical, denominado Movimento Harmônico Simples (MHS).

Há, também, outros três aparatos secundários, com os quais desenvolvemos atividades de organizadores avançados necessárias à evocação ou construção, se for o caso, dos conceitos subsunçores em cima dos quais ancoraremos a aprendizagem significativa dos princípios físicos da citada equação.

Os conceitos subsunçores necessários para o decorrer da atividade educacional aqui descrita seriam os conceitos de: período, frequência, comprimento de onda, equação fundamental da ondulatória e composição de movimentos de Galileu. Se os estudantes não tiverem em sua estrutura cognitiva tais conceitos prévios, dificilmente entenderão a equação de uma onda estacionária.

No primeiro momento pedagógico, serão desenvolvidos dois organizadores avançados utilizando um pêndulo simples (organizador avançado 1) e uma mola *Slinky* (organizador avançado 2). No segundo momento pedagógico realizaremos uma atividade de reconciliação integradora dos movimentos estudados no momento pedagógico antecessor, utilizando-se do registro de movimento oscilatório de um pêndulo numa tira de papel que se movimenta uniformemente numa direção perpendicular ao movimento de oscilação do pêndulo (organizador avançado 3).

No momento pedagógico subsequente, tais movimentos serão revisitados por meio da diferenciação progressiva, empregando, em tal instante, duas

atividades experimentais desenvolvidas no oscilador de Melde, objetivando facilitar a compreensão particular de cada um dos dois movimentos ali compostos, bem como da sua representação por meio da equação de uma onda estacionária.

A fim de auxiliar na visualização das atividades e dos objetivos a serem alcançados na construção do presente produto, elencamo-los na tabela a seguir:

**Tabela 1**

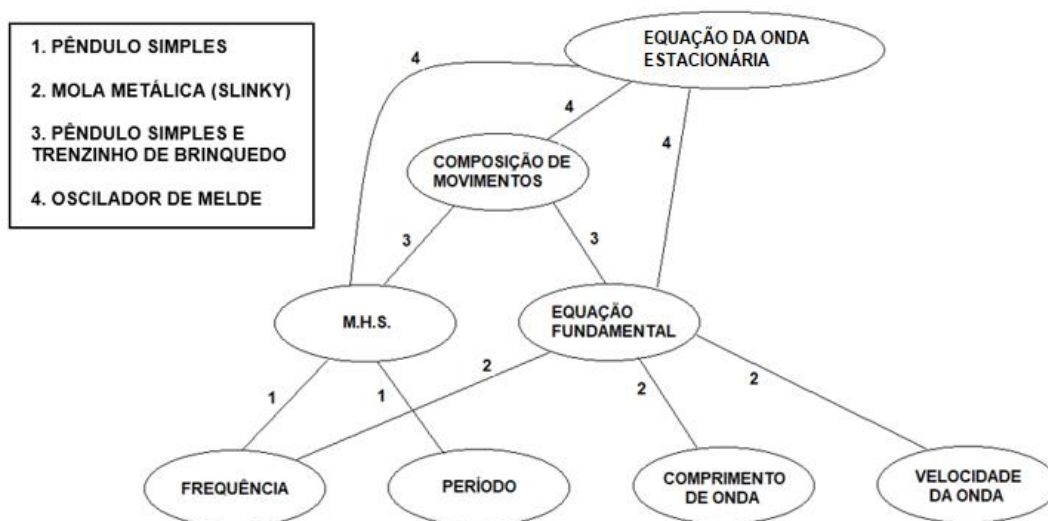
Momento pedagógico	Duração	Atividades	Objetivos
Primeiro	1,5 h	Realização de um pré-teste. Breve introdução teórica do assunto MHS, mostrando os movimentos periódicos e oscilatórios. Experimento do pêndulo simples Experimento da Mola Slinky. Depois cada grupo compartilha as suas conclusões.	Colher os conhecimentos prévios dos estudantes. Revisar pontos teóricos de Ondulatória. Verificar a diferença das ondas longitudinais e transversais. Analisar o movimento do pêndulo (MHS) e relacionar período e frequência. Verificar a relação entre o período e o comprimento do fio. Analisar o movimento da mola e relacionar o comprimento de onda, a frequência e o período de oscilações. Verificar a relação da tensão na mola e a velocidade de propagação da onda.
Segundo	1 h	Experimento do pêndulo simples com o trenzinho motorizado de brinquedo.	Analisar a composição de movimentos de Galileu, supostamente independentes, do pêndulo (MHS) e do movimento do trenzinho (MRU). Reconciliação integradora dos dois movimentos, o MRU e o MHS.
Terceiro	1,5 h	Oscilador de Melde Aplicação do pós-teste	Diferenciação progressiva dos dois movimentos na corda no oscilador de Melde e a partir disso entender a representação matemática da equação de uma onda estacionária. Avaliar o aprendizado do estudante durante a atividade educacional

**Fonte:** elaborado pelo autor.

Para o desenvolvimento atividade educacional aqui descrita, é imprescindível a divisão dos três momentos pedagógicos mostrada na tabela anterior. Objetivo final, o qual nos propomos alcançar ao decorrer das atividades, é o entendimento da equação de uma onda estacionária, buscando relacionar a posição vertical de um ponto da corda com a posição horizontal e o instante de tempo.

Para tanto, o mapa a seguir descreve a forma como pensamos a construção e/ou a análise da equação de uma onda estacionária, por meio da disposição ordenada dos referidos conceitos subsunçores:

### Mapa Conceitual 1



Fonte: elaborado pelo autor.

A seguir vamos detalhar todas as etapas da atividade mostrando a aplicação de cada uma delas na escola escolhida para este fim.

## 4.2 Sequência de atividades educacionais

O momento escolhido para a aplicação do produto pedagógico junto aos discentes ocorreu após a realização anual de processos seletivos, tais como o Exame Nacional do Ensino Médio e o vestibular seriado da Universidade de Pernambuco, sendo dispensado o uso de bonificação extra para estimular o

comparecimento, uma vez que os alunos participantes encontravam-se em período de férias escolares.

Os estudantes foram previamente informados da realização dessa atividade e do conteúdo da aplicação do produto ora elaborado, a fim de despertar e estimular o interesse de participação, pois "para aprender de maneira significativa o aprendiz deve querer relacionar o novo conteúdo de maneira não-literal e não-arbitrária ao seu conhecimento prévio" (MOREIRA; CABALLERO; RODRÍGUEZ, 1997, p.13).

O produto pedagógico aqui elaborado foi aplicado no dia 29 de novembro de 2018, em uma turma do 3º ano do ensino médio do Colégio Marista São Luís, localizada no bairro das Graças, na Cidade do Recife. Durante a aplicação, houve três momentos pedagógicos com um pequeno intervalo de 10 minutos entre si, totalizando quatro horas (240 minutos) de atividade. É importante salientar que esse tempo destinado para a aplicação do produto foi suficiente para iniciar e terminar a atividade em uma única manhã.

- **PRIMEIRO MOMENTO PEDAGÓGICO: ORGANIZADOR AVANÇADO 1.**

#### **Experimento com o pêndulo simples**

No primeiro momento, foi orientado que os estudantes, durante a aplicação do pré-teste, deveriam responder o questionário individualmente (Imagem 13), a fim de, posteriormente, compartilhar com os colegas as suas respostas (Imagem 14). O pré-teste foi composto por cinco questões teóricas do assunto a ser trabalhado na atividade pedagógica, as quais estão presentes no Apêndice B.



**Imagem 13**



**Fonte:** acervo do autor.

**Imagem 14**



**Fonte:** acervo do autor.

Após a aplicação do pré-teste, demos início a uma revisão teórica sobre movimentos periódicos e oscilatórios expondo algumas situações práticas aos estudantes. Um dos exemplos expostos foi o Movimento Circular Uniforme (MCU) que, ao ser projetado no eixo, executa um movimento periódico e oscilatório (Imagem 15). Desse modo, observamos que a construção da atividade, nos moldes descritos acima, facilitou a revisão do Movimento Harmônico Simples (MHS), tendo em vista que tal tema é de extrema importância para a compreensão da equação de uma onda estacionária vibrando em uma corda tensa, de modo como ocorre no oscilador de Melde.

## Imagem 15





Fonte: acervo do autor.

Dando continuidade ao primeiro momento pedagógico, um grupo realizou o experimento do pêndulo simples, que teve como objetivo analisar um tipo de Movimento Harmônico Simples (MHS) e estabelecer a relação do período com a frequência e com o comprimento do fio.

Esse experimento consiste de um pêndulo simples, oscilando na vertical, cuja massa do corpo oscilante era grande o suficiente para que o amortecimento de sua oscilação não fosse relevante. Ou seja, a força de resistência do ar sobre o corpo possuía um valor desprezível quando comparada ao componente do peso que fará o papel da força restauradora do MHS. Nesse experimento um fio de náilon tinha uma de suas extremidades pendurada no suporte de madeira e na extremidade oposta do fio havia uma bola de sinuca, cujas especificações são: massa (134 g) e diâmetro (52 mm).

O pêndulo de comprimento  $L = 43,0 \text{ cm}$  (Imagem 16) foi abandonado formando um ângulo pequeno em relação à vertical e foi medido, com um cronômetro do celular, certo intervalo de tempo correspondente a cinco oscilações do mesmo (Imagem 17). Posteriormente, determina-se o período do movimento ( $T$ ) dividindo o intervalo de tempo total por 5, ou seja,  $T = \frac{\Delta t_{TOTAL}}{5}$ .

Imagem 16	Imagem 17
	
<p><b>Fonte:</b> acervo do autor.</p>	<p><b>Fonte:</b> acervo do autor.</p>

O procedimento foi repetido por três vezes e calculou-se uma média dos resultados para se obter o período final médio do movimento, ou seja,  $T = \frac{T_1 + T_2 + T_3}{3}$ . Com o valor médio do período  $T$ , compara-se com o período  $T'$  obtido pela equação do pêndulo simples, que é um exemplo de MHS,  $T' = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{L}{g}}$ , substituindo o valor medido de  $L$  e considerando a aceleração da gravidade  $g = 9,8 \text{ m/s}^2$  e  $\pi = 3,14$ .

Ao analisar a equação  $T' = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{L}{g}}$  percebe-se que os valores que podem alterar o período do pêndulo simples, são o comprimento do fio  $L$  e a aceleração da gravidade local  $g$ . Durante as medições do período realizadas pelos estudantes, é possível coletar outros dados de período realizando algumas modificações simples no comprimento do fio, já que este é o único fator que pode variar. Como o experimento foi realizado no mesmo local, então, a aceleração da gravidade não se altera, ou seja, é constante. Os outros valores de comprimento do fio utilizados na atividade foram: 34 cm (Imagem 18) e 58 cm (Imagem 19), os quais foram introduzidos na tabela a seguir.

**Tabela 2**

	$T_1(s)$	$T_2(s)$	$T_3(s)$	$T(s)$	$T'(s)$
$L_1 = 43 \text{ cm}$	1,23	1,27	1,21	1,24	1,31
$L_2 = 58 \text{ cm}$	1,46	1,48	1,45	1,46	1,53
$L_3 = 34 \text{ cm}$	1,10	1,11	1,13	1,11	1,17

Fonte: elaborado pelo autor.

$L$  : Comprimento do fio



$T_1$  : Período determinado pelo Aluno 1

$T_2$  : Período determinado pelo Aluno 2

$T_3$  : Período determinado pelo Aluno 3

$T$  : Período médio

$T'$ : Período calculado pela expressão  $T' = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{L}{g}}$  com o respectivo valor de  $L$ .

<b>Imagem 18</b> ( $L = 34,0 \text{ cm}$ )	<b>Imagem 19</b> ( $L = 58,0 \text{ cm}$ )
	
Fonte: acervo do autor.	Fonte: acervo do autor.

• **PRIMEIRO MOMENTO PEDAGÓGICO: ORGANIZADOR AVANÇADO 2.**

**Experimento com a mola Slinky**

Na etapa seguinte, demos início à manipulação da mola *slinky*. Esse experimento consiste na manipulação de uma mola de ferro por partes dos

estudantes, em que eles procurariam movimentar a mola, em um plano horizontal, gerando ondas longitudinais e transversais. Para a realização desta sequência, os alunos ficaram dispostos no chão da sala de aula. Inicialmente, uma das extremidades da mola foi segurada por um deles e posteriormente, na outra extremidade oscilações foram provocadas por outro aluno, fato que acarretou na produção apenas de ondas longitudinais (Imagem 20).

Não realizamos medições de comprimento de onda e frequência, uma vez que os pulsos gerados não eram periódicos. Em seguida, foram geradas as ondas transversais periódicas. De forma qualitativa, o objetivo dessa etapa inicial era que os aprendizes verificassem a diferença entre as duas formas de propagação das ondas na mola, considerando a direção do movimento das partículas em relação ao movimento de propagação da onda.

