

Rafael do Nascimento Sorensen

**Levitação Acústica e Ensino de Ondas Estacionárias**

Caraguatatuba

2021

RAFAEL DO NASCIMENTO SORENSEN

Levitação Acústica e Ensino de Ondas Estacionárias

Trabalho de conclusão de curso  
apresentado ao Instituto Federal de  
Educação, Ciência e Tecnologia de São  
Paulo, campus de Caraguatatuba para  
obtenção do título de graduado em  
Licenciatura em Física.  
Orientador: Prof. Dr. Alex Lino

Caraguatatuba

2021

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)**  
Serviço de Biblioteca e Documentação do IFSP Câmpus Caraguatatuba

S713L Sorensen, Rafael do Nascimento  
Levitação acústica e ensino de ondas estacionárias. /  
Rafael do Nascimento Sorensen. -- Caraguatatuba, 2021.  
26 f. : il.

Orientador: Prof. Dr. Alex Lino.  
Trabalho de Conclusão de Curso (Licenciatura em Física)  
-- Instituto Federal de São Paulo, Caraguatatuba, 2021.

1. Física. 2. Aprendizagem significativa. 3. Experimentação.  
4. Ondulatória. I. Lino, Alex, orient. II. Instituto Federal de  
São Paulo. III. Título.

CDD: 530



**Ministério da Educação**  
**Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo**  
**Câmpus Caraguatatuba**  
**DIRETORIA ADJUNTA EDUCACIONAL**

OFÍCIO 74/2021 - DAE-CAR/DRG/CAR/IFSP

Nome: SORENSEN, Rafael do Nascimento

Título: Levitação Acústica e Ensino de Ondas Estacionárias

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Estado de São Paulo, câmpus Caraguatatuba para a obtenção do título de graduado em Licenciatura em Física.

Aprovado em: 19 de Fevereiro de 2021

Banca Examinadora

Prof. Dr. Alex Lino

Instituto Federal de São Paulo - Câmpus Caraguatatuba

Julgamento: Aprovado

Prof. Ms. Luis Fernando Viviani Thomazini

Instituto Federal de São Paulo - Câmpus Caraguatatuba

Julgamento: Aprovado

Prof. Dr. Ricardo Roberto Plaza Teixeira

Instituto Federal de São Paulo - Câmpus Caraguatatuba

Julgamento: Aprovado

Documento assinado eletronicamente por:

- **Luis Fernando Viviani Thomazini, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO**, em 15/03/2021 20:47:13.
- **Ricardo Roberto Plaza Teixeira, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO**, em 01/03/2021 15:59:56.
- **Alex Lino, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO**, em 01/03/2021 15:28:24.

Este documento foi emitido pelo SUAP em 28/02/2021. Para comprovar sua autenticidade, faça a leitura do QRCode ao lado ou acesse <https://suap.ifsp.edu.br/autenticar-documento/> e forneça os dados abaixo:

Código Verificador: 151079

Código de Autenticação: 49fbe1d76f



Avenida Bahia, 1739, Indaiá, CARAGUATATUBA / SP, CEP 11665-071

Fone: Sem Telefones cadastrados

Dedico este trabalho aos meus pais que sempre me deram todo suporte e apoio possível e me incentivaram em todas as minhas decisões. Se estou finalizando esta importante etapa da minha vida, é graças a todos os seus esforços.

## **AGRADECIMENTOS**

Ao Prof. Alex Lino, que além de orientar este trabalho de conclusão e o projeto de iniciação tecnológica sempre com muita paciência, desde os primeiros anos do curso foi um professor que levo como exemplo.

A todos os Professores que contribuíram para o meu crescimento acadêmico e científico durante a graduação.

Aos Professores da Física que me mostraram a beleza da Física e especialmente a todas as Professoras da área de Educação, Prof.<sup>a</sup> Regina, Prof.<sup>a</sup> Natalia e Prof.<sup>a</sup> Patrícia, que foram essencialmente importantes para a minha formação como professor, e também contribuíram para meu crescimento pessoal, não irei esquecer os diversos debates e discussões que aconteceram nessas aulas.

A todos os amigos que a Licenciatura em Física me possibilitou conhecer, estes que sempre me ajudaram, incentivaram e estiveram comigo neste período, sem vocês não seria um período tão importante e divertido da minha vida.

Especialmente, ao José, Kaua, Lara e Larissa, amigos que estiveram sempre do meu lado quase que diariamente, sempre me incentivando e que foram muito importantes para que eu me tornasse uma pessoa melhor, a companhia de vocês além de ser de suma importância nestes anos, é muito especial também, espero sempre que possível ter vocês por perto.

A todos os servidores do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo, campus de Caraguatatuba, que foi como uma segunda casa para mim neste período.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e Programa de Instituição de Bolsas de Iniciação em Desenvolvimento Tecnológico e Inovador (PIBITI) por fomentar este trabalho.

## RESUMO

Este trabalho tem como objetivo analisar a utilização de um aparato experimental de levitação acústica para empregar o conceito de levitação no ensino de ondas estacionárias durante as aulas de ondulatória. Além disso, na sequência didática elaborada, foi levado em consideração a teoria da aprendizagem significativa de Ausubel e aprendizagem significativa crítica de Moreira, buscando que os alunos alcancem uma aprendizagem com significados. A sequência didática utilizou o levitador acústico como potencial motivador para abordar o conceito de ondas estacionárias, e os resultados da pesquisa foram obtidos através de um questionário respondido pelos alunos, antes e após a aplicação da sequência didática. A análise dos dados obtidos indica que a sequência didática em conjunto com o aparato experimental cumpriu com o seu papel, pois foi possível observar indícios de aprendizagem significativa nas respostas dadas pelos alunos, assim, comprovando a possibilidade do uso do levitador acústico como potencial motivador no ensino de ondas estacionárias.

