

# EFEITOS DE UMA SEQUÊNCIA DE ENSINO INVESTIGATIVA SOBRE ONDAS SONORAS NA APRENDIZAGEM DOS ALUNOS NO ENSINO MÉDIO

## EFFECTS OF AN INVESTIGATIVE TEACHING SEQUENCE ON SOUND WAVES ON HIGH SCHOOL STUDENTS' LEARNING

Tamires Sandes dos Santos<sup>1</sup>, José Uibson<sup>2</sup>

Recebido: fevereiro/2023 Aprovado: julho/2023

**Resumo:** O objetivo desta investigação foi compreender como as atividades investigativas podem auxiliar os alunos a superarem suas concepções errôneas em relação à Natureza, Propagação e Qualidades do Som. Para tanto, foi elaborada e aplicada uma Sequência de Ensino Investigativa (SEI) com foco em experimentos. Esta pesquisa teve caráter misto e delineamento quase-experimental, fazendo-se uso de grupos controle e experimental. Os dados foram coletados a partir de um questionário, aplicado tanto no pré-teste quanto no pós-teste. Como métricas de análise, foram utilizados o ganho normalizado de aprendizagem ( $g$ ) e o tamanho do efeito ( $d$  de Cohen). Os resultados mostram maior ganho de aprendizagem na turma que recebeu a SEI em comparação com a que não recebeu, sendo verificado ainda um efeito muito grande da SEI nesta turma. Tais resultados permitem inferir que os alunos da turma experimental possivelmente superaram mais suas concepções errôneas em relação à turma controle.

**Palavras-chave:** sequência de ensino investigativa, ondas sonoras, experimentação, concepções errôneas.

**Abstract:** The objective of this investigation was to understand how investigative activities may help students to overcome their misconceptions regarding to Nature, Propagation and Qualities of Sound. For this purpose, a focused-on experiments Investigative Teaching Sequence (ITS) was developed and applied. This research presented mixed features and quasi-experimental design, making use of control and experimental groups. Data were collected from a questionnaire which was applied both in the pre-test and in the post-test. As metrics analysis, normalized learning gain ( $g$ ) and effect size (Cohen's  $d$ ) were used. The results show a greater learning gain in the class that received the ITS compared to the one that did not, with a very large effect of the ITS being verified in this class. Such results allow us to infer that the students in the experimental group possibly overcame their misconceptions in relation to the control group.

**Keywords:** inquiry-based teaching sequences, sound waves, experimentation, misconceptions.

## 1. Introdução

De maneira geral, ao caracterizar uma aula de Física no Ensino Médio, é comum deparar-se com aulas contendo exposição extensiva de conteúdos matematizados, pouca discussão e uma Física descontextualizada (AVILES; GALEMBECK, 2017). Este cenário do ensino de Física apresenta pouca relevância para a aprendizagem dos alunos (BELLUCCO; CARVALHO, 2014), onde alguns conteúdos são ministrados de forma resumida, com pouco tempo para que os alunos possam assimilar os conceitos envolvidos, como aqueles relacionados à Acústica, por

<sup>1</sup>  <https://orcid.org/0000-0001-7915-7008> - Esp. Tamires Sandes dos Santos, Professora do Colégio Estadual Prefeito Anfilóbio Fernandes Viana (AFV/SE), Rua Camerino, 805, CEP 49.260-000, Umbaúba/SE. E-mail: [tamiressandes@hotmail.com](mailto:tamiressandes@hotmail.com)

<sup>2</sup>  <https://orcid.org/0000-0002-3276-7017> - Me. José Uibson, Doutorando do Programa de Pós-graduação em Ensino (RENOEN-UFS), Professor na Licenciatura em Física do IFS – campus Lagarto, Rua Cauby, 523, CEP 49.400-975, Lagarto/SE. E-mail: [jose.moraes@ifs.edu.br](mailto:jose.moraes@ifs.edu.br)

exemplo. Tal ramo da Física geralmente está alocado na segunda série do Ensino Médio, em conjunto com o ramo da Termodinâmica e Óptica Geométrica, respectivamente. Porém, a Acústica, via de regra, é o último desses três ramos a ser abordado, restando poucas aulas para desenvolver seus conceitos, fator que pode dificultar o aluno se apropriar do conteúdo, o qual, de certa forma, já está presente no seu cotidiano (CORREIA; BOLFE; SAUERWEIN, 2016).

Na busca por desenvolver o conhecimento científico nos alunos, em relação às Ondas Sonoras, torna-se fundamental conhecer as concepções errôneas do discente, em relação ao som, como por exemplo, a ideia de que a propagação do som só acontece no ar, bem como a percepção de “que a velocidade do som depende da intensidade” (SILVA; AGUIAR, 2011, p. 3). É preciso aprofundar mais o saber sobre tais concepções e confrontá-las com resultados experimentais comprovados cientificamente. Decerto, o professor tem o papel de propor meios adequados para esse confronto, como a utilização de experimentos didáticos, tendo em vista sua potencialidade em envolver os alunos a terem uma participação ativa, proporcionando um melhor entendimento dos conteúdos e despertando a curiosidade (MOURA *et al.*, 2017). Porém, “são raras as proposições de utilização de experimentos principalmente para o estudo de ondas sonoras, sejam elas de caráter demonstrativo, investigativo ou de verificação” (PIUBELLI *et al.*, 2010, p. 1). Tal fato geralmente ocorre, por exemplo, devido à falta de material didático (SAAB; CÁSSARO; BRINATTI, 2005), à “ausência de laboratórios e equipamentos nas escolas, até à inexpressiva quantidade de orientações que podem auxiliar o professor no planejamento de suas aulas” (ERROBIDART *et al.*, 2014, p. 1). Como consequência desses problemas, “o conceito de Ondas é estudado fundamentalmente com ênfase nas demonstrações teóricas de suas equações e leis” (JARDIM; ERROBIDART; GOBARA, 2008, p. 9).

De forma a buscar por alternativas que possam minimizar as dificuldades descritas em torno do desenvolvimento dos conteúdos referentes às Ondas Sonoras, destaca-se a utilização das atividades investigativas, pois durante o processo de envolvimento dos alunos nesse tipo de atividade, eles começam a notar a real importância da atividade científica para encarar situações desafiantes em seu cotidiano (SILVEIRA; VASCONCELOS; SAMPAIO, 2022; RAMOS; PARISOTTO, 2022). Uma dessas situações é evitar e se proteger da poluição sonora, possibilitando que tomem decisões plausíveis para impedir os possíveis danos à saúde (AFONSO; LEITE, 1999).

Diante das breves discussões apresentadas sobre o ensino de Física e, em especial, aos desafios existentes no desenvolvimento dos conteúdos referentes às Ondas Sonoras, esta investigação buscou possíveis respostas à seguinte questão de pesquisa: de que maneira as atividades investigativas podem contribuir para que haja a superação das concepções errôneas dos alunos do Ensino Médio acerca da Natureza, Propagação e Qualidades Fisiológicas das Ondas Sonoras? Para tanto, foi proposta uma Sequência de Ensino Investigativa (SEI) no desenvolvimento de tais conteúdos, em que se buscou avaliar seus efeitos em relação às concepções errôneas sobre o Som. Assim, tem-se como objetivo compreender como as atividades investigativas podem auxiliar os alunos a superarem suas concepções errôneas em relação à Natureza, Propagação e Qualidades do Som. Tendo em vista que as propostas de SEI vem ganhando cada vez mais relevância no ensino de Física, ofertando o desenvolvimento de atividades investigativas nos diversos ramos desta Ciência (BELLUCCO; CARVALHO, 2014; FEITOSA *et al.*, 2020).