**Imagem 20**



**Fonte:** acervo do autor.

No caso das ondas transversais, principal objeto de estudo desse produto pedagógico, primeiramente, mede-se o comprimento total da mola esticada e observa-se a quantidade de ciclos completos estabelecidos na configuração experimental. Dividindo o valor do comprimento total ( $L$ ), de uma extremidade a outra, pelo número de ciclos ( $n$ ) obtém-se o valor do comprimento de onda, ou seja,  $\lambda = \frac{L}{n}$ . É importante observar que pode haver algumas configurações com apenas ciclos completos (Ex.:  $n = 1$ ;  $n = 2$ ;  $n = 3$ ;...), ver Imagem 21 ( $n = 1$ ) e

Imagem 22 ( $n = 2$ ). Em outros contextos, pode haver meio ciclo e ciclos completos (Ex.:  $n = 0,5$ ;  $n = 1,5$ ;  $n = 2,5$ ;...), ver Imagem 23 ( $n = 0,5$ ) e Imagem 24 ( $n = 1,5$ ).

<b>Imagem 21</b>	<b>Imagem 22</b>
	
<b>Fonte:</b> acervo do autor.	<b>Fonte:</b> acervo do autor.
<b>Imagem 23</b>	<b>Imagem 24</b>
	
<b>Fonte:</b> acervo do autor.	<b>Fonte:</b> acervo do autor.

Enquanto estão sendo geradas as ondas transversais, outro estudante marca, com o cronômetro regressivo do celular, o intervalo de tempo total ( $\Delta t_{TOTAL}$ ) relativo à  $N$  oscilações completas geradas pelo estudante e posteriormente, determina-se a frequência do movimento dividindo o número de

oscilações completas pelo o intervalo de tempo total, ou seja,  $f = \frac{N}{\Delta t_{TOTAL}}$ . Ao escolher  $\Delta t_{TOTAL} = 30$  s, faz-se com que o valor da frequência fique determinado pela expressão  $f = \frac{N}{30}$ . Finalmente, a partir dessas informações de comprimento de onda e de frequência é possível estimar a velocidade da onda por meio da equação fundamental  $v = \lambda \cdot f$ . A fim de auxiliar na visualização dos valores medidos pelos os estudantes nesse experimento utilizando a mola *Slinky*, elencamo-los na tabela a seguir:

**Tabela 3**

<b>L<sub>1</sub> = 3,32 m</b>					
	$\lambda$ (m)	N	$\Delta t_{TOTAL}$ (s)	$f$ (Hz)	$v$ (m/s)
n = 0,5	6,64	22	30	0,73	4,85
n = 1	3,32	41	30	1,37	4,55
n = 1,5	2,21	62	30	2,07	4,58
n = 2	1,66	84	30	2,8	4,65

**Fonte:** elaborado pelo autor.

$v_{m_1} = 4,66$ m/s
----------------------

L: Distância entre as extremidades da mola esticada

n: Número de ciclos

N : Número de oscilações geradas pelo estudante no intervalo de tempo  $\Delta t_{TOTAL}$

$\lambda$  : Comprimento de onda

$\Delta t_{TOTAL}$  : Intervalo de Tempo

$f$  : Frequência média

$v$  : Velocidade da onda

$v_{m_1}$ : Velocidade da onda (média dos quatro valores encontrados)

Durante as medições, foi possível coletar outros dados realizando uma modificação simples: apenas aumentando a distância entre as extremidades da mola fazendo com que a velocidade mudasse, pois dessa forma, aumentamos a força tensora na mola e conseqüentemente, aumentamos, também, a velocidade de propagação da onda.

Na tabela seguinte serão apresentados os novos valores medidos pelos estudantes no experimento da mola *Slinky*, a qual se encontra mais esticada do que na situação da tabela anterior. Assim, nesta nova etapa, para que a atividade não ficasse muito cansativa foram feitas apenas duas configurações.

**Tabela 4**

<b><math>L_2 = 6,64 \text{ m}</math></b>					
	$\lambda \text{ (m)}$	N	$\Delta t_{TOTAL} \text{ (s)}$	$f \text{ (Hz)}$	$v \text{ (m/s)}$
n = 1	6,64	42	30	1,40	9,30
n = 1,5	4,42	64	30	2,13	9,41

Fonte: elaborado pelo autor.

$v_{m_2} = 9,36 \text{ m/s}$
------------------------------

Inicialmente, ao analisar os resultados das tabelas, os alunos perceberam que, em uma mesma configuração onde a distância total da mola não muda, se aumentássemos a frequência de oscilação das ondas geradas, então, o comprimento de onda diminuía numa relação inversa. Apesar de ser comprovado na expressão  $v = \lambda \cdot f$  que o comprimento de onda e a frequência são inversamente proporcionais, com a velocidade constante, a previsão da maioria dos estudantes era que ao aumentar a frequência das oscilações o valor da velocidade aumentaria de mesmo modo. De forma espontânea um dos alunos sugere: “e se aumentássemos o tamanho da corda, deixando ela mais tensa a velocidade deveria aumentar? ”.

Esse foi o argumento para fazermos uma pequena variação no experimento, porém, de extrema importância didática. Aumentando o comprimento da mola, os alunos constataram que os valores das velocidades obtidos nas duas etapas estavam de acordo com a previsão teórica. Ou seja, se duplicarmos o comprimento de onda e mantivermos praticamente constante a frequência das oscilações, o valor da velocidade de propagação da onda deverá duplicar também. Ao analisarem a expressão  $v = \lambda \cdot f$  e verificarem na tabela que a frequência praticamente não variou, o valor da velocidade ficou diretamente proporcional ao valor do comprimento de onda, confirmando, assim, os valores medidos pelos estudantes.



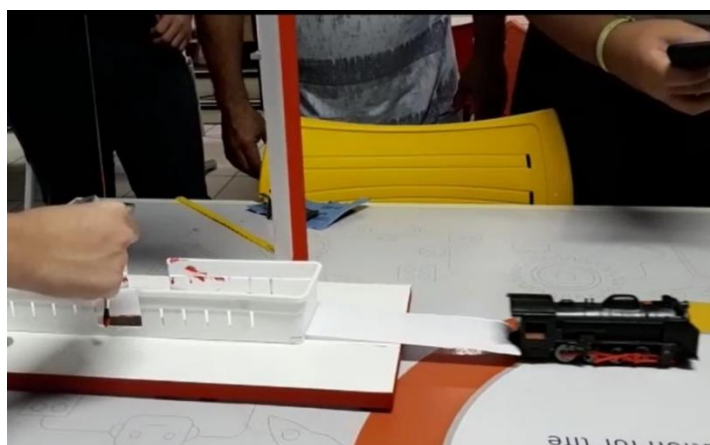
- **SEGUNDO MOMENTO PEDAGÓGICO: ORGANIZADOR AVANÇADO 3.**

### **Experimento do trenzinho motorizado de brinquedo e o pêndulo simples**

Após a realização simultânea dos dois experimentos anteriormente apresentados e a da partilha das observações feitas entre os alunos, todos os estudantes foram reunidos para observarem o experimento do pêndulo simples com a utilização de um trenzinho motorizado de brinquedo, a fim de analisar a composição de movimentos. Os movimentos do pêndulo e do trenzinho são superpostos e registrados num papel, os detalhes de tal experimento serão expostos a seguir.

A utilização da composição de movimentos no experimento do pêndulo simples citado anteriormente consiste em fixar na ponta do pêndulo um pincel com tinta *guache* que irá registrar o gráfico da posição em função do tempo numa folha de papel sobre uma mesa horizontal. Esse papel ficará preso a um trenzinho de brinquedo que terá uma velocidade constante, realizando um movimento retilíneo uniforme. A distância percorrida e o intervalo de tempo do trenzinho serão medidos pelos estudantes, para, posteriormente, calcular a velocidade da onda riscada no papel por meio da equação  $v_1 = \frac{\Delta S}{\Delta t}$  (Imagem 25).

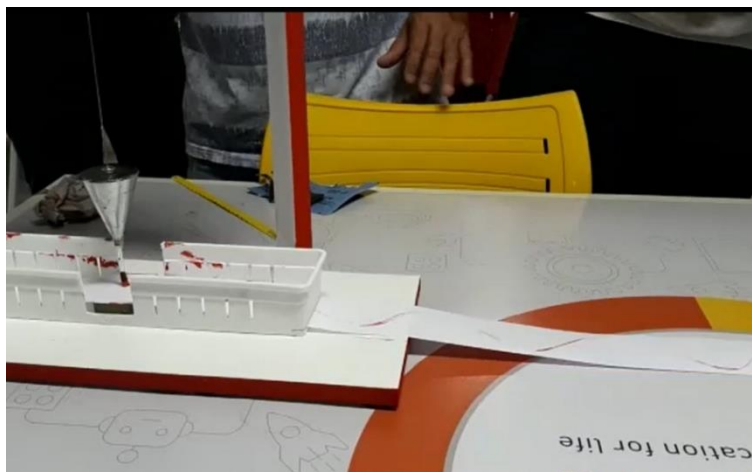
**Imagem 25**



**Fonte:** acervo do autor.

Ao medir o período do pêndulo, calcular a frequência e medir o comprimento de onda registrado no papel será possível calcular a velocidade da onda pela expressão  $v_2 = \lambda \cdot f$  e comparar com  $v_1$  que deverá resultar em um valor bem próximo, já que, teoricamente, devem ser iguais (Imagem 26).

**Imagem 26**



**Fonte:** acervo do autor.

O período do pêndulo pode variar em algumas etapas para obter um conjunto de valores que facilitem a análise de comparação de  $v_1$  e  $v_2$ . Porém, devido ao tempo da aplicação, somente foi realizada apenas uma etapa. Após medir o número de oscilações ( $n$ ) e o intervalo de tempo delas ( $\Delta t$ ), dividimos o valor de  $n$  por  $\Delta t$  e determinamos a frequência do movimento.

**Tabela 5:** Etapa única  $E_1$ : ( $n = 7$  oscilações)

$\Delta t$ (s)	$f$ (Hz)	$\lambda$ (cm)	$v_1$ (cm/s)	$\Delta S$ (cm)	$\Delta t$ (s)	$v_2$ (cm/s)
7,74	0,90	16,0	14,4	68,9	4,42	15,9

**Fonte:** elaborado pelo autor.

$n$ : número de oscilações

$\Delta t$ : Intervalo de tempo de  $n$  oscilações

$\lambda$ : Comprimento de onda

$f$ : Frequência das oscilações

$v_1$ : Velocidade da onda

$\Delta S$ : Distância percorrida pelo trenzinho

$\Delta t$ : Intervalo de tempo do percurso do trenzinho

$v_2$ : Velocidade do trenzinho

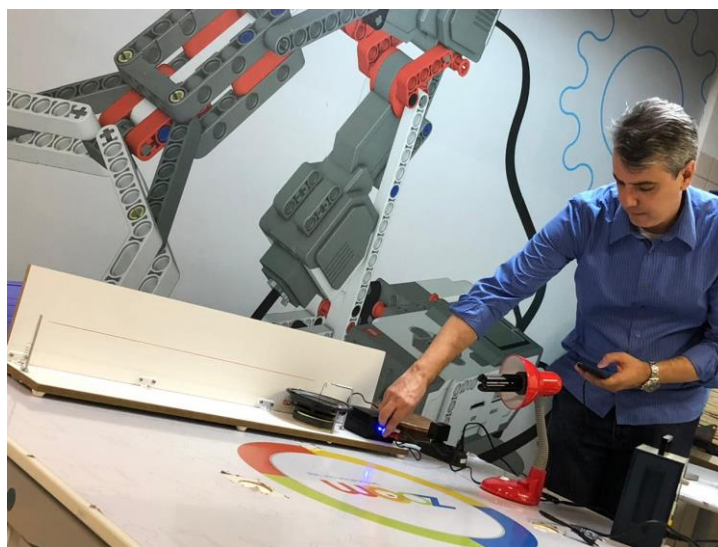
- **TERCEIRO MOMENTO PEDAGÓGICO: ORGANIZADOR AVANÇADO 3.**

### **Experimento do oscilador de Melde**

O quarto experimento é um gerador de ondas transversais em uma corda tensa conhecido como oscilador de Melde. O principal objetivo desse experimento é analisar as relações da ordenada  $y$  de um ponto da corda com a abscissa  $x$  e também com o instante  $t$  analisado.

Por meio de um cabo de áudio, conecta-se o celular a um amplificador<sup>1</sup>, o qual está ligado a um alto-falante<sup>2</sup> que vibra de acordo com frequência escolhida no aplicativo. No alto-falante existe uma haste metálica que estará em contato com o fio de pesca, o qual vibrará também, estabelecendo ondas estacionárias com modos de vibrações diferentes (Imagem 27).

**Imagem 27**



**Fonte:** acervo do autor.

De acordo com a densidade linear do fio de pesca, as frequências previamente testadas foram de 50 Hz para o primeiro harmônico (Imagem 28) e 100 Hz e 150 Hz para os harmônicos seguintes.

---

<sup>1</sup>Amplificador Multiuso Deltrônica AM20 RCA 20Wrms 110/220V e 12V. Disponível em: <<https://www.deltronica.com.br/amplificador-multiuso-deltronica-am20-rca-20wrms-110-220v-e-12v>>. Acesso: 03 de jan. de 2019.

<sup>2</sup>Alto Falante Woofer Médio Grave Range EtmEg – 102 300 Watts. Disponível em: <[https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-761490271-alto-falante-woofer-medio-grave-range-etm-eg-102-8-300watts-\\_JM](https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-761490271-alto-falante-woofer-medio-grave-range-etm-eg-102-8-300watts-_JM)>. Acesso em: 03 de jan. de 2019.