**Palavras-chave:** Aprendizagem significativa. experimentação. Levitação acústica. Ondas estacionárias. Ondulatória.



## ABSTRACT

This work has as an objective the analysis of the application of an experimental device of acoustic levitation to apply concepts of acoustic levitation in the standing waves teaching, during the waves and sound classes. Furthermore, in the didactical sequence created, it was considered the significant learning theory from Ausubel and the critical significant learning from Moreira, pursuing that the students could reach a learning with meanings. The didactical sequence, utilizes the acoustic levitator as a motivational potential to approach the concepts about stationary waves, and the results were obtained through a survey applied before and after the didactical sequence application. The analysis of the results, suggests that the didactical sequence with the experimental device, fulfilled his objective, because it was possible to notice that there were some significant learning evidences in the answers given by the students, confirming the possibility for the use of an acoustic levitator as a motivational potential in the stationary teaching.

**Keywords:** Acoustic Levitation. Experimental physics. Significant learning. Standig waves. Waves and sound.

## SUMÁRIO

<b>1 Introdução</b> .....	10
<b>2. Fundamentação Teórica</b> .....	11
<b>3 Objetivos</b> .....	12
3.1 Objetivo Geral .....	12
3.2 Objetivos Específicos .....	13
<b>4. Material e Método</b> .....	13
4.1 Levitação Acústica .....	13
4.2 Levitação Acústica e Ondas Estacionárias .....	14
4.3 Aparato Experimental.....	15
4.4 Sequência Didática .....	16
4.5 Questionário .....	18
<b>5. Resultados e Discussão</b> .....	20
5.1 - Questão Introdutória:.....	21
5.2 - Questão 1:.....	21
5.3 - Questão 2:.....	21
5.4 - Questão 3:.....	22
5.5 - Questão 4:.....	22
5.6 - Questão 5:.....	23
5.7 - Panorama Geral .....	24
<b>6. Conclusão</b> .....	24

## 1 Introdução

Em uma análise crítica sobre o ensino de Física, Moreira (2018) diz que o ensino de Física está em crise, devido a diversos motivos, como por exemplo, a baixa carga horária semanal para a disciplina de Física, e também o fato do conteúdo de Física se manter apenas na Física Clássica e sendo abordada da maneira mais tradicional e mecânica possível, fazendo com que os alunos, ao invés de criar uma predisposição para aprender o conteúdo de Física, que é algo esperado na aprendizagem significativa, na verdade, geram uma indisposição em relação à Física.

De acordo com a afirmação de Zanetic (2005), o aluno é ensinado que a Física é algo esotérico e que não faz parte de seu cotidiano, além disso, também comenta sobre o ensino de física se restringir à memorização de fórmulas para resolução de exercícios. Ou seja, é necessário ir contra esse movimento de seguir com um ensino apenas mecânico, e buscar desenvolver maneiras de despertar o interesse dos alunos mostrando que ela faz parte de sua cultura e seu cotidiano.

O seguinte trabalho tem como propósito a análise da possibilidade da aplicação de uma atividade experimental sobre levitação acústica utilizando um levitador acústico, que foi confeccionado para este trabalho, o qual utiliza transdutores conectados em uma plataforma Arduino, emitindo ondas sonoras de alta frequência que possibilita a criação de Ondas Estacionárias. Por meio da utilização do aparato foi possível a verificação de seu papel como motivador no ensino de ondulatória, com ênfase nos conceitos de ondas estacionárias.

Para realizar esta verificação, foi desenvolvido uma sequência didática na qual a levitação acústica e os seus conceitos foram investigados e utilizados como principal motivador. Além disso, durante o desenvolvimento da sequência didática, foi levado em consideração a teoria da aprendizagem significativa de Ausubel e crítica de Moreira. A sequência didática produzida foi aplicada e através do uso de questionários que foram respondidos antes e após a aplicação, foi possível verificar se houve indícios de aprendizagem significativa e também a possibilidade do experimento como um possível motivador no estudo de ondas estacionárias.

Buscando inovações e um ensino mais significativo, o presente trabalho desenvolve uma metodologia de ensino na qual uma atividade experimental foi aplicada, e em conjunto com o aluno, os conceitos que envolvem o aparato experimental foram desenvolvidos, levando em consideração os conhecimentos prévios do aluno, de forma a superar o ensino tradicional, desmotivador e mecânico.

## 2. Fundamentação Teórica

Atualmente, o ensino de Física encontra-se em um estado complicado, conforme Moreira (2018) afirma que, em geral, no ensino de Física, os alunos não gostam da Física, e quando possível, evitam-na, buscando apenas passar nas provas, e com isso, repetindo de maneira mecânica o conteúdo dado em aula. Nas aulas é comum encontrar situações onde os alunos somente decoram os novos conhecimentos sem adicionar nenhum significado ao conhecimento recém adquirido, o que é chamado por Ausubel de *aprendizagem mecânica* (MOREIRA, 2016). Ou seja, em situações como esta, o professor apenas age transferindo o conhecimento para os alunos, porém não os auxilia a adicionar significado nestes novos conhecimentos. De acordo com a perspectiva freiriana do ensino, este conceito é conhecido como *educação bancária*, onde o papel do professor é reduzido apenas a transmitir e depositar conhecimento no aluno (MOREIRA, 2016). E isto é uma educação que anula e diminui a criatividade e estimula os alunos a serem passivos, aceitando ideias sem questionar e sem possuir criticidade (MOREIRA, 1988).

Na teoria de aprendizagem de Ausubel, o conhecimento prévio é a variável que mais influencia a aprendizagem significativa do aluno (MOREIRA, 2016), ou seja, o ponto principal desta teoria é a interação entre o conhecimento prévio já adquirido pelo aluno com o novo conhecimento que será obtido.

O conceito central dessa teoria é o de *aprendizagem significativa*. Claro que se trata de uma aprendizagem com significados, mas a aquisição, internalização, construção desses significados não é trivial, depende de uma *interação cognitiva* entre o novo conhecimento e algum conhecimento prévio especificamente relevante. Neste processo o novo conhecimento ganha significados e o conhecimento prévio pode ganhar novos significados, ficar mais estável, mais elaborado, mais capaz de servir de “âncora cognitiva” para outros novos conhecimentos. (MOREIRA, 2016, p. 85).

Quando o aluno obtém um novo conhecimento que não possui nenhum significado ou relação com nenhum outro conhecimento obtido anteriormente, ele está sendo exposto à aprendizagem mecânica. No entanto, a aprendizagem mecânica é necessária para que o aluno possa ser apresentado a conceitos novos, que serão relacionadas com outros futuros conhecimentos, possibilitando a aprendizagem significativa (DA SILVA, 2014). Porém, para atingir uma aprendizagem significativa, a aprendizagem mecânica não deve ser a única etapa, e sim um dos passos do processo.

