



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ**  
**CENTRO DE CIÊNCIAS**  
**DEPARTAMENTO DE FÍSICA**  
**MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA**

**EDNEY MELO RODRIGUES**

**O USO DO APLICATIVO PHYPHOX COMO INSTRUMENTO PARA O  
ENSINO DE FÍSICA NO ENSINO FUNDAMENTAL**

**FORTALEZA**

**2023**

EDNEY MELO RODRIGUES

O USO DO APLICATIVO PHYPHOX COMO INSTRUMENTO PARA O  
ENSINO DE FÍSICA NO ENSINO FUNDAMENTAL

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação de Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física, da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Orientador: Prof. Dr. Carlos Alberto Santos de Almeida.

FORTALEZA

2023

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação  
Universidade Federal do Ceará  
Sistema de Bibliotecas  
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

---

R612u Rodrigues, Edney Melo.  
o uso do aplicativo Phyphox como instrumento para o ensino de física no ensino fundamental / Edney  
Melo Rodrigues. – 2023.  
93 f. : il. color.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Ceará, Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação,  
Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física, Fortaleza, 2023.  
Orientação: Prof. Dr. Carlos Alberto Santos de Almeida.

1. Física (Ensino médio) - Estudo e ensino. 2. Física - Experiências. 3. Tecnologia educacional. 4.  
Ensino - Meios auxiliares. 5. Estratégias de aprendizagem. I. Título.

CDD 530.07

---

EDNEY MELO RODRIGUES

O USO DO APLICATIVO PHYPHOX COMO INSTRUMENTO PARA O  
ENSINO DE FÍSICA NO ENSINO FUNDAMENTAL

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação de Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física, da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Aprovada em: 27/07/2023

BANCA EXAMINADORA

---

Prof. Dr. Carlos Alberto Santos de Almeida (Orientador)  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Prof. Dr. Fernando Wellysson de Alencar Sobreira  
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará (IFCE)

---

Profª. Dra. Rocieler Oliveira Holanda  
Universidade Estadual do Ceará (UECE)

## AGRADECIMENTOS

À minha família, principalmente minha mãe, Maria do Socorro, por todo o apoio que me deu durante toda a minha vida pessoal e acadêmica. Meus irmãos, Ednarde e Edna, também foram fundamentais na minha formação como ser humano.

Aos meus professores de graduação, que contribuíram para que eu tivesse uma base sólida e sempre continuar estudando para me tornar um profissional cada vez melhor.

Aos meus amigos, principalmente ao Eric Paula, que sempre me deu força e me fez melhorar como pessoa. Também agradeço à Profa. Rocicler Holanda, que, além de ser uma grande amiga que tive na minha formação, fez parte da banca de avaliação desse trabalho, e contribuiu com excelentes sugestões.

Ao meu orientador, Prof. Carlos Alberto, pela disposição e pelo apoio, para que esse trabalho fosse bem desenvolvido e executado.

Aos professores do Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física (MNPEF), do polo da UFC, que contribuíram demais para a minha permanente formação. Em destaque, foi uma honra ser aluno do Prof. Fernando Wellysson, um profissional que eu já admirava demais, e pude ver nas aulas a sua dedicação e empenho em ministrar as disciplinas de física pura.

Aos amigos que fiz no MNPEF, em especial, ao Dennys Roger pelos ensinamentos na linguagem LATEX durante parte do curso, e que hoje estou utilizando para escrever alguns materiais.

À direção e aos alunos do Colégio Ari de Sá Cavalcante, onde apliquei dois dos experimentos abordados neste trabalho.

Por fim, à Sociedade Brasileira de Física (SBF), instituição proponente deste curso de mestrado profissional em ensino de Física, e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES 001), pelo apoio financeiro que permite a existência do MNPEF.

## RESUMO

Este trabalho tem como objetivo propor um manual de experimentos de Física para ser utilizado tanto no Ensino Médio quanto no Ensino Fundamental, contendo dois roteiros de baixo custo baseados na aquisição de dados através de diferentes sensores disponíveis em smartphones através de um aplicativo gratuito chamado Phyphox. Partindo dos pressupostos da teoria socioconstrutivista de Vygostky e da teoria da aprendizagem significativa de David Ausubel e como ela pode ser aplicada num contexto de ensino baseado em atividades experimentais realizadas em grupo, espera-se que a aplicação dos roteiros experimentais propostos traga maior significado e aprendizagem dos conceitos abordados quando comparados com aulas puramente teóricas, somente com definições e expressões matemáticas. Também é esperado que os professores usem sua criatividade para a elaboração de novas atividades experimentais usando como base os sensores presentes em um smartphone e o aplicativo Phyphox. Cada roteiro foi planejado para ser concluído em duas aulas, dentro de uma sala de aula que contém alunos do ensino fundamental, mais especificamente, do oitavo e do nono ano, com propostas que se enquadram principalmente nos campos de investigação, experimentação e verificação dos conceitos vistos em sala. O conteúdo de cada roteiro apresenta, além da metodologia da proposta e a turma a qual se destina, um breve resumo sobre o conteúdo de física abordado em sala de aula e o sensor específico que será utilizado no experimento a ser executado, de maneira que cada um dos roteiros propostos pode ser trabalhado de maneira independente dos demais. Os temas escolhidos estão relacionados aos conteúdos de Mecânica e Acústica. A análise dos resultados após a aplicação dos roteiros demonstra uma grande precisão dos dados obtidos com o smartphone através de uma fácil execução dos experimentos por parte dos estudantes, assim como a aprendizagem de forma mais significativa por parte deles no que se diz respeito ao conteúdo ministrado de forma teórica e equacional em sala de aula.

**Palavras-chaves:** roteiros experimentais; phyphox; aprendizagem significativa.

## ABSTRACT

This work aims to propose a manual of Physics experiments to be used both in High School and in Elementary School, containing two low-cost scripts based on data acquisition through different sensors available in smartphones through a free application called Phyphox. Based on the assumptions of Vygotsky's socio-constructivist theory and of David Ausubel's theory of meaningful learning and how it can be applied in a teaching context based on experimental activities carried out in groups, it is expected that the application of the proposed experimental scripts will bring greater meaning and learning of the approached concepts when compared to Purely theoretical classes, only with mathematical definitions and expressions. Teachers are also expected to use their creativity to develop new experimental activities based on the sensors present in a smartphone and the Phyphox application. Each script was planned to be completed in two classes, within a classroom that contains elementary school students, more specifically, eighth and ninth grades, with proposals that fall mainly into the fields of investigation, experimentation and verification of the concepts seen in the classroom. The content of each script presents, in addition to the methodology of the proposal and the class for which it is intended, a brief summary of the physics content addressed in the classroom and the specific sensor that will be used in the experiment to be performed, so that each one of the proposed scripts can be worked independently of the others. The themes chosen are related to the contents of Mechanics and Acoustics. The analysis of the results after the application of the scripts demonstrates a great precision of the data obtained with the smartphone through an easy execution of the experiments by the students, as well as their learning in a more meaningful way with regard to the content taught in a theoretical and equational way in the classroom.

**Key-words:** experimental scripts; phyphox; meaningful learning; socio-constructivist.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Movimento unidimensional de um carro em uma pista .....	26
Figura 2 - Representação gráfica do movimento do carro .....	26
Figura 3 - Representação gráfica do movimento do carro, com os valores das posições na vertical e com os valores dos instantes na horizontal .....	27
Figura 4 - Gráfico da posição pelo tempo de um corpo em movimento unidimensional	28
Figura 5 - Gráficos para se entender a diferença entre velocidade média e velocidade instantânea .....	30
Figura 6 - Valores de velocidade para o Porsche e para o Fusca .....	31
Figura 7 - Comportamento gráfico das velocidades dos dois veículos em função do tempo .....	32
Figura 8 - Movimento de uma moeda que cai de um ponto da Torre de Pisa (Figura adaptada) .....	36
Figura 9 - Perturbação ondulatória na superfície da água em virtude do impacto de uma pedra .....	37
Figura 10 - Onda transversal em uma corda .....	38
Figura 11 - Onda longitudinal em um fluido .....	39
Figura 12 - Regiões de compressão e rarefação que surgem no ar em virtude de uma perturbação sonora .....	40
Figura 13 - Pistão comprimindo um fluido .....	41
Figura 14 - Algumas ferramentas do aplicativo Phyphox .....	50
Figura 15 - Algumas ferramentas do aplicativo Phyphox .....	50
Figura 16 - Janela que mostra a ferramenta cronômetro acústico .....	51
Figura 17 - Observações importantes que surgem ao abrir a função cronômetro acústico	52
Figura 18 - Cronograma seguido durante o desenvolvimento do trabalho com os alunos	53
Figura 19 - Gráfico com a primeira pergunta do pré-teste .....	54
Figura 20 - Gráfico com a segunda pergunta do pré-teste .....	54
Figura 21 - Gráfico com a terceira pergunta do pré-teste .....	55
Figura 22 - Gráfico com a quarta pergunta do pré-teste .....	55



Figura 23 - Gráfico com a quinta pergunta do pré-teste .....	55
Figura 24 - Gráfico com a sexta pergunta do pré-teste .....	56
Figura 25 - Gráfico com a sétima pergunta do pré-teste .....	56
Figura 26 - Gráfico com a oitava pergunta do pré-teste .....	56
Figura 27 - Gráfico com a nona pergunta do pré-teste .....	57
Figura 28 - Apresentação do experimento para a determinação da velocidade do som no ar .....	58
Figura 29 - Imagem que mostra a realização do experimento .....	58
Figura 30 - Alunas do oitavo ano realizando o experimento .....	60
Figura 31 - Alunos do oitavo ano realizando o experimento .....	60
Figura 32 - Aluna do nono ano preenchendo o roteiro e analisando os resultados .....	61
Figura 33 - Tabela presente no roteiro experimental para a determinação da velocidade do som no ar .....	61
Figura 34 - Dados e resultados obtidos por uma dupla de alunos no experimento .....	62
Figura 35 - Cálculo do erro relativo feito por uma dupla de alunos .....	62
Figura 36 - Dados e resultados obtidos por uma dupla de alunos no experimento .....	62
Figura 37 - Cálculo do erro relativo feito por uma dupla de alunos .....	63
Figura 38 - Objeto caindo de um altura H .....	63
Figura 39 - Apresentação do segundo experimento .....	64
Figura 40 - Montagem básica para o experimento de queda livre .....	65
Figura 41 - Caneta prestes a bater bruscamente na parte lateral da régua .....	65
Figura 42 - Movimento de queda livre da esfera após o deslocamento brusco da régua .	66
Figura 43 - Estudantes realizando o experimento de queda livre .....	66
Figura 44 - Tabela presente no roteiro experimental para a determinação da aceleração da gravidade .....	67
Figura 45 - Dados coletados por um estudante no experimento .....	67
Figura 46 - Erro relativo para a aceleração da gravidade determinado por um estudante	67
Figura 47 - Dados coletados por outro estudante no experimento .....	68
Figura 48 - Erro relativo para a aceleração da gravidade determinado por um estudante	68

Figura 49 - Testemunho do estudante 1 .....	69
Figura 50 - Testemunho do estudante 2 .....	70
Figura 51 - Testemunho do estudante 3 .....	70
Figura 52 - Testemunho do estudante 4 .....	70
Figura 53 - Testemunho do estudante 5 .....	71

## **LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

CAPES	Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior
COVID	Corona Virus Disease
IOS	Iphone Operating System
MNPEF	Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física
SIC	Sociedade da Informação e do Conhecimento
SBF	Sociedade Brasileira de Física
TIC	Tecnologia da Informação e da Comunicação
UFC	Universidade Federal do Ceará

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>11</b>
<b>2</b>	<b>O USO DAS TICS E A ABORDAGEM EXPERIMENTAL .....</b>	<b>14</b>
<b>2.1</b>	<b>As TICs e o uso do smartphone .....</b>	<b>14</b>
<b>2.2</b>	<b>Abordagem experimental .....</b>	<b>17</b>
<b>3</b>	<b>AS TEORIAS DE APRENDIZAGEM DE VYGOTSKY E DE AUSUBEL ....</b>	<b>21</b>
<b>3.1</b>	<b>Vygostky – Sócio – Construtivismo .....</b>	<b>21</b>
<b>3.2</b>	<b>Ausubel – Aprendizagem significativa .....</b>	<b>23</b>
<b>4</b>	<b>CONCEITOS FÍSICOS .....</b>	<b>25</b>
<b>4.1</b>	<b>Movimento unidimensional .....</b>	<b>25</b>
<b>4.1.1</b>	<b><i>Deslocamento, tempo e velocidade média .....</i></b>	<b>25</b>
<b>4.1.2</b>	<b><i>Velocidade instantânea .....</i></b>	<b>28</b>
<b>4.1.3</b>	<b><i>Aceleração instantânea e aceleração média .....</i></b>	<b>30</b>
<b>4.1.4</b>	<b><i>O movimento de queda livre .....</i></b>	<b>35</b>
<b>4.2</b>	<b>Ondas sonoras .....</b>	<b>37</b>
<b>5</b>	<b>CONCEITOS BÁSICOS SOBRE DESVIO ABSOLUTO E ERRO RELATIVO .....</b>	<b>46</b>
<b>6</b>	<b>O APLICATIVO PHYPHOX .....</b>	<b>49</b>
<b>7</b>	<b>METODOLOGIA .....</b>	<b>53</b>
<b>7.1</b>	<b>O convite e o pré-teste .....</b>	<b>53</b>
<b>7.2</b>	<b>Os experimentos e a aplicação do produto .....</b>	<b>57</b>
<b>8</b>	<b>RESULTADOS .....</b>	<b>69</b>
<b>9</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>72</b>
	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>73</b>
	<b>APÊNDICE A - PRODUTO EDUCACIONAL .....</b>	<b>77</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Durante a minha vida docente ensinando física para estudantes o Ensino Médio e do Ensino Fundamental, percebi que as práticas realizadas no laboratório são extremamente relevantes para a sedimentação de muitos conteúdos vistos de maneira tradicional em sala de aula. Os estudantes sempre perguntavam, no final de cada encontro no laboratório, quando eles voltariam para fazer atividades experimentais novamente.

Na medida do possível, pois a quantidade de conteúdo a ser ministrada é muito extensa, sempre levava algum tipo de experimento para a aula se tornar mais lúdica e atrativa. Comecei também a mostrar simulações utilizando o Phet, plataforma a qual oferece simuladores nas áreas de ciências físicas, químicas e biológicas, de forma gratuita e com muita interação.

No ano de 2020, em virtude do início da pandemia da COVID-19, fomos obrigados a ministrar aula em regime remoto, fato que foi um grande desafio para nós professores e para os discentes. Durante o processo de ensino aprendizagem, tivemos que ser bastante criativos para que as aulas fossem dinâmicas e, de alguma forma, interativa (o que foi muito árduo de conseguir).

De acordo com Silva Neto (2022), durante esse processo pandêmico com todo o processo tecnológico no ensino, os professores tiveram que se adaptar, até mesmo aprender a usar ferramentas digitais como computadores, softwares, sites entre outras ferramentas para lecionar de forma remota. De modo geral, entendemos que o ensino de física durante a pandemia foi um grande desafio para os professores de física e também para os alunos, demandando total apoio do das tecnologias digitais para o ensino.

Segundo Silva e Silva (2023), o debate sobre o uso das tecnologias educacionais como uma forma de prática pedagógica não era inédito entre os professores. No entanto, com a presença inesperada da pandemia mundial nos anos de 2020 e 2021, denominada como COVID-19, impôs a necessidade do isolamento social e a adequação das instituições escolares e professores de utilizarem as ferramentas tecnológicas disponíveis para garantir o processo de ensino-aprendizagem dos estudantes.

Com base nessa dificuldade, comecei a pesquisar sobre outros simuladores e/ou aplicativos com os quais eu pudesse desenvolver aulas de forma diferente com os alunos. Descobri então o aplicativo Phyphox, o qual é gratuito e está disponível para os sistemas operacionais Android ou IOS. Esse aplicativo tem uma ótima qualidade, pois ele possui uma quantidade de funções bem satisfatória e é muito fácil de utilizar. Escrevi dois roteiros para que os alunos fizessem os experimentos em casa, e realmente alguns se entusiasmaram a fazer,

mas a participação foi muito limitada, em virtude das aulas serem em regime remoto. Porém, quando as aulas voltaram, no ano de 2022, comecei a explorar melhor esse aplicativo de forma presencial com os estudantes e o resultado foi bastante satisfatório, sendo apresentado neste trabalho.

São muitas as dificuldades encontradas para o ensino de Física, tanto a nível fundamental quanto à nível médio. O desinteresse dos alunos pela disciplina é algo que chama bastante a atenção. Além disso, muitas escolas não oferecem estrutura para uma aula experimental (falta de espaço físico e/ou falta de equipamentos). Por se tratar de uma ciência natural, toda a teoria e as expressões matemáticas usadas devem ser acompanhadas de uma atividade experimental que mostre realmente a validade do que é mostrado na parte teórica. Com certeza os alunos enxergariam essa ciência como algo que faz sentido no mundo que os cerca.

Outra grande dificuldade em deixar os alunos concentrados e estimulados em uma aula de Física, é a presença dos smartphones que possuem uma grande gama de aplicativos para as redes sociais, jogos interativos e várias outras ferramentas. Nós docentes temos que encontrar alguma forma de conscientizar os alunos quanto ao uso do celular e forma responsável e na hora correta, uma tarefa hercúlea. Por outro lado, o uso de celulares como ferramenta educacional é algo que vem funcionando e crescendo nas escolas, de maneira consciente e de forma correta.

Este trabalho tem como objetivo geral sugerir alguns roteiros de experimentos de fácil acesso que poderão ser utilizados pelos professores que não tem acesso a um laboratório, de forma que os experimentos possam ser feitos em qualquer ambiente, com o uso de um smartphone com o aplicativo Phyphox instalado. Esses roteiros servirão como uma ferramenta de ensino-aprendizagem e, além disso, mostrarão que um aparelho celular pode ser muito útil na comprovação dos fenômenos físicos.

Este trabalho foi dividido em seis etapas. A primeira etapa foi elaborar um questionário para os alunos sobre o uso do celular no seu cotidiano e sobre alguns conceitos sobre Física. A segunda etapa foi elaborar os roteiros de experimentos de fácil acesso que mostrassem a validade de conteúdos estudados pelos alunos em sala de aula. A terceira etapa foi explicar aos alunos sobre o aplicativo Phyphox e as suas funcionalidades, assim como o uso dele nos roteiros a serem aplicados. A quarta etapa foi a aplicação dos experimentos junto aos alunos. A quinta parte foi pedir que os alunos façam os experimentos por conta própria e a última parte, a aplicação de um questionário sobre como foi o efeito dessas tarefas experimentais no processo de aprendizado dos estudantes.

O presente trabalho é constituído por 8 capítulos, além dessa parte introdutória. O segundo é uma fundamentação teórica sobre os usos da TICs, com algumas revisões bibliográficas, e a abordagem experimental. O terceiro capítulo traz a fundamentação teórica, que traz as teorias da aprendizagem envolvidas nesse trabalho. O quarto capítulo aborda os conceitos físicos presentes nos roteiros elaborados e executados pelos alunos. O quinto capítulo traz noções básicas de cálculo de desvio absoluto e erro relativo. O sexto se dedica a descrever o aplicativo utilizado nos experimentos. O sétimo será dedicado à metodologia adotada, os experimentos e a aplicação do produto educacional. No oitavo capítulo serão apresentados os resultados coletados da aplicação do produto educacional com os discentes. Por fim, o nono capítulo será dedicado às considerações finais desta dissertação.

## **2 O USO DAS TICS E A ABORDAGEM EXPERIMENTAL**

### **2.1 As TICs e o uso do smartphone**

Com a evolução da internet e do desenvolvimento aplicativos para smartphones, a todo momento nos comunicamos e nos informamos com o uso de tecnologias, realizando pesquisas em sites de busca ou tendo diálogos nas redes sociais. Os aparelhos celulares são as maiores fontes de informações existentes na atualidade, estando fortemente presentes na sociedade da informação e do conhecimento (SIC). Não há como viver sem um aparelho celular no dia a dia, pois realizamos várias tarefas com a utilização do mesmo. Além de ser um instrumento da tecnologia de informação e comunicação (TIC), ele permite ao usuário várias funcionalidades, como jogos, acesso às redes sociais, transações bancárias, ouvir músicas, assistir filmes, baixar aplicativos, se localizar, etc.

O principal grupo adepto ao uso das TIC são os jovens. Sendo assim, é natural que esses indivíduos tenham facilidade em manusear o celular e utilizar suas funções. O uso do celular pelos jovens pode ter ou não um propósito pré-determinado influenciando na maneira que eles aprendem, se desenvolvem intelectualmente, enxergam o mundo. Contudo, não basta que eles saibam manuseá-lo mas que o processo de recepção de informações seja otimizado (Valente, 2005).

A evolução das novas tecnologias de informação e comunicação (TICs) nas últimas décadas tem sido um dos mais significativos fatos que interferem área da educação. Nesse sentido, a incorporação de TICs no ensino de Física apresenta um papel fundamental, pois isso faz com que conhecimentos adquiridos em sala de aula sejam integrados com os tecnológicos, além de despertar as habilidades de alunos e professores.

Com o intuito de potencializar os benefícios do uso da metodologia de oficinas, podem ser associadas a ela as Tecnologias da Informação e Comunicação (TIC) e as demonstrações experimentais. Sabemos que no ensino de física as tecnologias podem ser utilizadas para problematizar situações reais, no entanto, não serão elas capazes de solucionar todas as dificuldades enfrentadas hoje na educação. As TIC podem auxiliar o professor na tarefa de mobilizar os alunos para aprendizagem, a utilização e interação com simuladores, animações, vídeos, áudios, hipertexto, laboratórios virtuais e demais softwares educacionais podem ser convenientes, pois dissolvem a monotonia pelo ensino tradicional, baseado em aulas expositivas, resolução de exercícios e a leitura de textos. Ao exemplificar o conteúdo de uma maneira mais interativa e lúdica, o aluno pode se sentir mais motivado a aprender (Charlot,



2000).

Segundo Santos (2006), as dificuldades que os alunos possuem na aprendizagem dos conceitos da Física estão associados aos métodos tradicionais de ensino e à carência de dispositivos pedagógicos modernos e de ferramentas que melhorem o processo de aprendizagem. Moreira (2002), afirma que, apesar do grande avanço da pesquisa acadêmica sobre o ensino de Física no Brasil, a aplicação desses resultados em sala de aula ainda é muito escassa. Segundo o autor, os resultados dessas pesquisas em ensino de física ainda encontram resistências em virtude da visão tradicional de ensino ainda presente em vários professores na área.

De acordo com Capelari (2016), a inserção das TICs nas aulas de Física pode ser realizada por meio de diversos aparatos tecnológicos, tais como: simuladores, vídeos, filmes, softwares computacionais, internet, etc. Dessa forma, um professor que adota essa prática pedagógica, fará com que suas aulas sejam muito mais dinâmicas, lúdicas e dentro da realidade do aluno, de maneira que haverá uma aprendizagem significativa por parte deste.

