

**MNPEF**  
Mestrado Nacional  
Profissional em  
Ensino de Física

**MNPEF** Mestrado Nacional  
Profissional em  
Ensino de Física  
Polo **ufscar** Sorocaba



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS**

CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIAS PARA A SUSTENTABILIDADE

DEPARTAMENTO DE FÍSICA, QUÍMICA E MATEMÁTICA

**Sequência Didática para Estudar o Comportamento da  
Luz através de Experimentos**

**GLEDSON GONÇALVES FAJARDO**

**ORIENTADOR: PROF. DR. JOHNNY VILCARROMERO LÓPEZ**

Sorocaba - SP  
Dezembro de 2020

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS**  
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIAS PARA A SUSTENTABILIDADE  
DEPARTAMENTO DE FÍSICA, QUÍMICA E MATEMÁTICA

**Sequência Didática para Estudar o Comportamento da  
Luz através de Experimentos**

**GLEDSON GONÇALVES FAJARDO**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação de Mestrado Profissional em Ensino de Física (PROFIS-So) da Universidade Federal de São Carlos, *campus* Sorocaba, no Curso de Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física (MNPEF), para obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Área de concentração: Física no Ensino Médio

Orientador: Prof. Dr. Johnny Vilcarromero López

Sorocaba - SP  
Dezembro de 2020

**GLEDSON GONÇALVES FAJARDO**

**SEQUÊNCIA DIDÁTICA PARA ESTUDAR O COMPORTAMENTO DA LUZ  
ATRAVÉS DE EXPERIMENTOS.**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação de Mestrado Profissional em Ensino de Física (PROFIS-So) da Universidade Federal de São Carlos, *campus* Sorocaba, no Curso de Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física (MNPEF), para obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Área de concentração: Física no Ensino Médio Sorocaba 09 de junho de 2020.

Orientador:

---

Prof. Dr. Johnny Vilcarromero López  
UFSCar - Sorocaba

Examinador:

---

Prof. Dr. João Batista dos Santos Junior  
UFSCar - Sorocaba

Examinador:

---

Prof. Dr. Carlos Alberto Tello Sáenz  
UNESP - Presidente Prudente

Sorocaba – SP  
Dezembro de 2020

Gledson Gonçalves, FAJARDO

Sequência Didática para Estudar o Comportamento da Luz através de Experimentos / FAJARDO Gledson Gonçalves -- 2020.  
168f.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de São Carlos, campus Sorocaba, Sorocaba

Orientador (a): Prof. Dr. Johnny Vilcarromero López  
Banca Examinadora: Johnny Vilcarromero López, João Batista dos Santos Junior, Carlos Alberto Tello Sáenz  
Bibliografia

1. Física no Ensino Médio. I. Gledson Gonçalves, FAJARDO. II. Título.

Ficha catalográfica desenvolvida pela Secretaria Geral de Informática

(SIn)

DADOS FORNECIDOS PELO AUTOR

Bibliotecário responsável: Maria Aparecida de Lourdes Mariano -

CRB/8 6979

*Aos meus pais Aristides e Geny.*

## **AGRADECIMENTO**

Agradeço à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo fomento ao Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física (MNPEF) durante todo o período de formação.

Agradeço aos professores do Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física (MNPEF) pelas contribuições, em especial aos professores Prof. Dr. James Alves de Souza e Prof. Dr. Edegar Benedetti Filho que participaram da qualificação.

Agradeço ao meu orientador Prof. Dr. Johnny Vilcarromero López, pela disposição e ajuda ao longo do desenvolvimento da dissertação até esse momento.

Agradeço à escola estadual onde foi aplicado este produto educacional, por toda a contribuição nesse trabalho, agradeço à gestão, colegas professores e alunos que participaram do projeto.

Agradeço à Deus pela vida, à minha mãe e irmãos pela compreensão, aos familiares e amigos por acreditarem.

E disse Deus: Haja Luz. E houve luz.

Gênesis 1:1

A Natureza e as leis da Natureza estavam  
ocultas na noite. Deus disse: Seja Newton! E tudo se fez luz!

Lápide de Newton, Abadia de Westminster

## RESUMO

FAJARDO, Gledson G. Sequência Didática para Estudar o Comportamento da Luz através de Experimentos. 2020. Dissertação (Mestrado em Ensino de Física) – Universidade Federal de São Carlos, *campus* Sorocaba, Sorocaba, 2020.

Ensinar conceitos de óptica física para os estudantes do ensino médio, principalmente aqueles relativos ao comportamento da luz, não é tarefa das mais simples. A abordagem destes tópicos é escassa, e o tempo de aula curto durante a semana são os desafios encontrados. O uso de experimentos em sala de aula é uma boa ferramenta a ser utilizada para a abordagem sobre esses assuntos, principalmente na 3ª série do ensino médio, onde os assuntos de física moderna são também pouco explorados. Com o uso de experimentos temos a motivação e o engajamento dos alunos como estímulo adicional na apresentação dos assuntos estudados. A proposta deste trabalho foi desenvolver uma sequência didática para o estudo do comportamento da luz com experimentos, os conteúdos abordados envolvem conceitos de óptica e de física moderna. Nosso objetivo é oferecer aos professores do ensino médio alternativas de estimular seus alunos através de atividades experimentais apropriadas para cada realidade. Nossa metodologia foi norteada pela teoria de Aprendizagem Significativa de David Ausubel, no sentido de o aluno ser estimulado com um produto potencialmente significativo. O produto foi aplicado em uma turma da 3ª série do ensino médio de uma escola estadual do interior do estado de São Paulo. O produto foi desenvolvido em etapas: levantamento de conhecimentos prévios sobre o comportamento da luz, realização de experimentos direcionados sobre este tema e um questionário final sobre entendimento do tema. Os experimentos envolveram temas como refração, difração, interferência e efeito fotoelétrico, todos estes permitiram que os alunos discutissem os conceitos sobre o comportamento ondulatório e corpuscular da luz e construíssem seu conhecimento sobre os conteúdos abordados, no caderno do aluno de óptica e física moderna. A partir do questionário final e da interação nas atividades experimentais no decorrer da sequência, foi possível verificar a motivação dos alunos e o interesse pelos assuntos tratados em cada experimento. O produto permitiu o surgimento de questionamentos, levantamento de hipóteses e debates sobre os fenômenos observados associados ao comportamento da luz.

**Palavras-chave:** Ensino de Física. Aprendizagem Significativa. Experimentação. Óptica. Física Moderna. Natureza da Luz.

## ABSTRACT

Teaching concepts of physical optics to high school students, especially those related to the behavior of light, is not a simple task. The approach to these topics is scarce, and short class time during the week are the challenges encountered. The use of experiments in the classroom is a good tool to be used to approach these subjects, mainly in the 3rd year of high school, where the subjects of modern physics are also little explored. With the use of experiments, we have the students' motivation and engagement as an additional stimulus in the presentation of the studied subjects. The purpose of this work was to develop a didactic sequence for the study of the behavior of light with experiments, the contents covered involve concepts of optics and modern physics. Our goal is to offer high school teachers alternatives to stimulate their students through practical activities appropriate to each reality. Our methodology was guided by David Ausubel's theory of Significant Learning, in the sense that the student is stimulated with a potentially significant product. The product was applied to a 3rd year high school class at a state school in the interior of the state of São Paulo. The product was developed in stages: survey of previous knowledge about the behavior of light, conducting experiments on this theme and a final questionnaire on understanding the theme. The experiments involved topics such as refraction, diffraction, interference and the photoelectric effect, all of which allowed students to discuss the concepts of the wave and corpuscular behavior of light and build their knowledge about the contents covered, in the student's notebook of modern optics and physics. From the final questionnaire and the interaction in practical experimental activities during the sequence, it was possible to verify the students' motivation and interest in the subjects covered in each experiment. The product allowed the emergence of questions, raising hypotheses and debates about the observed phenomena associated with the behavior of light.

