

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

SANDRO MIGUEL MOREIRA DA SILVA

**AS POTENCIALIDADES DO SOFTWARE TRACKER NO ESTUDO DA
ÓPTICA FÍSICA: VIDEOANÁLISES APLICADAS EM PRÁTICAS
EXPERIMENTAIS**

DISSERTAÇÃO

PONTA GROSSA

2023

SANDRO MIGUEL MOREIRA DA SILVA

**AS POTENCIALIDADES DO SOFTWARE TRACKER NO ESTUDO DA
ÓPTICA FÍSICA: VIDEOANÁLISES APLICADAS EM PRÁTICAS
EXPERIMENTAIS**

**THE POTENTIALITIES OF THE TRACKER SOFTWARE IN THE
STUDY OF PHYSICAL OPTICS: VIDEO ANALYSIS APPLIED IN
EXPERIMENTAL PRACTICES**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação no Curso de Ensino de Ciência e Tecnologia (PPGECT), para obtenção do título de Mestre em Ensino de Ciência e Tecnologia da Universidade Tecnológica Federal do Paraná - UTFPR.

Orientador: Prof. Dr. Romeu Miqueias Szmoski.

Coorientador: Prof. Me. Celso Gonçalves de Quadros.

PONTA GROSSA

2023



[4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Esta licença permite remixe, adaptação e criação a partir do trabalho, para fins não comerciais, desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es) e que licenciem as novas criações sob termos idênticos. Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.



SANDRO MIGUEL MOREIRA DA SILVA

**AS POTENCIALIDADES DO SOFTWARE TRACKER NO ESTUDO DA
ÓPTICA FÍSICA: VIDEOANÁLISES APLICADAS EM PRÁTICAS
EXPERIMENTAIS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação no Curso de Ensino de Ciência e Tecnologia (PPGECT), apresentada para obtenção do título de Doutor em Ensino de Ciência e Tecnologia na Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR.

Data de aprovação: 31 de março de 2023

Prof. Romeu Miqueias Szmoski, Doutorado – Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Prof. Celso Gonçalves de Quadros, Doutorado – Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Prof. Eduardo Vicentini, Doutorado – Universidade Estadual do Centro-Oeste

Prof. Hércules Alves de Oliveira Junior, Doutorado - Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Documento gerado pelo Sistema Acadêmico da UTFPR a partir dos dados da Ata de Defesa em 31/03/2023.

PONTA GROSSA

2023

Dedico este trabalho a minha esposa Gisele, que sempre esteve ao meu lado nos momentos difíceis de minha vida, as minhas filhas Letícia e Larissa que são motivo de minhas conquistas, ao meu pai Francisco e minha mãe Maria Helena, os quais alimentaram minha fé com suas orações, ao meu irmão Jefferson e, as minhas irmãs, Gislaine e Suelen, que sempre acreditaram que eu conseguiria.

AGRADECIMENTOS

À Deus, pela vida e suas muitas oportunidades que proporcionou a meu crescimento, tanto profissionalmente, quanto na vida acadêmica.

Aos meus familiares e amigos, pois acredito que sem o apoio deles seria muito difícil vencer esse desafio.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Romeu Miqueias Szmoski, por ter aceitado ser meu mentor nesse trabalho, pela paciência que teve ao longo desses anos e pelos ensinamentos que me proporcionou ao longo dessa trajetória. Uma pessoa incrível, de tamanha humildade e sabedoria, a qual foi fundamental para que essa pesquisa acontecesse.

Ao meu coorientador, Prof. Me. Celso Gonçalves de Quadros, que me proporcionou ensinamentos ainda na graduação, auxiliando nesse trabalho com seus apontamentos e orientações.

Aos membros da banca examinadora, Prof. Dr. Eduardo Vicentini e Prof. Dr. Hércules Alves de Oliveira Junior, por terem aceitado o convite de participarem, tanto na banca examinadora de qualificação, quanto na banca de defesa dessa dissertação, os quais contribuíram muito com seus apontamentos para que esse trabalho fosse finalizado.

Ao meu amigo Hernani Batista Cruz, que conheci ainda na graduação, e me proporcionou um grande apoio até aqui. Uma pessoa que me apoiou em momentos difíceis dessa jornada e contribuiu muito para que fosse possível essa conquista.

A todos os Professores, funcionários e colaboradores da UTFPR, os quais fazem parte dessa instituição de ensino superior.

A todos os colegas do mestrado, os quais, compartilhamos e vivenciamos aprendizados e ensinamentos, tanto no ambiente acadêmico, quanto na vida social e profissional.

E por fim, a todos que fizeram parte desses anos em minha vida acadêmica, proporcionando aprendizagem, ensinamentos, e bons momentos que vivenciei ao longo desses anos nessa instituição de ensino superior, momentos que ficaram eternizados em minha vida.

“Viver é enfrentar um problema atrás do outro. O modo como você o encara é que faz a diferença.”

(FRANKLIN, 1706-1790)

RESUMO

As aulas experimentais no ensino de Física sempre foram fundamentais para auxiliar na compreensão dos fenômenos que estão ligados aos conteúdos abordados em sala de aula. Partindo de situações concretas através da experimentação, o professor apresenta ao aluno uma possibilidade de interagir com o objeto de estudo, vinculando problemas a serem abordados pela relação entre teoria e prática. Um problema bastante pertinente nos laboratórios de Física em grande parte das instituições de ensino brasileiras é a escassez dos equipamentos necessários para realização de experimentos, principalmente quando envolve análises de dados aprofundados no estudo de alguns fenômenos. Isso se dá, devido ao alto custo associado de alguns equipamentos que possibilitam a realização das práticas experimentais. Em uma tentativa para contornar este problema, professores e pesquisadores da área de ensino têm proposto e desenvolvido uma série de aparatos experimentais de baixo custo que possibilitam aos menos uma análise qualitativa dos fenômenos envolvidos. No entanto, o cenário educacional provocado pela pandemia do COVID-19, nos anos de 2020 e 2021, dificultou ou impossibilitou a realização de atividades experimentais nos laboratórios. Todas as atividades que aconteciam no ensino convencional tiveram que ser adaptadas ao ensino remoto. Esse cenário, porém, desencadeou mudanças no âmbito educacional que proporcionaram ao professor aperfeiçoar sua prática pedagógica e aprender a conhecer diferentes ferramentas de aprendizagem que permitam auxiliar no processo de ensino/aprendizagem tanto na modalidade presencial quanto na remota. Uma das mudanças é a utilização das novas tecnologias, as quais tem o intuito de possibilitar uma interação entre a prática experimental e o conteúdo ensinado nas aulas de Física. Essa pesquisa apresenta a contribuição de videoanálises com o software *Tracker* no estudo dos fenômenos da Óptica aplicado em aulas experimentais de Física, envolvendo o estudo da difração, interferência e polarização de ondas eletromagnéticas. Como produto desse mestrado, foi desenvolvido um material instrucional para auxiliar como suporte no estudo de conceitos da Óptica/Física abordando as potencialidades do *Tracker* como recurso facilitador no processo de ensino/aprendizagem. Para a análise dos dados, foram elaborados dois questionários, o primeiro, com intuito de avaliar o conhecimento prévio dos participantes, e o segundo questionário para avaliar as contribuições do referido trabalho após a aplicação das atividades. Quanto à abordagem, essa pesquisa apresenta caráter qualitativo e quanto sua natureza, é aplicada

Palavras-chave: videoanálise; óptica; física; tracker.

ABSTRACT

Experimental classes in Physics teaching have always been essential to help in understanding the phenomena that are linked to the contents addressed in the classroom. Starting from concrete situations through experimentation, the teacher presents the student with the possibility of interacting with the object of study, linking problems to be addressed by the relationship between theory and practice. A very pertinent problem in Physics laboratories in most Brazilian teaching institutions is the shortage of equipment needed to carry out experiments, especially when it involves in-depth data analysis in the study of some phenomena. This is due to the high cost associated with some equipment that makes it possible to carry out experimental practices. In an attempt to get around this problem, professors and researchers in the field of education have proposed and developed a series of low-cost experimental apparatuses that allow at least a qualitative analysis of the phenomena involved. However, the educational scenario caused by the COVID-19 pandemic, in 2020 and 2021, made it difficult or impossible to carry out experimental activities in laboratories. All activities that took place in conventional teaching had to be adapted to remote teaching. This scenario, however, triggered changes in the educational scope that allowed teachers to improve their pedagogical practice and learn to know different learning tools that allow them to assist in the teaching/learning process both in face-to-face and remote mode. One of the changes is the use of new technologies, which are intended to enable an interaction between experimental practice and the content taught in Physics classes. This research presents the contribution of video analysis with the Tracker software in the study of Optics phenomena applied in experimental Physics classes, involving the study of diffraction, interference and polarization of electromagnetic waves. As a product of this master's degree, we developed instructional material to support the study of Optics/Physics concepts, approaching the potential of Tracker as a facilitating resource in the teaching/learning process. For data analysis, two questionnaires were elaborated, the first one, with the intention of evaluating the previous knowledge of the participants, and the second questionnaire to evaluate the contributions of the referred work after the application of the activities. As for the approach, this research presents a qualitative character and as for its nature, it is applied.

Keywords: videoanalysis; óptics; physics; tracker.

LISTA DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1 – Congressistas na Conferência de Salvoy em 1927 | 28 |
| Figura 2 – The horse in motion, 1872, Eadweard Muybridge | 44 |
| Figura 3 – Tracker tela inicial..... | 46 |
| Figura 4 – Análise de espectro luminoso pela difração | 47 |
| Figura 5 – Tela inicial QTILOT..... | 49 |
| Figura 6 – Onda eletromagnética | 58 |
| Figura 7 – Período de uma onda eletromagnética..... | 58 |
| Figura 8 – Difração em fenda simples no Tracker | 60 |
| Figura 9 – Formação do máximo central de difração | 61 |
| Figura 10 – Difração em fenda simples | 63 |
| Figura 11 – Máximos e mínimos resultantes de duas fendas estreitas | 64 |
| Figura 12 – Experimento de Young- difração causando interferência | 65 |
| Figura 13 – Interferência construtiva e destrutiva..... | 66 |
| Figura 14 – Polarização linear de ondas | 68 |
| Figura 15 – Polarização circular de ondas | 68 |
| Figura 16 – Polarização elíptica, sentido anti-horário..... | 69 |
| Figura 17 – Onda eletromagnética não polarizada..... | 70 |
| Figura 18 – Polarização da luz pela lei de Mallus..... | 72 |
| Figura 19 – Polarização da luz por duas lentes polaroides | 72 |
| Figura 20 – Polarização da luz em papel A4 | 79 |
| Figura 21 – Montagem do procedimento experimental | 87 |
| Figura 22 – Experimento da polarização da luz com smartphone | 88 |

| | |
|--|----|
| Figura 23 – Experimento da difração e interferência em fenda simples | 90 |
| Figura 24 – Difração e interferência em fenda simples analisadas no Tracker ... | 90 |
| Figura 25 – Difração e interferência em fenda dupla analisadas no Tracker | 91 |
| Figura 26 – Difração e interferência no fio de cabelo analisadas no Tracker | 91 |
| Figura 27 – Difração e interferência rede de difração analisadas no Tracker | 91 |

LISTA DE GRÁFICOS

| | |
|--|----|
| Gráfico 1 – Respostas sobre a classificação da luz quanto ser uma onda | 80 |
| Gráfico 2 – Respostas sobre o que as ondas eletromagnéticas transportam | 81 |
| Gráfico 3 – Respostas dos alunos sobre conhecer algum programa para tratamento de dados através de videoanálise | 82 |
| Gráfico 4 – Respostas sobre o conhecimento de conceitos de difração, interferência e polarização | 83 |
| Gráfico 5 – Respostas sobre realização de experimentos com auxílio o de roteiros | 83 |
| Gráfico 6 – Respostas sobre se faz uso dos recursos disponíveis no smartphone nas aulas de física..... | 84 |
| Gráfico 7 – Respostas sobre as dificuldades encontradas com o Tracker | 92 |
| Gráfico 8 – Respostas sobre o nível de dificuldade com o uso do Tracker | 94 |
| Gráfico 9 – Avaliação sobre uso do Tracker | 95 |
| Gráfico 10 – Respostas sobre a necessidade de roteiros nas aulas de física | 97 |
| Gráfico 11 – Respostas sobre o que poderia ser feito para substituir o uso de roteiro nas aulas de física | 99 |

LISTA DE QUADROS

| | |
|--|-----|
| Quadro 1 – Publicações de artigos com o uso de videoanálise no estudo da Física..... | 51 |
| Quadro 2 – Etapas para a aplicação da pesquisa | 77 |
| Quadro 3 – Respostas sobre o uso dos recursos do smartphone nas aulas de Física..... | 85 |
| Quadro 4 – Respostas sobre o uso da tecnologia como recurso facilitador no estudo da Física | 86 |
| Quadro 5 – Dificuldades encontradas no uso do Tracker..... | 93 |
| Quadro 6 - Respostas sobre a avaliação do Tracker pelos alunos..... | 95 |
| Quadro 7 – Respostas sobre o uso de roteiro nas aulas de Física | 98 |
| Quadro 8 – Respostas sobre aquisição de novos conceitos no estudo da interferência, difração e polarização..... | 101 |

LISTA DE SIGLAS

| | |
|-------------|---|
| EAD | Ensino à Distância |
| MCU | Movimento Circular Uniforme (MCU) |
| MHS | Movimento Harmônico Simples |
| MRU | Movimento Retilíneo Uniforme |
| MRUV | Movimento Retilíneo Uniformemente Variado |
| REA | Recurso Educacional Aberto |
| RTE | Recursos Tecnológicos Educacionais |
| TIC | Tecnologia de Informação e Comunicação |

SUMÁRIO

| | | |
|----------|---|-----------|
| 1 | INTRODUÇÃO | 16 |
| 1.1 | Justificativa | 18 |
| 1.2 | Objetivo geral..... | 19 |
| 1.3 | Objetivos específicos | 19 |
| 2 | REVISÃO DA LITERATURA | 20 |
| 2.1 | O surgimento da Física..... | 20 |
| 2.2 | Física Clássica..... | 21 |
| 2.3 | Física Moderna/Quântica..... | 27 |
| 2.4 | Física Contemporânea..... | 31 |
| 2.5 | Ensino de Física no Brasil | 33 |
| 2.6 | Aprendizagem significativa | 38 |
| 2.7 | As novas tecnologias no ensino de Física | 41 |
| 3 | VIDEOANÁLISE NO ENSINO DE FÍSICA | 43 |
| 4 | O SOFTWARE TRACKER | 45 |
| 5 | LEVANTAMENTO DE ARTIGOS UTILIZANDO VIDEOANÁLISES COM O TRACKER APLICADOS AO ESTUDO DE FÍSICA | 51 |
| 6 | ÓPTICA FÍSICA | 57 |
| 6.1 | Difração | 59 |
| 6.2 | Difração por uma fenda simples | 63 |
| 6.3 | Difração em fenda dupla..... | 63 |
| 6.4 | Interferência..... | 65 |
| 6.5 | Polarização | 67 |
| 6.5.1 | Polarização linear | 67 |
| 6.5.2 | Polarização circular | 68 |
| 6.5.3 | Polarização elíptica..... | 69 |
| 6.5.4 | Ondas não polarizadas | 69 |
| 7 | LEI DE MALLUS | 71 |
| 8 | METODOLOGIA | 74 |
| 8.1 | Lócus da pesquisa e participantes..... | 75 |
| 8.2 | Instrumentos da coleta de dados..... | 76 |

| | | |
|-----------|--|------------|
| 9 | RESULTADOS E DISCUSSÕES | 78 |
| 9.1 | Estudo da polarização | 86 |
| 9.2 | Estudo da interferência e difração | 88 |
| 10 | CONSIDERAÇÕES | 103 |
| | REFERÊNCIAS | 105 |
| | APÊNDICE A – Quadro roteiro das atividades propostas na pesquisa | 115 |
| | APÊNDICE B - Questionário investigativo inicial | 118 |
| | APÊNDICE C - Questionário avaliativo sobre o uso do software Tracker | 121 |

1 INTRODUÇÃO

Compreender fenômenos relacionados ao ensino de Física que envolvem teoria e prática é uma tarefa desafiadora para os professores. Além disso, desenvolver situações concretas que proporcionem uma aprendizagem significativa aos alunos pode ser ainda mais difícil, especialmente quando os temas ou assuntos são apresentados de maneira abstrata em sala de aula.

A realização de práticas experimentais é extremamente relevante no processo de aprendizagem, especialmente quando se trata do estudo e análise de fenômenos relacionados à Física. O professor deve buscar adaptar materiais de baixo custo para realização dessas práticas ou buscar outros recursos que auxiliem no estudo e compreensão dos experimentos, como softwares livres.

O professor precisa estar em constante atualização e formação para permitir que tanto o ensino quanto a aprendizagem explorem as novas tecnologias em constante inovação. Segundo Cavalcante e Tavolaro (2007), uma maneira de incentivar os alunos a buscar soluções e compreender o estudo de diferentes fenômenos é aproximar a linguagem formal científica e a vivência pessoal por meio da prática instrumental.

Ao contextualizar o uso da tecnologia em aulas experimentais, o professor estimula a curiosidade do aluno, permitindo que ele seja um participante ativo no processo de aprendizagem. Isso pode gerar diferentes discussões por meio da interação com novos recursos tecnológicos educacionais (RTE), os quais proporcionam aulas distintas do ensino convencional.

Neste trabalho, apresentamos o estudo da Óptica Física, incluindo tópicos como difração da luz, interferência da luz e polarização da luz. A utilização de videoanálise, nas atividades propostas possibilitou aos alunos a oportunidade de interagir diretamente com o material de estudo, explorando fenômenos da Física e fazendo questionamentos experimentais durante os encontros.

Para isso, foi utilizado o software *Tracker*, um programa que está disponibilizado de forma livre para acesso no link <https://physlets.org/tracker/>. Esse Recurso Educacional Aberto (REA) serve como ferramenta facilitadora na análise de dados experimentais, outros recursos como câmeras fotográficas, telefones

celulares, e computadores, também servem de suporte para que as imagens captadas ou vídeos dos experimentos sejam analisados pelo *Tracker*.

Segundo Ausubel (1973), para ensinar é preciso que o aluno tenha interesse em aprender e nessa interação com a prática experimental, esse processo pode ser mediado por facilitadores, como computadores, celulares, e smartphones que fazem parte da realidade de grande parte dos estudantes.

O professor tem como função apoiar o processo de ensino e aprendizagem, atuando como mediador. Para isso, é necessário despertar o interesse e a criticidade dos alunos durante as aulas de Física, a fim de favorecer a assimilação de conceitos científicos que podem ser difíceis de compreender quando apresentados de forma abstrata por meio de teorias.

Para Ausubel (1963), a aprendizagem começa de maneira mecânica, mas o verdadeiro aprendizado ocorre quando há a substituição de conceitos anteriores por novos conceitos, que são assimilados de forma significativa.

Devido ao avanço da pandemia COVID-19, na data de 17 de março de 2020, o Ministério da Educação publicou a Portaria nº 343, autorizou “em caráter excepcional” a substituição de aulas presenciais por aulas do modelo educação a distância (EAD) que utilizassem tecnologia de informação e comunicação (TIC) remota em cursos que estavam em andamento.

Diante desse contexto, o ensino remoto tornou-se presente em todas as instituições de ensino público, dessa forma, trabalhar atividades experimentais no ensino de Física com os alunos pelo método convencional, tornou-se inviável, uma vez que as interações com a prática em aulas presenciais aconteciam presencialmente no laboratório de Física.

Dessa forma, propomos algumas atividades experimentais para o ensino de Física, com foco no estudo da interferência, difração e polarização da luz. Essas atividades permitem que os alunos analisem dados experimentais usando o software *Tracker*, podendo ser realizadas no laboratório da instituição de ensino ou mesmo em casa, proporcionando aos alunos uma maior interação com o estudo e compreensão das leis físicas envolvidas nos experimentos.

O *Tracker* é uma ferramenta que possibilita a interação com o experimento nas aulas de Física, é um software de análise e modelagem desenvolvido na Cabrillo College e sua tradução para o português foi idealizada pelo grupo da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR) para explorar conceitos da Física.

Como suporte teórico para a referida pesquisa, seguiremos como base a teoria da aprendizagem significativa de David Ausubel e outros trabalhos científicos que estão relacionadas ao tema abordado.

Referente ao produto educacional, desenvolvemos um material instrucional para auxiliar como suporte no estudo de conceitos da Óptica Física, abordando as potencialidades do *Tracker* como recurso facilitador no processo de ensino/aprendizagem.

1.1 Justificativa

Devido ao avanço da pandemia COVID-19 houve a necessidade de adaptação em todo o sistema educacional e uso de novas metodologias para auxiliar nas aulas presenciais que ficaram impossibilitadas de acontecer naquele momento.

Considerando esse contexto, a pesquisa foi realizada com o objetivo de permitir aos participantes compreender de maneira significativa o estudo de alguns fenômenos da Óptica Física, como a interferência, a difração e a polarização.

As atividades propostas podem ser iniciadas na instituição de ensino que o aluno frequenta e concluídas em outro ambiente, como a casa do próprio participante. Essa interação com o objeto de estudo favorece uma participação ativa na construção do conhecimento pelo aprendiz.

A pesquisa possibilita aos participantes explorar o experimento como atividade motivadora e geradora de desafios, promovendo interações com o uso de software *Tracker*, permitindo compreenderem o estudo de fenômenos da Óptica através da prática experimental nas aulas de Física. As atividades podem ser aplicadas no ensino presencial ou remoto.

1.2 Objetivo geral

Acreditando que o uso de videoanálise com software *Tracker* se apresente como ferramenta facilitadora no processo ensino/aprendizagem da Óptica/ Física elaborou-se o seguinte problema:

“Quais as potencialidades do uso de videoanálise com o software *Tracker* no ensino/aprendizagem da Óptica/ Física aplicado no estudo dos comportamentos ondulatórios da luz, especificamente: interferência, difração e polarização?”

“Avaliar as potencialidades do Software *Tracker* aplicado em videoanálise nas aulas experimentais de Física no estudo dos comportamentos ondulatórios da luz, especificamente: interferência, difração e polarização”.

1.3 Objetivos específicos

Desenvolver uma sequência didática para auxiliar no estudo de fenômenos da óptica através de videoanálise com o *Tracker*;

Verificar o conhecimento prévio dos alunos quanto as atividades propostas e uso do software *Tracker* no estudo da Óptica-Física;

Avaliar as potencialidades do software *Tracker* como recurso facilitador nas aulas de Física no estudo dos fenômenos da difração, interferência e polarização da luz;

Acompanhar e auxiliar no envolvimento dos participantes na aplicação das atividades desenvolvidas;

Produzir um produto educacional que auxilie no estudo da difração, interferência e polarização da luz, apresentando uma sequência didática em aulas experimentais de Óptica Física.

2. REVISÃO DA LITERATURA

2.1 O surgimento da Física

Neste capítulo apresentamos uma breve retomada histórica em relação ao surgimento da Física, bem como suas vertentes, sendo elas: Física Clássica; Física Moderna/Quântica; Física Contemporânea.

De acordo com Pugliese (2017, p. 33), a Ciência apresenta características bem específicas, sendo elas:

a observação sistemática da natureza, de seus fenômenos, seus sujeitos e objetos; a análise e o estudo dessas observações; a categorização de aspectos comuns, diferentes e opostos, envolvendo temas materiais e não materiais; a construção e a reconstrução da história; a previsão de fenômenos, processos e comportamentos naturais (humanos ou não) e culturais, entre outros.

Portanto, é através da Ciência, que temos um panorama da complexidade da natureza e de todos os seus agentes. É a partir do estudo científico que se pode compreender que não há acontecimentos independentes no Universo e, sim, que todo o sistema está interligado de alguma maneira.

Sendo assim, pode-se dizer que a Física surgiu da necessidade do homem em buscar explicações sobre a natureza e sistematizá-las sem ser através do misticismo ou da filosofia. Para Pugliese (2017, p.34),

a Física está relacionada a natureza material do grego *physiké*, O termo em questão está relacionado a natureza material corpórea, que pode ser sentida, e que seria o oposto à metafísica, ou seja, ao que não pode ser sentido. Estas simples definições nos permitem perceber que o estudo da física está diretamente ligado à observação da natureza, sensível ao homem, no espaço e no tempo, bem como a compreensão de como era quando que houve com a natureza anterior, no caso do tempo, ou em outros locais, no caso do espaço, onde o homem não esteve. Também permite prever o que será e como será a natureza posterior ao homem, no tempo, e em lugares ainda não mensuráveis, no espaço.

A Física, assim como todas as outras ciências, desenvolve-se gradualmente, havendo, portanto, uma cooperação entre os estudiosos, um trabalho em conjunto ao longo dos anos (MARTINS, 2005).

Aquilo que é estudado por um não se anula com o estudo do outro e, sim, são acrescentadas e/ou modificadas as informações e, desta maneira, as teorias são

criadas. É através da história da Física que nos permite rever conceitos, criticá-los e recuperar significados (DIAS, 2001).

É possível afirmar que tal inquietude, fora a “curiosidade” do conhecimento, fosse necessária para resolução de problemas específicos que deveriam ser de certa forma explicada ou solucionada. A geometria foi desenvolvida no Egito para situações do cotidiano, construções e terras a serem aproveitadas (TORIBIO, 2012, p. 09).

Dessa maneira, sucessivamente, outras áreas do conhecimento começaram a ser exploradas e aplicadas no dia a dia, como a astronomia e a aritmética não sendo diferente com a Física, era preciso outros fatores que explicassem certos acontecimentos que não fosse de cunho religioso, místico ou filosófico.

Para o físico e ensaísta francês Lévy-Leblond, os cientistas estão a todo instante criando mundos imaginários (ficção), como forma de argumentar sobre fatos (mundo real) observados: estudam-se modelos ideais para entender o mundo real.

Para Pugliese (2017, p.34),

Nesse tortuoso caminho, ao longo dos séculos, muitas teorias e conceitos físicos foram desenvolvidos (a física enquanto ciência), bem como muitas teorias e conceitos sobre como a física se faz (a epistemologia e a filosofia da ciência) e, não por menos, muitas teorias e conceitos estão surgindo sobre ensinar e aprender física (o ensino de física enquanto ciência). Durante a expansão do islamismo e a ocupação de diversas regiões entre os séculos VII e XII, especialmente nas cidades onde anteriormente houvera domínio grego, muitos textos foram traduzidos e os muçulmanos passaram a desenvolver ciência de maneira rica e fundamental para a física atual. Na matemática, temos o advento da álgebra, da numeração árabe (e do zero), a trigonometria, a aritmética e a análise combinatória; na física (e na astronomia), a percepção de leis universais, o estudo da óptica, os calendários precisos; isso sem contar com os avanços na medicina e nas artes.

2.2 Física Clássica

Foi com a chamada Revolução Científica, iniciada no século XVI com o Heliocentrismo de Copérnico e, logo após, com os estudos de Galileu Galilei e Isaac Newton, posteriormente, que trouxe ao mundo uma nova visão, o homem passa a ser parte da natureza e, assim há um direcionamento para entendê-la, reproduzir seus fenômenos e, por fim, passar a controlá-la (SOUSA JUNIOR; ROSA, 2020).

A partir de então, ocorre mudanças para explicações acerca do Universo, o que era antes explicado através do divino e do misticismo, passar a ser explicado através do racionalismo. Foi com os estudos de Galileu Galilei, através da metodologia de abordagem experimental e quantitativa dos fenômenos naturais, que se inicia o processo de “desvinculação da ciência do tronco geral da filosofia e a dissolução de sua submissão à teologia” (PÓLITO, 2016, p. 16).

Para a história geral da ciência, a maior contribuição de Galileu consistiu na dissolução da epistemologia aristotélica através da construção de uma nova conexão entre um princípio metafísico — a crença na estrutura matemática da 4ª a construção da estrutura conceitual da física clássica realidade última da natureza — e um princípio metodológico — a crença na experiência como único tribunal competente para o julgamento de proposições científicas. (POLITO, 2016, p. 48).

E a partir de conceitos da Mecânica Newtoniana, outras áreas foram desenvolvidas e pode-se dividir a Física Clássica em fenômenos mecânicos (aquele que envolve movimento de objetos com massa); fenômenos térmicos (que estuda a troca de calor /energia entre corpos) e fenômenos eletromagnéticos (ondas e campos eletromagnéticos, ótica e radiação).

A Física Clássica tem consistência matemática, principalmente a Mecânica Newtoniana que é “uma vasta tentativa de reduzir matematicamente todos os fenômenos do universo à dinâmica de pontos materiais discretos, interagindo por meio de forças de ação central” (POLITO, 2016, p. 72). Partindo dessa ideia, as discussões sobre os fenômenos “Ópticos Físicos” não foram diferentes.

As discussões que tratavam sobre os fenômenos da Óptica entre os séculos XVII e XVIII estavam ligadas a uma disputa acirrada entre as teorias corpuscular e ondulatória para a luz. Nessa época, os destaques eram para as figuras de Isaac Newton (1642-1727) e Christian Huygens (1629-1695).

Para Newton o fenômeno da luz advinha de pequenos corpos materiais emitidos pelos corpos luminosos “a teoria corpuscular”, a qual a luz era constituída de partículas que se refletiam sobre uma superfície, e para Huygens o conceito de pulsos de luz propagados pelo meio etéreo, usualmente classificado como uma teoria ondulatória. As duas principais obras sobre teorias que envolviam a Óptica dos dois teóricos eram: “O Tratado Sobre a Luz” (1690) de Huygens e a “Óptica” de Newton. (1704).

O “Tratado Sobre a Luz” é dividido em seis capítulos, cada capítulo trata de um fenômeno particular: propagação retilínea da luz, reflexão, refração, refração no ar, dupla refração e forma dos corpos para produzir a refração e a reflexão. Huygens tenta apresentar e explicar os principais fenômenos luminosos, baseando-se no conceito da luz como pulsos não periódicos propagados pelo meio etéreo.

Através desse princípio, Huygens foi hábil em construir explicações bastante sofisticadas sobre a refração e a reflexão, o raciocínio matemático apresentado no “Tratado Sobre a Luz”, com intuito de explicar os fenômenos da refração e reflexão de forma eficaz, cálculos que ainda hoje podem ser empregados para analisar tais fenômenos.

Através da obra “Óptica”, Newton expõe a natureza heterogênea dos raios luminosos e das cores dos objetos. Foi nesse livro que ele incluiu seus famosos experimentos com prismas e sua descrição de um telescópio refletor. Silva (1996) e trabalhos correlatos, trazendo diversas análises detalhadas acerca de seu conteúdo.

Um dos principais seguidores de Newton nessa época foi Robert Hooke (1635-1703). No seu livro *Micrographia*, em 1672, Hooke afirma que:

A luz é produzida por vibrações de um meio sutil e homogêneo e este movimento se propaga por impulso ou ondas simples e de forma perpendicular à linha de propagação (HOOKE apud ROCHA, 2002, p. 230).

