

Determinação da Velocidade do Som em aulas de Física sob uma perspectiva investigativa e com uso de Tablets

Determining Sound Speed in Physics classes from an investigative perspective and using Tablets

Determinación de la Velocidad del Sonido en las clases de Física desde una perspectiva investigativa y usando Tablets

Anaximandro Dalri Merizio (anaximandro.merizio@ifsc.edu.br)
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina – IFSC

Luiz Clement (luiz.clement@udesc.br)
Universidade do Estado de Santa Catarina – UDESC

Resumo: No presente artigo, apresentamos os resultados de uma intervenção didático-pedagógica em que foi implementada uma Ação de Ensino Investigativa – AEI, em aulas de física do Ensino Médio. A AEI foi estruturada e desenvolvida com base em uma perspectiva de Ensino por Investigação e visou a determinação da velocidade de propagação do som no ar, por meio do uso de tubos sonoros e tablets. Para a implementação no ambiente educacional, utilizamos a perspectiva investigativa proposta por García e García (2000). Além disso, com a Escala de Medida de Interesse e Suportes a Autonomia – EMISA (CLEMENT, 2013) analisamos de que forma a AEI despertou o interesse dos estudantes e possibilitou o desenvolvimento de suportes à autonomia dos mesmos. Os resultados obtidos reforçam a viabilidade didático-pedagógica inerente à perspectiva investigativa adotada, bem como para o uso das Tecnologias Móveis, no Ensino de Física.

Palavras-chave: Ensino por Investigação; Tecnologias Móveis; Ensino de Física; Ondas sonoras.

Abstract: In this article, we present the results of a didactic-pedagogical intervention in which an Investigative Teaching Action - AEI was implemented in high school physics classes. The AEI was structured and developed based on an Inquiry-based Teaching perspective and aimed to determine the speed of sound propagation in the air, through the use of sound tubes and tablets. For implementation in the educational environment, we use an investigative perspective proposed by García and García (2000). In addition, with the Measure of Interest and Support for Autonomy Scale - EMISA (CLEMENT, 2013) we analyzed how the AEI highlighted the interest of students and enabled the development of supports for their autonomy. The results obtained reinforce the didactic-

Recebido em: 03/07/2021

Aceite em: 06/10/2021

1

pedagogical viability inherent to the investigative perspective adopted, as well as the use of Mobile Technologies, in the Physics Teaching.

Keywords: Inquiry-based Teaching; Mobile Technologies; Physics Teaching; Sound waves.

Resumen: En este artículo presentamos los resultados de una intervención didáctico-pedagógica en la que se implementó una Acción Docente Investigativa - AEI en las clases de física de secundaria. El AEI se estructuró y desarrolló en base a una perspectiva de Enseñanza por Investigación y tuvo como objetivo determinar la velocidad de propagación del sonido en el aire, mediante el uso de tubos y tablets de sonido. Para su implementación en el ámbito educativo se utilizó la perspectiva investigativa propuesta por García y García (2000). Además, con la Escala de Medida de Interés y Apoyo a la Autonomía - EMISA (CLEMENT, 2013) analizamos cómo la AEI despertó el interés de los estudiantes y permitió el desarrollo de apoyos para su autonomía. Los resultados obtenidos refuerzan la viabilidad didáctico-pedagógica inherente a la perspectiva investigativa adoptada, así como para el uso de Tecnologías Móviles, en la Enseñanza de la Física.

Palabras-clave: Enseñanza por Investigación; Tecnologías móviles; Enseñanza de la física; Ondas sonoras.

INTRODUÇÃO

A velocidade de propagação do som no ar é uma grandeza física que aparece frequentemente em aulas de Física que abordam as ondas sonoras. Entretanto, raramente apresenta-se aos estudantes possibilidades para a mensuração dessa grandeza física em sala de aula. Uma possibilidade para a obtenção da velocidade de propagação das ondas sonoras no ar é a utilização de tubos sonoros. No interior dos tubos sonoros, existe a formação de ondas estacionárias, estabelecendo-se nós e ventres, de deslocamento e de pressão.

Na extremidade aberta, o ventre de deslocamento e o nó de pressão localizam-se em um local fora do tubo, a uma distância de $0,61 R$, em que R é o raio da seção transversal do tubo, da extremidade do tubo (HIRTH; KUHN; MÜLLER, 2015). De acordo com Hirth, Kuhn Müller (2015), a frequência fundamental fornecida por um tubo com uma extremidade aberta e outra fechada é calculada pela equação

$$f = \frac{c}{4(L + a)},$$

em que c é a velocidade de propagação do som no ar, L é o comprimento geométrico do tubo e $a = 0,61R$.

Em aulas de Física no Ensino Médio, a equação

Recebido em: 03/07/2021

Aceite em: 06/10/2021

comumente apresentada para a frequência fundamental é $f = \frac{V}{4L}$, desconsiderando-se, assim, a formação do ventre do deslocamento além da extremidade do tubo.

A determinação do comprimento do tubo sonoro, bem como o raio da secção transversal podem ser facilmente obtidos por instrumentos de medidas que estão à disposição do estudante. No caso da frequência, podem-se utilizar Tecnologias Móveis, como tablets e/ou smartphones, para a mensuração dessa grandeza física. Nesse sentido, para além do uso das Tecnologias Móveis, possíveis em distintos cenários no Ensino de Física, é oportuna a articulação com uma perspectiva de ensino-aprendizagem que oportunize e fomente a promoção da autonomia, bem como a apropriação conceitual do estudante, em aulas de física. Para isso, buscamos aporte teórico e metodológico no Ensino por Investigação.

Haja vista os aspectos apontados encaminhou-se uma pesquisa focada no desenvolvimento de ações educativas pautadas no Ensino por Investigação e voltadas para aulas de física do Ensino Médio. Neste artigo, em particular, visamos apresentar resultados da implementação de uma Ação de Ensino Investigativa – AEI, com o objetivo de mensurar a velocidade de propagação das ondas sonoras no ar utilizando Tecnologias Móveis, especificamente os tablets. Em torno desta intervenção didático-pedagógica analisamos e retratamos, neste artigo, evidências e aspectos relacionados à AEI para a promoção do interesse e dos suportes à autonomia dos estudantes.

1. ENSINO POR INVESTIGAÇÃO: POSSIBILIDADE DE ESTRUTURAÇÃO DE AÇÕES EDUCATIVAS

Existe uma multiplicidade de termos e de abordagens relacionadas com o Ensino por Investigação, conforme destaca Zompero e Laburú (2016). Entretanto, mesmo com essa polissemia do termo identificam-se, nas produções científicas da área, aspectos que convergem; em especial, sobre as potencialidades pedagógicas do Ensino por Investigação na educação em ciências. Os problemas ou situações-problemas adquirem um papel fundamental no Ensino por Investigação (AZEVEDO, 2009; CARVALHO, 2016; CLEMENT, 2013; GARCÍA; GARCÍA, 2000; NRC, 2008; ZOMPERO;

Recebido em: 03/07/2021

Aceite em: 06/10/2021

LABURÚ, 2016). Afora isso, esta perspectiva de ensino possibilita que sejam promovidas aprendizagens de Ciências e sobre Ciências, bem como, proporciona a participação ativa dos estudantes no processo de ensino-aprendizagem (CLEMENT, 2013; CLEMENT; CUSTÓDIO; ALVES FILHO, 2015).