**Keywords:** Physics teaching. Meaningful Learning. Experimentation. Optics. Modern physics. Nature of Light.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Sistema usado para gerar uma onda eletromagnética	25
Figura 2 - Variação do campo elétrico e do campo magnético	25
Figura 3 - Uma onda eletromagnética representada por um raio e duas frentes de onda	26
Figura 4 - O espectro eletromagnético	28
Figura 5 - Um filtro polaroide é iluminado por luz natural não polarizada	30
Figura 6 - A luz transmitida pelo filtro polarizador P1 está polarizada verticalmente	31
Figura 7 - Representação do Princípio de Huygens	32
Figura 8 - Ondas planas difratando ao passar pelo orifício do anteparo	33
Figura 9 – Propagação da luz na interface entre dois materiais diferentes	34
Figura 10 - Como os arco-íris são formados	37
Figura 11 - Reflexão interna total	39
Figura 12 - Formação do máximo central de difração entre os dois primeiros mínimos	40
Figura 13 - Um segmento de uma rede de difração de transmissão	42
Figura 14 - Representação da montagem de Young para a interferência com luz solar	43
Figura 15 - Os raios que partem de ambos os elementos difratores	43
Figura 16 - Ilustração simplificada da interferência construtiva das ondas	44
Figura 17 - Ilustração simplificada da interferência destrutiva das ondas	45
Figura 18 - Duas fontes F1 e F2 emitem ondas eletromagnéticas harmônicas	45
Figura 19 - Interferência entre raios refletidos nas duas superfícies	46
Figura 20 - A interferência também ocorre nas bolhas de sabão	47
Figura 21 - Montagem usada para produzir ondas eletromagnéticas	48
Figura 22 - O efeito fotoelétrico	49
Figura 23 - Efeito da dispersão da luz em um prisma de vidro	57
Figura 24 - Montagem do experimento pelos alunos	59
Figura 25 - Prisma de vidro com água para o experimento de dispersão da luz	59
Figura 26 - A luz do laser sofre reflexão total no fluxo de água	60
Figura 27 - Montagem do experimento de reflexão total com garrafa PET e canudinho	62
Figura 28 - A água da garrafa PET flui pelo canudinho, ao incidir a luz do laser	62
Figura 29 - Cuba de água com ondas sofrendo difração	63
Figura 30 - Travessa de vidro com água para o experimento dos fenômenos de difração	65
Figura 31 - A perturbação na água em dois pontos gera ondas	65

Figura 32 - Raio de luz do laser passando pelo fio de cabelo	66
Figura 33 - Alunos preparando o experimento	67
Figura 34 - Experimento montado para a verificação dos fenômenos ondulatórios da luz	68
Figura 35 - Verificação dos fenômenos ondulatórios de difração da luz	68
Figura 36 - Um CD exposto a uma luz natural de vela	69
Figura 37 - Algumas fontes de luz para este experimento e a película retirada do CD	70
Figura 38 - Cada fonte de luz tem determinados comprimentos de ondas ou frequências	71
Figura 39 - Cores em filmes finos	72
Figura 40 - Alunos montando o experimento	73
Figura 41 - Película de sabão sofrendo interferências	73
Figura 42 - Experimento feito baseado nas experiências de Hertz	75
Figura 43 - Alunos montando o experimento de Hertz	76
Figura 44 - Construção do experimento com as quatro hastes de fio de cobre rígidos	76
Figura 45 - Celular que receberá a ligação sendo embrulhado em papel alumínio	77
Figura 46 - Celular fazendo a ligação e celular embrulhado	79
Figura 47- Película polarizada retirada da tela de um celular sem uso	79
Figura 48 - Filtro polarizador de tela de celular	81
Figura 49 - Ao rotacionar o filtro diante da tela do computador	81
Figura 50 - Material fosforescente excitado por uma lâmpada de luz negra	82
Figura 51 - Materiais fluorescentes sendo excitados com lâmpada de luz negra	84
Figura 52 - Aluna interagindo com caneta de material fluorescente	84
Figura 53 - Os lasers vermelho e verde estão sendo incididos no material fosforescente	85
Figura 54 - O laser azul/roxo tem energia suficiente para excitar os átomos	85
Figura 55 - Experimento do eletroscópio para demonstrar o efeito fotoelétrico	86
Figura 56 - Alunos montando o experimento	88
Figura 57 - Montagem do eletroscópio com pote plástico, fio de cobre	88
Figura 58 - O canudinho atritado com o papel toalha fica carregado com cargas negativas	89
Figura 59 - Ao posicionar uma lâmpada de luz negra de radiação ultravioleta	89
Figura 60 - Circuito esquemático do experimento	90
Figura 61 - Circuito montado conforme esquema da Figura 37	92
Figura 62 - Ao acionar o botão do controle remoto o fototransistor libera a corrente	93
Figura 63 - Copo com água e um pincel exemplificando o efeito de refração	97

## **LISTA DE TABELAS**

Tabela 1 - Etapa I da Sequência Didática	54
Tabela 2 - Etapa II da Sequência Didática	55
Tabela 3 – Sobre o Experimento da Figura 23	57
Tabela 4 – Sobre o Experimento da Figura 26	60
Tabela 5 – Sobre o Experimento da Figura 29	63
Tabela 6 – Sobre o Experimento da Figura 32	66
Tabela 7 – Sobre o Experimento da Figura 36	69
Tabela 8 – Sobre o Experimento da Figura 39	72
Tabela 9 – Sobre o Experimento da Figura 42	74
Tabela 10 – Sobre o Experimento da Figura 45	77
Tabela 11 – Sobre o Experimento da Figura 47	79
Tabela 12 – Sobre o Experimento da Figura 50	82
Tabela 13 – Sobre o Experimento da Figura 55	86
Tabela 14 – Sobre o Experimento da Figura 60	90

## **LISTA DE GRÁFICOS**

Gráfico 1 – Gráfico com as porcentagens de respostas satisfatórias dos alunos	99
Gráfico 2 - Gráfico com as porcentagens de respostas satisfatórias dos alunos	101
Gráfico 3 - Gráfico com as porcentagens de respostas satisfatórias dos alunos	104
Gráfico 4 - Gráfico com as porcentagens de respostas satisfatórias dos alunos	107

# SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>14</b>
<b>2 REFERENCIAL TEÓRICO .....</b>	<b>18</b>
2.1 APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA .....	18
2.2 SEQUÊNCIA DIDÁTICA .....	19
2.3 ATIVIDADE EXPERIMENTAL .....	21
<b>3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....</b>	<b>24</b>
3.1 O QUE É A LUZ? .....	24
3.2 ONDAS ELETROMAGNÉTICAS.....	25
3.3 POLARIZAÇÃO.....	31
3.4 PRINCÍPIO DE HUYGENS - FRENTE DE ONDA.....	34
3.5 REFLEXÃO E REFRAÇÃO .....	35
3.6 DIFRAÇÃO E INTERFERÊNCIA.....	41
3.7 EFEITO FOTOELÉTRICO.....	50
<b>4. DESENVOLVIMENTO DA SEQUÊNCIA DIDÁTICA.....</b>	<b>54</b>
4.1 ETAPA I.....	58
4.1.1 OBJETIVOS DA ETAPA I.....	58
4.1.2 EXPERIÊNCIA 1 - DISPERSÃO DA LUZ COM O PRISMA .....	59
4.1.3 EXPERIÊNCIA 2 - REFRAÇÃO, REFLEXÃO TOTAL DA LUZ E FIBRA .....	61
4.1.4 EXPERIÊNCIA 3 - CUBA DE ÁGUA PARA FENÔMENOS DE DIFRAÇÃO.....	64
4.1.5 EXPERIÊNCIA 4 - INTERFERÊNCIA E DIFRAÇÃO COM FIO DE CABELO ....	67
4.1.6 EXPERIÊNCIA 5 – DIFRAÇÃO DA LUZ USANDO UM CD .....	70
4.1.7 EXPERIÊNCIA 6 - INTERFERÊNCIA EM BOLHA DE SABÃO.....	73
4.2 ETAPA II.....	76
4.2.1 OBJETIVOS DA ETAPA II .....	76
4.2.2 EXPERIÊNCIA 7 - EXPERIMENTO DE HERTZ, ONDAS .....	76
4.2.3 EXPERIÊNCIA 8 - BLOQUEAR ONDAS COM PAPEL ALUMÍNIO .....	79
4.2.4 EXPERIÊNCIA 9 - FILTROS DE LUZ, POLARIZAÇÃO DE ONDAS.....	81
4.2.5 EXPERIÊNCIA 10 - PRODUTOS FLUORESCENTES E FOSFORESCENTE .....	84

4.2.6 EXPERIÊNCIA 11 - ELETROSCÓPIO E O EFEITO FOTOELÉTRICO .....	87
4.2.7 EXPERIÊNCIA 12 - OUVINDO O CONTROLE REMOTO.....	92
<b>5 APLICAÇÃO DA SEQUÊNCIA DIDÁTICA .....</b>	<b>96</b>
5.1 ETAPA I.....	98
5.1.1 CONHECIMENTOS PRÉVIOS .....	98
5.1.2 QUESTIONÁRIO FINAL - ENTENDIMENTO DOS ALUNOS.....	101
5.2 ETAPA II.....	103
5.2.1 CONHECIMENTOS PRÉVIOS .....	103
5.2.2 QUESTIONÁRIO FINAL - ENTENDIMENTO DOS ALUNOS.....	106
<b>6 CONCLUSÃO.....</b>	<b>111</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>113</b>