## Imagem 28



Fonte: acervo do autor.

A equação geral de uma onda estacionária estabelecida na corda é a seguinte:

$$y(x, t) = (2.A). \text{sen}(kx) \cos(\omega t) \text{ onde } \left( k = \frac{2\pi}{\lambda} \text{ e } \omega = \frac{2\pi}{T} \right)$$

$y$ : ordenada de um determinado ponto da corda

$x$ : abscissa de um determinado ponto da corda

$t$ : instante de tempo

$A$ : Amplitude de uma onda senoidal

$(2.A)$ : Amplitude resultante da superposição de duas ondas senoidais

$k$ : número de onda

$\omega$ : frequência angular

A utilização de um estroboscópio geraria pulsos de flash na mesma frequência da onda gerada no aparato, dessa forma, é possível 'congelar' a onda no tempo ( $t = 0$ ) e mostrar a relação  $y$  (posição vertical de um ponto da corda) com o  $x$  (posição horizontal de um ponto da corda) conforme a equação a seguir:

$$y(x, t) = (2.A). \text{sen}(kx) \cos(\omega t) \text{ (GERAL)}$$

Como  $t = 0$  e  $\cos 0 = 1$  então:

$$y(x, 0) = (2.A). \text{sen}(kx)$$

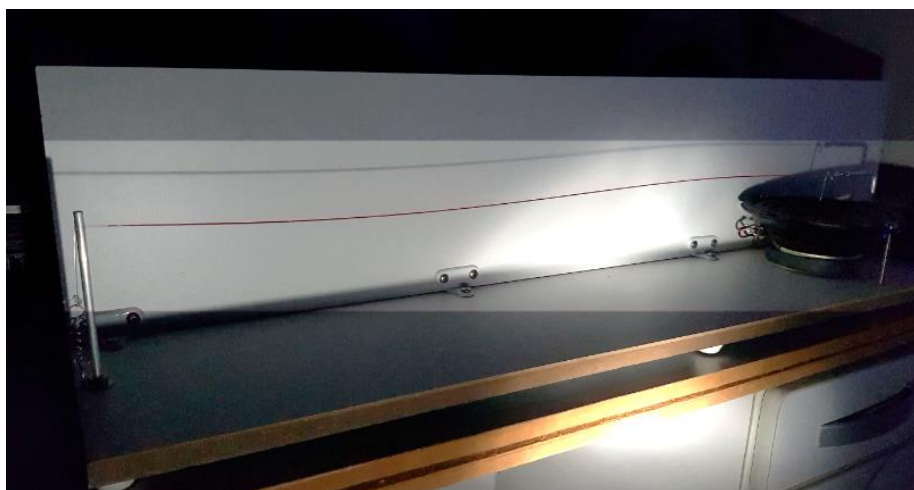
Ou seja, a função, nesse caso, não é de duas variáveis e sim, uma função de apenas uma variável. O valor de  $y$  depende apenas do valor da variável  $x$  (Imagens 29 e 30).

**Imagem 29**



**Fonte:** acervo do autor.

**Imagem 30**



**Fonte:** acervo do autor.

Outra forma de utilizar o aparato em conjunto com o estroboscópio é pintar uma pequena parte da corda com uma tinta de marca texto (fluorescente) e mais uma vez sincronizar o estroboscópio com o aparato experimental. Dessa forma, é possível 'congelar' a onda no eixo  $x$  ( $x = 0$ ) e observar a oscilação do Movimento Harmônico Simples na vertical sem o movimento horizontal. Ou seja, a posição  $y$  (vertical) oscila em função apenas do tempo de acordo com a equação:

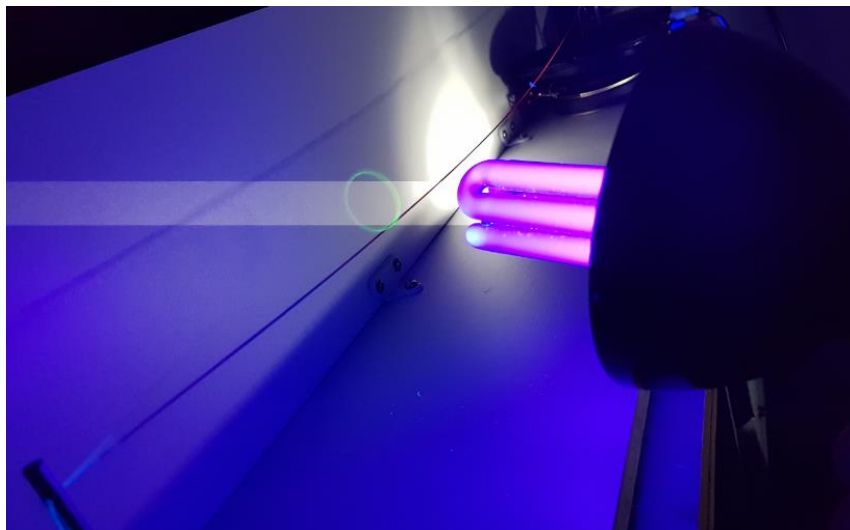
$$y(x, t) = (2.A). \text{sen}(kx) \cos(\omega t) \text{ (GERAL)}$$

Como  $x = L/2$  e  $\text{sen } x = 1$ , então:

$$y(0, t) = (2.A). \cos(\omega. t)$$

Isto é, a função, nesse caso, não é de duas variáveis e sim, uma função de apenas uma variável. O valor de  $y$  depende apenas do valor da variável  $t$  (Imagem 31).

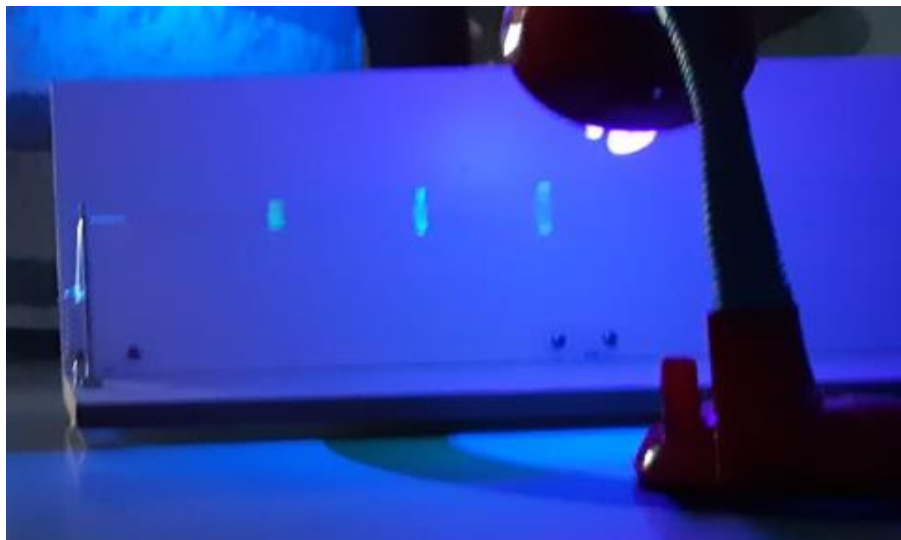
**Imagem 31**



**Fonte:** acervo do autor.

Finalizando o experimento do oscilador de Melde, foram pintados mais de um ponto da corda com a tinta fluorescente. Dessa forma foi visualizada alguns pontos oscilando na vertical com amplitudes diferentes. Diferente de uma onda progressiva, a onda estacionária tem as amplitudes dependentes das posições horizontais  $x$  (Imagem 32).

**Imagem 32**



**Fonte:** acervo do autor.

## Capítulo 5

### Análise e Conclusões

Na presente dissertação, propomo-nos elaborar um produto educacional, objetivando discutir a equação de uma onda estacionária, tendo a ondulatória como o componente teórico que embasa toda esta proposta e também, utilizamos, como eixo de fundamentação, elementos da mecânica, especificamente, da cinemática.

Assim, objetivando alcançar o acima exposto, foi aplicado no início da atividade um instrumento de avaliação prévia, um pré-teste (Apêndice A) envolvendo conteúdos de ondulatória e cinemática, cujo propósito era analisar as dificuldades e os conhecimentos dos estudantes, de modo que fosse possível, posteriormente, a interação entre os conhecimentos prévios dos discentes e os conhecimentos novos apresentados após a aplicação do produto educacional pelo professor.

Para Ausubel (1968, p. 37 e 38 *apud* Moreira et al, 1997, p. 13),

"a aprendizagem significativa requer não só que o material de aprendizagem seja potencialmente significativo [...], mas também que o aprendiz manifeste uma disposição para relacionar o novo material de modo substantivo e não-arbitrário a sua estrutura de conhecimento."

A aplicação dessa abordagem pedagógica, o pré-teste, ainda não havia sido realizada durante o ano letivo vigente na escola, fato que gerou resistência estudantil frente a sua realização. Alguns alunos presentes afirmaram não estar seguros quanto da resolução teórica da avaliação proposta e que provavelmente não conseguiriam responder quase nada do questionário apresentado, ocasionando frustração prévia e constrangimento diante de um possível baixo rendimento.

Nesse sentido, a amostra do presente estudo foi composta por vinte alunos do terceiro ano do Ensino Médio, de um colégio particular, de classe média da Cidade do Recife. A fim de oferecer maior completude aos dados coletados, apresentamos, no decorrer deste capítulo, os resultados de seis alunos da amostra total. Tais alunos foram selecionados sob o critério de análise



do pré-teste e pós-teste, pois verificamos melhorias significativas em alguns destes e outros representaram os resultados gerais esperados e obtidos por meio da aplicação do produto.

Segundo Ausubel, Novak e Hanesian (1980), os materiais potencialmente significativos, como o caso da sequência didática e dos aparatos educacionais apresentados nos capítulos anteriores, precisam dialogar de maneira não-arbitrária com o conhecimento já existente na estrutura cognitiva dos estudantes. Isto é, o conhecimento prévio funciona como uma matriz estruturante e organizacional para a assimilação de novos conhecimentos. Podemos denominar tal matriz de conceitos *subsunçores*, responsáveis por ancorar as novas informações.

Moreira e Masini (2001) afirmam que para verdadeiramente ocorrer a aprendizagem significativa é necessário que o professor possa dispor de organizadores prévios para construir ou evocar os conceitos *subsunçores* no sentido do entendimento do novo conteúdo apresentado, aqui, no tocante à assimilação da equação de uma onda estacionária.

O conhecimento da classificação das ondas mecânicas foi construído junto aos estudantes por meio de um conjunto de experimentos simples, ocorridos no primeiro momento pedagógico da atividade educacional correspondente à manipulação da mola *Slinky* (organizador avançado 2).

Apenas analisando de forma qualitativa, a partir da visualização das duas formas de propagação das ondas na mola *Slinky*, isso fez com que todos os estudantes acertassem a questão 1 referente as ondas longitudinais ou transversais.

No que se refere à temática de ondulatória, ainda no organizador avançado 2, os conhecimentos de período, frequência e comprimento de onda são imprescindíveis para a análise desse experimento.

Por meio da aplicação deste organizador avançado 2, o aluno 2 foi capaz de perceber que ao aumentar o comprimento da mola, a velocidade da onda aumentaria na mesma proporção, referente à questão 2 do pré-teste. Ou seja, o aluno sai de uma análise puramente empírica para uma análise matemática mais elaborada devida à atividade educacional experimental que proporcionou a medição dos valores de velocidade da onda e do comprimento da mola. O aluno

4 conseguiu compreender algo ainda um pouco mais completo, que foi relacionar comprimento da mola com a velocidade da onda, afirmando que eram diretamente proporcionais, desde que a frequência de oscilação fosse a mesma.

Essa atividade tornou-se potencialmente significativa, ao ponto de, se quiséssemos, poderíamos ir mais além do que foi proposto do nosso trabalho. No caso do estudante, citado anteriormente, que relacionou o comprimento da mola com a velocidade da onda, dizendo que são diretamente proporcionais, desde que a frequência de oscilação fosse a mesma, para nós, professores, sabemos que esse comentário está se referindo ao módulo de Young. É por isso que, por aprendizagem por subordinação, tomando o comentário do estudante como subsunçor, poderíamos comentar da velocidade de propagação do som é maior nos sólidos, do que nos líquidos e nestes maior que nos gases, já que a força de interação é maior. No caso da mola, ao esticarmos, estamos aumentando a força de interação entre as partículas, que tem a ver com módulo de Young, que foge do objetivo do trabalho, mas abre uma porta para se investigar outras relações existentes na propagação de uma onda. Também poderia ir até mais distante, discutindo conceitos correlatos do módulo de Young como da permeabilidade magnética e da permissividade elétrica que se relacionam com a velocidade de propagação da onda eletromagnética.

Outro componente teórico abordado ainda no primeiro momento pedagógico, embora, por meio de um distinto grupo de alunos, diz respeito ao tema sobre o Pêndulo Simples (organizador avançado 1).

Alguns estudantes, no momento do pré-teste, afirmaram que quando uma grandeza crescia e a outra grandeza relacionada também crescia, tal fato os levava a concluir que as relações eram de grandezas diretamente proporcionais, provocando conclusões precipitadas e sem fundamento matemático.