O uso das TICs como recursos didáticos produz mudanças reais em sala de aula, pois contribui para um processo de ensino-aprendizagem mais dinâmico, além de fazer uma conexão com o cotidiano dos estudantes e propiciar uma aprendizagem mais significativa.

A utilização da tecnologia em sala de aula deve servir como meio para a prática de um novo modelo de educação, que permita ao aluno e professor participarem de forma conjunta do processo de criação, quebrando o paradigma da educação tradicional, instrucional e unilateral, do mestre para o aluno, permitindo ao professor encontrar no tratamento da interatividade os fundamentos da comunicação, potencializando um novo ambiente de ensino e aprendizagem. Comunicar em sala de aula passa a significar: disponibilizar a participação e exploração livre e plural dos alunos, de modo que a apropriação das informações, a utilização das tecnologias de comunicação e a construção do conhecimento aconteçam como criação conjunta e não simples transmissão (Gonzaga Júnior, 2009, p. 117).

Envolver as TICs no ensino não consiste em apenas utilizar-se de recursos tecnológicos, como computador ou celular na aula ou propor que a turma realize uma pesquisa e a reproduza em seus cadernos. A priori, o professor precisa ser familiarizado às tecnologias, e ele ainda deve procurar meios de levar tal artifício a corroborar com suas metodologias. Esse trabalho é complexo, pois os estudantes não estão habituados e não são orientados a enxergarem as tecnologias com uma funcionalidade educativa (Almeida; Silva, 2011, p. 5).

Atualmente, existem diversas ferrmantas presentes em um smartphone que podem ser utilizadas no ensino de Física, como por exemplo, aplicativos e jogos. Entretanto, o aparelho

celular é encarado por alguns professores como um vilão que faz com que os alunos não prestem atenção nas aulas, que faz com que as pessoas se afastem, e que muitas vezes pode atrapalhar o processo de aprendizagem. Sendo assim, as TICs podem se tornar uma grande ferramenta pedagógica para os professores de Física, já que essa ciência natural possui um caráter experimental e investigativo. Outra grande vantagem é que não há a necessidade de ter um laboratório de Física para realizar experimentos de alto custo e de difícil acesso, pois existem aplicativos desenvolvidos por físicos que constituem um verdadeiro laboratório de bolso (por se tratar de um celular). “As simulações podem ser bastante úteis, principalmente quando a experiência original for impossível de ser reproduzida pelos estudantes” (Medeiros; Medeiros, 2002, p. 3).

Considerando que este trabalho trata da utilização das TICs para a realização de experimentos de física básica, foi realizada uma pesquisa na *internet* (bancos nacionais de teses e dissertações) com o objetivo de encontrar trabalhos que possuam a aplicação das TICs. Um desses trabalhos foi desenvolvido por João (2016), que teve como título *Aulas-oficina de física moderna integrando TIC e demonstração experimental*, trabalho foi desenvolvido no Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física, na Universidade Federal de São Carlos (UFSCar).

Segundo João, seu trabalho propõe a instrumentalização do professor com ferramentas de inovação e de contextualização para o processo ensino-aprendizagem de física, baseada no uso das Tecnologias da Informação e Comunicação (TIC) e das práticas experimentais. Como produto foram elaborados roteiros detalhados para a implementação da metodologia e oferta das oficinas em salas de aulas sobre tópicos de Física Moderna (FM). Realmente os equipamentos para a realização de experimentos que envolvem Física Moderna são relativamente caros e exigem muito domínio do experimentador. Neste trabalho, professores de Física do Ensino Médio são capacitados a trabalhar com simuladores que envolvem assuntos como difração da luz, efeito fotoelétrico e determinação da constante Planck através de simuladores.

De acordo com João (2016), a proposta de formação parece ter ajudado os professores a compreender como os diversos tópicos abordados – metodologia de oficina, TIC, experimentação, atividades investigativas e planejamento de aulas– poderiam ser plausíveis para as aulas de ensino médio. É importante que durante a formação continuada o professor esteja envolvido em todas as etapas, sendo também proponente e ator de sua própria aprendizagem.

Outro trabalho interessante foi o desenvolvido por Araújo (2019), cujo tema foi *O ensino de Física mediado pelas tecnologias da informação (TICs): a construção e aplicação*

*de um ambiente hipermediático para o ensino da natureza da luz.*

De acordo com Araújo, seu trabalho trata da elaboração de um Ambiente Hipermediático para o Ensino de Óptica na Física do Ensino Médio. Esse ambiente é totalmente caracterizado pelo uso das TICs, com ênfase nas animações já que estas contribuem de forma significativa na superação da abstração dos conteúdos nessa área da Física. Além disso, também foram usados no seu trabalho os softwares livres para a demonstração de fenômenos envolvendo a Óptica.

Sabemos que atualmente existem várias ferramentas tecnológicas presentes em smartphones que são destaques no contexto escolar. O aplicativo é um *software* que pode ser instalado em um smartphone, em um *tablet* ou em um computador, no caso dos dois primeiros dispositivos citados a instalação é principalmente por meio das chamadas lojas de aplicativos, tais como Appstore e Google play, para sistema IOS e Android, respectivamente.

Neste contexto os smartphones são os dispositivos com o preço mais acessível dentre os citados no parágrafo anterior. Sua utilização no ensino de Física é primordial, pois eles são utilizados pelos alunos como ferramenta de comunicação e informação, e seu acesso em massa permite projetar atividades educativas de diferentes características.

## **2.2 Abordagem experimental**

A Física, como ciência que estuda a natureza, tem na experimentação um forte aliado na busca por desvelar esta natureza. A humanidade sempre se preocupou em entender a natureza e seus fenômenos, mediante a fundamentação de inúmeros conhecimentos. Neste processo, a experimentação sempre esteve presente como coadjuvante no processo evolutivo da Física, mostrando ao longo da história o seu status de ciência da experiência (Rosa, 2003).

Segundo Araújo e Abib (2003), a experimentação, portanto, torna-se um coadjuvante no processo de aprendizado da Física. No contexto educacional, a utilização de experimentos para o ensino da Física tornam-se essenciais.

É comum alunos crescerem com certa antipatia por matemática por não conseguirem aprender seus conteúdos. Muitos alunos têm a crença que matemática é uma disciplina difícil, devido a memorização cansativa de termos e nomenclaturas, por exemplo. Essa crença prejudica o ensino de matemática.

Desinteresse por parte dos alunos nas aulas de Física e as suas notas abaixo da média nas avaliações podem estar relacionados ao fato de alguns professores não possuírem, em alguns casos, uma formação acadêmica adequada à disciplina que ministra, ou por não usar

metodologias adequadas ou simplesmente não usar metodologias inovadoras, nem recursos didáticos em suas aulas, fazendo com que o aluno não tenha nenhum estímulo ao estudo na área de Física, tornando assim nenhuma compreensão e nem aprendizado da disciplina. Apesar desses fatores muitos professores ainda ensinam a Física de forma matematizada. Além disso, geralmente, o ensino de Física nas escolas costuma ser predominantemente teórico, com aulas expositivas, pouco atrativas aos alunos. Grande parte deles não se interessa pela disciplina por não conseguirem ver sentido na mesma, pois muitos docentes ficam presos a fórmulas e equações físicas. O sentido físico das atividades fica em segundo plano. Em geral, o professor trabalha dando extrema importância as fórmulas e aos resultados. Assim, o que não pode continuar são as aulas de Física dadas de maneira mecânica, com preocupação quase que absoluta em cumprir o conteúdo, não levando em conta o ritmo de cada turma e o desenvolvimento das competências desejadas ao final de cada conteúdo (Silva; Silva, 2016).

Qualquer que seja o grau de ensino em que os professores de ciências exerçam a sua docência todos eles são formadores de pessoas que terão, sem dúvida, um papel a desempenhar numa sociedade que está em permanente evolução nas mais diversas áreas, especialmente nas áreas das ciências e tecnologias. Aquilo que se pede hoje a um cidadão, a um profissional e até a um pai ou uma mãe, é com certeza diferente do que se pedia há umas décadas atrás e, muito provavelmente, diferente do que se pedirá na altura em que os atuais formados tiverem que exercer a sua atividade na sociedade, qualquer que seja a sua profissão. O papel da componente experimental da aprendizagem em ciências na formação do futuro cidadão, capaz de atuar com eficácia na sociedade em que está inserido, irá depender, em grande escala do papel do professor no desenvolvimento da sua atividade docente e das suas perspectivas relativamente a essa componente (Thomaz, 2000).

Segundo Thomaz (2000), as propostas que têm sido formuladas para o encaminhamento de possíveis soluções indicam a orientação de se desenvolver uma educação voltada para a participação plena dos indivíduos, que devem estar capacitados a compreender os avanços tecnológicos atuais e a atuar de modo fundamentado, consciente e responsável diante de suas possibilidades de interferência nos grupos sociais em que convivem.

Os Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio concebem a disciplina de Física como cultura ampla e como cultura prática, assim como a ideia de uma ciência a serviço da construção de visão de mundo e a formação de competências humanas amplificadas. Assim, será permitida “[...] a formação geral em oposição à formação específica; o desenvolvimento de pesquisar, buscar informações, analisá-las e selecioná-las; a capacidade de aprender, criar, formular, ao invés do simples exercício de memorização.” (Brasil, 1999a, p. 6).

O ensino de Física no Ensino Médio, de acordo com o que está descrito neste mesmo documento, deve contribuir para:

[..] a formação de uma cultura científica efetiva, que permita ao indivíduo a interpretação dos fatos, fenômenos e processos naturais, situando e dimensionando a interação do ser humano com a natureza como parte da própria natureza em transformação. Para tanto, é essencial que o conhecimento físico seja explicitado como um processo histórico, objeto de contínua transformação e associado às outras formas de expressão e produção humanas. É necessário também que essa cultura em Física inclua a compreensão do conjunto de equipamentos e procedimentos, técnicos ou tecnológicos, do cotidiano doméstico, social e profissional (Brasil, 1999b, p. 22).

A física experimental é uma metodologia necessária para que os alunos compreendam os fenômenos e/ou equações que fundamentam um fenômeno físico mostrado a nível teórico em sala de aula. A experimentação, portanto, torna-se uma importante ferramenta didática a ser utilizada pelos professores no ensino básico, já que o uso de experimentos para o ensino de física torna-se fundamental para uma aprendizagem significativa. As aulas práticas constituem um fator muito decisivo, pois estimulam a curiosidade e o interesse dos estudantes, permitindo que se envolvam em investigações científicas, ampliem a capacidade de resolver problemas, compreender conceitos básicos e desenvolver habilidades. Além disso, quando os alunos se deparam com resultados não previstos, seu raciocínio e sua imaginação são desafiados. As atividades experimentais, quando bem planejadas, são recursos importantíssimos no ensino.

As experimentações práticas nas aulas da disciplina de Física podem ser consideradas uma metodologia que permite trazer para o ambiente escolar aquilo que o aluno utiliza no seu cotidiano, possibilitando uma aproximação entre os conceitos científicos discutidos nas atividades experimentais e os adquiridos de forma espontânea (Rosa, 2003).

As aulas experimentais de física podem ser consideradas como estímulos, na qual os alunos participam interagindo com experimentos, e, de forma simultânea, colocam em prática os conteúdos que foram abordados teoricamente em sala de aula. Dessa forma, com o conhecimento prévio trazido pelo aluno, mas informações serão obtidas através da experimentação e da observação do fenômeno ocorrendo em tempo real. Além disso, as aulas experimentais tendem a melhorar o trabalho em grupo, promovendo uma interação entre os discentes para compreender de modo significativo o que está ocorrendo durante a atividade experimental.

Compreende-se, então, como as atividades experimentais são enriquecedoras para o aluno, uma vez que elas dão um verdadeiro sentido ao mundo abstrato e formal das linguagens. Elas permitem o controle do meio ambiente, a autonomia face aos objetos técnicos, ensinam as técnicas de investigação, possibilitam um olhar crítico sobre os

resultados. Assim, o aluno é preparado para poder tomar decisões na investigação e na discussão dos resultados. O aluno só conseguirá questionar o mundo, manipular os modelos e desenvolver os métodos se ele mesmo entrar nessa dinâmica de decisão, de escolha, de inter-relação entre a teoria e o experimento (Seré; Coelho; Nunes, 2003, p. 39).

Sabemos que alguns conteúdos em Física são altamente abstratos, de forma que fica difícil a compreensão por parte dos estudantes. Em virtude desse fato, a realização de experimentos é crucial para que o fenômeno seja perfeitamente compreendido. Outra saída é a busca por ferramentas tecnológicas, caso não se tenha um laboratório de Física na escola, as quais podem facilitar o processo de ensino-aprendizagem acerca de um conteúdo difícil de ser assimilado.

Muitos professores acreditam que o ensino experimental exige um laboratório montado com materiais e equipamentos sofisticados, situando isto como a mais importante restrição para o desenvolvimento de atividades experimentais. Acredito que seja possível realizar experimentos na sala de aula, ou mesmo fora dela, utilizando materiais de baixo custo, e que isto possa até contribuir para o desenvolvimento da criatividade dos alunos. Ao afirmar isto, não quero dizer que dispense a importância de um laboratório bem equipado na conclusão de um bom ensino, mas acredito que seja preciso superar a ideia de que a falta de um laboratório equipado justifique um ensino fundamentado apenas no livro didático (Rosito 2003 *apud* Moraes, 2014, p. 6).

As atividades experimentais são consideradas ferramentas eficazes para a contextualização do ensino da Física, abrangendo desde a mera verificação de leis e teorias até experimentos que privilegiam as condições para os alunos refletirem a respeito dos fenômenos e conceitos abordados, visando uma reestruturação conceitual (Couto, 2009).

### 3 AS TEORIAS DE APRENDIZAGEM DE VYGOTSKY E DE AUSUBEL

#### 3.1 Vygostky – Sócio - Construtivismo

A teoria de Vygotsky se encontra baseada na cognição, em que o aluno aprende conforme ele conhece, compreende e dá significado àquilo que está sendo discutido ou apresentado. Para Vigotsky (1998), a aprendizagem depende das relações criadas entre as informações recebidas e os conhecimentos já adquiridos. Isso tudo pode ser facilitado pela mediação oferecida no contexto social. De acordo com Moreira, “[...] o desenvolvimento cognitivo não ocorre independente do contexto social, histórico e cultural” (Moreira, 2011, p. 107).

Vigotsky afirma que o desenvolvimento cognitivo depende do que se denomina Zona de Desenvolvimento Proximal (ZDP). Este conceito refere-se à distância entre o conhecimento real cognitivo do discente e os conceitos que devem ser compreendidos. Esta distância, em várias situações, origina as dificuldades no aprendizado e, segundo Ostermann e Cavalcanti (2010), estas dificuldades são superadas quando os alunos interagem de forma direta ou indireta com um mediador. Este mediador pode ser um professor, pode ser um colega de um nível mais avançado ou até mesmo um aprendiz com o mesmo nível de conhecimento (Ostermann; Cavalcanti, 2010).

As relações sociais, na teoria de Vygotsky, influenciam e até determinam as condições de sucesso ou de fracasso no aprendizado de uma determinada informação (Moreira, 2011). Para Moreira: “A interação social implica um mínimo de duas pessoas intercambiando significados. Implica também um certo grau de reciprocidade e bidirecionalidade, i.e., um envolvimento ativo, de ambos os participantes” (Moreira, 1997, p. 25).

No processo de ensino-aprendizagem em uma sala de aula, a teoria de aprendizagem de Vygotsky aparece de forma nítida quando o docente sugere trabalhos em grupo ou algum tipo de interação do aluno com a turma, o que está diretamente associado à chamada Zona de Desenvolvimento Proximal (Pereira, 2001).

Como a Física é uma ciência natural, ela se preocupa, em grande parte, com o ensino de conceitos científicos. De acordo com a teoria de Vigotsky, existem dois tipos de conceitos: os espontâneos, que são formados a partir da vivência do estudante, e os científicos, que são aprendidos em uma sala de aula. O conceito científico não pode ser assimilado por uma simples memorização, já que ações complexas são exigidas. Dessa forma, a formação de um conceito científico inicia no momento em que o aluno entra em contato com o termo novo. É nesse

momento que a formação de conceitos, relativas a um objeto, não é alcançada apenas pela memorização de palavras. Para tal, deve surgir um problema que só possa ser resolvido pela formação do conceito novo (Vigostsky, 2009).

Uma aplicação satisfatória da Zona de Desenvolvimento Proximal (ZDP) seria então a proposta de trabalhos em grupos, pois o discente com seus colegas que constituem o grupo desenvolvem todo um conhecimento com e/ou sem a intervenção do docente, estando este, pronto a fazer qualquer observação ou sugestão caso ocorra algum problema na atividade proposta aos estudantes.

Em seu trabalho sobre teorias de aprendizagem, Präss, ao introduzir a teoria de Vygotsky sobre a ZDP grafa exatamente sobre o que está descrito no parágrafo anterior: “Nesta zona, em colaboração com o adulto, a criança poderia adquirir com maior facilidade o que seria incapaz de conseguir se limitar-se a suas próprias forças” (Präss, 2012).

Quando dominamos um determinado assunto, somos capazes de resolver problemas ou conversar sobre esse assunto, de forma independente, ou seja, sem o auxílio de alguém. Por outro lado, caso não tenhamos segurança em um determinado assunto, há a necessidade da interação com alguém, para discutí-lo, entendê-lo e adquirir domínio sobre o mesmo. Para que haja a construção do conhecimento, o docente deverá ser capaz de se comunicar, dentro da zona de conhecimento proximal do aluno, para que este, possa formular seus novos conceitos, a partir dos conceitos já adquiridos.

Em virtude da diferença nos níveis de aprendizagem entre os alunos que fazem parte de uma sala de aula, o trabalho em equipe é uma saída bastante promissora, uma vez que, devido à heterogeneidade de cada grupo todos acabam por se ajudarem. O aluno mais inteligente, porém mais introvertido, colabora com os colegas que não conseguem acompanhar a matéria, ao passo que, os que não dominam o assunto, mas são extrovertidos, ajudam o outro colega a se socializar melhor. Dessa forma, todos saem ganhando (Folque, 1999).

A escolha desse teórico para o desenvolvimento desse trabalho se deve ao efeito da interação entre alunos de séries diferentes, habilidades distintas, pois alguns dominam mais tecnologia de que outros, enquanto que alguns têm um pouco mais de habilidade matemática. Dessa forma, possivelmente a interação entre discentes com habilidades distintas, assim como diferentes faixas etárias, o processo de aprendizagem se torna mais dinâmico e com poucas intervenções do professor.



### 3.2 Ausubel – Aprendizagem significativa

A teoria da Aprendizagem Significativa de Ausubel, segundo Moreira (2016a) surgiu em meados da década de 60, quando o processo de ensino-aprendizagem era constituído pré-estímulos, respostas e reforço, um processo completamente behaviorista. Nesse período, Ausubel surge enfatizando o conceito de aprendizagem significativa. Para ele, aprendizagem significativa é quando o significado lógico do que se vai aprender se transforma em significado para o aprendiz. Isso nos permite entender que essa teoria propõe que o conhecimento prévio que o aluno traz consigo deve ser valorizado. Esse conhecimento na teoria da aprendizagem significativa de Ausubel é chamado de conceito subsunçor.

De acordo a teoria da aprendizagem significativa, o discente é considerado um sujeito que aprende e que pode ser moldado ou mudado a partir dos ensinamentos que lhe é oferecido. A teoria da aprendizagem significativa leva em conta aquilo que o aluno possui de conhecimento prévio, considerando tal conhecimento de extrema importância para colocar em prática o processo de ensino-aprendizagem.

Em Física, por exemplo, se os conceitos de força e campo já existem na estrutura cognitiva do aluno, eles servirão de subsunçores para novas informações referentes a certos tipos de força e campo como, por exemplo, a força e o campo eletromagnéticos. Entretanto, este processo de ancoragem da nova informação resulta em crescimento e modificação do conceito subsunçor. Isso significa que os subsunçores existentes na estrutura cognitiva podem ser abrangentes e bem desenvolvidos ou limitados e pouco desenvolvidos dependendo da frequência com que ocorre aprendizagem significativa em conjunção com um dado subsunçor. No exemplo dado, uma ideia intuitiva de força e campo serviria como subsunçor para novas informações referentes a forças e campos gravitacional, eletromagnético e nuclear, porém na medida que esses novos conceitos fossem aprendidos de maneira significativa, isso resultaria num crescimento e elaboração dos conceitos subsunçores iniciais. Isto é, os conceitos de força e campo ficariam mais elaborados, mais exclusivos e mais capazes de servir de subsunçores para novas informações relativas a forças e campos ou correlatas (Moreira; Masini, 1982).

Para obter uma aprendizagem significativa, é preciso que os alunos sejam desafiados, com o objetivo de desenvolver ou alterar os conhecimentos prévios trazidos com eles. Questionamentos de conceitos ou leis não são suficientes para a aprendizagem significativa efetiva (Moreira; Masini; Salzano, 2006 *apud* Santos, 2017). Dessa forma, o docente precisa estimular os conflitos cognitivos do aluno para que ele tenha um anseio para a busca desse novo conhecimento. Esta busca leva ao que denominamos “sede de aprender” que,

de acordo com a analogia de Rubens Alves (2002), quando o professor consegue “seduzir” o aluno, este, por sua vez, sente-se diante de um mágico e deseja, por consequência entender como o professor conseguiu tal façanha. Para este autor, o lema “Não quero faca, nem queijo, eu quero fome” mostra que, a aprendizagem significativa inicia-se com a fome, porém, infelizmente, as escolas oferecem a faca e o queijo, mas não dão fome para as crianças. E este é o verdadeiro papel dos professores: educar e não simplesmente dar aulas (Alves, 2002).

Infelizmente, há anos no Brasil o Ensino de Física é executado por uma aprendizagem praticamente mecânica. A memorização de equações ainda é um fato muito recorrente no ambiente escolar e, além disso, para desenvolver um certo conteúdo de Física, não se observa o que os alunos trazem de conhecimentos prévios que possam fazer com que o novo conceito seja mais fácil de ser aprendido. Muitos estudantes relatam que a física é muito complicada e que somente os mais inteligentes da sala podem aprender essa disciplina. O ensino de física é feito geralmente sem experimentação, tanto real quanto virtual. Com a aprendizagem significativa, o ensino de física pode ser muito mais atrativo, principalmente com o uso de tecnologias, algo enfaticamente dominado pelos estudantes atualmente. Se aproveitar desse fato pode ajudar e muito o ensino de física através dos conhecimentos prévios dos alunos sobre a física do cotidiano e das tecnologias utilizadas por eles. O aluno, por exemplo, já tem uma noção de velocidade do som, de gravidade, e de outros temas que estão presentes no seu cotidiano.