Estes aspectos são fruto de uma visão mais recente em torno do Ensino por Investigação, isto é, após a segunda reformulação curricular norte-americana (nas décadas de 1980 e 1990), posterior aos vários e importantes estudos realizados na Espanha na década de 1990 (BALLENILLA, 1999; CAÑAL et al., 1997; FLOR, 1996; GARCÍA; GARCÍA, 2000; entre outros) e, nacionalmente, produções desenvolvidas posteriormente na e em torno da década de 2000 – induzidas pela produção internacional sobre o tema e pelas demandas constantes na legislação educacional à época (especialmente nos parâmetros curriculares nacionais).

Assim sendo, o Ensino por Investigação passou a ser utilizado para estruturar ações educativas em distintos níveis e modalidades escolares; desde um contexto de educação pré-escolar, conforme exemplifica Varela (2020) até o cenário da educação não formal. Nesse âmbito da educação não formal, Barbosa et al (2021) descrevem e analisam uma atividade experimental investigativa desenvolvida em um Clube de Ciências e apresentam resultados que sustentam uma possibilidade da utilização do Ensino por Investigação também nesses espaços.

Cientes deste contexto favorável e promissor do Ensino por Investigação, buscamos aporte, para estruturar e desenvolver nossa pesquisa, em uma concepção de Ensino por Investigação alinhada às premissas teórico-metodológicas recentes. Assim sendo, optamos pela concepção de Ensino por Investigação apontada por García e García (2000) e Clement (2013). Nesta vertente os três elementos centrais do Ensino por Investigação - papel central das situações-problemas, a participação ativa do estudante na investigação para a resolução dessas situações e a aprendizagem da Ciência e sobre a construção da Ciência – são base do processo educativo a ser conduzido.

Além disso, considerando a perspectiva de ensino adotada, objetiva-se que o estudante esteja imerso em contextos desafiadores e promotores de interesse, curiosidade e factíveis de encaminhar investigações que o conduzam à construção de conhecimento. Isso guarda, respeitadas as devidas e evidentes diferenças de propósitos,

Recebido em: 03/07/2021

Aceite em: 06/10/2021

relações epistêmicas com o processo de construção de conhecimento científico, em especial, no que tange ao desenvolvimento de investigações para a resolução de determinada situação-problema e da relação estabelecida entre o sujeito e o objeto do conhecimento.

Nessa perspectiva, o estudante, ao deparar-se com determinada situação-problema, tem a oportunidade de ampliar o seu protagonismo no processo de ensino-aprendizagem, por meio da emissão de hipóteses, do desenvolvimento e do estabelecimento de um processo investigativo que lhe permita analisar as suas hipóteses, tendo como referências as informações obtidas antes e durante a investigação e, também, comunicar os resultados obtidos, ampliando o seu grau de autoria nesse processo. Favorece-se, a partir dessa perspectiva investigativa, o desenvolvimento de competências, da motivação autônoma e do interesse dos estudantes (CLEMENT, 2013).

Portanto, para a elaboração e desenvolvimento das Ações de Ensino Investigativas (AEI), focadas numa temática sobre ondas sonoras, presentes em nossa pesquisa, buscamos a referência metodológica proposta por García e García (2000). Para a implementação no contexto educacional, as AEI foram planejadas e implementadas considerando os momentos propostos por estes autores. A escolha deste referencial se deve, para além da perspectiva de Ensino por Investigação que assume e retrata, por já ter sido adotada em outros estudos correlatos. Por exemplo, os momentos propostos por García e García (2000) já foram utilizados por Clement (2013), para o desenvolvimento de atividades investigativas envolvendo assuntos de magnetismo, eletricidade e eletromagnetismo – alcançando resultados que indicam consistência quanto ao uso dessa perspectiva para estruturação e desenvolvimento das ações de ensino em aulas de física na educação básica.

Na metodologia investigativa, proposta por García e García (2000), o desenvolvimento das atividades investigativas estrutura-se em torno de três momentos, quais sejam:

- *a pesquisa, o estabelecimento e a elaboração da situação-problema.*

Recebido em: 03/07/2021

Aceite em: 06/10/2021

5

Para os autores (GARCÍA; GARCÍA, 2000), a situação-problema deve ser interessante e curiosa para os estudantes, possibilitando assim a sua apropriação; deve permitir a construção de novos conhecimentos pelos estudantes; e com a utilização das situações-problemas podem ser explicitados e analisados os conhecimentos que os estudantes possuem.

- *o processo de resolução da situação-problema, que ocorre na interação entre os conhecimentos que os estudantes já possuem e aqueles obtidos na investigação.*

Esse momento envolve a explicitação das concepções dos estudantes, evidenciadas por meio das hipóteses emitidas, a elaboração de um procedimento metodológico para o processo de investigação e a análise das hipóteses dos estudantes considerando os resultados obtidos na resolução da situação-problema.

- *a análise do processo realizado, o estabelecimento das conclusões e a divulgação dos resultados obtidos na investigação.*

Esse momento relaciona-se com o processo de reflexão do estudante sobre a sua aprendizagem, a comunicação das conclusões da investigação, bem como a mobilização dos conhecimentos oriundos da investigação. Ressaltamos a existência de inúmeras estratégias didáticas que podem ser adotadas nesse momento como, por exemplo: a apresentação dos resultados individualmente ou em equipes; a elaboração e publicação de um registro escrito do processo investigativo; a sistematização dos resultados obtidos utilizando tabelas, gráficos e equações; a resolução de outras situações-problemas relacionadas com a temática investigada; a resolução de questões conceituais ou numéricas sobre a investigação.

Para o desenvolvimento de AEI diferentes recursos didático-pedagógicos podem ser incorporados, contribuindo para que o propósito de cada ação educativa seja atingido. Dentre os diferentes recursos disponíveis, para o estudo das ondas sonoras, para além dos livros didáticos, recursos vídeo e audiovisuais, lousa, as Tecnologias Móveis se mostram como potencialmente importantes.

2. AS TECNOLOGIAS MÓVEIS: RECURSOS PARA PROCESSOS EDUCATIVOS

Recebido em: 03/07/2021

Aceite em: 06/10/2021

As Tecnologias Móveis, especificamente os Tablets e Smartphones, encontram-se cada vez mais inseridos no cotidiano de uma grande parcela dos estudantes, devido ao seu custo cada vez mais acessível e por tomarem o espaço antes ocupado pelos computadores de mesa. Esses dispositivos permitem, por meio de determinados aplicativos, o acesso à internet, a realização de videoconferências, o compartilhamento de mensagens. Enfim, são muitas as funcionalidades desses dispositivos.

Para além dessas potencialidades, considerando o ensino de Física, destaca-se a existência de sensores que permitem a mensuração de grandezas físicas (GUEDES, 2015; KUHN; VOGT, 2013; VIEIRA, 2013; VIEIRA; LARA; AMARAL, 2014) como, por exemplo, a frequência emitida por instrumento musical, a intensidade luminosa, a intensidade do campo magnético e a aceleração. Além da utilização como sensores, esses dispositivos podem configurar-se como uma fonte luminosa e/ou uma fonte sonora em que é possível definir a frequência emitida.