A servir de exemplo, analisamos o caso do aluno 4, o qual inicialmente afirmava incorretamente, na questão 3 do pré-teste, que o comprimento do fio era diretamente proporcional ao período do pêndulo. É importante observar que, após o decorrer da sequência didática elaborada, as medições, mais uma vez, contribuíram bastante para o amadurecimento científico.

Alguns alunos conseguiram atingir níveis de sofisticação da aprendizagem e de aprimoramento das respostas, não vistos anteriormente, conseguindo compreender de forma adequada como são estabelecidas as relações matemáticas entre as grandezas. Ao responder corretamente o pós-teste o aluno 4 afirma que o período de um pêndulo é proporcional à raiz quadrada do comprimento do fio.

Na terceira atividade experimental, que compõe o segundo momento pedagógico, correspondente ao organizador avançado 3, foi necessário revisar alguns conhecimentos de cinemática, que foram o Movimento Retilíneo Uniforme (MRU) e o princípio da independência dos movimentos de Galileu. No organizador avançado 3, existe uma aplicação do princípio de Galileu, isto é, há uma composição de dois movimentos independentes entre si. Um dos referidos movimentos corresponde ao deslocamento de um trenzinho em MRU e o outro movimento corresponde à oscilação do pêndulo simples, que desenha na fita de papel um gráfico da posição da partícula em função do tempo. Este gráfico parece com uma onda senoidal no qual será possível medir o comprimento de onda e logo em seguida, será permitido calcular a velocidade da onda com a medida da frequência do pêndulo e comparar com a velocidade do trenzinho.

No tocante a resposta da questão 4 do pré-teste, alguns alunos nem sabiam quais eram os movimentos existentes numa onda periódica antes da sequência didática. Contudo, após a aplicação do produto, esta foi respondida corretamente por todos os estudantes presentes. O experimento do trenzinho com o pêndulo é decisivo para que o aluno perceba o que é Movimento Uniforme e o que é o Movimento Harmônico Simples perpendicular.

Assim, estabelecendo a relação entre os dois experimentos, o do trenzinho e o do oscilador de Melde, que será detalhado posteriormente, o aluno consegue perceber, tanto em um quanto no outro, que existe um Movimento Retilíneo Uniforme e um Movimento Harmônico na direção perpendicular.

Por fim, a última etapa da atividade pedagógica, correspondente ao organizador avançado 4, envolve o oscilador de Melde. Este oscilador é um aparato de baixo custo que se propõem a realizar alguns experimentos para o estudo de ondas estacionárias, principalmente, a equação de uma onda estacionária. Assim, objetivando promover uma melhor assimilação de tal

equação fez-se necessário rever, com os estudantes, os conceitos de função de onda e os modos de vibração numa corda vibrante.

Um depoimento muito interessante de um estudante, ao terminar a análise do experimento de Melde, foi: “depois de utilizar o estroboscópio, consegui visualizar e entender as relações matemáticas da ordenada de um ponto da corda ( $y$ ) com a abscissa do ponto da corda ( $x$ ) e com o instante de tempo ( $t$ ) na equação de uma onda estacionária”.

## Capítulo 6

### Considerações Finais

Uma parte dos professores de ensino médio possuem uma vivência escolar na qual a memorização, a aplicação de fórmulas e as resoluções de exercícios de forma repetitiva, são mais valorizadas do que a construção do conhecimento de forma dialética e do desenvolvimento do raciocínio lógico e científico por parte dos estudantes.

Durante o tempo dedicado ao mestrado profissional, principalmente nos momentos de estudo dos materiais das disciplinas da área de educação e dos artigos científicos que serviram de base para o planejamento e confecção do produto educacional, percebi uma mudança substancial na concepção de como deve ser o processo de ensino e aprendizagem. Ou seja, tornando o estudante agente ativo e o professor um facilitador desse processo.

Nesse sentido, ao perceber a dificuldade dos estudantes em compreender as equações da parte de ondulatória e de saber relacionar matematicamente as grandezas envolvidas, construímos uma sequência didática que utilizasse os conhecimentos prévios dos estudantes e a partir da utilização de alguns experimentos, construímos os organizadores avançados para atingir a compreensão da equação de uma onda estacionária. É importante salientar que tal equação tem um fator complicador para ser entendida, pois é a primeira vez que os estudantes se deparam com uma função de duas variáveis.

Os resultados foram satisfatórios tanto na análise comparativa das respostas do pré-teste e do pós-teste, como nos depoimentos dos alunos. Partiu deles a afirmação que em todas as aulas de Física os estudantes deveriam participar efetivamente tanto da parte experimental, colhendo os dados e analisando os resultados, como nas discussões a respeito da formulação da parte teórica.

Nesse sentido, buscando ratificar o processo de aprendizagem significativa apresentado por Ausubel (1968), concordamos com Vygotsky (2004) quando este afirma não poder haver passividade do estudante durante a internalização do novo conhecimento apreendido, uma vez que, há "uma reorganização individual em oposição a uma transmissão automática dos

instrumentos fornecidos pela cultura" (p. 30), ou seja, esse processo pedagógico deve ser dialético e socialmente compartilhado.

Assim, pois, durante a aplicação da atividade, podemos perceber que todos os estudantes estavam bastante envolvidos, tanto aqueles que já gostavam e tinham facilidade com a Física, como os que não tinham afinidade com a matéria. Como afirma Ibiapina (2005),

“atualmente, entre os pesquisadores educacionais, cresce a convicção de que a pesquisa colaborativa é uma alternativa teórica e metodológica de formar o professor para além da cultura de construção técnica do conhecimento, em que os professores experimentam e põem à prova resultados de pesquisas externas e não o desenvolvimento de práticas investigativas sob o seu próprio controle. Nessa perspectiva, essa modalidade de pesquisa é um empreendimento para a recuperação da profissionalização docente e sua emancipação.” (IBIAPINA, 2005, p.27).

A sequência didática e os aparatos educacionais apresentados aos alunos compõem o que Desgagné (1997) classifica como uma pesquisa colaborativa, caracterizada pela contribuição de professores em processos de investigação, nesse caso, no desenvolvimento de um mestrado profissional, cujo objeto de estudo é apresentado aos alunos e estes, por sua vez, são incluídos como partícipes da investigação.

Destarte, nos propomos analisar o que uma estudante relatou durante o experimento da mola Slinky: *“agora estou sentindo na minha mão e entendendo que estou fazendo os movimentos corretos”*. Esse comentário é resultado de que ao oscilar a mola e conseguir formar os modos de vibração, ou seja, estando em ressonância com o movimento da mola, a estudante não percebia uma força de reação da mola considerável em sua mão, o que nos leva a refletir que

“no ensino de ciência, a experimentação pode ser uma estratégia eficiente para a criação de problemas reais que permitam a contextualização e o estímulo de questionamento de investigação. Nesta perspectiva, o conteúdo a ser trabalhado caracteriza-se como resposta aos questionamentos feitos pelos educandos durante a interação com o contexto criado.” (GUIMARÃES, 2009, p.198).

Assim, o que a estudante estava sentindo nos serviu como objeto de discussão para ampliarmos o conceito de ressonância que apareceu em outros momentos da atividade educacional. A própria estudante, ao final de toda atividade, afirmou que: *“quanto mais sentidos nós utilizássemos em uma atividade educacional, maior seria o aprendizado”*.

## Referências Bibliográficas

ALMEIDA, Fernando J. (2009). **Paulo Freire**. Folha Explica, v. 81. São Paulo: Publifolha. 95p.

AUSUBEL, D.P. **Educational psychology: a cognitive view**. New York: Holt, Rinehartand Winston, 1968.

AUSUBEL, David P., NOVAK, Joseph D., HANESIAN, Helen. **Psicologia educacional**. Tradução Eva Nick. Rio de Janeiro: Interamericana, 1980.

BORGES, Antônio Tarciso. Novos rumos para o laboratório escolar de ciências. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 19, n. 3, p. 291-313, 2002.

BRASIL. Ministério da Educação, Secretaria de Educação Fundamental. **Parâmetros Curriculares Nacionais: terceiro e quarto ciclos do ensino fundamental**. Brasília; MEC/SEF, 1998.

CAMPOS, Celso Ribeiro. **A educação estatística: uma investigação acerca dos aspectos relevantes à didática da estatística em cursos de graduação**. 2007. viii, 242 f. Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, 2007. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/11449/102161>>. Acesso em: 18 de abril de 2019.

D'AMBROSIO, U. **Etnomatemática – Elo entre tradições e modernidade**. 2a ed. Belo Horizonte: Autêntica, 2002.

DESGAGNÉ, S. **Reflexões sobre o conceito de pesquisa colaborativa**. Departamento de Psicopedagogia, de didática e de tecnologia educativa. Université Laval. Québec, Canadá, 1997.

FURTADO, J. C. F. **O desafio de promover a aprendizagem significativa**. Revista UNIABEU. v. 20, p. 29-37, 2006.

FREIRE, Paulo. **Pedagogia da Autonomia**. Saberes necessários à prática educativa. São Paulo: Paz e Terra, 1996. 148p.

GASPAR, A. Compreendendo a física. 2. ed. São Paulo: Ática, 2013.

GUIMARÃES, C.C. **Experimentação no ensino de Química**: caminhos e descaminhos rumo à aprendizagem significativa. Química Nova na Escola n.3, p. 198-202, Agosto, 2009.

HALLIDAY, David. **Fundamentos da Física**, volume 2: gravitação, ondas e termodinâmica. – 10. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2016

IBIAPINA, Ivana Maria L. de Melo. Palavra Mágica: Ensino. Teresina: [s.n.], 2005. 17p.

MALACHIAS, Infante, Elena, María; SANTOS, Borges dos, Diana. **Aprendizagem Significativa Crítica pela proposição explicativa de analogias através do Modelo Didático Analógico (MDA)**. Revista Electrónica de Investigación en Educación en Ciencias. v. 8, n.2, p. 21-32, 2013.

MOREIRA, M.A., CABALLERO, M.C. e RODRÍGUEZ, M.L. (orgs.) (1997). **Actas del Encuentro Internacional sobre el Aprendizaje Significativo**. Burgos, España. pp. 19-44. Disponível em: <<https://www.if.ufrgs.br/~moreira/apsigsubport.pdf>>. Acesso em: 28 de dez. de 2018.

MOREIRA, Marco Antonio, Caballero, Concesa & Rodríguez Palmero, M<sup>a</sup> Luz (2004). **Aprendizaje significativo**: interacción personal, progresividad y lenguaje. Burgos, Espanha: Servicio de Publicaciones de la Universidad de Burgos.

MOREIRA, Marco Antonio. **Aprendizagem Significativa**: a teoria e textos complementares. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2011.



MOREIRA, M.A. e MASINI, E.F.S. **Aprendizagem Significativa**: A teoria de David Ausubel. Editora Moraes: São Paulo, 1982.

MOREIRA, M.A.; MASINI, E. F. S. **Aprendizagem significativa**: A teoria de David Ausubel. São Paulo: Centauro, 2001.

MOREIRA, Marco Antonio; MASINI, Elcie F. Salzano. **Aprendizagem Significativa**: a teoria de David Ausubel. São Paulo: Centauro, 2011.

NUSSENZVEIG, H. M. **Curso de física básica, 2**: fluidos, oscilações e ondas, calor. 5 ed. São Paulo: Blucher, 2014.

OSTERMANN, F., CAVALCANTI, C. J. H. Física moderna e contemporânea no ensino médio: elaboração de material didático, em forma de pôster, sobre partículas elementares e interações fundamentais. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 16, n. 3, p. 267-286, dez. 1999.

PEREIRA, Maria Alice. **A Importância do Ensino de Ciências**: Aprendizagem Significativa na Superação do Fracasso Escolar. Paraná – PR, 2008. Disponível em: <<http://www.diaadiaeducacao.pr.gov.br/portals/pde/arquivos/2233-8.pdf>> Acesso em: 12 de abril de 2019.

PIETROCOLA, M. et al. **Física**: conceitos e contextos, 2. 1 ed. São Paulo: Editora do Brasil, 2016.

PORTO, C.M.; PORTO, M.B.D.S.M. Galileu, Descartes e a elaboração do princípio da inércia. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 31, n. 4, 4601, 2009. Disponível em: <[www.sbfisica.org.br](http://www.sbfisica.org.br)>. Acesso em: 28 de dez. de 2018.

RAMALHO JÚNIOR, F. **Os fundamentos da física**. 9 ed. São Paulo: Moderna, 2007.

SAMPAIO, Luana Oliveira. **Educação Estatística Crítica: uma possibilidade?** 2010. 112 f. Dissertação (Mestrado em Educação Matemática) – Universidade Estadual Paulista, UNESP, Rio Claro, 2010.

SANTOS, Teixeira dos, Maria, Flávia. **As emoções nas interações e a aprendizagem significativa.** Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal Sistema de Información Científica. v. 9, n. 2, p. 1-15, 2007.

SERWAY, A.R., JEWETT.J. W., **Princípios de Física**, Editora Thomson, São Paulo-SP, v.2, 5ª Edição, 2014.