Adicionando uma perspectiva mais freiriana acerca da educação para que o ensino não se torne algo similar como a *educação bancária*, é necessário se apropriar da *educação*

*dialógica*, no qual o estudo depende da apropriação de significados, ressignificação dos conteúdos, onde o aluno encontre relações entre os conteúdos e seu cotidiano, e o principal, que questione (MOREIRA, 2016).

Moreira desenvolveu uma perspectiva da aprendizagem significativa de Ausubel, com um foco no ensino de ciências, no qual traz alguns princípios que buscam facilitar a aprendizagem significativa crítica, que de acordo com MOREIRA (2016) são:

- **Perguntas ao invés de respostas** (estimular o questionamento ao invés de dar respostas prontas)
- **Diversidade de materiais** (abandono do manual único)
- **Aprendizagem pelo erro** (é normal errar; aprende-se corrigindo os erros)
- **Aluno como preceptor representador** (o aluno representa tudo o que percebe)
- **Consciência semântica** (o significado está nas pessoas, não nas palavras, ou seja, significados não são permanentes, e que dependem de seu contexto)
- **Incerteza do conhecimento** (o conhecimento humano é incerto, evolutivo)
- **Desaprendizagem** (às vezes o conhecimento prévio funciona como obstáculo epistemológico)
- **Diversidade de estratégias** (abandono do quadro-de-giz)

Através dos princípios da aprendizagem significativa crítica, o aluno tem o potencial de absorver os significados de maneira crítica e compreender que estes significados não são únicos e definitivos, mas que podem sofrer alterações (MOREIRA, 2016).

Conforme Moreira (2016) alega, estes princípios sugerem uma abordagem diferente no ensino de Física, saindo de um ensino em crise, centrado apenas no professor, e busca uma aprendizagem científica e com significados.

Levando em consideração a crise do ensino de física citado anteriormente, apresentaremos os objetivos em que o trabalho buscou alcançar.

### 3 Objetivos

#### 3.1 Objetivo Geral

Este trabalho tem como objetivo geral a construção de um levitador acústico e a verificação de seu papel como potencial motivador no ensino do conceito de ondas

estacionárias na perspectiva da aprendizagem significativa crítica.

### **3.2 Objetivos Específicos**

- Construir um levitador acústico no qual se utiliza um microcontrolador Arduino conectado a transdutores com objetivo de gerar ondas sonoras.
- Investigar o processo de levitação acústica através de seus conceitos físicos.
- Elaboração de uma sequência didática baseada em atividades experimentais empregando o levitador acústico e se baseando na aprendizagem significativa.
- Aplicar e examinar a sequência didática em busca de identificar indícios de aprendizagem significativa.
- Analisar a possibilidade de o experimento de levitação acústica ser um potencial motivador do estudo de ondas estacionárias.

## **4. Material e Método**

Para alcançar os objetivos propostos, foi empregada a teoria de aprendizagem significativa de Ausubel (1980), segundo o autor, o que o estudante já sabe é um fator importante para o processo de aprendizagem. E conforme a análise de Moreira (2016), a aprendizagem significativa depende de uma interação entre o conhecimento prévio que o aluno possui e o novo conhecimento, neste processo ambos ganham novos significados, sendo que o conhecimento prévio pode se tornar mais estável e podendo se tornar um ancoradouro cognitivo para outros conhecimentos. E no caso deste trabalho o levitador acústico pode ser adotado como uma fonte para adquirir e aprofundar novos conhecimentos e gerar motivação, como confirma Andrade (2015), a levitação acústica pode ser uma ótima ferramenta para motivar estudantes nas aulas de Física.

### **4.1 Levitação Acústica**

Podemos realizar a levitação e objetos de diversas maneiras, cada uma destas com as suas propriedades, vantagens e desvantagens. Um dos métodos mais conhecidos é a levitação magnética, onde os campos magnéticos podem ser utilizados para levantar objetos metálicos e em alguns casos, campos intensos podem levantar materiais que não são magnéticos (ANDRADE, 2015,).

Outro método de levitação que possibilitou que um importante experimento fosse feito foi a levitação através de um campo elétrico. Em 1909, Robert Andrews Milikan (1868-1953), realizou uma série de experimentos, observando que gotas de água suspensas em um campo elétrico podiam se deslocar subitamente para cima ou para baixo, e o motivo disto é por terem

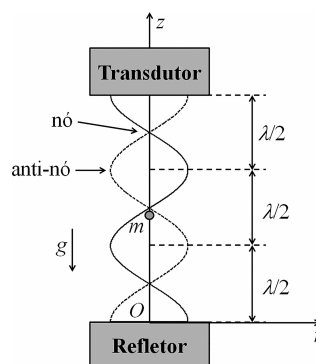
adquirido uma carga elétrica positiva ou negativa, permitindo que Milikan determinasse o valor da carga de um elétron (TIPLER e LLEWELLYN, 2014).

Também existe a possibilidade de levitar uma partícula através da levitação ótica, que funciona seguindo o princípio de que a luz é uma onda eletromagnética e ela pode exercer uma pressão de radiação em uma superfície. (ANDRADE, 2015). E por fim, temos a técnica da Levitação Acústica, que foi escolhida para ser aplicada como atividade experimental.

Basicamente, para a levitação de uma partícula ocorrer em todos os casos listados anteriormente, é necessário que a força peso do objeto, ou seja, a força gravitacional, seja igualada com alguma força externa. E na levitação acústica, a força externa que iguala a força gravitacional, é a força de radiação acústica, que é gerada por uma Onda Estacionária (ANDRADE, 2015).

#### 4.2 Levitação Acústica e Ondas Estacionárias

Os modelos escolhidos para serem construídos são levitadores que operam em um único eixo, possuindo duas bases separadas por uma distância  $L$ , que é ajustada para um múltiplo de meio comprimento de onda (ANDRADE, 2015), conforme é possível verificar na Figura 1, e estas bases operam com transdutores emitindo ondas de ultrassom que geram as Ondas Estacionárias, estas ondas são formadas pela superposição de no mínimo duas ondas com mesma frequência, amplitude e comprimento de onda, porém, se propagando-se em sentidos opostos (RAMOS, 2017), e a onda estacionária, gera uma força de radiação acústica, que possibilita o processo de levitação, conforme Andrade et al. (2015) afirma, para que a partícula seja levitada através de ondas estacionárias, é necessário que a força de radiação acústica, que atua na partícula, seja suficientemente elevada para compensar a força gravitacional.