No contexto das ondas sonoras, essas tecnologias permitem o desenvolvimento de vários experimentos como, por exemplo, a determinação da velocidade do som no ar (KASPER; VOGT; STROHMEYER, 2015), uma versão do experimento conhecido como tubo de Kundt (PAROLIN; PEZZI, 2015), a visualização da variação de pressão e do deslocamento de ar no interior de um tubo sonoro (VIEIRA; AMARAL; LARA, 2014), o efeito Doppler (FERNANDES et al, 2016), a determinação da velocidade do som utilizando tubos sonoros com uma ou duas extremidades abertas (HIRTH; KUHN; MÜLLER, 2015). Esses resultados apontam para a viabilidade da utilização das Tecnologias Móveis na realização de experimentos de Física.

Além disso, consideramos importante o planejamento para que esses recursos didáticos se articulem com metodologias que permitam a ampliação do protagonismo dos estudantes. Assim, não basta compreender que é possível realizar experimentos físicos com as Tecnologias Móveis, mas também pesquisar como potencializar a implementação didática desses recursos, favorecendo assim a aprendizagem dos estudantes.

Com vistas a isso, desenvolveu-se uma Ação de Ensino Investigativa – AEI, em que procuramos articular o Ensino por Investigação com o uso das Tecnologias Móveis,

Recebido em: 03/07/2021

Aceite em: 06/10/2021

7

que configuraram-se como um recurso didático para o ensino de Física, no contexto das ondas sonoras.

3. CONTEXTO DA INTERVENÇÃO DIDÁTICO PEDAGÓGICA E A COLETA DE DADOS

A Ação de Ensino Investigativa – AEI, foco da análise deste artigo, foi elaborada considerando os aportes teórico-metodológicos de García e García (2000) e Clement (2013) e faz parte de um conjunto de cinco AEI que foram desenvolvidas e implementadas em ambiente escolar, sendo que essa foi a segunda AEI implementada, deste conjunto.

A implementação ocorreu em uma escola de educação básica, com estudantes do terceiro ano do ensino médio. No período anterior à implementação, os estudantes foram convidados para participarem, em horário extraclasse (16h45min às 18h15min) e de maneira voluntária, das atividades. Nas aulas regulares de física os estudantes utilizavam material apostilado e, conforme relatado pelos estudantes no decorrer das atividades, o assunto ondas sonoras já havia sido abordado nas aulas de Física. A instituição disponibilizou o Laboratório de física, em que havia bancadas para o desenvolvimento de experimentos e a atividade foi realizada em uma terça-feira. Nove estudantes participaram da atividade. O desenvolvimento das atividades foi conduzido pelo primeiro autor desse artigo e ressaltamos que os autores não tinham vínculo profissional com a instituição.

Como instrumentos de coleta de dados para analisar a implementação dessa AEI, foram utilizados: as produções elaboradas pelos estudantes no decorrer da investigação; o registro dessa AEI por meio da gravação em áudio e vídeo; um diário de bordo docente; a Escala de Medida de Interesse e Suportes a Autonomia (EMISA). Com esse conjunto de instrumentos, foi possível a coleta de dados que permitiu realizar uma descrição e análise consistente da intervenção didático-pedagógica, visando estudar e analisar possíveis correlações entre a perspectiva de ensino-aprendizagem adotada e a promoção do interesse dos estudantes pela atividade e da sua autonomia no processo de construção de conhecimento.

Recebido em: 03/07/2021

Aceite em: 06/10/2021

4. DESCRIÇÃO DA IMPLEMENTAÇÃO DA AEI

Para a descrição da AEI implementada, utilizaremos os momentos propostos por García e García (2000), que foram base para a estruturação e desenvolvimento da ação educativa. Salientamos que nesta descrição apresentam-se os aspectos que julgamos centrais para que o leitor entenda o transcorrer das aulas e dos propósitos inerentes à AEI.

Elaboramos, antes da implementação, algumas problematizações que poderiam ser utilizadas pelo docente para auxiliar a investigação realizada pelos estudantes. O objetivo dessas perguntas não era limitar a investigação, entretanto, como era apenas o segundo contato dos estudantes com essa perspectiva, essas perguntas almejaram ampliar, caso fossem utilizadas, o diálogo no interior das equipes.

As problematizações elaboradas foram: Como são denominadas as ondas formadas no interior dos tubos sonoros? Quais as características dessas ondas?; Existem tubos sonoros distintos daqueles que cada equipe tem à disposição? Em caso afirmativo, por que eles são distintos?; Existe alguma relação entre a frequência da onda sonora emitida pelo tubo sonoro, o comprimento do tubo e a velocidade de propagação do som no ar?; Quais medidas são necessárias? Como realizar essas medidas?; Do que depende a velocidade de propagação das ondas sonoras no ar?; Como determina-se o erro percentual?

4.1 A pesquisa, o estabelecimento e a elaboração da situação-problema

O docente solicitou aos estudantes que se organizassem em equipes, sendo que foi obtido um quarteto, um trio e uma dupla, e cada equipe utilizou uma bancada do Laboratório. Na descrição da AEI, utilizaremos a nomenclatura E1, E2 e E3 para cada equipe. Foi entregue para cada estudante uma folha impressa com a situação-problema e, ao término da entrega das folhas, o docente criou um cenário contextual para a apresentação da situação-problema e das orientações existentes na folha. A situação-problema apresentada era: *“Qual a velocidade de propagação das ondas sonoras no ar? Para determinação dessa velocidade, utilize os tubos sonoros disponíveis.”*

Recebido em: 03/07/2021

Aceite em: 06/10/2021

As orientações eram as seguintes:

Estabeleça uma estratégia, em conjunto com os seus colegas, para a resolução da situação-problema.

Se necessário, consultem o professor sobre a estratégia desenvolvida.

Execute a estratégia considerada adequada.

Registre a estratégia utilizada e o resultado obtido.

Compare o valor obtido com o valor tabelado. Qual o erro percentual obtido?

Sobre a mesa do docente, havia flautas/tubos sonoros, réguas, livros didáticos e tablets, sendo que o docente não entregou esses materiais para as equipes, pois poderiam utilizar os recursos que considerassem necessários. Algumas flautas/tubos sonoros utilizados são evidenciados na Figura 1. Esses tubos sonoros também são conhecidos como “flauta de pão” ou “flauta pan”. Nesse contexto, estudantes das três equipes foram até a mesa e selecionaram os materiais que consideravam importantes ao desenvolvimento da investigação. O docente sugeriu aos estudantes que poderiam utilizar os livros que estavam sobre a mesa. Eram livros distintos, mas o assunto relacionado com a investigação estava presente em todos eles.



Fonte: Acervo dos autores, 2020.

Figura 1 – Algumas flautas utilizadas

Recebido em: 03/07/2021

Aceite em: 06/10/2021

Foi perceptível o envolvimento dos estudantes no processo investigativo, sendo que havia o debate sobre os conceitos para a resolução da situação-problema, bem como os livros didáticos eram bastante utilizados para consulta. A ação docente foi de questionar/orientar, considerando a apropriação da situação-problema. Ao questionar sobre qual o tipo de onda existente no interior dos tubos sonoros, recebeu como resposta, do estudante A9, participante da equipe E1, que havia ondas estacionárias. Destacamos que, de acordo com os estudantes, o assunto Ondas Estacionárias já havia sido abordado nas aulas regulares de Física.