Robert Hooke (1635-1703), curador de experiências para a Royal Society em Londres, observou efeitos de interferência em filmes finos. Para Hecht (2017), Hooke foi percussor no estudo dos padrões de interferência de cor gerados por filmes finos, para ele, a luz era um movimento vibratório do meio que se propagava em alta velocidade. Essa fundamentação que Hooke propôs sobre a luz deu origem às discussões sobre a teoria ondulatória.

O segundo aspecto da obra “Óptica” é o caráter indutivista impresso por Newton, deixando claro que todo seu discurso seria consequência da observação precisa e da realização de experimentos minuciosos.

No primeiro livro “Óptica”, ele afirmou: “Meu objetivo neste livro não é explicar as propriedades da luz por hipóteses, mas propô-las e prová-las pelo raciocínio e por experiências, para o que tomarei como premissas as definições e os axiomas

que se seguem” (NEWTON, 1996, p. 39). Ao final da obra *Óptica*, ele deixou mais claro seu estudo:

Como na matemática, também na filosofia natural a investigação das coisas difíceis pelo método da análise deve sempre preceder o método da composição. Essa análise consiste em fazer experiências e observações, em tirar conclusões gerais delas por indução e em não admitir objeções contra as conclusões exceto aquelas que decorrem das experiências ou de algumas outras verdades. Pois as hipóteses não devem ser consideradas na filosofia experimental. E, embora a argumentação pela indução a partir de experiências e observações não seja a demonstração de conclusões gerais, ainda assim, é o melhor caminho de argumentação que a natureza das coisas admite, e pode ser considerada tanto mais forte quanto mais geral é a indução (NEWTON, 1996, p. 292).

Os seus seguidores consideravam suas ideias encontradas, principalmente na obra “*Óptica*” seriam encaradas como verdades absolutas e de fácil verificação. Fica clara a ideia de Newton sobre a propagação retilínea da luz como partícula e não como onda. Segundo John Harris (1666-1719),

os raios de luz são certamente pequenas partículas, realmente emitidas do corpo luminoso e refratados por alguma atração, pela qual a luz e o corpo sobre o qual ela cai agem mutuamente um no outro, pois tais partículas ou corpúsculos serão transmitidos através de meios uniformes em linha reta, sem qualquer inflexão, como os raios de luz fazem (HARRIS, 1723, apud MOURA; SILVA, 2007, p. 5).

A ideia que Newton defendia sobre o estudo da óptica, apresentada em: “*Os Anéis de Newton*”, não foram levados muito em consideração pelos adeptos na época, pois o interesse desses estudiosos estaria em compreender a materialidade da luz e sua interação com os corpos (SILVA; MOURA, 2008; SILVA; MARTINS, 2008).

Pietrocola (1993) e Forato (2009) apontam que na versão de Huygens, a luz desempenharia um comportamento de onda e, portanto, executando reflexão e refração analogamente a uma onda sonora. No entanto, ao fazer comparação entre a luz e o som, os newtonianos sabiam que o som não se propagava no vácuo, exigindo dos defensores do modelo luz- onda uma resposta na explicação de como a luz solar chega até a Terra.

Neste ponto, Ortega e Moura (2020) apresentam que o “princípio de Huygens” explica essa questão, pois, considerando que a existência do éter seria responsável pela produção de ondas secundárias e novas frentes de ondas a partir da fonte

luminosa e, por conseguinte, no deslocamento da luz entre o Sol e a Terra (FORATO, 2009).

Mesmo assim, não tinha provas científicas que tal meio etéreo existisse, levando muitas suspeitas por parte dos corpuscularistas, mas muitas vezes, embora o próprio Newton se apropriasse de tal meio, para explicar sobre determinadas condições, sua concepção sobre a teoria da luz (FORATO, 2009).

No século XIX, a Academia de Ciências da França ofereceu um prêmio para o pesquisador que explicasse a difração da luz, fenômeno luminoso descoberto por Francesco Grimaldi (1618-1663), tal estudo carecia de uma explicação baseada na teoria corpuscular de Newton, pois violava o princípio da propagação retilínea da luz.

O físico e engenheiro francês Augustin- Jean Fresnel (1788-1827) submeteu seu trabalho à Academia Francesa no qual comprovou cientificamente o fenômeno da difração da luz, fortalecendo a teoria de que a luz se apresentava como a propagação de onda.

Em 1818, Fresnel garantiu o prêmio da academia além de seguir suas pesquisas com o modelo luz-onda, que se apresenta como um salto nas teorias da ciência, passando a ser gradativamente aceita nos círculos científicos da época, e assim, surgindo então a pergunta antiga que já precisava de uma resposta: Qual é o meio que vibra para permitir que a luz se propaga quando viaja do Sol até a Terra?

Já no final do século XIX o físico escocês James Clerk Maxwell apresenta então estudos que determinavam a velocidade de propagação de uma onda eletromagnética transversal tendo esta a mesma velocidade de propagação da luz (1831- 1879), sendo reconhecido fortemente com o conhecimento que já se tinha sobre os fenômenos da eletricidade e magnetismo, unificou essas teorias, incorporando-as à Óptica e criou desta forma, uma nova teoria na Física denominada eletromagnetismo. Maxwell resumiu o eletromagnetismo em um conjunto de equações que vieram a ser conhecidas como as quatro equações de Maxwell do eletromagnetismo.

Em 1864 ele desenvolveu as equações fundamentais do eletromagnetismo, conhecidas atualmente como equações de Maxwell, e pode então mostrar como as ondas eletromagnéticas se comportavam em relação aos campos elétrico e

magnético, oscilando em ângulos ortogonais um em relação ao outro e em relação à direção de propagação.

Além disso, Maxwell afirmou que a luz correspondia a uma pequena parte do espectro de ondas eletromagnéticas existentes, tal teoria foi confirmada em 1888 por Hertz, por meio do descobrimento das ondas de rádio. Maxwell também sugeriu o experimento de Michelson-Morey (1881, 1887) para tentar caracterizar o meio hipotético conhecido por "ether". A demonstração de sua inexistência conduziu Einstein à sua pesquisa sobre a relatividade (1905) e ao nascimento da Física Moderna.

Toda a Física desenvolvida até o fim do século XIX era capaz de explicar quase todos os fenômenos naturais observados pelo homem. Entretanto, no início do século XX surgem problemas dos quais os físicos não eram capazes de explicar quase todos os fenômenos naturais observados pelo homem. Entretanto, no início do século XX surgem problemas dos quais os físicos não eram capazes de explicar através das teorias existentes. Uma frase que ficou bastante popular no meio científico seja ela uma lenda urbana ou não, a respeito destes problemas, está vinculada a Lorde Kelvin (William Thomson), sendo: "No céu azul da Física Clássica existem apenas duas nuvens a serem dirimidas".

As duas nuvens, citadas nesta frase, referem-se às incompatibilidades encontradas entre as transformações de Galileu, da Mecânica Clássica, com o eletromagnetismo (que resultou mais tarde na criação da Teoria Especial da Relatividade, de Albert Einstein) e aos conflitos presentes no princípio da equipartição da energia, da Termodinâmica Clássica, também em choque com a teoria eletromagnética de Maxwell.

Foi então que Einstein apropriou-se da teoria quântica e assumiu que a luz é composta por partículas, mais tarde cunhadas de fótons, para explicar a ejeção de elétrons de uma placa metálica quando bombardeada por um feixe de luz a uma determinada frequência, de acordo com Webber & Ricci (2006). Esses acontecimentos dão origem a novas descobertas que marcam o início da física Moderna.

2.3 Física Moderna/Quântica

A Física Moderna surgiu na primeira década do século XX. Porém, no final do século XIX, ideias já vinham sendo formuladas por alguns estudiosos, bem como questionamentos sobre como acontecia e se limitava a Física Clássica em alguns aspectos. Esses ainda buscavam uma “solução lógica que não fugisse muito das leis clássicas, mas isso não foi possível, tendo início assim a Física Moderna e Contemporânea” (PEREIRA, 2015, p. 182).

A explicação de alguns fenômenos que não eram plausíveis na Física Clássica, começa a ter significados na Física Moderna, fenômenos em escalas muito pequenas e escalas microscópicas já podem ser compreendidos. Segundo Bezerra Junior (2012) a análise de alguns fenômenos está intrínseca a Física Moderna, como por exemplo:

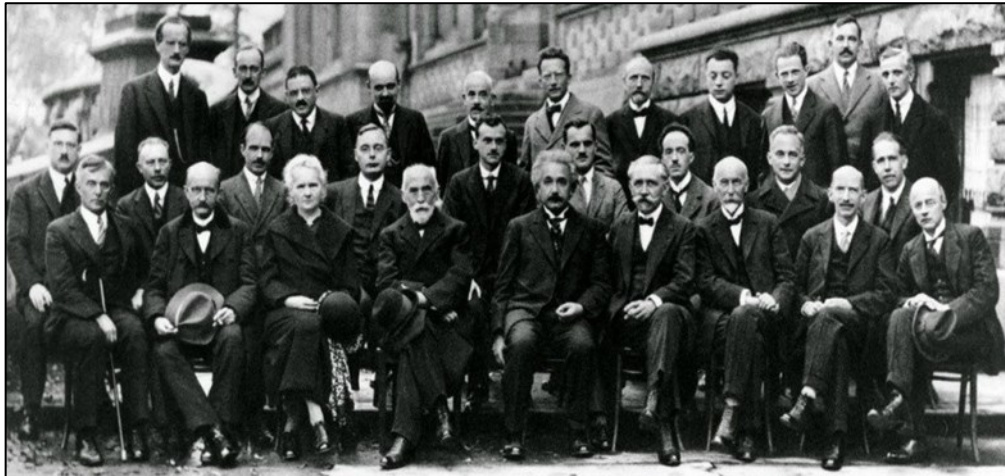
A quantização de radiação eletromagnética, a existência de níveis de energia discretos em átomos, e a natureza dual onda-partícula de partículas e radiação eletromagnética são conceitos básicos que levaram um longo caminho para uma compreensão de uma ampla variedade de fenômenos intrigantes, incluindo o efeito fotoelétrico (emissão de elétrons de uma superfície quando a luz incide sobre ele), o espectro de linhas emitidas por gases, e produção e dispersão de raios X. (BEZERRA JUNIOR, 2012, p. 5)

A Conferência de Solvay (fundada pelo químico industrial belga Ernest Solvay, em 1911) foi uma das primeiras, entre várias conferências, que contribuiu para o desenvolvimento da Física Moderna. Nesses congressos científicos internacionais, os estudiosos deveriam levar apontamentos sobre assuntos que eram previamente determinados.

Apresentamos na figura 1, um registro importante para a história da Física, também conhecida como “Uma das fotografias mais inteligente da História”, aparecem vinte e nove físicos participantes da Conferência de 1927.

Tal registro é assim intitulado, pois conseguiu reunir grandes cientistas que contribuíram para o avanço da Física e da Química. Dentre os trinta e dois participantes da Conferência de 1927, 18 haviam ganhado ou ganhariam o Prêmio Nobel.

Figura 1 – Congressistas na Conferência de Salvoy em 1927



Fonte: Amambai notícias (2022)

Segundo Pereira (2015, p.180), foi na Conferência de 1927 que houve um grande marco para a Física Moderna, pois nessa concentrou-se a discussão sobre a teoria quântica, inicialmente formulada por Max Planck. Bem como “todas as possibilidades de interpretações que ocorrem em escala subatômica como, por exemplo, a radiação térmica (não ionizante) e a radiação ionizante (eletromagnética ou particulada)” (PAN; BARROS, 2013, p. 48).

Muitos dos físicos que participaram dessa conferência desenvolveram teorias que contribuem e são objetos de estudo até os dias atuais. Entre eles Max Planck (1858-1947), Marie Curie (1867-1934), Albert Einstein (1879-1955), Niels Bohr (1855-1962), Louis Broglie (1892-1987). Tais teóricos foram selecionados, não em desmerecimento dos outros que participaram da Conferência, mas, sim, devido à importância para o contexto histórico, para as teorias que serão objetos de estudo para o desenvolvimento desse projeto e por delimitação de extensão acerca do assunto.

Assim, como já comentado, Max Planck (1858-1974), procurava descrever o espectro emitido por um corpo negro, ou seja, que a radiação eletromagnética apresentava valores quantizados, formada por pacotes de energia. Planck recebeu o Prêmio Nobel em 1918, reconhecimento à sua descoberta dos quanta de energia. Considerado uma das autoridades quando o assunto é a termodinâmica, porém não muito mencionado quando o assunto é a história da termodinâmica, de acordo com Nóbrega, Freire e Pinho (2013, p. 01).

Marie Curie recebeu dois Prêmios Nobel, o primeiro em Física no ano de 1903 e o segundo, em Química, no ano de 1911, única mulher presente na foto do Congresso, fez a descoberta do elemento rádio (Ra) e do elemento polônio (Po), mesmo que seja vista como uma consequência por um trabalho anterior de Henri Baecquerel (a radioatividade) foi uma das mais notáveis descobertas na área. Tal descoberta contribuiu para o desenvolvimento de uma nova teoria, como também, contribuiu no domínio na investigação e tratamentos médicos (PAN; BARROS, 2013, p.49).

Albert Einstein foi outro congressista participante e líder do Congresso ao lado de Niels Bohr da Conferência de 1927. Autor da Teoria da Relatividade, tal teoria é composta por duas teorias, como explica Young (2009), citado por Pereira (2015, p. 183).

Teoria da Relatividade Restrita, que estuda os fenômenos em relação a referenciais inerciais, e a Teoria da Relatividade Geral, que aborda fenômenos do ponto de vista não inercial (YOUNG, 2009). Apesar de formar uma só teoria, elas foram propostas em tempos diferentes; no entanto, ambas trouxeram o conhecimento de que os movimentos do Universo não são absolutos.

Einstein, também ganhou um Prêmio Nobel, no ano de 1922, porém tal Prêmio não foi referente ao desenvolvimento da Teoria da Relatividade, mas sim, sobre os estudos apresentado sobre o efeito fotoelétrico. Ele usufruiu das ideias semelhantes às de Max Planck, e propôs o comportamento dual no estudo do comportamento da luz, que não estava cientificamente completa. Foi então que o famoso físico alemão surpreendeu a todos os estudiosos da época, e apresentou um novo comportamento a luz, sendo este característico de partícula.

Einstein percebeu que a luz vista como uma onda trocava energia na forma de pacotes energéticos discretos chamados de quantum, comportamento típico de partículas. As partículas de luz são chamadas de fótons. Diante de estudo, surgiu a teoria do comportamento dual da luz (corpuscular e ondulatório), que mais tarde fora reafirmado por Louis de Broglie, que estendeu o caráter dual da luz para a matéria. Possibilitando também uma nova afirmação para o estudo do elétron, que era visto como partícula, e se comportava como onda em alguns experimentos.

O físico Louis Broglie, com sua descoberta da natureza ondulatória, foi outro ganhador do Prêmio Nobel (em 1929) e, também, havia participado da emblemática Conferência de 1927. Broglie em sua tese de doutorado “procurou justificar a condição de quantização de Bohr através de suas ondas de fase” (ROSA, 2004, p. 03). Um dos destaques de pesquisa de Broglie é sobre a dualidade onda-partícula, a qual “atribuiu aos constituintes da matéria (como os elétrons) tanto propriedades ondulatórias quanto corpusculares” (ROSA, 2004, p. 06).

Outro teórico, já citado anteriormente, participante da Conferência foi Niels Bohr. Entre tantos outros estudos, Bohr, formulou um novo modelo atômico, teorizando “a existência de átomos constituídos por órbitas estáveis de elétrons” (PEREIRA, 2015. p. 187).

Para Pereira, a Física Moderna

trouxe inúmeras representações além das compreensões das menores dimensões da matéria e da energia do universo, mesmo que resulte em novas dúvidas e paradoxos, aumentando cada vez mais o nível de complexidade das leis que governam o mundo subatômico (PEREIRA, 2015, p. 188).

Com base nos estudos de Broglie, Schrödinger apresentou a equação de propagação da onda de matéria e obteve soluções que correspondem aos estados estacionários do átomo de hidrogênio.

Werner Heisenberg estudou o mesmo comportamento, conceituando o movimento do elétron como partícula e iniciou a chamada Mecânica Matricial que foi desenvolvida em seguida por Max Born. Born que em 1926, escreveu um artigo sobre os fenômenos de colisão, no qual introduziu a probabilidade da existência de um estado quântico determinado.

Em 1927, Heisenberg fez mais uma descoberta importante e mostrou que não há como identificar com precisão a posição exata de uma partícula subatômica, a menos que se esteja querendo ficar completamente às cegas no que se refere ao momento da partícula.

Pode-se afirmar que, em cada teoria desenvolvida, ou, cada linha de pesquisa há um entrelaçamento entre outros estudos (estudos da luz, estudos da radiação,

por exemplo). Há uma linearidade, uma sequência, uma difusão de ideias que proporcionam outras visões e outras contribuições.

Assim como houve essa continuidade e complementação nos estudos, foi possível ter esses avanços científicos aqui expostos, entre outros que não foram citados devido a extensão do trabalho, trataremos dos fenômenos da interferência, difração e polarização nos capítulos da Óptica Física mais para frente, sendo temas detalhados com maior precisão por serem os fenômenos que analisaremos nesse trabalho.

2.4 Física Contemporânea

A Física Moderna e a Física Contemporânea, em muitos momentos se fundem, se mesclam devido à proximidade de temas e teorias que nelas são discutidas. A Física Contemporânea, nada mais é que uma continuidade, aprofundamento e avanço nos estudos e teorias que a Física Moderna iniciou no século XX. Tal continuidade pode acontecer através de rupturas e desconstrução, por isso, acontece a evolução de conceitos.

A Física Contemporânea tem seu início no século XX, com a revolução da Física Quântica e da teoria da relatividade.

Teoria da Relatividade de Albert Einstein: publicada em 1905 e 1915, a teoria da relatividade de Einstein descreve como o espaço, o tempo e a gravidade interagem. A teoria levou a várias previsões revolucionárias, incluindo a existência de buracos negros e ondas gravitacionais.

Mecânica Quântica: desenvolvida principalmente na década de 1920, a mecânica quântica é uma teoria fundamental que descreve o comportamento das partículas subatômicas. Ela introduziu o conceito de incerteza quântica e a ideia de que a matéria pode existir em estados superpostos.

Essa constante evolução ocorre por questionamentos e pesquisa de estudiosos, que com o auxílio de novas tecnologias propiciam o desenvolvimento de novos aparatos experimentais que ajudam a refinar o que já está posto.

Modelo Padrão de Partículas Elementares: desenvolvido na década de 1970, o modelo padrão é uma teoria que descreve as partículas subatômicas e suas interações. Ele unifica as forças eletromagnéticas, fracas e fortes em uma única teoria.

Descoberta do bóson de Higgs: em 2012, o Grande Colisor de Hádrões (LHC) no CERN descobriu evidências da existência do bóson de Higgs, uma partícula prevista pelo modelo padrão.

Descoberta de exoplanetas: desde a década de 1990, os astrônomos descobriram milhares de exoplanetas, planetas que orbitam estrelas fora do nosso sistema solar. Essas descobertas têm implicações profundas para nossa compreensão da origem e distribuição da vida no universo.

Os avanços científicos feitos a partir do século XIX proporcionaram uma base para o desenvolvimento de novas tecnologias e continuam auxiliando as construções do futuro nas descobertas predominantes na atualidade. Como por exemplo, experimentos de Física Moderna e Contemporânea, que são sugeridos nos trabalhos de Cavalcante e Benedetto (1999), e Cavalcante *et al.* (1999).

Cavalcante e Benedetto (1999) mostram em seu trabalho como construir, de maneira simples e com material de baixo custo, um espectroscópio caseiro que possibilita determinar, experimentalmente, os comprimentos de onda das linhas características de uma lâmpada de Hg, usando-se um CD como elemento que decompõe a luz.

Como conclusão, os autores destacam que “a partir da experiência realizada, o professor pode abordar inúmeros assuntos da Física Moderna. Por exemplo, explicar fenômenos relevantes da óptica física e geométrica tais como interferência, difração, reflexão e refração” (CAVALCANTE; BENEDETTO, 1999, p. 444).

Os diferentes tipos de recursos, que foram utilizados ao longo da história da Física e da Ciência colaboram no desenvolvimento de metodologias experimentais e na descoberta de novas teorias. Dessa maneira, estudar a Física e toda a sua historicidade, contribui na formação da cultura científica tanto do aluno quanto do professor, esteja ele no ensino médio ou em nível superior.

2.5 Ensino de Física no Brasil

Neste capítulo apresentaremos um breve histórico sobre o estudo da Física no Brasil contextualizando com alguns teóricos da educação, que relacionam o processo de aprendizagem no ensino de Física.

Sendo a Instituição de ensino protagonizada pela educação básica ou ensino superior, esta representa um lugar que por excelência pode oportunizar mudanças sociais, considerando o aluno como agente protagonista ativo e crítico da sociedade a qual está inserido. Dessa forma, cabe a essa Instituição (equipe pedagógica e outros colaboradores) propiciar um ensino que integre aluno e sociedade, sem dissociação, contextualizado e pluralizado para que ocorra, de fato, uma aprendizagem significativa. Assim, como aponta Moreira (2000, p. 95),

Julgo que é um erro ensinar Física sob um único enfoque, por mais atraente e moderno que seja. Por exemplo, ensinar Física somente sob a ótica da Física do cotidiano é uma distorção porque, em boa medida, aprender física é, justamente, libertar-se do dia-a-dia. De modo semelhante, ensinar Física apenas sob perspectiva histórica, também não me parece uma boa metodologia porque para adquirir/construir conhecimentos o ser humano, normalmente, não precisa descobri-los, nem passar pelo processo histórico de sua construção. Tampouco o microcomputador será um bom recurso metodológico, se for usado com exclusividade dispensando a interação pessoal, a troca, ou a negociação de significados que é fundamental para um bom ensino de Física.

Em outras palavras, excluir e/ou eleger determinada vertente para o ensino de Física, restringe-a e traz prejuízo ao objetivo do ensino, o qual é aprender de maneira significativa. Limitar o ensino à memorização de nomenclaturas e listagem, bem como aplicabilidade de fórmulas, não contribuirá para que esse ensino seja efetivo, de fato.

É necessário, portanto, modificar a proposta de ensino, redimensionando-a, tornando-a mais atrativa e abrangente. Na década de 50 o professor físico e americano Richard P. Feynman (1918- 1988) lecionou no Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas (CBPF) no Rio de Janeiro e na Universidade Federal do Rio de Janeiro que na época chamava-se Universidade do Brasil.

Em 1949, Feynman fez uma conferência sobre eletrodinâmica quântica e também sobre o ensino de Física em 1952 e 1963. Após sua estadia no Brasil, inclusive lecionando em cursos de formação de professores de ciências, constatou

que a maioria dos estudantes não conseguia interpretar determinados fenômenos, mas, simplesmente decoravam conceitos e fórmulas sem valor significativo, dessa forma Feynman constatou que:

Depois de muita investigação, finalmente descobri que os estudantes tinham decorado tudo, mas não sabiam o que queria dizer. Quando eles ouviram 'luz que é refletida de um meio com um índice', eles não sabiam que isso significava um material como a água. Eles não sabiam que a 'direção da luz' é a direção na qual você vê alguma coisa quando está olhando, e assim por diante. Tudo estava totalmente decorado, mas nada havia sido traduzido em palavras que fizessem sentido. Assim, se eu perguntasse: 'O que é o Ângulo de Brewster?', eu estava entrando no computador com a senha correta. Mas se eu digo: 'Observe a água', nada acontece – eles não têm nada sob o comando 'Observe a água'. (FEYNMAN, 1985)

Os estudantes pareciam saber responder aquelas perguntas que tinham sido decoradas, mas não, aquelas em que tinham que pensar ou relacionar um fenômeno ao outro.

Ao pensar no ensino de Física no Brasil, o que é possível afirmar categoricamente é sobre como essa disciplina é vista pelos alunos, como uma disciplina complexa, com um conjunto de fórmulas e um sistema matemático que, da maneira abordada em sua maioria, acaba desassociada com a realidade do aluno e dificultando a sua apreensão.

Em 1960 foi lançada a primeira edição de Physical Science Study Committe e (PSSC), um projeto de renovação de currículo, uma vez que existia a insatisfação de docentes relacionada às abordagens e procedimentos para o ensino de Física. Tal projeto trazia novas propostas de ensino, “com materiais instrucionais educativos inovadores e uma filosofia de ensino de Física, destacando procedimentos físicos e a estrutura da Física” (MOREIRA, 2000, p. 94).

Dessa forma, contribuíram para uma reflexão maior quanto ao ensino de Física, porém, na proporção que aumentou os conteúdos a serem ensinados aumentou, também, a preocupação no nível que tais conteúdos seriam, de fato, aprendidos.

Assim, como afirma Moreira (2000), os projetos deixavam claro como o ensino de Física deveria acontecer, mas não como ele seria aprendido. Iniciou-se, assim, a promoção de “conferências, encontros, simpósios, cursos de Pós-

graduação e publicações em periódicos, com o intuito de discutir tal problemática, estabelecendo, no Brasil, o início do ensino de Física como área de pesquisa” (ROSA; ROSA, 2012, p.02).

Mesmo com todas essas preocupações e reflexões o ensino de Física ainda persiste no sistema mecanicista, tendo um livro de texto como apoio, baseado em questionamentos pré-elaborados e esperando-se respostas (sem interação entre docente e discente), não havendo preocupação com uma aprendizagem significativa crítica e, geralmente, apresentando metodologia de ensino única, sem explorar diferentes meios.

Alguns aspectos do ensino de Física, os quais são interessantes apresentar nesse trabalho, a fim de causar uma possível reflexão ao contexto em âmbito nacional. São eles:

1. Pesquisa básica: os professores não participam e não leem os resultados (que são publicados em revistas) e, geralmente, o conteúdo não apresenta a Física em si, mas em outras áreas com psicologia, sociologia, educação, por exemplo;

2. Pesquisa aplicada: É focada em questões práticas, na produção técnica, de recursos instrucionais, sequência didática, aplicativos, porém a produção dita intelectual tem mais prestígio no ambiente acadêmico;

3. Pesquisa translacional: as pesquisas realizadas não são de linguagem prática e, tampouco, são: “traduzidas” para essa linguagem, o que seria muito interessante para não restringir as pesquisas somente para os espaços acadêmicos;

4. Publicações: a busca constante para a publicação em revistas de prestígio acadêmico, a pesquisa acaba tornando-se “predatória”;

5. Testagem: É a preparação para as provas, em buscas de respostas corretas em um curto espaço de tempo;

6. As tecnologias de Informação e Comunicação (TIC): Essas tecnologias deveriam fazer parte no processo de ensino, contudo ainda não é isso que acontece. Pode ser pela falta de acesso a essas tecnologias, mas, também, há a ênfase no ensino para as “respostas certas”;

7. Formação de professores: São formados com o ensino tradicional e restrito, sem abordar todas as vertentes e fundamentos. E com isso há uma pré-disposição de repetição quando forem ensinar;

8. Física e cidadania: A Física faz parte do dia a dia do ser humano e compreendê-la de maneira contextualizada é direito do cidadão para seu melhor entendimento e aplicabilidade, porém o ensino não ocorre desse jeito e acaba não estimulando a cidadania.

Como é possível observar, um grande problema que envolve o ensino da Física é a insistência em metodologias tradicionais, o ensino, assim, parece estar engessado, sem possibilidade de movimentação. Para muitos alunos a Física tal como é posta dentro da sala de aula, além de difícil compreensão, é abstrata, sem possibilidade de interação ou aproximação com o cotidiano do aluno.

Em nível de Ensino Médio, os Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio (PCNEM) consideram que o ensino aconteça pautado em competências (representação e comunicação; investigação e compreensão; contextualização sociocultural), sempre buscando a interdisciplinaridade a contextualização do conhecimento (ROSA; ROSA, 2012).

O ensino através de tais competências tem como objetivo a desvinculação do professor ao sistema mecanicista de ensino, trazendo um novo olhar às práticas de ensino e para que esse se aproxime do cotidiano de seus alunos. Porém, apenas a existência do documento não contribui para a real concretização do ensino sob essa perspectiva, além da necessidade da mudança na relação entre ensino e aprendizagem, professores e alunos. Vale mencionar sobre investimentos adequados, que deveriam ser e vir de fundos governamentais, em laboratórios ou equipamentos nas unidades de ensino.

Com tudo que acima foi exposto, é possível dizer que a realidade do ensino de Física no Ensino Médio está em crise, assim como aponta Moreira (2018). Antes, tinha-se uma carga horária de 6h/aula semanais, reduzida à 2h/aula ou menos na atualidade. Além de não ser trabalhado de maneira interdisciplinar e transdisciplinar, o ensino da Física fica atrelado à escolha de um livro de texto que guiará todo o ano letivo.

A falta de equipamentos ou laboratórios, também contribui para essa crise educacional, bem como as metodologias de ensino (aqui já comentadas). Há, então, um acúmulo de causas para essa crise, a qual deve ser repensada e trabalhada para que não haja uma desmotivação ainda maior em relação a essa disciplina. Uma vez que:

O resultado desse ensino é que os alunos, em vez de desenvolverem uma predisposição para aprender Física, como seria esperado para uma aprendizagem significativa, geram uma indisposição tão forte que chegam a dizer, metaforicamente, que “odeiam” a Física (MOREIRA, 2018. p. 73).

É importante mencionar que essa crise educacional ocorre, sim, porém há professores que, mesmo sem o devido reconhecimento, com condições de trabalho inadequadas, baixos salários que insistem e persistem na transformação educacional. São esses profissionais que criam possibilidades de ensino e que acreditam na aprendizagem significativa, de fato.

A realidade para o Ensino de Física no nível Superior, seja qual for o curso, tem bastante discrepância se comparada ao Ensino Médio. Nas Instituições de Ensino Superior as condições de trabalho se apresentam melhores (em sua grande maioria) e o acesso a novas tecnologias ou, até mesmo, o desenvolvimento de novos aparatos contribui para um ensino mais dinâmico.

É de extrema importância ressaltar o reconhecimento dessa área em nível nacional e internacional, seja por sua longa tradição em pesquisas, realização de encontros (para amplitude na disseminação de conhecimento), simpósios, oficinas, projetos, entre outros (MOREIRA, 2018). Essas ações devem ser prestigiadas a fim de que não caiam no trivial e acabem sendo abandonadas ou executadas sem interesses maiores.

Certamente, há espaços educacionais com um sistema de ensino de Física mais tradicional no Nível Superior. Há olhares e estudos para esse tipo de ensino e há desafios que são lançados e/ou pretendidos para que haja uma transformação. No ensino médio essa perspectiva de ensino deve ser modificada para um algo mais contemporâneo e motivador.

Ao passo que, segundo Moreira (2018), “não se pode pensar em ensino e aprendizagem sem levar em conta o currículo e o contexto (meio social). Ensino (professor), aprendizagem (aluno), currículo (conhecimento) e contexto (meio social)

são os chamados lugares comuns da educação (SCHUWAB, 1973) e estão interligados”. Ou seja, são fatores que pertencem a um conjunto que precisam estar sempre inter-relacionados para a efetivação do objetivo pretendido, pensando tanto para o Ensino Médio quanto para o Ensino Superior.