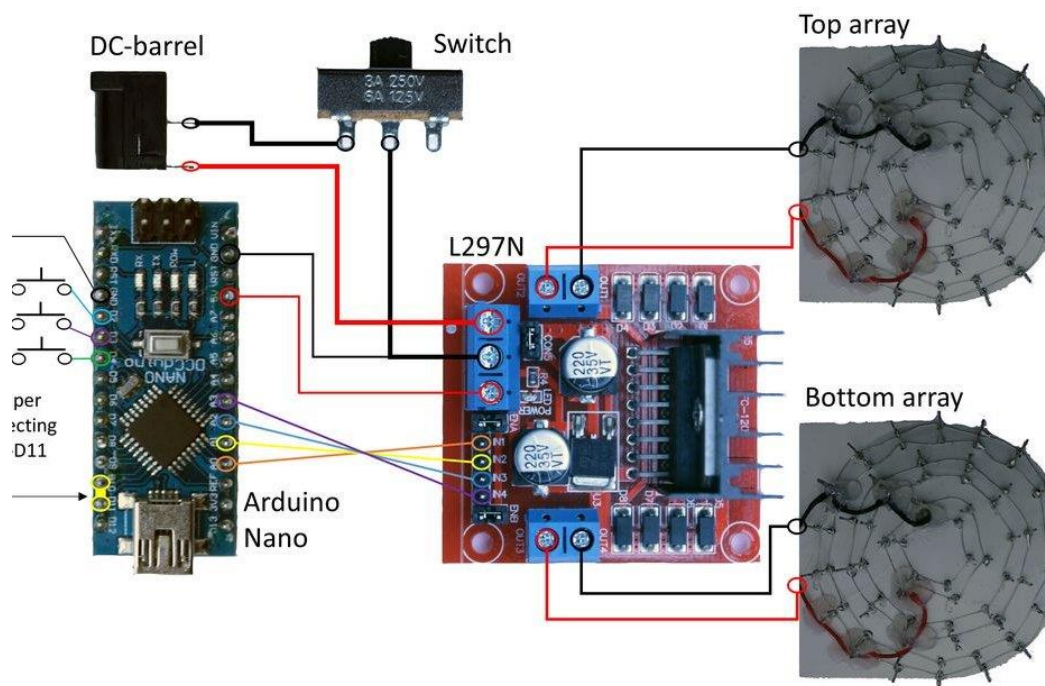


**Figura 1** - Levitador acústico de um único eixo, com uma base transdutora e outra refletora (ANDRADE et al., 2015, p. 3)

### 4.3 Aparato Experimental

O modelo de levitador acústico escolhido é o *TinyLev*, e foi elaborado por Asier Marzo, Adrian Barnes e Bruce W. Drinkwater, onde é utilizado componentes de baixo custo e consegue operar estavelmente com fontes de baixa voltagem, por longos períodos de tempo, além de ser resistente a umidade e à mudança de temperatura. (MARZO et al, 2017).

O levitador acústico é composto por duas bases com 36 transdutores de 10 mm (72 no total) que operam emitindo ondas de ultrassons de até 40 kHz. Para gerar estas ondas sonoras, é utilizado um *Arduino Nano*, que tem como função gerar as ondas senoidais e um amplificador (*L297N Dual H-Bridge*) com o objetivo de amplificar o sinal gerado anteriormente. Este sinal gerado e amplificado é enviado para cada um dos transdutores, que transformam o sinal elétrico em ondas sonoras. O modelo escolhido tem a possibilidade de ser operado com baixas voltagem, utilizando uma fonte fixa ou uma fonte de voltagem regulável.



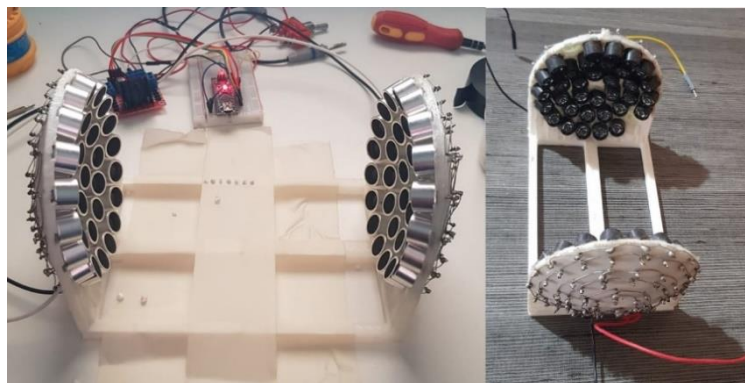
**Figura 2** – Componentes utilizados no levitador acústico.

Fonte: Imagem retirada do site Instructables<sup>1</sup>.

Além do modelo *TinyLev* comentado anteriormente, também foi construído um modelo similar, o *BigLev*, que possui a estrutura similar com o modelo anterior, porém, 160% maior e utiliza transdutores de 16 mm, possibilitando dobrar a capacidade de levitação de partículas (MARZO et al, 2017).

<sup>1</sup> Disponível em: <<https://www.instructables.com/Acoustic-Levigator/>>. Acesso em 31 dez. 2020





**Figura 3** – Modelos de levitador acústico construídos (*BigLev* à esquerda e *TinyLev* à Direita).

Fonte: Autoria Própria.

#### **4.4 Sequência Didática**

Um dos objetivos específicos deste trabalho é o desenvolvimento de uma sequência didática que utilize o aparato experimental como motivador e baseada na aprendizagem significativa. A sequência didática segundo Moreira e Massoni (2016) são sequências orientadas com um foco em tópicos específicos, e não o currículo como um todo. Além disso, é elaborada e organizada de maneira a encaixar os conteúdos tornando o conhecimento lógico ao trabalho pedagógico envolvido (PERETTI, TONIN DA COSTA, 2013).