SILVA, P.G.P da & CAVASSAN, O. **Avaliação das aulas práticas de botânica em ecossistemas naturais considerando-se os desenhos dos alunos e os aspectos morfológicos e cognitivos envolvidos.** Revista Ciências Humanas (MIMESIS), Bauru, v. 27, n. 2, p. 33-46, 2006.

VILAS BÔAS, N. **Tópicos de física: volume 2.** - 19. ed. - São Paulo: Saraiva, 2012.

VYGOSTSKY, L. S. **Teoria e método em Psicologia.** 3 ed. São Paulo. Martins Fontes, 2004.

# Apêndice A

## O Produto Educacional

### A.1 Introdução

Nosso produto educacional consiste em uma sequência didática investigativa, potencialmente significativa para o processo de ensino-aprendizagem da Física Ondulatória. Para isso, se faz uso de diversas fontes, tais como os estudos de David Ausubel (1968) e de Marco Antônio Moreira (1997), incluindo a utilização de organizadores avançados como uma estratégia de ensino na preparação dos alunos para o entendimento da equação da onda estacionária.

A experiência adquirida ao longo dos anos de docência contribuiu para a percepção da dificuldade dos discentes de entenderem a equação de uma onda estacionária. Um dos principais motivos é porque, pela primeira vez no ensino básico, que eles se defrontam com uma função que se relaciona duas variáveis. Tal função relaciona uma variável  $y$ , a qual corresponde à posição da partícula da corda no eixo vertical com outras duas variáveis:  $x$ , que corresponde à posição da partícula da corda no eixo horizontal e  $t$ , associado ao instante de tempo.

Outro problema para os estudantes é o entendimento de que numa onda estacionária em uma corda tensionada existe uma composição de dois movimentos diferentes, supostamente independentes, perpendiculares entre si e que podem ser analisados separadamente. No caso, de analisarmos apenas uma das ondas que se propagam num certo sentido, para resultarem um padrão de onda estacionária, os movimentos independentes seriam: o Movimento Retilíneo Uniforme (MRU) e o Movimento Harmônico Simples (MHS).

O produto desenvolvido na presente dissertação tem a sua gênese na experiência concreta de um professor em sala de aula, tal como dialoga com os objetivos do Programa Nacional de Mestrado Profissional em Ensino de Física (MNPEF): capacitar, em nível de pós-graduação, professores da Educação Básica e auxiliar na assimilação e construção de técnicas e estratégias atuais de ensino para a aplicação em sala de aula.

No tocante à equação de uma onda estacionária, alguns desses conceitos prévios não estão presentes nas estruturas de conhecimentos dos estudantes, fato que dificulta a assimilação de um novo conteúdo. De modo que é comum, no processo de ensino-aprendizagem, a ausência de estratégias educacionais que possibilitem a criação de elos entre os conceitos prévios adequados e o novo conteúdo a ser apresentado aos alunos.

Dentro desse contexto, almeja-se pontuar a construção de um produto educacional que promove a aprendizagem significativa da equação de uma onda estacionária por meio de atividades experimentais como organizadores avançados que possibilitam explorar as relações da ordenada de um ponto da corda vibrante ( $y$ ) com a abscissa do mesmo ponto da corda vibrante analisado ( $x$ ) e do ( $y$ ) como instante de tempo considerado ( $t$ ) simultaneamente ou isoladamente.

Assim como, propor aos colegas professores uma sequência didática composta de três momentos pedagógicos nos quais os organizadores avançados são trabalhados com os estudantes em movimentos de diferenciação progressiva e reconciliação integradora procurando o entendimento das partes e do todo, concernentes ao estudo da equação de uma onda estacionária.

Uma característica do nosso trabalho é que todas as atividades experimentais são propostas diretamente pelo professor com o roteiro definido de como serão feitos os procedimentos em cada etapa, ficando para o aluno a tarefa de colher dados e tirar as conclusões, ou seja, uma atividade investigativa em laboratório fechado.

## A.2 Descrição do Produto

Nosso produto educacional é uma sequência didática e investigativa em um laboratório experimental fechado. No produto há um conjunto de aparatos experimentais, sendo que um deles consiste numa reconstrução do oscilador de Melde, denominado de organizador avançado 4, com o qual investigamos os fundamentos físicos da equação de uma onda estacionária. Analisando a propagação de uma das ondas que formam o padrão de ondas estacionárias existe a composição de dois movimentos perpendiculares, considerados independentes, sendo eles o Movimento Horizontal Retilíneo e Uniforme (MRU) e o vertical, denominado Movimento Harmônico Simples (MHS).

Há, também, três aparatos secundários, com os quais desenvolvemos atividades de organizadores avançados necessárias à evocação ou construção, se for o caso, dos conceitos subsunçores em cima dos quais ancoraremos a aprendizagem significativa dos princípios físicos da citada equação.

Os conceitos subsunçores necessários para o decorrer da atividade educacional aqui descrita seriam os conceitos de: período, frequência, comprimento de onda, equação fundamental da ondulatória e composição de movimentos de Galileu. Se os estudantes não tiverem em sua estrutura cognitiva tais conceitos prévios, dificilmente entenderão a equação de uma onda estacionária.

No primeiro momento pedagógico, serão desenvolvidos dois organizadores avançados utilizando um pêndulo simples (organizador avançado 1) e uma mola *Slinky* (organizador avançado 2). No segundo momento pedagógico realizaremos uma atividade de reconciliação integradora dos movimentos estudados no momento pedagógico antecessor, utilizando-se do registro de movimento oscilatório de um pêndulo numa tira de papel que se movimenta uniformemente numa direção perpendicular ao movimento de oscilação do pêndulo (organizador avançado 3).

No momento pedagógico subsequente, tais movimentos serão revisitados por meio da diferenciação progressiva, empregando, em tal instante, duas atividades experimentais desenvolvidas no oscilador de Melde, objetivando facilitar a compreensão particular de cada um dos dois movimentos ali

compostos, bem como da sua representação por meio da equação de uma onda estacionária.

A fim de auxiliar na visualização das atividades e dos objetivos a serem alcançados na construção do presente produto, elencamo-los na tabela a seguir:

**Tabela 6**

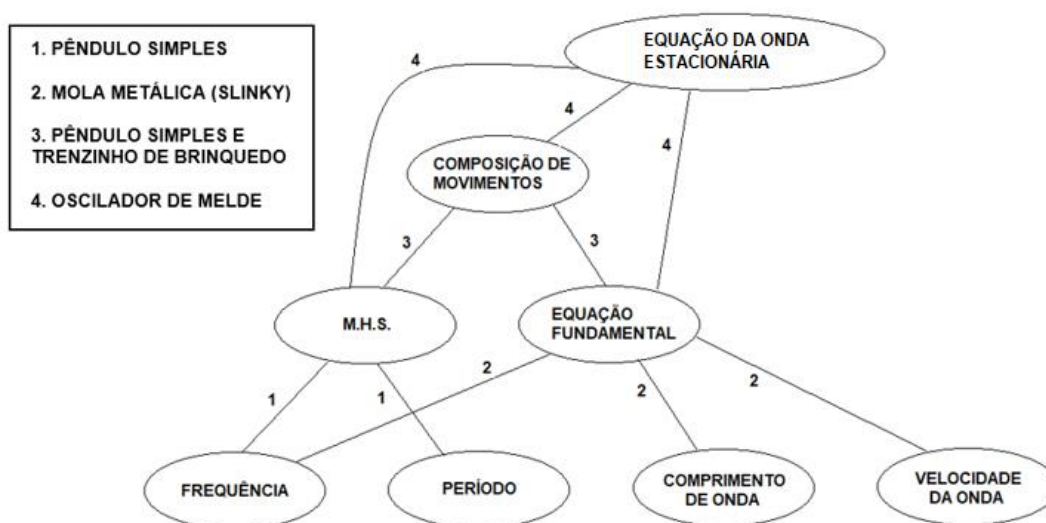
<b>Momento pedagógico</b>	<b>Duração</b>	<b>Atividades</b>	<b>Objetivos</b>
Primeiro	1,5 h	Realização de um pré-teste.  Breve introdução teórica do assunto MHS, mostrando os movimentos periódicos e oscilatórios.  Experimento do pêndulo simples  Experimento da Mola Slinky.  Depois cada grupo compartilha as suas conclusões.	Colher os conhecimentos prévios dos estudantes.  Revisar pontos teóricos de Ondulatória.  Verificar a diferença das ondas longitudinais e transversais.  Analisar o movimento do pêndulo (MHS) e relacionar período e frequência. Verificar a relação entre o período e o comprimento do fio.  Analisar o movimento da mola e relacionar o comprimento de onda, a frequência e o período de oscilações. Verificar a relação da tensão na mola e a velocidade de propagação da onda.
Segundo	1 h	Experimento do pêndulo simples com o trenzinho de brinquedo.	Analisar a composição de movimentos de Galileu, supostamente independentes, do pêndulo (MHS) e do movimento do trenzinho (MRU). Reconciliação integradora dos dois movimentos, o MRU e o MHS.
Terceiro	1,5 h	Oscilador de Melde  Aplicação do pós-teste	Diferenciação progressiva dos dois movimentos na corda no oscilador de Melde e a partir disso entender a representação matemática da equação de uma onda estacionária.  Avaliar o aprendizado do estudante durante a atividade educacional

**Fonte:** elaborado pelo autor.

Para o desenvolvimento atividade educacional aqui descrita, é imprescindível a divisão dos três momentos pedagógicos mostrada na tabela anterior. Objetivo final, o qual nos propomos alcançar ao decorrer das atividades, é o entendimento da equação de uma onda estacionária, buscando relacionar a posição vertical de um ponto da corda com a posição horizontal e o instante de tempo.

Para tanto, o mapa a seguir descreve a forma como pensamos a construção e/ou a análise da equação de uma onda estacionária, por meio da disposição ordenada dos referidos conceitos subsunçores:

### Mapa Conceitual 1



Fonte: elaborado pelo autor.

### Primeiro Momento Pedagógico (1,5 h)

No primeiro momento pedagógico será realizada uma revisão, por parte do professor, de movimentos periódicos e oscilatórios, explicando as equações que descrevem tais movimentos e mostrando alguns exemplos práticos. É pertinente haver uma breve discussão sobre a relação entre o Movimento Circular Uniforme (MCU) e o Movimento Harmônico Simples (MHS) para justificar matematicamente a equação da posição do MHS, que servirá de base para a equação de uma onda estacionária. Para exemplificar, serão realizados três experimentos, detalhados a seguir.

Na atividade educacional, inicialmente, formarão dois grupos de alunos, que realizarão procedimentos diferentes, os quais serão compartilhados no final de cada etapa. Ainda primeiro momento pedagógico, um grupo deverá realizar o experimento do pêndulo simples (organizador avançado 1), cujo objetivo é analisar um tipo de MHS e estabelecer a relação do período com a frequência e com o comprimento do fio. Tal experimento consiste de um pêndulo simples, oscilando na vertical, cuja massa do corpo oscilante é grande o suficiente para que o amortecimento de sua oscilação não seja relevante. Ou seja, a força de resistência do ar sobre o corpo possuirá um valor desprezível comparada com a componente do peso, que fará o papel da força restauradora do MHS.

Nesse experimento, um fio de náilon terá uma de suas extremidades pendurada num suporte de madeira e na extremidade oposta ao fio haverá um pêndulo de prumo, feito de cobre, conforme mostrado na imagem a seguir:



**Imagem 33:** pêndulo de Prumo.



**Fonte:** acervo do autor.

O pêndulo de prumo foi utilizado apenas no segundo momento pedagógico que consiste experimento que envolve o pêndulo e o trenzinho motorizado que desenha o gráfico da posição do pêndulo em função do tempo. No primeiro momento pedagógico foi utilizado o pêndulo com uma bola de bilhar cedido pela escola, veja as imagens 34 e 35. Uma sugestão para aperfeiçoar o pêndulo é realmente utilizar uma bola de bilhar, pois no momento que o pêndulo de prumo é abandonado para iniciar as oscilações era necessário segurar na altura do centro de massa do cone metálico que ficava mais perto da base circular do cone. Caso contrário, o pêndulo fica com um movimento relativamente caótico.



Imagem 34	Imagem 35
	
<p><b>Fonte:</b> acervo do autor.</p>	<p><b>Fonte:</b> acervo do autor.</p>

O pêndulo de comprimento  $L$  deverá ser abandonado formando um ângulo pequeno em relação à vertical e será medido, com um cronômetro do celular, certo intervalo de tempo correspondente a cinco oscilações do mesmo. Posteriormente, determina-se o período do movimento ( $T$ ) dividindo o intervalo de tempo total por 5, ou seja,  $T = \frac{\Delta t_{TOTAL}}{5}$ . O procedimento deverá ser repetido três vezes e calcula-se uma média dos resultados para se obter o período final médio do movimento, ou seja,  $T = \frac{T_1+T_2+T_3}{3}$ . Com o valor médio do período  $T$ , compara-se com o período  $T'$  obtido pela equação do pêndulo simples, que é um exemplo de MHS,  $T' = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{L}{g}}$ , substituindo o valor medido de  $L$  e considerando a aceleração da gravidade  $g = 9,8 \text{ m/s}^2$  e  $\pi = 3,14$ .