A escolha desse teórico para o desenvolvimento desse trabalho se deve fato dos alunos trazerem conhecimentos prévios sobre o uso da tecnologia através de um celular. Além disso, antes da aplicação do produto educacional, o estudantes já tinha um conhecimento prévio sobre alguns fenômenos físicos básicos, como saber que o som possui uma velocidade e que existe aceleração da gravidade que faz com que os corpos caiam. São conceitos básicos vistos no ensino fundamental. A aplicação do produto educacional mostra que existem experimentos simples e equações básicas que servem para estudar quantitativamente os fenômenos citados, agregando informações novas aos estudantes.

## 4 CONCEITOS FÍSICOS

Este capítulo trata dos conceitos presentes na Física que estão relacionados com os roteiros experimentais desenvolvidos para este trabalho. Como referências foram usados os livros Halliday & Resnick (2016), Bauer, Westfall & Dias (2013), Young & Freedman (2016) e Knight Randall (2009) .

### 4.1 Movimento unidimensional

Esse tópico aborda o movimento apenas em um direção do espaço. Ele é primordial e serve de base para os experimentos realizados pelos estudantes durante a aplicação do produto educacional.

O universo em que vivemos está em constante mudança e em movimento, desde a escala microscópica até a macroscópica, de forma que tudo na natureza se encontra em movimento em relação a determinado sistema de referência.

Enquanto você lê este texto, os ponteiros dos relógios estão se movendo para a frente de forma inexorável. As estrelas parecem tão permanentes como tudo o mais, embora o telescópio do astrônomo revele que elas se movem sem cessar dentro de galáxias, que por sua vez giram e orbitam em torno de outras galáxias (Knight, 2009a, p. 2).

A busca pela compreensão do movimento remonta à antigüidade. Os antigos babilônios, chineses e gregos eram especialmente interessados pelos movimentos celestes no céu noturno. O filósofo e cientista grego Aristóteles escreveu sistematicamente acerca da natureza dos objetos em movimento. Todavia, nossa compreensão moderna do movimento não começou, de fato, até que Galileu (1564-1642) primeiro formulasse os conceitos do movimento em termos matemáticos. E foi preciso Newton (1642- 1727) e a invenção do cálculo para pôr os conceitos do movimento sobre uma base firme e rigorosa (Knight, 2009a, p. 2 e 3).

#### 4.1.1 *Deslocamento, tempo e velocidade média*

Considere um carro se movimentando ao longo de uma pista retilínea apenas em uma direção, a qual adotaremos como direção  $x$ . A localização desse móvel, o qual consideraremos como uma partícula, é feita em relação à origem desse sistema de abscissas. Uma forma útil de descrever movimento desse carro é, para cada posição (ou abscissa) ter um

instante associado. Em outras palavras, devemos verificar como a posição desse veículo varia com o passar do tempo. A Figura 1 mostra um carro em posições diferentes de uma mesma estrada retilínea, de forma que, para cada posição há um instante correspondente.

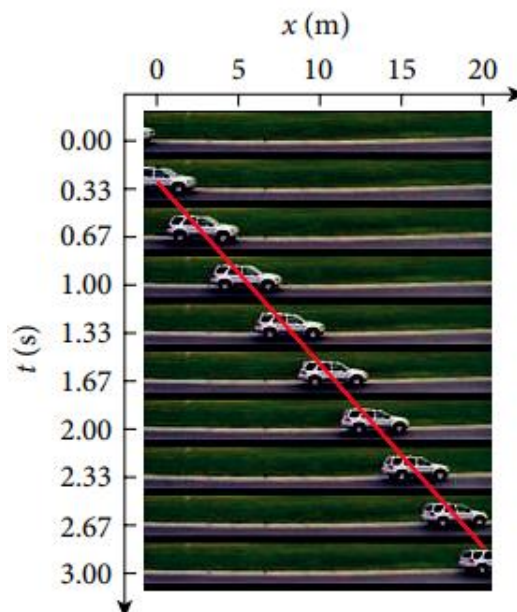
Figura 1 – Movimento unidimensional de um carro em uma pista.



Fonte: Bauer, Westfall e Dias (2012, p. 37).

As posições do carro e o seus respectivos instantes podem ser plotados em um gráfico, ferramenta que facilita a análise do movimento do carro em questão. A Figura 2, mostra o gráfico da variável dependente (posição  $x$ ) em função da variável independente (instante  $t$ ).

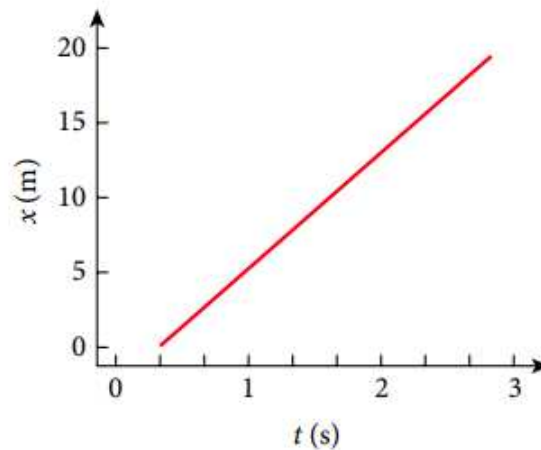
Figura 2 – Representação gráfica do movimento do carro.



Fonte: Bauer, Westfall e Dias (2012, p. 37).

Quando se esboça um gráfico para descrever o comportamento de uma variável dependente em função de uma independente, esta fica representada no eixo horizontal, enquanto que a primeira citada fica no eixo vertical, conforme mostra a Figura 3.

Figura 3 – Representação gráfica do movimento do carro, com os valores das posições na vertical e com os valores dos instantes na horizontal.



Fonte: Bauer, Westfall e Dias (2012, p. 37).

Observando o gráfico plotado na Figura 3, podemos estimar o deslocamento sofrido pelo carro entre dois instantes quaisquer. Por exemplo, no instante  $t_1 = 1$  s, a posição do veículo é estimada em  $x_1 = 5$  m, enquanto que no instante  $t_2 = 2$  s, a posição estimada vale  $x_2 = 10$  m. Nota-se que houve uma variação da posição, a qual é denominada **deslocamento**. Dessa forma, o deslocamento em um movimento unidimensional (nesse caso no eixo  $x$ ) é definido por:

$$\Delta x = x_2 - x_1 \quad (1)$$

Para o movimento descrito pelo carro, podemos afirmar que o deslocamento vale  $\Delta x = 5$  m.

A partir do deslocamento e da variação temporal em que ele ocorre, podemos determinar a velocidade média desse móvel. Essa grandeza física é definida da seguinte forma:

$$v_m = \frac{\Delta x}{\Delta t} \quad (2)$$

Dessa forma, para o veículo mostrado, o valor numérico da velocidade média é dado por:

$$v_m = \frac{x_2 - x_1}{t_2 - t_1} \quad (3)$$

$$v_m = \frac{10 - 5}{2 - 1} \quad (4)$$

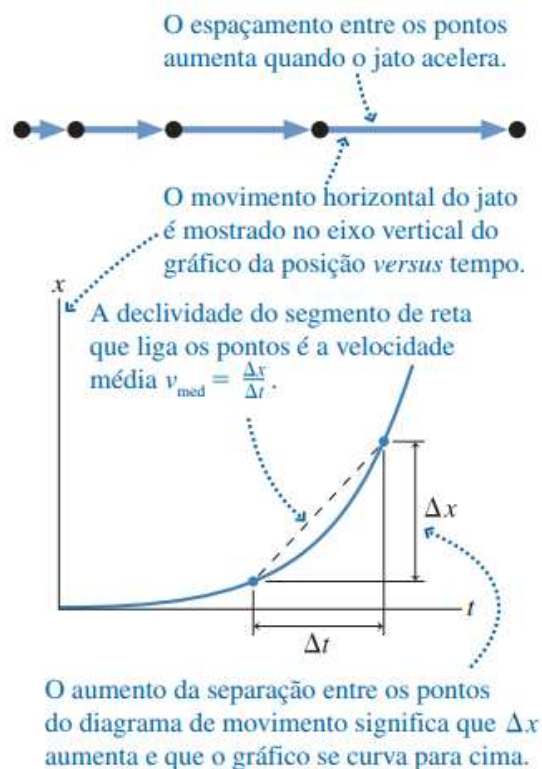
$$v_m = 5 \text{ m/s} \quad (5)$$

Ao se observar o gráfico mostrado na Figura 3, verifica-se que a variação da posição é proporcional à variação de tempo, de modo que a razão entre elas é sempre constante, caracterizando um movimento no qual o valor numérico da velocidade permanece constante. Esse tipo de movimento é denominado movimento retilíneo uniforme, no qual o comportamento da posição com o tempo é uma função do 1º grau.

#### 4.1.2 Velocidade instantânea

A Figura 4 mostra um gráfico da posição de um corpo, que realiza um movimento unidimensional.

Figura 4 – Gráfico da posição pelo tempo de um corpo em movimento unidimensional.



Fonte: Knight (2009a, p. 38).

Percebe-se agora que não se trata de um movimento com velocidade com valor numérico constante, pois o gráfico da posição ( $x$ ) em função do tempo ( $t$ ) não é uma reta,

comportamento descrito pelo carro no tópico anterior.

Apesar de não ser um movimento com velocidade constante, podemos determinar a velocidade média entre dois instantes quaisquer. Analisando o gráfico, foram escolhidos dois pontos nos quais existem duas posições associadas a um intervalo de tempo  $\Delta t$ . Dessa forma, a velocidade média pode ser determinada pela declividade do segmento de reta que une os dois pontos mostrados.

Todavia, a velocidade média tem utilidade limitada para um objeto cuja velocidade não seja constante. Por exemplo, suponha que você trafegue com seu carro em linha reta por exatamente 1 h, percorrendo exatamente 60 km. Tudo o que você pode concluir dessa informação é que sua velocidade média foi  $v_{med} = 60$  km/h. É inteiramente possível que você tenha dirigido lentamente no início da viagem e, depois, acelerado. Se você tivesse mantido o olho no velocímetro durante 10 minutos no início da viagem, teria visto registrada no velocímetro uma velocidade menor do que 60 km/h. De modo similar, você teria visto o velocímetro marcar mais do que 60 km/h nos 10 minutos finais da viagem (Knight, 2009a, p. 38).

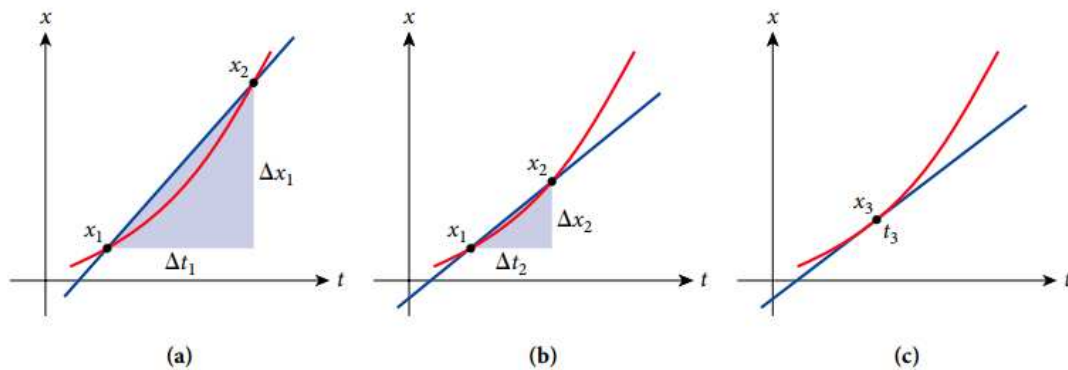
Para se compreender a diferença entre velocidade média e velocidade instantânea basta observar os gráficos mostrados na Figura 5. No gráfico (a) podemos afirmar que entre as posições  $x_1$  e  $x_2$  descritas por um móvel há um intervalo de tempo  $\Delta t_1$  considerável, de forma que o módulo da velocidade é dado pela razão  $\Delta x_1/\Delta t_1$ . No gráfico (b) apesar de termos um intervalo tempo  $\Delta t_2$  menor do que  $\Delta t_1$ , ele ainda é considerável (o mesmo ocorrendo com a variação das posições nesse caso). Como a velocidade média está associada à declividade do segmento de reta, percebe-se que a velocidade média em (a) possui um valor maior do que em (b). Já no gráfico (c), o intervalo de tempo tende a um valor quase nulo, ou seja,  $\Delta t \rightarrow 0$ , e o mesmo ocorre com a variação da posição, de forma que eles são diferenciais. Para este tipo de situação, afirmamos que a velocidade é instantânea e é definida pela seguinte expressão:

$$v = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{x(t + \Delta t) - x(t)}{\Delta t} \quad (6)$$

Essa expressão traduz que a velocidade instantânea é a derivada da posição em função do tempo, ou seja:

$$v = \frac{dx}{dt} \quad (7)$$

Figura 5 – Gráficos para se entender a diferença entre velocidade média e velocidade instantânea.



Fonte: Bauer, Westfall e Dias (2012, p. 41).

A velocidade em um dado instante é obtida a partir da velocidade média reduzindo o intervalo de tempo  $\Delta t$  até torná-lo próximo de zero. Quando  $\Delta t$  diminui, a velocidade média se aproxima cada vez mais de um valor limite, que é a velocidade instantânea (Halliday; Resnick, 2016b, p. 62).

#### 4.1.3 Aceleração instantânea e aceleração média

Assim como a posição pode variar em função do tempo, a velocidade também pode sofrer uma variação temporal. A essa taxa de variação da velocidade no decorrer do tempo chamamos de aceleração.

Um exemplo dado por Knight (2009a) é o seguinte: Suponha que realizemos uma corrida entre um fusca e um Porsche para descobrir qual dos dois carros atinge a velocidade de 30 m/s (108 km/h) no tempo mais curto. Os carros seriam equipados com computadores para registrar as leituras do velocímetro 10 vezes a cada segundo. Isso forneceria uma gravação aproximadamente contínua da velocidade *instantânea* de cada carro. A Figura 6 mostra os valores de velocidade a medida que o tempo passa para cada veículo.



Figura 6 – Valores de velocidade para o Porsche e para o Fusca.

$t(s)$	$v_{Porsche} (m/s)$	$v_{Fusca} (m/s)$
0,0	0,0	0,0
0,1	0,5	0,2
0,2	1,0	0,4
0,3	1,5	0,6
0,4	2,0	0,8
⋮	⋮	⋮

Fonte: Knight (2009a, p. 48).

Ao analisar os valores de velocidade para cada veículo, percebe-se que o Porsche sofre uma mudança na velocidade muito mais significativa que o Fusca para um mesmo intervalo de tempo. Por exemplo, até o instante  $t = 0,4$  s, o veículo mais rápido adquire uma velocidade de 2,0 m/s, enquanto que o mais lento, 0,8 m/s.

A aceleração média é definida pela taxa de variação da velocidade em relação ao tempo, de forma que:

$$a_m = \frac{\Delta v}{\Delta t} \quad (8)$$

Ao determinar a aceleração média de cada veículo, temos:

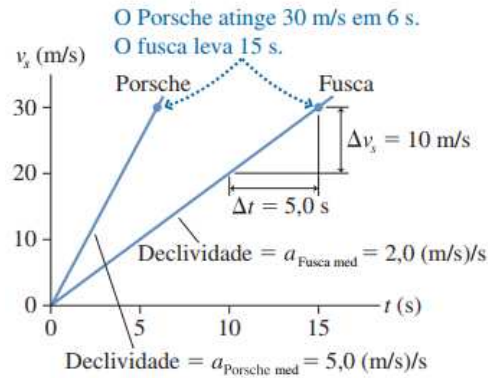
$$a_{m,Porsche} = \frac{\Delta v_{Porsche}}{\Delta t} = \frac{(2,0 - 0,0)m/s}{(0,4 - 0,0)s} \rightarrow a_{m,Porsche} = \frac{5,0 m/s}{s} = 5,0 m/s^2$$

$$a_{m,Fusca} = \frac{\Delta v_{Fusca}}{\Delta t} = \frac{(0,8 - 0,0)m/s}{(0,4 - 0,0)s} \rightarrow a_{m,Fusca} = \frac{2,0 m/s}{s} = 2,0 m/s^2$$

Nota-se que o veículo mais rápido possui uma taxa média de variação de velocidade que vale 5,0 m/s a cada segundo, enquanto que o mais lento, 2,0 m/s a cada segundo. Podemos concluir então que a velocidade do Porsche variou rapidamente, de modo que ele possui uma grande aceleração. Por outro lado, a velocidade do fusca variou mais lentamente, então sua aceleração foi menor.

A Figura 7 mostra o comportamento gráfico das velocidades de cada veículo em função do tempo. Vale citar que, assim como a declividade de uma reta em um gráfico da posição pelo tempo corresponde à velocidade média, a declividade de uma reta em um gráfico da velocidade em função do tempo corresponde à aceleração média.

Figura 7 – Comportamento gráfico das velocidades dos dois veículos em função do tempo.



Fonte: Knight (2009a, p. 48).

Ao se analisar gráfico mostrado acima, realmente a declividade da reta para o Porsche é maior do que a da reta para o Fusca, caracterizando que o Porsche possui uma aceleração média maior do que a do Fusca. Percebe-se também que, para cada veículo, a variação da velocidade é diretamente proporcional a variação do tempo, de forma que a razão entre essas duas variações é constante. Dessa forma, cada veículo possui uma aceleração média constante. Considerando que os dois veículos se movem em uma dimensão, podemos afirmar que ambos possuem um movimento retilíneo uniformemente variado.

Da mesma forma que definimos velocidade instantânea no tópico anterior, iremos agora definir a aceleração instantânea, o que é de bastante interesse para a análise real do movimento, instante a instante. A aceleração instantânea é definida por:

$$a = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta v}{\Delta t} \quad (9)$$

$$a = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{v(t + \Delta t) - v(t)}{\Delta t} \quad (10)$$

Note que se trata da derivada da velocidade em relação ao tempo, ou seja, uma taxa de variação infinitesimal, que pode ser escrita da seguinte forma:

$$a = \frac{dv}{dt} \quad (11)$$

Como a velocidade é a derivada da posição em relação ao tempo, podemos escrever:

$$a = \frac{d}{dt} \left( \frac{dx}{dt} \right) = \frac{d^2 x}{dt^2} = \ddot{x} \quad (12)$$

Dessa forma, a aceleração é segunda derivada da posição em relação ao tempo.

É de extrema importância encontrar as expressões que mostram o comportamento da velocidade com o tempo e o da posição com o tempo em um movimento unidimensional que possui aceleração constante. Para isso, usaremos um processo de integração simples para cada caso.

Sabemos que aceleração é derivada da velocidade em relação ao tempo. Dessa forma:

$$a = \frac{dv}{dt} \quad (13)$$

$$dv = a \cdot dt \quad (14)$$

$$v(t) = \int a \cdot dt = a \int dt \quad (15)$$

$$v(t) = at + C \quad (16)$$

Podemos aplicar uma condição de contorno para encontrar a constante  $C$ . Vamos supor que, no instante  $t = 0$ , a velocidade do móvel seja  $v_0$ . Dessa forma:

$$v(0) = a \cdot 0 + C \quad (17)$$

$$v_0 = C \quad (18)$$

Logo, temos que:

$$v(t) = at + v_0 \quad (19)$$

$$v(t) = v_0 + at \quad (20)$$

Vamos agora encontrar como a posição  $x$  varia com o tempo para o movimento unidimensional estudado nesse tópico. Sabemos que a velocidade é derivada primeira da posição. Logo:

$$v = \frac{dx}{dt} \quad (21)$$

$$dx = v \cdot dt \quad (22)$$

$$dx = (v_0 + at) \cdot dt \quad (23)$$

$$x = \int (v_0 + at) \cdot dt \quad (24)$$

$$x(t) = \int v_0 dt + \int at dt = v_0 t + B_1 + a \frac{t^2}{2} + B_2 \quad (25)$$

$$x(t) = v_0 t + a \frac{t^2}{2} + B \quad (26)$$

Podemos aplicar uma condição de contorno para encontrar a constante B. Vamos supor que, no instante  $t = 0$ , a posição do móvel seja  $x_0$ . Dessa forma:

$$x(0) = v_0 \cdot 0 + a \frac{0^2}{2} + B \quad (27)$$

$$x_0 = B \quad (28)$$

Logo, temos que:

$$x(t) = v_0 t + a \frac{t^2}{2} + x_0 \quad (29)$$

$$x(t) = x_0 + v_0 t + a \frac{t^2}{2} \quad (30)$$

Essa expressão mostra como a posição de um corpo varia com o tempo. Ela é de extrema importância para analisar alguns tipos de movimentos idealizados que são estudados na Física, como o movimento de queda livre, já que este considera que o valor da aceleração é constante nas proximidades da superfície de um planeta e que os efeitos resistivos são desprezados. Esse tipo de movimento será estudado no próximo tópico e está presente em uma das atividades experimentais executadas pelos alunos.

#### 4.1.4 O movimento de queda livre

Como foi citado anteriormente, a queda livre é um movimento unidimensional que possui aceleração constante, se tratando de um movimento retilíneo uniformemente variado.

O movimento de objetos em queda tem interessado os cientistas desde a antigüidade, mas foi Galileu, no século XVII, quem primeiro realizou medições detalhadas a respeito. A história de Galileu deixando cair pesos diferentes da torre de sino inclinada de Pisa é bem conhecida, embora os historiadores não possam confirmar se ela é verdadeira. Mas torres de sino eram comuns na Itália nos dias de Galileu, de modo que ele podia facilmente realizar as medições e as observações que descreve em suas obras. Observações cuidadosamente realizadas mostram que objetos em queda de fato *não* “batem no solo” ao mesmo tempo. Existem ligeiras diferenças nos tempos de chegada, mas Galileu identificou corretamente essas diferenças como resultado da resistência do ar. Ele, então, imaginou uma situação idealizada de movimento no vácuo. Ao proceder assim, Galileu desenvolveu um *modelo* do movimento na ausência da resistência do ar que poderia valer aproximadamente para qualquer objeto real. Foi o uso inovador que Galileu fez de experimentos, modelos e matemática que fizeram dele o primeiro cientista “moderno” (Knight, 2009a, p. 54-55).