Em uma AEI anterior à essa, os estudantes já haviam identificado a relação entre o comprimento do tubo e a frequência emitida, que eram grandezas inversamente proporcionais. O objetivo nessa AEI era distinto e, para a elaboração das hipóteses, os estudantes utilizaram os conhecimentos oriundos da pesquisa nos livros e/ou os conhecimentos oriundos da AEI anterior e/ou das aulas regulares de Física. Todas as equipes identificaram corretamente a existência de ondas estacionárias no interior do tubo e a relação entre o harmônico estabelecido e o comprimento de tubo, e que para a obtenção da velocidade de propagação era necessário multiplicar o comprimento de onda pela frequência. Essas hipóteses iniciais, embora idênticas, resultaram em diferentes estratégias de resolução, conforme explicaremos adiante.

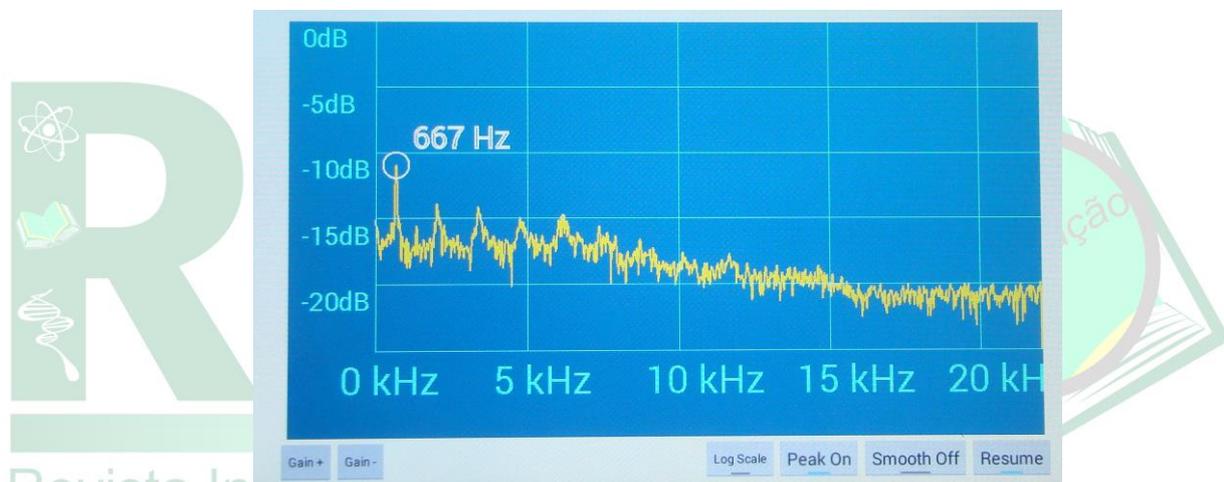
4.2 Resolução da situação-problema

Para a resolução da situação-problema, foram desenvolvidas duas estratégias distintas. No decorrer da investigação, as equipes E1 e E2 identificaram que no harmônico fundamental, o comprimento do tubo equivale a um quarto do comprimento de onda. Assim, era necessária a mensuração do comprimento do tubo sonoro e da frequência. O comprimento do tubo foi obtido por meio das régua fornecidas pelo docente. Destacamos que todas as equipes apontaram para a necessidade da utilização do tablet para a mensuração da frequência, sendo que foi utilizado o aplicativo *Spectral Audio* para essa demanda.

Na AEI anterior, os estudantes utilizaram os mesmo tubos sonoros na resolução de outra situação-problema e também houve a necessidade da mensuração da frequência

Recebido em: 03/07/2021
Aceite em: 06/10/2021

emitida pelo tubo, sendo que eles já estavam habituados ao uso do aplicativo. Para a mensuração da frequência do tubo sonoro, o tablet foi colocado próximo ao tubo para a captação dessa grandeza. No período de planejamento para a realização da atividade, selecionamos e testamos alguns aplicativos que estavam disponíveis gratuitamente e que foram desenvolvidos para o sistema operacional presente nos tablets. O aplicativo *Spectral Audio* foi o escolhido, considerando a facilidade de utilização e a consistência dos resultados experimentais de acordo com a previsão teórica sobre a velocidade do som. Na Figura 2 visualiza-se o resultado que obtivemos na mensuração da frequência emitida por um tubo sonoro.



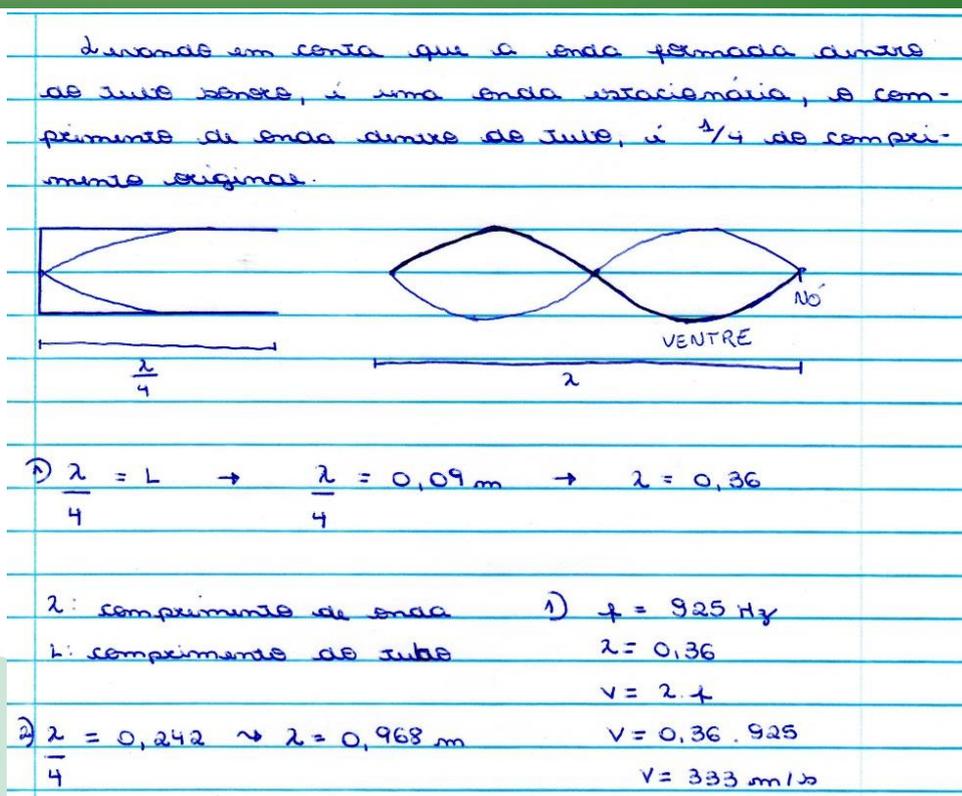
Fonte: Acervo do autores, 2021. Para a obtenção da frequência, clica-se em *Peak Off*, na emissão das ondas sonoras em *Hold*.