2.6 Aprendizagem significativa

Neste capítulo abordaremos a teoria da aprendizagem significativa de David Paul Ausubel, relacionando sua contribuição nas atividades desenvolvidas nesse trabalho.

O especialista em Psicologia Educacional, David Ausubel, foi quem propôs na década de 1960 a Teoria da Aprendizagem Significativa, a qual tem o aprendizado de significados (conceitos) como o mais relevante para os seres humanos (TAVARES, 2004, p. 56).

Para Ausubel “a aquisição de novos significados ocorre a partir do material de aprendizagem apresentado” (AUSUBEL, 2003, p. 01), ou seja, para que a aprendizagem ocorra de maneira significativa é necessário que o novo conteúdo seja correlacionado a conhecimentos/eventos prévios do indivíduo.

Ausubel relaciona a transformação do conhecimento a partir de novas informações, novos materiais que são apresentados ao sujeito e esses fazem conexões a conhecimentos prévios, ou ainda, nas palavras do autor, a “ideias ancoradas” (AUSUBEL, 2003).

Ausubel conceitua esse conhecimento prévio, além de ideia âncora, como “subsunçor,” que são estruturas cognitivas capazes de transformar “o significado lógico do assunto a aprender em significado psicológico” (PINACHE, 2000).

Sendo assim, “subsunçores”, ou ideias âncoras é o nome que se dá ao conhecimento específico que existe na estrutura cognitiva de um indivíduo, o qual permite a atribuição de novos conhecimentos a partir do que lhe é apresentado ou, até mesmo, descoberto (MOREIRA, 2012, p. 02).

Desse modo a aprendizagem não acontece de forma mecânica ou repetitiva, ocorrendo a partir da interação entre as estruturas cognitivas (subsunçor e

conhecimento que se pretende absorver). Por isso, uma aprendizagem de significados, a qual não é, apenas, memorizada (AUSUBEL, 2003).

Para Ausubel (2003), o sujeito consegue significar o novo conhecimento fazendo a interação com outras ideias ancoradas, que foram processadas e não passaram por interferências arbitrárias e literais e que são específicas de cada indivíduo. Quando se fala em interferências não-arbitrárias e não-literais, quer dizer sobre como o novo conhecimento é posto ao aluno e como esse faz suas próprias conexões.

Enquanto a aprendizagem for arbitrária e literal, o significado é transitório. Em uma aprendizagem não significativa ocorre uma ligação simples que não se integra com a estrutura cognitiva pré-existente, não há alterações das informações adquiridas ou algo relevante na estrutura cognitiva (AUSUBEL, 2003, p. 03).

Portanto, para que haja aprendizagem significativa, é necessária uma “investigação” acerca dos conhecimentos prévios do indivíduo, para que o novo conhecimento tenha onde se ancorar. Há a necessidade de elaborar um sequenciamento de aprendizado, considerando o conhecimento prévio que os alunos apresentam. Assim, não serão “puladas” etapas no processo de aquisição de conhecimento e erros serão evitados (AUSUBEL, 2003, p. 172).

Dessa maneira, a utilização de diferentes metodologias e equipamentos no processo de ensino tem importância fundamental para que a aprendizagem seja consolidada de maneira significativa e proveitosa para o aluno. Cabe a esse ser ativo e participativo durante o processo, demonstrando interesse e curiosidade, não esperando respostas prontas, questionando quando não compreende, pois assim estará assumindo responsabilidade adequada a sua própria aprendizagem (AUSUBEL, 2003, p. 36).

Nesse sentido, recursos facilitadores como o “*Tracker*” possibilitam uma interação mais significativa em estudos mais minuciosos, envolvendo fenômenos que dispõem de uma análise mais precisa no tratamento de dados, principalmente no estudo de fenômenos como a difração e interferência.

Moreira (2005) pontua de maneira clara e objetiva sobre os princípios programáticos que facilitam o processo na aprendizagem significativa defendidos por

AUSUBEL (1978, 1980, 1983), sendo eles: diferenciação progressiva, reconciliação integradora, organização sequencial e o princípio da consolidação. Também algumas estratégias facilitadoras: organizadores prévios, mapas conceituais e diagramas.

Diferenciação progressiva: através do próprio nome, já é possível uma tentativa de compreender como esse princípio funciona. Nesse, o material de ensino deve ser apresentado em seu todo (ideias gerais e inclusivas) e, progressivamente, detalhes e especificidades devem ser diferenciados, sendo que o mais relevante seja abordado desde o início (MOREIRA, 2005, p.04).

A reconciliação integrativa, corrobora com a diferenciação progressiva, uma vez que tem como objetivo “explorar, explicitamente, relações entre conceitos e proposições” (MOREIRA, et. al.). Nesse princípio é dada atenção para as diferenças e semelhanças do material exposto, buscando uma harmonização entre as inconsistências reais e aparentes.

Já, a organização sequencial, é a sequência de tópicos e unidades de estudo de maneira coerente (MOREIRA, 2005, p.05), ou seja, a primazia desse princípio é organização hierárquica dos subsunçores de maneira que determinado tópico dependa daquele que o antecede.

O princípio da consolidação, segundo Moreira (2005, p.05) “leva a insistir no domínio (respeitada a progressividade da aprendizagem significativa) do que está sendo estudado antes de introduzir-se novos conhecimentos”. Tal consolidação faz-se necessária, uma vez que são os subsunçores, ideias âncoras ou conhecimentos prévios que influenciarão na aprendizagem seguinte.

Em relação às estratégias facilitadoras, os “organizadores prévios, são materiais introdutórios apresentados antes do material de aprendizagem em si, em um nível mais alto de abstração, generalidade e inclusividade”, de acordo com Moreira (2005, p.05), tais organizadores servem como pontes cognitivas, que contribuem para o desenvolvimento de ideias âncoras, mostrando a relação entre o novo conhecimento e o conhecimento prévio.

Dessa forma, nessa pesquisa foi explorada a linguagem de programação que já faz parte do cotidiano dos participantes, a qual, de certa forma, se apresenta como elemento ancoradouro na interação com o *Tracker*, favorecendo na aquisição

de novos conceitos no estudo da Óptica Física, além da aprendizagem significativa, é necessária uma integração construtiva, positiva entre pensamentos, ações e sentimentos.

Quando o indivíduo deixa de aprender mecanicamente, de maneira superficial e isolada, há um crescimento (de pensamento, ações e sentimentos), até mesmo, relacionado às sensações desse, que resulta positivamente e reflete em suas próximas ações em relação à aprendizagem, pois acabará sendo mais instigado e predisposto a aprender mais sobre aquela área de conhecimento.

Diante dessas considerações, é possível afirmar que a pré-disposição do indivíduo a aprender e querer ser um agente transformador torna-se fundamental para que a aprendizagem ocorra dessa maneira. Nesse momento, pode-se comentar sobre o papel do professor, a motivação em despertar essa criticidade no aluno e mostrar a ele a relevância do conhecimento que está sendo apresentado.

2.7 As novas tecnologias no ensino de Física

Neste capítulo apresentamos um breve relato sobre a importância das novas tecnologias no ensino de Física, e abordaremos a utilização de recursos que facilitam o tratamento de videoanálise.

A inserção de novas tecnologias no universo de ambientes educacionais vem sendo uma ferramenta facilitadora no processo de ensino e aprendizagem, principalmente, no estudo de fenômenos da Física Moderna. Essas ferramentas corroboram para o Ensino de Física, auxiliando de forma significativa na compreensão do conteúdo ensinado. Para Silva:

O ensino de física é uma das áreas do estudo que mais pode se beneficiar com o uso destas novas tecnologias computacionais, pois a física ao abordar temas tão amplos do nosso cotidiano, e que por vezes tenta explicar situações que não podem ser demonstradas facilmente, leva os alunos a terem a sensação de que são incapazes de aprendê-la. (SILVA, 2011, p.1)

Dessa forma, a utilização destes recursos educacionais (RE) pelo docente, favorece na aplicação de diferentes metodologias. Simuladores que auxiliam no estudo de fenômenos das Ciências da Natureza, são recursos que podem ser

considerados como: “Laboratórios Virtuais”, podendo substituir de forma significativa as aulas experimentais que acontecem presencialmente nos laboratórios convencionais, desde que, esse processo de mediação, esteja ao nível do alcance da linguagem dos alunos e não aconteça de forma arbitrária.

Para tanto, o computador e diferentes softwares vem sendo um importante instrumento de estudo para a aquisição de dados e resultados positivos em relação ao ensino de Física. Uma vez que:

Nesse sentido, estas tecnologias agregadas ao Ensino da Física tendem a reduzir as dificuldades apresentadas tanto por professores, no ato de ensinar, quanto por alunos no aprendizado de conteúdos, cuja mera explanação não produz uma aprendizagem significativa, já que os mesmos não conseguem conceber uma ideia precisa do que ocorre em alguns fenômenos físicos (COSTA, et. al., 2018, p.02).

Por isso, a utilização de tecnologias educacionais livres que tenham alta qualidade e flexibilidade de uso, apresentando baixo custo, é de extrema importância para favorecer as aulas experimentais de Física. As novas tecnologias educacionais estão presentes no cotidiano do aluno (celular, smartphone, computadores, tablets).

A utilização de recursos educacionais nas aulas experimentais que possibilitem a compreensão com o objeto de estudo analisado, não com a finalidade de meros instrumentos para aguçar a curiosidade, mas também, como fonte de conexão com os argumentos teóricos estudados, possibilita uma aprendizagem significativa.

“Além disso, processos experimentais podem ser facilitadores de um conhecimento mais aprofundado quando relacionado aos conhecimentos prévios dos alunos, aproximando assim a realidade deste com o conhecimento científico” (MORAES; SILVA JUNIOR, 2014, p.63).

Nesse sentido apresentamos nessa pesquisa práticas que podem ser desenvolvidas pelos alunos em qualquer ambiente, sendo aliado o uso de recursos que possibilitem tal experimentação, no sentido de aprofundar uma análise quantitativa sobre os dados apurados, apresentamos o Tracker como recurso facilitador nesse processo.

3 VÍDEOANÁLISE NO ENSINO DE FÍSICA

A videoanálise é um recurso utilizado para análise dados experimentais, se apresenta como ferramenta eficaz, podendo analisar e avaliar de forma mais minuciosa, utilizando, por exemplo, gráficos. No caso da Física, os fenômenos podem ser compreendidos em detalhes, e, dessa forma, o professor pode apresentar propostas para os alunos, possibilitando uma interação entre a teoria e a prática de forma significativa.

A utilização da técnica de vídeo análise não é uma metodologia nova (ARAÚJO, *et al.* 2017). Ela foi utilizada pela primeira vez em 1878 pelo fotógrafo inglês Eadweard Muybridg que tinha a curiosidade de desvendar uma dúvida que pairava na época sobre o galope de um cavalo. Perguntava-se por qual motivo os cavalos, quando estavam galopando, levantavam todas as patas ao mesmo tempo.

Para realizar o experimento Eadweard Muybridg preparou uma sequência de fotos através de várias câmeras fotográficas diferentes e para isso, fez vários disparos em sequência, sendo organizada uma fileira de vinte e quatro câmeras para a prática, que era algo a ser explicado através da experimentação com um suporte tecnológico. As câmeras foram dispostas com precisão ocupando a distância calculada através de um passo completo de um cavalo. Dessa forma, foi elaborado um dispositivo que fosse responsável para acionar o funcionamento das câmeras em sequência, quando o cavalo passasse por estas.

As fotos que Eadweard Muybridg tirou, foram analisadas e apresentaram dados com registros de um milésimo de segundo, o que o olho nu não possibilitava jamais reconhecer: o cavalo ao galopar, ficava com todas as patas sem tocar o solo por algum tempo, pairando no ar. Sendo assim, essa experiência considerada por muitos com uma finalidade científica com o objetivo de apresentar através de análises minuciosas, detalhes que, a olho nu, não consegue ser visualizado.

Na figura 2, a foto tirada por Eadweard Muybridg, “The Horse in Motion”, sendo este um dos primeiros experimentos realizado por análise de imagens feitas por uma câmera fotográfica para explicar um fenômeno físico.

Figura 2 - The horse in motion, 1872, Eadweard Muybridg



Fonte: O mundo da fotografia (2022)

A evolução das técnicas de análise de imagens cresceu com o avanço das novas tecnologias. Nesse contexto, os computadores fazem parte dessa evolução. Diferentes softwares que possibilitam essa interação são desenvolvidos especificamente para auxiliar pesquisadores em diversos campos da Ciência, como é o caso do Tracker no ensino de Física.

4 O SOFTWARE *TRACKER*

O *Tracker* é um software gratuito livre, de código aberto, construído na programação Java, da Open Source Physics (<https://www.compadre.org/osp/>). Este programa está em constante desenvolvimento pela parceria entre a equipe comandada pelo professor aposentado Douglas Brown, do Cabrillo College, situado na cidade de Santa Cruz, no estado da Califórnia, nos Estados Unidos e pelo Open Source Physics, financiado pela National Science Foundation e pelo Davidson College.

O objetivo deste software é divulgar, expandir e espalhar o uso de bibliotecas de código-fonte aberto, no ensino de Física, baseadas em modelagem pelo uso do computador. Sua biblioteca está na linguagem de programação Java e seu licenciamento em General Public License (GNU), garante licenças para softwares livres, possibilitando aos usuários o livre acesso para usar, editar e compartilhar programas de computador sob sua licença (<https://www.compadre.org/osp/>).

De acordo com o site, da Open Source Physics, o *Tracker* pode sobrepor modelos simples de partículas dinâmicas em um vídeo. Em um experimento típico de modelagem de vídeo, os alunos capturam e abrem um arquivo de vídeo digital, calibram a escala e definem os eixos de coordenadas apropriados, assim como na análise de vídeo tradicional.

O *Tracker* disponibiliza vários recursos, e, dentre eles podemos citar: rastreamento de objetos com sequências de quadros (imagens) em tempos sucessivos; gráficos de posição, velocidade e aceleração; filtros de efeitos especiais; quadros de referência, pontos de calibração e perfis de linha para análise de padrões de espectro e interferência luminosa, além de outros.

A conduta do modelo é, então, comparada diretamente com a do movimento do mundo real, essa é uma vantagem que análises de vídeo têm sobre as análises de vídeo tradicional e a modelagem apenas de simulação.

A seguir, apresentamos a tela inicial do *Tracker*. Uma vez iniciado o programa, o usuário deve “abrir” o arquivo de vídeo que será analisado. Caso o arquivo seja o movimento de queda livre de uma bola, o programa possibilita decompor (e

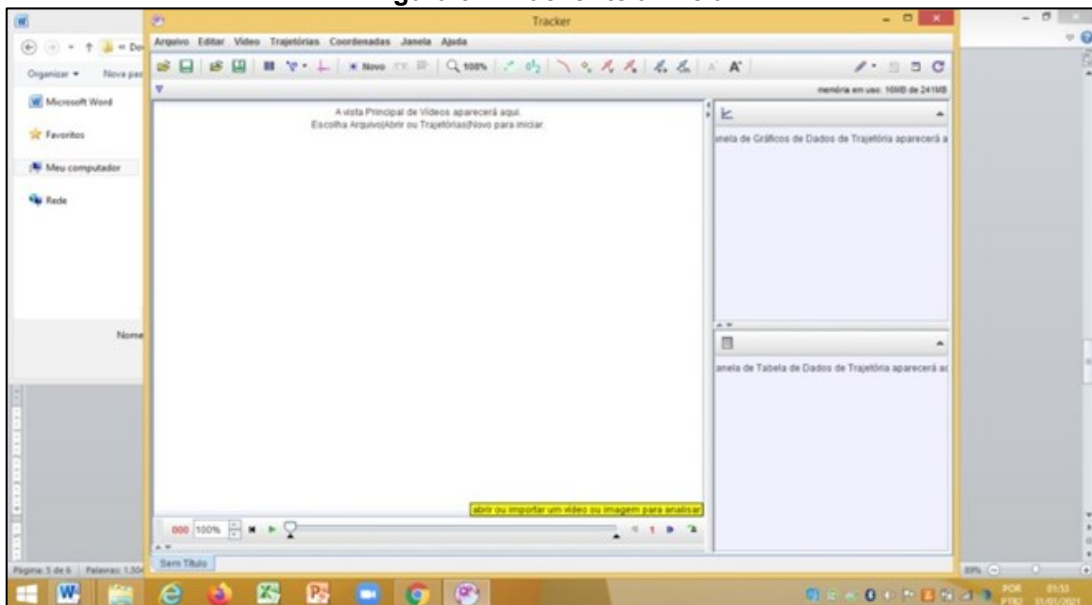
acompanhar) o movimento quadro a quadro, de modo que mostre a posição da bola é dada em função do tempo.

A interação com o programa é simples, sobre a utilização dos comandos para interação com o software e tutoriais que podem ser acessados no próprio link <https://physlets.org/tracker/>, utilizado para baixar o programa.

Nesse trabalho serão disponibilizados aos participantes links de acesso com tutorial de acesso para auxiliar na interação com o *Tracker*.

A Figura 3 apresenta uma interação com a tela inicial do *Tracker*.

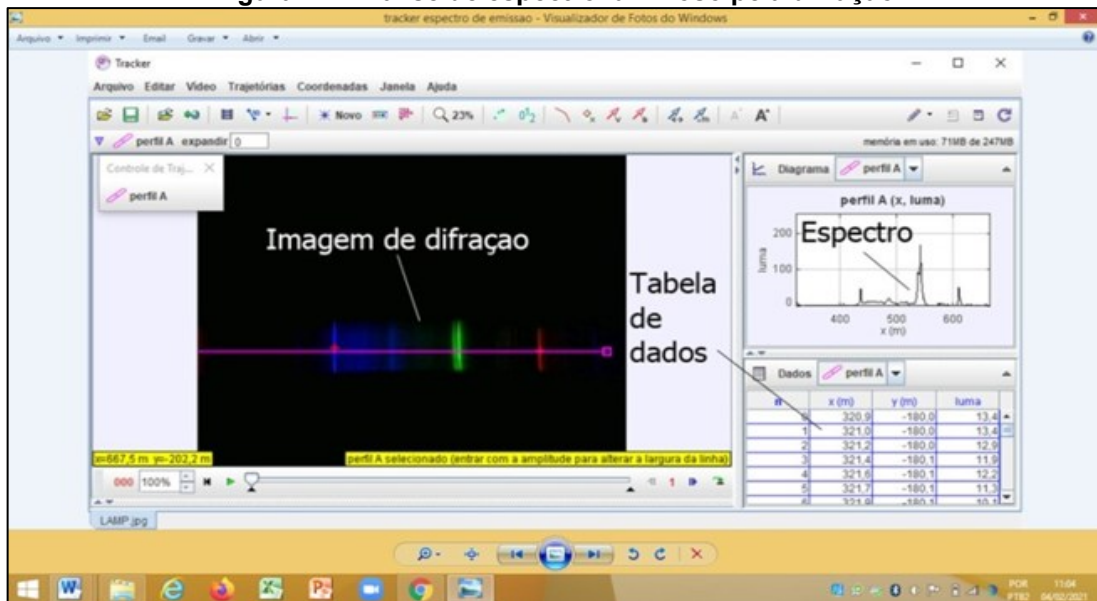
Figura 3 – Tracker tela inicial



Fonte: Autoria própria (2022)

Este conjunto de números pode ser manipulado matematicamente para obter as variáveis cinemáticas (velocidade e aceleração) e, com isso, as representações gráficas do movimento. Em situações mais complexas como, por exemplo, a colisão de objetos, o *Tracker* permite acompanhar o movimento de cada objeto (posição, velocidade e aceleração), e, além disso, investigar as variáveis dinâmicas tais como o momento linear, o momento angular e a energia, dentre outras. Na Figura 4 apresentamos a análise pelo *Tracker*, mostrando a extração de espectros luminosos a partir de imagem de difração.

Figura 4 – Análise de espectro luminoso pela difração



Fonte: Azevedo; Sousa; Castro (2019)

O estudo dos espectros luminosos de lâmpadas fluorescentes e incandescentes, LEDs (Light Emitting Diodes), lasers etc., possibilita o estudo de conceitos de Física Moderna, relacionados à interação entre radiação e matéria. Átomos, íons e moléculas podem existir somente em estados discretos de energia, quando ocorrem mudanças de um estado para outro (chamada de transição), que ocorre devido à emissão e a absorção de um fóton.

Além do *Tracker*, existem outros softwares para obtenção de espectros de difração via webcam, como é o caso do software livre “Image J”, que é um programa de processamento de imagem de código aberto, projetado para imagens científicas multidimensionais. usado por biólogos. Também é reportada a utilização dos softwares “Labview, RSpec” e “MATLAB”. Para aquisição de espectros ópticos instantâneos, pode ser utilizado o software livre “Theremino Spectrometer”, sendo que esse aplicativo não disponibiliza a opção de salvar dados em forma de tabela, impossibilitando, por exemplo, a obtenção de análises de espectros de absorção. Para este tipo de experimento, recomenda-se o uso do *Tracker*.

O *Tracker* possibilita a descrição e explicação de fenômenos físicos, através da análise de vídeos quadro a quadro. Tais movimentos podem ser registrados à

partir de câmeras digitais ou webcams de computadores comuns, ou telefones celulares, o que já facilita a utilização de tal tecnologia.

Sendo um software de fácil aprendizagem, tal recurso pode ser manipulado de diferentes maneiras de acordo com as necessidades e especificidades do usuário, o que proporciona uma melhor interação entre todos os envolvidos, oportunizando um ensino no qual o aluno é o protagonista do sistema e participativo nas ações a ele deliberadas.

Através do *Tracker*, os alunos têm a possibilidade de explorar diferentes funções no processo de ensino-aprendizagem. Assim como aponta Alves Filho (2004) citado por Bezerra Junior, *et al.* (2012, p. 474), o uso desse facilitador no processo de aprendizagem:

permite aos alunos acompanharem a evolução das grandezas físicas em tempo real, pondo fim à mera sequência de passos experimentais em roteiros de laboratórios estruturados ao extremo; permite a manipulação dos dados e a construção dos gráficos a partir de tais observações, fundamental para a construção do conhecimento físico a partir de atividades experimentais.

Tal ferramenta, para aquisição de dados no ensino de Física, oportuniza aulas mais atrativas, dinâmicas e significativas. Uma vez que os alunos participam desde o processo de elaboração quanto da construção e manipulação dos experimentos desejados. Lembrando que tais manipulações virtuais e/ou tecnológicas não substituem completamente a condição de tatear e manipular o experimento em seu formato real, porém tais metodologias possibilitam parte dessa experiência e contribuem para complementação de estudo do conteúdo proposto, assim, como as atividades propostas nesse trabalho.

O *Tracker* favorece a interação com várias funções no processo de ensino-aprendizagem possibilita aos alunos acompanharem o estudo das grandezas físicas em tempo real, substituindo roteiros experimentais estruturados ao extremo. O uso desse software permite a manipulação dos dados e a construção de gráficos, relacionando teoria e prática, o aprendiz parte da observação para a construção do conhecimento físico a partir de atividades experimentais (ALVES FILHO, 2004).

Dessa forma, auxilia os participantes deste processo atuarem como sujeitos ativos na construção, customização e adequação da prática experimental às suas realidades, como por exemplo, a tradução do *Tracker* para o português feito pelo

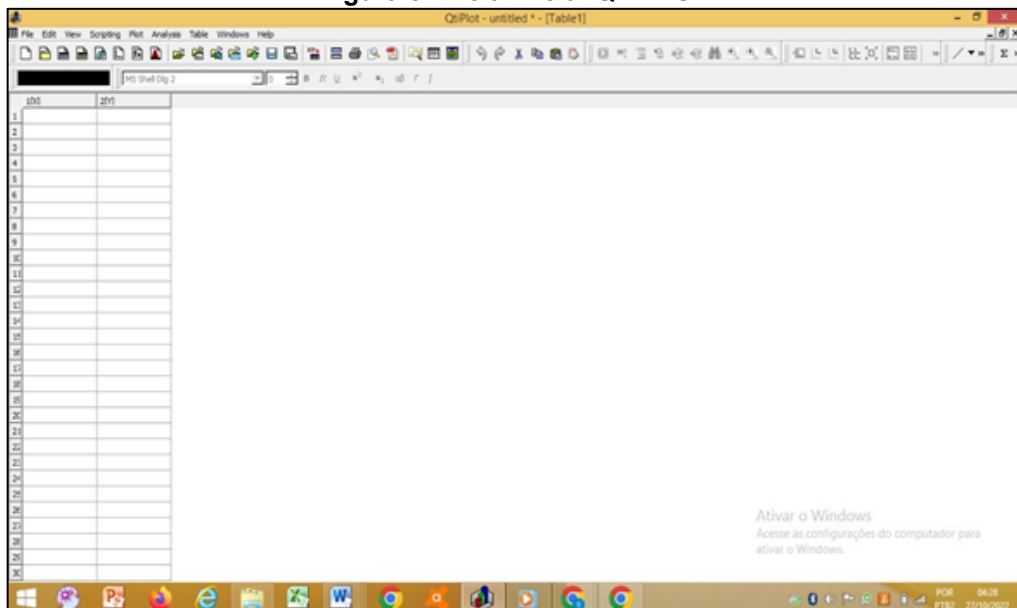
“Grupo *Tracker* Brasil” já disponibilizado para a comunidade que dá suporte ao programa (TRACKER BRASIL, 2011).

Segundo Bryan (2010) e Calloni (2010), atualmente, as tecnologias que possibilitam fazer uso de videoanálise, se tornaram eficazes nas aulas experimentais, e permitem aos estudantes fazer análises precisas do objeto de estudo por várias vezes durante seu movimento.

“O *Tracker* adiciona qualidade e praticidade às aulas de física, pois não são necessários aparatos experimentais caros, complexos e laboriosos, com os quais, frequentemente, os estudantes “perdem” um tempo precioso nas aulas de laboratório.” (BEZERRA JUNIOR. *et al.*, 2012, p. 486).

Outro software livre que é utilizado para análise de gráficos é o Qtiplot, que é um sistema que pode ser executado em mais de uma plataforma ou pode executar programas ou sistemas de várias plataformas. O QtiPlot pode ser utilizado para apresentar dados bidimensionais e tridimensionais e possui várias funções da análise de dados como ajuste de curvas. Nas aulas de física, por exemplo, no estudo da polarização de ondas eletromagnéticas, esse software é uma ferramenta que permite com precisão apresentar uma curva de ajuste no gráfico. Na figura 5 apresentamos a tela inicial do software QtiPlot.

Figura 5 – Tela inicial QTIPILOT



Fonte: Autoria própria (2022)

No próximo capítulo apresentaremos um breve levantamento de trabalhos e publicações em alguns periódicos que envolvem videoanálise com o software *Tracker*.

5 LEVANTAMENTO DE ARTIGOS UTILIZANDO VIDEOANÁLISES COM O TRACKER

Nesse capítulo apresentamos alguns artigos publicados em periódicos de ensino de Física, sendo estes, escolhidos devido à aplicação de videoanálise com a utilização do *Tracker*. A escolha dos artigos apresentados é de relevância para esse trabalho. Sendo assim, foram encontradas as seguintes publicações, conforme o quadro a seguir:

Quadro 1 – Publicações de artigos com o uso de videoanálise no estudo da Física

| Fonte | Ano | Título | Autores |
|--|------|--|---|
| Abakós | 2014 | Utilização de TIC para o Estudo do Movimento: Alguns Experimentos Didáticos com o Software <i>Tracker</i> | Jorge Alberto Lenz; Nestor Cortez Saavedra Filho; Arandi Ginane Bezerra Junior. |
| Acta Scientiae | 2016 | Utilização da Videoanálise para o Estudo do Movimento Circular e a Construção do Conceito de Aceleração Centrípeta | Nestor Cortez Saavedra Filho, Jorge Alberto Lenz; Arandi Ginane Bezerra Junior. |
| Caderno Brasileiro de Ensino de Física | 2012 | Videoanálise com o Software Livre <i>Tracker</i> no Laboratório Didático de Física: Movimento Parabólico e Segunda Lei de Newton | Arandi Ginane Bezerra Junior; Leonardo Presoto de Oliveira; Jorge Alberto Lenz; Nestor Cortez Saavedra Filho. |
| Caderno Brasileiro de Ensino de Física | 2018 | Um Curso de Mecânica com o Uso do Programa de Vídeo-Análise <i>Tracker</i> | Júlia Esteves Parreira |
| Caderno Brasileiro de Ensino de Física | 2020 | Estudo de Colisões Inelásticas por meio da Videoanálise | Guilherme Almeida Montoli; João dos Santos Cabral Neto |
| Revista Brasileira de Ensino de Física | 2014 | Investigando o Impulso em Crash Tests Utilizando Vídeo-Análise | A. C. Wrasse; L. P. Etcheverry; G. F. Marranghello; F. S. da Rocha. |
| Revista Brasileira de Ensino de Física | 2014 | Vídeo-Análise de um Experimento de Baixo Custo Sobre Atrito Cinético e Atrito de Rolamento | V. L. B. de Jesus; D. G. G. Sasaki. |

| | | | |
|--|------|--|--|
| Revista Brasileira de Ensino de Física | 2014 | As Múltiplas Faces da Dança dos Pêndulos | Vitor Luiz Bastos. de Jesus; M. A. J. Barros. |
| Revista Brasileira de Ensino de Física | 2015 | Estudo das Oscilações Amortecidas de um Pêndulo Físico com o Auxílio do Tracker | W. Bonventi Jr; N. Aranha. |
| Revista Brasileira de Ensino de Física | 2016 | Uma Abordagem por Videoanálise da Propagação de um Pulso em uma Catenária | V. L. B. de Jesus D. G. G Sasaki |
| Revista Brasileira de Ensino de Física | 2016 | A Descrição do Funcionamento de um Motor Homopolar Linear e suas Aplicações: Ilustrando o Funcionamento de um Acelerador de Partículas | Adriano Doff; Romeu Miqueias Szmoski. |
| Revista Brasileira de Ensino de Física | 2018 | Estudo da Relação Entre o Movimento Circular Uniforme e o Movimento Harmônico Simples Utilizando a Videoanálise de uma Roda de Bicicleta | Erick dos Santos Silva. |
| Revista Brasileira de Ensino de Física | 2019 | Espectroscopia Óptica de Baixo Custo: Uma Estratégia para a Introdução de Conceitos de Física Quântica no Ensino Médio | A. L. Azevedo; A. K. S. Sousa; T. J. Castro. |
| Revista Brasileira de Ensino de Física | 2020 | Estudo da Influência do Ar no Movimento de Queda dos Corpos: Uma Comparação Entre a Previsão Teórica e os Dados Experimentais Usando o Tracker | M. R. Rossini; M. J. Alves; L. H. Amorin; P. S. de Camargo Filho. |
| Revista Brasileira de Ensino de Física | 2020 | Desenvolvimento e Utilização de um Aplicativo Móvel Brasileiro para Videoanálise: "Videoanalizando | Giulio Domenico BordinIgor Henrique FrançaArandi Ginane Bezerra Junior |

Fonte: Adaptado de Bordin (2020).