Nesse sentido, serão apresentados os resultados referentes aos efeitos da SEI na aprendizagem dos alunos, assim como as etapas de aplicação da SEI proposta. A Seção 2 apresentará a fundamentação teórica desta pesquisa e a Seção 3 seus procedimentos metodológicos, ao passo que a Seção 4 explanará os resultados e as discussões. Por fim, a Seção 5 discorrerá sobre as conclusões desta investigação.

## 2. Referencial Teórico

### 2.1 Breve histórico do ensino por investigação

O ensino por investigação surgiu no século XIX, predominantemente na América, com a intenção de incentivar o uso de atividades investigativas no Ensino de Ciências. Essa concepção foi motivada pelo americano John Dewey, cujas ideias, na época do Movimento Progressista, estavam ligadas ao processo de aprender através de projetos e resolução de problemas. Tal movimento sustentava a importância do ensino diretamente relacionado com a vida do educando, coligando a teoria à prática, fazendo com que o indivíduo participasse ativamente da evolução de sua aprendizagem (ZÔMPERO; LABURÚ, 2011).

No ano de 1980, ocorreu a criação, pelos Estados Unidos, do documento *Science For All Americans*, orientando o Ensino de Ciências de acordo com as características da investigação científica. Logo, os discentes deveriam adquirir conhecimentos de alguns procedimentos como a observação, a anotação, o manuseio, a descrição, a formação e a solução de perguntas. Já no Brasil, o Ensino de Ciências por Investigação foi abordado nos Parâmetros Curriculares Nacionais (PCNs) somente no ano de 1997. Porém, esse ensino por investigação, até o momento, não foi posto em vigor em todo o país (ZÔMPERO; LABURÚ, 2011).

As atividades desenvolvidas no ensino por investigação recebem o nome de atividades investigativas e, as que mais se aproximam do ensino de Física, conforme a literatura específica, são quatro: Demonstração Investigativa, Questão Aberta, Problema Aberto e Laboratório Aberto (AZEVEDO, 2004). Na Demonstração Investigativa, o docente propõe um problema experimental, com a intenção de que os alunos mencionem algumas hipóteses. Ao término da atividade, o docente faz algumas perguntas para verificar se todos compreenderam o que foi trabalhado em aula (CARVALHO, 2013).

Em relação à Questão Aberta, esta é trabalhada com um conteúdo que já foi abordado em aulas anteriores, propondo aos alunos um problema científico direcionado a acontecimentos do cotidiano. Nesse viés, é importante registrar as respostas dos alunos, já que estes poderão ordenar suas ideias de acordo com o conteúdo estudado (AZEVEDO, 2004). No caso do Problema Aberto, de acordo com o autor supracitado, o professor propõe um problema e, através de hipóteses mencionadas pelos alunos e os diálogos entre eles e o professor, é possível chegar a uma resposta conceitual e matematizada, requerendo-se, então, o registro da solução do problema.

No Laboratório Aberto, atinge-se a solução do problema proposto por meio de experimentos. Essa atividade possui seis momentos: i) proposta de um problema que desperte nos alunos a curiosidade científica; ii) levantamento das hipóteses dos alunos; iii) elaboração do

plano de trabalho que definirá quais materiais serão utilizados no experimento, como desenvolvê-los e como coletar os dados, por exemplo; iv) montagem do aparato experimental e coleta dos dados; v) realização da análise dos dados, de acordo com o definido no plano de trabalho; vi) conclusão que identificará a solução mais plausível para o problema proposto (AZEVEDO, 2004).

## 2.2 Concepções errôneas

Nota-se que vários alunos têm concepções errôneas em relação ao conteúdo de Ondas Sonoras, por exemplo: de como o som se propaga e qual é sua natureza. Essas concepções podem ser encontradas em discentes de vários níveis de escolaridade (LEITE; AFONSO, 1999) e com ideias distintas, como acreditar que o som se propaga através de choques contínuos entre as partículas existentes no meio para que o som alcance o ouvido (receptor) (SOARES, 2007), ou até mesmo que o som se transporta de um ponto para outro, como se fosse um líquido sonoro que ocupa um determinado local (SILVA; AGUIAR, 2011).

Ainda nessa perspectiva, podem ser citadas algumas concepções sobre a propagação do som, tais como: o som tem o melhor desempenho de propagação no ar; não há necessidade de existir um meio material para haver a propagação; não há propagação em meio sólido; o único meio sólido que o som se propaga é aquele que é metalizado, como por exemplo, o ferro, já que ele pode conduzir à eletricidade; se o meio não obtiver matéria, a propagação do som ocorre de forma imediata (SOARES, 2007). Já de acordo com Silva (2011), ainda existem outras concepções, como: o som se propaga na água devido ao oxigênio existente nela; se propaga também nos sólidos, desde que eles possuam espaços em seu interior; se propaga em uma única direção e se propaga no meio vazio.

Sobre a velocidade de propagação, algumas concepções errôneas apontam que o som se propaga melhor nos gases, logo em seguida nos líquidos, e por fim nos sólidos; o som se propaga com maior velocidade no vácuo do que no ar; a velocidade de propagação se reduz, se o meio estiver mais denso (SOARES, 2007); quanto mais alto o volume do som, mais veloz ele se propaga (SILVA, 2011). De acordo com as qualidades sonoras, interpreta-se que a altura do som é a intensidade; que a velocidade e a frequência são dependentes da intensidade; que a altura do som depende da amplitude (SOARES, 2007).

## 2.3 Experimentos no ensino de Física

A realização de atividades experimentais, em sala de aula ou em laboratório, pode ser capaz de despertar no discente a curiosidade e o interesse no que está sendo trabalhado, ocasionando a aquisição do conhecimento científico, a busca por novos conhecimentos e uma aprendizagem significativa (MORAES; SILVA JUNIOR, 2014). Para que o discente tenha a capacidade de relacionar o conhecimento científico com a tecnologia, com a sociedade e com o ambiente, através de atividades experimentais, é de suma importância que seja analisado como o experimento está sendo desenvolvido (ANDRADE; MASSABNI, 2011).

Nos dias atuais, alguns professores ainda desenvolvem a atividade experimental seguindo o passo a passo de um guia (ROSA; ROSA, 2015). Esse método tradicional pode ocasionar o desinteresse do discente (LABURU, 2006), pois dificilmente precisará que ele apresente e

organize seu conhecimento (ANDRADE; MASSABNI, 2011). De acordo com Séré, Coelho e Nunes (2003, p. 31), “a maneira clássica de utilizar o experimento é aquela em que o aluno não tem que discutir; ele aprende como se servir de um material, de um método; a manipular uma lei fazendo variar os parâmetros e a observar um fenômeno”.

No momento em que se realiza a atividade experimental com um caráter investigativo, o aluno é estimulado a interagir na aula, pois poderá pensar, analisar, sugerir solução para o problema previamente proposto, discutir com os colegas e com o professor e buscar estratégias para a sua solução (ANDRADE; MASSABNI, 2011), já que na atividade investigativa existe a interação entre o docente e os discentes, mediante elaboração de perguntas e cuidadosas análises em busca de respostas, através de minuciosa observação e reflexão (SILVEIRA; VASCONCELOS; SAMPAIO, 2022; RAMOS; PARISOTTO, 2022).