Figura 2 - *Spectral Audio*

Com relação à essa parte do processo de construção das resoluções, desenvolvidas pelas equipes E1 e E2, é possível observar na Figura 3 a estratégia desenvolvida e implementada, bem como os resultados obtidos.

Recebido em: 03/07/2021

Aceite em: 06/10/2021

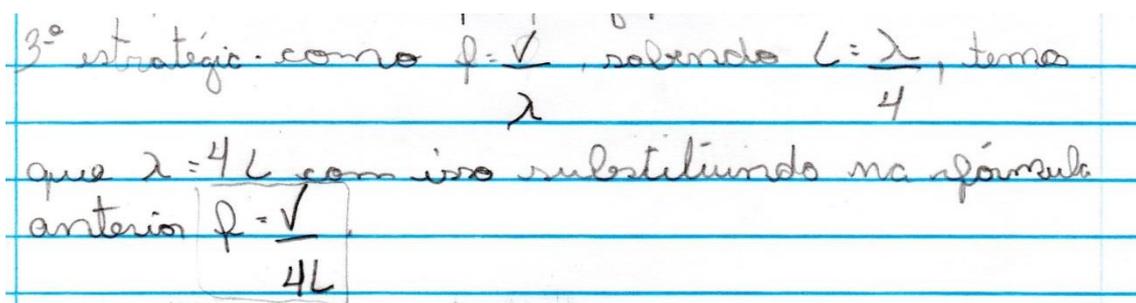


Fonte: Acervo dos autores, 2018.

Figura 3 – Estratégia desenvolvida e implementada pela equipe E1.

Os estudantes representaram corretamente a formação do primeiro harmônico no interior do tubo, além de identificarem nós e ventres. Não ficou explicitado, entretanto, se o nó/ventre era um nó de deslocamento ou de pressão. Considerando os desenhos realizados, os estudantes implicitamente estão analisando os nós/ventres de deslocamento.

A equipe E3 desenvolveu uma estratégia distinta, que era a obtenção de uma equação que permitiria a determinação da velocidade de propagação das ondas sonoras no ar. A equação obtida pela equipe E3 está apresentada na Figura 4.



Recebido em: 03/07/2021

Aceite em: 06/10/2021

Fonte: acervo dos autores, 2020.

Figura 4 – Equação obtida pela equipe E3

A equação obtida pela equipe relacionava a frequência fundamental, com a velocidade de propagação da onda e com o comprimento do tubo sonoro. Os estudantes também utilizaram a informação de que, para esse harmônico, o comprimento do tubo era igual a um quarto do comprimento de onda. Os estudantes apresentaram essa equação ao docente, que questionou se essa equação já havia sido observada pelos estudantes nas aulas regulares de Física, obtendo resposta afirmativa. Os estudantes apontaram que utilizariam vários tubos, sendo que percebemos que para a equipe isso era importante por causa de possíveis erros nas medidas.

Destacamos que nesse nível de ensino, raramente abordam-se os erros inerentes a um processo experimental, como, por exemplo: erro de escala; erro aleatório; erro sistemático; propagação de erros; ajuste de curvas. Por outro lado, a nossa percepção sobre o porquê dos estudantes identificarem a questão do erro estava relacionada com o estabelecimento da equação. Uma maior quantidade de medidas permitiria, considerando as informações dos estudantes, obter mais informações que seriam analisadas e eventuais desvios poderiam ser identificados. Se a velocidade é constante, a frequência é inversamente proporcional ao comprimento do tubo, o que implica na constância da multiplicação entre essas duas grandezas.

Destacamos que as duas estratégias elaboradas e implementadas possibilitaram uma resolução satisfatória da situação-problema. Além disso, havia outra demanda na situação-problema, que era a determinação do erro percentual. Para a determinação do erro percentual, é necessário um valor de referência. É importante destacar que a velocidade de propagação das ondas sonoras do ar depende da temperatura do ar (YOUNG; FREEDMAN, 2008).¹

A obtenção de um valor de referência foi alcançado de maneira semelhante pelas equipes. Apresentamos como foi a obtenção desse valor para a equipe E1.

¹ De acordo com Young e Freedman (2008), a velocidade de propagação do som em um gás ideal (v) é obtido por meio da equação $v = \sqrt{\frac{\gamma RT}{M}}$, em que M é a massa molar, γ é a razão das capacidades caloríficas, R é a constante do gás e T é a temperatura absoluta do gás.

Recebido em: 03/07/2021

Aceite em: 06/10/2021

Anteriormente, a equipe identificou que a velocidade de propagação que eles utilizavam era de 340 m/s. O docente, ao questionar sobre qual meio o som estava se propagando, recebeu como resposta que era o ar. Também questionou se o valor da velocidade de propagação era sempre 340 m/s, sendo que o estudante A9 respondeu: “*Não, depende da temperatura.*”

Após esse momento, o docente entregou para a equipe o livro “Tópicos de Física 2: termologia, ondulatória e óptica” de Bôas, Doca e Biscuola (2007). Para auxiliar na investigação, o docente abriu o livro nas páginas em que havia informações sobre a influência da temperatura na velocidade de propagação do som no ar. Esse livro não estava inicialmente disponível aos estudantes, pois a opção do docente era utilizá-lo nesse momento. O docente destacou algumas informações que estavam presentes no livro como, por exemplo, que a 0 °C a velocidade de propagação do som no ar é igual a 331 m/s e, posteriormente, entregou um termômetro para a equipe.

Outra importante informação existente no livro e que foi utilizada pelas equipes era que para cada aumento de 1 °C na temperatura do ar, a velocidade de propagação do som aumentava aproximadamente de 0,6 m/s. Assim, com essas informações e com o auxílio do termômetro foi possível estabelecer um valor de referência para a velocidade de propagação do som.

Essa ação mais diretiva do docente foi realizada porque a influência da temperatura do ar na velocidade de propagação do som já poderia estabelecer-se como outra situação-problema. Assim, a indicação dessas informações almejavam possibilitar aos estudantes encontrarem um valor de referência para compararem com o valor obtido na investigação. Essa ação foi planejada antes da implementação da AEI, considerando a carga horária disponível e que esse valor de referência poderia ser obtido de outras formas, como em uma pesquisa na internet, por exemplo.

4.3 A análise do processo realizado, o estabelecimento das conclusões e a divulgação dos resultados obtidos na investigação

Destacamos que esse foi o primeiro momento em que o docente utilizou o quadro. O quadro foi utilizado para o docente escrever algumas informações fornecidas pelas

Recebido em: 03/07/2021

Aceite em: 06/10/2021

15

equipes. A ação docente nesse momento foi de realizar questionamentos para as três equipes para que compartilhassem os resultados obtidos na investigação.

Inicialmente, o docente questionou a equipe E3 sobre quais as informações que utilizaram e o que pensaram para a resolução da situação-problema, recebendo como resposta, do estudante A5, o tipo de onda que era estabelecida no interior do tubo e também que o comprimento de onda, nessa situação, é igual a quatro vezes o comprimento do tubo sonoro. De posse dessa informação, o docente a escreveu no quadro.