## 1 INTRODUÇÃO

O ensino de Ciências, especificamente o ensino de Física no Brasil vem sendo questionado por estar longe da realidade do aluno, mostrando com isso um certo desânimo com relação aos conteúdos ensinados (LIMA, 2016). Segundo Montai e Laburú (2005) constata-se uma falta de conexão entre o conhecimento prévio, a teoria apresentada na sala de aula e a realidade do aluno. Os Parâmetros Curriculares Nacionais orientam os professores o seguinte:

Na Educação Básica, a área de Ciências da Natureza deve contribuir com a construção de uma base de conhecimentos contextualizada, que prepare os estudantes para fazer julgamentos, tomar iniciativas, elaborar argumentos e apresentar proposições alternativas, bem como fazer uso criterioso de diversas tecnologias. O desenvolvimento dessas práticas e a interação com as demais áreas do conhecimento favorecem discussões sobre as implicações éticas, socioculturais, políticas e econômicas de temas relacionados às Ciências da Natureza (BRASIL, 1999).

Ao estudar conteúdos de Física o aluno deveria ser capaz de questionar e interagir sobre os temas, formulando hipóteses através de suas concepções prévias para confrontar saberes advindos de conhecimentos cotidianos (ROSA, 2012). Mas isso não vem ocorrendo, muitas vezes o conteúdo é explicado e o aluno apenas assiste passivamente para depois resolver alguns exercícios, se não consegue resolver as questões acaba ficando desmotivado e perde o interesse. Segundo Moreira (1999) o estudante não terá interesse se não perceber a utilidade do conteúdo, se não enxergar o porquê estudar aquilo, ou seja, sua relação com o mundo, se não fizer sentido ou ter um significado. O ensino mecânico e abstrato, sem relevância futura ou o ritmo de ensino monótono também contribuem para esse desinteresse.

Uma alternativa para termos melhores resultados no ensino de Física é criar situações que despertem a curiosidade, desafiem e agucem os conflitos cognitivos no aluno sobre a compreensão dos fenômenos estudados (AMARAL, 1997). Essas situações podem ser diversas e cabe ao professor ter a criatividade para explorá-las, a atividade experimental é uma delas. O experimento simples e acessível em sala de aula pode favorecer o interesse dos estudantes, proporcionando a participação, a aprendizagem e a relação com o cotidiano (LIMA, 2016). Segundo Borges (2002) a atividade experimental permite mobilização, no lugar de passividade, e proporciona ao estudante manuseio dos objetos e conexão com os símbolos. O aluno poderá através de atividades experimentais relacionar conteúdos que por meio de aprendizagem mecânica não conseguiria entendê-los, elas podem assumir papel fundamental na promoção de aprendizagens significativas. É importante valorizar propostas alternativas de ensino que

demonstram potencialidade da experimentação através das relações teóricas e práticas nos processos de conhecimento escolar (ZANON, 2000).

Existem algumas diferentes concepções de atividades experimentais, que envolvem diferentes concepções de aprendizagem, que trarão diferentes papéis ao estudante, ao professor, ao conhecimento e à atividade experimental. Pode-se ter, por exemplo, atividade experimental considerada como uma ilustração da teoria, ou como uma estratégia de descoberta individual, ou ainda para introduzir os alunos nos processos científicos (FERREIRA, 1978).

Tratar-se-á de três modelos de concepções de atividades experimentais envolvendo a aprendizagem e o ensino de ciências. No primeiro caso temos aulas teóricas separadas de aulas práticas. Neste temos um modelo de aprendizagem onde os alunos são sujeitos passivos, receptores de conhecimento que o professor já possui. O principal objetivo é verificar leis e teorias que não são questionáveis. O professor, o livro didático e a teoria são considerados como argumentos de autoridade e contêm a verdade. Esse modelo envolve a transmissão e recepção de conhecimentos já elaborados. No segundo caso se tem o aluno como um ser capaz de reconstruir o conhecimento científico de forma individual e autônoma, através de interações com o meio. Seu conhecimento é construído individualmente baseado na intuição e no senso comum. Esse é um caso de experimentação concebida como estratégia de descoberta. Já no terceiro caso, os alunos podem desenvolver habilidades relacionadas ao fazer ciência, onde se tem aulas introdutórias do conteúdo, e as aulas práticas se destinam a introduzir métodos científicos ao aluno. Esse é um modelo em que a experimentação é a base para introduzir os alunos nos processos de ciência. Nesse processo baseado em etapas e regras, supõe-se que é possível abstrair o conteúdo conceitual.

Diante das concepções de atividade experimental apresentadas, Amaral (1997) coloca que a atividade experimental está inserida em um contexto epistemológico-pedagógico, sendo que a atividade experimental, o contexto epistemológico e o contexto pedagógico são vértices de um mesmo triângulo. Amaral (1997) também destaca a clareza do significado e do papel da experimentação, tanto no processo científico como no pedagógico. Para que se possa definir o que priorizar numa situação de ensino, se é a experimentação em si, o fenômeno que ela envolve ou o conhecimento formal é necessário estabelecer o modelo de experimentação que se pretende usar. Para o autor, o modelo deve funcionar como estratégia de conhecimento formal, em que a realidade é problematizada para que o estudante perceba a relação entre a manifestação natural e a artificial do fenômeno estudado. O modelo deve abranger imprecisões metodológicas e a incerteza de resultados obtidos, o que favorece o desenvolvimento do espírito investigativo do

estudante e a percepção do caráter provisório, não pronto, nem acabado do conhecimento formalizado.

O tema escolhido neste trabalho é sobre o comportamento da luz dentro dos conteúdos de óptica e física moderna. Para Bassalo (1986, 1987 e 1989); Caruso e Oguri (2006), a investigação da evolução histórica do conceito de luz deve apontar que o mesmo foi modificado por diversas vezes, assim como não exclui a possibilidade de futuras adaptações. A luz é a razão do surgimento e manutenção da vida em nosso planeta, e sua aplicabilidade já se estende por várias áreas do conhecimento como Medicina, Engenharia, Artes, Perícia Criminal, etc. O seu estudo histórico percorre fatos interessantes de dilemas e desencontros até a definição de onda-partícula.

Para Silva e Martins (2010), a História e Filosofia da Ciência podem contribuir para uma melhor caracterização de aspectos relativos à natureza da ciência. A importância de se estudar o comportamento da luz pode ser sintetizada no fragmento do texto de A História da Luz de Alfredo Roque Salvetti (2008, p. 10):

Qual a importância da luz para o universo? A teoria do “*Big Bang*” considera que a, aproximadamente, quinze bilhões de anos atrás o universo tinha um tamanho extremamente reduzido e uma temperatura muito alta, então ocorreu uma explosão. No primeiro segundo, à medida que o universo se expandia, a temperatura baixava para algo em torno de dez bilhões de graus, nessa ocasião ele continha algumas espécies de partículas e LUZ!

A sociedade é tão dependente da luz e suas aplicações que seu conhecimento se torna importante, não somente como conhecimento conceitual de uma disciplina, mas também para a cultura humana. Segundo Gircoreano (apud Araújo; Braga; Killner, 2015, p.2):

O estudo do comportamento da luz é um dos mais presentes no mundo moderno através da comunicação por fibras ópticas, televisão de LCD e plasma, sensores de presença, entre outros, o que evidencia a importância de aprimorar sua conceituação na educação básica, não somente na física moderna, mas também na física clássica, pois esta última ainda tem grande importância no conhecimento científico.