### 3. Procedimentos metodológicos

#### 3.1 Características gerais

A presente pesquisa tem um caráter misto, ou seja, com abordagens quantitativas e qualitativas, possibilitando, em um mesmo estudo, coletar dados com descrições numéricas e textuais, no intuito de melhorar a compreensão do problema da pesquisa. Nesse sentido, o processo investigativo iniciou-se de forma qualitativa, seguido por uma abordagem quantitativa (CRESWELL, 2007). Pesquisas com essas características são comuns no ensino de Física (COSTA *et al.*, 2012; FEITOSA *et al.*, 2020).

Na pesquisa aqui relatada, utilizou-se o estudo de caso com objetivo exploratório, com as seguintes qualidades: “o seu caráter holístico, o contexto e sua relação com o estudo, a possibilidade de poder fazer generalizações, a importância de uma teoria prévia e o seu caráter interpretativo constante” (MEIRINHOS; OSÓRIO, 2010, p. 52). Foi abordado também o tipo de delineamento quase-experimental, fazendo-se uso de um grupo experimental (aplicação da SEI) e um grupo controle (a SEI não foi aplicada). Como de costume, nesse tipo de delineamento, aplica-se um pré-teste para ambos os grupos, em seguida, ocorre a aplicação do tratamento proposto ao grupo experimental e, por fim, aplica-se um pós-teste aos grupos.

#### 3.2 Sequência de Ensino Investigativa (SEI)

A SEI desenvolvida nesta pesquisa foi dividida em três momentos, sendo trabalhados dois tipos de atividades investigativas: Questão Aberta e Demonstração Investigativa (AZEVEDO, 2004). Cada momento foi iniciado com problemas simples, com o objetivo de estimular o aluno a pensar e a discutir os questionamentos com os colegas, construindo suas hipóteses, através, por exemplo, de seus conhecimentos prévios. Após este início, deu-se prosseguimento com a utilização de uma atividade experimental, a fim de que os alunos buscassem as possíveis soluções do problema proposto. Ao final, no término de cada momento, os alunos registraram, através de uma atividade, a solução do problema (Quadros 1, 2 e 3).

Quadro 1 - Descrição do 1º momento de aplicação da SEI

1º MOMENTO	ATIVIDADE INVESTIGATIVA: <i>Questão Aberta</i>
<b>PROBLEMA CENTRAL:</b>	O som precisa de meios materiais para se propagar? Quais seriam esses meios e como é a velocidade de propagação neles?
<b>CONTEÚDOS:</b>	O som; Natureza do som; Produção do som; A propagação do som; Propagação em meios materiais diferentes; Velocidade de propagação.
<b>OBJETIVOS:</b>	Saber o conceito de som, infrassom, ultrassom e a produção do som. Entender que o som necessita de um meio material para se propagar e que esse meio (sólido, líquido ou gasoso) altera a sua velocidade de propagação.
<b>ATIVIDADES DESENVOLVIDAS:</b>	Discussão e construção de hipóteses; atividades experimentais; conteúdo exposto com slide; atividade para registro.

Fonte: Dados da pesquisa. Elaborado pelos autores, 2018.

Esse primeiro momento foi desenvolvido em 2 horas e 30 minutos, nas quais se buscou resolver os problemas centrais propostos a partir das atividades descritas no Quadro 1. No início da aula, foram feitos alguns questionamentos aos alunos, como: (a) O que é o som? (b) Como ele é produzido? (c) Todos os sons são audíveis? (d) O som se propaga? Tais questionamentos buscaram provocar reflexões e discussões entre os alunos, enquanto a professora (pesquisadora autora deste artigo) fazia relação do conteúdo com o cotidiano. Algumas respostas dos alunos serão apresentadas e discutidas na próxima seção (Resultados e Discussões).

Após o debate e construção das hipóteses pelos discentes, partiu-se para a realização das atividades experimentais. A primeira, com a utilização de uma “mola maluca”, tinha como objetivo demonstrar como era uma propagação longitudinal e transversal de uma onda. Para a realização desta atividade, a professora solicitou que dois alunos participassem.

Em outra atividade, foram entregues bexigas aos alunos e solicitado que as enchessem ([https://www.ciensacao.org/experimento\\_mao\\_na\\_massa/e5095pb\\_feelVoice.html](https://www.ciensacao.org/experimento_mao_na_massa/e5095pb_feelVoice.html)). Antes desse procedimento, foi questionado aos alunos o que ocorreria se eles segurassem a bexiga cheia na ponta dos dedos e na outra extremidade falassem próximo a ela. Com as bexigas devidamente cheias de ar, os alunos realizaram tal procedimento e puderam novamente testar suas hipóteses em relação à Natureza de uma onda sonora.

O experimento seguinte abordou a necessidade ou não de um meio material para que o som se propague e também sobre como ocorre essa propagação em diferentes meios. Tal atividade está presente no trabalho de Fardilha (2015), tendo sido utilizados os seguintes materiais: saco de plástico transparente; despertador que caiba tanto no saco plástico quanto nos recipientes; 2 recipientes transparentes; 2 litros de água; 3 quilogramas de areia. Nesse experimento, primeiro colocava-se o alarme para tocar no ar, depois imerso na água (dentro de um saco plástico) e por último, na areia. Alguns alunos foram chamados para observar a execução do experimento e, após todo o debate e discussão das atividades desenvolvidas, partiu-se para o desenvolvimento do 2º momento desta SEI (Quadro 2).

Quadro 2 - Descrição do 2º momento de aplicação da SEI

2º MOMENTO	<b>ATIVIDADE INVESTIGATIVA:</b> <i>Demonstração investigativa</i>
<b>PROBLEMA CENTRAL:</b>	É possível que o som se propague na inexistência de um meio material, ou seja, no vácuo?
<b>CONTEÚDOS:</b>	Ausência de propagação no vácuo;
<b>OBJETIVOS:</b>	Compreender que o som não se propaga no vácuo.
<b>ATIVIDADES DESENVOLVIDAS:</b>	Discussão e construção de hipóteses; atividade experimental; exposição do conteúdo em slide; atividade para registro.

Fonte: Dados da pesquisa. Elaborado pelos autores, 2018.

O segundo momento foi desenvolvido em apenas 30 minutos, com um foco maior na não possibilidade de propagação do som no vácuo, discussão que já fora iniciada no primeiro momento. Essa etapa começou com um questionamento aos alunos sobre a possibilidade ou não do som se propagar na inexistência de um meio material e buscou-se fazer o levantamento e a construção das hipóteses.

Continuando o momento, foi desenvolvida uma atividade experimental cujo objetivo era mostrar a “inexistência” da propagação do som no vácuo. Os seguintes materiais foram utilizados neste experimento: 1 recipiente de vidro com tampa plástica; uma bomba de vácuo manual com entrada de ar em formato de bico; o bico de uma seringa de 60 mililitros; cola de silicone; fita veda rosca; algodão para “forrar” o fundo do recipiente; cano flexível de silicone de aproximadamente 1 milímetro de diâmetro; ferro de solda; aparelho de som. O procedimento consistiu em deixar o aparelho de som ligado dentro do recipiente de vidro e, à medida que se ia fazendo vácuo, era observada a redução da intensidade do som. No entanto, observou-se que, diante dos materiais utilizados e das condições expostas, não foi possível fazer um vácuo perfeito, sendo verificada a presença de som, porém, em intensidade bastante inferior ao início do experimento, quando o aparelho de som estava apenas em cima da mesa. Após a finalização deste momento, partiu-se para o desenvolvimento do 3º momento desta SEI (Quadro 3).