**Tabela 7**

	$T_1$	$T_2$	$T_3$	$T$	$T'$
$L_1 =$					
$L_2 =$					
$L_3 =$					

**Fonte:** elaborado pelo autor.

$L$  : Comprimento do fio

$T_1$  : Período determinado pelo Aluno (etapa 1)

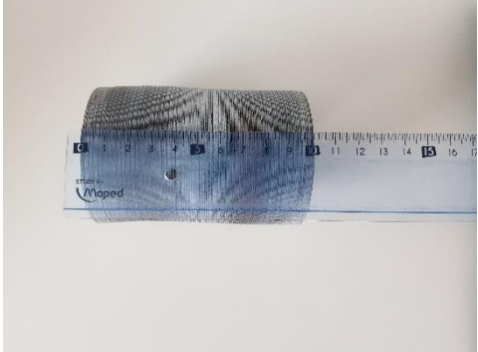
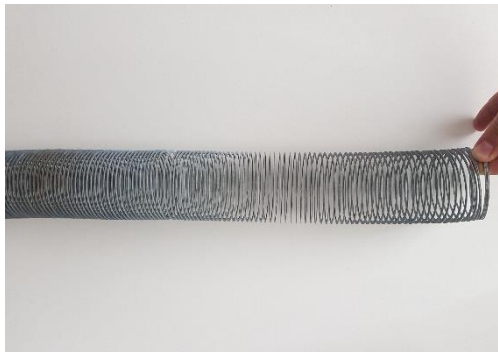
$T_2$  : Período determinado pelo Aluno (etapa 2)

$T_3$  : Período determinado pelo Aluno (etapa 3)

$T$  : Período médio


$T'$ : Período calculado pela expressão  $T' = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{L}{g}}$  com o respectivo valor de  $L$

Ainda no primeiro momento pedagógico, o segundo grupo realiza o experimento da mola metálica (Imagens 36 e 37), que tem como objetivo analisar a propagação da onda na mola metálica, estabelecer as relações entre o período, a frequência e a velocidade da onda, tendo como objetivo secundário analisar a relação entre a tensão da corda e a velocidade da onda (organizador avançado 2).

Imagem 36	Imagem 37
	
<b>Fonte:</b> acervo do autor.	<b>Fonte:</b> acervo do autor.

O experimento consiste na manipulação de uma mola de ferro por partes dos estudantes no qual eles deverão movimentar, em um plano horizontal, a mola, gerando ondas longitudinais e transversais. No caso das ondas transversais, principal objeto de estudo desse produto pedagógico, primeiramente, deverá ser medido o comprimento total da mola esticada e observar-se a quantidade de ciclos completos estabelecidos na configuração experimental.

Vejam algumas formas de manipular a mola Slinky que correspondem aos harmônicos gerados pelo próprio estudante (Imagens 38, 39, 40 e 41) .

<b>Imagem 38</b>	<b>Imagem 39</b>
	
<b>Fonte:</b> acervo do autor.	<b>Fonte:</b> acervo do autor.
<b>Imagem 40</b>	<b>Imagem 41</b>
	
<b>Fonte:</b> acervo do autor.	<b>Fonte:</b> acervo do autor.

Enquanto estão sendo geradas as ondas transversais, outro estudante deverá marcar, com o cronômetro do celular, o intervalo de tempo total ( $\Delta t_{TOTAL}$ ) relativo a  $N$  oscilações completas geradas pelo primeiro estudante e posteriormente, determinar a frequência do movimento, dividindo o número de oscilações completas pelo o intervalo de tempo total, ou seja,  $f = \frac{N}{\Delta t_{TOTAL}}$ , como

$\Delta t_{TOTAL} = 30$  fica  $f = \frac{N}{30}$ . Por fim, a partir dessas informações de comprimento de onda e frequência deverá ser possível estimar a velocidade da onda por meio da equação fundamental  $v = \lambda \cdot f$ .

Durante as medições, será possível coletar outros dados realizando, ainda, algumas modificações simples nas etapas citadas acima, por exemplo, colocando constante o comprimento da mola esticada e buscando variar apenas as frequências de oscilação e os respectivos comprimentos de onda. Caso o comprimento da mola seja aumentado, aumenta-se também a tensão nela e conseqüentemente aumenta a velocidade de propagação da onda na mola.

**Tabela 8:** experimento da mola *slinky* no primeiro momento pedagógico.

ETAPA PARA $L_1 =$					
	N	$\lambda$ (m)	$\Delta t_{TOTAL}$ (s)	$f$ (Hz)	$v$ (m/s)
n = 0,5					
n = 1					
n = 1,5					
n = 2					

**Fonte:** elaborado pelo autor.

L: Distância entre as extremidades da mola esticada

n: Número de ciclos

N: Número de oscilações geradas pelo estudante no intervalo de tempo  $\Delta t_{TOTAL}$

$\lambda$ : Comprimento de onda

$\Delta t_{TOTAL}$  : Intervalo de Tempo

$f$  : Frequência média

$v$  : Velocidade da onda

$v_{m_1}$ : Velocidade da onda (média dos quatro valores encontrados)

## Segundo Momento Pedagógico (1,0 h)

Após a realização simultânea dos dois experimentos anteriormente apresentados e da partilha das observações feitas entre os alunos, todos os estudantes se juntar para observação do experimento do pêndulo simples com a utilização de um trenzinho de brinquedo, a fim de analisar a composição de movimentos. Em seguida, os movimentos do pêndulo e do trenzinho são superpostos e deverão ser registrados em uma folha de papel (organizador avançado 3).

A utilização da composição de movimentos no experimento do pêndulo simples citado anteriormente consiste em fixar na ponta do pêndulo um pincel com tinta *guache* que irá registrar o gráfico da posição em função do tempo numa folha de papel sobre uma mesa horizontal. Esse papel deverá estar preso a um trenzinho de brinquedo, em velocidade constante, realizando um movimento retilíneo uniforme. A distância percorrida e o intervalo de tempo do trenzinho serão medidos pelos estudantes, para posteriormente calcular a velocidade da onda riscada no papel por meio da equação  $v_1 = \frac{\Delta S}{\Delta t}$  (Imagem 42).

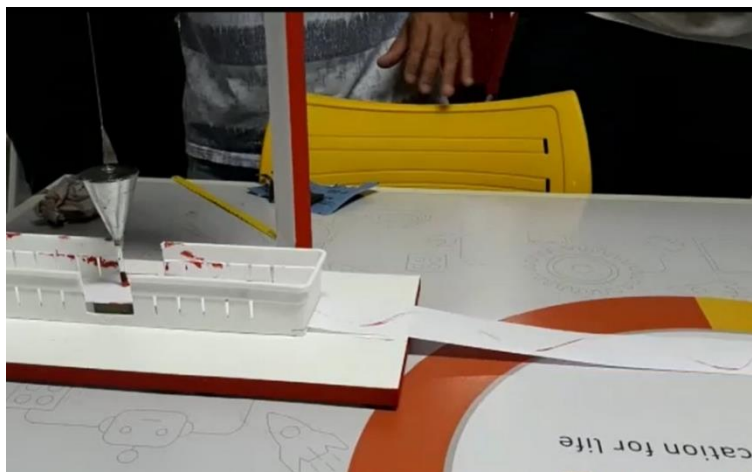
**Imagem 42**



**Fonte:** acervo do autor.

Ao medir o período do pêndulo, calcular a frequência e medir o comprimento de onda registrado no papel será possível calcular a velocidade da onda pela expressão  $v_2 = \lambda \cdot f$  e comparar com  $v_1$  que deverá dar um valor aproximado, uma vez que, teoricamente, devem ser iguais (Imagem 43).

**Imagem 43**



**Fonte:** acervo do autor.

O período do pêndulo pode variar em algumas etapas para obter um conjunto de valores que facilitem a análise de comparação de  $v_1$  e  $v_2$ .

**Tabela 9**

	$T_1$	$T_2$	$T_3$	$T$	$f$	$\lambda$	$v_1$	$\Delta S$	$\Delta t$	$v_2$
E <sub>1</sub>										
E <sub>2</sub>										
E <sub>3</sub>										

**Fonte:** elaborado pelo autor.

E<sub>1</sub>: Etapa 1

E<sub>2</sub>: Etapa 2

E<sub>3</sub>: Etapa 3

$T_1$ : Período determinado pelo Aluno 1

$T_2$ : Período determinado pelo Aluno 2

$T_3$ : Período determinado pelo Aluno 3

$T$ : Período médio

$\lambda$ : Comprimento de onda

$f$ : Frequência média

$v_1$ : Velocidade da onda

$\Delta S$ : Distância percorrida pelo trenzinho

$\Delta t$ : Intervalo de tempo do percurso do trenzinho

$v_2$ : Velocidade do trenzinho

### Terceiro Momento Pedagógico (1,5 h)

O quarto experimento é um gerador de ondas transversais em uma corda tensa conhecido como oscilador de Melde (organizador avançado 4). O principal objetivo desse experimento é analisar as relações da ordenada  $y$  de um ponto da corda com a abscissa  $x$  e, também, com o instante analisado.

Por meio de um cabo de áudio, o professor deverá conectar o celular a um amplificador, que estará ligado a um alto-falante que vibra de acordo com frequência escolhida em um aplicativo gerador de ondas sonoras. No alto-falante existirá uma haste metálica que estará em contato com o fio de pesca, o qual vibrará também, estabelecendo ondas estacionárias com modos de vibrações diferentes. A imagem 44 mostra o primeiro harmônico para uma frequência de 50 Hz.

**Imagem 44**



**Fonte:** acervo do autor.

A equação geral de uma onda estacionária estabelecida na corda é a seguinte:

$$y(x, t) = (2.A).sen(kx) \cos(\omega t) \text{ onde } \left( k = \frac{2\pi}{\lambda} \text{ e } \omega = \frac{2\pi}{T} \right)$$

$y$ : ordenada de um determinado ponto da corda

$x$ : abscissa de um determinado ponto da corda

$t$ : instante de tempo

$A$ : Amplitude de uma onda senoidal

$(2.A)$ : Amplitude resultante da superposição de duas ondas senoidais

$k$ : número de onda

$\omega$ : frequência angular

A utilização de um estroboscópio geraria de pulsos de flash na mesma frequência da onda gerada no aparato. Dessa forma, é possível 'congelar' a onda no tempo ( $t = 0$ ) e mostrar a relação  $y$ , posição vertical de um ponto da corda, com o  $x$ , posição horizontal de um ponto da corda, conforme a equação a seguir:

$$y(x, t) = (2.A).sen(kx) \cos(\omega t)$$

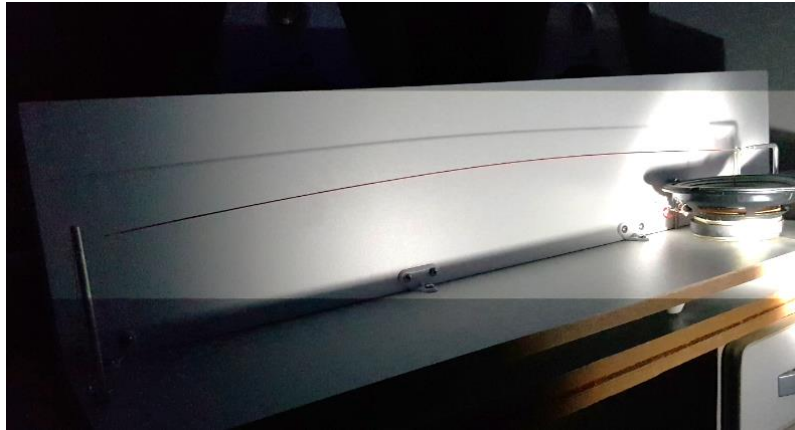
Como  $t = 0$  e  $\cos 0 = 1$ , então:

$$y(x, 0) = (2.A).sen(kx)$$

Ou seja, a função nesse caso não é de duas variáveis e sim uma função de apenas uma variável. O valor de  $y$  depende apenas do valor da variável  $x$  (Imagens 45 e 46).

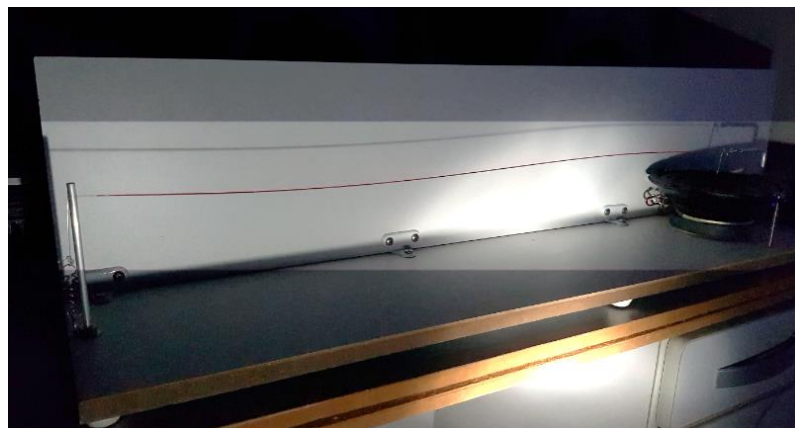


**Imagem 45**



**Fonte:** acervo do autor.

**Imagem 46**



**Fonte:** acervo do autor.

Outra forma de utilizar o aparato em conjunto com o estroboscópio dá-se ao pintar uma pequena parte da corda com uma tinta fluorescente e, mais uma vez, sincronizar o estroboscópio com o aparato experimental.