Essa importância pode explicar o porquê de a luz ser objeto de estudos de artigos, dissertações e teses relacionadas ao ensino de física. Assim, pode-se observar diversos enfoques e propostas. Tais como estudos apresentados por Pereira (2011), que em sua dissertação, utilizou elementos de história e filosofia da ciência para o estudo do comportamento da luz sem deixar de abordar a física moderna. Enquanto Silva (2009) fez um apanhado histórico sobre a teoria da luz de Newton nos textos de Young. Já Silva e Kawamura (2001) fizeram uso de textos de divulgação científica em sala de aula para o estudo do comportamento da luz. Almeida (1996) que relacionou o conceito de luz com as representações realizadas pelos alunos do ensino

médio. Scarinci e Marineli (2014) que utilizaram o modelo ondulatório da luz para explicar as causas da cor. Também Rossi (2015) que propôs, em sua dissertação, um plano de atividades com o uso de um conjunto de simulações, como ferramenta complementar para o ensino de física aos alunos da rede estadual do estado de São Paulo. Moura (2016) que desenvolveu um conjunto de experimentos de óptica para serem aplicados em sala de aula. Vicovini (2000) montou um Kit de experimento de óptica com apontadores a Laser e ainda podemos encontrar artigos de revisão que apresentam estudos que tratam sobre a experimentação no ensino de óptica, como os de Araújo e Abib (2003) e Ribeiro e Verdeaux (2012).

Neste trabalho traremos uma proposta diferente dos trabalhos vistos anteriormente. Apresentamos neste trabalho uma proposta de sequência didática com alguns experimentos para tratar sobre o comportamento da luz. Este tema foi escolhido devido à dificuldade, pelos alunos da escola em que a proposta foi aplicada, em relacionar certos fenômenos envolvendo a luz como dispersão, refração, difração, interferência e efeito fotoelétrico. E para tratar desse assunto tão importante, foi desenvolvido com os alunos uma sequência didática, potencialmente significativa, de atividades experimentais. Nesta sequência foram realizadas etapas com o levantamento dos conhecimentos prévios, montagem, realização dos experimentos e questionário final. A proposta deste trabalho foi abranger o estudo da luz nas suas diferentes etapas históricas. A metodologia de sequência didática torna possível ao aluno analisar todo o processo desta construção e as atividades experimentais oferecem reflexão, análise e argumentação.

A luz foi investigada na Etapa I em suas propriedades de onda dentro dos conteúdos de óptica física e ondulatória como reflexão, refração, dispersão, difração e interferência, e na Etapa II os conceitos estudados foram as ondas eletromagnéticas, polarização, radiação, interação com a matéria além do efeito fotoelétrico e comportamento corpuscular da luz estudados em Física Moderna. Após os experimentos tanto na Etapa I como na Etapa II, o aluno fez um questionário final para discussão com a classe dos conteúdos aprendidos. A avaliação da sequência foi feita através da interação do aluno nos experimentos, as indagações e questionamentos, comparação entre conhecimentos prévios e questionário final e descrição do que ele aprendeu no final da sequência.

Os experimentos para este conteúdo têm como objetivo desenvolver no aluno a percepção de comportamento dual da luz, os fatores históricos que levaram a essa conclusão e as aplicações no cotidiano tornando o assunto mais próximo da realidade dos alunos. Através de um roteiro de experimentos e pesquisas dirigidas, acreditamos que ao final os alunos terão

condições de discutir com propriedade os assuntos apresentados, embasada em suas observações, construída através da interação de atividades experimentais.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA

Membro de uma família de origem judaica emigrada da Europa, David Paul Ausubel estudou na Universidade de Nova York e desenvolveu em seu país um importante trabalho profissional e teórico como psicólogo da educação escolar. Ele fez conhecer o mais importante de seus estudos na década de 60, em trabalhos como *Psicologia da Aprendizagem Verbal Significativa* (1963) e *Psicologia Educacional: Um Ponto de Vista Cognitivo* (1968).

Segundo Ausubel (1980, 2000) o fator isolado que mais influência na aprendizagem é aquilo que o aprendiz já sabe, ou seja, conceitos já existentes. Para ele, aprendizagem é organização das novas informações e integração do novo material na estrutura cognitiva do aprendiz. Ausubel (2000) parte da premissa de que na mente do indivíduo há uma estrutura na qual a organização e a integração da informação se processam: é a estrutura cognitiva, entendida por este, como o conteúdo total de ideias de um indivíduo e sua organização, ou o conteúdo e a organização de suas ideias, em uma determinada área de conhecimento. Portanto, a aprendizagem significativa ocorre quando novos conceitos, ideias, informações, interagem com outros conhecimentos relevantes e inclusivos, claros e disponíveis na estrutura cognitiva do aprendiz, sendo por eles assimilados, contribuindo para sua diferenciação, elaboração e estabilidade. Ou seja, novos conhecimentos são associados a conhecimentos pré-existentes. Para Moreira (2013), a aprendizagem significativa se caracteriza pela interação entre conhecimentos prévios e conhecimentos novos, e essa interação não é literal e nem arbitrária. Ou seja, além de ser capaz de fazer essa associação, o aprendiz deve apresentar disposição para aprender.

Nesse processo, os conhecimentos prévios adquirem novos significados ou maior estabilidade cognitiva. Ainda de acordo com Moreira (2013) este conhecimento que o aluno já possui é relevante à nova aprendizagem, Ausubel chamava de *subsunçor* ou “*ideia-âncora*”. Em termos simples, *subsunçor* é o nome que se dá a um conhecimento específico, existente na estrutura de conhecimentos do indivíduo, que permite dar significado a um novo conhecimento que lhe é apresentado ou por ele descoberto. Esses *subsunçores* vem de experiências que o aprendiz já teve. Neste trabalho foi desenvolvido um questionário inicial para verificar os conhecimentos já existentes dos alunos sobre os fenômenos relacionados à luz. É fundamental identificar o conhecimento prévio do educando, se fosse possível isolar uma única variável

como sendo a que mais influência novas aprendizagens, esta variável seria o conhecimento prévio, os subsunçores (MOREIRA 2013).

Para o ensino de Física é muito importante o professor trazer a contextualização, situação problema ou algum outro envolvimento que possa despertar no aluno esses subsunçores. Segundo Moreira (2013) existem duas condições para a aprendizagem significativa: o material de aprendizagem deve ser potencialmente significativo e o aprendiz deve apresentar uma predisposição para aprender.

A primeira condição implica que o material de aprendizagem (livros, aulas, aplicativos) tenha significado lógico (isto é, seja relacionável de maneira não-arbitrária e não-literal a uma estrutura cognitiva apropriada e relevante) e a segunda que o aprendiz tenha em sua estrutura cognitiva ideias-âncora relevantes com as quais esse material possa ser relacionado. Quer dizer, “o material deve ser relacionável à estrutura cognitiva e o aprendiz deve ter o conhecimento prévio necessário para fazer esse relacionamento de forma não-arbitrária e não-literal” (MOREIRA. p. 11. 2013).

Mas o que faz com que um aluno mostre maior ou menor disposição para aprender? Para Santos (2008) é um misto de condições que pertencem ao universo do aluno e a própria situação de ensino, ao “contexto físico” da aprendizagem, que é resultante da pré-disposição do professor em promover uma aprendizagem superficial ou profunda. Quanto mais elementos o professor trazer para sua aula mais significativa esta será para o aluno.

## 2.2 SEQUÊNCIA DIDÁTICA

De acordo com Zabala (1998), quando se fala de sequências didáticas pode-se pensar em duas coisas diferentes. De um lado se tem o sentido mais comum, mais prosaico da palavra, que afeta todo professor, ou seja, todo professor quando entra numa sala de aula, tem planejado o que vai fazer, e esse fazer com os alunos obviamente segue uma determinada sequência que será didática. Então dessa perspectiva toda aula tem uma sequência didática a ser seguida. Quando se fala em sequência didática como instrumento pedagógico na formação educacional dos alunos, não é propriamente a este sentido que se refere, se fala de um instrumento específico de organizar os tempos e espaços do professor. É um tempo um pouco menor que aquele que levaria em um projeto pedagógico e um tempo maior do que uma aula. Trata-se de um conjunto de aulas que estabelece uma determinada organização interna a partir do começo ao seu fim.

Esse conjunto de aulas funcionam na verdade como se fossem uma única aula, tendo como objetivo atingir um determinado objetivo pedagógico, um desenvolvimento de

determinadas competências e habilidades que obviamente uma ou duas aulas não seriam possíveis. Por isso a sequência didática deve ser pensada como um conjunto, deve ser pensada de onde está e aonde se quer chegar, e nesse percurso, o que irá fazer, de quantas aulas será preciso para atingir os objetivos propostos. Dessa maneira, as diferentes partes da sequência didática se harmonizam entre si, se constituem solidariamente entre si para que o estudante tenha de fato essa sensação de algo coesivo que está acontecendo, algo unido, mas que ao mesmo tempo ele perceba o progredir da sua aprendizagem. Por isso a sequência didática tem sido dividida em várias maneiras para atender os mais variados públicos. O professor para atender os diversos ritmos de aprendizagem de seus alunos, conteúdos variados, realizar atividades que sejam ricas, significativas, precisa planejar atividades diversas. Então essas atividades integradas e organizadas sequencialmente, tendem a culminar na, segundo Leal (2012), aprendizagem de um conceito, um fenômeno, habilidade ou conjunto de conceitos/habilidades de um campo de saber.