Quadro 3 - Descrição do 3º momento de aplicação da SEI

3º MOMENTO	<b>ATIVIDADE INVESTIGATIVA:</b> <i>Questão aberta</i>
<b>PROBLEMA CENTRAL:</b>	Você concorda com a seguinte frase: “Abaixe esse som! Não sei como você consegue ouvir essa música nessa altura!?” (GUIMARÃES; PIQUEIRA; CARRON, 2017, p. 163).
<b>CONTEÚDOS:</b>	Intensidade; Nível de intensidade; Altura do som; Timbre.
<b>OBJETIVOS:</b>	Diferenciar as qualidades fisiológicas do som: altura, timbre e intensidade.
<b>ATIVIDADES DESENVOLVIDAS:</b>	Discussão e construção de hipóteses; atividade experimental; citações de exemplos sobre a saúde humana relacionado com a intensidade do som; atividade para o registro.

Fonte: Dados da pesquisa. Elaborado pelos autores, 2018.

Este terceiro momento foi desenvolvido em 1 hora e 30 minutos, cujos focos foram as qualidades fisiológicas do som. A professora iniciou o momento questionando os alunos sobre

a mudança ou não da velocidade de propagação, de acordo com a proximidade com a fonte sonora, sobre a altura do som, etc. Após essa parte inicial, em que se deu o levantamento e a construção das hipóteses, foi desenvolvida uma atividade experimental (MOURA *et al.*, 2017) cujo objetivo era que os alunos pudessem “ver” sua própria voz. Os materiais utilizados neste experimento foram: lata de metal com 75 milímetro de diâmetro e 80 mm de comprimento; elásticos de borracha; cano de 30 cm; balão de festa; caneta laser; fita adesiva; espelho plano de dimensões 1cm x 1cm. O procedimento consistiu em um aluno falar em uma extremidade da lata, projetando o reflexo do laser no quadro e observando os diferentes padrões de vibração que são formados.

Ao final deste momento, foi desenvolvida uma atividade para o registro do que foi trabalhado na aula, levando-se em conta os momentos 2 e 3 aqui descritos. Tal atividade consistia nas seguintes perguntas: 1º) É possível que o som se propague com a inexistência de um meio material, ou seja, no vácuo? Explique com suas palavras a sua resposta. 2º) Como o experimento sobre a propagação do som no “vácuo” foi desenvolvido? O que foi possível perceber no experimento? 3º) Você concorda com essa frase: Abaixei esse som! Não sei como você consegue ouvir essa música nessa altura!? Explique o motivo de sua resposta. 4º) Como foi desenvolvido o experimento “visualize a sua voz”? O que foi possível perceber fisicamente?

### 3.3 Instrumento de coleta e análise de dados

Esta pesquisa foi desenvolvida com alunos de duas turmas do turno da manhã, da segunda série do Ensino Médio, na disciplina de Física em um Colégio Estadual do município de Lagarto-SE. As turmas foram subdivididas em dois grupos: o grupo controle (Turma A), que não recebeu a SEI, porém o professor regente da turma ministrou os conteúdos sobre a Natureza do Som, a Propagação das Ondas Sonoras e suas Qualidades Fisiológicas da forma como ocorre tradicionalmente no colégio [utilizando o livro didático *Física: aula por aula* de Filho e Silva (2016), registrando um breve resumo sobre o conteúdo abordado e resolvendo exercícios do livro no final da aula]. Esta turma era composta por 21 alunos (15 do sexo feminino e 6 do sexo masculino), com faixa etária entre 15 a 18 anos. Já o grupo experimental (Turma E) recebeu esses conteúdos através da SEI apresentada na seção anterior. Essa turma era composta por 30 alunos (17 do sexo feminino e 13 do sexo masculino), com faixa etária entre 15 a 17 anos.

No que diz respeito à coleta de dados, foi utilizado um questionário com 16 questões, tanto no pré-teste quanto no pós-teste. Para a construção desse instrumento, foram realizadas pesquisas de questões em livros didáticos, dissertações, internet etc., as quais puderam identificar as concepções errôneas dos alunos em relação à Natureza do Som, sua Propagação e suas Qualidades. Após essa etapa, foram selecionadas 16 questões e subdivididas em três tópicos. Essa subdivisão está de acordo com as concepções errôneas citadas nas pesquisas de Silva e Aguiar (2011), Soares (2007), Silva (2011) e Afonso e Leite (1999). O primeiro tópico abordou o conteúdo Definição e Produção do Som (P1) e conteve duas questões; o segundo, com a abordagem sobre a Propagação do Som (P2), conteve oito questões e o terceiro tópico referiu-se sobre as Qualidades do Som (P3), com seis questões.

Salienta-se que cada um dos três tópicos do questionário teve o intuito de verificar os conhecimentos dos alunos em três dimensões do conteúdo sobre Ondas Sonoras e que nem

sempre foi possível utilizar a questão na íntegra ou em sua forma original, em vista disso, adaptações foram realizadas sempre que preciso. Informa-se ainda que foi realizado também o registro de bordo para coletar informações das respostas dos alunos, à medida que os três momentos da SEI foram sendo desenvolvidos.

Nas análises do pré-teste e pós-teste, utilizaram-se de alguns cálculos da estatística descritiva, como o percentual de acerto das questões; o percentual de acerto em cada parte do questionário (P1, P2 e P3); dentre outros. A fim de complementar os cálculos citados e buscando elementos que indicassem se ocorreram mudanças nas concepções errôneas dos alunos e em que medida a SEI contribuiu para isso, foi utilizada a métrica do ganho normalizado de aprendizagem  $\langle g \rangle$  (HAKE, 1998), conforme equação abaixo (1):

$$\langle g \rangle = \frac{(\%Pós - \%Pré)}{100 - \%Pré} \quad (1)$$

De acordo com Hake (1998), o resultado do ganho normalizado está subdividido em três categorias de aprendizado (Tabela 1).

Tabela 1 – Faixa de ganhos normalizado

Ganho	Baixo	Médio	Alto
Faixa	$g < 0,3$	$0,3 \leq g < 0,7$	$g \geq 0,7$

Fonte: Adaptado pelos autores de Hake (1998).

Outra métrica utilizada nesta pesquisa foi o tamanho do efeito (TDE), conhecido como o  $d$  de Cohen, que é fundamentado nas médias e nos desvios-padrão. Com a utilização do  $d$  de Cohen, calculado conforme equação (2), foi possível analisar melhor o efeito do tratamento proposto entre a turma experimental e a turma controle:

$$d = \frac{(M_1 - M_2)}{DP_{combinado}} \quad (2)$$

É fornecida pela literatura uma classificação para diferentes faixas de valores de  $d$ , para uma melhor interpretação do seu significado em termos do efeito que está sendo analisado. (Tabela 2).

Tabela 2 – Valores para os tamanhos dos efeitos

Insignificante	Pequeno	Médio	Grande	Muito grande
$< 0,19$	$0,20 - 0,49$	$0,50 - 0,79$	$0,80 - 1,29$	$> 1,30$

Fonte: (ESPÍRITO-SANTO; DANIEL, 2015, p. 9).