Como se trata de um movimento que ocorre na vertical, em vez de adotar uma abscissa  $x$  para a posição, iremos adotar uma ordenada  $y$  para essa grandeza, de forma que o comportamento da posição com o tempo pode ser escrita da seguinte forma:

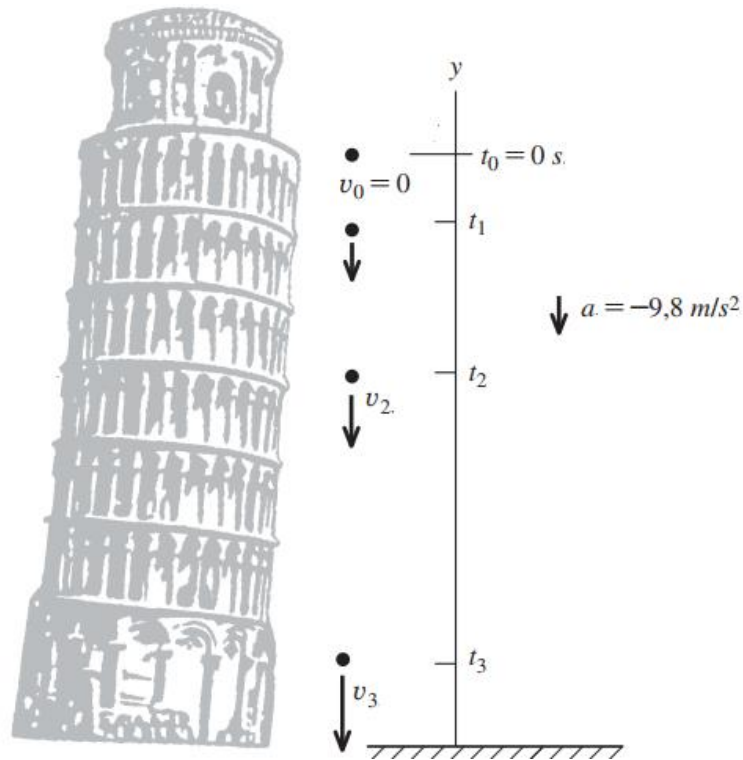
$$y(t) = y_0 + v_0 t + a \frac{t^2}{2} \quad (31)$$

Quando abandonamos um objeto na presença de um local que possui uma aceleração da gravidade de módulo  $g$ , a velocidade inicial desse corpo é nula, ou seja,  $v_0 = 0$ , de forma que a posição se comporta agora da seguinte forma:

$$y(t) = y_0 + a \frac{t^2}{2} \quad (32)$$

A Figura 8 mostra uma moeda que é abandonada de um ponto situado na torre de Pisa, de forma que ela acelera em virtude do campo gravitacional existente no local.

Figura 8 – Movimento de uma moeda que cai de um ponto da Torre de Pisa (Figura adaptada).



Fonte: Young e Freedman (2016a, p. 56).

Nota-se que, à medida que o tempo passa, a velocidade aumenta, tratando-se realmente de um movimento acelerado. Além disso, como a aceleração da gravidade possui um sentido contrário ao eixo das ordenadas, adota-se um sinal negativo que acompanha o seu valor numérico. Basta observar que, na figura, o valor numérico da aceleração vale  $a = -g$ , em que  $g$  é o módulo da aceleração da gravidade e vale, aproximadamente,  $9,8 \text{ m/s}^2$ .

Ao se adotar a ordem das ordenadas no solo ( $y = 0$ ), e a ordenada inicial  $y_0$  como sendo a altura ( $H$ ) de queda, podemos escrever a equação do movimento da seguinte forma:

$$y(t) = y_0 + a \frac{t^2}{2} \quad (33)$$

$$0 = H - g \frac{t^2}{2} \quad (34)$$

$$H = g \frac{t^2}{2} \quad (35)$$

## 4.2 Ondas sonoras

As ondas constituem um dos principais campos de estudo da física. Para que o leitor tenha uma ideia da importância das ondas no mundo moderno, basta considerar a indústria musical. Toda música que escutamos, de um samba de rua a um sofisticado concerto sinfônico, envolve a produção de ondas pelos artistas e a detecção dessas ondas pela plateia. Da produção à detecção, a informação contida nas ondas pode ser transmitida por diversos meios (como no caso de uma apresentação ao vivo pela internet) ou gravada e reproduzida (por meio de CDs, DVDs, *pen drives* e outros dispositivos atualmente em desenvolvimento nos centros de pesquisa). A importância econômica do controle de ondas musicais é enorme, e a recompensa para os engenheiros que desenvolvem novas técnicas pode ser muito generosa (Halliday; Resnick, 2016a, p. 275).

Quando deixamos cair uma pedra na superfície da água em repouso, nela são formados, sucessivamente, círculos de raios cada vez maiores (Figura 9). Essas formações observadas são perturbações ondulatórias que ocorrem nesse meio material. Além disso, escutamos também o barulho originado do impacto da pedra com a água, ou seja, percebemos o som. Os processos ondulatórios ocorrem muito frequentemente na natureza, sendo diferentes as causas que os originam.

Figura 9 – Perturbação ondulatória na superfície da água em virtude do impacto de uma pedra.



Fonte: Knight (2009b, p. 604).

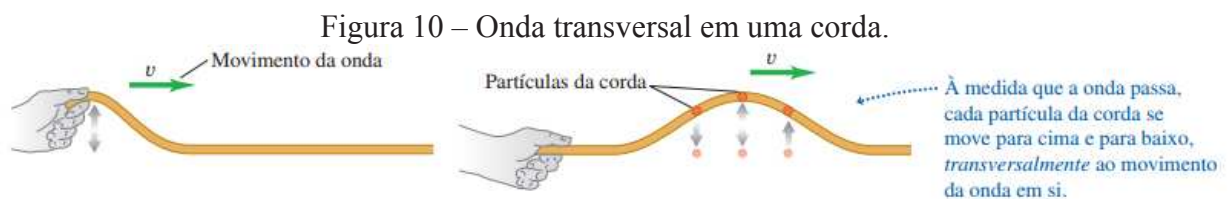
Todas as partículas que constituem qualquer meio material, seja sólido, líquido ou gasoso, interagem entre si. Dessa forma, se uma das partículas de uma substância ou de um

corpo começar um movimento oscilatório, essa interação entre elas faz com que esse movimento se propague, com certa velocidade, em todas as direções. Esse tipo de perturbação, onde há transferência de energia, mas não há transporte de matéria, é denominada onda.

No ar, nos líquidos e no interior dos corpos sólidos, as ondas mecânicas ocorrem em virtude das forças de elasticidade, que são responsáveis pela interação dos elementos que constituem um determinado corpo.

Uma **onda mecânica** é uma perturbação que se desloca através de um material chamado **meio**, no qual a onda se propaga. À medida que a onda se propaga através do meio, as partículas que o constituem sofrem deslocamentos de diversas espécies, dependendo da natureza da onda (Young; Freedman, 2016b, p. 114).

Na Figura 10, o meio material é um fio ou uma corda esticada sob uma tensão mecânica. Quando a extremidade esquerda da corda é agitada ou balançada verticalmente, essa perturbação se propaga através do comprimento da mesma, de modo que as regiões sucessivas da corda sofrem o mesmo tipo de movimento que aplicamos em sua extremidade, mas em instantes sucessivamente posteriores. Como os deslocamentos do meio são perpendiculares ou *transversais* à direção de propagação da onda ao longo do meio, este tipo de perturbação ondulatória é chamada de **onda transversal**.

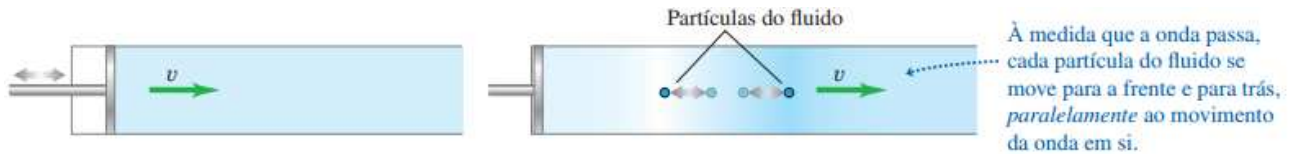


Fonte: Young e Freedman (2016b, p. 114).

Na Figura 11, o meio material pode ser um líquido ou gás no interior de um tubo com uma parede rígida na extremidade direita do tubo e um pistão que pode ser movimentado na extremidade esquerda. Caso o pistão seja colocado para se movimentar de modo oscilatório para a frente e para trás, uma perturbação de deslocamento e uma flutuação de pressão se propagam ao longo do meio material. Nesse caso, as partículas desse meio se movem de modo oscilante para a frente e para trás ao longo da *mesma* direção de propagação da perturbação; esse tipo de perturbação é denominada **onda longitudinal**.



Figura 11 – Onda longitudinal em um fluido.



Fonte: Young e Freedman (2016b, p. 114).

Segundo Knight (2009b, p. 603), também podemos classificar as ondas com base no que está “ondulando”:

**Ondas mecânicas** se propagam apenas através de um *meio* material, como o ar ou a água. Dois exemplos de ondas mecânicas muito conhecidas são as ondas sonoras e as ondas na água.

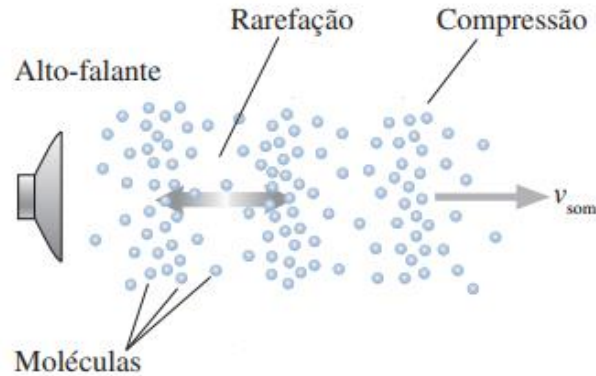
**Ondas eletromagnéticas**, desde as ondas de rádio à luz visível e aos raios X, são oscilações auto-sustentáveis de *campos eletromagnéticos*. As ondas eletromagnéticas não requerem um meio material e se propagam através do vácuo.

**Ondas de matéria** constituem a base da física quântica. Uma das descobertas mais significativas do século XX foi a de que as partículas de matéria, como os elétrons e os átomos, têm características semelhantes às das ondas.

As ondas de interesse para este trabalho são as ondas sonoras que são tipos de ondas mecânicas e longitudinais. O som é uma variação de pressão que se propaga por um meio material. No ar, essa variação de pressão causa um movimento das moléculas de ar, fora do normal, na direção de propagação dessa perturbação ondulatória.

A Figura 12 mostra um alto-falante gerando uma perturbação sonora no ar. A membrana vibrante desse dispositivo, “empurra” e “puxa” o ar de forma sucessiva. Com isso, criam-se regiões de compressão, quando a membrana avança ou “empurra” o ar, e de rarefação, quando “puxa” o ar. Nas regiões de compressão, as moléculas que constituem o ar passam a oscilar com uma pequena amplitude, ou seja, quanto maior a pressão, menor é o deslocamento das moléculas gasosas nessa região; nas regiões de rarefação as moléculas oscilam com grande amplitude, ou seja, quanto menor a pressão, maior é o deslocamento das moléculas gasosas nessa região. Essas regiões se alternam e se propagam longitudinalmente. Quando chegam ao nosso sistema auditivo, essas vibrações são detectadas e traduzidas em impulsos nervosos, elétricos, que o cérebro decodifica como som.

Figura 12 – Regiões de compressão e rarefação que surgem no ar em virtude de uma perturbação sonora.



Fonte: Knight (2009b, p. 616).

Segundo Halliday e Resnick (2016a), a velocidade de uma onda mecânica, seja ela transversal ou longitudinal, depende tanto das propriedades inerciais do meio (para armazenar energia cinética) como das propriedades elásticas do meio (para armazenar energia potencial). Essa relação pode ser escrita da seguinte forma:

$$v = \sqrt{\frac{\text{propriedade elástica}}{\text{propriedade inercial}}} \quad (36)$$

Para os líquidos e gases, a propriedade inercial está associada à massa específica do meio material,  $\rho$ . Já a propriedade elástica está associada a uma grandeza denominada módulo de elasticidade volumétrico,  $B$ , o qual mostra que, quando há uma diferença de pressão  $\Delta p$  aplicada sobre um elemento de volume  $V$  de um certo material, ele sofre uma variação de volume  $\Delta V$ , de forma que essas grandezas estão relacionadas da seguinte forma:

$$B = -\frac{\Delta p}{\frac{\Delta V}{V}} \quad (37)$$

O termo  $\Delta V/V$  é a variação relativa de volume, quando o meio material está submetido a uma pressão resultante  $\Delta p$ . Essa variação relativa de volume é negativa quando há um aumento da pressão, por isso o sinal negativo na frente da razão que define  $B$ .

Dessa forma, a velocidade de propagação do som em um fluido pode ser escrita por:

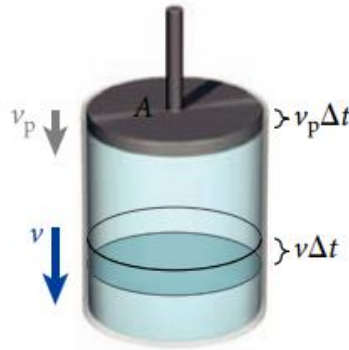
$$v = \sqrt{\frac{B}{\rho}} \quad (38)$$

Essa expressão está dimensionalmente correta, pois a unidade de  $B$  é  $\text{N}/\text{m}^2$  e a unidade de  $\rho$  é  $\text{kg}/\text{m}^3$ . Desse modo temos que:

$$\sqrt{\frac{\text{N}/\text{m}^2}{\text{kg}/\text{m}^3}} = \sqrt{\frac{\text{N}}{\text{m}^2} \cdot \frac{\text{m}^3}{\text{kg}}} = \sqrt{\frac{\text{N} \cdot \text{m}}{\text{kg}}} = \sqrt{\frac{\text{kg} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^{-2} \cdot \text{m}}{\text{kg}}} = \sqrt{\text{m}^2 \text{s}^{-2}} = \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$$

Para demonstrar a equação para a velocidade do som em um fluido, considere a Figura 13, que mostra um fluido contido em um cilindro dotado de um pistão móvel em umas das suas extremidades.

Figura 13 – Pistão comprimindo um fluido.



Fonte: Bauer, Westfall e Dias (2013, p. 116).

Considerando que o pistão se move para baixo com uma velocidade  $v_p$ , comprimindo o fluido, este irá se mover, em virtude da variação de pressão, de forma que as suas partes frontais (do fluido) se moverão com uma velocidade  $v$  (velocidade de propagação do som no meio).

Sabendo que o cilindro possui uma área de seção transversal  $A$ , que é a mesma do pistão, ao se empurrar este contra o fluido com uma força de módulo  $F$ , o fluido sofrerá uma variação de pressão  $\Delta p$ , que será dada por:

$$\Delta p = \frac{F}{A} \quad (39)$$

Aplicando a Segunda Lei de Newton para um elemento de fluido que possui massa  $m$ , podemos escrever:

$$F = m \cdot \frac{\Delta v}{\Delta t} = m \cdot \frac{v_p}{\Delta t} \quad (40)$$

Desse modo, temos:

$$\Delta p = \frac{m \cdot \frac{v_p}{\Delta t}}{A} = \frac{m}{A} \cdot \frac{v_p}{\Delta t} \quad (41)$$

Considerando que o fluido possui uma massa específica  $\rho$ , podemos afirmar que o elemento de massa dele vale  $m = \rho \cdot V$ , em que  $V$  é o volume de um cilindro de área de base  $A$  e com altura  $\ell$ , de modo que  $m = \rho A \ell$ . Dessa forma:

$$\Delta p = \frac{\rho A \ell}{A} \cdot \frac{v_p}{\Delta t} \quad (42)$$

$$\Delta p = \frac{\rho \ell v_p}{\Delta t} \quad (43)$$

Como o elemento de fluido responde à compressão movendo-se com velocidade  $v$  durante um intervalo de tempo  $\Delta t$ , o comprimento desse elemento de fluido, após a perturbação ondulatória ter passado por ele é  $\ell = v \cdot \Delta t$ . Desse modo, podemos escrever:

$$\Delta p = \frac{\rho (v \cdot \Delta t) \cdot v_p}{\Delta t} \quad (44)$$

$$\Delta p = \rho \cdot v \cdot v_p \quad (45)$$

Lembrando da definição para módulo de elasticidade volumétrico, temos:

$$B = \frac{\Delta p}{\left| \frac{\Delta V}{V} \right|} \quad (46)$$

$$\Delta p = B \cdot \left| \frac{\Delta V}{V} \right| \quad (47)$$

Logo, podemos escrever:

$$B \cdot \left| \frac{\Delta V}{V} \right| = \rho \cdot v \cdot v_p \quad (48)$$

O volume do fluido em movimento,  $V$ , por onde a perturbação sonora passou, é dado por  $V = A \cdot \ell = A \cdot v \cdot \Delta t$ . Já a variação de volume do fluido causada pelo movimento vertical descendente do pistão é dada, em módulo, por  $|\Delta V| = A \cdot v_p \cdot \Delta t$ . Dessa forma:

$$B \cdot \left| \frac{A \cdot v_p \cdot \Delta t}{A \cdot v \cdot \Delta t} \right| = \rho \cdot v \cdot v_p \rightarrow B = \rho v^2 \quad (49)$$

$$v = \sqrt{\frac{B}{\rho}} \quad (50)$$

De acordo com Young e Freedman (2016b), a maioria das ondas sonoras que encontramos em nossa vida diária se propaga no ar. Ao usar a equação acima para calcular a velocidade de uma onda sonora no ar, não devemos nos esquecer de que o módulo de compressão de um gás depende de sua pressão: quanto maior a pressão aplicada a um gás para comprimi-lo, mais ele resiste a uma compressão adicional e, portanto, maior o módulo de compressão.

Para um gás, a variação de volume produzida pela variação de uma determinada pressão depende da compressão (ou expansão) ser adiabática ou isotérmica. Dessa forma, existem dois módulos de elasticidade voluméricos. Como o processo de expansão (ou compressão) gasosa ocorre muito rapidamente, considera-se o de natureza adiabática. Dessa forma, para a velocidade do som em um meio gasoso, podemos escrever:

$$v = \sqrt{\frac{B_{ad}}{\rho}} \quad (51)$$

Sabe-se que, em um gás ideal, a relação entre a pressão e o volume em um processo adiabático é dada pela seguinte expressão:

$$pV^\gamma = \text{constante} \quad (52)$$

Na igualdade acima,  $\gamma$  é a razão entre os calores específicos do gás a pressão

constante e a volume constante. Pela definição de módulo de elasticidade volumétrica, podemos escrever:

$$B_{ad} = -\left(\frac{dp}{\frac{dV}{V}}\right)_{ad} = -V \left(\frac{dp}{dV}\right)_{ad} \quad (53)$$

Aplicando o logaritmo natural na relação que mostra a relação e a pressão em um processo adiabático, temos:

$$\ln(pV^\gamma) = \ln(\text{constante}) \quad (54)$$

$$\ln p + \gamma \ln V = \ln(\text{constante}) \quad (55)$$

Por meio de uma diferenciação implícita nessa expressão:

$$\frac{dp}{p} + \gamma \frac{dV}{V} = 0 \quad (56)$$

$$\left(\frac{dp}{dV}\right)_{ad} = -\gamma \frac{p}{V} \quad (57)$$

Dessa forma, encontramos o módulo de elasticidade nesse processo:

$$B_{ad} = -V \cdot \left(-\gamma \frac{p}{V}\right) \quad (58)$$

$$B_{ad} = \gamma p \quad (59)$$

Com isso, para a velocidade do som em um meio gasoso, podemos escrever:

$$v = \sqrt{\frac{\gamma p}{\rho}} \quad (60)$$

Dos estudos dos gases ideais, sabemos que, para o número de mols  $n$  e a uma temperatura  $T$ , temos que:

$$pV = nRT \quad (61)$$

$$pV = \frac{m}{M}RT \quad (62)$$

$$\frac{m}{V} = \frac{pM}{RT} \rightarrow \rho = p \cdot \frac{M}{RT} \quad (63)$$

$$\frac{p}{\rho} = \frac{RT}{M} \quad (64)$$

Nessa igualdade, R é a constante universal dos gases perfeitos, T é a temperatura da amostra gasosa e M é massa molar do gás.

Dessa forma, para velocidade do som em um gás, podemos escrever:

$$v = \sqrt{\frac{\gamma RT}{M}} \quad (65)$$

Considerando um ambiente cuja temperatura seja 27° C (300 K), que a massa molar média do ar seja de 28,8 g/mol,  $\gamma = 1,40$  e  $R = 8,31$  J/mol.K, podemos determinar a velocidade do som nesse ambiente:

$$v = \sqrt{\frac{1,40 \cdot 8,31 \cdot 300}{28,8 \cdot 10^{-3}}}$$

$$v \approx 348 \text{ m/s}$$

## 5 CONCEITOS BÁSICOS SOBRE DESVIO ABSOLUTO E ERRO RELATIVO

Em qualquer ciência na qual seja necessária a experimentação com aquisição de medidas, os erros envolvidos durante o levantamento de dados são inevitáveis. Um dos motivos é que não existe valor integralmente correto para uma grandeza física.

Os erros podem ocorrer em virtudes de perturbações ambientais, má calibração do instrumento de medição, falta de prática do experimentador, etc.

Dessa forma, ao se realizar uma medida, convém que não se tome ela apenas uma vez, e sim levante alguns valores para ela, de forma que, ao fazer uma média aritmética, obtemos o valor médio ou o valor mais provável dessa grandeza.

Tomemos como exemplo a determinação do instante no qual um bloco leva para descer uma rampa com inclinação constante, chegando à sua base. Com o auxílio de um cronômetro, um estudante conseguiu obter as seguintes medidas:

$$t_1 = 6,54 \text{ s}; t_2 = 6,48 \text{ s}; t_3 = 6,65 \text{ s}; t_4 = 6,58 \text{ s}; t_5 = 4,58 \text{ s}$$

Percebe-se que o último instante se distingue significativamente dos demais. Certamente houve um problema muito grave na aquisição desse último valor, o que chamamos de **erro grosseiro**. Esse erro deve ter corrido em virtude de alguma distração do experimentador, ou o bloco deve estar com alguma irregularidade em uma das suas faces. Quando isso ocorre, esse tipo de medida deve ser descartada, de forma que deve ser feita uma nova medição. Consideremos que foi feita uma nova medida para esse valor, de forma que os valores encontrados agora foram os seguintes:

$$t_1 = 6,54 \text{ s}; t_2 = 6,48 \text{ s}; t_3 = 6,65 \text{ s}; t_4 = 6,58 \text{ s}; t_5 = 6,61 \text{ s}$$

Observa-se que, agora, os valores de tempo adquiridos estão bem coerentes, pois não há uma diferença muito significativa entre eles. Afinal, qual o intervalo de tempo “correto”? Por convenção, será a média aritmética desses valores. Dessa forma, para o tempo médio ( $t_m$ ). Temos:

$$t_m = \frac{t_1 + t_2 + t_3 + t_4 + t_5}{5} \quad (66)$$

$$t_m = 6,57 \text{ s}$$



Esse valor é o valor mais provável para o intervalo de tempo com o qual o bloco desse a rampa. Percebe-se que cada medida possui um valor diferente desse valor. Podemos considerar que, cada medida possui um desvio (ou erro) **absoluto**.