Dessa forma, é possível 'congelar' a onda no eixo  $x$  ( $x = 0$ ) e observar a oscilação do MHS na vertical sem o movimento horizontal. Ou seja, a posição  $y$  (vertical) oscila em função apenas do tempo de acordo com a equação:

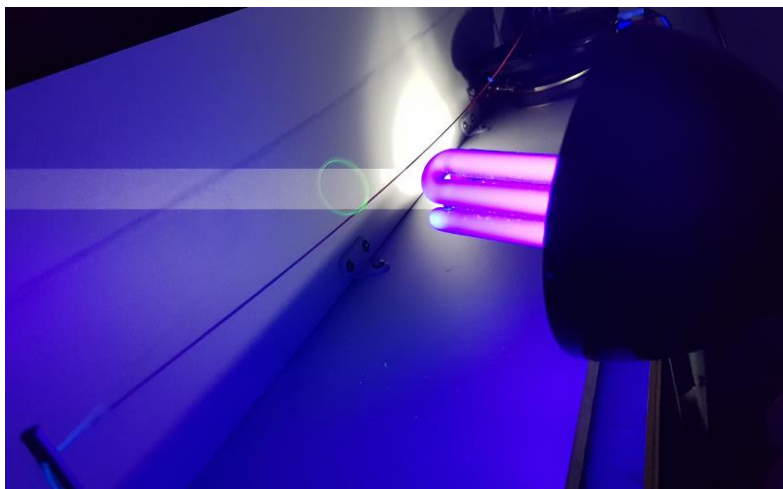
$$y(x, t) = (2.A).sen(kx) \cos(\omega t)$$

Como  $x = L/2$  e  $sen x = 1$ , então:

$$y(0, t) = (2.A).cos(\omega.t)$$

A função, nesse caso, não é de duas variáveis e sim, uma função de apenas uma variável, isto é, o valor de  $y$  depende apenas do valor da variável  $t$  (Imagem 47).

**Imagem 47**



**Fonte:** acervo do autor.

Finalizando o experimento do oscilador de Melde, foram pintados mais de um ponto da corda com a tinta fluorescente. Dessa forma foi visualizada alguns pontos oscilando na vertical com amplitudes diferentes. Diferente de uma onda progressiva, a onda estacionária tem as amplitudes dependentes das posições horizontais  $x$  (Imagem 30).

**Imagem 30**



**Fonte:** acervo do autor.

### A.3 Confeção dos Aparatos

A atividade pedagógica desenvolvida no presente produto possui quatro aparatos experimentais. Dois dos referidos aparatos, a mola *Slinky* (Imagem 48) e a bola de bilhar presa a um suporte vertical para o pêndulo simples (Imagem 49), foram emprestados pela escola onde houve a aplicação do produto.

<b>Imagem 48:</b> mola <i>Slinky</i> .	<b>Imagem 49:</b> aparato do pêndulo simples.
	
<b>Fonte:</b> acervo do autor.	<b>Fonte:</b> acervo do autor.

Ainda assim, realizamos uma pesquisa de mercado, no dia 27 de dezembro de 2018, para cotar os valores atuais, tanto da mola *Slinky* quanto da bola de bilhar, referente ao kit com 10 bolas, e os valores encontrados foram R\$ 50,59<sup>3</sup> e R\$ 60,79<sup>4</sup>, respectivamente.

Durante as reuniões de orientação para elaboração do produto, promovidas pelo professor orientador da presente dissertação, foram

<sup>3</sup>Disponível em: <[https://www.lightinthebox.com/pt/p/brinquedo-educativo-mola-maluca-brinquedos-alivia-estresse-brinquedos-ornamento-em-metal-o-stress-e-ansiedade-alivio-brinquedos-de\\_p6366366.html?category\\_id=76095&prm=1.2.1.1](https://www.lightinthebox.com/pt/p/brinquedo-educativo-mola-maluca-brinquedos-alivia-estresse-brinquedos-ornamento-em-metal-o-stress-e-ansiedade-alivio-brinquedos-de_p6366366.html?category_id=76095&prm=1.2.1.1)>. Acesso em: 27 de dez. de 2018.

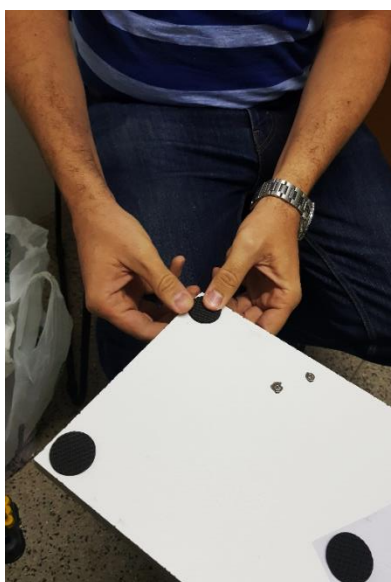
<sup>4</sup>Disponível em: <[https://www.americanas.com.br/produto/41951111/bola-para-sinuca-kit-com-10-bolas?pfm\\_carac=bola%20de%20sinuca&pfm\\_index=1&pfm\\_page=search&pfm\\_pos=grid&pfm\\_type=search\\_page%20](https://www.americanas.com.br/produto/41951111/bola-para-sinuca-kit-com-10-bolas?pfm_carac=bola%20de%20sinuca&pfm_index=1&pfm_page=search&pfm_pos=grid&pfm_type=search_page%20)>. Acesso em: 27 de dez. de 2018.

confeccionados outros dois aparatos educativos ao longo do ano de 2018, os quais serão detalhados a seguir.

### **Experimento do trenzinho com o pêndulo simples**

O aparato destrinchado aqui possui um suporte de madeira nas dimensões: 50 cm de comprimento, 20 cm de largura e 2 cm de espessura. Por baixo desse suporte foram dispostos quatro adesivos antiderrapantes, como demonstrado na Imagem 50.

**Imagem 50**



**Fonte:** acervo do autor.

Em cima desse suporte foram colocadas duas hastes verticais cujas especificações são 60 cm de altura, 6 cm de largura e 2 cm de espessura distantes 28 cm uma da outra. Buscando a fixação de tais hastes, foram utilizados oito parafusos e quatro cantoneiras para prender as partes de madeira conforme as imagens 51 e 52.

Imagem 51	Imagem 52
	
<p><b>Fonte:</b> acervo do autor.</p>	<p><b>Fonte:</b> acervo do autor.</p>

Na parte superior do aparato foram colocados mais dois parafusos em cada lado para reforçar as hastes verticais que estão presas à base retangular (Imagem 53).

**Imagem 53**



**Fonte:** acervo do autor.

Neste aparato, existe também uma haste horizontal de madeira que pode se movimentar variando a sua posição vertical, para, desta forma, regular o tamanho do fio do pêndulo que irá oscilar (Imagem 54).

**Imagem 54**



**Fonte:** acervo do autor.

O pêndulo de prumo mostrado na imagem a seguir foi comprado por R\$ 20,00, em agosto de 2018. Na extremidade inferior (Imagem 55) do pêndulo foi colado um pincel de tinta guache para registrar o gráfico da posição em função do tempo numa folha de papel sobre uma mesa horizontal.

**Imagem 55**



**Fonte:** acervo do autor.

Também foi utilizado no organizador avançado 3, um trenzinho de brinquedo<sup>5</sup>, que na pesquisa de mercado realizada no dia 27 de dezembro de 2018 o valor do brinquedo foi cotado em R\$ 29,99.

No suporte de madeira anteriormente descrito foi preso, por dois parafusos de cada lado, uma caixa de plástico, a fim de manter a fita de papel presa no trenzinho, em trajetória retilínea (Imagem 56).

**Imagem 56**



**Fonte:** acervo do autor.

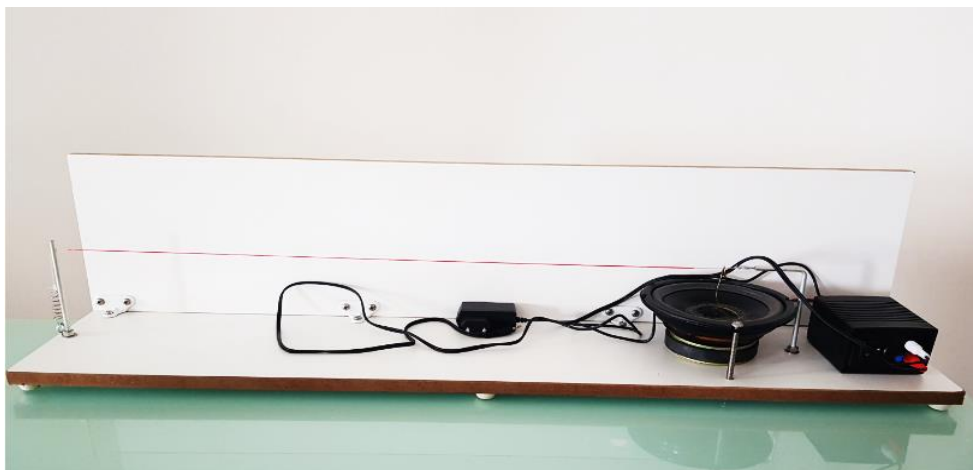
- **Experimento do Oscilador de Melde**

O aparato foi montado com duas bases de madeira de 100 cm de comprimento, 20 cm de largura e 2 cm de espessura, de tal forma que elas se conectam perpendicularmente entre si por meio de quatro cantoneiras, onde cada uma delas possui três parafusos (Imagem 57).

---

<sup>5</sup>Disponível em: <<https://www.rihappy.com.br/locomotiva-die-cast-grande-thomasefriends-hipo-xipo-fisher-price/p>>. Acesso em: 27 de dez. de 2018.



**Imagem 57:** oscilador de Melde.



**Fonte:** acervo do autor.

A utilidade da parte vertical consiste em facilitar a visualização da corda vibrante, de modo que, para dar destaque à referida corda, a pintamos com tinta fosca de artesanato vermelha<sup>6</sup>, conforme imagem anterior.

Na parte inferior do aparato foram colocadas seis sapatas de borracha brancas presas com seis parafusos e as respectivas arruelas para evitar o deslizamento quando o aparato fosse ligado (Imagens 58 e 59).

Imagem 58	Imagem 59
	
<b>Fonte:</b> acervo do autor.	<b>Fonte:</b> acervo do autor.

<sup>6</sup> Disponível em: <[https://www.casadaarte.com.br/tinta\\_acrilica\\_fosca\\_-\\_nature\\_colors\\_acrilex\\_60\\_ml/p?gclid=Cj0KCQiAsdHhBRCwARIsAAhRhsI3-ob8Wm0IXolynVNjLLUxMsLTQg1ja3OtSduTshQqkQlc9wf2ejcaAoBoEALw\\_wcB](https://www.casadaarte.com.br/tinta_acrilica_fosca_-_nature_colors_acrilex_60_ml/p?gclid=Cj0KCQiAsdHhBRCwARIsAAhRhsI3-ob8Wm0IXolynVNjLLUxMsLTQg1ja3OtSduTshQqkQlc9wf2ejcaAoBoEALw_wcB)>. Acesso em: 23 de dez. de 2018.



Foi utilizado um alto-falante *ETM-EG 102*<sup>7</sup>, que possui uma potência de 300 watts, diâmetro de 12 polegadas e o custo foi de R\$ 80,00 em agosto de 2018. Para fixar o alto-falante à base do aparato, aplicamos dois grandes parafusos com cerca de 10 cm cada um.

Uma haste metálica foi presa com cola ao alto-falante, a fim de transmitir a vibração das ondas sonoras do instrumento para o fio de pesca de espessura 0,90 mm. Uma haste metálica (Imagem 60), fixada próxima ao alto-falante, possui um pitão de rosca, utilizado para ser amarrado ao fio de pesca. Na extremidade oposta, existe outra haste metálica a qual o fio de pesca fica preso.

**Imagem 60**



**Fonte:** acervo do autor.

Um amplificador multiuso da *Deltronica*<sup>8</sup> de potência 20 Wrms, cujo valor em agosto de 2018 era de R\$ 100,00, foi preso à base de madeira por meio de dois parafusos. Tal amplificador foi conectado, soldado ao alto-falante, por meio de um cabo de áudio ligado ao celular. O alto-falante deve ter uma potência que seja compatível com o amplificador.

O aplicativo *Audio Test ToneGenerator*<sup>9</sup>, usado no experimento, foi baixado gratuitamente no *Play Store*, em maio de 2018. Tal aplicativo

---

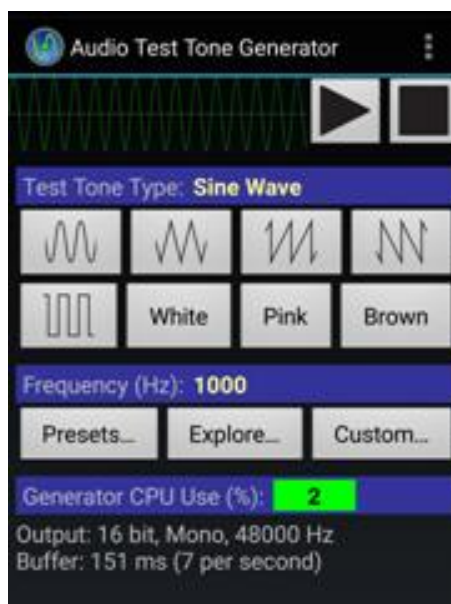
<sup>7</sup> Disponível em: <<https://lista.mercadolivre.com.br/alto-falante-etm-eg-102>>. Acesso em: 23 de dez. de 2018.