Observa-se que, devido ao fato das amostras (turma experimental e controle) serem pequenas e possuírem quantidades distintas, orienta-se que seja realizada uma correção no cálculo de  $d$ , complementando com o cálculo do  $g$  de Hedges, conforme equação (3). Tal correção se justifica para que se possa interpretar melhor o efeito do tratamento proposto, já que “os desvios-padrão de cada grupo devem ser ponderados segundo a dimensão da amostra” (ESPÍRITO-SANTO; DANIEL, 2015, p. 8).

$$g_{Hedges} = \frac{(M_1 - M_2)}{DP_{combinado}} \left(1 - \frac{3}{4gl-1}\right) \quad (3)$$

Ao finalizar os cálculos do  $d$  de Cohen e do  $g$  de Hedges, foi calculado também o Tamanho do Efeito em Linguagem Comum (TDE-LC) proposto por McGraw e Wong (1992). O TDE-LC representa a “probabilidade de uma pessoa retirada ao acaso do grupo alvo ter uma pontuação superior a uma pessoa retirada ao acaso do grupo de comparação” (ESPÍRITO-SANTO; DANIEL, 2015, p. 9). Assim, calcula-se o valor de  $Z$ , por meio da equação (4) e, a partir de uma tabela de distribuição normal padrão, encontra-se a probabilidade que representa o TDE-LC.

$$Z = \frac{|M_1 - M_2|}{\sqrt{DP_1^2 + DP_2^2}} \quad (4)$$

## 4. Resultados e discussões

### 4.1 Concepções errôneas segundo o pré-teste

Após a análise do pré-teste, verificou-se que os alunos possuíam concepções errôneas em relação à propagação, à velocidade, à intensidade, ao timbre e à altura do Som. Especificamente, as concepções eram: que o som se propagava unicamente pelo ar; que a velocidade de propagação do som estava totalmente relacionada com a intensidade sonora e, que devido a isso, o som se propagava com maior velocidade nos gases do que nos sólidos e líquidos; que o timbre era o mesmo que a altura; que ao se tratar de altura, estava se tratando também da intensidade sonora; que as vibrações de um corpo são desnecessárias para a produção do som; que ao se propagar a onda sonora também se transporta matéria; e uma pequena parte dos alunos acreditava que o som se propagava no vácuo.

Tais concepções já foram mencionadas em outras pesquisas, por exemplo: a concepção errônea de que o som precisa do ar para se propagar (SILVA, 2011; SOARES, 2007); sobre a eficácia da velocidade de propagação do som no meio gasoso ser maior do que no líquido e no sólido e, que o som é produzido sem a necessidade de vibrações do meio (SOARES, 2007); sobre a concepção de que a altura e a intensidade são as mesmas coisas (SILVA, 2011); sobre o transporte de matéria ao se propagar uma onda sonora (LEITE; AFONSO, 1999; SILVA, 2011; SOARES, 2007) e sobre a propagação do som no vácuo (LEITE; AFONSO, 1999; SOARES, 2007).

### 4.2 Aplicação da Sequência de Ensino Investigativa

Como mencionado no tópico 3.2 deste artigo, a SEI possuiu três momentos, sendo o primeiro deles uma atividade investigativa do tipo Questão Aberta, conforme descrito no Quadro 1. Para iniciar o momento, discutiu-se a resolução de algumas perguntas a respeito do som, como a natureza, a propagação, a produção e a velocidade. Durante os diálogos, foi perceptível o engajamento dos alunos para chegar a uma resposta correta (aceita cientificamente). É importante ressaltar que a professora (pesquisadora) mediou e interferiu, quando necessário, durante toda a discussão da turma, com o intuito de retirar algumas dúvidas. Após essa fase inicial, foram aplicadas as atividades experimentais descritas no tópico 3.2.

Dando continuidade, utilizou-se um *Datashow* para abordar, através de slides, os conteúdos sobre a Natureza do Som, a Propagação do Som emitido por um alto-falante, a Fonte Sonora, Receptor Sonoro, a Audição do Ser Humano e a Faixa de Frequência Sonora. Vale

ênfatar que, ao longo da aula, a pesquisadora conversava com os alunos para identificar se realmente estavam compreendendo o que estava sendo explanado. Após isso, partiu-se para a abordagem do Problema Central do 1º Momento: “O som precisa de um meio material para se propagar?” A maior parte dos alunos afirmaram que sim, mas para fundamentar sua resposta, foi realizada a atividade experimental que tratava da propagação do som em diferentes meios materiais. Antes de montar o experimento, foram feitas as seguintes perguntas: “1) O que ocorrerá com o som quando o relógio despertar embaixo da água? 2) O que acontecerá com o som quando o relógio despertar embaixo da terra?” Tais perguntas serviram para que os alunos construíssem hipóteses, e, sob o pedido da professora (pesquisadora), registraram as respostas individualmente em uma folha de papel. Seguem algumas respostas:

*“1) Vai emitir som, mas vai ser um som mais baixo. 2) Vai haver uma vibração na areia e acho que não vai dar para escutar.” (aluno J’); “1) A água vai vibrar. O som vai se propagar pelas moléculas da água. 2) A mesma coisa, porém, não conseguimos enxergar o movimento, nem ouvir. Pois, diferente da água, na terra as moléculas estão mais unidas.” (aluno P’); “1) O som vai se propagar com menos intensidade. 2) O som se propagará com ainda menos intensidade que a água.” (aluno X’); “1) O som ficará baixo, quase imperceptível. 2) Não dará para escutar nada” (aluno Y’).*

Diante dessas hipóteses, é notório que a afirmação dos alunos sobre o problema central proposto não estava fundamentada corretamente. Além disso, verificou-se também que eles possuíam concepções errôneas, como confundir altura com intensidade, velocidade de propagação com intensidade sonora e que o som não se propaga em meio sólido.

Deu-se prosseguimento com o experimento sobre a propagação do som em diferentes meios materiais. Três alunos participaram da execução da atividade experimental e, ao finalizá-la, informaram o que e como ouviram: “Dá para escutar sim, mas é mais baixo.” e “É mais baixo porque a velocidade do som é menor do que no ar.” Depois das respostas dos alunos, foi aberta uma discussão sobre elas. Ao finalizar o experimento, a pesquisadora apresentou e discutiu com a turma os diferentes meios nos quais o som pode se propagar e suas possíveis velocidades de propagação. Destacou também a importância da temperatura do meio relacionada com a velocidade.

Diante da análise das respostas registradas pelos alunos e do que foi relatado neste 1º momento, foi possível notar que grande parte dos alunos conseguiram compreender o assunto abordado, percebendo-se, porém, a presença de algumas concepções errôneas.

Para dar início ao segundo momento, que utilizou como atividade investigativa a Demonstração Investigativa, a professora fez a seguinte pergunta (problema central): “É possível que o som se propague com a inexistência de um meio material, ou seja, no vácuo?” Os alunos debateram entre si e com a professora, até chegarem à hipótese de que “o som não se propagava”. Para complementar a afirmação da turma, foi realizado um experimento na sala de aula sobre a inexistência da propagação do som no vácuo, em que a professora pediu a atenção de todos para analisar o som durante o bombeamento da bomba a vácuo. Ao término do experimento, os alunos perceberam que a intensidade do som havia reduzido e não cessado, pois ainda havia ar dentro do recipiente e, devido a isso, o som permaneceu se propagando. A

professora informou que “as melhores bombas de vácuo encontradas em laboratórios escolares não são capazes de produzir pressões inferiores a  $10^{-3}$  atm” (SILVA, 2011, p. 15), ou seja, nas condições em que a prática foi realizada, não havia como fazer um vácuo “perfeito”.