E também levando em consideração a aprendizagem significativa, é importante, que uma das etapas deve ter o foco de investigar o conhecimento prévio dos alunos através, além disto, também é importante saber que uma sequência didática deve ser constituída por atividades que enfatizem a integração entre o currículo, o desenvolvimento de habilidades e a construção de conhecimentos dos alunos, de modo a aperfeiçoar o processo de ensino e aprendizagem. (CAVALCANTI, RIBEIRO; BARRO, 2018)

O tópico específico desta sequência didática foi o tema Ondas Estacionárias, que faz parte dos estudos da Ondulatória. Ao estudar Ondas Estacionárias, o aluno entra em contato com diversos conceitos fundamentais, tais como interferência de ondas, propagação de uma onda, frequência, velocidade, comprimento de onda, entre outros. Porém, para abordar o tópico escolhido, inicialmente é tratado o fenômeno da levitação e a utilização de um aparato experimental de levitação acústica, que tem como finalidade, ser o potencial motivador para a aprendizagem do tópico escolhido, pois, na levitação acústica, as ondas estacionárias são a principal causa do fenômeno. A sequência didática foi elaborada empregando a teoria de aprendizagem significativa, tendo etapas, nas quais o objetivo seria identificar o conhecimento prévio do aluno, para que fosse utilizado durante a aplicação da sequência didática. Na Tabela 1, é possível ver as etapas desenvolvidas e os objetivos da sequência didática.

**Tabela 1.** Sequência didática para o ensino de ondulatória: Ondas Estacionárias e Levitação Acústica.

<b>ATIVIDADE</b>	<b>ETAPA</b>	<b>METODOLOGIA</b>	<b>TEMPO</b>
<b>1. Pré-Teste</b>	Questionário com objetivo de identificar os conhecimentos prévios dos alunos para a elaboração da aula.	Aplicação de questionário qualitativo através da plataforma <i>Google Forms</i> , e deve ser aplicado antes da sequência didática.	15 min (fora do horário de aula)
<b>2. Problematização</b>	Levantar questionamentos sobre a levitação acústica e conceitos fundamentais da ondulatória.	Utilização de perguntas chaves envolvendo os conceitos de ondulatória com o objetivo de incentivar a participação dos alunos na construção dos conhecimentos que serão abordados na aula.	15 min
<b>3. Introdução à Levitação</b>	Demonstrar aos alunos as possibilidades de levitação junto aos seus conceitos, vantagens e desvantagens. <i>(Levitação Magnética, Óptica e através de Campos Eletrostáticos.)</i>	Aula expositiva com o uso de <i>slideshows</i> e vídeos realizados de maneira online (síncrona) pela plataforma de comunicação <i>Microsoft Teams</i> .	20 min
<b>4. Introdução à Levitação Acústica</b>	Demonstração do experimento de levitação acústica desenvolvido ( <i>BigLev</i> ), descrição de seus componentes e funcionamento.	Aula expositiva com o uso de <i>slideshows</i> e exposição de vídeos do experimento gravados previamente, sendo transmitidos de maneira online (síncrona) pela plataforma de comunicação <i>Microsoft Teams</i> .	20 min
<b>5. Ondas Estacionárias e Levitação Acústica</b>	Explicar aos alunos como os conceitos de Ondas Estacionárias são empregados no experimento de levitação acústica e resolução de exercícios relacionados ao tema.	Aula expositiva com o uso de <i>slideshows</i> e vídeos realizado de maneira online (síncrona) pela plataforma de comunicação <i>Microsoft Teams</i> .	30 min
<b>6. Pós-Teste</b>	Aplicação novamente do questionário com o objetivo de identificar evolução ou mudança nos conhecimentos prévios do aluno e buscando identificar indícios de aprendizagem significativa.	Aplicação de questionário qualitativo através da plataforma <i>Google Forms</i> , onde os alunos responderão no final da aula.	15 min

Fonte: Autoria Própria.

Para atingir os objetivos propostos, foi empregada a teoria de aprendizagem significativa de Ausubel (1980), que segundo o autor, o que o estudante já sabe é um fator

importante para o processo de aprendizagem. E conforme a análise de Moreira (2016), a aprendizagem significativa depende de uma interação entre o conhecimento prévio que o aluno possui e o novo conhecimento. Neste processo ambos ganham novos significados, sendo que o conhecimento prévio pode se tornar mais estável e tendo a possibilidade de se tornar um ancoradouro cognitivo para outros conhecimentos. E no caso deste trabalho, o levitador acústico pode ser adotado como uma fonte para adquirir e aprofundar novos conhecimentos e gerar motivação, como confirma Andrade (2015), a levitação acústica pode ser uma ótima ferramenta para motivar estudantes nas aulas de Física.

Então, foi necessário fazer um levantamento dos conhecimentos prévios que os alunos já possuíam sobre a levitação acústica e os conceitos envolventes, e assim, integrar com os novos conhecimentos que foram construídos. Este levantamento pode ser feito através de questionários, onde os alunos responderam um *pré-teste*, com diversos questionamentos, que serviram como norteador da sequência didática que foi desenvolvida, e após a aplicação da sequência didática, eles responderam um *pós-teste*, onde foi possível identificar se houve algum indício de aprendizagem significativa ou de alguma mudança na estrutura de conceitos.

#### **4.5 Questionário**

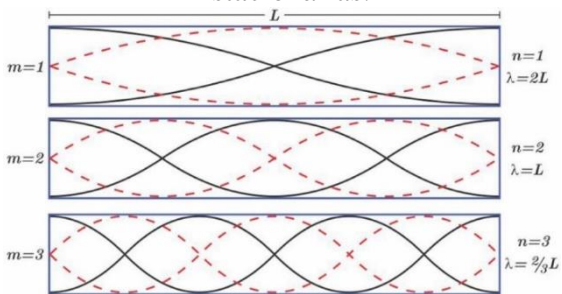
O questionário foi desenvolvido com o objetivo de verificar se houve algum indício de aprendizagem significativa após a aplicação da sequência didática e foi elaborado em duas etapas, um *pré-teste* e um *pós-teste*.