Segundo Zabala (1998) as sequências seriam uma série ordenada e articulada de atividades que formam unidades didáticas. A sequência didática é definida como “um conjunto de atividades ordenadas, estruturadas e articuladas para a realização de certos objetivos educacionais, que têm um princípio e um fim conhecidos tanto pelos professores como pelos alunos.”

O autor acrescenta que o objetivo da sequência didática deve ser de:

[...] introduzir nas diferentes formas de intervenção aquelas atividades que possibilitem uma melhora de nossa atuação nas aulas, como resultado de um conhecimento mais profundo das variáveis que intervêm do papel que cada uma delas tem no processo de aprendizagem dos meninos e meninas. (ZABALA 1998, p.54)

Neste trabalho foi pensado em cada fase da sequência didática, nessas fases, foi possível apresentar o projeto e os objetivos que os alunos precisariam alcançar. Partindo para a produção inicial e com base no tema a ser estudado, os alunos responderam a um questionário daquilo que eles já sabiam sobre o assunto. Foi o momento para a exposição dos conhecimentos prévios, foi preciso fazer esse diagnóstico, para organização de todas as atividades que foram programadas. As etapas ajudaram na trajetória entre o que os alunos já sabiam e o novo conteúdo a ser aprendido.

Cada atividade foi pensada para que eles alcançassem os objetivos e ao final os novos conceitos fizessem sentido. Cada professor ao trabalhar uma sequência didática saberá se os alunos alcançaram todos os objetivos, se eles produziram o que precisavam produzir através do acompanhamento, das interações, debates, diário de bordo e avaliação final. Pode-se considerar,

que ao planejar uma sequência didática é de grande importância o papel do professor e o papel do aluno, a organização para os agrupamentos, a organização dos conteúdos, a organização do tempo e espaço, a organização dos recursos didáticos e avaliação (OLIVEIRA, 2013).

### 2.3 ATIVIDADE EXPERIMENTAL

As atividades experimentais no ensino de ciências e conseqüentemente no ensino de física, são incentivadas por documentos nacionais como os Parâmetros Curriculares Nacionais (PCN), que traz dentro das questões de como ensinar física, além da contextualização, e de trazer os conteúdos para a realidade do aluno, é a experimentação:

É indispensável que a experimentação esteja sempre presente ao longo de todo o processo de desenvolvimento das competências em Física, privilegiando-se o fazer, manusear, operar, agir, em diferentes formas e níveis. É dessa forma que se pode garantir a construção do conhecimento pelo próprio aluno, desenvolvendo sua curiosidade e o hábito de sempre indagar, evitando a aquisição do conhecimento científico como uma verdade estabelecida e inquestionável (BRASIL, 1999).

Os Parâmetros Curriculares Nacionais ainda propõem que o ensino de ciências deve propiciar ao educando “compreender as ciências como construções humanas, entendendo como elas se desenvolvem por acumulação, continuidade ou ruptura de paradigmas, relacionando o desenvolvimento científico com a transformação da sociedade” (BRASIL, 1999, p. 107).

Segundo Borges (2002), a construção do conhecimento no ensino de ciências passa não necessariamente por laboratórios estruturados com equipamento de última geração, até porque seria muito difícil na realidade de ensino público, mas sim em várias alternativas, como resolução de problemas contextualizados, simulações de computadores, desenhos, pinturas, encenações e teatro. As próprias experiências desenvolvidas em sala ou algum espaço escolar com materiais de baixo custo, propicia ao aluno interação com os conteúdos. A riqueza desse tipo de atividade está em propiciar ao estudante a oportunidade de trabalhar com coisas e objetos como se fossem outras coisas e objetos.

O professor pode buscar alternativas para que seus alunos tenham vivência em atividades experimentais. Porém, segundo Araújo e Abib (2003), é importante lembrar que as atividades experimentais fazem parte de uma construção do aprendizado e não o todo. O aluno deverá mediante as atividades propostas levantar hipóteses, discutir e argumentar. Uma aula experimental bem planejada de modo que faça sentido para o aluno poderá ter o efeito que Araújo e Abib (2003, p. 176) declaram:

[...] o uso de atividades experimentais (reais ou virtuais) como estratégia de ensino de Física tem sido apontado por professores e alunos como uma das

maneiras mais frutíferas de se minimizar as dificuldades de se aprender e de se ensinar Física de modo significativo e consistente.

As atividades experimentais investigativas representam uma estratégia para permitir que os alunos ocupem uma posição mais ativa no processo de construção do conhecimento e que o professor passe a ser mediador ou facilitador desse processo. O professor deve ter a capacidade de proporcionar a participação dos estudantes em todas as etapas da investigação. Suart e Marcondes (2008, p. 2) afirmam que:

[...] se o estudante tiver a oportunidade de acompanhar e interpretar as etapas da investigação, ele possivelmente será capaz de elaborar hipóteses, testá-las e discutidas, aprendendo sobre os fenômenos químicos estudados e os conceitos que os explicam, alcançando os objetivos de uma aula experimental, a qual privilegia o desenvolvimento de habilidades cognitivas e o raciocínio lógico.

Segundo Borges (2002), para que atividades experimentais sejam efetivas em facilitar a aprendizagem, deve ser cuidadosamente planejada, com objetivos pretendidos, recursos disponíveis e ideias prévias dos estudantes sobre os assuntos. Após a atividade experimental, recomenda-se a discussão dos resultados obtidos, bem como as limitações da atividade.

Com base nos Parâmetros Nacionais Curriculares (1999) pode-se pontuar o ensino de física no Brasil e a ausência de atividades experimentais a falta de equipamentos para desenvolver essas atividades, falta de locais adequados (laboratórios), em geral, a carga horária de física em escolas públicas é de 2 aulas semanais, o que os professores consideram insuficiente para se desenvolver atividades experimentais.

Segundo Araújo e Abib (2003) a realização de experimentos favorece o aprendizado, estimulando a problematizar e contextualizar o foco da experiência, exercita a curiosidade dos estudantes e leva a investigação, reflexão e resolução de problemas. Ajuda a desenvolver as habilidades e competências do estudante, leva à utilização de relações matemáticas para expressão do saber físico, ajuda a localizar e utilizar informações relevantes, desperta o interesse dos estudantes pelo estudo de ciências e suas aplicações e o aprender a aprender.

O importante nesse contexto é estar estimulando os estudantes em relação às atividades, para isso o professor poderá estar orientando os estudantes para trazerem materiais descartáveis para serem explorados em sala de aula. Se reunirem em grupos para discutir os conceitos envolvidos nos experimentos, cada grupo pode apresentar os resultados obtidos e fazer uma discussão com os demais grupos. Pesquisas adicionais podem ser apresentadas, os estudantes devem ser estimulados a compreender a física no mundo vivencial e nos equipamentos e procedimentos tecnológicos.

Os experimentos propostos nesta sequência didática têm por objetivo estimular e despertar a curiosidade do aluno pelo novo conteúdo, e ele ser protagonista da construção do seu conhecimento. Nesta sequência didática o aluno irá participar da montagem dos experimentos, trabalhando em grupo, argumentando e discutindo os resultados e levantando hipóteses. Após a realização dos experimentos o aluno poderá comparar seus conhecimentos prévios com os novos conhecimentos adquiridos e fazer análises e tirar conclusões.

### 3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

#### 3.1 O QUE É A LUZ?

James Clerk Maxwell mostrou que um raio luminoso é uma propagação, no espaço, de campos elétricos e magnéticos, ou seja, onda eletromagnética e, portanto, a óptica, estudo da luz visível, é um ramo do eletromagnetismo. Na época de Maxwell, no século XIX, a luz visível e os raios infravermelhos e ultravioleta eram as únicas ondas eletromagnéticas conhecidas. Inspirado pelas previsões teóricas de Maxwell, Heinrich Hertz descobriu o que chamamos hoje de ondas de rádio e observou que essas ondas se propagam à mesma velocidade que a luz visível. Posteriormente novas radiações foram descobertas dentro do chamado espectro eletromagnético, como as micro-ondas e os raios-x, que contribuíram muito para o descobrimento de novas tecnologias.