Já o momento três, no qual a Questão Aberta foi abordada como atividade investigativa, teve início com a apresentação em slides dos conteúdos de Intensidade, Velocidade de Propagação e Qualidades Fisiológicas do Som. Durante a abordagem do conteúdo, foi realizada a seguinte pergunta: “Em uma festa, quando você está próximo à fonte sonora, ouve o som bem forte e, quando se afasta, o som vai ficando cada vez mais fraco. Gostaria de saber se a velocidade de propagação muda em ambas situações”. Inicialmente, a turma ficou dividida na resposta, mas depois dos diálogos todos afirmaram que a propagação era a mesma.

Dando continuidade, foi proposto o problema central desse momento, ou seja, pediu-se aos alunos que discutissem sobre a seguinte afirmativa: “Abaxe esse som! Não sei como você consegue ouvir essa música nessa altura!?” Os alunos registraram suas hipóteses sobre a concordância ou não com a frase apresentada. Em seguida, a professora explicou sobre as Qualidades Fisiológicas do Som, começando pela Altura, fazendo analogias com o som grave e agudo e as ondas transversais. Foi realizada então a experiência “Visualizando a sua Voz” com dois alunos: um com a voz grave e outro com a voz aguda. Ao término da experiência, foi possível perceber que grande parte dos alunos haviam compreendido a relação do experimento com a altura do som, mas ainda foi identificado que alguns estavam confundindo o conceito de amplitude com frequência. Nesse momento, a professora explicou a diferença dessas características das ondas.

Ao trabalhar-se o limiar da audição humana e o limiar da dor, foi discutido sobre a saúde auditiva, pois a turma demonstrou curiosidade, já que a maioria dos alunos utilizavam fone de ouvido a maior parte do dia e um deles trabalhava consertando caixas acústicas de som e alegou que ficava várias horas do dia ouvindo sons muito intensos. Neste momento, a professora alertou que a exposição e o contato intenso com sons muito fortes poderiam levá-los a ouvir alguns ruídos, os quais são sinais de alerta para problemas futuros.

Depois das discussões de todo o conteúdo, foi entregue para os alunos uma atividade de registro acerca do 2º e 3º momento. Nesse 3º momento, foi possível identificar que os alunos conseguiram compreender e diferenciar as Qualidades Fisiológicas do Som, tanto através dos diálogos quanto por meio das análises das respostas da atividade de registro proposta. Destaca-se, porém, que alguns deles continuaram confundindo altura com intensidade.

### 4.3 Questionários (pré-teste e pós-teste)

Ao analisar as informações coletadas no pré-teste e pós-teste da turma controle (Turma A) e da turma experimental (Turma E), foram verificadas alterações nas concepções errôneas em ambas as turmas, em relação à Produção do Som, Propagação do Som e Qualidade do Som. Para tratar das superações dessas concepções errôneas, os resultados em percentual de acerto dos questionários das duas turmas serão apresentados e comparados, conforme a Tabela 3.

Tabela 3 – Pontuações (%) das turmas no pré-teste e pós-teste

Conteúdos	Questões	Pré-teste		Pós-teste		Variações (Pós – Pré)	
		Turma A (%)	Turma E (%)	Turma A (%)	Turma E (%)	Turma A (%)	Turma E (%)
Definição e produção do som (P1)	1	28,6	43,3	33,3	83,3	4,8	40,0
	2	33,3	30,0	66,7	73,3	33,3	43,3
	3	14,3	33,3	19,1	43,3	4,8	10,0
	4	19,1	10,0	9,5	53,3	-9,5	43,3
	5	14,3	13,3	14,3	73,9	0,0	60,6
Propagação do som (P2)	6	42,9	30,0	38,1	93,3	-4,8	63,3
	7	19,1	13,3	14,3	50,0	-4,8	36,7
	11	9,5	23,3	4,8	80,0	-4,8	56,7
	12	0,0	10,0	0,0	53,3	0,0	43,3
	16	28,6	43,3	57,1	80,0	28,6	36,7
Qualidades do som (P3)	8	4,8	16,7	9,5	23,3	4,8	6,7
	9	19,1	36,7	38,1	76,7	19,1	40,0
	10	61,9	60,0	81,0	80,0	19,1	20,0
	13	23,8	30,0	33,3	60,0	9,5	30,0
	14	57,1	40,0	57,1	60,0	0,0	20,0
Médias	P1	31,0	36,7	50,0	78,3	19,1	41,7
	P2	18,5	22,1	19,6	65,9	1,2	43,8
	P3	33,3	35,6	40,5	56,1	7,1	20,6
	Geral	25,6	29,2	31,0	64,0	5,4	34,8

Fonte: Dados da pesquisa. Elaborado pelos autores, 2018.

Analisando as porcentagens de acertos do primeiro grupo de questões (P1), percebeu-se que ambas as turmas tiveram um percentual de acerto maior no pós-teste do que no pré-teste, como pode ser observado pela variação positiva dos valores médios. Isso acarreta dizer que, possivelmente, alguns alunos superaram parte das concepções errôneas abordadas nas questões. Fica evidente, com os dados da Tabela 3, que a turma experimental pode ter superado bem mais suas concepções errôneas em relação à definição e produção do som do que a turma controle, pois obteve uma pontuação média mais que o dobro desta turma.

Em relação ao segundo grupo de questões (P2), verificou-se um pequeno ganho na pontuação da turma controle, sendo observado que, em metade das questões desse grupo, os alunos tiveram uma redução em suas pontuações no pós-teste, podendo indicar a permanência de suas concepções errôneas. Fato que não foi verificado com a turma experimental, pois ocorreu uma variação bastante acentuada em sua pontuação média, principalmente quando se compara com a turma controle, dando indícios de superação nas concepções errôneas em relação à propagação do som e revelando ainda um possível efeito da SEI proposta à turma experimental, diante do que fora apresentado nesses resultados.

No terceiro grupo de questões (P3), verificou-se um avanço positivo nas pontuações de ambas as turmas (com exceção da questão 15 para a turma controle). Porém, a Turma E obteve um percentual de acerto médio três vezes maior que a turma A. Destaca-se ainda que provavelmente a turma experimental pode ter superado melhor suas concepções errôneas em relação às qualidades do som do que a turma controle.

Faz-se ainda algumas observações, por exemplo, na questão 12 (para a Turma A), que foi considerada a mais difícil, já que não houve acerto, tanto no pré-teste quanto no pós-teste. Tal questão tratava sobre a dependência da velocidade do som no ar e citava como possíveis respostas a frequência, a intensidade, o timbre e a temperatura. Como a maioria dos alunos tinham a concepção de que a velocidade está interligada à intensidade, não conseguiram chegar na resposta correta que era a temperatura. Já as questões 5 e 14 permaneceram com o mesmo percentual de acerto; acredita-se que mesmo depois da aula do professor, não houve alterações nas concepções errôneas dos alunos.

Em relação à turma experimental, acrescentam-se observações para as questões 8 e 15, que referiam-se às qualidades do som e foram consideradas difíceis, pois apesar de possuírem mais acertos no pós-teste, apresentaram uma menor diferença no percentual de acerto. Pressupõe-se que a dificuldade em entender, por exemplo, a Altura Sonora, decorreu devido ao conceito de frequência, pois mesmo depois da pesquisadora fazer a analogia com a onda transversal, alguns alunos não conseguiam identificar a diferença entre a frequência e a amplitude da onda. Essa conduta pode ter ocorrido em razão da má compreensão do conteúdo introdutório de Ondas.