Após a realização da pesquisa sobre os artigos apresentados na tabela 1, foi constatada que a grande parte das publicações estão voltadas para o estudo de conceitos na área da mecânica. Dessa maneira, apresentamos um breve relato sobre os 15 trabalhos citados na tabela 1, os quais foram escolhidos devido à

relevância com essa pesquisa. As publicações apresentam o uso de videoanálise com o *Tracker* no estudo da Física.

“Utilização de TIC para o estudo do movimento: alguns experimentos didáticos com o software *Tracker*”: Os autores apresentam uma sequência didática sobre atividade experimental no estudo da mecânica, utilizando o software *Tracker*.

Foi utilizado para simulação da prática experimental material de baixo custo, através de um carrinho de brinquedo e uma rampa envolvendo o movimento parabólico no estudo do MRU, MRUV, MCU.

“Utilização do videoanálise para o estudo do movimento circular e a construção do conceito de aceleração centrípeta”: Esse trabalho apresenta uma abordagem inédita de tratamento de dados experimentais, a partir de videoanálise, para o estudo do movimento circular uniforme, tão presente nas disciplinas de física do ensino superior e médio.

“Videoanálise com o software livre *Tracker* no laboratório didático de Física: movimento parabólico e segunda lei de Newton”: O objetivo principal desse artigo é demonstrar algumas potencialidades do uso do *Tracker* para o estudo do movimento em aulas de Física.

“Um Curso de Mecânica com o uso do programa de vídeo-análise *Tracker*”, neste trabalho são apresentados diversos experimentos que podem ser feitos com o auxílio do *Tracker* para o estudo da Mecânica. Todos os assuntos tratados em disciplinas de Mecânica do Ensino Médio e do ciclo básico do Ensino Superior são explorados nessas práticas.

“Estudo de Colisões Inelásticas por meio de Videoanálise”, neste trabalho é apresentado o estudo da colisão inelástica por meio do videoanálise usando o software *Tracker*, no qual observamos a colisão de uma bola em queda livre rebotando no chão até parar.

“Investigando o impulso em crash tests utilizando vídeo-análise”: O trabalho apresenta a utilização de vídeos disponíveis na web que mostram testes de colisões de automóveis para investigar as propriedades do impulso de uma força propriedades físicas, tais como: posição, velocidade, e aceleração, relacionadas ao movimento dos carros e manequins utilizados nos testes. Esse artigo explora uma

possibilidade de aplicação em problemas reais e importantes para a compreensão de fenômenos presentes em nosso cotidiano, nesse caso, acidentes de trânsito.

“Videoanálise de um experimento de baixo custo sobre atrito cinético e atrito de rolamento”: o referido trabalho apresenta um experimento simples e de baixo custo, o autor utiliza uma pilha e uma câmera de celular para o estudo do atrito de rolamento através de videoanálise. Em um único experimento explorou-se duas fases do rolamento de uma pilha, com e sem deslizamento, permitindo a obtenção de duas grandezas físicas distintas.

“As múltiplas faces da dança dos pêndulos”: Neste trabalho, os pêndulos que fazem parte do conjunto possuem comprimentos diferentes decresce linearmente. O autor propõe um modelo teórico que descreva este movimento em particular, baseado na dependência dos comprimentos dos pêndulos em função das suas posições, utilizando da técnica de videoanálise que permite visualizar o movimento quadro a quadro utilizando o software livre *Tracker*. Torna-se possível confrontar o modelo teórico proposto com os dados experimentais obtidos.

“Estudo das oscilações amortecidas de um pêndulo físico com o auxílio do *Tracker*”: Neste trabalho, é apresentada a análise das medidas do momento de inércia de uma ripa, com uso de material de baixo custo, o experimento foi filmado com smartphone e os dados analisados com o *Tracker*. Também foi utilizado o Qtiplot para a análise dos dados.

“Uma abordagem por videoanálise da propagação de um pulso em uma catenária”: O trabalho apresenta uma experiência de baixo custo e fácil acesso, mas com resultados de boa qualidade sobre a propagação de um pulso em uma corrente plástica, que se deforma sob a ação do próprio peso, formando a conhecida forma geométrica da função catenária. O objetivo deste trabalho foi criar e analisar um experimento didático barato e eficiente.

“A descrição do funcionamento de um motor Homopolar linear e suas aplicações: Ilustrando o funcionamento de um acelerador de partículas”: Neste trabalho, os autores exploram o potencial didático de um motor homopolar linear, com o objetivo de ilustrar o princípio de funcionamento de um acelerador de partículas. O trabalho apresenta o uso de equipamentos de baixo custo que podem

ser empregados para a aquisição e análise dos resultados obtidos, sendo utilizado o *Tracker* para a análise dos dados.

“Estudo da relação entre o movimento circular uniforme e o movimento harmônico simples utilizando a videoanálise de uma roda de bicicleta”: Neste artigo, são discutidos os resultados de um videoanálise com o uso do *Tracker*, apresentando o estudo do movimento circular uniforme (MCU) e o movimento harmônico simples (MHS), a partir da filmagem do movimento circular de uma roda de bicicleta.

“Espectroscopia óptica de baixo custo: uma estratégia para a introdução de conceitos de física quântica no ensino médio”: De todos os trabalhos apresentados na tabela 1, esse foi o único encontrado, dentre as publicações que trata sobre o estudo de conceitos de Física Quântica. Os autores desenvolveram um espectrômetro óptico de baixo custo como recurso didático para a introdução de conceitos de Física Quântica no ensino médio. O protótipo foi desenvolvido usando uma grade de difração comercial, lentes convergentes (lupas), webcam e o software *Tracker* para análise dos dados obtidos.

“Estudo da influência do ar no movimento de queda dos corpos: uma comparação entre a previsão teórica e os dados experimentais usando o *Tracker*”: O artigo descreve uma proposta de atividade prática para a graduação, envolvendo um estudo teórico experimental sobre a influência do ar no movimento de queda dos corpos. Nesse experimento foi utilizado um aparelho celular para a filmagem dos objetos os dados foram tratados com o *Tracker*.

“Desenvolvimento e utilização de um aplicativo móvel brasileiro para videoanálise: Videoanalizando”. O presente trabalho propõe uma articulação da videoanálise para promover e estimular a realização de atividades experimentais em sala de aula. Os autores desenvolveram um aplicativo “Videoanalizando” para estudo e análise de experimentos partindo da filmagem realizada com o smartphone.

Após o levantamento dos artigos apresentados na tabela 1 foi constatado que a busca pela utilização de materiais de baixo custo em grande parte dos experimentos realizados pelos autores é grande.

Percebemos que a justificativa para tais publicações, acontece devido à inovação para realização das aulas experimentais para suprir a falta de materiais nos laboratórios de Física.

Alguns fatores, como por exemplo: a falta de equipamentos ou materiais em laboratórios de Física, em grande parte das instituições de ensino, ou, até mesmo pela inexistência desses laboratórios, contribuem para que grande parte dos alunos ainda no ensino médio não possam contemplar uma aprendizagem significativa dos conceitos Físicos observados na prática.

Também foi observado que existe uma escassez de experimentos voltados para o estudo da óptica utilizando videoanálise com o *Tracker*.

6 ÓPTICA FÍSICA

A Óptica é um dos assuntos mais estudados no ramo da Física, em termos de pesquisas experimentais, perdendo apenas para a Mecânica (RIBEIRO; VERDEAUX, 2012).

Para Sears e Zemansky (2009), a óptica é um ramo da Física que trata do comportamento da luz e de outras ondas eletromagnéticas, possibilitando apreciar de modo mais visível o mundo. O conhecimento das propriedades da luz nos permite explicar tais fenômenos: como a reflexão, refração, difração, interferência e polarização da luz.

Iniciamos a abordagem sobre o tema óptica física tratando sobre as ondas. A onda, cuja definição é, uma perturbação que se propaga em um determinado meio, transportando exclusivamente energia. As ondas mecânicas exigem um meio material (um metal, por exemplo) para se propagarem. No entanto, as ondas eletromagnéticas, não requerem a existência de um meio para se propagarem, propagando-se no vácuo. Nesse trabalho abordaremos em específico as ondas eletromagnéticas.

O módulo da velocidade de propagação das ondas eletromagnéticas no vácuo é:

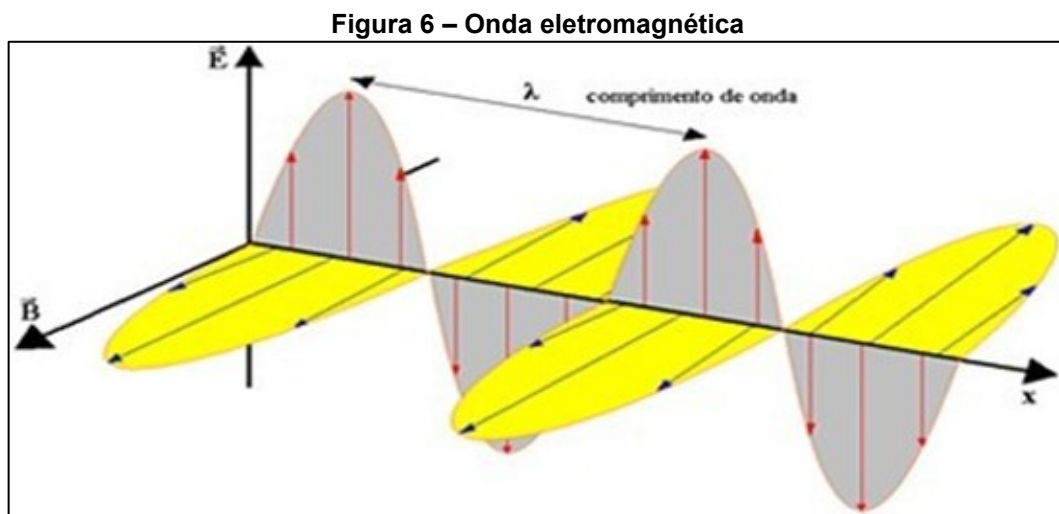
$$c = 299\,792\,458 \text{ m/s}$$

A primeira previsão teórica das ondas eletromagnéticas foi descoberta em 1864, pelo físico escocês, James Clerk Maxwell. Maxwell, que reuniu e descobriu as correlações que existiam entre alguns fenômenos, originando assim, a teoria de que eletricidade, o magnetismo e a óptica são, de fato, manifestações diferentes do mesmo fenômeno físico.

Maxwell apresentou teoricamente que uma perturbação eletromagnética devia se propagar no vácuo com uma velocidade igual à da luz, ou seja, 300.000 km/s. Para confirmar a teoria, Henrich Hertz, em 1887 realizou o primeiro experimento, produzindo ondas eletromagnéticas por meio de circuitos oscilantes e detectados através de outros circuitos sintonizados na mesma frequência. Esse trabalho foi reconhecido e homenageado, sendo que, a unidade de frequência é conhecida pelo nome Hertz.

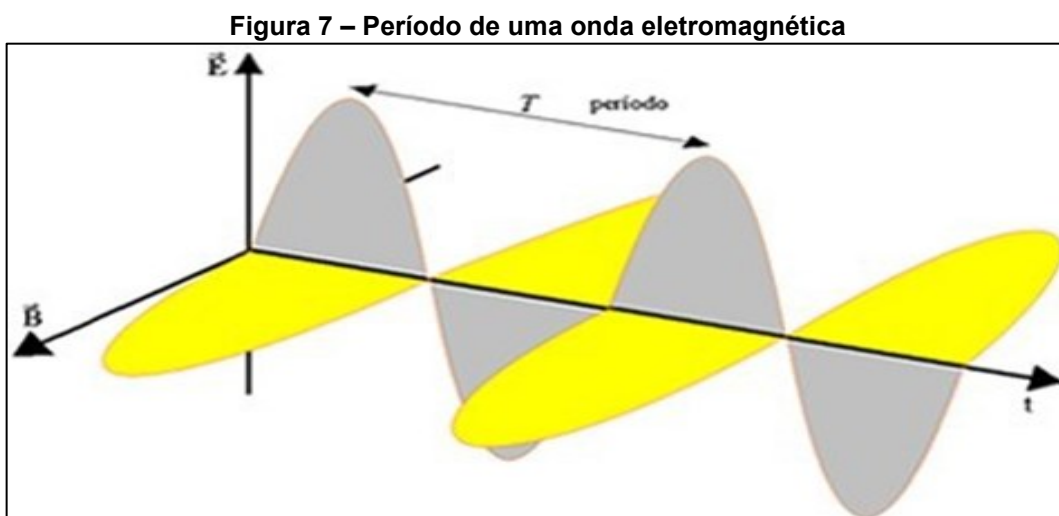
Quando tratamos de uma onda eletromagnética, denominamos frequência o número de oscilações produzidas pelos campos elétrico e magnético durante o intervalo de um segundo. No Sistema Internacional de Unidades, a grandeza física que caracteriza a frequência de uma onda é dada em hertz, cujo símbolo é *Hz*.

A menor distância entre dois pontos consecutivos nos quais a perturbação se repete, é o comprimento de onda, indicado pela letra grega λ (*lambda*), como mostra a figura abaixo:



Fonte: Prepara Enem (2022)

A figura a seguir, apresenta a variação da amplitude do campo, vista em um mesmo ponto do espaço, à medida que o tempo passa. A amplitude oscila com um período T , ou, uma frequência, dado pela equação $f = 1/T$, representada na figura a seguir:



Fonte: Prepara Enem (2022)

A relação entre a distância que uma onda percorre e o tempo que ela gasta, é definida pela velocidade de propagação de uma onda, como:

$$v = \frac{\lambda}{T} = \lambda \cdot f$$

v – velocidade de propagação da onda

f – frequência da onda

T – período da onda

λ – comprimento de onda

O espectro visível, ou, radiação visível é composto de ondas eletromagnéticas (EM) estabelecendo comprimentos de onda situados entre $\lambda \approx 0,74$ micron ($f = 4,05 \times 10^{14}$ Hz) e $\lambda \approx 0,38$ micron ($7,89 \times 10^{14}$ Hz).

A propagação de onda (v) se dá na forma de ondas EM de diferentes frequências (f) e comprimentos de onda (λ), representado através da seguinte equação:

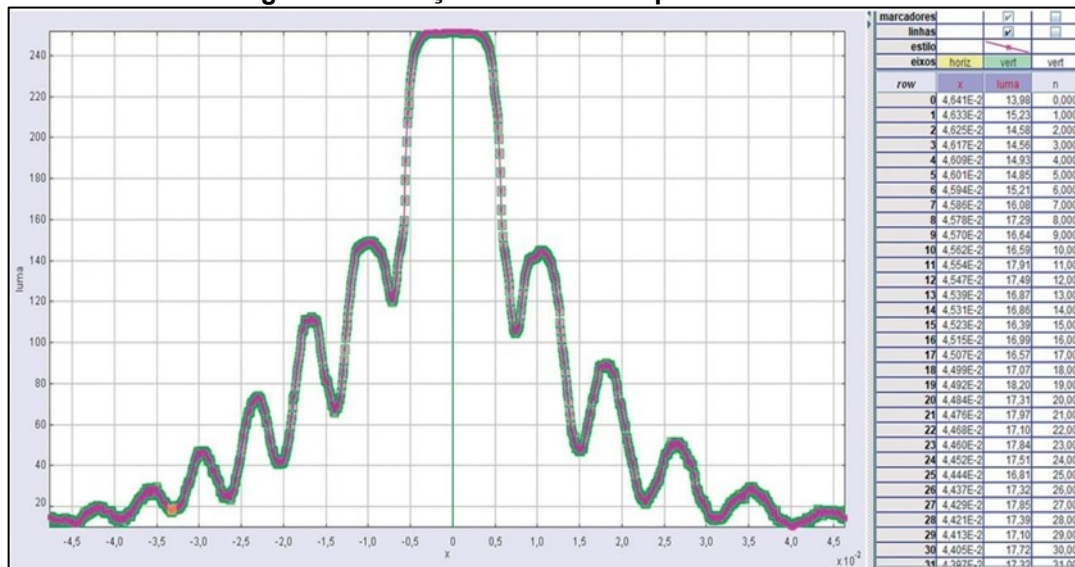
$$\lambda \cdot f = v$$

6.1 Difração

Difração é um fenômeno que ocorre quando uma onda encontra um obstáculo ou orifício cujas dimensões sejam da mesma ordem de grandeza de seu comprimento (λ). Esse fenômeno acontece em todos os tipos de ondas, incluindo as ondas sonoras, as ondas na água e as ondas eletromagnéticas.

Com o gráfico do *Tracker* é possível visualizar, identificar e analisar as distâncias e as franjas de difração, e essa condição, nos proporciona compreender a importância do uso da tecnologia como ferramenta facilitadora na leitura de dados que quantificam um melhor entendimento no estudo do fenômeno físico. Na figura 8, apresentamos o gráfico da intensidade luminosa de um experimento realizado, representando o fenômeno da difração em fenda simples.

Figura 8 – Difração em fenda simples no Tracker



Fonte: Maslova; Pérez (2019)

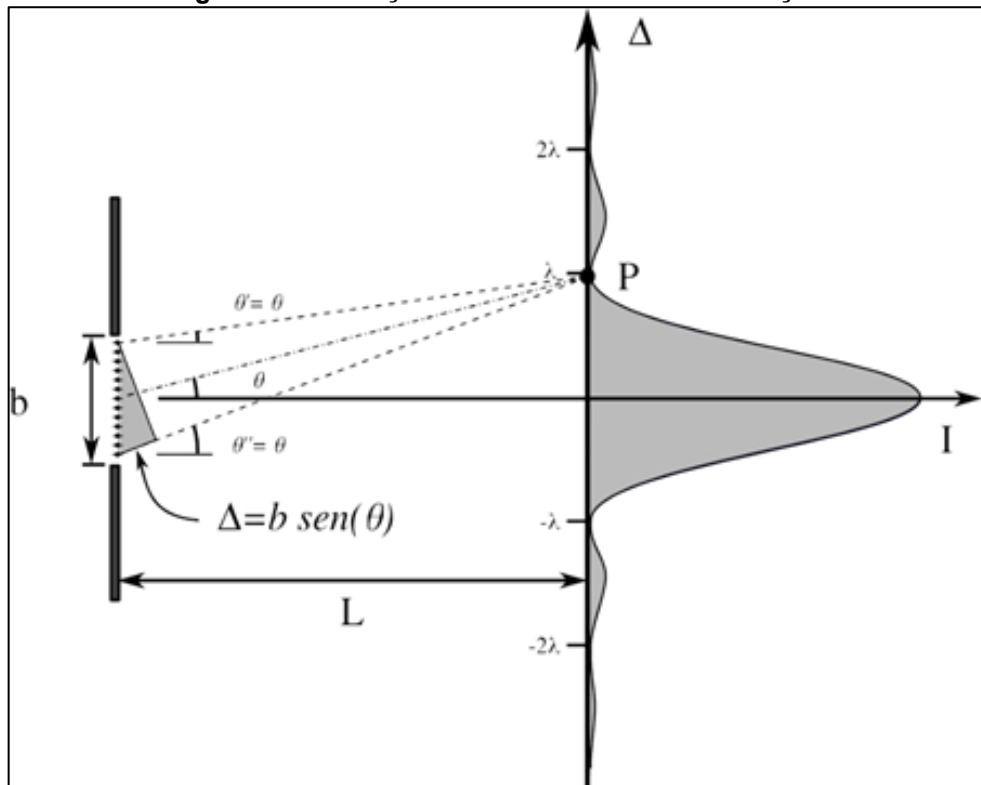
Para Cavalcante e Tavolaro, “A difração é a capacidade que a onda tem de contornar um obstáculo propagando-se com as mesmas características. É mais facilmente observada quando o obstáculo tem a mesma dimensão do comprimento de onda” (CAVALCANTE; TAVOLARO, 2007, p. 56).

Segundo Bassalo (1988), o fenômeno da difração da luz, foi notado inicialmente pelo físico e matemático Francesco Maria Grimaldi (1618-1663), no século XVII, Grimaldi observou que, a difração ocorre quando a luz contorna obstáculos ou quando passa por uma fenda estreita produzindo um feixe divergente.

A explicação desse fenômeno por Fresnel em 1817 através da sua teoria matemática baseada na hipótese ondulatória de Huygens, quando ganhou o prêmio oferecido pela Academia de Ciências de Paris (BASSALO, 1988).

Na imagem 9, apresentamos o fenômeno da difração, onde o tamanho da fenda está representado pela letra b , a distância entre a fenda e o anteparo, pela letra L e a diferença de caminho percorrido pelas ondas, pela letra Δ (delta). Usando o princípio de Huygens, vamos perceber como a luz passa por uma fenda, cuja largura (b) é da ordem de grandeza do comprimento de onda da luz.

Figura 9 – Formação do máximo central de difração



Fonte: UNICAMP (2022)

O estudo da difração pode ser analisado quanto à relação de aproximação entre os aparatos. No experimento pela difração de Fresnel e Fraunhofer, quando, as dimensões de tela ou da fonte estiverem relativamente próximas do obstáculo que produza a figura de difração, tratamos de difração de Fresnel, mas, se o obstáculo está suficientemente longe da fonte que incidirá a luz e o anteparo que refletirá a difração, trata-se da difração de Fraunhofer.

A difração é observável quando uma onda é deformada por um obstáculo que tenha as dimensões similares ao comprimento da onda. O obstáculo, ou, um anteparo, pode ser uma fenda, um disco, ou um fio que permite a passagem de somente uma pequena fração da frente de onda.

Quando observamos o fenômeno da difração em muitos livros didáticos, esse fenômeno se parece muito com a interferência e os dois fenômenos são interligados ocorrendo simultaneamente, dessa forma, sempre observados ao mesmo tempo.

Nesse trabalho, a amostragem qualitativa foi feita com a interação experimental que os alunos vivenciaram na prática, observando os fenômenos da

interferência e difração ocasionados por anteparos, como o fio de cabelo e fendas simples e duplas, sendo propostas nas atividades, o aluno observou o que acontece em cada um dos casos, com diferentes distâncias.

A diferença entre os dois fenômenos é que na interferência desprezamos a largura de cada uma das fendas enquanto na difração é a largura da fenda a responsável pelo fenômeno. São as bordas da fenda (ou do obstáculo) que deformam a onda.

Observando o fenômeno de difração a seguir, nota-se que ocorre a soma da onda deformada por uma das laterais à onda intacta que passa pelo centro da fenda, levando em conta que a distância entre elas é de $a/2$.

Para que haja uma composição destrutiva entre elas, deveremos ter uma diferença de percurso igual a meio comprimento de onda.

Dessa forma, vemos então que a relação para os mínimos será:

$$a/2 \operatorname{sen} \theta = m\lambda/2$$

As relações, de máximos e mínimos são estabelecidas pelas seguintes equações:

Fenda simples **$a \operatorname{sen} \theta = n\lambda$ (mínimos);**

Fenda dupla **$a \operatorname{sen} \theta = n + 1/2 \lambda$ (mínimos);**

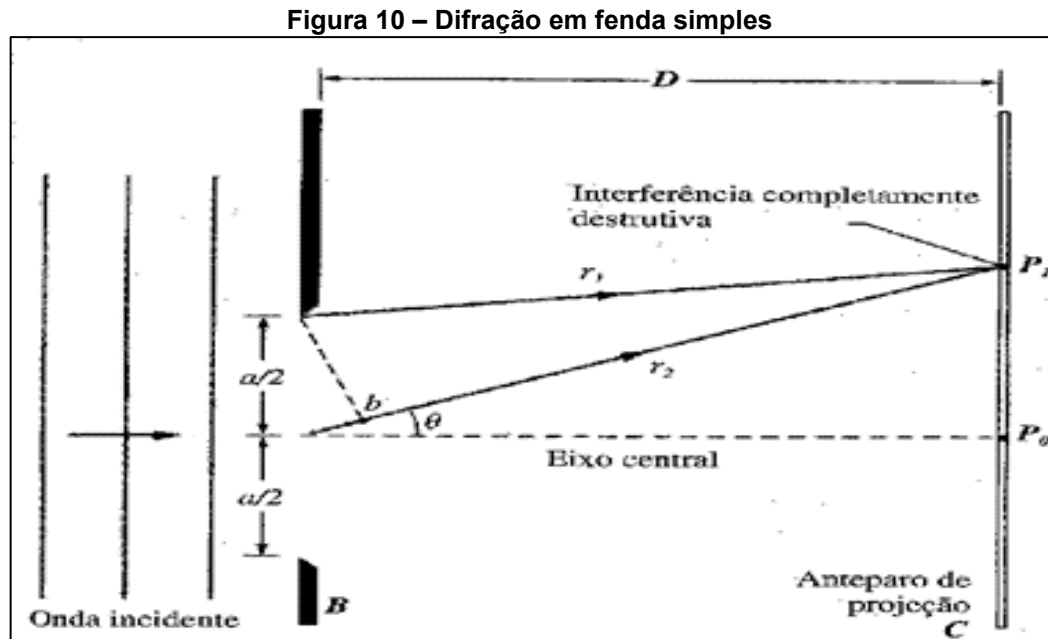
n é um inteiro, positivo ou negativo, diferente de zero;

a é a largura da fenda;

λ o comprimento de onda da onda incidente;

θ o ângulo entre a direção perpendicular à fenda e o ponto onde estamos observando luz.

6.2 Difração em fenda simples



Fonte: Marques (2022)

A intensidade da luz que será observada nas diferentes direções é resultado da soma dos vetores campo elétrico de cada onda gerada pelas fontes consideradas pontuais.

$$I = \frac{Im \operatorname{sen} \alpha}{2}$$

Onde Im é a intensidade máxima e α é relacionado com θ através de:

$$\alpha = \frac{\pi \cdot a \cdot \operatorname{sen} \theta}{\lambda}$$

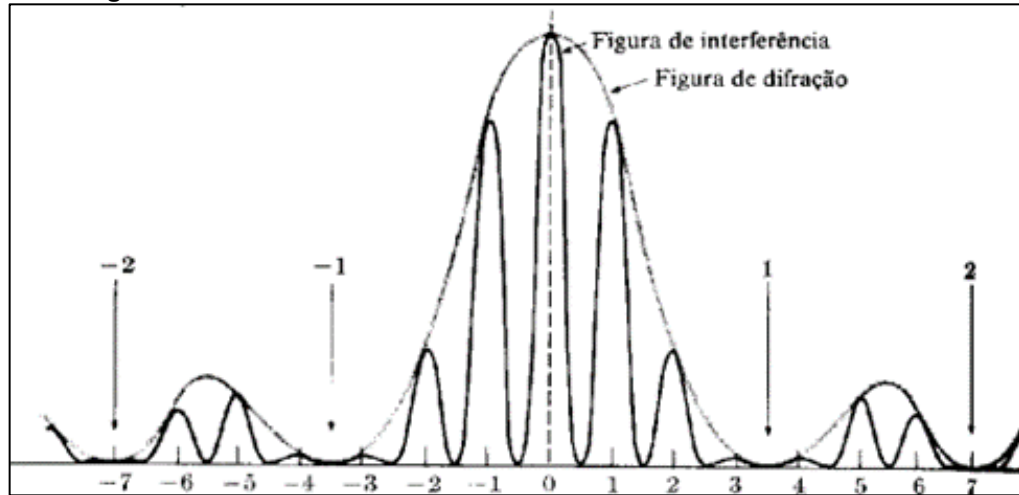
Veja que a intensidade é proporcional ao seno do ângulo de observação θ , deixando claro que teremos pontos onde ela será zero, ou seja, mínima. Como na interferência, temos pontos onde nenhuma luz é observada.

6.3 Difração em fenda dupla

Considerando duas fendas, cada uma com largura a e separadas por uma distância d , para uma direção dada pelo ângulo θ , temos dois conjuntos de ondas difratadas. Sendo assim, combinamos processos de difração e de interferência, e o resultado, é uma figura de máximos e mínimos. Dessa forma, os máximos de

interferência são modulados pela figura de difração. A intensidade dos pontos observados é descrita pelo gráfico da Figura 11.

Figura 11 – Máximos e mínimos resultantes de duas fendas estreitas



Fonte: Departamento de Física Nuclear e Altas Energias (2022)

Observe que o máximo da figura de interferência ocorre para:

$$\text{sen } \theta = n(\lambda/d)$$

Enquanto os mínimos (ou zeros) da figura de difração são dados por:

$$\text{sen } \theta = m(\lambda/a)$$

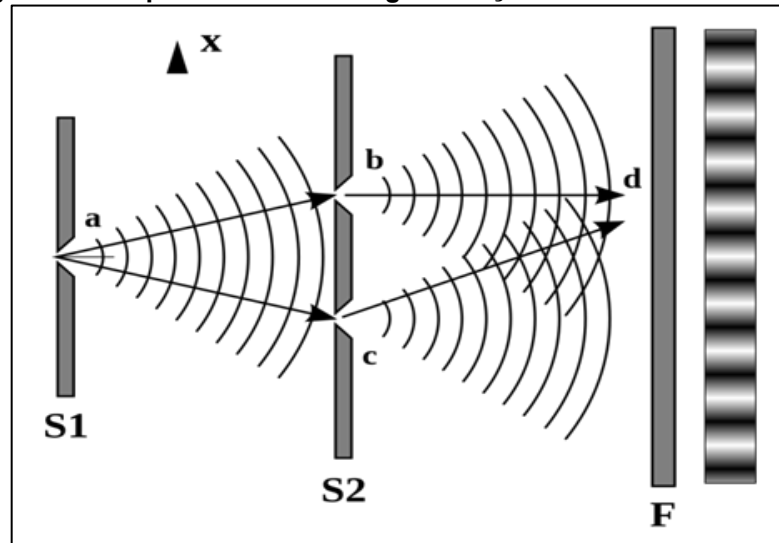
A relação $\text{sen } \theta = m(\lambda/a)$, é exatamente a mesma que tínhamos para o caso de a luz ser difratada por uma única fenda. Isto ocorre porque podemos dividir a fenda única pela metade; dividir cada metade em duas partes; e assim por diante. Assim teremos a seguinte relação para os mínimos de difração:

$$a/2m \cdot \text{sen}.\theta = \lambda/2$$

A distância entre as fendas não implica em modificações no fenômeno da difração. A imagem a seguir apresenta o experimento de fenda dupla de Young, com a difração causando interferência. A luz, de fonte monocromática, chega ao anteparo S_1 , é difratada.

No anteparo S_2 , a luz é difratada novamente por cada uma das fendas. As ondas difratadas em S_2 interferem entre si, criando um padrão de franjas claras (interferência construtiva) e escuras (interferência destrutiva) na tela F , conforme apresentado na figura a seguir:

Figura 12 – Experimento de Young – Difração causando Interferência



Fonte: Malbouisson (2020)

6.4 Interferência

A interferência é uma característica tipicamente ondulatória, que ocorre quando duas ou mais ondas se encontram num determinado ponto no espaço, no mesmo instante.