Para determinar o desvio absoluto de cada medida, basta calcularmos o módulo da diferença entre a medida e o valor mais provável. Dessa forma, temos que:

$$|\Delta t_1| = |t_1 - t_m| \rightarrow |\Delta t_1| = |6,54 - 6,57| \rightarrow |\Delta t_1| = 0,03 \text{ s}$$

$$|\Delta t_2| = |t_2 - t_m| \rightarrow |\Delta t_2| = |6,48 - 6,57| \rightarrow |\Delta t_2| = 0,09 \text{ s}$$

$$|\Delta t_3| = |t_3 - t_m| \rightarrow |\Delta t_3| = |6,65 - 6,57| \rightarrow |\Delta t_3| = 0,08 \text{ s}$$

$$|\Delta t_4| = |t_4 - t_m| \rightarrow |\Delta t_4| = |6,58 - 6,57| \rightarrow |\Delta t_4| = 0,01 \text{ s}$$

$$|\Delta t_5| = |t_5 - t_m| \rightarrow |\Delta t_5| = |6,61 - 6,57| \rightarrow |\Delta t_5| = 0,04 \text{ s}$$

Toda medida tem obrigatoriamente uma incerteza que pode ser denominada de *faixa de desvio*, *erro* ou simplesmente *desvio*. O valor médio obtido também possui uma faixa de desvio, o qual denominaremos de desvio absoluto médio, que será igual a média aritmética do desvio absolutos. Dessa forma, temos que:

$$\Delta t_m = \frac{|\Delta t_1| + |\Delta t_2| + |\Delta t_3| + |\Delta t_4| + |\Delta t_5|}{5} \quad (67)$$

$$\Delta t_m = 0,05 \text{ s}$$

Dessa forma a representação completa da grandeza medida durante esse experimento é feita da seguinte forma:

$$t = (t_m \pm \Delta t_m)$$

$$t = (6,57 \pm 0,05) \text{ s}$$

Isso significa dizer que a maioria das medidas tomadas durante o experimento está dentro dessa margem de erro, que se estende de 6,52 s até 6,62 s.

Outro conceito muito importante dentro da análise básica de erros em um experimento é o erro relativo. Ele corresponde que à razão entre o desvio absoluto e o valor da medida, ou seja, ele é adimensional.

Por exemplo, tomemos a primeira medida para o intervalo de tempo no experimento

citado. Nota-se que o erro absoluto vale  $|\Delta t_1| = 0,03$  s e o valor da medida vale  $t_1 = 6,54$  s. Dessa forma para o erro relativo ( $\varepsilon_r$ ), podemos escrever:

$$\varepsilon_r = \frac{|\Delta t_1|}{t_1} \quad (68)$$

$$\varepsilon_r = \frac{0,03}{6,54} \approx 0,0049$$

Geralmente o erro relativo é dado em termos de porcentagem, dessa forma, podemos afirmar que o erro relativo acima foi de 0,49 %, aproximadamente.

Consideremos que um estudante realizou um experimento para a determinação da aceleração da gravidade com a utilização de um pêndulo simples, de maneira que, após todo o tratamento de dados encontrou uma aceleração cujo valor foi de  $9,68 \text{ m/s}^2$ . Considerando que o valor teórico dessa aceleração no local vale  $9,81 \text{ m/s}^2$ , podemos determinar um erro relativo nessa situação. Dessa forma existe um desvio absoluto em relação ao valor “correto”, dado por:

$$|\Delta g| = g_{\text{teórico}} - g_{\text{experimental}} \quad (69)$$

$$|\Delta g| = 9,81 - 9,68 = 0,13 \text{ m/s}^2$$

O erro relativo será determinado em relação ao valor “correto”, de forma que:

$$\varepsilon_r = \frac{|\Delta g|}{g_{\text{teórico}}} \quad (70)$$

$$\varepsilon_r = \frac{0,13}{9,81}$$

$$\varepsilon_r = 1,3 \%$$

Esse resultado significa que o valor medido teve um desvio absoluto de 1,3% do valor teórico ou “correto”.

## 6 O APLICATIVO PHYPHOX

O Phyphox é um aplicativo gratuito para Android e iOS, criado pelo 2º Instituto de Física da RWTH Aachen University, na Alemanha, que permite usar os sensores de um smartphone para realizar experimentos de Física.

Ele é constituído basicamente por uma coleção de ferramentas que podem ser utilizadas para se realizar um experimento físico. Para isso, basta imaginar um experimento a ser feito e descobrir qual a ferramenta desse aplicativo pode ser utilizada, citada e descrita em um roteiro que será usado pelo estudante.

Dentre os aplicativos de licença gratuita disponíveis para o sistema operacional Android e IOS, o Phyphox (Staacks *et al.*, 2018) tem se destacado por permitir a utilização de uma variedade de sensores para a realização de diversos experimentos, enquanto que a maioria dos aplicativos tem sua utilização limitada porque acionam um número reduzido de sensores. Com recursos gráficos interativos e medições em tempo real, os dados obtidos são analisados diretamente no aplicativo, o que permite uma leitura rápida ou até mesmo dispensando a utilização de um computador. O aplicativo ainda oferece as opções de exportação e compartilhamento dos dados, de modo que estes podem ser tratados em um momento posterior em um programa mais robusto.

O Phyphox tem algumas características que se destacam:

- a) o site do aplicativo sugere vários experimentos já prontos ([Experiments – phyphox](#));
- b) ele exporta dados para os formatos mais usados, como o Excel, por exemplo;
- c) os experimentos podem ser realizados em função dos sensores escolhidos;
- d) os resultados experimentais (e o experimento em si) podem ser acompanhados por um computador, por um tablet ou por outro celular, todos conectados na mesma rede.

Esse aplicativo possui uma coleção de ferramentas muito úteis para a realização de experimentos. Elas estão organizadas de acordo com o tipo de experimento a ser executado. Vale ressaltar que o uso dessas ferramentas está acoplado aos sensores que o aparelho celular a ser usado possui. As Figuras 14 e 15 mostram as ferramentas oferecidas por esse aplicativo.

Figura 14 – Algumas ferramentas do aplicativo Phyphox.



Fonte: O autor.

Figura 15 – Algumas ferramentas do aplicativo Phyphox.



Fonte: O autor.

A ferramenta utilizada na realização dos experimentos pelos alunos foi o *Cronômetro Acústico*. O princípio de funcionamento dele é bem simples: se trata de um medidor de tempo o qual é acionado quando o microfone do celular recebe uma perturbação sonora, e é travado quando esse sensor recebe uma segunda onda sonora. Para o uso dessa ferramenta, as condições sonoras do ambiente no qual ele é realizado podem interferir significativamente nos dados coletados, uma vez que o cronômetro do smartphone funciona pela recepção de ondas sonoras.

A Figura 16 mostra a janela dessa função. Note que existe uma função chamada

limiar, que está associada à intensidade da onda sonora que chega no celular. Ela deve ser ajustada para ficar acima das perturbações ambientais e abaixo das ondas que chegam no aparelho durante a execução de um experimento. Geralmente, colocamos esse limiar em 0,02 u.a.

Figura 16 – Janela que mostra a ferramenta cronômetro acústico.



Fonte: Pinto e Saraiva (2021).

Ao escolher essa função, também deixamos o intervalo mínimo (atraso entre a primeira onda e a segunda onda sonora) em 0,1 s. Para começar a usar essa ferramenta, clique na parte superior no triângulo branco que estava intermitente (posição indicada pela seta azul) para mudar para dois traços brancos verticais (posição indicada pela seta verde), conforme mostrado na Figura 16.

Infelizmente, a qualidade do celular pode ser um fator limitante para as medidas corretas de tempo. Pode ocorrer que, para smartphones que estejam muito lentos, essa ferramenta não funcione de maneira satisfatória. Ao abrir essa função, há uma mensagem alertando sobre esse fato. Além disso, a janela também alerta sobre as perturbações ambientais, e o cuidado em calibrar o aparelho aumentando o limiar para não haver prejuízos nas medidas em virtudes das perturbações sonoras ambientais (Figura 17).

Figura 17 – Observações importantes que surgem ao abrir a função cronômetro acústico.



Fonte: O autor.

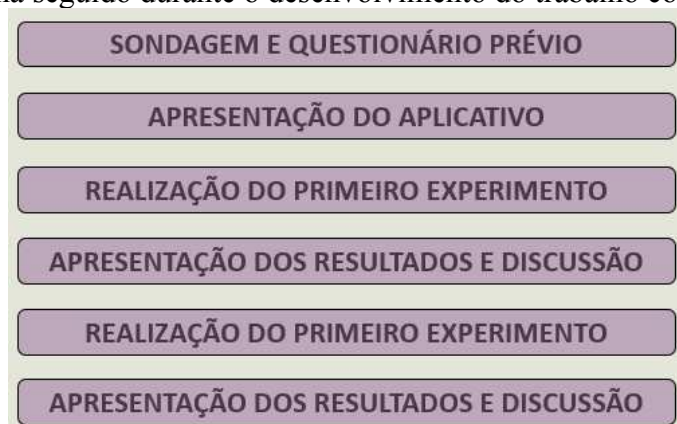
## 7 METODOLOGIA

### 7.1. O convite e o pré-teste

A pesquisa foi aplicada no Colégio Ari de Sá Cavalcante, em três unidades, com alunos do oitavo e do nono ano. O fato de escolher duas séries distintas se deve a dois motivos: contato semanal com os estudantes das duas séries e analisar como seria o processo de ensino-aprendizagem durante a aplicação do produto através da interação entre discentes de faixas etárias distintas. A escolha dessa escola se deve ao fato de eu ter contato com os alunos e acompanhar a evolução deles de perto durante a aplicação do produto educacional. A aplicação do produto educacional ocorreu durante o período da tarde, no contra-turno dos discentes.

A pesquisa foi realizada entre agosto e novembro de 2022, após os alunos terem contato com aulas sobre movimento retilíneo uniforme e queda livre. Os encontros ocorriam sempre às terças e sextas. Um total de 77 estudantes do ensino dessas séries participaram da pesquisa. Os alunos foram convidados para realizar os experimentos, e a resposta foi muito positiva. Foi comentado com eles que esse trabalho era uma pesquisa para a minha formação acadêmica, e creio que esse fato foi um fator muito relevante para a alta frequência deles nos encontros. A Figura 19 mostra o cronograma que foi seguido durante o processo, de forma que, para cada evento tivemos um encontro semanal de duas horas-aulas.

Figura 18 – Cronograma seguido durante o desenvolvimento do trabalho com os alunos.



Fonte: O autor.

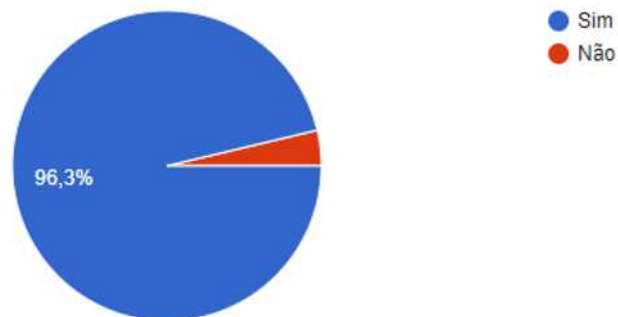
Outro motivo bem relevante, foi citar que toda a parte experimental seria feita com o uso de celulares, citando que esses aparelhos podem funcionar um verdadeiro laboratório de Física móvel e de fácil acesso. Os alunos também ficaram muito interessados em como iríamos trabalhar experimentalmente os assuntos já vistos em sala de aula.

Foi realizada uma primeira coleta de dados sobre a utilização do smarphone e como ele serviria de ferramenta para o ambiente escolar. O resultado da pesquisa está indicado nas Figuras que se seguem.

Figura 19 – Gráfico com a primeira pergunta do pré-teste.

Na sua visão, um smartphone pode ser utilizado com ferramenta de ensino de Física durante as aulas?

77 respostas

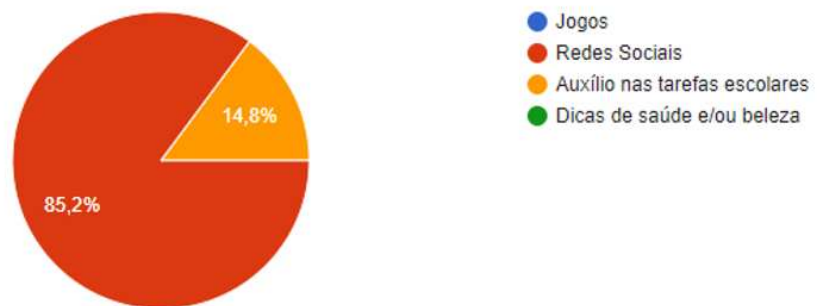


Fonte: O autor.

Figura 20 – Gráfico com a segunda pergunta do pré-teste.

Qual a função do aplicativo que você mais usa no seu smartphone?

77 respostas



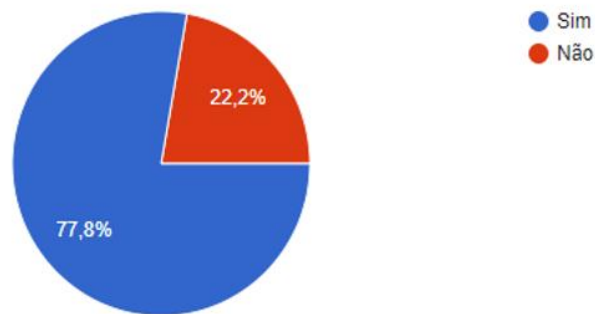
Fonte: O autor.



Figura 21 – Gráfico com a terceira pergunta do pré-teste.

Você já ouviu falar que seu smartphone possui sensores (dispositivos que podem fazer medidas)?

77 respostas

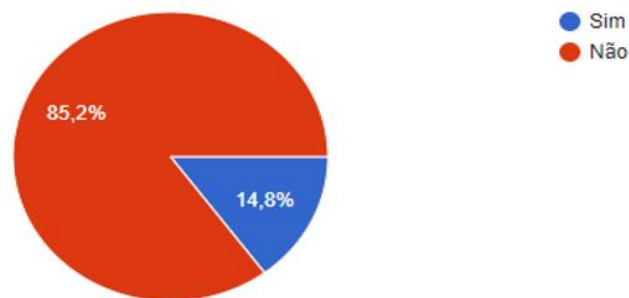


Fonte: O autor.

Figura 22 – Gráfico com a quarta pergunta do pré-teste.

Ao estudar o fenômeno da queda livre dos corpos, você achou as equações que o descrevem muito complicadas?

77 respostas

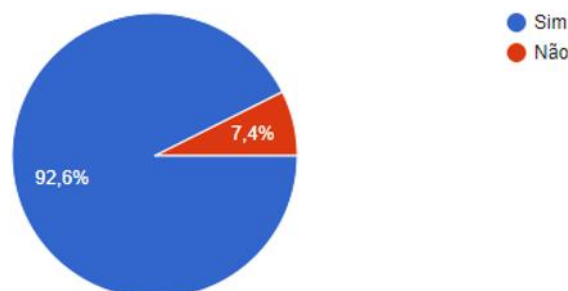


Fonte: O autor.

Figura 23 – Gráfico com a quinta pergunta do pré-teste.

Você sabia que é possível determinar a aceleração da gravidade através de medidas de altura e tempo de queda de um corpo?

77 respostas

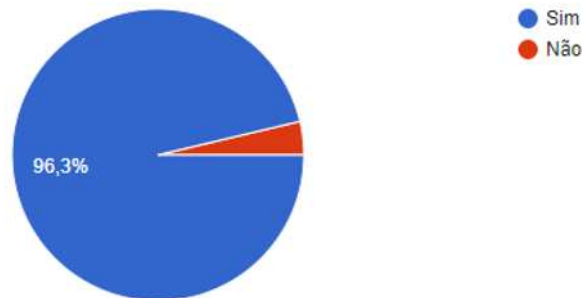


Fonte: O autor.

Figura 24 – Gráfico com a sexta pergunta do pré-teste.

Você teria interesse em usar o seu celular, através de um aplicativo, para conferir se as equações vistas no movimento de queda livre são válidas e, com isso, determinar a aceleração da gravidade terrestre?

77 respostas

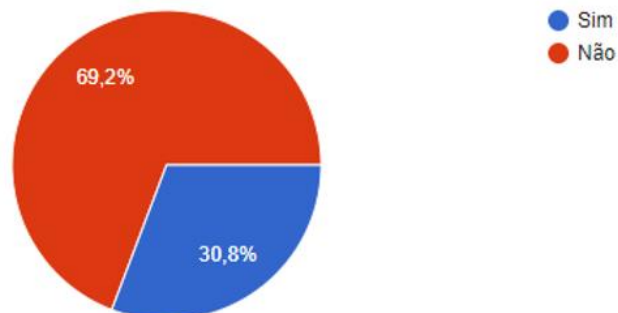


Fonte: O autor.

Figura 25 – Gráfico com a sétima pergunta do pré-teste.

Ao estudar o conceito de velocidade média, foi feito algum experimento que comprovasse a equação dessa grandeza física?

77 respostas

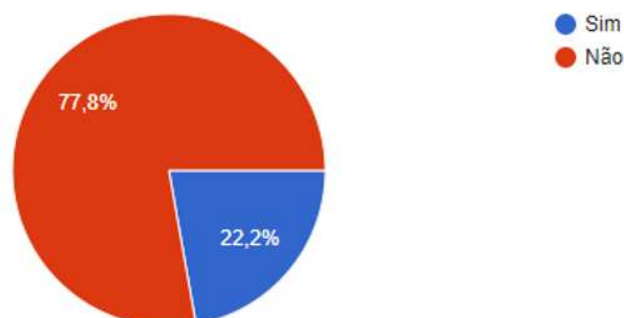


Fonte: O autor.

Figura 26 – Gráfico com a oitava pergunta do pré-teste.

Você já ouviu falar que é possível determinar a velocidade do som de modo muito fácil e rápido?

77 respostas

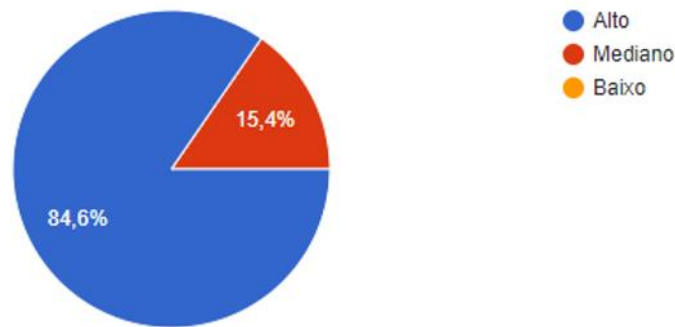


Fonte: O autor.

Figura 27 – Gráfico com a nona pergunta do pré-teste.

Qual seria o seu nível de interesse em realizar um experimento simples, usando o conceito de velocidade média, e determinar a velocidade do som na prática?

77 respostas



Fonte: O autor.

## 7.2 O experimento e a aplicação do produto

Inicialmente, foi feita uma sondagem com os estudantes acerca do movimento retilíneo uniforme e sobre o conceito de velocidade média, com o objetivo de todos compreenderem a presença desses assuntos no primeiro experimento, o qual trata de como determinar a velocidade do som no ar utilizando dois celulares com o aplicativo Phyphox instalado.

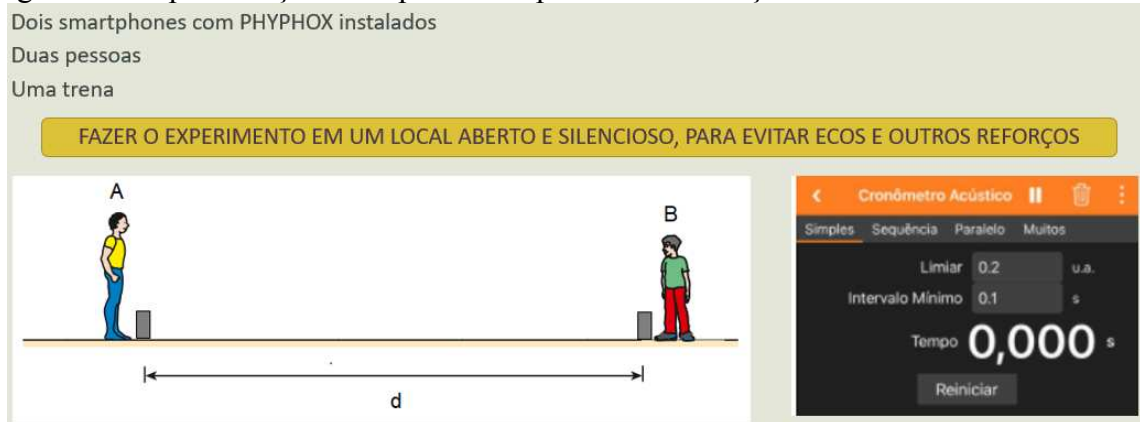
Após essa breve explicação, solicitei aos alunos que baixassem o aplicativo no celular. De modo imediato, todos fizeram o download e começaram a tentar usar algumas ferramentas do aplicativo. Achei interessante o empenho e a rapidez com que todos os discentes se propuseram a iniciar esse processo, e acredito que a aprendizagem significativa de Ausubel está presente nele, pois o uso de um smartphone e de aplicativos já é um conceito prévio e de domínio confortável por partes dos estudantes. A partir dessa ferramenta, podemos agregar mais informações da área tecnológica e da física, para que a atividade desenvolvida tenha sentido e seja eficaz no processo de ensino-aprendizagem.

Em seguida, eles foram orientados a abrir a ferramenta Cronômetro Acústico. Posteriormente, expliquei qual era a função dessa ferramenta e quais os cuidados de calibração deviam ser tomados para o ambiente não interferir no experimento.

Através de um projetor de slides, foi apresentada relação de materiais envolvidas no experimento e como ele deveria ser feito. Como mostrado na Figura 28, para se realizar a tarefa experimental, bastam dois smartphones com o aplicativo Phyphox instalado em cada um,

com a seleção da função Cronômetro Acústico, duas pessoas e uma trena.

Figura 28 – Apresentação do experimento para a determinação da velocidade do som no ar.

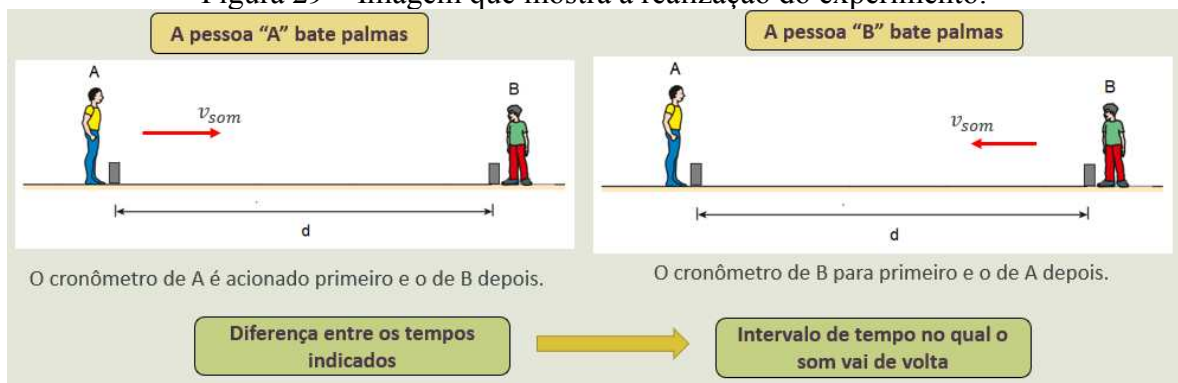


Fonte: O autor.