Depois das comparações e análises apresentadas, observou-se um melhor desempenho da turma experimental (ver Tabela 3). Infere-se que tal resultado pode ter sido ocasionado por causa da abordagem investigativa e também pelo uso de experimentos, pois de acordo com Moura *et al.* (2017, p. 183), esse tipo de atividade contém vários “aspectos fundamentais” para a aprendizagem, sendo alguns deles: “a capacidade de estimular a participação dos alunos, despertar sua curiosidade e propiciar a construção de um ambiente motivador e agradável”, proporcionando dessa forma, um conhecimento mais significativo do assunto estudado.

#### 4.4 Ganho Normalizado de Aprendizagem

Os resultados sobre os ganhos de aprendizagem das turmas em cada parte do questionário (P1: G\_A\_P1; P2: G\_A\_P2; P3: G\_A\_P3) e o ganho de aprendizagem total da turma (G\_A), serão mostradas na Tabela 04.

Tabela 4 – Valores dos ganhos de aprendizagem

Turmas	G_A_P1	G_A_P2	G_A_P3	G_A
Turma A (Controle)	0,28	0,01	0,11	0,11
Turma E (Experimental)	0,68	0,54	0,31	0,48

Fonte: Dados da pesquisa. Elaborado pelos autores, 2018.

Para interpretar os valores da Tabela 4, usou-se como referência as faixas de valores para o ganho normalizado, apresentadas na Tabela 1. Assim, nota-se que a Turma A obteve um ganho baixo de aprendizagem em todas as partes individuais do questionário, bem como no questionário como um todo. Isso pode indicar a permanência de concepções errôneas nessa turma.

A Turma E teve um ganho médio de aprendizagem em todo o questionário. Com tais resultados, pode-se dizer que nesta turma ocorreu uma provável superação de grande parte das concepções errôneas dos alunos. A justificativa para este resultado aponta o fato da Turma E ter recebido um tratamento diferente, ou seja, ter sido submetida à SEI proposta.

## 4.5 Tamanho do efeito

Na busca de evidências sobre o quanto a SEI impactou os resultados de aprendizagem, assim como as concepções errôneas dos alunos, apresentam-se agora os resultados em relação ao  $d$  de Cohen, do  $g$  de Hedges e do TDE-LC.

Tabela 5 – Valores do  $d$  de Cohen,  $g$  de Hedges e TDE-LC

Grupos	Testes		Métricas				
	Pré-teste	Pós-teste	$\Delta$ (variação)	$d_{\text{Cohen}}$	$d_{\text{Cohen}}^*$	$g_{\text{Hedges}}$	TDE-LC
Controle	25,60	30,95					
(DP)	(12,01)	(13,90)	5,35	0,41			
(N)	(21)	(21)					
Experimental	29,17	63,96			1,98	1,94	92,4%
(DP)	(14,34)	(18,40)	34,79	2,12			
(N)	(30)	(30)					

Fonte: Dados da pesquisa. Elaborado pelos autores, 2018.

Conforme pode ser observado na Tabela 5, nas duas turmas ocorreu uma melhora na média das pontuações nos testes, sendo que na turma controle tal aumento foi menor ( $\Delta = 5,35$ ), fato que refletiu no tamanho do efeito insignificante nessa turma ( $d_{\text{Cohen}} = 0,41$ ). Isso indica que a metodologia a qual esse grupo foi submetido praticamente não interferiu na aprendizagem dos alunos em relação aos conteúdos abordados, levando-os assim, a permanecerem com suas concepções errôneas. Algo diferente foi verificado na turma experimental, que apresentou uma melhora significativa na pontuação do teste ( $\Delta = 34,79$ ), sendo refletida no tamanho do efeito muito grande ( $d_{\text{Cohen}} = 2,12$ ). Isso aponta para uma contribuição significativa da SEI proposta na

aprendizagem dos alunos, influenciando os discentes, de forma mais incisiva, a superarem suas concepções errôneas.

Nota-se ainda na Tabela 5, o comparativo dos tamanhos de efeito de uma turma em relação à outra ( $d_{\text{Cohen}^*}$  e  $g_{\text{Hedges}}$ ), obtendo-se, respectivamente, os valores de 1,98 e 1,94. Tais resultados implicam um efeito muito grande da SEI em detrimento da metodologia tradicional recebida pela turma controle. Complementa-se tal inferência quando se observa o valor do TDE-LC entre as duas turmas (92,4%), o que indica que a probabilidade de um aluno escolhido ao acaso da turma experimental ter pontuação superior a um da turma controle é de 92,4%, um valor bastante considerável.

## 5. Considerações finais

Conforme mostrado e discutido na seção anterior, verificou-se que as duas turmas possuíam concepções errôneas sobre o Som e que tais concepções já haviam sido relatadas na literatura. Algumas dessas concepções podem ter sido superadas pela turma controle, devido ao baixo ganho de aprendizagem obtido. Porém, os resultados mostram evidências mais significativas dessa superação na turma experimental, pois esta obteve ganho médio de aprendizagem (de acordo com a métrica utilizada). Outro fator que reforça esta ideia foi o cálculo do tamanho de efeito em ambas as turmas, mostrando nitidamente que a SEI proposta resultou em um efeito muito grande na aprendizagem dos alunos. Tal resultado é refletido também quando se observa o valor do TDE-LC obtido, ecoando a grande probabilidade de um melhor desempenho dos alunos da turma experimental.

Portanto, vale ressaltar que o objetivo proposto foi atingido, tendo em vista que, devido à aplicação da SEI, os alunos da turma E participaram dialogando com os colegas, fazendo perguntas e resolvendo os problemas propostos, o que pode ter auxiliado para a superação de suas concepções errôneas. Tal fator relaciona-se com o uso de atividades investigativas, as quais fazem com que os alunos participem ativamente das aulas, deixando de ser passivos, para ser um aluno crítico/participativo (BEMFEITO; VIANNA, 2009).

Por fim, sugere-se que sejam desenvolvidas e aplicadas outras pesquisas utilizando as atividades investigativas, não somente com o tema aqui abordado, mas também com outros conteúdos, uma vez que, ao analisar os resultados de pesquisas dessa natureza, é nítida a evolução da aprendizagem dos alunos submetidos a esse tipo de abordagem.

## 6. Referências

- AFONSO, A. S.; LEITE, L. O som e a audição uma área que faz “vibrar” os professores? **Revista Gazeta de Física**, v. 22, n. 4, p. 10-16, 1999.
- ANDRADE, M. L. F.; MASSABNI, V. G. O desenvolvimento de atividades práticas na escola: um desafio para os professores de ciências. **Ciência & Educação**, v. 17, n. 4, p. 835-854, 2011.
- AVILES, I. E. C.; GALEMBECK, E. Que é aprendizagem? Como ela acontece? Como facilitá-la? Um olhar das teorias de aprendizagem significativa de David Ausubel e aprendizagem multimídia de Richard Mayer. **Aprendizagem Significativa em Revista**, v. 7, n. 3, p. 01-19, 2017.

AZEVEDO, M. C. P. S. Ensino por investigação: problematizando as atividades em sala de aula. In: CARVALHO, Anna Maria Pessoa de (Org.). **Ensino de ciências: unindo a pesquisa e a prática**. São Paulo: Thomson, 2004. Cap. 2, p. 19-33.

BELLUCCO, A.; CARVALHO, A. M. P. Uma proposta de sequência de ensino investigativa sobre quantidade de movimento, sua conservação e as leis de Newton. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**. v. 31, n. 1, p. 30-59, 2014.