O *pré-teste* teve como objetivo identificar os conhecimentos dos alunos acerca do conteúdo que foi aplicado na sequência didática, pois como Moreira (2016, p. 91) afirma, “não tem sentido começar a ensinar sem fazer um levantamento, por menos que seja, do conhecimento prévio dos alunos”. Além disso, as respostas obtidas nesta etapa também serviram para auxiliar a elaboração e aplicação da sequência didática, pois sabendo em qual ponto os alunos estão no conteúdo, é possível focar mais em algum outro conteúdo, ou expandir o conhecimento sobre o que o aluno já conhece.

Na segunda etapa, intitulada como *pós-teste*, no qual aconteceu após a aplicação da sequência didática, os alunos respondiam novamente os mesmos questionamentos, com o propósito de obter novas respostas para as mesmas questões, e analisar se houve transformações nas respostas obtidas anteriormente, ou seja, verificar a existência de algum indicador de aprendizagem significativa.

Foram elaborados seis questionamentos, os quais envolvem o conhecimento sobre o comportamento de ondas, ondas estacionárias e levitação. Os questionamentos feitos foram os seguintes:

**Tabela 2** – Questionamentos respondidos pelos alunos que participaram da aplicação da sequência didática.

	<b>Questionamentos</b>	<b>Objetivo do questionamento</b>
<b>Questão Introdutória</b>	<p>“(IFPA 2010) – Sua família, ao viajar nas férias para Mosqueiro, resolve ir de barco para a Ilha. O capitão do barco, conversando com seus tripulantes, explica que o barco consegue viajar de Belém para Mosqueiro, porque as ondas carregam o barco até o destino. Utilize as suas palavras para explicar se esta explicação está correta e justifique conceitualmente.”</p>	<p>Esta questão introdutória, tem a intenção, de questionar um conceito simples da ondulatória, porém, significativo, pois caso o aluno não identifique que uma onda não transporta matéria, apenas energia, pode-se criar um obstáculo ao introduzir o conceito de levitação através de ondas sonoras.</p>
<b>Questão 1</b>	<p>A figura abaixo descreve o comportamento de Ondas Estacionárias em um tubo. Tente com as suas palavras explicar o conceito de Ondas Estacionárias.</p> 	<p>O questionamento tem como objetivo, identificar o conhecimento prévio do aluno sobre o conceito de Ondas Estacionárias, o qual é o tema principal da sequência didática.</p>
<b>Questão 2</b>	<p>Você acredita que a levitação é possível? Justifique utilizando conceitos físicos.</p>	<p>Tem a finalidade de identificar a opinião do aluno acerca da levitação, além de, ajudar a criar uma questão motivadora para explanar o conteúdo relacionado a levitação em geral.</p>
<b>Questão 3</b>	<p>Você acredita que é possível levantar partículas utilizando ondas Sonoras? Cite exemplos e explique conceitualmente como você acredita que isso pode funcionar.</p>	<p>Similar com a anterior, porém, com uma ênfase na levitação acústica, com o objetivo de identificar no pós-teste, se o aluno compreendeu o funcionamento da levitação acústica, que é um dos elementos principais da sequência didática.</p>
<b>Questão 4</b>	<p>E no caso de levantar um ser humano, você acredita que seria possível aplicar a levitação acústica nesse caso?</p>	<p>Neste caso, o questionamento servirá para iniciar uma discussão, na qual envolve os conceitos que serão abordados na sequência didática, e no final, a questão será resolvida através de um exercício de resolução.</p>

<p><b>Questão 5</b></p>	<p>Quais maneiras de levitação você conhece e como elas funcionam conceitualmente? Se possível, cite exemplos de aplicações no cotidiano.</p>	<p>O objetivo desta questão, é identificar se o aluno já conhece aplicações de levitação e como funcionam conceitualmente, é esperado que após a aplicação da sequência didática, o aluno tenha conhecimento sobre algumas aplicações de levitação, em conjunto com os conceitos envolvidos.</p>
-------------------------	---	--

Fonte: Autoria Própria.

## 5. Resultados e Discussão

Os resultados foram obtidos através da aplicação de questionários previstos na sequência didática desenvolvida, sendo que a aplicação ocorreu em 2020 com a turma do 3º Semestre da Licenciatura em Física do IFSP-Caraguatubá, durante a aula da disciplina de Projetos Experimentais para o Ensino de Ondulatória, feita de maneira online e síncrona pela plataforma *Microsoft Teams*. Os questionários foram elaborados e respondidos através do *Google Forms*, onde os alunos, para responderem o questionário, tiveram de aceitar o termo de consentimento Livre e Esclarecido, permitindo a utilização das informações obtidas, sem revelar a identidade dos participantes, por isso, os alunos participantes tiveram os nomes omitidos, e foram identificados pelas letras do Alfabeto.

Foi possível obter 13 respostas durante o pré-teste e 8 no pós-teste, porém, foi considerado válido uma amostra de 7 alunos, pois era necessário que o mesmo aluno respondesse ambos os testes, e aconteceu casos onde alunos responderam apenas um dos testes, resultando em um descarte destes dados.

Salientamos que, como foi dito anteriormente, a aplicação da sequência didática teve de ser realizada de modo *online*, devido ao estado de pandemia do Covid-19, acarretando na impossibilidade de os alunos observarem o aparato experimental em funcionamento pessoalmente, por isso, foram utilizados vídeos e fotos dos experimentos.

Analisando e comparando as respostas obtidas através dos questionários aplicados, buscamos identificar se houve uma expansão na estrutura de conhecimento do aluno, ou seja, um indício de aprendizagem significativa. A seguir, foi realizada a análise comparando as mudanças identificadas nas respostas por questão:

### **5.1 - Questão Introdutória:**

Esta questão foi somente aplicada durante o pré-teste, e questionava sobre a possibilidade de uma onda levitar matéria, através de uma questão de vestibular. Em todas as respostas obtidas, os alunos demonstraram entender o fato de que nenhuma onda transporta matéria, e sim energia. Este conceito é importante, pois, se o aluno não souber, e acreditar que a onda transporta matéria, pode haver algum obstáculo e confusão acerca do entendimento do funcionamento da levitação. Como todas as respostas foram positivas e bem definidas, provavelmente por já ter sido tratado em sala de aula, este questionamento não foi feito novamente durante o pós-teste.