O docente questionou a equipe E1 sobre como seria o desenho que representava a onda estabelecida no interior do tubo. Após receber as informações da equipe, o docente representou no quadro o primeiro harmônico no interior do tubo e, ao questionar a turma sobre o que representava o comprimento do tubo, obteve como resposta que era um quarto do comprimento de onda.

Para a equipe E2, houve o questionamento docente sobre o que a equipe realizou após a determinação do comprimento de onda, obtendo como resposta, pelo estudante A3, que a equipe utilizou a equação que relacionava a velocidade de propagação da onda com a frequência e o comprimento de onda.

Ressaltamos que todas as equipes, até esse momento, haviam desenvolvido uma equação que relacionava, para o primeiro harmônico, a frequência, o comprimento de onda e a velocidade de propagação. Cada equipe informou o valor obtido para a velocidade de propagação. Além disso, o cálculo do erro percentual foi explicado pelo docente e os estudantes, utilizando os resultados obtidos na investigação, determinaram esse valor. Os valores obtidos pelas equipes indicaram para um erro percentual entre 1% e 3,002%.

Após a implementação dessa AEI, as folhas com os registros escritos foram entregues ao docente e os estudantes responderam individualmente o questionário relacionado com a Escala de Medida de Interesse e Suportes a Autonomia - EMISA. No próximo item, realizamos alguns apontamentos sobre a implementação dessa AEI e apresentamos e discutimos os resultados obtidos com a EMISA.

Recebido em: 03/07/2021

Aceite em: 06/10/2021

16

5. RESULTADOS

Considerando o erro percentual calculado pelos estudantes, os resultados obtidos para a velocidade de propagação do som no ar foram satisfatórios. Além disso, as estratégias desenvolvidas e implementadas, apontam para a compreensão, pelos estudantes, sobre os conceitos subjacentes à investigação. É oportuno destacar que os estudantes compreendiam o porquê deveriam fazer a mensuração da frequência e do comprimento do tubo sonoro. Essas características, do desenvolvimento e implementação de hipóteses, bem como compreender o porquê tem que fazer determinada ação, são fundamentais no Ensino por Investigação.

Considerando o referencial teórico que orientou o desenvolvimento e a implementação dessa AEI, identificamos o estabelecimento dos momentos propostos por García e García (2000) na resolução da situação-problema apresentada aos estudantes. Estes momentos estruturaram o fazer pedagógico nas AEI.

Para a obtenção do erro percentual, foi necessário o estabelecimento de um valor de referência, obtido a partir da informação de que a velocidade de propagação do som no ar depende da temperatura. Conforme destacamos anteriormente, essa temática poderia configurar-se como outra situação-problema, questionando-se os estudantes, por exemplo, sobre qual a influência da temperatura na velocidade de propagação do som no ar. Nesse sentido, García e García (2000) também apontam para a possibilidade do desenvolvimento de novas investigações subjacentes à uma situação-problema.

Sobre a utilização das Tecnologias Móveis, os estudantes não apresentaram dificuldades na utilização desses recursos, sendo que, conforme evidenciado na descrição da implementação, o aplicativo utilizado era de fácil manuseio, e já havia sido utilizado anteriormente pelos estudantes em outra atividade de caráter investigativo, na semana anterior à implementação dessa AEI.

Essas Tecnologias Móveis configuraram-se como um recurso didático, que nessa investigação ocupou um importante papel na mensuração da frequência das ondas sonoras produzidas nos tubos.

Também era de interesse da pesquisa realizada estabelecer indicadores sobre o interesse e a promoção da autonomia, aspectos que, de acordo com Clement (2013)

Recebido em: 03/07/2021

Aceite em: 06/10/2021

17

podem ser promovidos por meio de um Ensino por Investigação. Nesse sentido, utilizamos a Escala de Medida de Interesse e Suportes a Autonomia – EMISA, apresentada e utilizada por Clement (2013).

A EMISA é uma escala Likert, com valores entre 1 e 6. Ao término da implementação dessa AEI, cada estudante recebeu um questionário com 20 afirmações. O valor 1 indicava “*Nada Verdadeiro*” e o valor 6 “*Totalmente Verdadeiro*”. Os resultados da EMISA organizados em quatro subescalas: *Interesse pela Atividade*, *Percepção do Clima/Ambiente para o Suporte à Autonomia*, *Percepção sobre o Controle de Comportamentos*, *Percepção sobre o suporte a Autonomia Cognitiva*. Os resultados obtidos encontram-se na Figura 5.

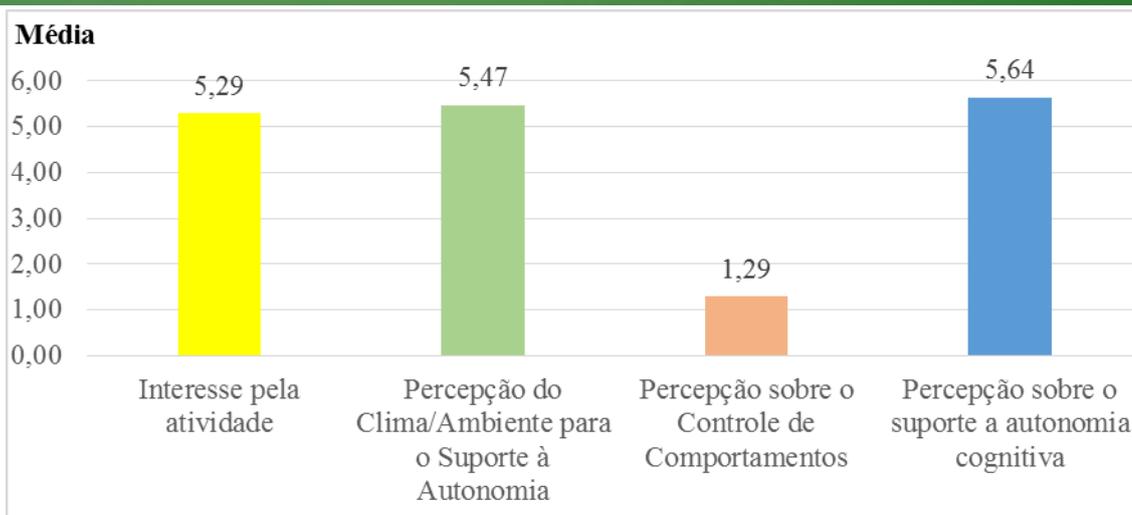
O desenvolvimento do interesse dos estudantes está fortemente atrelada às situações-problema que lhes são apresentadas (GARCÍA; GARCÍA, 2000). Nesse contexto, em convergência com os apontamentos desses autores, destacamos que a média obtida na subescala *Interesse pela atividade* foi igual a 5,29.

A situação-problema apresentada aos estudantes envolvia a mensuração da velocidade do som no ar, não se caracterizando como uma situação contextualizada e sim, uma demanda voltada à estrutura interna da Física. Apesar disso, os resultados obtidos da EMISA e a análise dos resultados disponíveis pelos demais instrumentos de coleta de dados, evidenciam o alto interesse dos estudantes na investigação. Ressaltamos que, em nossa pesquisa, implementamos outras AEI que envolviam situações-problemas contextualizadas e os resultados também foram importantes e promissores.