O comportamento ondulatório da luz, entretanto, não é suficiente para explicar tudo. Diversos efeitos associados à emissão e absorção da luz revelam um comportamento corpuscular, no sentido de que a energia transportada pela onda luminosa é concentrada em pacotes distintos conhecidos como fótons ou quanta. Os aspectos ondulatórios e corpusculares da luz aparentemente contraditórios foram conciliados pela mecânica quântica, uma teoria que explica simultaneamente essas duas propriedades. A propagação da luz pode ser mais bem descrita usando-se um modelo ondulatório, porém, para explicar a emissão e absorção da luz, é necessário considerar seu comportamento corpuscular.

Em 1905, Albert Einstein propôs que a radiação eletromagnética, que são cargas elétricas aceleradas, ou simplesmente a luz, seja quantizada, a quantidade elementar de luz recebe hoje o nome de fóton. O conceito de quantum de luz, ou fóton é muito sutil e misterioso, até hoje não é compreendido perfeitamente. Para Einstein, um quantum de luz de frequência  $f$  tem energia dada por  $hf$  em que  $h$  é a constante de Planck. A menor energia que uma onda luminosa de frequência  $f$  pode possuir é  $hf$ , a energia de um único fóton. Se a onda possui uma energia maior, esta deve ser um múltiplo inteiro de  $hf$ . Einstein propôs ainda que, sempre que a luz é absorvida ou emitida por um objeto, a absorção e emissão ocorre nos átomos do objeto. Quando um fóton de frequência  $f$  é absorvido por um átomo, a energia  $hf$  do fóton é transferida da luz para o átomo, um evento de absorção que envolve a aniquilação de um fóton. Quando um fóton de frequência  $f$  é emitido de um átomo, uma energia  $hf$  é transferida do átomo para a luz, um evento de emissão que envolve a criação de um fóton. Isso significa que os átomos de um corpo têm a capacidade de emitir e absorver fótons. Um experimento feito neste trabalho

utilizou materiais fosforescentes e luz laser para comprovar a interação da luz com a matéria. Foi possível observar o material fosforescente absorvendo a luz do laser azul/roxo, que tem uma frequência maior, ou seja, mais energética, emitindo luz.

### 3.2 ONDAS ELETROMAGNÉTICAS

As equações de Maxwell, propostas originalmente pelo grande físico escocês James Clerk Maxwell, relacionam os vetores campo elétrico  $\vec{E}$  e magnético  $\vec{B}$  e suas fontes, que são cargas e correntes elétricas, respectivamente. Estas equações resumem as leis de Coulomb, Gauss, Biot-Savart, Ampère e Faraday. Estas leis experimentais têm validade geral exceto a lei de Ampère, a qual se aplica apenas a correntes contínuas estacionárias. Maxwell mostrou que essas equações podem ser combinadas para fornecer uma equação de onda para os vetores campo elétrico e campo magnético. Tais ondas eletromagnéticas são geradas por cargas aceleradas, como cargas em uma corrente alternada em uma antena. Ondas eletromagnéticas foram produzidas pela primeira vez em laboratório por Heinrich Hertz em 1887. Maxwell mostrou que suas equações preveem a rapidez das ondas eletromagnéticas no espaço livre como

$$c = \frac{1}{\sqrt{\mu_0 \epsilon_0}} \quad (eq. 1)$$

onde  $\epsilon_0$ , a constante elétrica, é a constante que aparece nas leis de Coulomb e de Gauss, e  $\mu_0$ , a constante magnética, é a constante que aparece na lei de Biot-Savart e na lei de Ampère. Maxwell observou com grande entusiasmo a coincidência que a medida para a velocidade da luz é igual a  $1/\sqrt{\mu_0 \epsilon_0}$ , e Maxwell supôs corretamente que a luz é uma onda eletromagnética. Atualmente, o valor de  $c$  é definido como  $2,997\ 928\ 58 \times 10^8$  m/s, o valor de  $\mu_0$  é definido como  $4\pi \cdot 10^{-7}$  N/A<sup>2</sup>, e o valor de  $\epsilon_0$  é definido como  $8,854\ 187\ 817 \times 10^{-12}$  C<sup>2</sup>/N.m<sup>2</sup>.

As equações de Maxwell são:

Lei de Gauss

$$\oint_S E_n dA = \frac{1}{\epsilon_0} Q_{\text{dentro}} \quad (eq. 2)$$

Lei de Gauss para o magnetismo

$$\oint_S B_n dA = 0 \quad (eq. 3)$$

Lei de Faraday

$$\oint_C \vec{E} \cdot d\vec{l} = -\frac{d}{dt} \int_S B_n dA = -\int_S \frac{\partial B_n}{\partial t} dA \quad (\text{eq. 4})$$

Lei de Ampère

$$\oint_C \vec{B} \cdot d\vec{l} = \mu_0(I + Id), \text{ onde } Id = \varepsilon_0 \int_S \frac{\partial E_n}{\partial t} dA \quad (\text{eq. 5})$$

A lei de Gauss (eq. 2) diz que o fluxo do campo elétrico através de qualquer superfície fechada é igual a  $\frac{1}{\varepsilon_0}$  multiplicado pela carga líquida no interior da superfície. A lei de Gauss implica que o campo elétrico  $\vec{E}$  devido uma carga elétrica puntiforme varia inversamente com o quadrado da distância até a carga. Essa lei descreve como as linhas de campo elétrico saem de uma carga positiva e convergem para uma carga negativa. Sua base experimental é a lei de Coulomb. A lei de Gauss para o magnetismo (eq. 3) diz que o fluxo do campo magnético  $\vec{B}$  através de qualquer superfície fechada é zero. Esta equação descreve a observação experimental que as linhas de campo magnético não divergem de nenhum ponto no espaço nem convergem para nenhum ponto no espaço, isto é, ela implica que não existem polos magnéticos isolados. A lei de Faraday (eq. 4) diz que a circulação do campo elétrico  $\vec{E}$  em torno de qualquer curva fechada C é igual ao negativo da taxa de variação do fluxo do campo magnético  $\vec{B}$  através de qualquer superfície S limitada pela curva C, (S não é uma superfície fechada, logo o fluxo magnético através de S não é necessariamente zero). A lei de Faraday descreve como as linhas de campo elétrico circundam qualquer área através da qual o fluxo magnético está variando e relaciona o vetor campo elétrico  $\vec{E}$  à taxa de variação do vetor campo magnético  $\vec{B}$ . A lei de Ampère (eq. 5) modificada para incluir a corrente de deslocamento de Maxwell diz que a integral de linha do campo magnético  $\vec{B}$  em torno de qualquer superfície fechada C é igual a  $\mu_0$  multiplicado pela soma da corrente I através de qualquer superfície S limitada pela curva e da corrente de deslocamento Id, através da mesma superfície. Esta lei descreve como as linhas de campo magnético circundam uma área através da qual uma corrente ou uma corrente de deslocamento estão passando.

As ondas eletromagnéticas são produzidas quando cargas livres são aceleradas ou quando elétrons ligados aos átomos e moléculas fazem transições para estados de menor energia. Ondas de rádio, as quais têm frequências entre 550 e 1600 kHz para AM e entre 88 e 108 MHz para FM, são produzidas por correntes elétricas oscilando nas antenas de transmissão de rádio. A frequência das ondas emitidas é igual à frequência de oscilação das cargas.

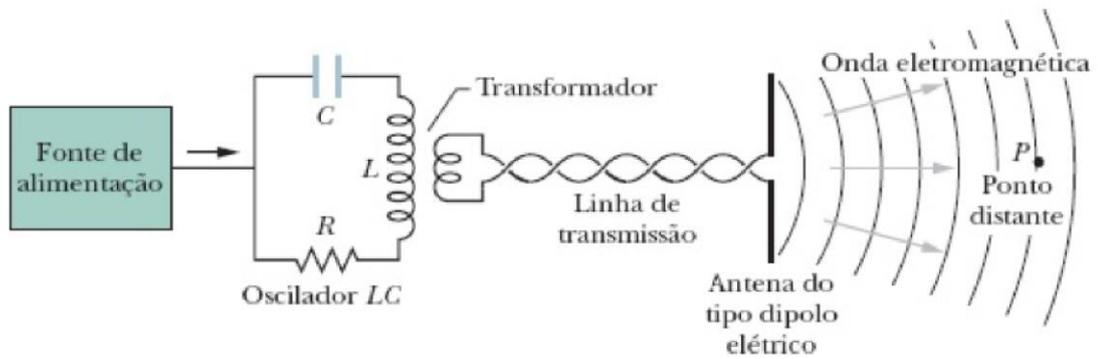


Figura 1- Sistema usado para gerar uma onda eletromagnética na região de ondas curtas de rádio do espectro eletromagnético, um oscilador  $LC$  produz uma corrente senoidal na antena, que gera a onda.  $P$  é um ponto distante no qual um detector pode indicar a presença da onda.