BEMFEITO, A. P.; VIANNA, D. M. Investigações sobre ondas de rádio no ensino médio. In: SIMPÓSIO NACIONAL DO ENSINO DE FÍSICA, 18, 2009, Vitória, **Anais...: SNEF**, 2009. p. 1-10.

CARVALHO, A. M. P. O ensino de Ciências e a proposição de sequências de ensino investigativas. In: CARVALHO, Anna Maria Pessoa de (Org.). **Ensino de Ciências por investigação: condições para implementação em sala de aula**. São Paulo: Cengage Learning, 2013. Cap. 1, p. 1-20.

CIÊNSAÇÃO. Sinta a sua voz. Ciênsação experimentos, s.d. Disponível em: <[https://ciensacao.org/experimento\\_mao\\_na\\_massa/e5095pb\\_feelVoice.html](https://ciensacao.org/experimento_mao_na_massa/e5095pb_feelVoice.html)>. Acesso em: 14 Mar. 2022.

COHEN, J. **Statistical power analysis for the behavioral sciences**. Nova York: Lawrence Erlbaum Associates, 1988.

CORREIA, D.; BOLFE, M. A.; SAUERWEIN, I. P. S. O estudo das ondas sonoras por meio de uma atividade didática envolvendo leitura de um texto de divulgação científica. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**. v. 33, n. 2, p. 556-578, 2016.

COSTA, J. F.; RENGEL, E.; CAMARGO, S.; GIOPPO, C. O Celular e o Ensino de Ondas na Escola: Uma Proposta Preliminar, In: CONGRESSO INTERNACIONAL TIC E EDUCAÇÃO, 2, 2012, Lisboa, **Anais...** Lisboa: ticEDUCA, s.d. p. 3420-3437.

CRESWELL, J. W. **Projeto de pesquisa métodos qualitativo, quantitativo e misto**. 2ª edição, Porto Alegre: Artmed, 2007.

ERROBIDART *et al.* Ouvido mecânico: um dispositivo experimental para o estudo da propagação e transmissão de uma onda sonora. **Revista Brasileira do Ensino de Física**, v. 36, n. 1, p. 1507-1 - 1507-6, 2014.

ESPÍRITO-SANTO, H.; DANIEL, F. Calculating and reporting effect sizes on scientific papers:  $p < 0.05$  limitations in the analysis of mean differences of two groups. **Portuguese Journal of Behavioral and Social Research**, v. 1, n. 1, p. 3–16, 2015.

FARDILHA, A. Experiências com o som. Pequenos Cientistas joanenses, 2015. Disponível em: <<https://pequenoscientistassanjoanenses.wordpress.com/2015/06/14/experiencias-com-o-som/>>. Acesso em: 14 mar. 2022.

FEITOSA *et al.* Uma sequência didática utilizando a literatura de cordel e a arte das histórias em quadrinhos para inserção de tópicos de Física Quântica no Ensino Médio. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**. v. 37, n. 2, p. 662-694, 2020.

FILHO, B. B.; SILVA, C. X. **Física aula por aula**. 3ª ed. Vol. 2. São Paulo: FTD, 2016.

GUIMARÃES, O.; PIQUEIRA, J. R.; CARRON, W. **Física: física térmica, ondas, óptica**. 2ª ed. Vol. 2. São Paulo: Ática, 2017.

HAKE, R. R. Interactive-engagement versus traditional methods: A six-thousand-student survey of mechanics test data for introductory physics courses. **American Journal of Physics**, v. 66, n. 1, p. 64-74, 1998.

JARDIM, M. I. A.; ERROBIDART, N. C. G.; GOBARA, S. T. Levantamento dos trabalhos em ensino de física que investigaram ondas sonoras. In: ENCONTRO DE PESQUISA EM ENSINO DE FÍSICA, 11, 2008, Curitiba, **Anais eletrônicos...** Curitiba: EPEF, 2008.

LEITE, L.; AFONSO, A. S. Natureza e propagação do som: Concepções de alunos dos ensinos básicos, secundários e superior. In: LOSADA, C. M.; BARROS, S. G. **As Didáticas das Ciências: Tendências Atuais**. Coruña: Universidade Coruña, 1999. p. 345-358.

MCGRAW, K. O.; WONG, S. P. A common language effect size statistic. **Psychological Bulletin**, v. 111, n. 2, p. 361-365, 1992.

MEIRINHOS, M.; OSÓRIO, A. O estudo de caso como estratégia de investigação em educação, **EDUSER: revista de educação**, Vol. 2, n.2, p. 49-65, 2010.

MORAES, J. U. P.; SILVA JUNIOR, R. S. Experimentos didáticos no ensino de Física com foco na aprendizagem significativa. **Aprendizagem Significativa em Revista**, v. 4(3), p. 61-67, 2014.

MOREIRA, M. A. **Metodologias de pesquisa**. 1ª edição. São Paulo: Livraria de Física, 2011.

MOURA *et al.* Visualize a sua voz: uma proposta para o ensino de ondas sonoras. **Revista de Ensino de Ciências e Matemática**. v.8, n.1, p.182-200, 2017.

PIUBELLI *et al.* Simulador de propagação de ondas mecânicas em meios sólidos para o ensino de física. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 32, n.1, p. 1501-1–1501-6, 2010.

RAMOS, R. A.; PARISOTTO, C. O ensino por investigação e a argumentação na promoção da alfabetização científica no ensino de ciências. **Ensino de Ciências e Tecnologia em Revista – ENCITEC**, v. 12, n. 3, p. 05-20, 8 dez. 2022.

ROSA, C. T. W.; ROSA, Á. B. Aulas experimentais na perspectiva construtivista: proposta de organização do roteiro para aulas de Física. **Física na Escola**, v. 13, n. 1, p. 4-7, 2015.

SAAB, S. C.; CÁSSARO, F. A. M.; BRINATTI, A. M. Laboratório caseiro: tubo de ensaio adaptado como tubo de Kundt para medir a velocidade no ar. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 22, n. 1, p. 112-120, 2005.

SÉRÉ, M.-G.; COELHO, S. M.; NUNES, A. D. O papel da experimentação no ensino da Física. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 20, n. 1, p. 30-42, 2003.

SILVA, S. T. Propagação do Som: conceitos e experimentos. 2011, 86p. **Dissertação** (Mestrado em Ensino de Física) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2011.

SILVA, S. T.; AGUIAR, C. E. Propagação do som: conceito e experimentos. In: SIMPÓSIO NACIONAL DO ENSINO DE FÍSICA, 19, Manaus, 2011. **Anais**. Manaus: SNEF, 2011. p. 1-11.

SILVEIRA, F. A.; VASCONCELOS, A. K. P.; SAMPAIO, C. G. Experimentação investigativa no tópico chuva ácida: estratégia de ensino na formação inicial docente consoante o contexto da aprendizagem significativa. **Ensino de Ciências e Tecnologia em Revista – ENCITEC**, v. 12, n. 1, p. 119-136, 29 mar. 2022.

SOARES, M. T. M. Aprendizagem da Acústica no Ensino Básico: uma pesquisa epistemológica e psicologicamente fundamentada. 2007. 672p. **Tese de Doutorado**- Universidade Aberta, Lisboa, 2007.

ZÔMPERO, A. F.; LABURÚ, C. E. Atividades investigativas no ensino de ciências: aspectos históricos e diferentes abordagens. **Revista Ensaio**, v. 13, n. 03, p. 67-80, 2011.