Para Cavalcante e Tavoraro o fenômeno da interferência é dado como:

Sempre que duas ou mais ondas se encontram num dado ponto do espaço, elas se sobrepõem, isto é, se reforçam em alguns pontos de modo que a onda resultante tem amplitude maior do que cada onda individualmente, e se destroem em outros pontos, onde a amplitude resultante é nula (caso as amplitudes sejam iguais). (CAVALCANTE; TAVOLARO, 2007, p.27)

A observação da interferência de raios luminosos, realizada em 1801 por Thomas Young (1773-1829), comprovou de maneira inequívoca, o caráter ondulatório da luz. Young demonstrou o fenômeno da interferência da luz ao fazer ondas luminosas de uma mesma fonte se espalharem ao transpor duas fendas.

Em seu experimento, Young conseguiu determinar o comprimento de onda da luz λ através da seguinte lei da interferência:

$$n \cdot \lambda = d \cdot \text{sen}\Theta$$

d = distância entre as fendas;

Θ = ângulo de abertura entre cada ponto de interferência construtiva e o ponto central;

λ = comprimento de onda;

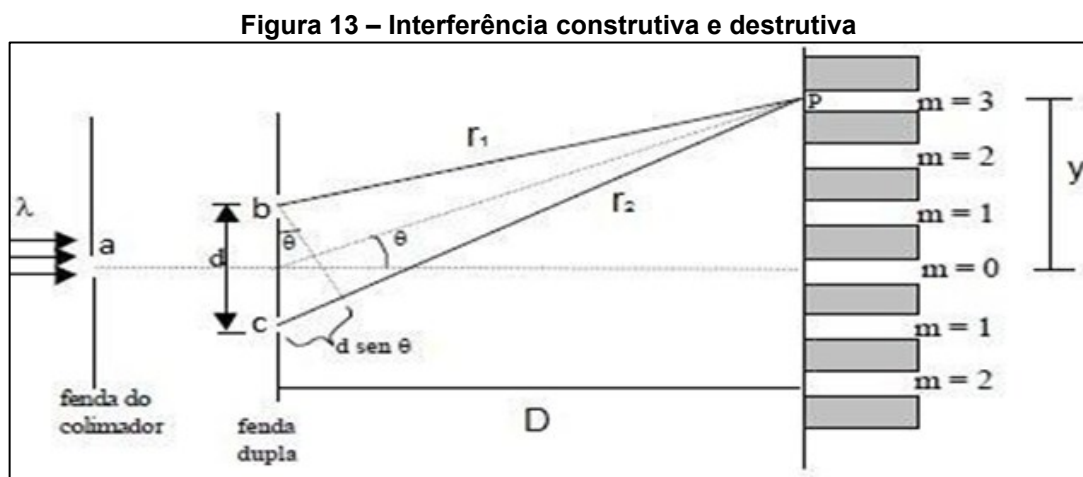
n = ordem dos feixes refletidos.

Segundo Gaspar (2010), Thomas Young (1773-1829), contribuiu com a teoria ondulatória da luz ao propor o que ele chamou de princípio da interferência, onde duas ondas distintas, ao se propagarem num mesmo meio, e, em uma mesma direção, ao refletir em um anteparo, produzem franjas de interferência resultante da combinação dos movimentos de cada uma.

Antes, do experimento de Dupla fenda de Young, os físicos da época da Física Clássica sentiam-se perturbados por não poderem explicar tais fenômenos da difração, polarização e da interferência.

O termo interferência apresenta a superposição de duas ou mais ondas na mesma região do espaço. Quando isso acontece, a onda resultante em qualquer ponto em um determinado instante é dada pelo princípio da superposição (YOUNG; FREEDMAN; 2009).

As interferências construtivas e destrutivas (ou as franjas claras e escuras) dependem da diferença do caminho ($d \cdot \sin \theta$) percorrido pelas ondas de luz, providas de duplas fendas localizadas no segundo anteparo, conforme representado na figura 13.



Fonte: Malbouisson (2020)

Quando a diferença de caminho nos dá um múltiplo inteiro de comprimento de onda (λ), o resultado é uma franja brilhante, ou seja, teremos uma interferência construtiva.

$$d \cdot \sin \theta = r_1 - r_2 = m \cdot \lambda \text{ (interferência construtiva em fenda dupla)}$$

Caso o resultado da diferença do caminho seja um múltiplo semi-inteiro do comprimento de onda, uma franja escura é detectada, e, assim, teremos uma interferência destrutiva.

Vale salientar que o fenômeno da difração é diretamente associado ao fenômeno da interferência. Tais fenômenos estão associados com as propriedades das ondas ao transportarem energia de um ponto do espaço para o outro. Isso se dá, por serem caracterizadas através de uma variação. Dessa forma, elas podem interagir entre si quando duas ou mais ondas atravessarem a mesma região, pois, na abertura das fendas utilizadas em um experimento de interferência, por exemplo, cabem sempre mais que um comprimento de onda.

6.5 Polarização

“A polarização é um fenômeno que ocorre exclusivamente com ondas transversais, ou seja, cuja direção de vibração é perpendicular à direção de propagação” (CAVALCANTE; TAVOLARO, 2007). É o caso das ondas eletromagnéticas.

Esse fenômeno não ocorre nas ondas sonoras, pois são constituídas de ondas longitudinais e vibram paralelamente à direção que se propagam.

Existem três tipos de situações que a polarização pode ocorrer: de forma linear, de forma circular ou de forma elíptica. Cavalcante e Tavolaro tratam as três situações da seguinte forma:

Esta descrição é dada em função do traçado que o vetor campo elétrico descreve. Se a amplitude da onda e direção de vibração se mantêm constantes, ela é linearmente polarizada. Se a amplitude da onda se mantêm constante, mas a direção de vibração varia, ela é circularmente polarizada e, finalmente, se a amplitude e a direção da onda variam a onda apresenta polarização elíptica (2007, p. 50).

6.5.1 Polarização linear

Na representação da figura 15 a seguir a onda eletromagnética plana linearmente aparece polarizada nos dois sentidos, horizontal e vertical.

Figura 14 – Polarização linear de ondas



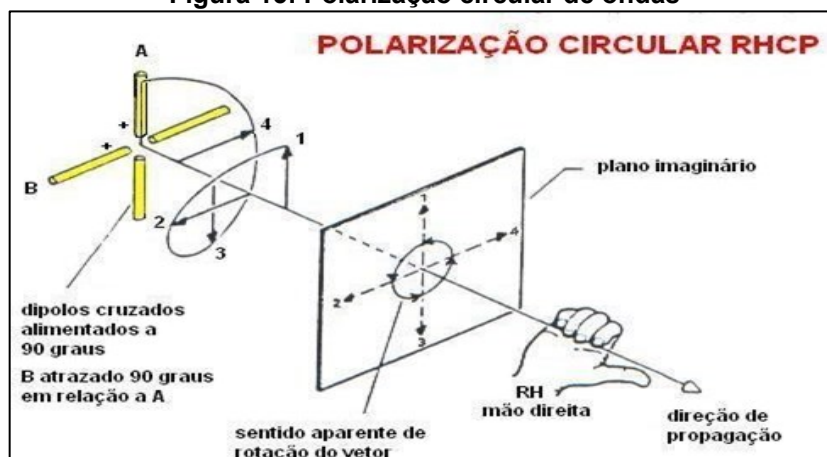
Fonte: Parabolicabandaceku (2016)

A polarização linear é um fenômeno muito comum na natureza. Por exemplo, a luz do azul do céu, é fortemente polarizada verticalmente, assim como a luz refletida no asfalto quente e seco de uma estrada, em um dia de sol, é polarizada na horizontal. Devido a esse fator, os óculos de sol polarizadores possuem o seu eixo de transmissão na direção vertical, de forma a bloquear a componente horizontal de alta intensidade que poderia, por exemplo, ofuscar um motorista.

6.5.2 Polarização circular

Uma onda com polarização circular à direita (em inglês: RHCP Right-Hand Circular Polarization), se dá, devido ao vetor girar no sentido anti-horário (regra da mão direita), representado na figura 15.

Figura 15: Polarização circular de ondas

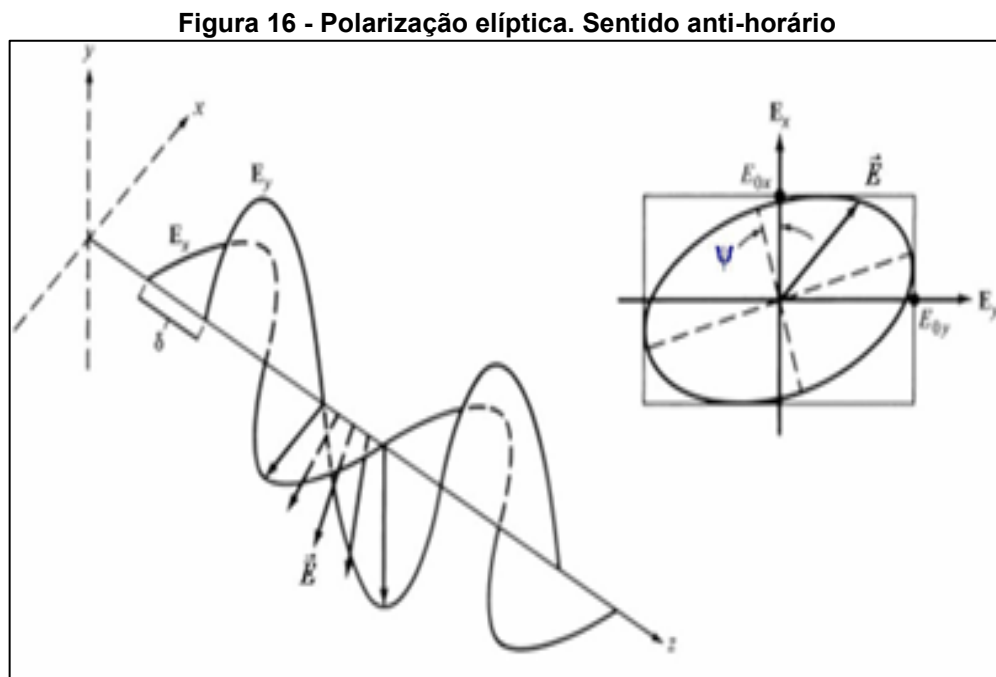


Fonte: PY4ZBZ (2020)

A polarização circular tem a característica de mudar o sentido de rotação, quando refletida por um plano condutor, como, por exemplo, refletores planos ou parabólicos. Outra característica desse fenômeno é a “razão axial”, que é a relação das amplitudes dos vetores no plano X pelo plano Y. Por exemplo: num círculo perfeito, esta relação é 1 ou 0 dB. Para uma polarização ser perfeitamente circular a relação axial não pode ser diferente de 0 dB, se caso isso acontecer, significa que a polarização não é perfeitamente circular, mas elíptica.

6.5.3 Polarização elíptica

A polarização elíptica abrange todas as outras configurações das amplitudes E_x e E_y das fases ϕ_x e ϕ_y . Isso quer dizer que o caso geral de ondas polarizadas, corresponde às polarizações elípticas. A figura 16 apresenta a polarização elíptica no sentido anti-horário.



Fonte: Keiser (2000)

6.5.4 Ondas não polarizadas

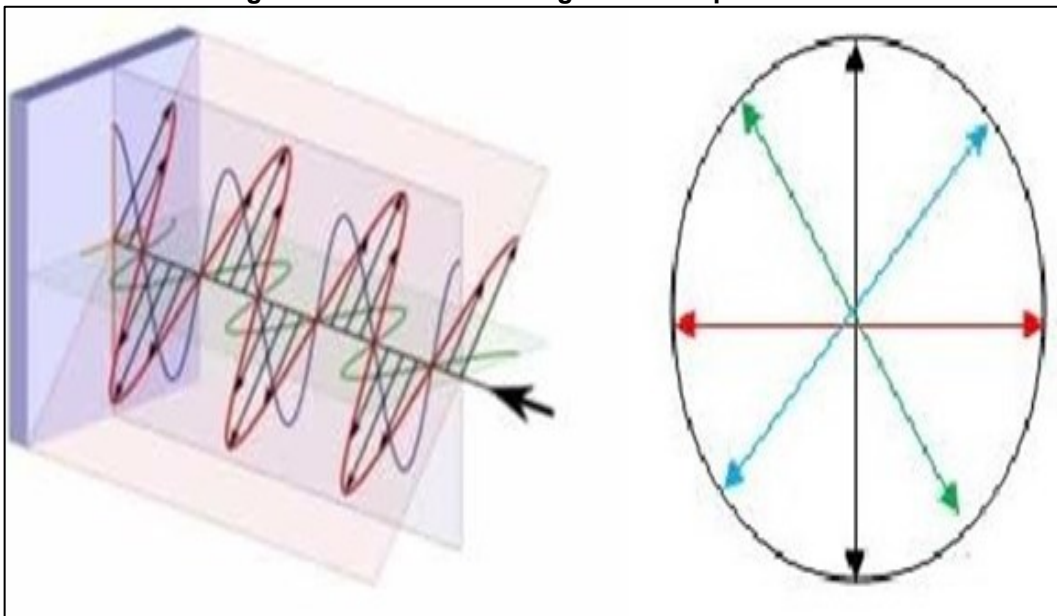
Existem fontes de ondas eletromagnéticas que produzem ondas não polarizadas, como por exemplo, as lâmpadas comuns. Para Cavalcante e Tavolaro (2007), nessas fontes, cada átomo é responsável por produzir uma luz polarizada, e,

a somatória de todas essas luzes é conhecida como “luz resultante” onde o campo elétrico vibra em todas as direções possíveis e perpendiculares ao sentido de propagação.

A luz não polarizada é a luz que produz ondas polarizadas, em direções aleatórias, como por exemplo, a luz solar e a luz incandescente (HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 2012).

Nas fontes comuns de luz, como uma lâmpada incandescente, os radiadores elementares, que são os átomos constituintes da fonte (como o filamento incandescente da lâmpada), atuam de forma independente. Por esse motivo, a luz emitida por essas fontes consiste em uma superposição de várias ondas de frequências e fases aleatórias. A figura 17 apresenta a ilustração de uma onda eletromagnética não polarizada.

Figura 17 – Onda eletromagnética não polarizada



Fonte: Santos (2016)

Nesse sentido, a luz não polarizada, é a somatória de todas as direções que o campo elétrico possa atingir, e, para a polarização acontecer, é necessário a utilização de filtros polarizadores, que são responsáveis por diminuir a intensidade luminosa, quando a luz passar por este.

7 LEI DE MALLUS

O holandês, físico, matemático e astrônomo Christiann Huygens (1629-1695), foi o primeiro a observar o fenômeno da polarização. Em 1669, Erasmus Bartholin observou esse mesmo fenômeno pela birrefringência com um cristal de calcita (SOUSA; 1999).

Em 1808, o físico francês Étienne Louis Malus, identificou um fenômeno onde havia uma interação entre a luz e a matéria através de um cristal de carbonato de cálcio. Essa interação resultava em uma duplicação de imagem quando observada pelo cristal (GONÇALVES FILHO; TOSCANO, 2013).

Mallus observou a polarização pelo fenômeno da reflexão, percebendo que a polarização da luz não era devida à propriedade dos meios cristalinos, mas sim, relacionada com a natureza da luz. Ele conseguiu relacionar a irradiância da luz que atravessava os polarizadores e o ângulo entre seus eixos de transmissão, estabelecendo assim a Lei que leva o seu nome – Lei de Mallus (SOUSA; 1999).

Esta Lei, diz que, quando uma onda eletromagnética era polarizada linearmente e incidia sobre um polarizador, formará um vetor campo elétrico E_0 , e um ângulo θ com a direção da polarização do polarizador. Dessa forma, a intensidade da luz transmitida é proporcional ao quadrado da amplitude do campo elétrico. Sendo assim, tal relação é dada pela seguinte equação:

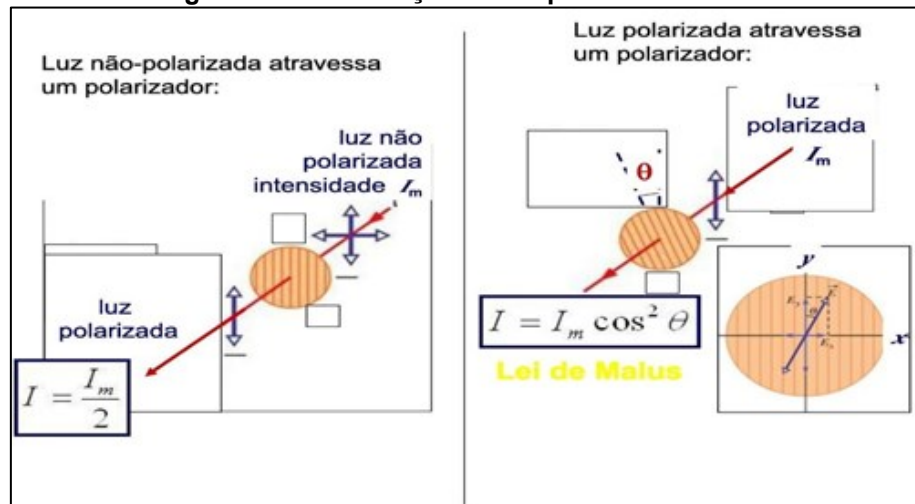
$$I = I_0 \cdot \cos^2 \theta$$

Essa regra do cosseno ao quadrado só deve ser aplicada se a luz incidente no filtro polarizador, já encontrar-se polarizada.

Desta forma, a intensidade luminosa (I) propagada é máxima, sendo igual à intensidade luminosa inicial (I_0) em todos os casos que a direção da polarização da luz for paralela a direção de polarização do filtro.

A intensidade luminosa (I) também pode ser zero se a direção da polarização da luz for perpendicular a direção da polarização do filtro, que ocorre quando θ for 90° (HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 2012). A figura 18 representa a polarização da luz conforme a Lei de Malus:

Figura 18 – Polarização da luz pela Lei de Malus



Fonte: Teles (2022)

Mallus percebeu que as imagens resultantes de tal observação, eram devidas a um feixe de raios ordinários (O) e um feixe de raios extraordinários (E), que foram chamados desta forma por não coincidirem com a Lei de Snell que afirmava em uma incidência normal, que o raio ordinário continua na sua mesma direção, enquanto o raio extraordinário sofre desvio angular (SOUSA; 1999).

O uso de recursos tecnológicos inseridos no cotidiano do aluno pode ser utilizado para realizar de forma simples experimentos que demonstram tal fenômeno, por exemplo, lentes polaroides presentes em muitos dos óculos de Sol e telas de smartphones, Tvs, notebooks ou tablets podem ser aproveitados em experimentos de baixo custo para entendimento da polarização de ondas eletromagnéticas. Como mostra a Figura 19.

Figura 19 – Polarização da luz por duas lentes polaroides



Fonte: Aberto até de madrugada (2022)

A polarização por reflexão se dá quando a luz não polarizada incide na superfície de separação de dois meios ópticos θ_p (ângulo de polarização), ângulo de Brewster, a luz é polarizada e a luz refratada é parcialmente polarizada (SOUSA; 1999).

A polarização ocorre também por absorção, isso se dá quando a luz não polarizada atravessa um filtro polarizador. A componente do campo elétrico paralela à direção de distensão das longas moléculas provoca uma oscilação nos elétrons, sendo essa a componente absorvida. Dessa forma, a luz se torna polarizada na direção da distensão das moléculas (SOUSA; 1999).

8 METODOLOGIA

Diante do avanço da pandemia Covid-19, houve a necessidade urgente de toda a sociedade se mobilizar e buscar se adaptar as mudanças ocorridas em todos os setores, sejam estes: econômico, social, cultural e inclusive no sistema educacional, havendo a necessidade de apresentar novos planos com perspectivas para conseguir se adaptar a esse contexto que prejudica em todas as dimensões que envolvem o convívio social.

Pelo referido cenário e da necessidade educacional emergente apresentada, este estudo seguirá os caminhos da pesquisa qualitativa, a qual será aplicada na modalidade remota. De acordo com Moreira (2008), a pesquisa qualitativa explora as características dos indivíduos e cenários, que não podem ser facilmente descritos de forma numérica.

A presente pesquisa tem como proposta, descrever as contribuições do uso do software *Tracker* como uma ferramenta facilitadora, no estudo de fenômenos da Óptica-Física. Sendo assim, foi desenvolvida uma sequência didática para realização de três experimentos, precisamente: difração, interferência e polarização de ondas eletromagnéticas, onde o próprio aluno será o sujeito ativo no processo de aprendizagem, trabalhando conceitos de Óptica/ Física, que, muitas vezes tem maior significado, quando ocorre a participação direta do sujeito com o objeto de estudo a ser analisado e, isso, será demonstrado aqui nessa pesquisa, pela prática experimental.

A metodologia aplicada possibilitará aos participantes interagirem com experimentos simples, com recursos que fazem parte do próprio cotidiano dos estudantes, como por exemplo: smartphone, computadores e notebooks.

Em relação ao problema apresentado, essa pesquisa tem caráter qualitativo. Em ambientes educacionais, Oliveira (2008, p.15) frisa que “os estudos qualitativos são importantes por proporcionar a real relação entre teoria e prática, oferecendo ferramentas eficazes para a interpretação das questões educacionais”. É através da pesquisa qualitativa, por exemplo, que se pode compreender e explicar as dinâmicas das relações sociais.

Quanto à Natureza da pesquisa, trata-se de pesquisa aplicada, de acordo com Gerhardt e Silveira (2009, p.35) “este tipo de pesquisa tem como objetivo gerar conhecimentos para aplicação prática, dirigidos à solução de problemas específicos”. Esse estudo propõe apresentar o *Tracker* como um recurso facilitador no estudo dos fenômenos da Óptica Física, objetivando uma compreensão dos fenômenos da difração, interferência e polarização da luz.

Para tanto, essa pesquisa seguiu algumas etapas, que segundo Gil (2009), uma análise qualitativa depende de vários fatores na coleta dos dados. Esse processo pode ser definido como uma sequência de atividades, que envolvem a aplicação de uma sequência didática, que seguiu as seguintes etapas:

Na primeira etapa, foi apresentado o conteúdo aos participantes da pesquisa, bem como, as propostas e objetivos da pesquisa. Nesse momento foi apresentado o software *Tracker*, disponibilizadas as informações sobre o material de apoio e orientações para o desenvolvimento das práticas experimentais. Todo material disponibilizado, bem como as atividades desenvolvidas, foram postadas no Moodle da disciplina. No final dessa etapa, foi aplicado um questionário de investigação, a fim de, apurar o conhecimento prévio dos participantes sobre os conteúdos a serem abordados na pesquisa.

Na segunda etapa, foi realizado o estudo da polarização com os alunos, sendo direcionada aos objetivos específicos para a coleta dos dados e orientações para a realização do tratamento de dados com o *Tracker*.

Na terceira etapa, foi realizado o estudo da interferência e difração. Nessa etapa, foram direcionados os objetivos específicos para coleta dos dados e orientações para o tratamento dos dados com o *Tracker*.

Na quarta etapa, foi aplicado um questionário avaliativo final, o qual serviu para avaliar a aplicação dessa pesquisa.

8.1 Lócus da pesquisa e participantes

A referida pesquisa foi aplicada na Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), Câmpus Ponta Grossa. Os participantes estavam matriculados regularmente na disciplina de Física IV, no curso de Engenharia Elétrica, todos

maiores de 18 anos. O professor titular da turma acompanhou e auxiliou na aplicação de todas as etapas da pesquisa.

Objetivando apoiar a avaliação da proposta, foram utilizados diagnósticos, antes da aplicação das atividades desenvolvidas e após a aplicação, foram registrados todos os comentários dos participantes sobre as práticas realizadas.

8.2 Instrumentos para coleta de dados

Para a coleta dos dados foi aplicado um questionário de investigativo inicial, a fim de pré diagnosticar aquilo que os participantes sabiam sobre os conteúdos abordados, também foram entregues pelos participantes da pesquisa as atividades desenvolvidas em grupos com os resultados e análises de cada prática. Por fim, foi aplicado um questionário de avaliação final aos participantes, com o intuito de diagnosticar e refletir sobre aquisição ou não de novos conhecimentos sobre os temas abordados.

Todas as etapas da pesquisa seguiram uma sequência didática com atividades especificamente elaboradas para este fim. Essa sequência didática faz parte do produto educacional dessa pesquisa, o qual será disponibilizado para professores, alunos e pesquisadores que tenham interesse sobre os assuntos abordados aqui. As atividades desenvolvidas nesse trabalho se encontram em anexo a este documento.

ETAPA 1:

- Apresentação e orientações sobre a o uso do Tracker e aplicação do questionário investigativo inicial.

ETAPA 2:

- Estudo da polarização;
- Orientações para realização do experimento;
- Análise do fenômeno da polarização da luz;
- Coleta de dados;
- Orientações para o tratamento de dados com o *Tracker*;

- Disponibilização do material de apoio para tratarem os dados através de videoanálise com o *Tracker* (atividade a ser realizada em casa);
- Postagem dos resultados da prática experimental no moodle da disciplina.

ETAPA 3:

- Estudo da difração e interferência;
- Orientações para realização do experimento;
- Análise para o experimento da difração e interferência da luz;
- Coleta de dados;
- Orientações para o tratamento de dados com o Tracker;
- Disponibilização do material de apoio para tratarem os dados através de videoanálise com o *Tracker* (atividade a ser realizada em casa);
- Postagem dos resultados da prática experimental no moodle da disciplina.

ETAPA 4:

- Coleta de dados final;
- Aplicação do questionário de investigação final sobre o estudo proposto na pesquisa;
- Conclusão sobre as atividades propostas, verificação das atividades entregues.

Para a aplicação dessa experiência didática, estipulou-se a realização das 4 etapas seguindo as seguintes datas no cronograma, conforme Quadro a seguir:

Quadro 2 – Etapas da aplicação da pesquisa

| | |
|-----------------------|--|
| ETAPA 1- OUTUBRO 2022 | Apresentação e orientações sobre o uso Tracker, aplicação do questionário inicial; |
| ETAPA 2- OUTUBRO 2022 | Estudo da Polarização; |
| ETAPA 3- OUTUBRO 2022 | Estudo da Difração e Interferência; |
| ETAPA 4- OUTUBRO 2022 | Aplicação do questionário final e conclusão das atividades propostas. |

Fonte: Autoria própria (2022)

9 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Esse capítulo apresenta os quatro encontros com os participantes da pesquisa, os quais são alunos do curso de engenharia elétrica da UTFPR – Campus de Ponta Grossa e no momento da aplicação dessa proposta encontravam-se matriculados na disciplina de Física 4. Os encontros foram realizados no mês de outubro de 2022 em quatro etapas.

As atividades propostas envolvem práticas experimentais no estudo da Óptica, especificamente, estudo da interferência, difração e polarização de comportamentos ondulatórios da luz.

A coleta de dados foi realizada de forma convencional no laboratório de Física 4. O tratamento desses dados foi realizado posteriormente, através de videoanálise com o software *Tracker*.

ETAPA 1-

Nesse encontro participaram 31 alunos, os quais foram convidados a participar voluntariamente da pesquisa sem nenhum ônus ou bônus para a disciplina.

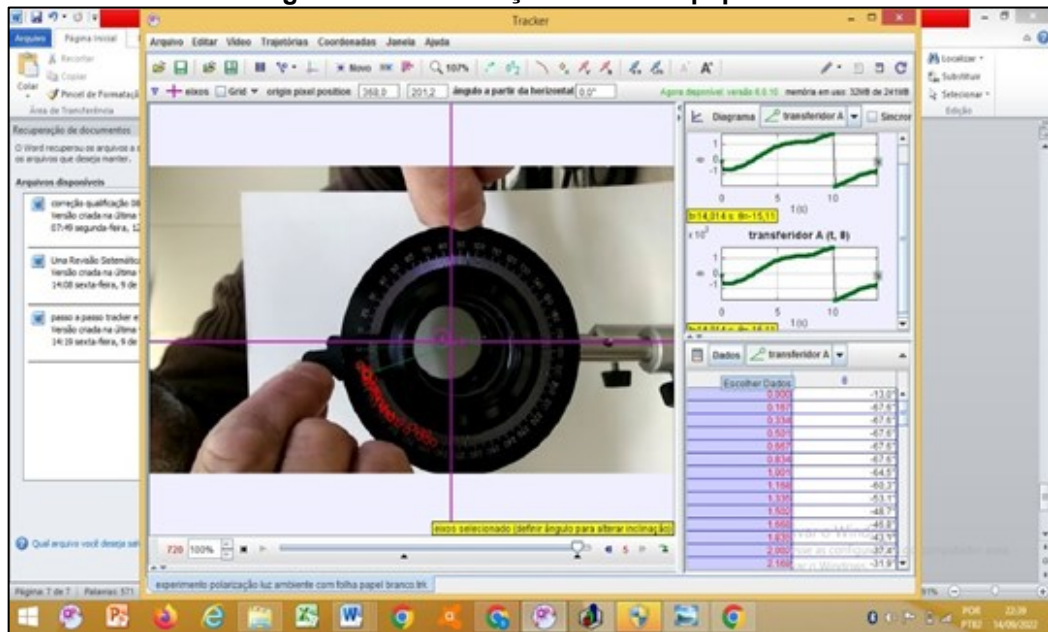
Nesse primeiro encontro, foi apresentado aos participantes a interface do *Tracker* e as ferramentas que o programa oferece no tratamento de videoanálise.

Ao término dessa etapa, foi disponibilizado, no moodle institucional, o link de acesso para baixar o programa (<https://physlets.org/tracker/>) e um passo a passo para auxiliar os alunos na realização das atividades propostas nessa pesquisa.

O passo a passo apresentado aos alunos encontra-se no anexo 3 (passo a passo sobre a utilização do software *Tracker*), disponibilizado no Moodle da disciplina.

A figura 20, apresenta o experimento da polarização da luz, o qual foi realizado para servir como suporte aos participantes.

Figura 20 – Polarização da luz em papel A4



Fonte: Autoria própria (2022)

Após a apresentação do software e algumas ferramentas, foi aplicado um questionário investigativo inicial (anexo1), com o intuito de avaliar o conhecimento prévio dos alunos sobre os temas abordados.

Dessa forma, optamos por questões discursivas e objetivas, totalizando sete questões. Vale salientar que duas questões foram desconsideradas nesse primeiro momento, sendo estas as questões (4 e 5), pois se trata de outro experimento que apresenta o decaimento quadrático, Lei do Inverso do quadrado da distância.

Desconsideramos tais questões devido a não realização do experimento em tempo adequado para o tratamento dos dados com o Tracker, deixando esta prática para futuros trabalhos.