Cada pessoa fica sentada com seu celular bem próximo a ela, e ação de bater palmas apenas uma vez servirá de base para a realização do experimento. Quando a pessoa A (mostrada na Figura 28) produz uma onda sonora, ela aciona de imediato o cronômetro do seu celular. Com um pequeno atraso, mas considerável, pois a velocidade do som é finita, o celular da pessoa B recebe essa perturbação e tem o seu cronômetro acionado também.

Por outro lado, quando a pessoa B bater palmas (apenas uma) agora, o seu cronômetro será travado de imediato e, após um *delay*, o cronômetro de celular da pessoa A também travará. Observe a Figura 29.

Figura 29 – Imagem que mostra a realização do experimento.



Fonte: O autor.

A diferença entre os instantes finais marcados pelos celulares corresponde ao intervalo de tempo no qual o som vai e volta, ou seja percorre uma distância  $2d$ , sendo  $d$  a distância entre os celulares (e as pessoas). Dessa forma, podemos escrever, pela definição de velocidade escalar média:

$$v_{som} = \frac{\textit{dist\~ancia percorrida}}{\textit{intervalo de tempo}}$$

$$v_{som} = \frac{2d}{t_A - t_B}$$

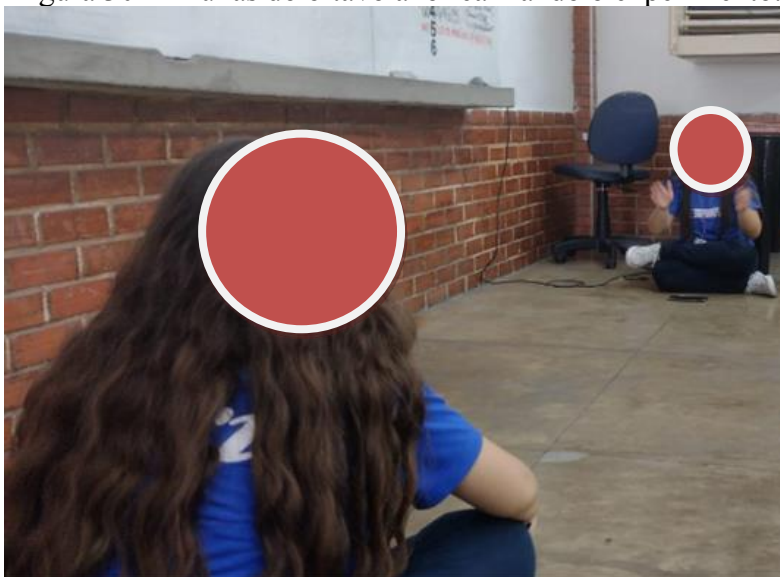
Como o celular A foi acionado primeiro e travado por último, o instante final ( $t_A$ ) marcado por ele é maior do que o instante final ( $t_B$ ) marcado pelo aparelho B.

Depois de explicar como seria a execução do processo experimental, foi entregue um roteiro para cada aluno para que eles pudessem ler e preencher os mesmos com os resultados adquiridos. Além disso foi explicado para todos uma noção sobre erros básicos que podem ocorrer em um experimento e a definição de erro relativo.

Os estudantes foram divididos em duplas para a execução da atividade experimental, porém foi notado que os celulares de alguns estudantes não estavam funcionando bem na função Cronômetro Acústico. Para resolver esse problema, os estudantes com celulares mais rápidos emprestavam para que cada dupla conseguisse fazer o experimento. A socialização entre os estudantes e a troca de ideias para a realização do experimento e das possíveis falhas nele me chamou bastante a atenção. Alguns alunos que dominavam menos o conteúdo de Física, mas tinham muita propriedade sobre as características de um celular, como memória, rapidez, etc., se sobressaíam melhor nessa parte procedimental do que os discentes que dominavam a parte teórica do fenômeno físico envolvido. Dessa forma, acredito que a teoria do sociointeracionismo de Vygostky se apresentou de forma bastante clara nessa etapa do processo, pois houve uma interação entre estudantes com habilidades distintas, acelerando até mesmo a execução da tarefa experimental. Estudantes que não eram tão bons em funções e características técnicas dos celulares, mas muito bons em Física, aprendiam com os que tinham propriedade sobre isso, e assim, havia uma troca de conhecimento bastante satisfatória.

As figuras seguintes mostram alguns estudantes realizando o experimento na sala de aula.

Figura 30 – Alunas do oitavo ano realizando o experimento.



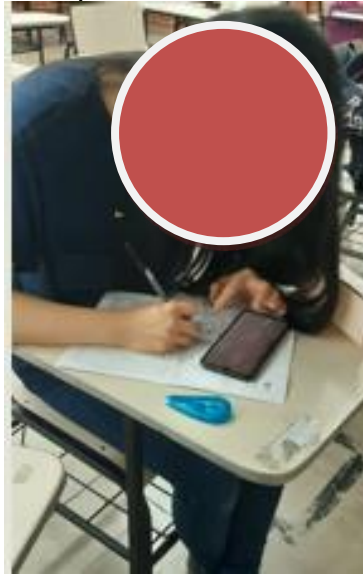
Fonte: O autor.

Figura 31 – Alunos do oitavo ano realizando o experimento.



Fonte: O autor.

Figura 32 – Aluna do nono ano preenchendo o roteiro e analisando os resultados.



Fonte: O autor.

No roteiro desse experimento, existe uma tabela a ser preenchida. Ela mostra que o experimento deve ser feito 5 vezes, para que tenhamos um valor médio para a velocidade do som. A distância de separação entre os celulares sugere foi  $d = 3,00$  m. Dessa forma, para cada par de medidas dos instante  $t_A$  e  $t_B$ , obtém-se um valor para a velocidade do som no ar.

Figura 33 – Tabela presente no roteiro experimental para a determinação da velocidade do som no ar.

$t_A$ (s)	$t_B$ (s)	$t_A - t_B$ (s)	$v_{som}$ (m/s)
Valor médio da velocidade do som $(v_{som})_{médio}$ em m/s			

Fonte: O autor.

Também foi citado no roteiro o valor tabelado da velocidade do som no ar a  $25^\circ$  C, que vale, aproximadamente, 346,3 m/s. Esse valor teórico foi fornecido para que o aluno determinasse o erro relativo do valor médio obtido nesse experimento.

A Figura 34 mostra os dados levantados e a velocidade média do som obtida por uma dupla de estudantes.

Figura 34 – Dados e resultados obtidos por uma dupla de alunos no experimento.

$t_A$ (s)	$t_B$ (s)	$t_A - t_B$ (s)	$v_{som}$ (m/s)
0,745	0,725	0,020	300,0
0,885	0,866	0,019	315,8
0,612	0,597	0,015	400,0
0,721	0,701	0,020	300,0
0,785	0,771	0,014	428,6
Valor médio da velocidade do som ( $v_{som}$ ) <sub>médio</sub> em m/s			348,9

Fonte: O autor.

A Figura 35 mostra o cálculo do erro relativo para o valor obtido por essa dupla de estudantes.

Figura 35 – Cálculo do erro relativo feito por uma dupla de alunos.

$$\varepsilon_r(\%) = \frac{|348,9 - 346,3|}{346,3} \times 100$$

$$\varepsilon_r(\%) = 0,8\%$$

Fonte: O autor.

A Figura 36 mostra os dados levantados e a velocidade média do som obtida por outra dupla de estudantes.

Figura 36 – Dados e resultados obtidos por uma dupla de alunos no experimento.

$t_A$ (s)	$t_B$ (s)	$t_A - t_B$ (s)	$v_{som}$ (m/s)
0,732	0,713	0,019	315,8
0,545	0,527	0,018	333,3
0,599	0,584	0,015	400,0
0,713	0,695	0,018	333,3
0,899	0,879	0,020	300,0
Valor médio da velocidade do som ( $v_{som}$ ) <sub>médio</sub> em m/s			336,5

Fonte: O autor.

A Figura 37 mostra o cálculo do erro relativo para o valor obtido por essa dupla de estudantes.



Figura 37 – Cálculo do erro relativo feito por uma dupla de alunos.

$$E_r (\%) = |336,5 - 346,3| \times 100$$

$$E_r (\%) = 2,8\%$$

Fonte: O autor.

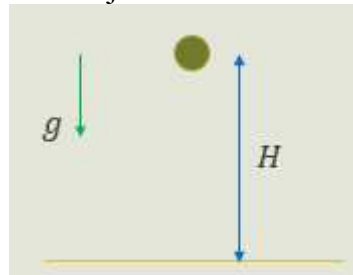
Em outro encontro, tive a oportunidade de explicar o segundo experimento a ser realizado. Os alunos deveriam determinar experimentalmente o valor da aceleração da gravidade utilizando a ferramenta Cronômetro Acústico do Phyphox.

Antes de detalhar como o trabalho ia ser desenvolvido, fiz uma sondagem em sala de aula sobre o que eles traziam de conhecimento prévio sobre o movimento de queda livre, tanto a nível qualitativo quanto ao tratamento do fenômeno por equações. Com isso, fiz uma espécie de revisão junto com eles.

Posteriormente, eles foram orientados a abrir a função *Cronômetro Acústico*. Em seguida, revisei qual era a função dessa ferramenta e quais os cuidados de calibração deviam ser tomados para o ambiente não interferir no experimento.

A nível de tratamento quantitativo do fenômeno, foi necessário revisar a expressão que relaciona a altura de queda de um objeto e o intervalo de tempo que esse evento ocorre.

Figura 38 – Objeto caindo de um altura H.



Fonte: O autor.

Considerando um objeto caindo de uma altura H em um local em que a aceleração da gravidade tem módulo g, podemos afirmar que a relação entre H, g e o tempo de queda t é dada por:

$$H = \frac{gt^2}{2}$$

Dessa forma para determinar o valor da aceleração da gravidade em termos de H e

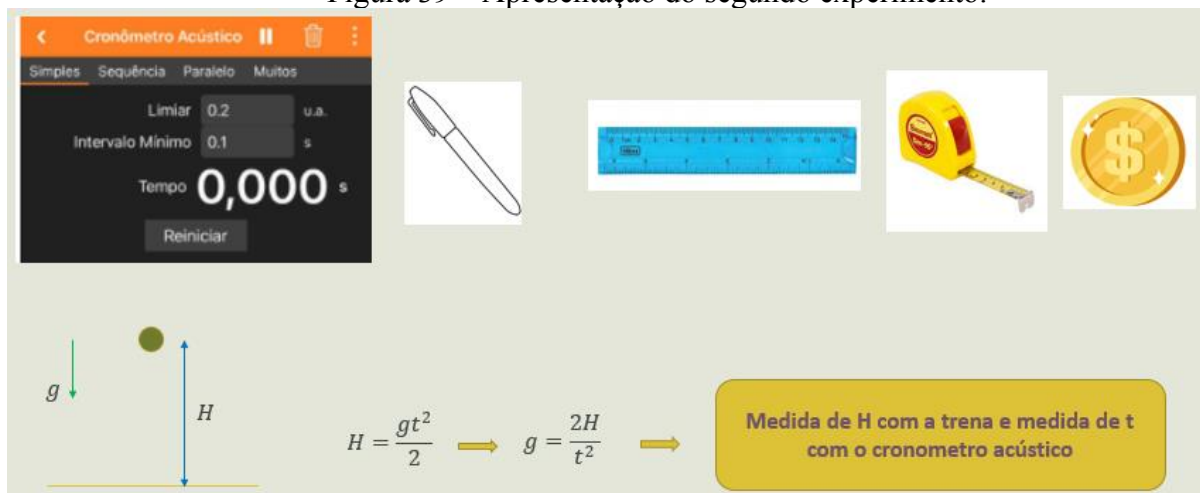
de  $t$ , podemos usar a seguinte expressão:

$$g = \frac{2H}{t^2}$$

Essa foi a expressão utilizada pelos estudantes nesse segundo experimento, tendo o total cuidado com as unidades de  $H$  e de  $t$ , sendo a primeira em metros e a última grandeza, em segundos. Essa informação sobre as unidades foi bastante enfatizada, pois as medidas de alturas coletadas eram em centímetros, já que o movimento de queda livre analisado não era realizado de uma altura  $H$  muito elevada (usamos a mesa da sala de aula, cuja altura valia 73 cm, aproximadamente)

Através de um projetor de slides, foi apresentada relação de materiais envolvidas no experimento e como ele deveria ser feito. Como mostrado na Figura 39, para se realizar a tarefa experimental, bastando um smartphone com o aplicativo Phythox instalado com a seleção da função Cronômetro Acústico, uma trena, uma régua, uma moeda (ou uma pequena esfera de aço) e uma caneta (ou lápis). Nota-se que são materiais de baixo custo e de fácil acesso, de forma que o aluno poderia fazer esse experimento até mesmo na sua residência.

Figura 39 – Apresentação do segundo experimento.



Fonte: O autor.

Esse experimento é bem simples de ser executado. A parte da régua deve ser colocada sobre a superfície de uma mesa (ou bancada). Um objeto metálico, que pode ser uma pequena esfera de aço ou uma moeda, deve ser colocado sobre a parte da régua que não está apoiada sobre a mesa, conforme mostrado na Figura 40.

Figura 40 – Montagem básica para o experimento de queda livre.



Fonte: Phyphox ([2016?]).

Esse experimento é bem simples de ser executado. A parte da régua deve ser colocada sobre a superfície de uma mesa (ou bancada). Um objeto metálico, que pode ser uma pequena esfera de aço ou uma moeda, deve ser colocado sobre a parte da régua que não está apoiada sobre a mesa, conforme mostrado na Figura 40.

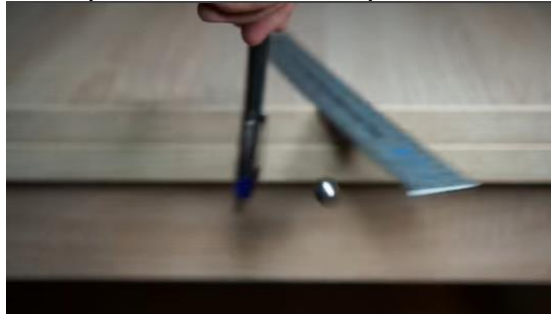
Com um smartphone no chão procurando deixá-lo fora da vertical em que se encontra esfera, devemos deixar função Cronômetro Acústico acionada. Usando uma caneta, batemos de modo brusco na parte lateral da régua, de modo que a esfera caia verticalmente (Figuras 41 e 42).

Figura 41 – Caneta prestes a bater bruscamente na parte lateral da régua.



Fonte: Phyphox ([2016?]).

Figura 42 – Movimento de queda livre da esfera após o deslocamento brusco da régua.

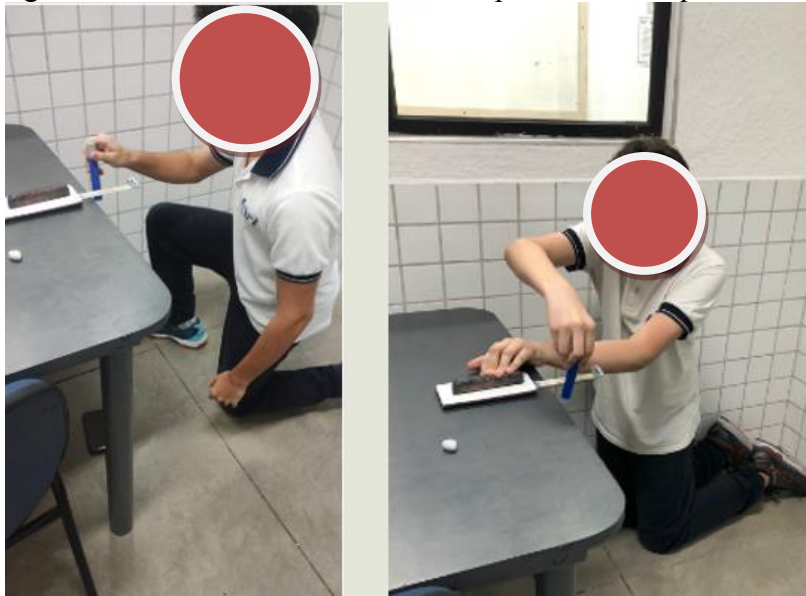


Fonte: Phypox ([2016?]).

Ao bater com a caneta na régua o cronômetro do celular é disparado, iniciando assim a contagem do tempo para o movimento de queda livre. Quando a esfera ou a moeda colide com o chão, é gerada uma segunda perturbação sonora que faz com o cronômetro seja travado. Dessa forma, o instante marcado pelo celular corresponde, de forma aproximada, ao tempo de queda do objeto metálico. De posse da altura  $H$  da mesa, em metros, é possível determinar o valor da aceleração da gravidade no local do experimento.

A Figura 43, mostra dois estudantes realizando o experimento em sala de aula.

Figura 43 – Estudantes realizando o experimento de queda livre.



Fonte: O autor.

No roteiro desse experimento, existe uma tabela a ser preenchida (Figura 44). Ela mostra que o experimento deve ser feito 5 vezes, para que tenhamos um valor médio para o valor da aceleração da gravidade.

Figura 44 – Tabela presente no roteiro experimental para a determinação da aceleração da gravidade.

Medida	t (s)	g (m/s <sup>2</sup> )
1		
2		
3		
4		
5		

Fonte: O autor.

Também foi citado no roteiro o valor teórico da aceleração da gravidade, que vale, aproximadamente, 9,81 m/s<sup>2</sup>. Esse valor teórico foi fornecido para que o aluno determinasse o erro relativo do valor médio obtido nesse experimento.

A Figura 45 mostra os dados levantados por um aluno para a determinação da aceleração da gravidade.

Figura 45 – Dados coletados por um estudante no experimento.

Medida	t (s)	g (m/s <sup>2</sup> )
1	0,397	9,26
2	0,382	10,00
3	0,384	9,90
4	0,389	9,65
5	0,381	10,06

Fonte: O autor.

A Figura 46 mostra o cálculo do erro relativo para o valor obtido por esse estudante calculado por ele:

Figura 46 – Erro relativo para a aceleração da gravidade determinado por um estudante.

$$\varepsilon_r(\%) = \frac{|9,77 - 9,81|}{9,81} \times 100$$

$$\varepsilon_r(\%) = 0,4\%$$

Fonte: O autor.

A Figura 47 mostra os dados levantados por outro estudante.

Figura 47 – Dados coletados por outro estudante no experimento.

Medida	t (s)	g (m/s <sup>2</sup> )
1	0,385	9,85
2	0,390	9,60
3	0,382	10,00
4	0,385	9,85
5	0,381	10,06

Fonte: O autor.

A Figura 48 mostra o cálculo do erro relativo para o valor obtido por esse estudante.

Figura 48 – Erro relativo para a aceleração da gravidade determinado por um estudante.

$$\varepsilon_r(\%) = \frac{|9,87 - 9,81|}{9,81}$$
$$\varepsilon_r(\%) = 0,6\%$$

Fonte: O autor.

## 8 RESULTADOS

Este capítulo trata dos resultados no que se diz respeito à aplicação do produto educacional e do impacto dele sobre o processo de ensino-aprendizagem dos alunos. Conforme foi mostrado no capítulo anterior, os alunos se saíram muito bem ao executar os dois experimento propostos. As atividades desenvolvidas com os smartphones realmente tiveram uma boa receptividade e uma ótima participação dos estudantes, mesmo o horário dos encontros sendo no contra-turno deles.

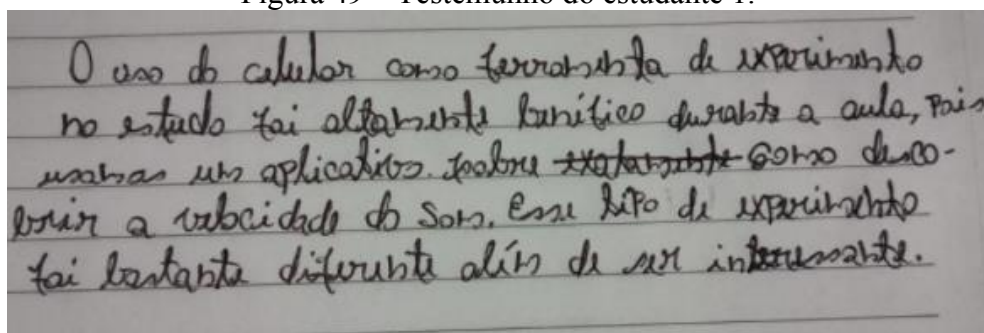
Todos os alunos que participaram me entregaram os roteiros devidamente preenchidos, mas senti a necessidade de indagá-los sobre o processo construído com eles e entre eles.

Pela análise dos roteiro e das discussões sobre os resultados dos experimentos, foi perceptível que os estudantes realmente compreenderam que fenômenos e grandezas que eles conheciam de forma teórica, como a aceleração da gravidade e a finitude da velocidade do som, podem ser estudados por meio de equações conectadas com experimentos. Como mostrado não seção anterior, com um devido acompanhamento e orientação, os discentes desenvolveram as atividades experimentais de maneira satisfatória e com muito empenho e dinamismo, de forma que alguns grupos obtiveram resultado com um erro muito pequeno.

Resolvi então deixar uma pergunta simples para eles me responderem de forma escrita. “Como foi a sua experiência de realizar experimentos de Física com a utilização do seu telefone celular? Descreva como foi o seu aprendizado durante esse processo”.

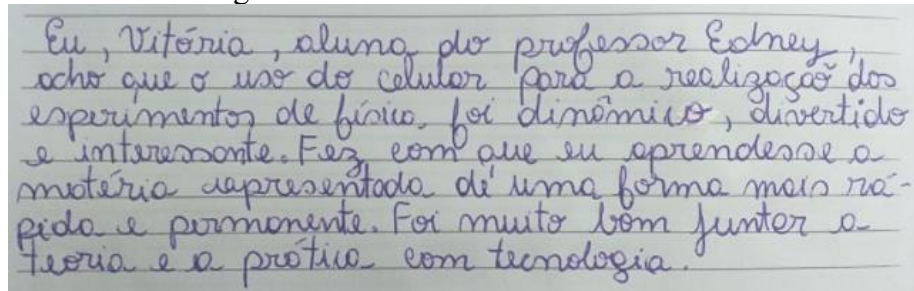
Os estudantes responderam a essa pergunta e as respostas foram bem interessantes. As figuras a seguir mostram o testemunho de alguns deles.

Figura 49 – Testemunho do estudante 1.



Fonte: O autor.