### **5.2 - Questão 1:**

Ao serem questionados acerca do comportamento das Ondas Estacionárias, houve respostas onde é possível verificar que o aluno poderia não conhecer o conceito de ondas estacionárias, outros já trouxeram uma definição, mesmo que simples, sobre o conceito. No segundo momento, todos os alunos da amostra conseguiram adicionar detalhes, expandindo a sua resposta, e também trouxeram o conceito de superposição de ondas para explicar o comportamento de uma onda estacionária, o Aluno F, por exemplo, em sua primeira explicação, no pré-teste respondeu: *“ondas estacionárias são ondas que não “saem” do lugar, isso pois, quando um pulso de onda se encontra em um ponto final fixo, ela retorna ao contrário do ida, porém, quando múltiplas ondas fazem esse trajeto, elas se encontram tendo uma interferência que se resulta em ondas que parecem não saírem do lugar.”*, que foi uma boa resposta de início, entretanto, no pós-teste, o aluno define uma onda estacionária da seguinte maneira: *“Ondas estacionárias ocorrem a partir de uma superposição de duas ondas iguais, porém, de sentidos opostos.”*, trazendo uma definição melhor estabelecida.

### **5.3 - Questão 2:**

A segunda pergunta questionava os alunos sobre a possibilidade da levitação. Após a análise das respostas verificamos que todos alunos acreditavam na possibilidade da levitação, e trouxeram exemplos diversos, inclusive o exemplo da levitação acústica, que foi o experimento motivador da sequência didática. Porém, após a aplicação da sequência didática, não houve mudanças significativas nas respostas, os alunos já tinham dado alguns exemplos que foram mantidos, e alguns outros adicionaram uma explanação melhor sobre o tipo de levitação citado anteriormente.

O Aluno F, inicialmente trouxe uma explicação simplificada de como a levitação pode funcionar: *“[...] pois a levitação pode ser vista como a “repulsão” constante de um corpo*

*(magnetismo), ou pela suspensão da matéria (acústica).*”, e em sua resposta no pós-teste, o Aluno F adicionou conceitos e exemplos abordados durante a sequência didática em sua explicação para o fenômeno: “[...] *a levitação consiste em igualar a força peso, e para isso, podemos levitar utilizando magnetismo, óptica, eletrostática e acústica [...]*”. Como o objetivo da pergunta era identificar o conhecimento e as mudanças no conhecimento acerca da levitação em geral, acredito que houve um resultado significativo em grande maioria.

#### **5.4 - Questão 3:**

Nesta pergunta, os alunos novamente foram questionados em relação à levitação, porém, com um foco na levitação acústica. Todos afirmam ser possível, provavelmente pelo motivo de já terem visto o levitador acústico em funcionamento. Foi possível ver uma expansão nos conceitos envolvidos e também nos exemplos citados, como por exemplo o Aluno B, que inicialmente trouxe uma resposta simples, comentando apenas que seria possível a levitação de pequenos objetos, relacionando a frequência da onda sonora utilizada, a partir da participação da sequência didática, o aluno demonstrou um crescimento em seu conhecimento acerca do assunto: “[...] *a levitação é possível devido a ondas de alta-frequência emitidas na direção dos objetos por dois conjuntos de diversos alto-falantes posicionados frente-a-frente, gerando assim ondas estacionárias na mesma direção do objeto.*”. Na resposta do Aluno B, também foi possível identificar que ele trouxe uma explicação bem fundamentada sobre o funcionamento básico do levitador acústico, relacionando o conceito de ondas estacionárias com a possibilidade de levitação acústica. Além do Aluno B, o Aluno D, também utilizou o funcionamento do levitador acústico para justificar sua resposta, em sua primeira resposta, disse que não sabia responder, e no pós-teste, respondeu: “[...] *no experimento tinha um emissor de ondas e um refletor, estes trabalhavam juntos gerando uma superposição de ondas (onda estacionária). Na onda estacionária se formam os nós e ocorre a radiação acústica, responsável por empurrar a partícula para esses nós, criando o efeito de levitação.*”, o Aluno D demonstrou entender muito bem o funcionamento e os conceitos aplicados na levitação acústica.

#### **5.5 - Questão 4:**

Os alunos foram questionados agora sobre a possibilidade de aplicação da levitação acústica para levitar um ser humano, cinco alunos no total afirmaram não ser possível, pois traria riscos à saúde da pessoa, os outros, comentaram que precisariam saber mais sobre como o processo seria feito, ou seja, acredito que antes da aplicação da sequência didática, eles ainda não possuíam um entendimento sobre o funcionamento da levitação acústica. Após a aplicação

da sequência didática, os alunos que não souberam responder no pré-teste, responderam afirmando também que o corpo humano não suportaria o processo.

O Aluno C, que inicialmente respondeu apenas que não seria possível, no pós-teste, expandiu a sua resposta, dizendo que seria possível, mas que o corpo humano não suportaria, e utilizou conceitos abordados na sequência didática para justificar a sua resposta: “[...] *as ondas entrariam numa frequência audível ao ouvido humano. Desta forma, a frequência também chegaria a zona de dor, em torno de 140 a 158 dB, o equivalente a uma bomba atômica, a pessoa sofreria bastante*”. É importante ressaltar que, os alunos não tinham alcançado o conteúdo de Ondulatória que aborda a intensidade sonora na disciplina de Ondulatória, cursada durante o 3º semestre do curso de Licenciatura em Física, em conjunto com a disciplina de Projetos Experimentais para o Ensino de Ondulatória, entretanto, mesmo assim nas respostas de três alunos participantes o conceito de intensidade e potência sonora foi utilizado em suas respostas.

#### **5.6 - Questão 5:**

Na última questão, foi pedido para os alunos explicarem conceitualmente algumas opções de levitação que eles conhecem, porém, apenas dois dos sete alunos trouxeram uma explicação (mesmo que simples) dos conceitos que citaram. O Aluno A citou a levitação acústica como exemplo e relacionou alguns conceitos: “[...] *a levitação acústica pode ser compreendida através das relações entre elementos como força, radiação e onda estacionária*.”, ou seja, já trouxe uma resposta bem definida da levitação acústica. Após a aplicação didática, manteve o seu exemplo, porém, desta vez, relacionou os seguintes conceitos: “*A levitação acústica, que é caracterizada por conseguir levitar partículas por meio de ondas sonoras e da pressão de radiação acústica*.”, isto é, ele definiu melhor quais os conceitos são empregados na levitação acústica.