<sup>8</sup> Disponível em: <<https://www.deltronica.com.br/amplificador-multiuso-deltronica-am20-rca-20wrms-110-220v-e-12v>>. Acesso em: 28 de dez. de 2018.

<sup>9</sup> Disponível em: <<https://play.google.com/store/apps/details?id=com.fbrlcu.audiotest>>. Acesso em: 28 de dez. de 2018.

(Imagem 61) gera ondas sonoras com as frequências desejadas de 1 Hz até 20000 Hz, com ajuste fino de décimos de milésimos de Hz.

**Imagem 61**



**Fonte:** <<https://play.google.com/store/apps/details?id=com.fbrlcu.audiotest>>.

A partir da utilização de um estroboscópio, que faz parte dos materiais existentes em alguns laboratórios de física experimental, tanto de escolas como de universidades, pode-se gerar pulsos de flash na mesma frequência da onda gerada no aparato. Como foi citado anteriormente, é possível 'congelar' a onda no tempo e mostrar a relação  $y$ , posição vertical de um ponto da corda, com o  $x$ , posição horizontal de um ponto da corda.

## Apêndice B

### Material de avaliação – Pré-teste

01. Qual a diferença entre ondas longitudinais e transversais?

---

---

---

---

02. Caso uma mola oscilante, gerando ondas transversais, for esticada o que isso interfere na velocidade de propagação da onda?

---

---

---

---

03. Como o comprimento do fio pode se relacionar com o período de um pêndulo simples?

---

---

---

---

04. Quais são os movimentos existentes quando uma onda periódica se propaga numa corda tensa?

---

---

---

---

05. Como ‘congelar’ uma onda estacionária numa corda utilizando um estroboscópio?

---

---

---

---

## Apêndice C

### Atividade da mola *Slinky*

	n	$\lambda$	$T_1$	$T_2$	$T_3$	$T$	$f$	$v$
$L_1 =$								
$L_1 =$								
$L_1 =$								
$L_2 =$								
$L_2 =$								
$L_2 =$								

L: Distância entre as extremidades da mola esticada.

n: Número de ciclos.

$\lambda$ : Comprimento de onda.

$T_1$ : Período determinado pelo Aluno 1.

$T_2$ : Período determinado pelo Aluno 2.

$T_3$ : Período determinado pelo Aluno 3.

$T$ : Período médio.

$f$ : Frequência média.

$v$ : Velocidade da onda.

## Apêndice D

### Atividade do Pêndulo Simples

	$T_1$	$T_2$	$T_3$	$T$	$T'$
$L_1 =$					
$L_2 =$					
$L_3 =$					

$L$ : Comprimento do fio.

$T_1$ : Período determinado pelo Aluno 1.

$T_2$ : Período determinado pelo Aluno 2.

$T_3$ : Período determinado pelo Aluno 3.

$T$ : Período médio.

$T'$ : Período calculado pela expressão  $T' = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{L}{g}}$  com o respectivo valor de  $L$ .

## Apêndice E

### Atividade do Pêndulo Simples e do trenzinho motorizado

	$T_1$	$T_2$	$T_3$	$T$	$f$	$\lambda$	$v_1$	$\Delta S$	$\Delta t$	$v_2$
E <sub>1</sub>										
E <sub>2</sub>										
E <sub>3</sub>										

E<sub>1</sub>: Etapa 1.

E<sub>2</sub>: Etapa 2.

E<sub>3</sub>: Etapa 3.

$T_1$ : Período determinado pelo Aluno 1.

$T_2$ : Período determinado pelo Aluno 2.

$T_3$ : Período determinado pelo Aluno 3.

$T$ : Período médio.

$\lambda$ : Comprimento de onda.

$f$ : Frequência média.

$v_1$ : Velocidade da onda.

$\Delta S$ : Distância percorrida pelo carrinho.

$\Delta t$ : Intervalo de tempo do percurso do carrinho.

$v_2$ : Velocidade do carrinho.

## Apêndice F

### Coleta de Dados – Alunos de 1 a 6

#### Pré-teste (Aluno 1 - Codinome Clara)

Pré-teste Clara

01. Qual a diferença entre ondas longitudinais e transversais?

Uma se propaga em um meio e a outra em vácuo, uma pode ser polarizada e outra não.

02. Caso uma mola oscilante, gerando ondas transversais, for esticada o que isso interfere na velocidade de propagação da onda?

não altera a velocidade

03. Como o comprimento do fio pode se relacionar com o período de um pêndulo simples?

através da transmissão

04. Quais são os movimentos existentes quando uma onda periódica se propaga numa corda tensa?

Movimento estacionário

05. Como 'congelar' uma onda estacionária numa corda utilizando um estroboscópio?

regulando a frequência

## Pós-teste (Aluno 1 - Codinome Clara)

### Pós-Testes

- 01 - vibra na ~~horizontal~~ horizontal se a onda for horizontal;  
vibra na vertical se a onda for horizontal.
- 02 - aumenta o comprimento da mola e aumenta a velocidade.
- 03 - quando maior for o comprimento da corda maior será o período
- 04 - ~~movimento~~ movimento retilíneo uniforme e movimento harmônico simples.
- 05 - coloca-o na mesma frequência da onda estacionária.



## Pré-teste (Aluno 2 - Codinome Bella)

### Pré-teste

Bella

01. Qual a diferença entre ondas longitudinais e transversais?

Longitudinais: onda varia de baixo para cima e as transversais: onda varia da esquerda para direita

02. Caso uma mola oscilante, gerando ondas transversais, for esticada o que isso interfere na velocidade de propagação da onda?

Pois aumentará o comprimento de onda e aumenta a velocidade

03. Como o comprimento do fio pode se relacionar com o período de um pêndulo simples?

Pois quanto maior for o comprimento maior será o período

04. Quais são os movimentos existentes quando uma onda periódica se propaga numa corda tensa?

Não sei

05. Como 'congelar' uma onda estacionária numa corda utilizando um estroboscópio?

Fazendo com que as frequências quando se encontrarem ~~fixa~~ ~~dest~~ ficar uma interação destrutiva, ou seja, mesma frequência

## Pós-teste (Aluno 2 - Codinome Bella)

Bella

### Pós-teste

01. Transversais: onda varia de baixo para cima; longitudinais: onda varia da esquerda para a direita.
02. Aumentará o comprimento da mola e aumentará a velocidade nas mesmas ~~proporções~~ proporções.
03. Quanto maior for o comprimento da corda maior será o período
04. Movimento retilíneo uniforme e Movimento harmônico simples.
05. Mantendo a mesma frequência da onda ou submúltiplo.

## Pré-teste (Aluno 3 - Codinome Mari)

### Pré-teste

Mari

01. Qual a diferença entre ondas longitudinais e transversais?

As ondas longitudinais se propagam no mesmo sentido das oscilações diferentemente das transversais

02. Caso uma mola oscilante, gerando ondas transversais, for esticada o que isso interfere na velocidade de propagação da onda?

A velocidade diminui, pois viram ondas longitudinais

03. Como o comprimento do fio pode se relacionar com o período de um pêndulo simples?

O comprimento do fio está relacionado ao período, pois quanto maior for o comprimento mais demorado para o pêndulo completar um ~~o~~ ciclo

04. Quais são os movimentos existentes quando uma onda periódica se propaga numa corda tensa?

05. Como 'congelar' uma onda estacionária numa corda utilizando um estroboscópio?

Piscando com a mesma frequência da onda causando uma interferência

## Pós-teste (Aluno 3 - Codinome Mari)

Pós teste

Mari

- 1º) As ondas longitudinais se propagam no mesmo sentido da oscilação diferentemente das transversais que são perpendiculares
- 2º) O comprimento de onda aumenta e a velocidade aumenta proporcionalmente
- 3º) O comprimento de onda está relacionado ao período, pois quanto maior for o comprimento mais demorado para o pêndulo completar um ciclo
- 4º) Movimento retilíneo uniforme e movimento harmônico simples
- 5º) gerando pulsos com a mesma frequência de onda entrando em ressonância

## Pré-teste (Aluno 4 - Codinome Guigo)

### Pré-teste

Guigo

01. Qual a diferença entre ondas longitudinais e transversais?

Longitudinal: Quando a perturbação da fonte tem a mesma direção que a onda.

Transversal: Quando a perturbação da fonte tem uma direção diferente da onda.

02. Caso uma mola oscilante, gerando ondas transversais, for esticada o que isso interfere na velocidade de propagação da onda?

Como o meio é o mesmo então a velocidade não muda.

03. Como o comprimento do fio pode se relacionar com o período de um pêndulo simples?

quando maior o ~~comp~~ comprimento do fio maior será o período, ou seja, o comprimento do fio é diretamente proporcional ao período.

04. Quais são os movimentos existentes quando uma onda periódica se propaga numa corda tensa?

---

---

---

05. Como 'congelar' uma onda estacionária numa corda utilizando um estroboscópio?

---

---

---

## Pós-teste (Aluno 4 - Codinome Guigo)

Guigo

### Pos Teste

01. longitudinal: quando a perturbação da fonte tem a mesma direção que a onda.  
Transversal: quando a perturbação da ~~onda~~ fonte tem uma direção diferente da onda.
02. como a frequência é a mesma, o comprimento total mudando, muda o comprimento de onda e a velocidade muda também proporcionalmente
03. Quando maior o comprimento do fio maior será o período, no caso, o período é proporcional a raiz quadrada do comprimento
04. MRU e MHS
05. Colocando para que o estroboscópio pulse na mesma ou em um submúltiplo da frequência da onda estacionária.

## Pré-teste (Aluno 5 - Codinome Mc Top)

### Pré-teste

Mc Top

01. Qual a diferença entre ondas longitudinais e transversais?

A onda longitudinal é ~~uma~~ bidimensional e a transversal é tridimensional

02. Caso uma mola oscilante, gerando ondas transversais, for esticada o que isso interfere na velocidade de propagação da onda?

Irá aumentar a velocidade

03. Como o comprimento do fio pode se relacionar com o período de um pêndulo simples?

Quanto maior o comprimento do fio maior será o período

04. Quais são os movimentos existentes quando uma onda periódica se propaga numa corda tensa?

05. Como 'congelar' uma onda estacionária numa corda utilizando um estroboscópio?

Coincidindo a frequência da onda com a do estroboscópio

## Pós-teste (Aluno 5 - Codinome Mc Top)

### Pós-teste

01. A onda longitudinal se propaga na mesma direção da onda e a onda transversal se propaga numa direção diferente. MC TOP
02. Se a velocidade aumentar duas vezes, o comprimento dobrado.
03. Quanto maior o comprimento do fio, mais seica o fio.
04. MRU e MHS
05. Coincidendo a frequência da ~~onda~~ onda com a do estroboscópio (múltiplos ou ~~+~~ submúltiplos)



## Pré-teste (Aluno 6 - Codinome H20)

### Pré-teste

H20

01. Qual a diferença entre ondas longitudinais e transversais?

A FORMA DE PROPAGAÇÃO. AS LONGITUDINAIS NA VERTICAL E AS TRANSVERSAIS NA HORIZONTAL.

02. Caso uma mola oscilante, gerando ondas transversais, for esticada o que isso interfere na velocidade de propagação da onda?

A VELOCIDADE DIMINUI POIS A AMPLITUDE AUMENTA, AUMENTANDO TAMBÉM O PERÍODO E A FREQUÊNCIA.

03. Como o comprimento do fio pode se relacionar com o período de um pêndulo simples?

QUADRUPLICANDO O COMPRIMENTO DO FIO, OBTÉM-SE O DOBRO DO PERÍODO.

04. Quais são os movimentos existentes quando uma onda periódica se propaga numa corda tensa?

MRUV E MCU

05. Como 'congelar' uma onda estacionária numa corda utilizando um estroboscópio?

## Pós-teste (Aluno 6 - Codinome H20)

PÓS TESTE:

H20

01. LONGITUDINAIS VIBRAM NA MESMA DIREÇÃO DA PROPAGAMAÇÃO DA FONTE E AS TRANSVERSAIS VIBRAM NA PERPENDICULAR DA VELOCIDADE DA ONDA.

02. A VELOCIDADE AUMENTA PROPORCIONALMENTE

03. MAIOR COMPRIMENTO, ~~MAIOR~~ MAIOR O PERÍODO

04. MRU E MTS

05. FAZENDO COM QUE O ESTROBOSCÓPIO PISQUE COM MESMA FREQUÊNCIA DA ONDA OU DE MÚLTIPLOS

QUADRUPLICANDO O COMPRIMENTO DO FIO, OBTÉM-SE O DOBRO DO PERÍODO.