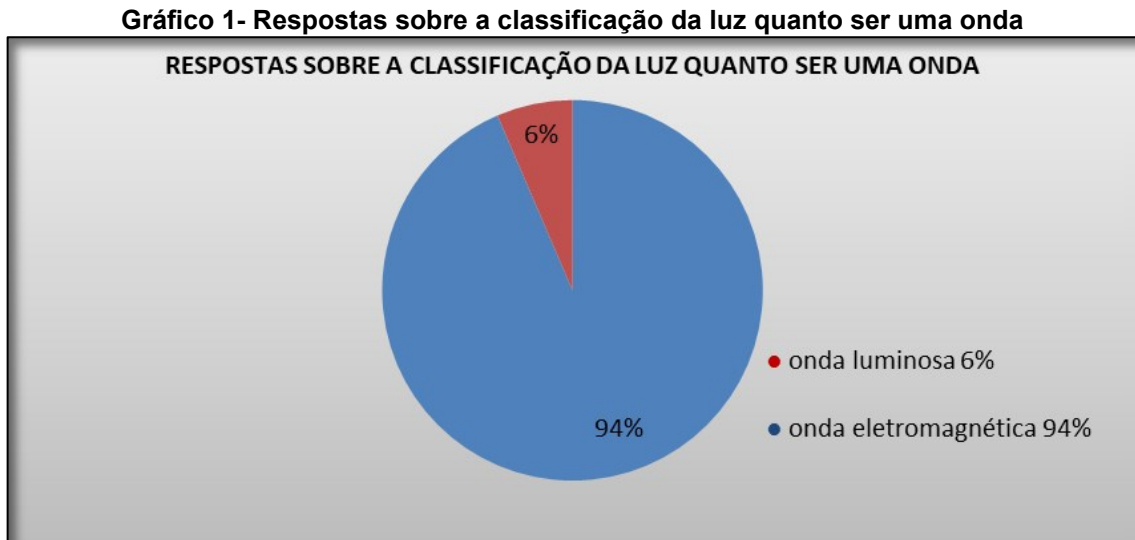
Agora, seguem as informações referentes à aplicação do questionário investigativo inicial:

Na primeira questão, foram disponibilizadas quatro alternativas, todas as questões de múltipla escolha. Dessa forma, a fim de verificar, se os alunos tinham entendimento quanto à classificação da luz como uma onda.

Questão 1: A luz pode ser classificada como uma onda?

() Sim, uma onda luminosa;

- () Sim, uma onda mecânica;
- () Sim, uma onda eletromagnética;
- () Não é uma onda



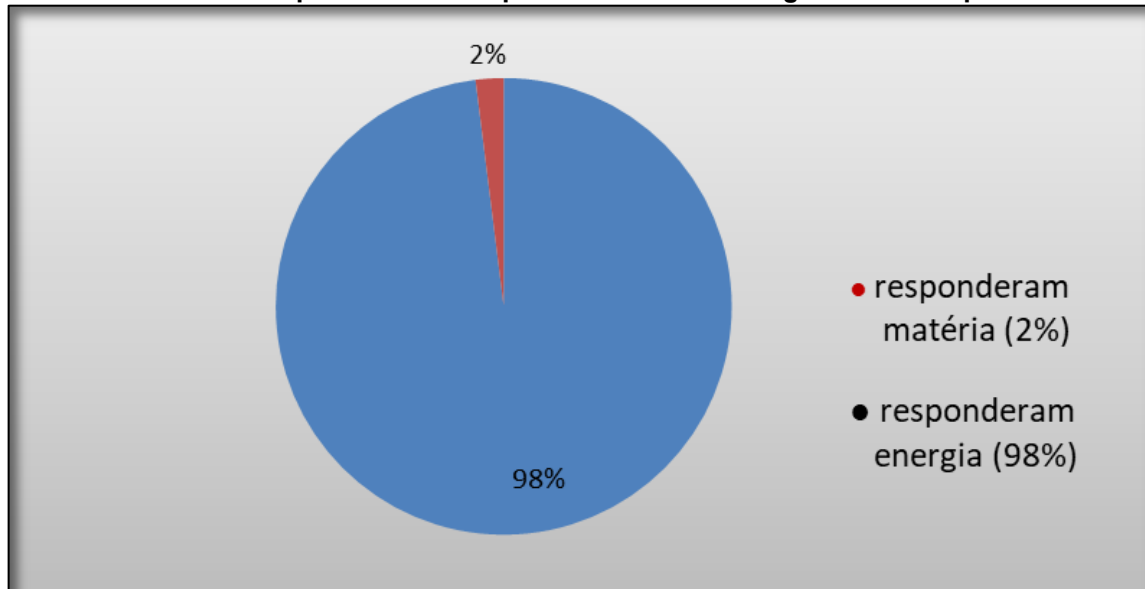
Fonte: Autoria própria (2022)

Nessa questão, percebemos que os alunos apresentaram a percepção, de que, a luz pode ser classificada como uma onda eletromagnética. Este conhecimento prévio dos participantes foi bastante explorado nas atividades propostas, principalmente, no fenômeno da polarização.

A segunda questão teve como objetivo verificar o conhecimento dos alunos, sobre o que as ondas eletromagnéticas transportam. Dessa forma, foi disponibilizado aos alunos quatro alternativas de múltipla escolha. A maioria dos alunos (98%), respondeu que, uma onda eletromagnética transporta energia, conforme apresenta o gráfico a seguir.

Questão 2: O que as ondas eletromagnéticas transportam?

- () energia;
- () matéria;
- () nada;
- () éter.

Gráfico 2 – Respostas sobre o que as ondas eletromagnéticas transportam

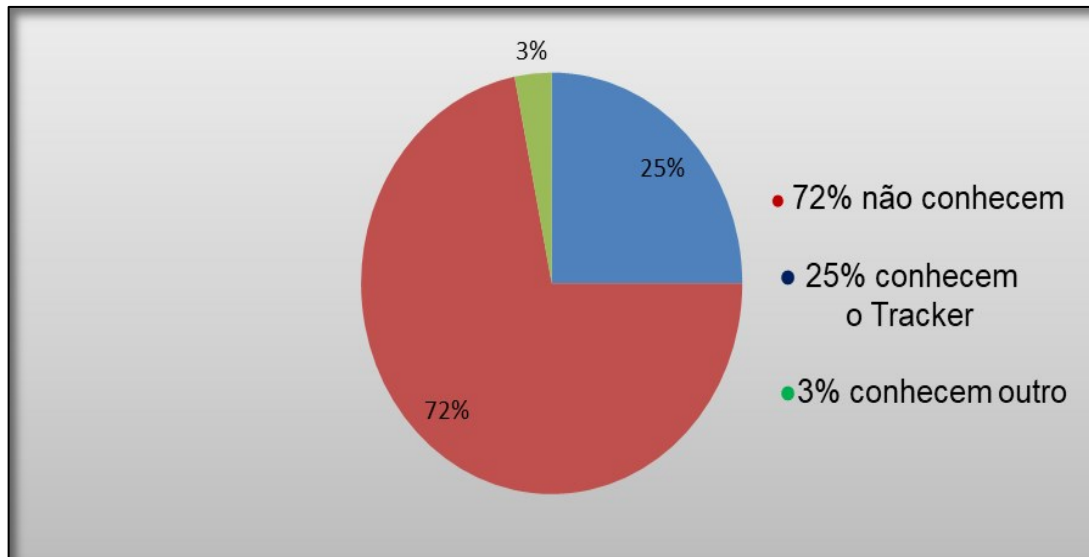
Fonte: Autoria própria (2022)

Nessa questão, observamos que os alunos têm um conhecimento prévio, de que, as ondas eletromagnéticas não necessitam de um meio material para se propagar, não transportando matéria, e sim somente energia.

Na terceira questão, disponibilizamos três alternativas de múltipla escolha, buscando verificar se os alunos conheciam algum software para tratamentos de dados através de videoanálise, no estudo da Física, haja vista, que todos os experimentos relacionados a essa pesquisa foram filmados e depois analisados com o software *Tracker*. Dessa forma, percebeu-se que, a maioria (72%), desconhece algum software de videoanálise e, também, parte deles não faz uso ou desconhece os recursos/sensores disponíveis em seu smartphone.

Questão 3: Conhece algum programa para tratamento de dados através de videoanálises em experimentos de Física? Por exemplo: que apresentem gráficos para tratar de forma mais minuciosa os resultados?

Gráfico 3 – Respostas dos alunos sobre conhecer algum programa para tratamento de dados através de videoanálise



Fonte: Autoria própria (2022)

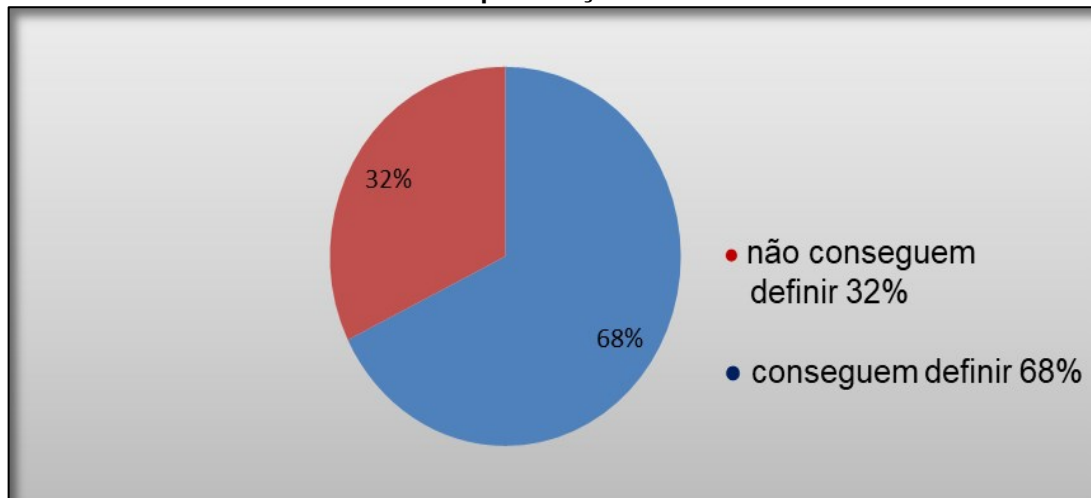
A resposta “conhecer”, pode ser entendida como: “saber que existe determinado software e o que faz”, porém, não diz respeito a manuseá-lo.

No decorrer das atividades, percebemos que o número de alunos que não sabiam analisar os vídeos com o *Tracker* foi superior em relação aos participantes que declararam conhecer o software.

Na questão a seguir, buscou-se verificar “o que os alunos conheciam sobre a os conceitos de interferência, difração e polarização da luz”.

Questão 4: Você consegue definir os conceitos de difração, interferência e polarização da luz, ou já estudou sobre o assunto?

Gráfico 4 – Respostas sobre o conhecimento de conceitos de difração, interferência e polarização

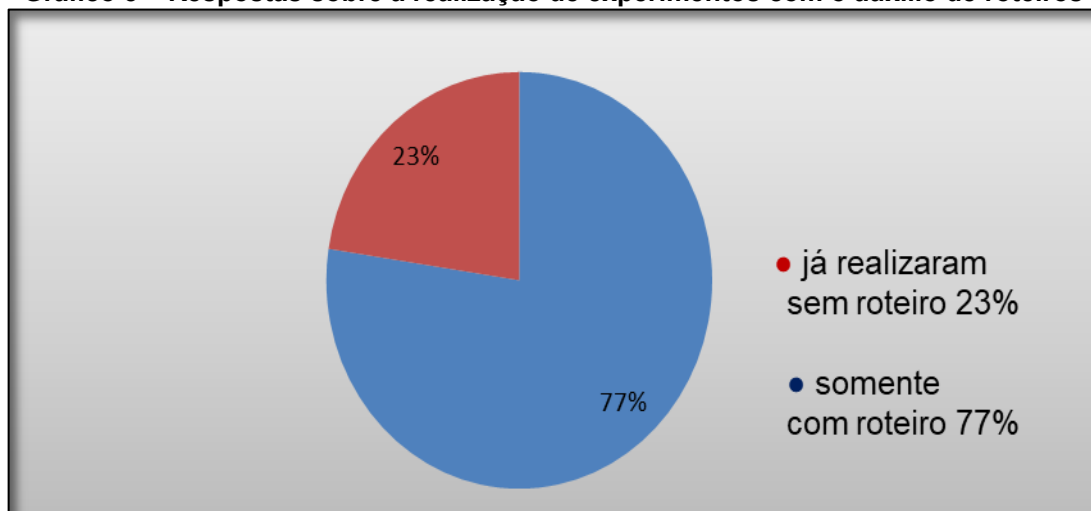


Fonte: Autoria própria (2022)

Nessa questão, grande parte dos alunos (68%) responderam que conheciam os conceitos dos fenômenos propostos nas atividades aproveitando desse conhecimento prévio dos alunos, teve-se uma perspectiva de obter resultados positivos nas atividades propostas, já que essa relação entre a teoria e a prática possibilita a formação de novos conceitos.

Questão 5: Em suas aulas experimentais, realizadas até aqui, especificamente na disciplina de Física, em algum momento você realizou algum experimento, sem o auxílio de roteiros especificando um passo a passo ou material de apoio apresentando sobre o que fazer na prática experimental?

Gráfico 5 – Respostas sobre a realização de experimentos com o auxílio de roteiros



Fonte: Autoria própria (2022)

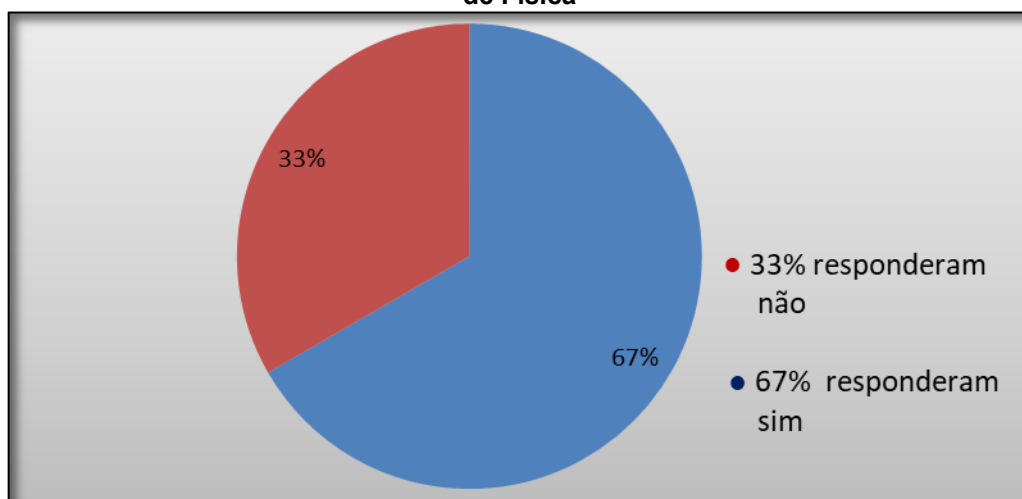
Nessa questão percebemos que grande parte dos alunos ainda não dispensa a utilização do roteiro ou material de apoio para realização das práticas experimentais. A intuição dessa questão em si, por esse pesquisador, era fazer uma prévia análise da capacidade, que os alunos têm ou não, de conseguir por si só realizarem os experimentos somente com a explicação em sala de aula.

Foi constatado que 23% dos participantes, responderam serem capazes de realizar as análises dos dados experimentais propostos, sem o uso de roteiros, que, segundo eles, o roteiro ao mesmo tempo em que é um material de apoio, muitas vezes, impossibilita os alunos de agirem com a própria capacidade de pensar e desenvolver ampla autonomia. Sendo assim, fica a experimentação como algo repetitivo, ou seja, reproduz-se novamente algo já realizado pelo professor anteriormente, ao contrário de seguirem seus próprios intuits e chegarem a um resultado próximo do esperado.

Na questão a seguir foi perguntado aos alunos se eles já tinham utilizado os recursos do smartphone para realização de algum experimento nas aulas de Física. A maioria respondeu que sim (67%). Apresentamos as respostas dos alunos que citaram os recursos ou de certa forma fizeram o uso deles em atividades acadêmicas, ou, em seu próprio cotidiano:

Questão 6: Você faz utiliza com frequência o uso do smartphone como recurso para suprir alguma demanda nos estudos nas aulas de Física?

Gráfico 6 – Respostas sobre se fazem uso dos recursos disponíveis no smartphone nas aulas de Física



Fonte: A autoria própria (2022)

Como se observa no gráfico 6, a grande maioria dos alunos que responderam ter conhecimento sobre os recursos disponibilizados no smartphone (67%), disseram já ter feito o uso dos sensores para cálculo de área, medir batimentos cardíacos, além de realizar alguns experimentos na própria disciplina de Física.

O intuito dessa questão em si, foi verificar o conhecimento prévio dos participantes quanto ao uso da tecnologia, que faz parte do próprio cotidiano deles, sendo esta, o próprio celular, haja vista que, o celular será primordial como ferramenta de aprendizagem nos experimentos. Dessa forma, verificamos que os alunos que fizeram uso dos recursos do smartphones, responderam que utilizaram os seguintes sensores, ou, fizeram uso para os seguintes fins, conforme as respostas do Quadro 3.

Quadro 3 – Respostas sobre o uso dos recursos do smartphone nas aulas de Física

| | |
|-------------|--|
| RESPOSTA 1 | Usei o acelerômetro |
| RESPOSTA 2 | Usei para regular o velocímetro do carro |
| RESPOSTA 3 | Usei o sensor de proximidade e acelerômetro |
| RESPOSTA 4 | Usei para medir comprimento |
| RESPOSTA 5 | Usei para medir comprimentos, ângulos e intensidade da luz |
| RESPOSTA 6 | Usei para medir intensidade da luz; |
| RESPOSTA 7 | Fiz uso para verificar batimentos cardíacos; |
| RESPOSTA 8- | Fiz uso para medir comprimento; |
| RESPOSTA 9- | Fiz uso do sensor de giroscópio e acelerômetro |
| RESPOSTA 10 | Usei para medir intensidade sonora |

Fonte: Autoria própria (2022)

Vale salientar que, dentre os alunos que responderam que nunca fizeram uso desses recursos, 1/3 desse grupo informou que desconheciam essas funções que o celular apresenta.

Questão 7: Qual sua opinião sobre o uso da tecnologia inserida como recurso facilitador no ensino de Física em aulas experimentais?

Todas as respostas dos alunos voltadas a questão 7 foram positivas. Apresentamos as respostas no Quadro 4.

Quadro 4 – Respostas sobre o uso da tecnologia como recurso facilitador no estudo da Física

| | |
|-------------|--|
| RESPOSTA 1 | O uso de materias tecnologicos de forma adequada é indispensável atualmente; |
| RESPOSTA 2 | O uso da tecnologia é indispensável; |
| RESPOSTA 3 | É uma excelente abordagem no desenvolvimento de aulas presenciais; |
| RESPOSTA 4 | É um recurso muito útil durante um experimento; |
| RESPOSTA 5 | Acredito que a tecnologia pode facilitar e muito o aprendizado da matéria de física s bem utilizada; |
| RESPOSTA 6 | Eu vejo positivamente o uso da tecnologia como um complemento nas ferramentas de ensino; |
| RESPOSTA 7 | É útil e de fácil acesso; |
| RESPOSTA 8 | Em minha opinião é vista como benéfica, onde só tende a contribuir para o aprendizado; |
| RESPOSTA 9 | Acredito que seja mais uma forma de aprendizado muitas vezes sendo um recurso com o qual o aluno está familiarizado; |
| RESPOSTA 10 | Extremamente importante para relacionar prática com a teoria |
| RESPOSTA 11 | Ótimo para facilitar o aprendizado, afinal o uso da tecnologia esta no me cotidiano; |
| RESPOSTA 12 | A tecnologia assim como outro recurso é de grande ajuda desde que usada com sabedoria. |

Fonte: Autoria própria (2022)

As respostas dos participantes apresentadas na tabela 4 demonstram que a tecnologia é importante nas aulas práticas e, principalmente, prioriza auxiliar de forma significativa o processo de aprendizagem.

ETAPA 2:

9.1 Estudo da polarização

Esse encontro, com os alunos, também foi realizado no laboratório de Física 4 Para a realização do experimento da polarização da luz, foram utilizados os seguintes materiais:

- Fonte de Alimentação CC;
- Luxímetro;
- Polarizadores;
- Suportes;

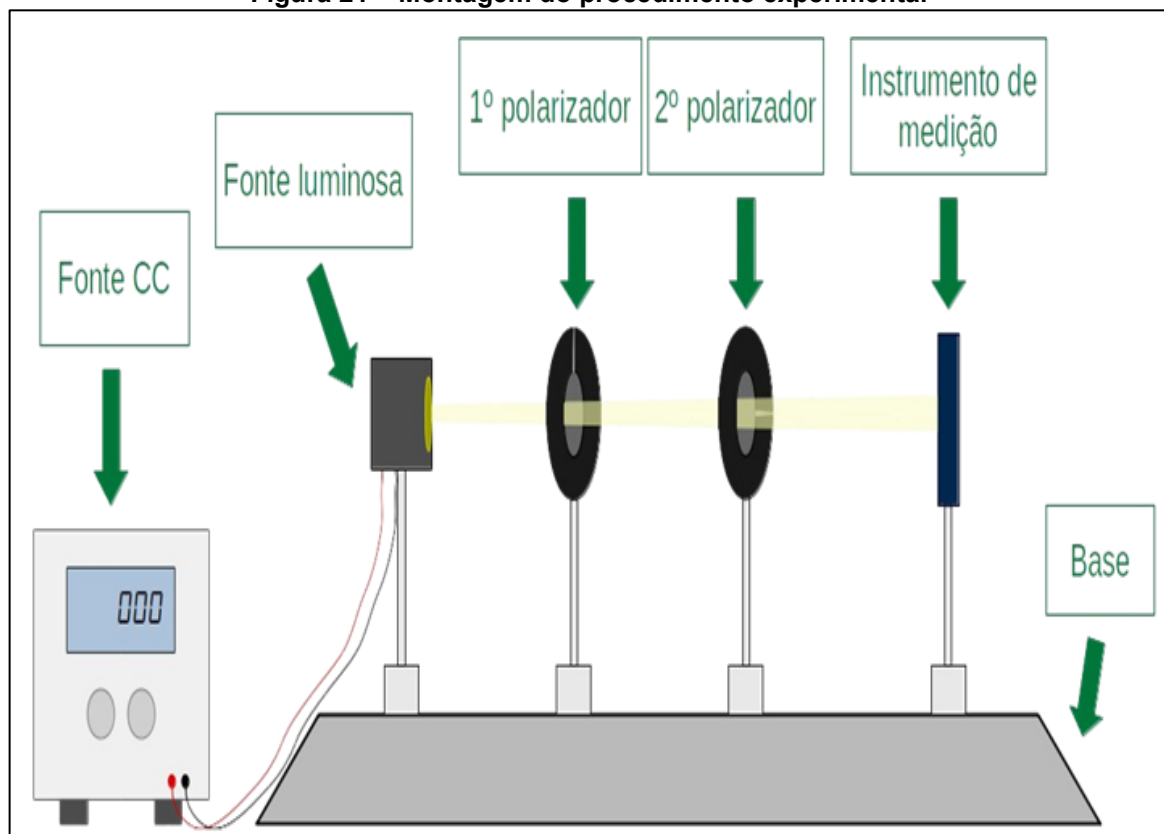
- Smartphone;
- Fonte luminosa (lâmpada Incandescente);
- Haste fixadora;
- Trilho de marcação.

O objetivo do experimento foi analisar o fenômeno da polarização da luz e verificar a Lei de Mallus utilizando para o tratamento dos dados o software *Tracker*.

Para essa atividade, foi solicitado aos alunos que se dividissem em grupos. Foram disponibilizados nas bancadas todos os aparados que seriam indispensáveis para essa prática.

Após a coleta de dados e anotações, foi solicitado aos participantes que realizassem o tratamento dos dados, utilizando o material de apoio, disponibilizado no moodle da disciplina e, posteriormente, foi solicitado aos alunos a postagem dos resultados das atividades desenvolvidas, nesta mesma plataforma

Figura 21 – Montagem do procedimento experimental



Fonte: Autoria própria (2022)

O experimento foi realizado de maneira convencional, ou seja, utilizando o luxímetro como detector de intensidade luminosa e rotacionado o analisador (segundo polarizador), mantendo o primeiro polarizador fixo.

Os alunos anotaram a intensidade luminosa medida no luxímetro e o ângulo entre os dois polarizadores. Na sequência, os alunos desligaram o luxímetro e apenas filmaram o giro do segundo polarizador, como mostra a Figura 22.

Figura 22 – Experimento da polarização da luz com smartphone



Fonte: Autoria própria (2022)

Após a coleta dos dados, foi solicitado aos participantes que realizassem a análise dos dados coletados com o *Tracker*, dessa forma, foi disponibilizado um passo a passo (anexo 4) a fim de servir como suporte para a realização da atividade em casa.

ETAPA 3

9.2 Estudo da interferência e difração

Nesse encontro foi realizada a prática da Interferência e difração da luz, o objetivo do experimento é analisar o fenômeno da interferência e difração da luz por fendas simples e duplas e após a coleta de dados fazer o tratamento e análise dos dados com o software *Tracker*.

Os objetivos dessa atividade são estudar conceitos da difração e interferência da luz após passar por uma rede de difração, tratando os dados com o software *Tracker*, sendo assim, os alunos analisaram e discutiram sobre os resultados obtidos no experimento.

Materiais utilizados:

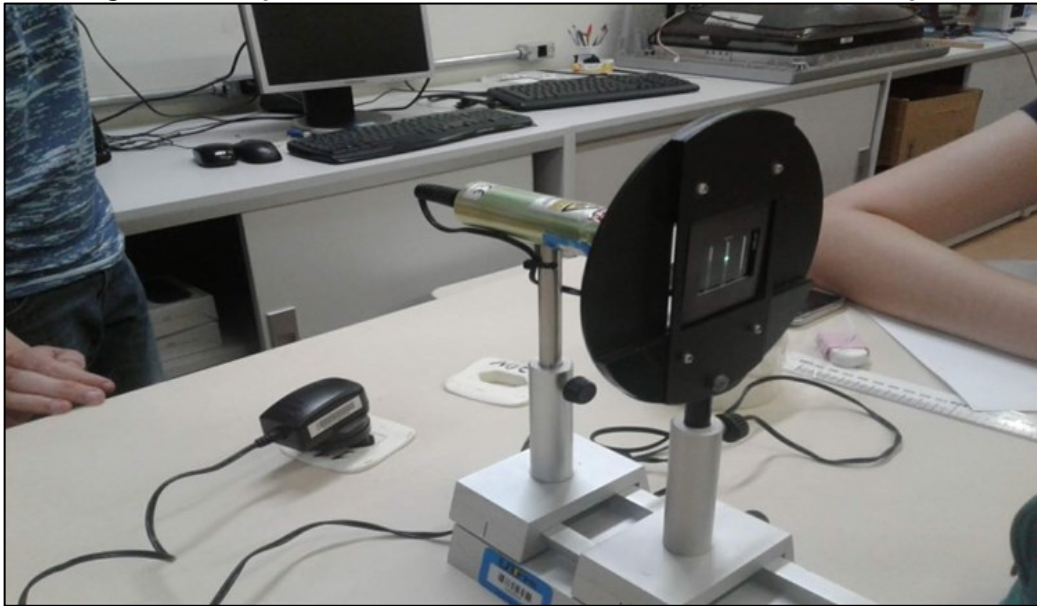
- lente com fenda de 0,1mm;
- lente com fenda de 0,2mm;
- lente com fenda de 0,4mm;
- lente com fenda dupla;
- lente com fendas lineares;
- Fio de cabelo (0,056mm);
- Caneta Laser;
- Papel Milimetrado;
- Régua.

Nesse experimento os alunos analisaram os fenômenos da difração e interferência da luz, por fendas simples e duplas, respectivamente, assim como em redes de difração e fio de cabelo.

Após uma breve discussão e revisão sobre o assunto, foram iniciados os procedimentos da prática. O papel A4 e papel milimetrado serviram de anteparos para formar a imagem de difração recebida pela fonte luminosa (laser) que está fixada e alinhada ao anteparo a uma distância de 01 metro.

Em seguida, foi capturada a imagem apresentada no anteparo com o auxílio da câmera de um smartphone para tratamento de videoanálise com o *Tracker*, como mostra a Figura 23.