O Aluno F citou o exemplo da levitação magnética, junto com uma breve explanação sobre o fenômeno: “[...] *a levitação magnética, ela consiste de repulsão pólos magnéticos, ou seja, quando dois pólos iguais se encontram, eles tendem a se empurrar [...]*”, e também trouxe, um exemplo de aplicação no cotidiano do fenômeno: “[...] *Esse sistema pode ser encontrado em um projeto de trem no Japão e em Xangai*.”, após a sequência didática, o aluno apenas citou o mesmo exemplo de aplicação anterior, e adicionou uma aplicação, que é considerada uma das vantagens da levitação acústica: “[...] *laboratórios de eletrônica e farmacêutico, utilizam para controlar componentes/partículas pequenas [...]*”.



Os outros alunos apenas citaram os mesmos exemplos de levitação em ambos os testes, ou seja, sem respostas significativas, pois o principal objetivo desta questão era identificar se eles conseguiriam explicar conceitualmente o funcionamento da levitação acústica, ou de outros exemplos de levitação abordados na sequência didática.

### **5.7 - Panorama Geral**

Em geral, foi possível verificar, que todos os alunos conseguiram expandir, mesmo que ligeiramente, o conhecimento quanto aos conteúdos abordados na sequência didática. Mesmo os alunos que durante o primeiro questionário já possuíam um conhecimento prévio dos conceitos questionados, no segundo momento, foi possível identificar algumas mudanças, como novos conceitos sendo relacionados, utilização do funcionamento do levitador como justificativa para as respostas e citando novos exemplos e aplicações.

Em relação à aprendizagem significativa, essa ampliação das respostas dos alunos que participaram da sequência didática mostrou que houve obliteração do conceito subsunçor. O conceito subsunçor, de acordo com Moreira (2012) é um conhecimento estabelecido na estrutura cognitiva do aluno, no qual permite, através de interações, dar um significado aos outros conhecimentos, e quando acontece uma *assimilação obliteradora* (ou *obliteração subsunçora*) as informações armazenadas na estrutura cognitiva do aluno são modificadas, se tornando mais complexas.

## **6. Conclusão**

Levando em consideração, a situação não planejada durante a aplicação, que teve que ser feita de maneira online devido a pandemia de Covid-19, impossibilitando que os alunos tivessem uma interação direta com o experimento, pode-se dizer que, os resultados, ainda sim, foram favoráveis. Analisando os dados obtidos, foi possível identificar diversas situações nas quais houve uma mudança significativa nas respostas dadas pelos alunos que participaram da sequência didática houve casos nos quais os alunos trouxeram definições bem básicas e simples, ou até, não souberam responder durante o pré-teste, e que no segundo momento, após a aplicação, expandiram as suas respostas utilizando os conceitos abordados.

Foi possível observar, que, em alguns casos, os alunos, para justificarem as suas respostas, utilizaram os conceitos envolvidos no funcionamento do levitador acústico, algo inesperado, porém muito significativo, demonstrando que o aparato experimental cumpre com a sua função de ser um potencial motivador, auxiliando os alunos no entendimento do fenômeno de Ondas Estacionárias. Acredito que, em uma situação, na qual os alunos tenham um contato

direto com o experimento, as respostas poderiam ser ainda mais significativas.

Contudo, podemos concluir que a sequência didática em conjunto ao aparato experimental de levitação acústica, como potencial motivador no ensino de ondas estacionárias, cumpriu o seu papel, e através dos resultados obtidos, foi possível identificar indícios de aprendizagem significativa nas respostas dadas pelos alunos.

## REFERÊNCIAS

- ANDRADE, Marco Aurélio Brizotti; PÉREZ, Nicolás; ADAMOWSKI, Julio Cezar. A Levitação acústica. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 37, n. 2, p. 2304-1-2304-7, 2015.
- AUSUBEL, D.P. ; NOVAK, J.D. e HANESIAN, H. **Psicologia educacional**. Interamericana: Rio de Janeiro, 1980.
- CAVALCANTI, Marcello Henrique da Silva; RIBEIRO, Matheus Marques; BARRO, Mario Roberto. Planejamento de uma sequência didática sobre energia elétrica na perspectiva CTS. **Ciência & Educação (Bauru)**, v. 24, n. 4, p. 859-874, 2018.
- MARZO, Asier; BARNES, Adrian; DRINKWATER, Bruce W.. TinyLev: A multi-emitter single-axis acoustic levitator. **Review Of Scientific Instruments**, [s.l.], v. 88, n. 8, p.085105-08106, ago. 2017. AIP Publishing. <http://dx.doi.org/10.1063/1.4989995>.
- MOREIRA, Marco Antonio; MASSONI, Neusa T. **Noções básicas de epistemologias e teorias de aprendizagem como subsídios para a organização de sequências de ensino-aprendizagem em ciências/física**. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2016.
- MOREIRA, Marco Antonio. Uma análise crítica do ensino de Física. **Estudos avançados**, v. 32, n. 94, p. 73-80, 2018.
- MOREIRA, Marco Antônio. O que é afinal aprendizagem significativa? 2010. **Aula Inaugural do Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências Naturais, Instituto de Física, Universidade Federal do Mato Grosso, Cuiabá, MT**, v. 23, 2010.
- PERETTI, Lisiane; TONIN DA COSTA, Gisele Maria. Sequência didática na matemática. **Revista de Educação do IDEAU**, v. 8, n. 17, 2013.
- RAMOS, Tiago dos Santos. **Força de radiação acústica produzida por ondas estacionárias de ultrassom**. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo, 2017.
- DA SILVA, S. de C. R.; SCHIRLO, A. C. Teoria da aprendizagem significativa de Ausubel: reflexões para o ensino de Ciências frente às novas realidades da sociedade. **Imagens da Educação**, v. 4, n. 1, p. 36-42, 11 fev. 2014.
- TIPLER, Paul A.; LLEWELLYN, Ralph A. **Física Moderna**, 6a ed. Rio de Janeiro: LTC, 2014.
- ZANETIC, J. Física e Cultura. **Ciência e Cultura**, v. 57, n. 3, p. 21-24, 2005