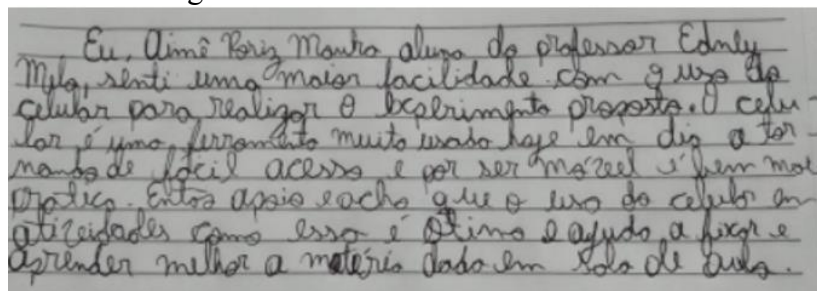
Figura 50 – Testemunho do estudante 2.



Eu, Vitória, aluna do professor Edney, acho que o uso do celular para a realização dos experimentos de física, foi dinâmico, divertido e interessante. Fez com que eu aprendesse a matéria representada de uma forma mais rápida e permanente. Foi muito bom juntar a teoria e a prática com tecnologia.

Fonte: O autor.

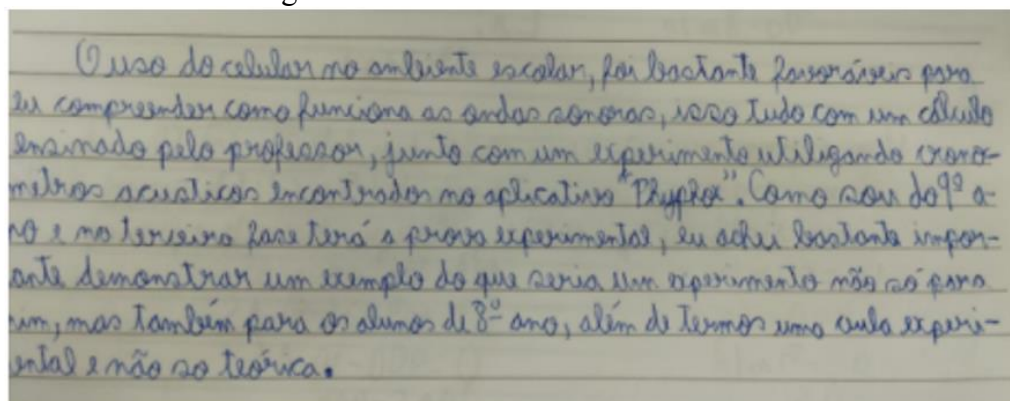
Figura 51 – Testemunho do estudante 3.



Eu, Amélio Boriz Moura aluna do professor Edmundo Melo, senti uma maior facilidade com o uso do celular para realizar o experimento proposto. O celular é um instrumento muito usado hoje em dia a maioria de fácil acesso e por ser mais fácil e bem mais prática. Então acho e acho que o uso do celular em atividades como essa é ótima e ajuda a fixar e aprender melhor a matéria dada em sala de aula.

Fonte: O autor.

Figura 52 – Testemunho do estudante 4.

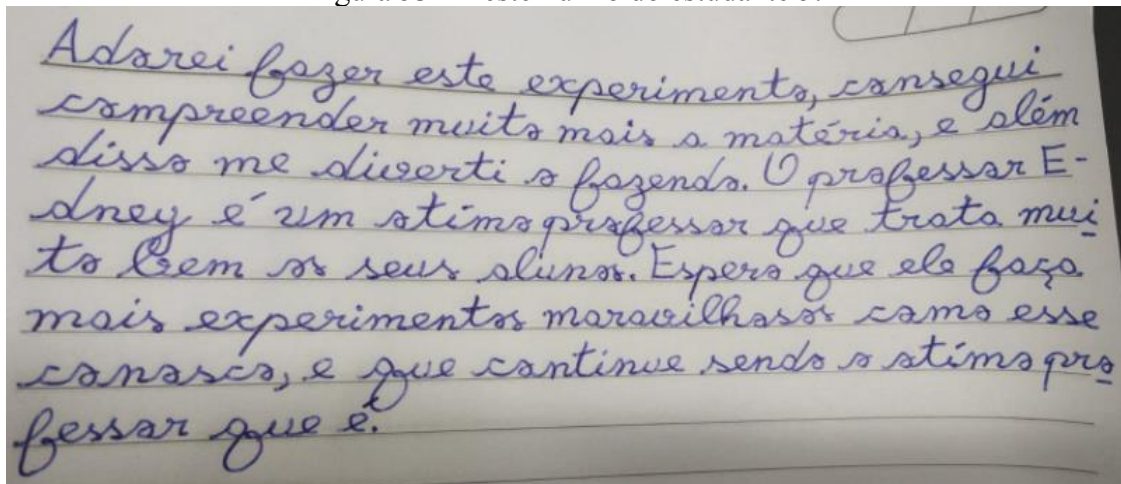


O uso do celular no ambiente escolar, foi bastante favorável para eu compreender como funciona as ondas sonoras, isso tudo com um celular ensinado pelo professor, junto com um experimento utilizando cronômetros acústicos encontrados no aplicativo "Phyphox". Como sou do 9º ano e na terceira fase terá a prova experimental, eu achei bastante importante demonstrar um exemplo do que seria um experimento não só para mim, mas também para os alunos de 8º ano, além de termos uma aula experimental e não só teórica.

Fonte: O autor.



Figura 53 – Testemunho do estudante 5.



Adarei fazer este experimento, consegui compreender muito mais a matéria, e além disso me diverti o fazendo. O professor E-dney é um ótimo professor que trata muito bem os seus alunos. Espero que ele faça mais experimentos maravilhosos como esse canarico, e que continue sendo o ótimo professor que é.

Fonte: O autor.

Lendo todas as respostas dadas pelos estudantes, percebi que as atividades desenvolvidas contribuíram de forma muito positiva para o processo de ensino-aprendizagem com esse grupo heterogêneo de alunos. Os principais pontos levantados pelos alunos após a aplicação do produto educacional foram os seguintes:

- a) a experimentação foi de um modo diferente de tudo que já tinham feito em outras práticas realizadas dentro dos laboratórios da escola. O estudantes acharam o processo muito dinâmico e divertido, pois teve interação, sugestões e o uso de um aparelho que eles dominam muito bem;
- b) o aprendizado do conteúdo ocorreu de uma forma mais rápida e dinâmica, de maneira que eles realmente absorveram muito bem o que foi ministrado em sala de aula de forma teórica;
- c) o contato entre os alunos de séries diferentes foi bastante efetivo para o aprendizado dos discentes mais novos, mostrando que o sociointeracionismo realmente traz resultados positivos no processo educacional;
- d) todos os alunos, sem exceção, sugeriram que, a cada aula teórica ministrada, experimentos de natureza curta e com aplicação do celular fossem realizados. Esse fato resulta que realmente o uso da tecnologia para o ensino de Física é algo que traz resultados rápidos no processo de ensino-aprendizagem;
- e) com a experimentação com o uso do celular e a revisão prévia adequada sobre o conteúdo teórico visto em sala de aula, os alunos começaram a enxergar a validade das equações que descrevem os fenômenos físicos. Com isso, começaram a notar que, realmente, a física é uma ciência natural e fascinante.

## 9 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esse trabalho foi baseado em uma tentativa de fazer práticas durante a pandemia da COVID-19, descobrindo que aplicativos de celulares podem ser muito úteis no processo de ensino-aprendizagem. Conforme foi grafado nesse trabalho, as novas tecnologias podem auxiliar de maneira muito positiva no ensino de Física.

Sabemos que existem vários experimentos de baixo custo que podem ser reproduzidos com relativa facilidade, mas nem sempre é fácil usar esses aparatos para mostrar certos fenômenos que existem na Física, assim como as expressões que os descrevem

Enxerguei que um simples celular, que se trata de um equipamento de fácil acesso, por meio de um excelente aplicativo, unido às teorias da aprendizagem de Vygostky e Ausubel constituem uma forma interessante de mostrar que a Física é, antes de qualquer coisa, uma ciência natural e que fica muito mais interessante quando os fenômenos (e as suas equações) são compreendidos facilmente por meio de uma experimentação.

Os docentes de Física devem acompanhar a evolução do mundo tecnológico e inovar na sua didática, planejando aulas tanto teóricas quanto experimentais. Como foi mostrado, não é necessária a presença de um laboratório de Física tradicional, pois isso demanda altos custos e um bom espaço físico. Um aparelho celular pode ser considerado um laboratório de bolso, de forma que, com o planejamento adequado e razoável criatividade, pode-se criar e realizar vários experimentos em todas as áreas da Física.

## REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, M. E. B.; SILVA, M. G. M. Currículo, tecnologia e cultura digital: Espaços e tempos de Web Currículo. **Revista e-curriculum**, São Paulo, v. 7, n. 1, p. 1-19, 2011.
- ALVES, R. Só aprende quem tem fome. **Nova Escola**, São Paulo, n. 152, p. 45-47, 2002.
- ARAÚJO, E. S. **O ensino de Física mediado pelas tecnologias da informação (TICs): a construção e aplicação de um ambiente hipermediático para o ensino da natureza da luz.** 2019. Dissertação (Mestrado Profissional em Ensino de Física)–Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2019. Disponível em: <https://www.repositorio.ufal.br/handle/riufal/6587>. Acesso em: 03 fev. 2023.
- ARAÚJO, M. S. T.; ABIB, M. L. V. S. Atividades experimentais no ensino de física: diferentes enfoques, diferentes finalidades. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, [s. l.], v. 25, n. 2, p. 176-194, 2003.
- BAUER, W.; WESTFALL, G. D.; DIAS, H. **Física para universitários: mecânica.** São Paulo: Editora Bookman Companhia, 2012a.
- BAUER, W.; WESTFALL, G. D.; DIAS, H. **Física para universitários: relatividade, oscilações e ondas e calor.** São Paulo: Editora Bookman Companhia, 2013
- BRASIL. **Parâmetros Curriculares Nacionais: Ensino Médio: parte I: bases legais.** Brasília: MEC, 1999a.
- BRASIL. **Parâmetros Curriculares Nacionais: Ensino Médio: parte III: ciências da natureza, matemática e suas tecnologias.** Brasília: MEC, 1999b.
- CAPELARI, D. **Uma sequência didática para ensinar relatividade restrita no ensino médio com o uso de TIC.** 2016. Dissertação (Mestrado Profissional em Ensino de Física) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campo Mourão, 2016. Disponível em: <http://repositorio.utfpr.edu.br:8080/jspui/bitstream/1/2318/1/sequenciadidaticarelatividadetic.pdf>. Acesso em: 29 nov. 2020.
- CHARLOT, B. **Da relação com o saber: elementos para uma teoria.** Porto Alegre: Artmed, 2000.
- COUTO, F. P. **Atividades experimentais em aulas de Física: repercussões na motivação dos estudantes, na dialogia e nos processos de modelagem.** 2009. Dissertação (Mestrado em Educação)-Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2009.
- FOLQUE, M. A. A influência de Vigotsky no modelo curricular do movimento da escola moderna para a educação pré-escolar. **Escola Moderna**, [s. l.], n. 5, 5. série, 1999. Disponível em: [https://dspace.uevora.pt/rdpc/bitstream/10174/3523/3/assun\\_rev5-1%20Vygotsky%20Escola%20Moderna.pdf](https://dspace.uevora.pt/rdpc/bitstream/10174/3523/3/assun_rev5-1%20Vygotsky%20Escola%20Moderna.pdf). Acesso em: 14 ago. 2022.
- GONZAGA JÚNIOR, E. L. **Gestão da informação e do conhecimento: sala de aula interativa.** 3. ed. Curitiba: IESD Brasil, 2009.

HALLIDAY, D.; RESNICK, R. **Fundamentos de Física: gravitação, ondas e termodinâmica**. 10. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2016a. v. 2.

HALLIDAY, D.; RESNICK, R. **Fundamentos de Física: mecânica**. 10. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2016b. v. 1.

JOÃO, H. **Aulas-oficina de física moderna integrando TIC e demonstração experimental**. 2016. Dissertação (Mestrado Profissional em Ensino de Física) – Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2016. Disponível em: [https://repositorio.ufscar.br/bitstream/handle/ufscar/9261/JO%c3%83O\\_Herbert\\_2018.pdf?sequence=5&isAllowed=y](https://repositorio.ufscar.br/bitstream/handle/ufscar/9261/JO%c3%83O_Herbert_2018.pdf?sequence=5&isAllowed=y) . Acesso em: 12 fev. 2023.

KNIGHT, Randall. **Física: uma abordagem estratégica: mecânica newtoniana, gravitação, oscilações e ondas**. 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 2009a. v. 1.

KNIGHT, Randall. **Física: uma abordagem estratégica: termodinâmica e óptica**. 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 2009b. v. 2.

MEDEIROS, A.; MEDEIROS, C. F. Possibilidades e limitações das simulações computacionais no ensino da física. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, [s. l.], v. 24, n. 2, p. 77-86, 2002

MOREIRA, M. A. Aprendizagem significativa: um conceito subjacente. *In*: MOREIRA, M. A.; CABALLERO, M. C.; RODRIGUEZ, M. L. (org.). **Actas del Encuentro Internacional sobre el Aprendizaje Significativo**. Espanha: [s. n.], 1997. p. 19-44.

MOREIRA, M. A.; MASSONI, N. T. Interfaces entre teorias de aprendizagem e ensino de ciências/física. **Textos de Apoio ao Professor de Física**, Porto Alegre, v. 26, n. 6, p. 1-42, 2015. Disponível em: [https://maescencursos.medellin.unal.edu.co/pluginfile.php/8489/mod\\_resource/content/1/Teorias%20constructivistas.pdf](https://maescencursos.medellin.unal.edu.co/pluginfile.php/8489/mod_resource/content/1/Teorias%20constructivistas.pdf). Acesso em: 10 maio 2023.

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

MOREIRA, M. A. **O que é afinal aprendizagem significativa?** [S. l. : s. n.], 2010.

MOREIRA, M. A. **Subsídios teóricos para o professor pesquisador no ensino de Ciências: a teoria da aprendizagem significativa**. 2. ed. Porto Alegre: [S. l.], 2016a.

MOREIRA, M. A. **Subsídios teóricos para o professor pesquisador no ensino de Ciências: comportamento, construtivismo e humanismo**. 2. ed. Porto Alegre: [S. l.], 2016b.

MOREIRA, Marco A. **Teorias de aprendizagem**. 2. ed. São Paulo: EPU, 2011.

OSTERMANN, F.; CAVALCANTI, C. J. H. **Teorias de aprendizagem: texto introdutório**. [Porto Alegre]: UFRGS, 2010.

PEREIRA, Rosimary. **Vygotsky: Teoria sócio-cultural**. [S. l.: s. n.], 2001. Disponível

em: [www.mtm.ufsc.br/geiaamA/y-texto.doc](http://www.mtm.ufsc.br/geiaamA/y-texto.doc). Acesso em: 18 nov. 2022.

PHYPHOX: physical phone experiments. [S. l.: s. n., 2016?]. Disponível em: <https://phyphox.org/experiment/free-fall-2/>. Acesso em: 10 fev. 2022.

PINTO, A. R.; SARAIVA, C. Determinação do valor da aceleração gravítica com a aplicação phyphox. **Gazeta de Física: Sala de Professores**, [s. l.], v. 44, n. 1, p. 18-20, 2021. Disponível em: <https://www.spf.pt/magazines/GFIS/482/article/1819/pdf>. Acesso em: 18 nov. 2022.

PRÄSS, A. R. **Teorias de aprendizagem**. Rio Grande do Sul: ScriniaLibris, 2012.

ROSA, C. W. Concepções teórico-metodológicas no laboratório didático de física na Universidade de Passo Fundo. **Ensaio**, Belo Horizonte, v. 5, n. 2, p. 94-108, 2003.

ROSITO, B. A. O ensino de ciências e a experimentação. In: MORAES, R. (org.). **Construtivismo e ensino de ciências: reflexões epistemológicas e metodológicas**. 3.ed. Porto Alegre: EDIPUCRS, 2008. p. 195-208.

SANTOS, R. M. B. **TIC`s uma tendência no ensino da matemática**. [S. l.: s.n], 2006. Disponível em: <https://meuartigo.brasilecola.uol.com.br/educacao/tics-uma-tendencia-no-ensino-matematica.htm>. Acesso em: 15 dez. 2022.

SANTOS, S. A. S. **Ensino interativo de física utilizando materiais de baixo custo e fácil acesso**. 2017. Dissertação (Mestrado Profissional em Ensino de Física)-Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Presidente Prudente, 2017.

SÉRÉ, M.-G.; COELHO, S. M.; NUNES, A. D. O papel da experimentação no ensino da física. **Caderno brasileiro de ensino de física**, [s. l.], v. 20, n. 1, p. 30-42, 2003. Disponível em: <https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/6560>. Acesso em: 15 set. 2022.

SILVA, C. E.; SILVA, S. M. V. **O uso da experimentação no ensino de física na unidade escolar Moisaniel Alves de Sousa**. 2016. Trabalho de Conclusão de Curso (Licenciatura em Física)-Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí, Angical do Piauí, 2016. Disponível em: <http://bia.ifpi.edu.br:8080/jspui/handle/123456789/339>. Acesso em: 12 ago. 2022.

SILVA, D. L.; SILVA, O. H. M. Dificuldade e superação no ensino remoto durante a pandemia. **Revista Foco: interdisciplinary studies**, Curitiba, v. 16, n. 7, p. 1-25, 2023. Disponível em: <https://ojs.focopublicacoes.com.br/foco/article/view/2577>. Acesso em: 06 ago. 2023.

SILVA NETO, A. M. **As características do ensino remoto de física em tempos de Pandemia**. 2022. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Física)-Universidade Federal de Alagoas, Arapiraca, 2022. Disponível em <https://ud10.arapiraca.ufal.br/repositorio/publicacoes/4003>. Acesso em: 30 jul. 2023

STACKS, S. *et al.* Advanced tools for smartphone-based experiments: phyphox. **Physics Education**, [s. l.], v. 53, n. 4, p. 045009–045015, 2018.

THOMAZ, M. F. A experimentação e a formação de professores: uma reflexão. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 17, n. 3, p. 360-369, 2000.

VALENTE, J. A. Aspectos críticos das tecnologias nos ambientes educacionais e nas escolas. **Revista Educação e Cultura Contemporânea**, [s. l.], v. 2, n. 3, p. 11-28, 2005.

VIGOTSKY, L. S. **A construção do pensamento e da linguagem**. 2. ed. São Paulo: Martins Fontes, 2009.

YOUNG, H. D.; FREEDMAN, R. A. **Física I, Sears e Zemansky**: mecânica. 14. ed. São Paulo: Pearson Education do Brasil, 2016a.

YOUNG, H. D.; FREEDMAN, R. A. **Física II, Sears e Zemansky**: termodinâmica e ondas. 14. ed. São Paulo: Pearson Education do Brasil, 2016b.

**APÊNDICE A - PRODUTO EDUCACIONAL**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ  
CENTRO DE CIÊNCIAS  
DEPARTAMENTO DE FÍSICA  
MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA**

**EDNEY MELO RODRIGUES  
CARLOS ALBERTO SANTOS DE ALMEIDA**

**ROTEIROS COM EXPERIMENTOS USANDO O APLICATIVO PHYPHOX:  
PRODUTO EDUCACIONAL PARA O MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL  
EM ENSINO DE FÍSICA**

**FORTALEZA**

**2023**

**SUMÁRIO**

<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>79</b>
<b>AS TEORIAS DE VYGOTSKY E DE AUSUBEL .....</b>	<b>80</b>
<b>O APLICATIVO PHYPHOX .....</b>	<b>82</b>
<b>DETERMINAÇÃO DA VELOCIDADE DO SOM NO AR .....</b>	<b>86</b>
<b>DETERMINAÇÃO DA ACELERAÇÃO DA GRAVIDADE .....</b>	<b>89</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>93</b>



## INTRODUÇÃO

Este manual tem como objetivo a realização de experimentos com o auxílio de um telefone celular com um aplicativo instalado no mesmo, cujo nome é Phyphox.

O desenvolvimento das atividades experimentais devem se basear nas teorias de Vygotsky, a aprendizagem através do sócio-interacionismo, e de Ausubel, a aprendizagem significativa, com a agregação de nós subçunsores ao estudante, com base no que ele traz de conhecimento prévio.

Nele estão presentes dois roteiros experimentais que podem ser aplicados tanto nos anos finais do ensino fundamental como no ensino médio. Um dos roteiros mostra como se determinar a velocidade do som de modo bem eficiente com o uso de dois smartphones, cada um com o aplicativo Phyphox instalado. O segundo roteiro mostra como determinar a aceleração da gravidade através de um experimento rápido e objetivo, também com a inclusão de um smartphone com o aplicativo já citado devidamente instalado.

O professor, ao conhecer e explorar os sensores do smartphone que podem ser utilizados com o aplicativo, pode se aproveitar da sua criatividade e elaborar outros roteiros experimentais. O próprio site do aplicativos já traz vários experimentos prontos ([Experiments – phyphox](#)), bastando apenas o professor escolher, testar, adequar as suas necessidades e as dos seus alunos.

## AS TEORIAS DE VYGOSTKY E DE AUSUBEL

A teoria de Vygotsky se encontra baseada na cognição, em que o aluno aprende conforme ele conhece, compreende e dá significado aquilo que está sendo discutido ou apresentado. Para Vigotsky (1998), a aprendizagem depende das relações criadas entre as informações recebidas e os conhecimentos já adquiridos. Isso tudo pode ser facilitado pela mediação oferecida no contexto social. De acordo com Moreira, “o desenvolvimento cognitivo não ocorre independente do contexto social, histórico e cultural” (Moreira, 2011, p. 107).

Como a Física é uma ciência natural, ela se preocupa, em grande parte, com o ensino de conceitos científicos. De acordo com a teoria de Vigotsky, existem dois tipos de conceitos: os espontâneos, que são formados a partir da vivência do estudante, e os científicos, que são aprendidos em uma sala de aula. O conceito científico não pode ser assimilado por uma simples memorização, já que ações complexas são exigidas. Dessa forma, a formação de um conceito científico inicia no momento em que o aluno entra em contato com o termo novo. É nesse momento que a formação de conceitos, relativas a um objeto, não é alcançada apenas pelo memorização de palavras.

Quando dominamos um determinado assunto, somos capazes de resolver problemas ou conversar sobre esse assunto, de forma independente, ou seja, sem o auxílio de alguém. Por outro lado, caso não tenhamos segurança em um determinado assunto, há a necessidade da interação com alguém, para discutí-lo, entendê-lo e adquirir domínio sobre o mesmo. Para que haja a construção do conhecimento, o docente deverá ser capaz de se comunicar, dentro da zona de conhecimento proximal do aluno, para que este, possa formular seus novos conceitos, a partir dos conceitos já adquiridos.

Em virtude da diferença nos níveis de aprendizagem entre os alunos que fazem parte de uma sala de aula, o trabalho em equipe é uma saída bastante promissora, uma vez que, devido à heterogeneidade de cada grupo, todos acabam por se ajudarem. O aluno mais inteligente, porém mais introvertido, colabora com os colegas que não conseguem acompanhar a matéria, ao passo que, os que não dominam o assunto, mas são extrovertidos, ajudam o outro colega a se socializar melhor. Dessa forma, todos saem ganhando (Folque, 1999).