Recebido em: 03/07/2021

Aceite em: 06/10/2021

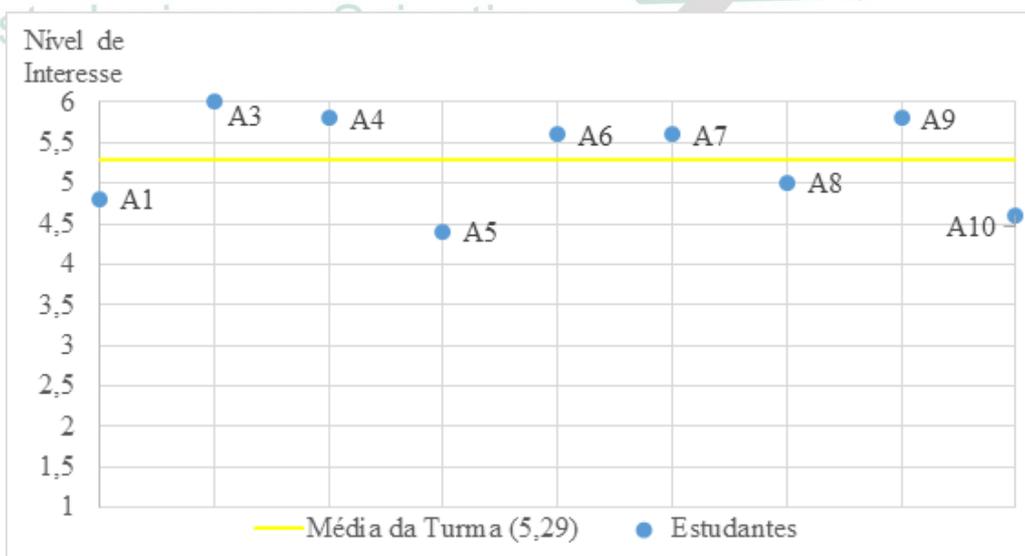
18



Fonte: Acervo dos autores, 2020.

Figura 5 – Médias obtidas nas subescalas da EMISA

Para uma análise mais detalhada, apresentamos um gráfico (Figura 6) em que pode-se observar o nível de interesse de cada estudante em relação ao valor da média da turma. O maior nível de interesse foi observado pelo estudante A3 (média 6), com um desvio de aproximadamente 13,4% em relação à média da turma, e o menor nível de interesse foi observado pelo estudante A5 (média 4,4), o que significa uma diferença percentual de aproximadamente 16,8% em relação à média da turma.



Fonte: Elaborado pelos Autores, 2021

Figura 6 – Nível de interesse de cada estudante na AEI

Recebido em: 03/07/2021

Aceite em: 06/10/2021

Ainda sobre o Estudante A5, procuramos analisar, dentro da subescala, o que poderia explicar esse resultado. O estudante forneceu valor 2 para a afirmação 7 “*Eu vejo que o assunto abordado nesta atividade poderá ser útil na vida real*”. Foi o menor valor atribuído para essa afirmação, sendo que todos os outros estudantes indicaram valores entre 4 e 6. Além disso, os valores fornecidos pelo estudante para as outras afirmações da subescala variaram entre 4 e 6.

No entanto, cabe ressaltar que os valores individuais dos níveis de interesse dos estudantes são altos, tendo em vista a escala de 1 a 6, ou seja, variaram entre 4,4 e 6,0. Apenas três alunos tiveram um nível de interesse inferior a 5,0, sendo que dois destes com valores superiores a 4,5 e um com valor de 4,4 (menor valor). Assim sendo, estes dados quantitativos de fato representam e corroboram os aspectos relativos ao envolvimento, participação e produção dos estudantes observados ao longo das aulas.

Nas subescalas *Percepção do Clima/Ambiente para o Suporte à Autonomia* e *Percepção sobre o suporte a Autonomia Cognitiva* as médias obtidas, 5,47 e 5,64 respectivamente, foram altas e sinalizam que a perspectiva didático-pedagógica adotada para elaboração e desenvolvimento da AEI favoreceu a promoção da autonomia dos estudantes.

Tendo por base os dados coletados na implementação dessa AEI, por meio da análise da gravação em áudio e vídeo, do diário de bordo e da produção dos estudantes, constata-se a existência de coerência com os resultados advindos da EMISA. Esses dados, coletados por distintos instrumentos, permitiram a triangulação dos resultados, de modo a possibilitarem uma análise aprofundada da implementação da AEI. Com relação a subescala *Percepção do Clima/Ambiente para o Suporte à Autonomia*, teve afirmações dos estudantes com esta: “*Eu senti que meu professor me proporcionou escolhas/opções.*” E, com relação a subescala *Percepção sobre o suporte a Autonomia Cognitiva*, apontamos, para exemplificar, a afirmação “*Nesta atividade foi possível comparar e contrastar nossas ideias com as de nossos colegas.*”

As questões referentes à subescala *Percepção sobre o Controle de Comportamentos* estavam relacionadas com a ação do docente, sendo que quando percebia a necessidade, o docente realizava algumas intervenções de modo a contribuir com o desenvolvimento da investigação. Essas intervenções constituíram-se de

Recebido em: 03/07/2021
Aceite em: 06/10/2021

problematizações, questionamentos sobre a investigação, além do fornecimento de algumas informações como, por exemplo, quando o docente evidenciou a página de um livro didático em que havia informações sobre a influência da temperatura na velocidade de propagação do som. Nesse cenário, a média obtida nessa subescala foi igual a 1,29, sendo que esse resultado converge com os resultados obtidos com outros instrumentos de coleta de dados.

Uma média baixa nessa subescala não significa que o docente não está atento ao trabalho realizado pelos estudantes, ou que sua função é reduzida a de um mero espectador. Na verdade, é o oposto. Em uma perspectiva investigativa, cabe ao docente um olhar minucioso e atento sobre a investigação realizada pelos estudantes. Isso inclui lançar mão de questionamentos e informações para que os estudantes compreendam a situação-problema, analisar e compreender todas as hipóteses elaboradas pelos estudantes para poder realizar intervenções, além de possuir um sólido conhecimento sobre o assunto a ser abordado na atividade.

O trabalho docente em atividades escolares pautadas no Ensino por Investigação requer do professor uma preparação prévia para que sua atuação pedagógica esteja alinhada com a perspectiva de ensino-aprendizagem adotada. Especificamente, visar a promoção da autonomia dos estudantes – nas diferentes frentes - não quer dizer que devemos ofertar “... espaço para escolhas e tomadas de decisões e abandonar os alunos sozinhos na busca do saber científico...” (CLEMENT; CUSTÓDIO, ALVES FILHO, 2015, p. 122). Será necessário que o professor ofereça as ajudas necessárias e favoráveis à construção do conhecimento dos estudantes.

CONCLUSÕES

Considerando os resultados obtidos na implementação dessa Ação de Ensino Investigativa – AEI, em que destacamos o baixo erro percentual obtido na mensuração da velocidade de propagação do som no ar, o estabelecimento de um processo investigativo, o interesse e a promoção da autonomia dos estudantes, apontamos para a viabilidade da inserção dessa perspectiva investigativa no Ensino de Física.