Fonte: Halliday, David, 1916-2010, Fundamentos de física, volume 4: óptica e física moderna

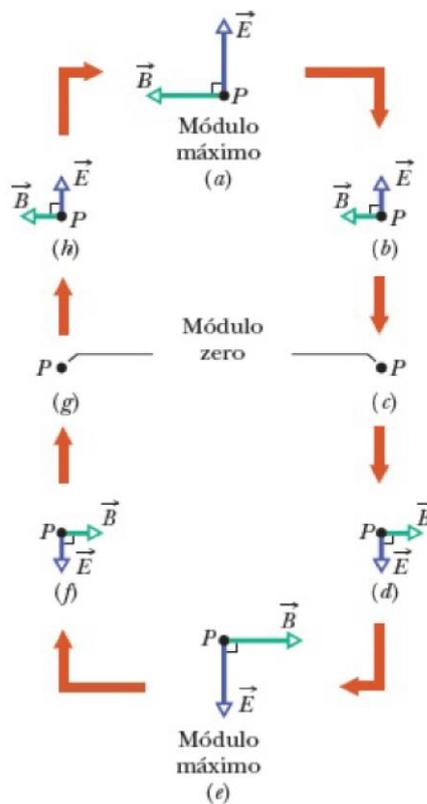


Figura 2 - Variação do campo elétrico e do campo magnético no ponto distante  $P$  da Fig. 1 quando um ciclo da onda eletromagnética passa pelo ponto. Nesta visão, a onda está se

propagando para fora do papel, perpendicularmente ao plano do desenho. O módulo e o sentido dos dois campos variam periodicamente. Note que o campo elétrico e o campo magnético são mutuamente perpendiculares e perpendiculares à direção de propagação da onda.

Fonte: Halliday, David, 1916-2010, Fundamentos de física, volume 4: óptica e física moderna

A Figura 3 mostra de que forma o campo elétrico e o campo magnético variam com o tempo quando a onda passa por um ponto distante P da Figura 1; em todas as partes da Figura 2, a onda está se propagando para fora do papel. Quando isso acontece, dizemos que a onda é uma onda plana, e a discussão do problema se torna muito mais simples. Várias propriedades importantes das ondas eletromagnéticas podem ser observadas na Figura 3; elas são sempre as mesmas, independentemente da forma como as ondas foram criadas.

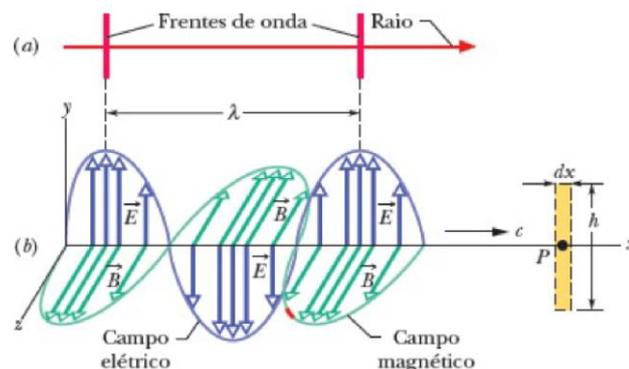


Figura 3 - Uma onda eletromagnética representada por um raio e duas frentes de onda; as frentes de onda estão separadas por um comprimento de onda  $\lambda$ . (b) A mesma onda, representada por um “instantâneo” do campo elétrico  $\vec{E}$  e do campo magnético  $\vec{B}$  em vários pontos do eixo x pelos quais a onda passa com velocidade  $c$ . No ponto P, os campos variam com o tempo da forma mostrada na Fig. 1. A componente elétrica da onda é constituída apenas por campos elétricos; a componente magnética é constituída apenas por campos magnéticos.

Fonte: Halliday, David, 1916-2010, Fundamentos de física, volume 4: óptica e física moderna

Os campos  $\vec{E}$  e  $\vec{B}$  são perpendiculares à direção de propagação da onda. Isso significa que a onda é uma onda transversal. O campo elétrico é perpendicular ao campo magnético. O produto vetorial  $\vec{E} \times \vec{B}$  aponta no sentido de propagação da onda. Os campos variam senoidalmente, como as ondas transversais. Além disso, variam com a mesma frequência e estão em fase. As

propriedades anteriores são compatíveis com uma onda eletromagnética que se propaga em direção a P no sentido positivo do eixo x, na qual o campo elétrico da Figura 3 oscila paralelamente ao eixo y, e o campo magnético oscila paralelamente ao eixo z (se estivermos usando, é claro, um sistema de coordenadas dextrogiro). Nesse caso, podemos descrever os campos elétrico e magnético por funções senoidais da posição x (ao longo do percurso da onda) e do tempo t:

$$E = E_m \text{sen}(kx - \omega t) \quad (\text{eq. 6})$$

$$B = B_m \text{sen}(kx - \omega t) \quad (\text{eq. 7})$$

em que  $E_m$  e  $B_m$  são as amplitudes dos campos e,  $\omega$  e  $k$  são a frequência angular e o número de onda, respectivamente. Observe que não só os dois campos constituem uma onda eletromagnética, mas cada campo, isoladamente, constitui uma onda. A componente elétrica da onda eletromagnética é descrita pela Equação 6, e a componente magnética é descrita pela Equação 7. As duas componentes não podem existir separadamente. Como mostra a Figura 2, uma onda eletromagnética pode ser representada por um raio (uma reta orientada que mostra a direção de propagação da onda), por frentes de onda (superfícies imaginárias nas quais o campo elétrico tem o mesmo módulo), ou das duas formas. As duas frentes de onda que aparecem na Figura 3 estão separadas por um comprimento de onda  $\lambda$ . (Ondas que se propagam aproximadamente na mesma direção formam um feixe, como o feixe de um laser ou de uma lanterna, que também pode ser representado por um raio.

Desenhos como os da Figura 3 ajudam a visualizar o que é na verdade uma situação muito complexa. Considere em primeiro lugar o campo magnético. Como está variando senoidalmente, o campo induz (de acordo com a lei de indução de Faraday) um campo elétrico perpendicular que também varia senoidalmente. Entretanto, como o campo elétrico está variando senoidalmente, ele induz (de acordo com a lei de indução de Maxwell) um campo magnético perpendicular que também varia senoidalmente, e assim por diante. Os dois campos criam continuamente um ao outro por meio da indução, e as variações senoidais dos campos se propagam como uma onda: a onda eletromagnética. Se esse fenômeno espantoso não existisse, não poderíamos enxergar; na verdade, como dependemos das ondas eletromagnéticas do Sol para manter a Terra aquecida, sem esse fenômeno não poderíamos existir.

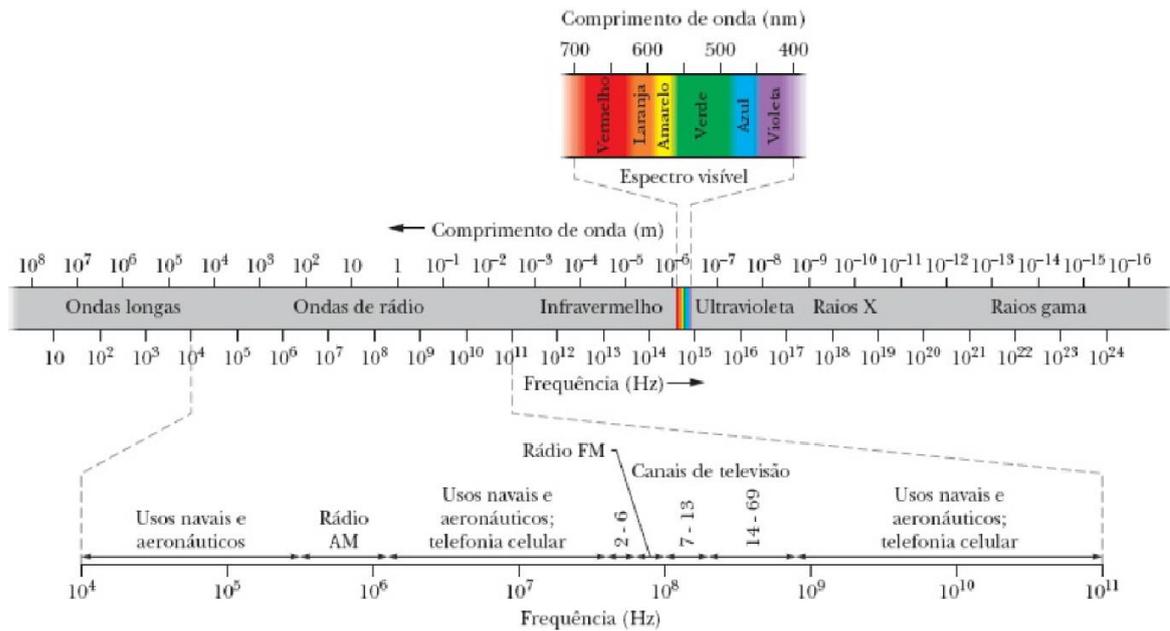


Figura 4 - O espectro eletromagnético.

