

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

Rodrigo Carneiro da Cunha <sup>1</sup>  
Francisco Nairon Monteiro Júnior <sup>2</sup>  
Airton dos Santos Maciel Neto <sup>3</sup>

### RESUMO

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.

### 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.

---

<sup>1</sup> Mestre em Ensino de Física, UFRPE, [prof.rodrihocunha@gmail.com](mailto:prof.rodrihocunha@gmail.com);

<sup>2</sup> Doutor em educação em ciência e matemática, UFRPE, [naironjr67@gmail.com](mailto:naironjr67@gmail.com);

<sup>3</sup> Mestre em Ensino de Física, UFRPE, [airtonprof@yahoo.com.br](mailto:airtonprof@yahoo.com.br);

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).

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. 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.

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.

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.

## **METODOLOGIA**

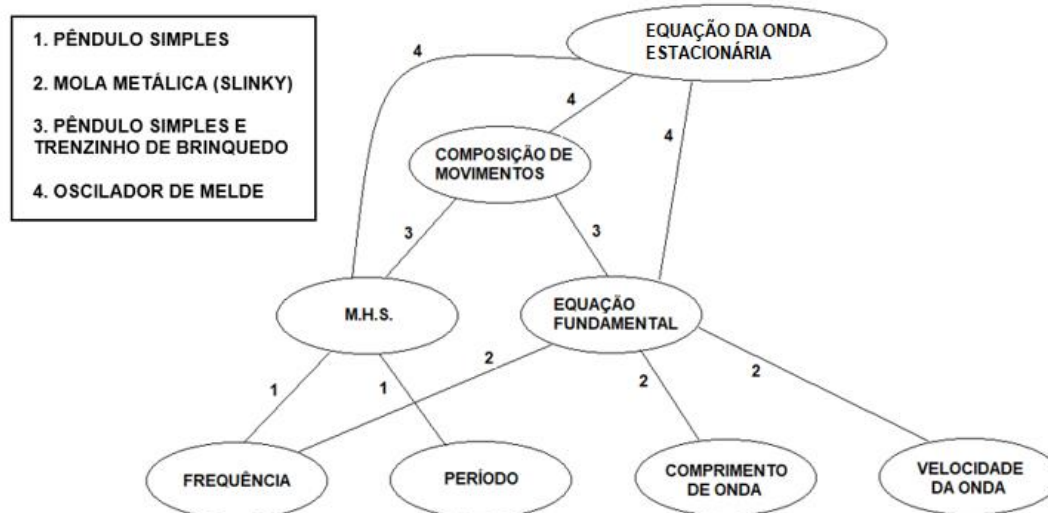
O nosso produto educacional é uma sequência didática e investigativa em um laboratório experimental fechado. No produto há um conjunto de aparatos experimentais, sendo que um deles consiste numa reconstrução do oscilador de Melde, com o qual investigamos os fundamentos físicos da equação de uma onda 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.

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.

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-litera e não-arbitrária ao seu conhecimento prévio" (MOREIRA; CABALLERO; RODRÍGUEZ, 1997, p.13).

No primeiro momento pedagógico (organizador avançado 1), foi orientado que os estudantes, durante a aplicação do pré-teste, deveriam responder o questionário individualmente (Imagem 1), a fim de, posteriormente, compartilhar com os colegas as suas respostas (Imagem 2). O pré-teste foi composto por cinco questões teóricas do assunto a ser trabalhado na atividade pedagógica.

**Imagem 1**



**Fonte:** acervo do autor.

**Imagem 2**



**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 (Imagens 3 e 4).

**Imagem 3**



**Fonte:** acervo do autor.

**Imagem 4**



**Fonte:** acervo do autor.

Na etapa seguinte, demos início à manipulação da mola *slinky* (organizador avançado 2). 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. No caso das ondas transversais, principal objeto de estudo desse produto pedagógico, primeiramente, mede-se o comprimento de onda e a frequência de algumas configurações (Imagens 5 e 6) .

**Imagem 5**



**Fonte:** acervo do autor.

**Imagem 6**



**Fonte:** acervo do autor.

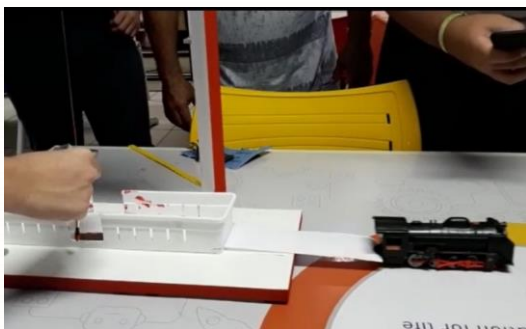
Inicialmente, ao analisar os resultados das medições, os alunos perceberam que, em uma mesma configuração onde a distância total da mola não muda, se aumentássemos a frequência de oscilação das ondas geradas, então, o comprimento de onda diminuía numa relação inversa. Porém, a previsão da maioria dos estudantes era que ao aumentar a frequência das oscilações o valor da velocidade aumentaria de mesmo modo. A velocidade só varia se mudar o comprimento total da mola.