Recebido em: 03/07/2021

Aceite em: 06/10/2021

21

Quanto ao interesse na atividade, houve uma persistência desse aspecto que ocorreu devido às características da investigação realizada pelos estudantes. A possibilidade e necessidade do estudante emitir e analisar as suas hipóteses são fundamentais no Ensino por Investigação e configuram-se como elementos que contribuem para a manutenção do interesse na atividade.

Concomitantemente, identificamos a promoção da autonomia dos estudantes, tanto na elaboração e implementação das hipóteses, quanto na escolha dos materiais que seriam utilizados na investigação. Essa é uma das características nessa perspectiva investigativa, ou seja, existe a liberdade para o estudante (re)pensar, refletir e tomar decisões sobre o desenvolvimento da investigação.

Além disso, as Tecnologias Móveis, especificamente os tablets, configuraram-se como um recurso didático de fácil utilização pelos estudantes, e como fundamentais na investigação desenvolvida, pois permitiram a mensuração da frequência. Essas tecnologias, que incluem os smartphones, estão cada vez mais presentes no ambiente educacional, sendo que o planejamento docente pode, a depender os objetivos de ensino-aprendizagem, considerar a sua inserção em aulas de Física.

Consideramos que perspectivas futuras de investigação na área do ensino de ciências podem se apoiar nos resultados obtidos, como a pesquisa sobre: a utilização das Tecnologias Móveis no Ensino por Investigação em outras áreas na Física e em outros níveis de ensino; quais os instrumentos mais adequados para a obtenção de indicadores sobre a aprendizagem dos estudantes em atividade investigativas; quais possibilidades para a ampliação do interesse e da autonomia em um Ensino por Investigação.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio parcial do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq, da Fundação de Amparo à Pesquisa e Inovação do Estado de Santa Catarina - FAPESC e do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina - IFSC.

REFERÊNCIAS

Recebido em: 03/07/2021

Aceite em: 06/10/2021

AZEVEDO, Maria Cristina P. Stella de. 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: Cengage Learning, 2009.

BALLENILLA, F. **Enseñar Investigando: cómo formar profesores desde la práctica?** 3ª. ed. Sevilla: Díada (Serie Practica, n.12. Coleção Investigación y Enseñanza). 1999.

BARBOSA, Daisy Flávia Souza; MONTEIRO, Joana Menezes Corrêa; MALHEIRO, João Manoel da Silva; ARAÚJO, Marinalva Soares de. Ensino por Investigação em Ciências: Concepção e Prática na Educação não formal. **Revista Insignare Scientia**, v. 4, n. 1, p. 25-41, Jan/Abr. 2021.

BÔAS, Newton Villas; DOCA, Ricardo Helou; BISCUOLA, Gualter José. **Tópicos de Física, 2: termologia, ondulatória e óptica**. 18. ed. reform. e ampl. São Paulo: Saraiva, 2007.

CAÑAL, Pedro; LLEDÓ, Angel I.; POZUELOS, Francisco, J.; TRAVÉ, Gabriel. **Investigar en La Escola: elementos para una enseñanza alternativa**. 1ª. ed. Sevilla/ES: DÍADA (Serie Fundamentos, n. 7. Colección Investigación y Enseñanza). 1997.

CARVALHO, Anna Maria Pessoa de. O ensino de Ciências e a proposição de sequências de ensino investigativas. In: _____. (Org.). **Ensino de ciências por investigação: condições para implementação em sala de aula**. São Paulo: Cengage Learning, 2016.

CLEMENT, Luiz. **Autodeterminação e ensino por investigação: construindo elementos para promoção da autonomia em aulas de física**. 2013. 334 p. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2013.

CLEMENT, Luiz; CUSTÓDIO, José Francisco; ALVES FILHO, José de Pinho. Potencialidades do ensino por investigação para promoção da motivação autônoma na educação científica. **Alexandria**, v. 8, n. 1, p. 101-129, 2015.

FERNANDES, A. C. P.; AULER, L. T. S.; HUGUENIN, J. A. O.; BALTHAZAR, W. F. Efeito doppler com tablet e smartphone. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 38, n. 3, p. e3504-e3504-8, 2016.

FLOR, José Ignacio. **Recursos para la investigación en el aula**. 2ª ed., Sevilla/ES: DÍADA (Serie Practica, n. 8. Colección Investigación y Enseñanza). 1996.

GARCÍA, J. Eduardo; GARCÍA, Francisco F. **Aprender investigando: una propuesta metodológica basada em la investigación**. 7. ed. Sevilla/ES: Díada Editora, (Serie Práctica, n. 2. Colección Investigación e Enseñanza). 2000.

GUEDES, Anderson Guimarães. Estudo das ondas estacionárias em um corda com a utilização de um aplicativo gratuito para *smartphones*. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 37, n. 2, p. 2502-2502-5, 2015.

Recebido em: 03/07/2021

Aceite em: 06/10/2021

HIRTH, Michael; KUHN; Jochen; MÜLLER, Andreas. Measurement of sound velocity made easy using harmonic resonant frequencies with everyday mobile technology. **The Physics Teacher**, v. 53, p. 120-121, fev. 2015.

KASPER, Lutz; VOGT, Patrik; STROHMEYER, Christine. Stationary waves in tubes and the speed of sound. **The Physics Teacher**, v. 53, p. 52-53, jan. 2015.

KUHN, Jochen; VOGT, Patrik. Smartphones as experimental tool: different methods to determine the gravitational acceleration in classroom by using everyday devices. **European Journal of Physics Education**. v. 4, n.1, p.16-27, 2013.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL – NRC. **Inquiry and the National Science Education Standards**: a guide for teaching and learning. 10th Printing. Washington, DC: National Academy Press, 2008.

PAROLIN, Sara Orsola; PEZZI, Giovanni. Kundt's tube experiment using smartphones. **Physics Education**, v. 50, n.4, p. 443-447, jul. 2015.

VARELA, Paulo. Aprender ciências por investigação na educação pré-escolar: exploração de uma proposta didática em contexto de formação inicial de educadores. **Revista Insignare Scientia**, v. 3, n. 1, p. 357-374, Jan/Abr. 2020.

VIEIRA, Leonardo Pereira. **Experimentos de física com Tablets e Smartphones**. 2013. 107 p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2013.

VIEIRA, L. P.; AMARAL, D. F.; LARA, V. O. M. Ondas sonoras estacionárias em um tubo: análise de problemas e sugestões. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 36, n. 1, p. 1504-1504-5, 2014.

VIEIRA, L. P.; LARA, V. O. M.; AMARAL, D. F. Demonstração da lei do inverso do quadrado com o auxílio de um *tablet/smartphone*. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 36, n.3, p. 3505-3505-3, 2014.

YOUNG, Hugh D.; FREEDMAN, Roger A. **Física II: Termodinâmica e Ondas**. 12. ed. São Paulo: Addison Wesley, 2008.

ZOMPERO, Andreia de Freitas; LABURÚ, Carlos Eduardo. **Atividades investigativas para as aulas de ciências**: um diálogo com a teoria da aprendizagem significativa. 1. ed. Curitiba: Appris, 2016.

Recebido em: 03/07/2021

Aceite em: 06/10/2021