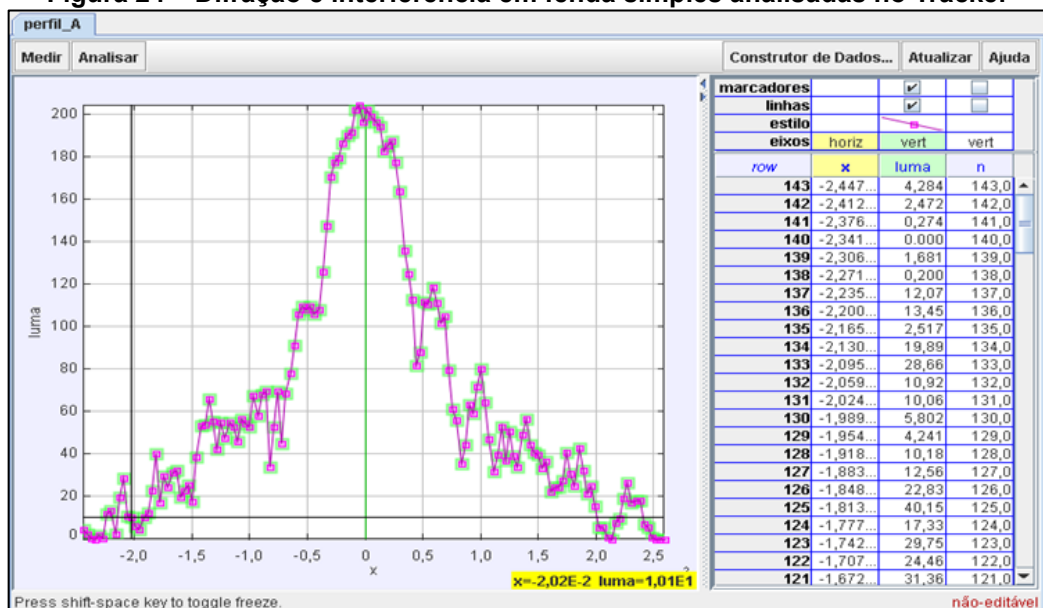
Figura 23 – Experimento da difração e interferência em fenda simples



Fonte: Autoria própria (2022)

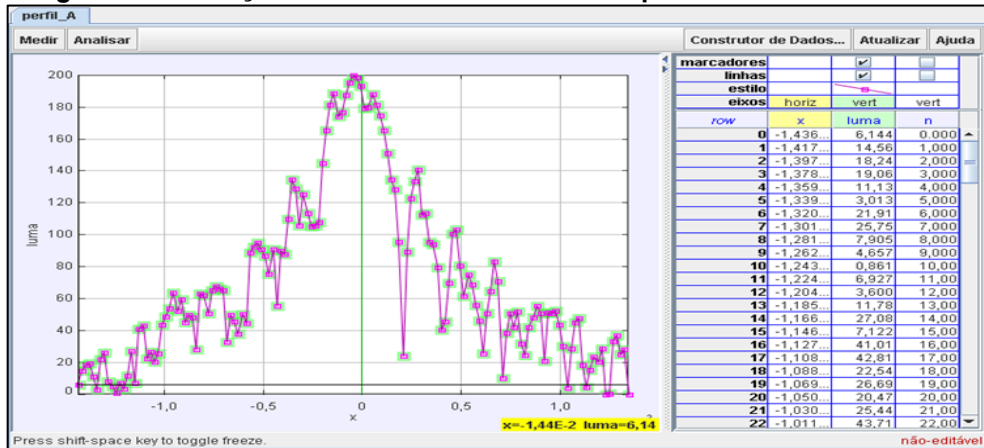
Após a coleta dos dados pelos participantes, foi realizado o tratamento e a análise dos dados coletados com o uso do software *Tracker*. Dessa forma, também foi disponibilizado um passo a passo, para servir de suporte para a análise dos resultados. O fenômeno da difração e interferência foi analisado em fenda simples e fenda dupla, em um fio de cabelo e, em uma rede de difração com 100 fendas lineares, como mostram as figuras 24, 25 e 26 a seguir:

Figura 24 – Difração e interferência em fenda simples analisadas no Tracker



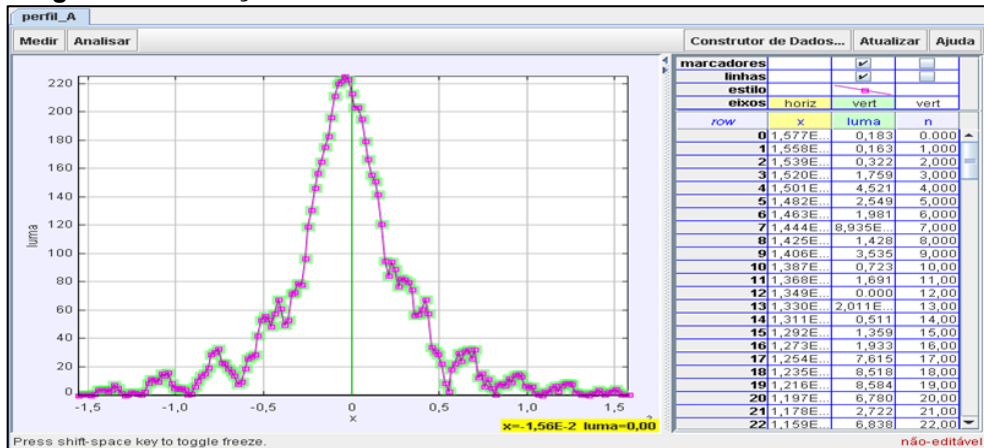
Fonte: Autoria própria (2022)

Figura 25 – Difração e interferência em fenda dupla analisadas no Tracker



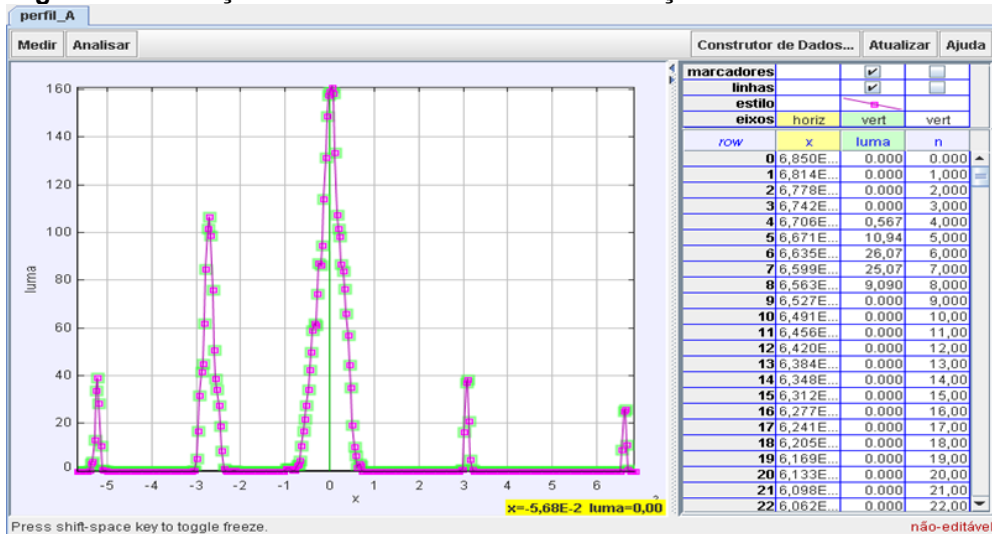
Fonte: Autoria própria (2022)

Figura 26 – Difração e interferência no fio de cabelo analisadas no Tracker



Fonte: Autoria própria (2022)

Figura 27 – Difração e interferência na rede de difração analisadas no Tracker



Fonte: Autoria própria (2022)

ETAPA 4:

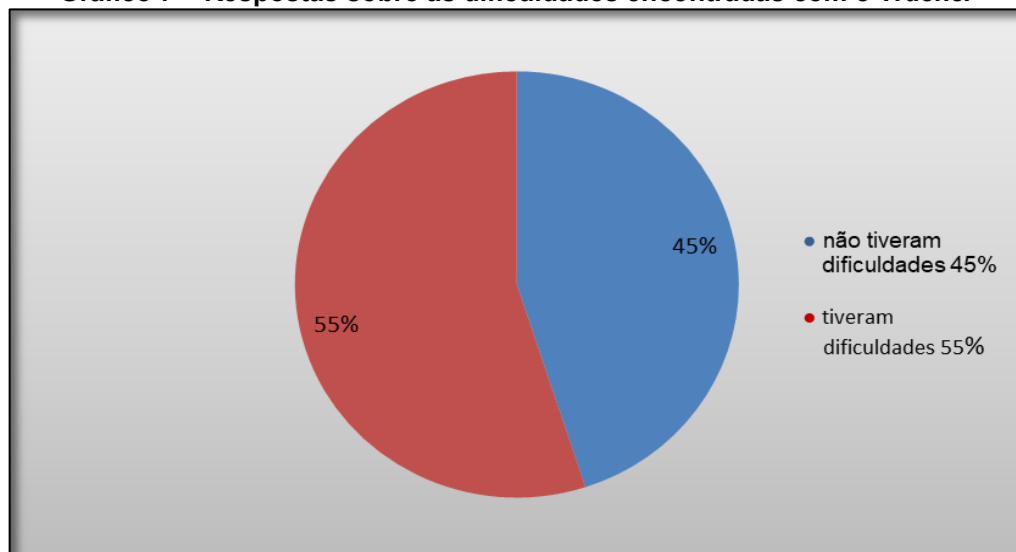
Nessa etapa realizamos a coleta de dados final, através da aplicação do questionário avaliativo sobre o uso do *Tracker*. Foi aplicado um questionário avaliativo sobre as atividades desenvolvidas com os participantes, totalizando 20 alunos dos 26 regularmente matriculados.

Vale salientar que, desde a primeira etapa da pesquisa, houve desistência de alguns alunos na disciplina, ficando reduzido, na etapa final da pesquisa, o número de participantes. Tal fato se dá, pela mudança na grade curricular no curso de Engenharia Elétrica, ficando a disciplina de Física 4 optativa aos alunos. Dessa forma, além de ocorrer a redução de número de participantes, também, enquanto alguns desistiram, novos participantes migraram para a disciplina.

Foram aplicadas onze questões discursivas e uma objetiva, ambas com o intuito de diagnosticar se as atividades propostas e a metodologia desenvolvida tiveram ou não, uma contribuição significativa na aprendizagem, referente às potencialidades do uso do *Tracker* no estudo dos conceitos da: interferência, difração e polarização da luz. Dessa forma, apresentamos o resultado das 9 questões aplicadas aos participantes após o término das atividades desenvolvidas na pesquisa.

Questão 1: Ocorreu alguma dificuldade no uso do *Tracker*?

Gráfico 7 – Respostas sobre as dificuldades encontradas com o *Tracker*



Fonte: Autoria própria (2022)

Nessa questão, a maioria dos alunos (55%), apresentaram certa dificuldade com a interação do *Tracker*

A dificuldade maior dos participantes foi através da interação com a interface do *Tracker*, desde o primeiro contato com a ferramenta. A grande maioria nunca interagiu na prática com o software. Mas, com o auxílio do material disponibilizado, foi constatado que os alunos realizaram as análises dos experimentos. De acordo com os resultados apresentados no gráfico 7, as dificuldades constatadas pelos alunos foram as seguintes:

Quadro 5 – Dificuldades encontradas no uso do Tracker

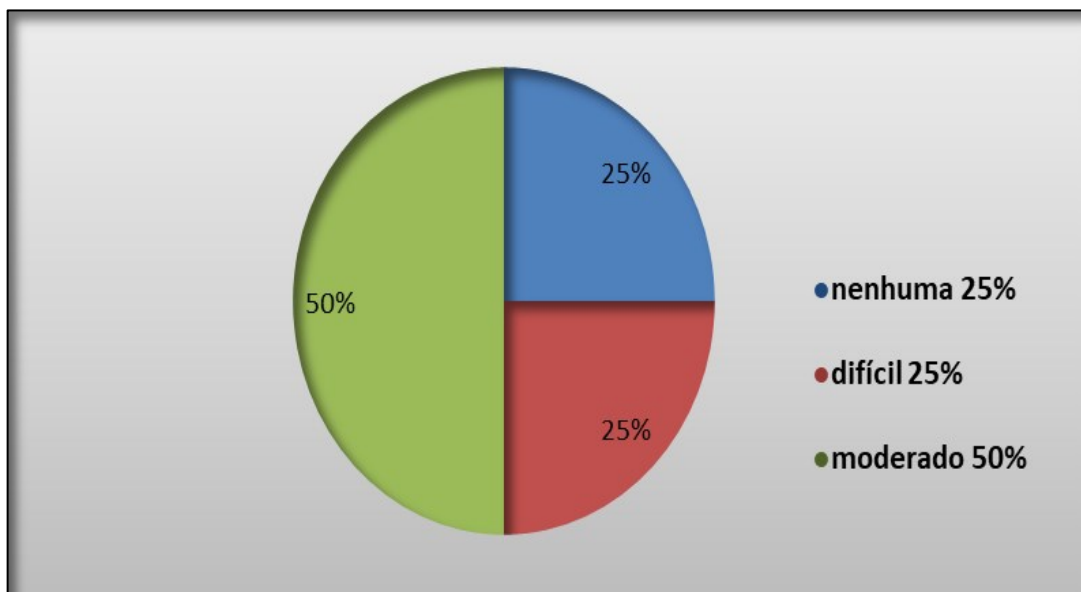
| | |
|-------------|---|
| Resposta 1 | A interface não é muito intuitiva e faltou luz no nosso vídeo o que dificultou executar a tarefa; |
| Resposta 2 | A interface do programa é pouco intuitiva dificulta sua utilização; |
| Resposta 3 | Dificuldade para entender como se utilizar; |
| Resposta 4 | Dificuldade no começo para achar as ferramentas; |
| Resposta 5 | A dificuldade na interação com o programa, porém as explicações dos tutoriais apresentadas pelo passo a passo ajudaram muito; |
| Resposta 6 | A dificuldade em fazer a medição correta por não ter um ponto onde era completamente escuro; |
| Resposta 7 | A dificuldade baixa em relação a instalação por causa do modelo do computador, um pouco também na hora de incluir os dados; |
| Resposta 8 | Dificuldade em colocar os dados no gráfico; |
| Resposta 9 | Dificuldade de ajustar a fita métrica e algumas outras funcionalidades; |
| Resposta 10 | Dificuldade em utilizar as ferramentas de medição de ângulo (transferidor) para o experimento da polarização; |
| Resposta 11 | Em um experimento tive dificuldade como mudar o ponto médio de cada frame. |

Fonte: Autoria própria (2022)

A maioria das dificuldades apresentadas pelos alunos referentes ao uso do *Tracker* está ligada diretamente com a interação com o Software. O *Tracker* apresenta diversas possibilidades de o aluno explorar sua interface, principalmente, através de diferentes tratamentos de dados experimentais.

Questão 2: Em sua opinião, qual o nível de dificuldade quanto ao uso do *Tracker*?

Gráfico 08 – Respostas sobre o nível de dificuldade com o uso do Tracker

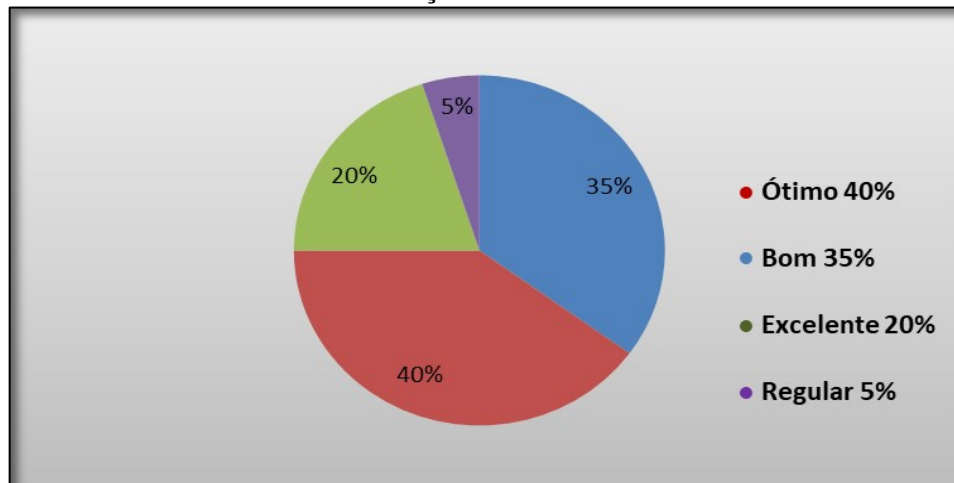


Fonte: Autoria própria (2022)

Nessa questão, a grande dificuldade constatada pelos alunos está relacionada a interação com o próprio *Tracker*, conforme relatado na questão anterior. No entanto, essa dificuldade inicial foi sendo superada pela própria interação com o software, conforme relato dos próprios alunos, fator que possibilitou aos alunos alcançarem os resultados na análise dos dados e explorarem de forma significativa os experimentos realizados chegando a valores próximos do esperado nas atividades desenvolvidas.

Questão 3: Após ter utilizado o software *Tracker*, qual sua avaliação sobre esse recurso?

O gráfico 9, apresenta as respostas dos alunos sobre a avaliação do software *Tracker* nas atividades desenvolvidas.

Gráfico 9 – Avaliação sobre o uso do Tracker

Fonte: Autoria própria (2022)

Em relação aos resultados apresentados no gráfico 9, quanto ao uso do *Tracker* nas atividades desenvolvidas, pode-se dizer que 95% das respostas dos alunos são consideravelmente satisfatórias, principalmente, considerando que inicialmente os alunos não tinham se quer conhecimento sobre a utilidade do *Tracker* nas aulas de Física. Os alunos agora podem usufruir dessa ferramenta em outros experimentos.

Questão 4: Em sua opinião, os dados experimentais coletados e analisados com o *Tracker* contribuíram para aquisição de novos conhecimentos através dos estudos propostos?

Quadro 6 – Respostas sobre a avaliação do Tracker

| | |
|---------|--|
| Aluno 1 | Interessante para conhecer a ferramenta; |
| Aluno 2 | Com certeza, pois houve comparações em medições físicas (reais) e medições do software (virtual). Como os valores se aproximaram um do outro o conhecimento recebido foi validado; |
| Aluno 3 | Sim, apesar da imprecisão de algumas medidas é importante para novos conhecimentos; |
| Aluno 4 | Sim, contribuíram para ajudar no entendimento técnico dos experimentos; |
| Aluno 5 | Os dados contribuem, pois aquilo que estudamos no laboratório, as teorias que vemos se confirma com as análises que fazemos; |
| Aluno 6 | Sim, apesar de um pouco difícil o software é ótimo; |
| Aluno 7 | A análise dos dados feitos pelo software é satisfatória; |

| | |
|----------|---|
| Aluno 8 | Sim a aquisição dos dados em bancada foi provada também com o software; |
| Aluno 9 | Quando dá certo é interessante ver a proposta funcionar mais podemos observar os eventos físicos com maior clareza; |
| Aluno 10 | Ajuda bem para entender o funcionamento do experimento; |
| Aluno 11 | Sim ele apresenta de uma forma bem completo e próximo os resultados esperados; |
| Aluno 12 | Sim, uma excelente ferramenta para conhecer gráfico; |
| Aluno 13 | O software é excelente no ponto de vista da usabilidade. Um poder imenso de ferramenta; |
| Aluno 14 | Sim, pois mesmo fora do laboratório é possível fazer medidas do experimento; |
| Aluno 15 | Sim, mais fácil assimilar a teoria com a prática; |
| Aluno 16 | Sim, os resultados esperados ficam próximos; |
| Aluno 17 | Sim, ver o gráfico e entender melhor os conceitos; |
| Aluno 18 | Sim, contribuíram; |
| Aluno 19 | Sim, foi possível observar de forma mais rica e visual os fenômenos analisados; |
| Aluno 20 | Sim, pois principalmente na formação dos gráficos conseguimos ver que as equações físicas condizem com o experimento. |

Fonte: Autoria própria (2022)

Partindo das contribuições que o *Tracker* proporcionou ao longo das atividades desenvolvidas, foi constatado que todas as respostas obtidas pelos alunos foram “sim”, o *Tracker* contribuiu para a aquisição de novos conceitos.

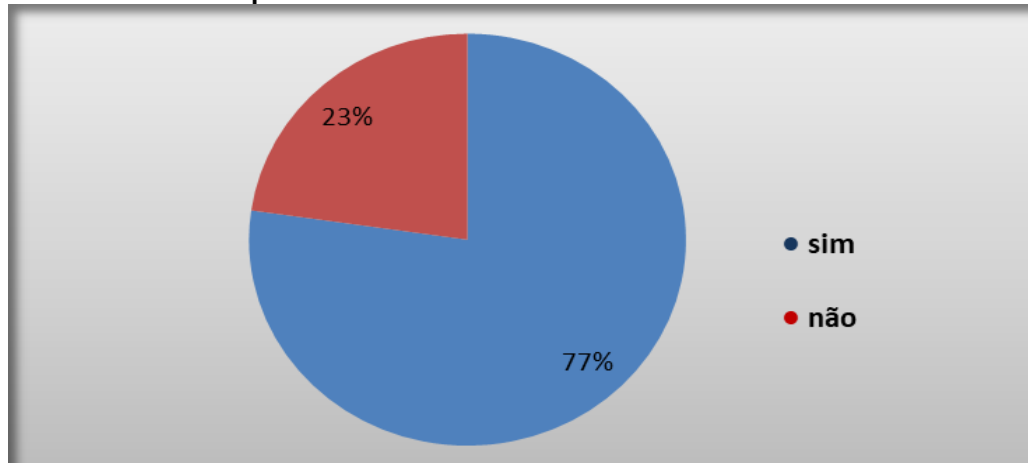
Percebemos que essa contribuição não foi voltada somente para a utilização do próprio software, mas também contribuiu para um melhor entendimento nos estudos dos fenômenos analisados, em relação à teoria e a prática.

Dessa forma, os alunos puderam assimilar essa relação, entre a teoria e a prática, de forma minuciosa. Através do uso de videoanálise com o *Tracker*, puderam avaliar e observar o comportamento ondulatório da luz.

Questão 5: Nas aulas experimentais de Física você acredita que para compreender o estudo de determinado fenômeno é necessário a utilização de roteiros especificando um passo a passo para realização delas? Se sim, comente.

O gráfico 10, apresenta a resposta dos alunos sobre a necessidade do uso de roteiros nas aulas de Física.

Gráfico 10 – Respostas sobre a necessidade de roteiros nas aulas de Física



Fonte: Autoria própria (2022)

Em relação a essa questão, 77% dos participantes ainda responderam que não dispensam o uso de roteiros nas aulas experimentais de Física, conforme mostra o gráfico 10.

Durante a coleta de dados, os participantes foram orientados a realizar anotações e posteriormente descrever um passo a passo de cada experimento desde o início até o resultado final. Embora inicialmente tenham encontrado certa dificuldade para a realização das práticas, os alunos perceberam que, mesmo sem o roteiro convencional é possível realizar as aulas experimentais de Física.

Seguindo as orientações do professor, os participantes apresentaram-se como sujeitos ativos e críticos na realização das atividades, pois os questionamentos que não existiam nas aulas rotineiras pelo uso do roteiro convencional, surgiram com frequência durante todos os momentos. O Quadro 7 apresenta as respostas dos alunos, em relação ao uso do roteiro.

Quadro 7: Respostas sobre o uso de roteiro nas aulas de Física

| | |
|--------------|--|
| RESPOSTA 1 | Sim, pois facilita a visualização do experimento; |
| RESPOSTA 2: | Com certeza, o roteiro é importante par quando realizado o aluno acaba recebendo esclarecimentos que não havia entendido na literatura; |
| RESPOSTA 3 | Sim, muitas vezes o assunto observado no laboratório vem antes da teoria em sala, então um roteiro é fundamental; |
| RESPOSTA 4 | A utilização de roteiros deixa mais claro e eficaz a realização dos experimentos, principalmente a análise dos resultados nos softwares; |
| RESPOSTA 5 | Eu acredito que os roteiros ajudam, pois dão um norte caso a pessoa se perca durante o experimento; |
| RESPOSTA 6 | Acredito que facilite, mas não seja necessário; |
| RESPOSTA 7 | Sim o roteiro é um excelente guia na realização dos experimentos; |
| RESPOSTA 8 | Acredito que o roteiro colabore bastante para o nosso conhecimento se absorvido da forma mais rápida; |
| RESPOSTA 9 | Acredito que sim, uma receita de bolo é melhor para o entendimento sobre o assunto; |
| RESPOSTA 10: | O passo a passo é essencial para utilizar o programa; |
| RESPOSTA 11 | Depende do experimento, já que alguns têm um grau de dificuldade maior; |
| RESPOSTA 12 | Sim, pois nem sempre lembramos de todo conteúdo que será abordado no experimento; |
| RESPOSTA 13 | Sim, pois às vezes é fácil se perder ou esquecer algum passo; |
| RESPOSTA 14 | Sim, acredito que ter um roteiro é necessário para o andamento os experimentos para saber coo proceder ter um norte; |
| RESPOSTA 15 | Sim, o roteiro facilita o entendimento do experimento; |
| RESPOSTA 16: | Sim, uma vez que tendo o guia fica mais difícil de errar; |

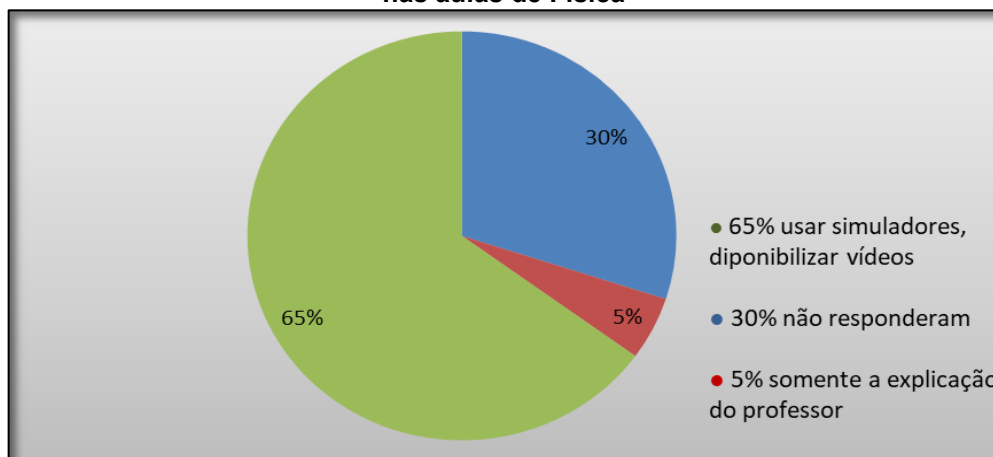
| | |
|--------------|---|
| RESPOSTA 17 | Acredito que a utilização do roteiro é apenas uma forma de se atingir um objetivo; |
| RESPOSTA 18: | Não necessariamente, mas é conveniente que haja uma pequena referência dos principais pré-requisitos para poder realizar o experimento (como a fórmula necessária); |
| RESPOSTA 19 | A prática em si com o problema já é o suficiente, agora na elaboração de relatórios e uso de software é necessário sim; |
| RESPOSTA 20 | Não é necessário. |

Fonte: Autoria própria (2022)

A partir das respostas obtidas, é possível observar que, a maioria dos alunos considera o uso do roteiro imprescindível como um guia, mas não como um receituário fechado. A questão 6 foi elaborada com o intuito de verificarmos se os alunos conseguiriam realizar as atividades propostas sem estarem previamente amparados por um roteiro, sendo assim, foram repassadas todas as orientações necessárias para a realização de cada experimento, bem como os objetivos de cada prática. No entanto, a cada momento na realização das etapas, notamos que os alunos tornavam-se mais críticos do que o habitual, quando realizam as atividades acompanhadas por um roteiro.

Questão 6: Em relação à questão anterior, em sua opinião, qual seria outra forma de desenvolver um experimento substituindo a utilização de um roteiro ou passo a passo especificando os caminhos na prática experimental?

Gráfico 11 – Respostas sobre o que poderia ser feito para substituir o uso de roteiro nas aulas de Física



Fonte: Autoria própria (2022)

Essa questão foi explorada com o intuito de aprimorarmos uma nova ideia em trabalhos futuros, para facilitar de forma mais interativa o uso do *Tracker* com novas atividades.

Os relatos dos participantes apresentados nessa questão sugerem o uso de materiais com alguns exemplos de videoanálise no estudo da difração, interferência e polarização, como por exemplo: videoaulas, guias didáticos. Porém em outra parte, os participantes relataram que grande parte do material existente disponibilizado em tutoriais ou videoanálise com o *Tracker*, envolvem estudos na área da mecânica.

Questão 7: Quais os pontos positivos e negativos que o *Tracker* apresenta no estudo dos três fenômenos observados?

Dentre os pontos positivos os participantes relataram que o *Tracker* tem precisão na análise gráfica chegando próximo aos resultados, O software é ágil dispensando no tratamento dos dados cálculos matemáticos. Dessa forma, possibilita uma rápida análise nos dados. Relataram ainda que o *Tracker* apresenta facilidade em manipular vídeos e fotos e que é possível observar o fenômeno através de videoanálise com o uso do software.

E dentre os pontos negativos que o software apresenta, os alunos relataram que a interface é complexa. Dessa forma, apresenta difícil interação. Relataram também que é preciso ter um conhecimento prévio para utilizar bem a ferramenta e que é necessário mais tempo para poderem apreender a interagir com o software.

As atividades propostas nessa pesquisa estão ligadas diretamente a experimentos voltados no estudo da Óptica. Dessa forma, optamos por analisar os fenômenos da interferência, difração e polarização, propondo aos alunos não somente explorar os conceitos, mas também, as potencialidades que o *Tracker* oferece nessas atividades em relação ao tratamento dos dados através de videoanálise.

Questão 8: Em relação aos conceitos que você tinha sobre difração, interferência e polarização da luz, pode-se dizer que houve uma aquisição ou aprimoramento daquilo que você conhecia sobre tais temas abordados aqui ou não?

Quadro 8 – Respostas sobre aquisição de novos conceitos no estudo da interferência, difração e polarização

| | |
|-------------|--|
| RESPOSTA 1 | Sim, facilitou a visualização; |
| RESPOSTA 2 | Sim, as aulas teóricas e a complementação da prática deixaram muito mais claros tais conceitos; |
| RESPOSTA 3 | Com certeza houve aprimoramento conhecimento a possibilidade de visualizar os fenômenos auxilia no entendimento; |
| RESPOSTA 4 | Eu não me lembrava de muita coisa esses temas, portanto houve uma aquisição de novos conhecimentos durante as aulas; |
| RESPOSTA 5 | Sim, facilitou na compreensão; |
| RESPOSTA 6 | Sim, observar os fenômenos acontecendo na prática melhora muito sua compreensão; |
| RESPOSTA 7 | Sim, algumas questões que estavam apenas na teoria com a prática foram confirmadas, tirando as possíveis dúvidas que fossem surgindo; |
| RESPOSTA 8 | Sim consegui compreender melhor; |
| RESPOSTA 9 | Sim, teve aprimoramento; |
| RESPOSTA 10 | Sim com o <i>Tracker</i> ajudou a visualizar o funcionamento das fórmulas; |
| RESPOSTA 11 | Sim, principalmente no experimento de polarização; |
| RESPOSTA 12 | Sim, o uso do software e os experimentos observados só agregaram para o melhor entendimento dos temas; |
| RESPOSTA 13 | Houve aprimoramento, pois alguns conceitos sobre esses temas ficaram mais simples; |
| RESPOSTA 14 | Sim, com os experimentos ficou bem mais fácil diferencia cada um; |
| RESPOSTA 15 | Sim, tive a possibilidade de aprender e entender melhor; |
| RESPOSTA 16 | Foi mais uma maneira de compreender como funcionam na prática esses conceitos; |
| RESPOSTA 17 | Sim foi possível entende melhor a variação da intensidade luminosa com o ângulo do polarizador no experimento da polarização; |
| RESPOSTA 18 | Sim; ocorreu nova aquisição; |
| RESPOSTA 19 | Sim total aprimoramento, são conceitos discutidos em aulas teóricas que às vezes não fazem muito sentido, mas com a prática ajudou bastante; |

Fonte: Autoria própria (2022)

Conforme as respostas apresentadas no Quadro 8, todos os participantes relataram que ocorreu uma aquisição significativa nos estudos aqui propostos.

A última questão (questão 9) é sobre contribuições ou críticas dos alunos que poderiam ser incluídas futuramente em novos trabalhos relacionados às atividades aplicadas na referida pesquisa. Nessa questão vale salientar que 05 participantes não responderam, e sim, somente 15 respostas foram apresentadas.

Questão 9: Comente alguma contribuição ou crítica que poderia ser incluída nas atividades propostas ou sobre o uso do *Tracker*?

Nessa questão, a maioria das repostas dos participantes sugerem a criação de tutoriais envolvendo os experimentos relacionados ao estudo da Óptica.

Os alunos relataram que os experimentos disponibilizados na internet com o uso do *Tracker* apresentam estudos voltados mais na área da mecânica, e poucos experimentos voltados para o estudo da Óptica.

Os participantes sugeriram também em suas respostas, um guia didático, disponibilizando vários experimentos no estudo da óptica, alguns alunos sugeriram a disponibilização de cursos sobre o uso do *Tracker* e a criação de uma apostila digital.

Por fim, os participantes relataram sobre o pouco tempo disponibilizado para as aulas de Física experimental.

10 CONSIDERAÇÕES

A pesquisa explorou os resultados de atividades propostas no estudo da Óptica Física, as quais foram concretizadas com o uso do *Tracker* aplicado a videoanálise, em práticas experimentais, especificamente no estudo dos fenômenos da interferência, difração e polarização.

As atividades apresentadas nessa pesquisa buscaram viabilizar o uso de videoanálise em aulas experimentais de Física no campo da Óptica. Sendo assim, foi desenvolvido o referido trabalho com a finalidade de criar, executar e avaliar atividades experimentais nas aulas de Física envolvendo a utilização do software *Tracker* no estudo de comportamentos ondulatórios da luz.