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

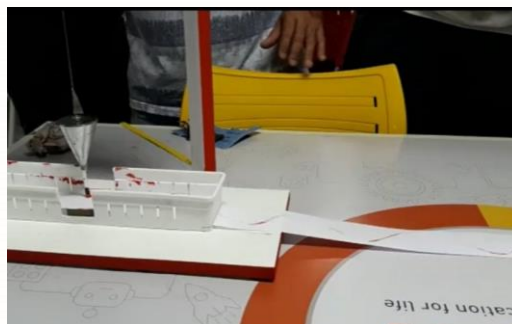
tempo do trenzinho serão medidos pelos estudantes, para, posteriormente, calcular a velocidade da onda ( $v_1$ ) riscada no papel (Imagem 7).

**Imagem 7**



**Fonte:** acervo do autor.

**Imagem 8**



**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 ( $v_2$ ) e comparar com  $v_1$  que deverá resultar em um valor bem próximo, já que, teoricamente, devem ser iguais (Imagem 8).

No terceiro momento pedagógico (organizador avançado 3) tem-se um experimento que é um gerador de ondas transversais em uma corda tensa conhecido como oscilador de Melde (Imagens 9 e 10). 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.

**Imagem 9**



**Fonte:** acervo do autor.

**Imagem 10**



**Fonte:** acervo do autor.

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

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

$x$  e  $y$ : abscissa e ordenada de um determinado ponto da corda       $t$ : instante de tempo

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

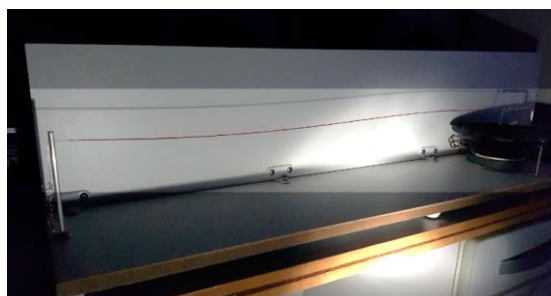
y (posição vertical de um ponto da corda) com o x (posição horizontal de um ponto da corda) (Imagens 11 e 12).

**Imagem 11**



**Fonte:** acervo do autor.

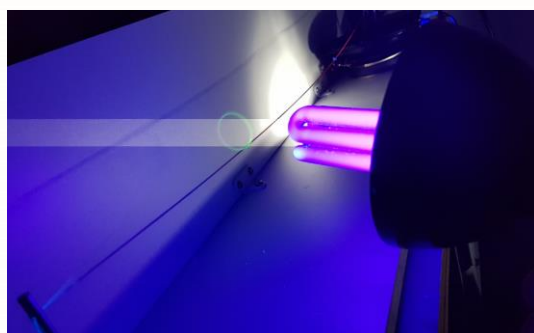
**Imagem 12**



**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 (Imagens 13 e 14).

**Imagem 13**



**Fonte:** acervo do autor.

**Imagem 14**



**Fonte:** acervo do autor.

## DESENVOLVIMENTO

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.

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.

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.

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.

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 subsunçores 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 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.

## **RESULTADOS E DISCUSSÃO**

A aplicação do pré-teste na atividade pedagógica gerou resistência estudantil frente a sua realização. Alguns alunos presentes afirmaram não estar seguros quanto da resolução teórica da avaliação proposta. Alguns 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.

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 referente as ondas longitudinais ou transversais. Ainda por meio da aplicação deste organizador avançado 2, os alunos foram capazes de perceber que ao aumentar o comprimento da mola, a velocidade da onda aumentaria na mesma proporção. 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.

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 concluírem que as relações eram de grandezas diretamente proporcionais, provocando conclusões precipitadas e sem fundamento matemático.

A servir de exemplo, um determinado aluno que inicialmente afirmava incorretamente, 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 alguns alunos afirmaram que o período de um pêndulo é proporcional à raiz quadrada do comprimento do fio.

Por fim, a última etapa da atividade pedagógica, correspondente ao organizador avançado 4, envolve o oscilador de Melde. 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”.

## **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.

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.

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. 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

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.

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

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.

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.

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

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

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.

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.