A teoria da Aprendizagem Significativa de Ausubel, segundo Moreira (2016a) surgiu em meados da década de 60, quando o processo de ensino-aprendizagem era constituído pré-estímulos, respostas e reforço, um processo completamente behaviorista. Nesse período, Ausubel surge enfatizando o conceito de aprendizagem significativa. Para ele, aprendizagem significativa é quando o significado lógico do que se vai aprender se transforma em significado

para o aprendiz. Isso nos permite entender que essa propõe que o conhecimento prévio que o aluno traz consigo deve ser valorizado. Esse conhecimento na teoria da aprendizagem significativa de Ausubel é chamado de conceito subsumor.

De acordo a teoria da aprendizagem significativa, o discente é considerado um sujeito que aprende e que pode ser moldado ou mudado a partir dos ensinamentos que lhe são oferecidos. A teoria da aprendizagem significativa leva em conta aquilo que o aluno possui de conhecimento prévio, considerando tal conhecimento de extrema importância para colocar em prática o processo de ensino-aprendizagem.

Infelizmente, há anos no Brasil o Ensino de Física é executado por uma aprendizagem praticamente mecânica. A memorização de equações ainda é um fato muito recorrente no ambiente escolar e, além disso, para desenvolver um certo conteúdo de Física, não se observa o que os alunos trazem de conhecimentos prévios que possam fazer com que o novo conceito seja mais fácil de ser aprendido. Muitos estudantes relatam que a física é muito complicada e que somente os mais inteligentes da sala podem aprender essa disciplina. O ensino de física é feito geralmente sem experimentação, tanto real quanto virtual. Com a aprendizagem significativa, o ensino de física pode ser muito mais atrativo, principalmente com o uso de tecnologias, algo enfaticamente dominado pelos estudantes atualmente. Se aproveitar desse fato pode ajudar e muito o ensino de física através dos conhecimentos prévios dos alunos sobre a física do cotidiano e das tecnologias utilizadas por eles. O aluno por exemplo, já tem uma noção de velocidade do som, de gravidade, e de outros temas que estão presentes no seu cotidiano.

Com base nas teorias citadas, os experimentos mostrados desse manual devem ser feitos em grupos, para que ocorra a interação entre estudantes de níveis e/ou séries diferentes. Além disso, os roteiros experimentais devem ser elaborados com base no que os alunos trazem de conhecimento prévio, tanto da sala de aula quanto no cotidiano. Por esses motivos, as duas teorias de aprendizagem citadas se encaixam muito bem nesse tipo de abordagem.

## O APLICATIVO PHYPHOX

O Phyphox é um aplicativo gratuito para Android e iOS, criado pelo 2º Instituto de Física da RWTH Aachen University, na Alemanha, que permite usar os sensores de um smartphone para realizar experimentos de Física.

Ele é constituído basicamente por uma coleção de ferramentas que podem ser utilizadas para se realizar um experimento físico. Para isso, basta imaginar um experimento a ser feito e descobrir qual a ferramenta desse aplicativo pode ser utilizada, citada e descrita em um roteiro que será usado pelo estudante.

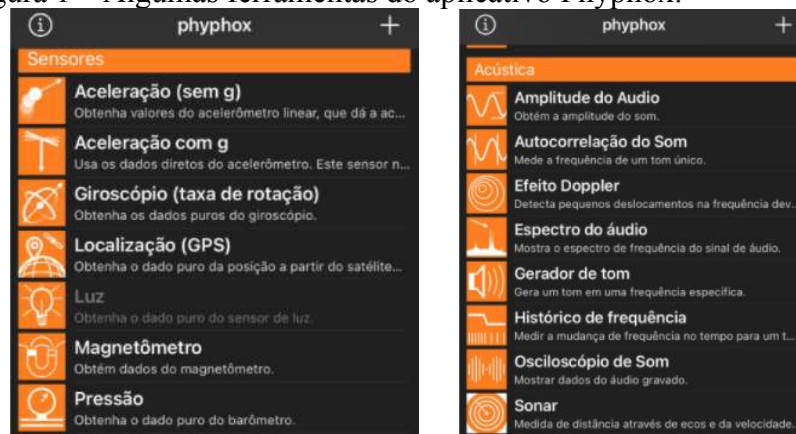
Ele tem se destacado por permitir a utilização de uma variedade de sensores para a realização de diversos experimentos, enquanto que a maioria dos aplicativos tem sua utilização limitada porque acionam um número reduzido de sensores. Com recursos gráficos interativos e medições em tempo real, os dados obtidos são analisados diretamente no aplicativo, o que permite uma leitura rápida ou até mesmo dispensando a utilização de um computador. O aplicativo ainda oferece as opções de exportação e compartilhamento dos dados, de modo que estes podem ser tratados em um momento posterior em um programa mais robusto.

O Phyphox tem algumas características que se destacam:

- o site do aplicativo sugere vários experimentos já prontos ([Experiments – phyphox](#));
- ele exporta dados para os formatos mais usados, como o Excel, por exemplo;
- os experimentos podem ser realizados em função dos sensores escolhidos;
- os resultados experimentais (e o experimento em si) podem ser acompanhados por um computador, por um tablet ou por outro celular, todos conectados na mesma rede.

Esse aplicativo possui uma coleção de ferramentas muito úteis para a realização de experimentos. Elas estão organizadas de acordo com o tipo de experimento a ser executado. Vale ressaltar que o uso dessas ferramentas está acoplado aos sensores que o aparelho celular a ser usado possui. As Figuras 1 e 2 mostram as ferramentas oferecidas por esse aplicativo.

Figura 1 – Algumas ferramentas do aplicativo Phyphox.



Fonte: O autor.

Figura 2 – Algumas ferramentas do aplicativo Phyphox.



Fonte: O autor.

A ferramenta a ser utilizada na realização de três dos quatro experimentos propostos nesse manual é o *Cronômetro Acústico*. O princípio de funcionamento dele é bem simples: se trata de um medidor de tempo o qual é acionado quando o microfone do celular recebe uma perturbação sonora, e é travado quando esse sensor recebe uma segunda onda sonora. Para o uso dessa ferramenta, as condições sonoras do ambiente no qual ele é realizado podem interferir significativamente nos dados coletados, uma vez que o cronômetro do smartphone funciona pela recepção de ondas sonoras.

A Figura 3 mostra a janela dessa função. Note que existe uma função chamada limiar, que está associada a intensidade da onda sonora que chega no celular. Ela deve ser ajustada para ficar acima das perturbações ambientais e abaixo das ondas que chegam no aparelho. Geralmente, colocamos esse limiar em 0,02 u.a.

Figura 3 – Janela que mostra a ferramenta cronômetro acústico.



Fonte: Pinto e Saraiva (2021).

Ao escolher essa função, também deixamos o intervalo mínimo (atraso entre a primeira onda e a segunda onda sonora) em 0,1 s. Para começar a usar essa ferramenta, clica-se na parte superior no triângulo branco que estava intermitente (posição indicada pela seta azul) para mudar para dois traços brancos verticais (posição indicada pela seta verde), conforme mostrado na Figura 3.

Infelizmente a qualidade do celular pode ser um fator limitante para as medidas corretas de tempo. Pode ocorrer que, para smartphones que estejam muito lentos, essa ferramenta não funcione de maneira satisfatória. Ao abrir essa função, há uma mensagem alertando sobre esse fato. Além disso, a janela também alerta sobre as perturbações ambientais, e o cuidado em calibrar o aparelho aumentando o limiar para não haver prejuízos nas medidas em virtudes das perturbações sonoras ambientais (Figura 4).

Figura 4 – Observações importantes que surgem ao abrir a função cronômetro acústico.



Fonte: O autor.

## DETERMINAÇÃO DA VELOCIDADE DO SOM NO AR

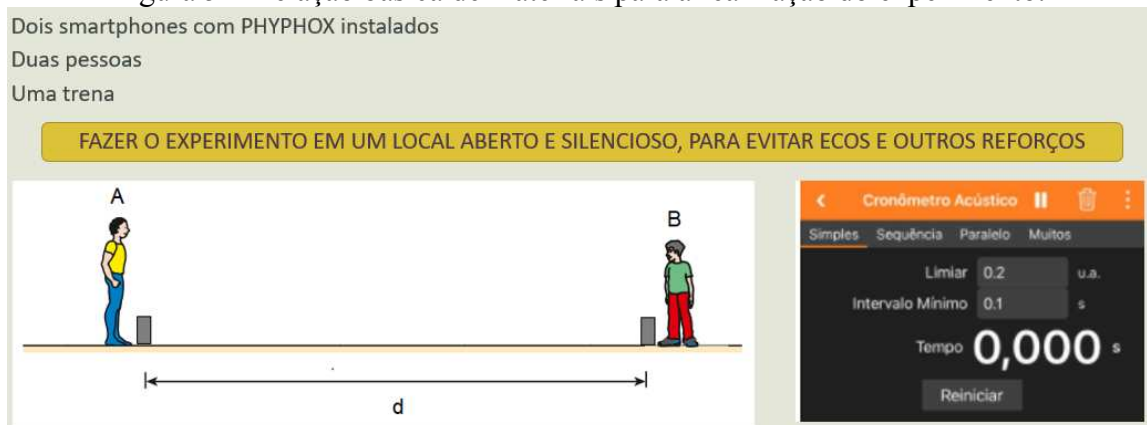
### OBJETIVOS

Ao final dessa atividade o aluno deverá ser capaz de compreender como é possível determinar a velocidade do som utilizando dois smartphones e um aplicativo adequado.

### RELAÇÃO DE MATERIAL E FUNDAMENTAÇÃO BÁSICA

A Figura 5 ilustra que, para a realização desse experimento, bastam dois smartphones (e dois estudantes) com o aplicativo Phyphox instalado em cada aparelho, com a seleção da função Cronômetro Acústico, duas pessoas e uma trena.

Figura 5 – Relação básica de materiais para a realização do experimento.



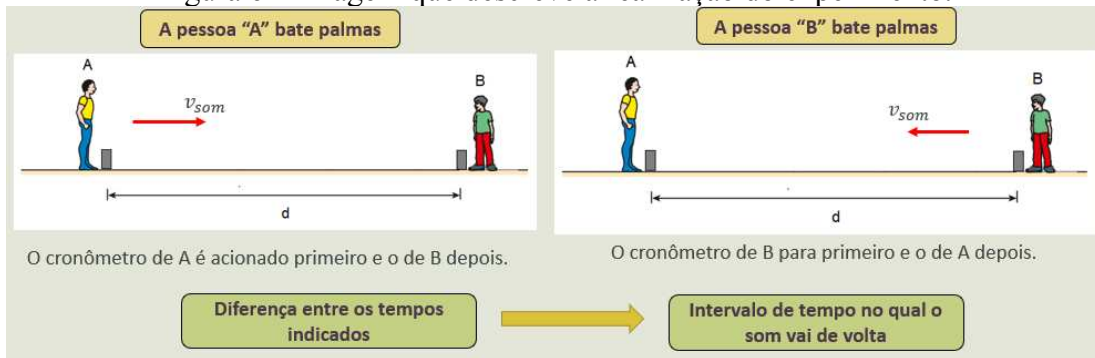
Fonte: O autor.

Cada estudante deverá ficar sentado com o seu celular bem próximo a ele, e a ação de bater palmas apenas uma vez servirá de base para a realização do experimento. Quando o estudante A (mostrado na Figura 5) produz uma onda sonora, este aciona de imediato o cronômetro do seu celular. Com um pequeno atraso, mas considerável, pois a velocidade do som é finita, o celular do estudante B recebe essa perturbação e tem o seu cronômetro acionado também.

Por outro lado, quando o estudante B bater palmas (apenas uma vez) agora, o seu cronômetro será travado de modo imediato e, após um *delay*, o cronômetro de celular do estudante A também travará. Observe a Figura 6.



Figura 6 – Imagem que descreve a realização do experimento.



Fonte: O autor.

A diferença entre os instantes finais marcados pelos celulares corresponde ao intervalo de tempo no qual o som vai e volta, ou seja percorre uma distância  $2d$ , sendo  $d$  a distância entre os celulares (e os estudantes). Dessa forma, podemos escrever, pela definição de velocidade escalar média:

$$v_{som} = \frac{\text{distância percorrida}}{\text{intervalo de tempo}}$$

$$v_{som} = \frac{2d}{t_A - t_B}$$

Como o celular A foi acionado primeiro e travado por último, o instante final ( $t_A$ ) marcado por ele é maior do que o instante final ( $t_B$ ) marcado pelo aparelho B.

Pode ocorrer que o primeiro barulho produzido para disparar o cronômetro faça com que não haja disparo. Isso ocorre porque o limiar de intensidade sonora do smartphone está maior do que a intensidade do ruído. Para corrigir esse problema, basta diminuir o limiar na janela indicada na Figura 4. Caso o cronômetro dispare por ruídos muito baixos (aqueles que podem ser interferências externas ao experimento), aumente o limiar dessa função.

Com o uso de uma trena, a distância  $d$  entre os aparelhos celulares deve ser medida. Depois de feita a medição e os smartphones estarem devidamente calibrados e testados, a dupla de estudantes deverá fazer 5 medidas dos instantes  $t_A$  e  $t_B$  indicados pelos celulares. A tabela 1 deve ser preenchida.

Tabela 1 – Dados a serem levantados pelos estudantes.

$t_A$ (s)	$t_B$ (s)	$t_A - t_B$ (s)	$v_{som}$ (m/s)
Valor médio da velocidade do som			
$(v_{som})_{médio}$ em m/s			

Fonte: O autor.

A última coluna da tabela é para a determinação da velocidade do som para cada par de medidas feitas. Por outro lado, a última linha serve para a determinação do valor médio dessa grandeza.

É de fundamental importância que, em um experimento realizado de forma quantitativa, seja conferido o sucesso ou insucesso dos procedimentos experimentais. Para isso, vamos determinar o erro relativo (ou erro percentual) em relação ao valor real, do valor obtido experimentalmente.

Para se determinar o erro relativo de uma grandeza  $x$ , procedemos da seguinte forma:

$$\varepsilon_{relativo}(\%) = \frac{|x_{teórico} - x_{medido}|}{x_{teórico}} \times 100$$

Considere que você foi medir o volume de um líquido que estava em uma garrafa de 125 ml. Para isso, você usou uma proveta e obteve uma medida de 127 ml. O erro relativo obtido foi o seguinte:

$$\varepsilon_{relativo}(\%) = \frac{|V_{teórico} - V_{medido}|}{V_{teórico}} \times 100$$

$$\varepsilon_{relativo}(\%) = \frac{|125 - 127|}{125} \times 100$$

$$\varepsilon_{relativo}(\%) = \frac{2}{125} \times 100$$

$$\varepsilon_{relativo}(\%) = 1,6\%$$

Estando o aluno já familiarizado com erro relativo, e considerando que, a 25°C, a velocidade do som vale 346,3 m/s, o estudante pode determinar o erro relativo para o valor experimental obtido.

## DETERMINAÇÃO DA ACELERAÇÃO DA GRAVIDADE

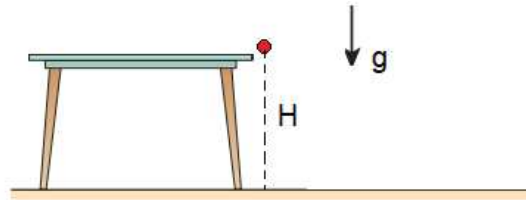
### OBJETIVO

Ao final dessa atividade o aluno deverá ser capaz de compreender como é possível determinar a aceleração da gravidade utilizando um smartphone, alguns materiais simples e um aplicativo adequado.

### FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA BÁSICA

A figura 7 mostra um pequeno objeto que vai cair de uma altura  $H$  em relação ao solo, partido do mesmo nível da superfície de uma mesa, em um local em que a aceleração da gravidade vale, em módulo,  $g$ .

Figura 7 – Pequeno objeto em queda livre.



Fonte: o autor.

Como se trata de um movimento uniformemente variado, pois a aceleração do corpo é constante (aceleração da gravidade), podemos escrever que a altura de queda ( $H$ ), o tempo de queda ( $t$ ) e a aceleração da gravidade são relacionados da seguinte forma:

$$H = \frac{gt^2}{2}$$

Caso se queira obter a aceleração da gravidade ( $g$ ) a partir das medidas de  $H$  (em metros) e de  $t$  (em segundos), podemos escrever:

$$H = \frac{gt^2}{2} \rightarrow gt^2 = 2H$$

$$g = \frac{2H}{t^2}$$

Como exemplo, podemos imaginar a situação em que um experimento no qual um objeto cai de uma altura de 20,0 m e leva um tempo de 2,03 s para chegar ao solo. Dessa forma, temos que:

$$g = \frac{2H}{t^2} = \frac{2 \cdot 20,0}{2,03^2} \rightarrow g \approx 9,71 \text{ m/s}^2$$

Sabemos que a aceleração da gravidade nas proximidades da superfície terrestre vale 9,81 m/s<sup>2</sup> (valor teórico). Dessa forma, para o experimento em questão, temos o seguinte erro relativo:

$$\varepsilon_{\text{relativo}}(\%) = \frac{|g_{\text{teórico}} - g_{\text{medido}}|}{g_{\text{teórico}}} \times 100$$

$$\varepsilon_{\text{relativo}}(\%) = \frac{|9,81 - 9,71|}{9,81} \times 100$$

$$\varepsilon_{\text{relativo}}(\%) = 1,01\%$$

## MATERIAL NECESSÁRIO E PROCEDIMENTOS EXPERIMENTAIS

Para que o experimento seja realizado, precisamos simplesmente de:

- um smartphone com aplicativo phyphox instalado;
- uma régua;
- uma moeda ou uma esfera de metal;
- uma caneta;
- uma trena.

Figura 8 – Alguns dos materiais utilizados no experimento.



Fonte: Phyphox ([2016?]).

A régua e a esfera (ou moeda) devem ser ajustadas sobre uma superfície horizontal (podendo ser a de ma mesa ou a de uma bancada) de acordo o esquema mostrado na Figura 9. Note que parte da régua (a maior parte do seu comprimento) está apoiada sobre a mesa e o objeto metálico que vai cair está na extremidade da parte externa da régua.

Figura 9 – Posição da régua e da esfera na borda de uma mesa.



Fonte: Phyphox ([2016?]).

O smartphone deve ser colocado no chão (sugere-se colocá-lo fora da vertical onde se encontra a esfera), deixando a função cronômetro acústico acionada. Usando uma caneta, faz-se uma força na parte lateral da régua, de modo que a esfera caia verticalmente. Esse procedimento deve ser testados algumas vezes para que o experimentador se habitue com ele.

Figura 10 – Caneta na iminência de colidir com a parte externa da régua.



Fonte: Phyphox ([2016?]).

Quando a régua for deslocada de maneira brusca, a esfera fica praticamente na mesma posição e inicia um movimento de queda livre.

Figura 11 – Início do movimento de queda livre da esfera após o deslocamento brusco da régua.



Fonte: Phyphox ([2016?]).

Nota-se que, quando a caneta bate na régua, uma onda sonora é gerada, de maneira que o cronômetro do celular é acionado. Por outro lado, quando a esfera (ou moeda) bate no chão, outra onda sonora é gerada e o cronômetro do celular é travado. Dessa forma, o instante  $t$  marcado pelo aparelho corresponderá ao tempo de queda do corpo metálico.

Com uma trena, a altura  $H$  de queda do corpo metálico deve ser medida, de forma que o seu valor deve estar em metros.

Com a utilização da equação  $g = \frac{2H}{t^2}$ , o valor numérico da aceleração da gravidade no local deve ser determinado.

O experimento deve ser executado mais 4 vezes, ficando agora com CINCO medidas de tempo e da aceleração da gravidade. A Tabela 2 com os valores obtidos. A primeira medida corresponde a já obtida e calculada anteriormente.

Tabela 2 – Dados obtidos nas cinco execuções do experimento.

Medida	$t$ (s)	$g$ (m/s <sup>2</sup> )
1		
2		
3		
4		
5		

Fonte: O autor.

De posse dos cinco valores de  $g$  calculados nos experimentos realizados, pode-se agora determinar o valor médio,  $g_{\text{méd}}$ , da aceleração da gravidade local, assim como o erro relativo.

## REFERÊNCIAS

- FOLQUE, M. A. A influência de Vigotsky no modelo curricular do movimento da escola moderna para a educação pré-escolar. **Escola Moderna**, [s. l.], n. 5, 5. série, 1999. Disponível em: [https://dspace.uevora.pt/rdpc/bitstream/10174/3523/3/assun\\_rev5-1%20Vygotsky%20Escola%20Moderna.pdf](https://dspace.uevora.pt/rdpc/bitstream/10174/3523/3/assun_rev5-1%20Vygotsky%20Escola%20Moderna.pdf). Acesso em: 14 ago. 2022.
- MOREIRA, M. A. Aprendizagem significativa: um conceito subjacente. *In*: MOREIRA, M. A.; CABALLERO, M. C.; RODRIGUEZ, M. L. (org.). **Actas del Encuentro Internacional sobre el Aprendizaje Significativo**. Espanha: [s. n.], 1997. p. 19-44.
- MOREIRA, M. A.; MASSONI, N. T. Interfaces entre teorias de aprendizagem e ensino de ciências/física. **Textos de Apoio ao Professor de Física**, Porto Alegre, v. 26, n. 6, p. 1-42, 2015. Disponível em: [https://maescencursos.medellin.unal.edu.co/pluginfile.php/8489/mod\\_resource/content/1/Teorias%20constructivistas.pdf](https://maescencursos.medellin.unal.edu.co/pluginfile.php/8489/mod_resource/content/1/Teorias%20constructivistas.pdf). Acesso em: 10 maio 2023.
- MOREIRA, M. A.; MASINI, E. F. S. **Aprendizagem significativa: a teoria de David Ausubel**. São Paulo: Editora Moraes, 1982.
- MOREIRA, M. A. **O que é afinal aprendizagem significativa?** [S. l. : s. n.], 2010.
- MOREIRA, M. A. **Subsídios teóricos para o professor pesquisador no ensino de Ciências: a teoria da aprendizagem significativa**. 2. ed. Porto Alegre: [S. l.], 2016a.
- MOREIRA, M. A. **Subsídios teóricos para o professor pesquisador no ensino de Ciências: comportamento, construtivismo e humanismo**. 2. ed. Porto Alegre: [S. l.], 2016b.
- MOREIRA, Marco A. **Teorias de aprendizagem**. 2. ed. São Paulo: EPU, 2011.
- PHYPHOX: physical phone experiments. [S. l.: s. n., 2016?]. Disponível em: <https://phyphox.org/experiment/free-fall-2/>. Acesso em: 10 fev. 2022.
- VIGOTSKY, L. S. **A construção do pensamento e da linguagem**. 2. ed. São Paulo: Martins Fontes, 2009.