Através das atividades desenvolvidas com os alunos e pelas respostas obtidas nos questionários aplicados, conseguimos avaliar as potencialidades do *Tracker* como ferramenta facilitadora no processo de aprendizagem nas aulas de Física experimental.

Essa pesquisa, também serviu para podermos descobrir que existem poucos trabalhos envolvendo o uso de videoanálise com o *Tracker*, principalmente, trabalhos ligados diretamente ao estudo da Óptica. As contribuições existentes envolvendo o uso de videoanálise com o *Tracker* no estudo da Física se dá com maior número no campo da mecânica. Dessa forma, percebemos que a produção de novos trabalhos voltados para o campo da Óptica, envolvendo o uso do *Tracker*, deve continuar.

A continuidade na publicação de novos trabalhos no campo da Óptica é essencial para poder viabilizar novas pesquisas e para a produção de materiais de apoio, tanto para os alunos, quanto para os professores e ou pesquisadores com fins nessa área.

Dessa forma, como fruto desse trabalho, foi desenvolvido um guia didático, apresentando o uso de videoanálise com software *Tracker* em alguns experimentos da Óptica. Esse material servirá de apoio para professores e alunos, que poderão explorar conceitos da Óptica com o uso do *Tracker* em aulas experimentais de Física.

A referida pesquisa conclui que as atividades desenvolvidas com o auxílio do *Tracker*, corroboraram para a aquisição de novos conceitos no estudo da Óptica,

pois os resultados apresentados demonstraram que o comportamento ondulatório da luz foi explorado de forma minuciosa e compreendido de forma significativa por grande parte dos alunos.

REFERÊNCIAS

A HISTÓRIA da Física e a Física Escolar: incoerências entre a ciência e o Ensino Disponível em: <https://www.docsity.com/pt/historia-da-fisica-5/4882907/> Acesso: 07 fev. 2021.

A SÉRIE de Balmer. O quantum de Planck. O modelo de Bohr. O que é um espectro. Disponível em: <https://seara.ufc.br/pt/secoes-especiais-de-ciencia-e-tecnologia/secoes-especiais-fisica/a-serie-de-balmer-e-o-espectro-do-hidrogenio/> Acesso: 24 jan. 2021.

ABERTO até de madrugada. **Os ecras dos smartphones e os óculos.** Disponível em: <https://abertoatedemadrugada.com/2017/01/os-ecras-dos-smartphones-e-os-%20oculos.html> Acesso em: 23 jun. 2022.

ALVES, D.; *et al.* **A Física Ontem e Hoje.** Disponível em: <https://fisica.alegre.ufes.br/sites/fisica.alegre.ufes.br/files/luz.pdf> Acesso: 20 set. 2021.

ALVES FILHO, J. P. Regras da transposição didática aplicadas ao laboratório didático. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física** v. 21, n. especial, p. 44-58, 2004.

AMAMBAI notícias. **Saiba mais sobre uma das fotografias mais inteligentes da história.** Disponível em: <https://www.amambainoticias.com.br/brasil/saiba-mais-sobre-uma-das-fotografias-mais-%20inteligentes-da-hist%C3%B3ria#> Acesso em: 05 jun. 2022.

ARAÚJO, F. A. G.; *et al.* **Estudo do Movimento com o Aplicativo VideoAnalysis:** Possibilidades no Estudo de Lançamento de projéteis. *Revista do Professor de Física.* v1, n. 2, 2017.

AUSUBEL, D. P. **Aquisição e Retenção de Conhecimentos: Uma Perspectiva Cognitiva.** 1ª Ed. Lisboa: Paralelo Editora, 2003.

AUSUBEL, D. P. **Educational psychology:** a cognitive view. New York, Holt, Rinehart and Winston. (1968).

AUSUBEL, D. P. **Algunos aspectos psicológicos de la estructura del conocimiento.** Buenos Aires: El Ateneo, 1973.

AUSUBEL, D. P.; NOVAK, J. D.; HANESIAN, H. **Psicologia Educacional.** Rio de Janeiro: Interamericana, 1980.

AZEVEDO, A. L.; SOUSA, A. K. S.; CASTRO, T.J. Espectroscopia óptica de baixo custo: uma estratégia para a introdução de conceitos de física quântica no ensino médio. In: **Revista Brasileira de Ensino de Física**. 41 (4) 2019. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbef/a/vHfts85vGQtRvwvqfpyjNFG/?lang=pt#> Acesso em: 19 jun. 2022.

AZEVEDO, J. S.; MONTEIRO JUNIOR, F. N. As disputas acerca da natureza da luz: o uso da história e filosofiada ciência para aprendizagem significativa no ensino de física. In: **Aprendizagem Significativa em Revista / Meaningful Learning Review**. v. 9, n. 2, p. 12-30, 2019. Disponível em: http://www.if.ufrgs.br/asr/artigos/Artigo_ID159/v9_n2_a2019.pdf Acesso: 23 set. 2021.

BRASIL, PCN+ Ensino Médio: orientações educacionais complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais (Ministério da Educação, Brasília, 2002). Disponível em: <http://portal.mec.gov.br/setec/arquivos/pdf/BasesLegais.pdf>. Acesso em 07 de fev. 2021.

BEZERRA JUNIOR. A. G; et. al. **Videoanálise com o software livre Tracker no laboratório didático de Física: movimento parabólico e segunda Lei de Newton**. Cad. Bras. Ens. Fís., v. 29, n. Especial 1: p. 469-490, set. 2012.

BONIEK, V. C. S. **A popularização na ciência: A óptica de Newton no século XVIII**. HOLOS, vol. 3, 2008, p.95-104. Disponível em: <https://www.redalyc.org/pdf/4815/481549276010.pdf> Acesso: 23 set. 2021.

BORDIN, G. D. **Potencialidades de uso do software de videoanálise Tracker no ensino de física**. 2020. Dissertação (Mestrado em Formação Científica, Educacional e Tecnológica) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2020. Disponível em: <<https://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/5124>>. Acesso: 18 de Nov 2021.

BORDIN, G. D.; et al. **Uma Revisão Sistemática de Literatura sobre a Utilização do Software de Videoanálise Tracker em Alguns Periódicos Brasileiros**. *Abakós*, 10(1), 89-116. Disponível em: <https://doi.org/10.5752/P.2316-9451.2022v10n1p89-116>. Acesso: 16 out.2022.

BROWN, D. **Video Analysis and Modeling Tool for Physics Education**. Disponível em: <https://physlets.org/tracker/> Acesso: 10 jan. 2021.

CALLONI, G. J. **A Física dos movimentos analisada a partir de vídeos do cotidiano do aluno: Uma proposta para oitava série**. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-graduação em Ensino de Física. UFRGS. Porto Alegre 2010.

Disponível em:

<https://lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/28179/000769687.pdf?sequence=1&isAllowed=y> Acesso: 22 fev. 2021.

CAMARGO, L. C.; ASQUEL, S. S. Problematizando o ensino de modelos atômicos: estudo das representações e o uso de um jogo didático. **ACTIO**, Curitiba, v. 3, n. 3, p. 197-213, set/dez. 2018.

CARMO, L.; MEDEIROS, A.; MEDEIROS, C. Distorções Conceituais em Imagens de Livros Textos: o Caso do Experimento de Joule. **Atas** do VII Encontro de Pesquisadores em Ensino de Física, Florianópolis, 2000.

CAVALCANTE, M. A.; BENEDETTO, Instrumentação em Física Moderna para o Ensino Médio: uma Nova Técnica para a Análise Quantitativa de Espectros. **Revista Brasileira de Ensino de Física**. Porto Alegre. v. 21, n. 3, p. 437-446, set. 1999.

CAVALCANTE, M. A.; JARDIM, V.; ALMEIDA, J. A. **Inserção de Física Moderna no Ensino Médio: Difração de um feixe laser**. Caderno Catarinense de Ensino de Física, Florianópolis, v. 16, n. 2, p. 154-169, ago. 1999.

CAVALCANTE, M. A.; TAVOLARO, C. R. C. **Física Moderna Experimental - 2a edição revisada**. 2/1. ed. Barueri - SP: Monole, 2007. v. 01. 132p.

CHAUI, M. A ciência na história. In: Chauí, M. **Iniciação a filosofia**. São Paulo: Editora Ática. 2000, p. 320-333.

COSTA, F. Q.; *et.al.* **Tecnologias no ensino de física: o banco internacional de objetos educacionais**. CONEDU- 2018. Disponível em: http://editorarealize.com.br/editora/anais/conedu/2018/TRABALHO_EV117_MD4_SA19_ID3503_09092018105433.pdf Acesso: 16 jun. 2021.

DEMONSTRAÇÕES de Física. **Espectros de emissão e absorção**. Disponível em: <http://demonstracoes.fisica.ufmg.br/artigos/ver/108/19.-Espectros-de-emissao-e-absorcao>. Acesso 24 jan. 2021.

DEPARTAMENTO de Física Nuclear e Altas Energias. Disponível em: <https://www.fis.uerj.br/index.php/dfnae/> Acesso em: 23 jun. 2022.

DIAS, P. M. C. **A (im)pertinência da história ao aprendizado da física (um estudo de caso)**. Revista Brasileira de Ensino de Física. Vol.23. no.2, p 226-235, São Paulo, jun. 2001. Disponível em: http://www.sbfisica.org.br/rbef/pdf/v23_226.pdf Acesso: 22 jan. 2021.

DIONISIO, P. H.; DIONISIO, G. Já lhe perguntaram porque não existe estrelas verdes? **Caderno Brasileiro em Ensino de Física**, Vol. 24, n.1, p. 50-53, abri. 2007.

FILGUEIRAS, C. A. L. A espectroscopia e a química: da descoberta de novos elementos ao limiar da teoria quântica. **Química nova na escola**, São Paulo, v. 3, p. 22-25, mai. 1996.

FORATO, T. C. M. **A natureza da ciência como saber escolar: um estudo de caso a partir da história da luz**. 2009. Tese (Doutorado em Educação) – Faculdade de Educação, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/48/48134/tde-24092009-130728/pt-br.php> Acesso: 20 nov. 2021.

GASPAR, A.; MONTEIRO, I. C. C. Atividades experimentais de demonstrações em sala de aula: uma análise segundo o referencial da teoria de Vygotsky. **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 10, n. 2, p. 227–254, 2005.

HALLIDAY, D.; RESNICK, R.; WALKER, J. **Fundamentos de Física**. 4 ed. Rio de Janeiro: LTC – Livros Técnicos e Científicos Editora S.A, 1995, p. 160-161.

HALLIDAY, D.; RESNICK, R.; WALKER, J. **Fundamentos de Física: Eletromagnetismo**. Vol 3. 9. Ed. Rio de Janeiro: Ltc, 2012. 3 v fev.2021.

HECHT, E. **Optics**. 5. ed. Harlow: Pearson Education, 2017. Disponível em: https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/5054148/mod_resource/content/1/Hecht-optics-5ed.pdf Acesso: 22 jan. 2021.

KEISER, Gerd. **Optical fiber communications**. Disponível em: https://pt.scribd.com/document/321184768/optical-fiber-communication-by-gerd-keiser-3rd-ed?utm_medium=cpc&utm_source=google_search&utm_campaign=3Q_Google_DS_A_NB_RoW&utm_term=&utm_device=c&qclid=CjwKCAjw4ZWkBgA4EiwAVJXwqXLNEK6UOI14SDnc0OLCh33USo-y9icJ9ahuSspmK5UdcidNt31OexoC2hwQAvD_BwE# Acesso em 26 jun. 2022.

LEAL, M. M.; et al. Da física antiga à física moderna: uma visão do seu processo histórico. In: **CONEDU**, 6, Fortaleza. Disponível em: https://editorarealize.com.br/editora/anais/conedu/2019/TRABALHO_EV127_MD1_SA16_ID8215_28092019004713.pdf Acesso: 18 jan. 2021.

LEITE, D. O.; PRADO, R. J. Espectroscopia no infravermelho: uma apresentação para o ensino médio. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 34, n. 2, p. 1-9, 02 jun. 2012.

MALBOUISSON, H. **Laboratório de Física IV**. Disponível em: http://dfnae.fis.uerj.br/twiki/pub/DFNAE/FisicaExpHelenaMalbouisson/Aula06_interferenciaEdifracao.pdf Acesso em: 21 jun. 2022.

MARQUES, N. L. R. **Centro de referência para o ensino de Física**. Disponível em: <https://nelsonreyes.com.br/> Acesso em: 19 jun. 2022.

MARTINS, A. R. **Física e História**. Ciênc. Culto., São Paulo, v. 57, n. 3, pág. 25-29, setembro de 2005. Disponível em: http://cienciaecultura.bvs.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0009-67252005000300015 Acesso: 26 jan. 2021.

MARTINS, R. A.; SILVA, C. C. **As pesquisas de Newton sobre a luz: uma visão histórica**. Revista Brasileira de Ensino de Física, 37(4), 4202 (1-31).

MASLOVA, K.; PÉREZ, C. A construção de um banco ótico para a difração da luz em fendas únicas e múltiplas de fácil acesso e a utilização do Tracker como ferramenta de estudo. In: **Revista Avanços no Ensino de Física**. Uruguai, v. 1, n. 2, p. 51-61. Disponível em: https://ojs.cfe.edu.uy/index.php/rev_fisica/article/view/492 Acesso em: 16 jun. 2022.

MONTOLI, G. A.; CABRAL NETO, J. S. Estudo de Colisões Inelásticas por Meio da Videoanálise. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 37, n. 2, p. 865-878, ago. 2020. Disponível em: <https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/2175-7941.2020v37n2p865> Acesso: 23 fev 2022.

MORAES, J. U. P.; SILVA JUNIOR, R. S. **Experimentos didáticos no ensino de física com foco na Aprendizagem significativa**. Revista/Meaningful Learning Review. V4(3), pp. 61-67, 2014.

MOREIRA, M. A. **Aprendizagem significativa crítica**. III Encontro Internacional sobre Aprendizagem Significativa. Disponível em: <https://www.if.ufrgs.br/~moreira/apsigcritport.pdf> Acesso: 08 jan. 2021

MOREIRA, M. A. **Ensino de Física no Brasil: Retrospectiva e Perspectivas**. Revista Brasileira de Ensino de Física, vol 22. N 01.

MOREIRA, M. A. **Uma análise crítica do ensino de Física**. Estudos Avançados. Vol. 32. N.94. São Paulo. Setembro-Dezembro 2018. Disponível em https://www.scielo.br/scielo.php?pid=S01030142018000300073&script=sci_arttext&lng=pt Acesso: 05 fev. 2021.

NAPOLEÃO, T. **Uma Pequena História da Espectroscopia**. Disponível em: <https://alfacrucis.org/wp-content/uploads/2020/03/aqui-3.pdf>. Acesso: 24 jan. 2021.

NEWTON, I. **Óptica**. São Paulo: EDUSP, 2002. Disponível em: <https://www.redalyc.org/pdf/4815/481549276010.pdf> Acesso: 20 set. 2021.

Newton versus Huygens: como (não) ocorreu a disputa entre suas teorias para a luz. Disponível em: <https://doi.org/10.5007/2175-7941.2016v33n1p111> Acesso: 23 set 2021.

NEWTON, I. **Óptica**. Tradução: André K. T. Assis. São Paulo: Edusp, 1996. 296p.

NEWTON, I. A hipótese da luz. In: COHEN, I. B.; WESTFALL, R. (Org.). **Newton: textos, antecedentes e comentários**. Rio de Janeiro: Contraponto/UERJ, 2002, parte 1, p. 30-54.

NEWTON, I. **Óptica**. Tradução: ASSIS, André Koch Torres. São Paulo: EDUSP, 2002

WEBBER, M. C. M.; Ricci, T. F. **Inserção de mecânica quântica no ensino médio**: uma proposta para professores. Textos de Apoio ao Professor de Física, 2006, pp. 29-36.

NOBREGA, M. L.; FREIRE, O.; PINHO, S. T. R. **Max Planck e os enunciados da segunda lei da termodinâmica**. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbef/a/bYh7fjF7QhXgqTW4cgyd3qS/?lang=pt> Acesso: 06 fev. 2021.

NOVO, M. M. M.; *et al.* **Fundamentos básicos de emissividade e sua correlação com os materiais refratários, conservação de energia e sustentabilidade**. Cerâmico, vol. 60, n. 353, p. 22-33, jan./mar. 2014.

NUSSENZVEIG, H. M. **Curso de Física Básica: Ótica, Relatividade e Física Quântica**. 1. ed. São Paulo: Edgard Blücher, 1998. (p. 01-45). YOUNG, H. D. Física IV: Ótica e Física Moderna. Tradução de Cláudia Martins. São Paulo: Addison Wesley, 2009, p.01-28.

O MUNDO da fotografia. Disponível em: <http://mundo-da-fotografia.blogspot.com/2009/01/eadward-muybridge-1830%201904.html> Acesso em: 15 jun. 2022.

OLIVEIRA, S. K. **Espectroscopia para o ensino de Física Moderna e Cosmologia**. 2019. 138 f. Dissertação (Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física) – Universidade Federal de Juiz de Fora/ Instituto Federal Sudoeste de Minas Gerais, Juiz de Fora, 2019.

ORTEGA, D.; Moura, B. A. **Uma abordagem histórica da reflexão e da refração da luz**. Revista Brasileira de Ensino de Física, 2020, p.16.

O que é um diagrama de níveis de energia? Disponível em:

<https://www.ufsm.br/cursos/graduacao/santa-maria/fisica/2020/02/27/o-que-e-um-diagrama-de-niveis-de-energia/>. Acesso: 12 jan. 2021.

Ondas eletromagnéticas. disponível em

https://cesad.ufs.br/ORBI/public/uploadCatalogo/15161916022012Fisica_C_Aula_6.pdf. Acesso: 02 ago. 2021.

PAN, C. A.; BARROS, A. C. Introdução Histórica à Física e à Química das radiações a contribuição de Madame Curie. **Revista de Ciências Exatas e Tecnologia**. V. 8. N.8. 2013. P. 47-69.

PEDUZZI, L. O. Q. **Evolução dos conceitos da Física** – Do átomo grego ao átomo de Bohr. Disponível em:

https://www.if.ufrgs.br/~lang/Textos/Textos_Peduzzi/Atomo_grego_Bohr.pdf Acesso: 31 jan. 2021.

PARABOLICABANDACEKU. **O que é Banda C**. Disponível em:

<http://parabolicabandaceku.no.comunidades.net/o-que-e-banda-c> Acesso em: 22 jun. 2022.

PARENTE, F. A. G.; SANTOS, A. C. F.; TORT, A. C. Os 100 anos do átomo de Bohr. **Revista Brasileira de Ensino em Física**, v. 35, n. 4, p. 1-8.

PIETROCOLA, M. O éter como espaço absoluto. **Cadernos de História e Filosofia da Ciência** (UNICAMP), 1993, p. 163-182.

PIETROCOLA, M, FRESNEL. O arrastamento parcial do éter: a influência do movimento da Terra sobre a propagação da luz. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, p 157-172.

POLITO, A. M. M. **A construção da estrutura conceitual da Física Clássica**. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2016. Disponível em:

file:///D:/Downloads/Antony%20M.%20M.%20Polito%20(3).PDF Acesso: 23 fev. 2021.

PREPARA ENEM. **Frequência e comprimento de onda**. Disponível em:

<https://www.preparaenem.com/fisica/frequencia-comprimento-onda.htm> Acesso em: 15 jun. 2022.

PUGLIESE, R. M. **A História da Física e a Física Escolar: incoerências entre a ciência e o Ensino**. Kronos, Revista de História da Ciência. São Paulo, n 04, agosto de 2017. Disponível em: <https://www.revistas.usp.br/khronos/article/view/133607> Acesso: 17 jan. 2021.

PY4ZBZ. **Polarização de ondas**. Disponível em: <https://qsl.net/py4zbz/antenas/polarizacao.htm> Acesso em: 23 jun. 2022.

RIBEIRO, J. L. P. S.; VERDEAUX, M. F. S. **Atividades experimentais no ensino de óptica**: uma revisão. DF, 2012.

ROCHA, J. F. M. Origem e Evolução do Eletromagnetismo. In: ROCHA, José Fernando Moura (org). **Origens e Evolução das Ideias da Física**. Salvador: EDUFBA, 2002.

ROCHA, J. F. M. Origem e Evolução do Eletromagnetismo. In: José Fernando Moura Rocha. (Org.). **Origens e Evolução das Ideias da Física**. 2. ed. Salvador: EDUFBA, 2015, v. 500, p. 185-374.

ROCHA, J. F. M. **Origem e Evolução do Eletromagnetismo**. Origens e Evolução das Ideias da Física. 1a.ed. Salvador: EDUFBA, 2002, v. 4.500, p. 185-372.

ROSA, C. W.; ROSA, A. B. **O ensino de ciências (Física) no Brasil**: da história às novas orientações educacionais. Revista Iberoamericana De Educación, Vol.58 (2), 1-24.

ROSA, C. A. P. **HISTÓRIA DA CIÊNCIA**: a Ciência Moderna. Brasília, Volume II, Tomo I, 2ª Edição, 2012. Disponível em: <https://funag.gov.br/loja/download/1020-Historia-da-Ciencia-Vol.II-Tomo-I-A-Ciencia-Moderna.pdf> Acesso: 26 out. 2021.

ROSA, P. S. **Louis de Broglie e as ondas da matéria**. UNICAMP. Campinas, 2004. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Pedro_Rosa21/publication/275833235_Historia_da_teorica_quantica_a_dualidade_ondaparticula_de_Einstein_a_De_Broglie/links/5e42f60c299bf1cdb91fd249/Historia-da-teoria-quantica-a-dualidade-onda-particula-de-Einstein-a-De-Broglie.pdf Acesso: 23 fev. 2021.

SANTANA, F. B.; SANTOS, P. J. S. Espectroscopia e modelos atômicos: uma proposta para a discussão de conceitos de física moderna no ensino médio. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**. Universidade Federal de Santa Catarina. (UFSC). Florianópolis, Vol. 34, n. 2, p. 555-589, 9 ago. 2017.

SANTOS, M. A. C. **Ferramentas didáticas e a aprendizagem sobre ondas eletromagnéticas e a polarização da luz**. 2016, 134 f. Dissertação (Mestrado Nacional Profissional de Ensino de Física - MNPEF). Universidade Estadual de Maringá, 2016. Disponível em: <http://repositorio.uem.br:8080/jspui/bitstream/1/3869/1/000223932.pdf> Acesso em: 25 jun. 2022.

SCHULZ, P. A. Duas nuvens ainda fazem sombra na reputação de Lorde Kelvin. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 29, n. 4, p. 509-512, (2007). Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbef/a/rsCBz6n6nTMPwHqqXJzBZ5h/abstract/?lang=pt> Acesso:22 abr. 2022.

SCHWAB, J. **The practical 3**: translation into curriculum. *School Review*, v.81, n.4, p.501-22, 1973.

SILVA, L. F.; ASSIS, A. Física Moderna no Ensino Médio: um experimento para abordar o efeito fotoelétrico. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, São Paulo, v. 29, n. 2, p. 75-82, 11 set. 2012. Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC).

SILVA, M. F. F. **Esclarecendo o significado de “cor” em física**. *Física na Escola*, v.8, n.1, p. 25-26, 2007.

SILVA, J. R. **SimQuest**: Ferramenta de Modelagem Computacional para o Ensino de Física. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 33, n. 1, p. 1508, mar. 2011.

SILVA, C. C.; MARTINS, R. A. A. **A teoria das cores de Newton**: um exemplo do uso da história da ciência em sala de aula. *Ciência & Educação*, 2003, v. 9, n. 1, p. 53-65.

SILVA, C. C.; MARTINS, R. A. **A “Nova Teoria sobre Luz e Cores” de Isaac Newton**: uma tradução comentada. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 1996, p. 317-318.

SOUSA JUNIOR, F. A. L.; ROSA, L. P. **A transição da Física Clássica para a Física Moderna Segundo Thomas Kuhn**. Disponível em: <http://revistas.hcte.ufrj.br/index.php/RevistaSH/article/view/109/98> Acesso: 20 jan. 2021.

SOUZA, G. F.; PINHEIRO, N. A. M. **Unidades de ensino potencialmente significativas (UEPS)**: identificando tendências e possibilidades de pesquisa. *Revista Dynamis*. FURB, Blumenau, V. 25, n. 1, p 113-128, 2019.

SOUZA, A. A. L.S. **Experiências Demonstrativas de Óptica**. Vol.II, 1999. Disponível em: http://repositorio-aberto.up.pt/bitstream/10216/9900/4/2692_TM_02_P.pdf. Acesso: 10 dez. 2021.

TEDESCO, J. C. **Educação e Novas Tecnologias**. São Paulo, Cortez, Brasília: UNESCO, 2004.

TELES, P. **Aula 3: Polarização**. Disponível em: <http://dfnae.fis.uerj.br/twiki/pub/DFNAE/FisicaExp/Aula3FisicalVLab.pdf> Acesso em: 29 jun. 2022.

THE Nobel Prize in Physics. Disponível em: <https://www.nobelprize.org/prizes/physics/>. Acesso em: 14 jan. 2021.

TORIBIO, A. M. V. **História da Física**. Universidade Federal do Espírito Santo (UFES). Núcleo de Educação Aberta e a Distância, 2012. Disponível em <https://www.docsity.com/pt/historia-da-fisica-5/4882907/> Acesso: 25 jan. 2021.

TRACKER. Disponível em: <https://physlets.org/tracker/> Acesso: 19 jan. 2021.

TRACKER Brasil. Disponível em: <https://utfpr.curitiba.br/dafis/tracker/> Acesso: 14 out. 2021.

UNICAMP. Instituto de Física Gleb Wataghin. **Difração da luz por fendas**. Disponível em: <https://sites.ifi.unicamp.br/laboptica/roteiros-do-laboratorio/3-difracao-de-fendas/> Acesso em: 20 jun. 2022.

WEBBER, M. C. M. **Inserção de mecânica quântica no ensino médio: uma proposta para professores**. Dissertação. UFRGS. 2006. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/handle/10183/10729> Acesso: 16 out. 2021.

APÊNDICE A – Quadro roteiro das atividades propostas na pesquisa

| ETAPAS | ATIVIDADE | CONTEÚDOS ABORDADOS |
|---------|--|--|
| Etapa1 | Coleta de dados inicial Aplicação do Software <i>Tracker</i> | <ul style="list-style-type: none"> • Aplicação do Questionário investigativo Inicial aos Participantes (disponível no Moodle); • Apresentação dos conteúdos e detalhamento das práticas a serem realizadas; • O que é o <i>Tracker</i>; • Instalação do Software <i>Tracker</i>; • Orientações quanto ao uso do <i>Tracker</i>. • Disponibilização de links para suporte, quanto ao uso do <i>Tracker</i> (no Moodle); |
| ETAPA 2 | Polarização da Luz | <ul style="list-style-type: none"> • Desenvolver/analisar o procedimento experimental para compreender os movimentos ondulatórios da luz no fenômeno da Polarização; • Analisar graficamente com o <i>Tracker</i> os resultados encontrados no experimento; • Determinar a Lei de Malus; |
| ETAPA 3 | Estudo da difração e interferência da luz | <ul style="list-style-type: none"> • Desenvolver/analisar o procedimento experimental para compreender os movimentos ondulatórios da luz no fenômeno da difração; • Determinar a largura de fendas estreitas, • Determinar o comprimento da luz incidente. • Determinar os pontos mínimos (zeros) de difração; • Determinar as distâncias entre os mínimos; |

| | | |
|---------|---|---|
| ETAPA 3 | Estudo da difração e interferência da luz | <ul style="list-style-type: none">• Analisar graficamente com o Tracker os resultados encontrados no experimento;• Desenvolver/analisar o procedimento experimental para compreender os movimentos ondulatórios da luz no fenômeno da Interferência;• Determinar a distância entre as franjas de interferência,• Determinar o comprimento da luz incidente;• Determinar os pontos máximos de interferência;• Analisar graficamente com o Tracker os resultados encontrados no experimento; |
| ETAPA 4 | Encerramento da Pesquisa | <ul style="list-style-type: none">• Entrega dos resultados das atividades propostas;• Aplicação do questionário investigativo final; |

APÊNDICE B - Questionário investigativo inicial

1. A luz pode ser classificada como uma onda?

- Sim, uma onda luminosa;
- Sim, uma onda mecânica;
- Sim, uma onda eletromagnética;
- Não é uma onda.

2. O que as ondas eletromagnéticas transportam?

- energia;
- matéria;
- nada;
- éter.

3. Conhece algum programa para tratamento de dados através de videoanálises em experimentos de Física? Por exemplo: que apresentem gráficos para tratar de forma mais minuciosa os resultados?

- sim, o Tracker sim, outro não

4. Você consegue definir os conceitos de difração, interferência e polarização da luz, ou já estudou sobre o assunto?

- sim não

5. Em suas aulas experimentais, realizadas até aqui, especificamente na disciplina de Física, em algum momento você realizou algum experimento, sem o auxílio de roteiros especificando um passo a passo ou material de apoio apresentando sobre o que fazer na prática experimental? Qual sua opinião sobre desenvolver experimentos de Física sem auxílio de um roteiro?

6. Você faz utiliza com frequência o uso do smartphone como recurso para suprir alguma demanda nos estudos? Além de utilizar suas funções básicas e rotineiras para no cotidiano, por exemplo, já utilizou algum sensor disponível em seu smartphone como recurso para analisar temperaturas, intensidade de luz, medidas de comprimento ou velocidades? Você conhece esses recursos em seu celular, caso ele possibilite acessar essas funções? Se já fez uso, comente.

7. Qual sua opinião sobre o uso da tecnologia inserida como recurso facilitador no ensino de Física em aulas experimentais?

APÊNDICE C - Questionário avaliativo sobre o uso do software Tracker

1. Ocorreu alguma dificuldade no uso do Tracker? Se sim, em qual momento sentiu essa dificuldade?

2. Em sua opinião, qual o nível de dificuldade quanto ao uso do Tracker? Especifique sua resposta caso o nível de dificuldade foi confirmado ou não.

3. Após ter utilizado o software Tracker, qual sua avaliação sobre esse recurso?

a. Excelente ()

b. Ótimo ()

c. Bom ()

d. Regular ()

Complemente sua resposta se achar necessário

4. Em sua opinião, os dados experimentais coletados e analisados com o Tracker contribuíram para aquisição de novos conhecimentos através dos estudos propostos?

5. Nas aulas experimentais de Física você acredita que para compreender o estudo de determinado fenômeno é necessário a utilização de roteiros especificando um passo a passo para realização delas? Se sim, comente.

6. Em relação à questão anterior, em sua opinião, qual seria outra forma de desenvolver um experimento substituindo a utilização de um roteiro ou passo a passo especificando os caminhos na prática experimental?

7. Quais os pontos positivos e negativos que o *Tracker* apresenta no estudo dos três fenômenos observados?

8. Em relação aos conceitos que você tinha sobre difração, interferência e polarização da luz, pode-se dizer que houve uma aquisição ou aprimoramento daquilo que você conhecia sobre tais temas abordados aqui ou não? Comente.

9. Comente alguma contribuição ou crítica que poderia ser incluída nas atividades propostas ou sobre o uso do *Tracker*?