Fonte: Halliday, David, 1916-2010, Fundamentos de física, volume 4: óptica e física moderna

Os vários tipos de ondas eletromagnéticas (por exemplo, as ondas de rádio e os raios gamas) diferem apenas em comprimento de onda e frequência (Figura 4), os quais estão relacionados de acordo com a equação  $c = \lambda f$ . A tabela lista o espectro eletromagnético e os nomes geralmente associados com os vários intervalos de frequências e comprimento de onda. Estes intervalos não são, em geral, bem definidos e, algumas vezes, se superpõem. Por exemplo, ondas eletromagnéticas com comprimentos de onda de aproximadamente 0,1 nm são normalmente chamadas de raio x, mas se as ondas eletromagnéticas tiverem origem na radioatividade nuclear, elas são chamadas de raio gama.

O olho humano é sensível à radiação eletromagnética com comprimentos de onda entre 400 e 780 nm, que é chamada de luz visível. Os menores comprimentos de onda da luz visível são os da luz violeta e os mais longos são os da luz vermelha. As ondas eletromagnéticas que têm comprimentos de onda menores que 400 nm, mas maiores que 10 nm (a região de raios x com maior comprimento de onda) são chamados de raios ultravioletas. Radiação no infravermelho tem comprimentos de ondas maiores que 780 nm, mas menores que 100 μm. O calor emitido por objetos a temperaturas no intervalo de temperatura ambiente está na região do infravermelho do espectro eletromagnético. Não há limites para os comprimentos de onda da radiação eletromagnética, isto é, todos os comprimentos de onda (ou frequências) são teoricamente possíveis. As diferenças em comprimentos de onda dos vários tipos de ondas

eletromagnéticas têm importantes consequências físicas. Sabe-se que o comportamento das ondas depende fortemente da relação entre o comprimento de onda e o tamanho dos objetos ou aberturas (orifícios) que as ondas encontram.

Como os comprimentos de onda da luz visível estão no estreito intervalo entre 400 e 780 nm, eles são muito menores do que a maioria dos obstáculos. Portanto, a aproximação de raios é geralmente válida. O comprimento de onda e a frequência também são importantes para determinar o tipo de interações entre as ondas eletromagnéticas e a matéria. Raios x, por exemplo, tem comprimentos de onda muito curtos e altas frequências. Eles penetram facilmente em muitos materiais que são opacos à ondas luminosas de menor frequência, que são absorvidas pelos materiais. As micro-ondas têm comprimentos de onda entre 1mm e 30 cm. Comprimentos de ondas nesse intervalo são usados para aquecer alimentos nos fornos de micro-ondas.

A principal característica deste aquecimento é as moléculas que têm momentos de dipolo muito grandes se alinham no campo elétrico da radiação e, portanto, as moléculas polares devem girar rapidamente para manterem-se alinhadas com o campo elétrico alternado. Estas moléculas girando rapidamente colidem com as moléculas da vizinhança, provocando o seu aquecimento. Bluetooth e outros protocolos sem fio de área local em rede usam comprimentos de ondas na região das micro-ondas. Dentro da sequência didática realizamos dois experimentos envolvendo ondas eletromagnéticas. A realização do experimento de Hertz, gerando ondas e a gaiola de Faraday bloqueando as ondas. Esses dois experimentos são capítulos importantes para o eletromagnetismo e para a construção do conhecimento sobre o comportamento da luz.

### 3.3 POLARIZAÇÃO

A polarização é uma característica de todas as ondas eletromagnéticas. Pela teoria das ondas eletromagnéticas de Maxwell, qualquer onda eletromagnética é uma onda transversal; os vetores campos elétricos e magnéticos oscilam em direções perpendiculares à direção de propagação da onda e em direções perpendiculares entre si. Sempre definiremos a direção de polarização de uma onda eletromagnética como a direção do vetor campo elétrico  $\vec{E}$ , (eq. 6) e não a direção de polarização do campo magnético, pois quase todos os detectores de ondas eletromagnéticas funcionam pela ação da força elétrica sobre os elétrons do material, e não pela ação da força magnética.

As ondas produzidas por uma emissora de rádio são, em geral, linearmente polarizadas. A antena vertical de um telefone celular emite ondas contidas em um plano

horizontal em torno da antena e que são polarizadas em uma direção vertical (paralela à antena). Para a luz visível, a situação é diferente. As fontes comuns, como uma lâmpada incandescente ou fluorescente, emitem luz que não é polarizada. As “antenas” que emitem ondas luminosas são as moléculas que constituem as fontes de luz. A luz emitida por uma única molécula pode ser linearmente polarizada como a onda emitida por uma antena de rádio. Contudo, qualquer fonte de luz contém um número extremamente grande de moléculas com orientações caóticas, de modo que a luz emitida inclui ondas polarizadas aleatoriamente em todas as direções transversais possíveis. Essa luz é chamada de luz natural ou luz não polarizada.

Para produzir um feixe de luz polarizada a partir de um feixe de luz natural, é necessário um filtro análogo ao filtro de fenda para ondas mecânicas (Figura 5). Os filtros usados para polarizar ondas eletromagnéticas apresentam diferentes detalhes de construção, que dependem do comprimento de onda. Para micro-ondas com comprimentos de onda da ordem de alguns centímetros, um bom filtro polarizador é uma grade de fios condutores próximos e paralelos, isolados entre si e igualmente espaçados. (Imagine uma grelha de churrasqueira com a moldura de ferro externa substituída por outra de material isolante.) Os elétrons podem se mover livremente ao longo dos fios em resposta a uma onda com um campo paralelo aos fios.

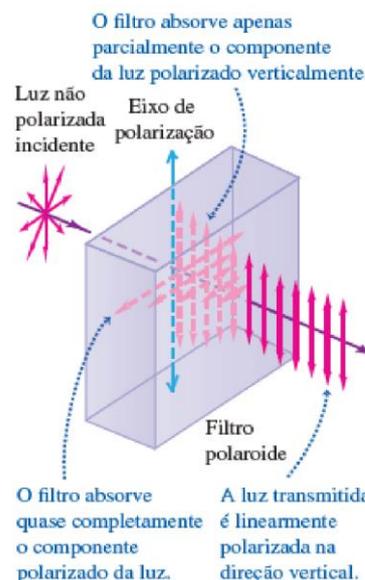


Figura 5 - Um filtro polaroide é iluminado por luz natural não polarizada (representada pelos vetores  $\vec{E}$  que apontam em todas as direções perpendiculares à direção de propagação). A luz transmitida é linearmente polarizada ao longo dos eixos de polarização (representada pelos vetores  $\vec{E}$  que apontam apenas na direção da polarização).

Fonte: Young, Hugh D. Física IV: Sears e Zemansky: ótica e física moderna

É possível transformar luz não polarizada em polarizada fazendo-a passar por um filtro polarizador. Quando temos dois filtros polarizadores considerando suas orientações relativas: Se as direções de polarização são paralelas, toda a luz que passa pelo primeiro filtro passa também pelo segundo (Figura 6). Porém, se as direções são perpendiculares (caso em que dizemos que os filtros estão cruzados), não passa nenhuma luz pelo segundo filtro.

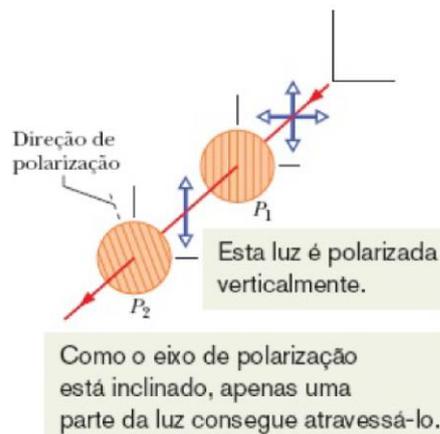


Figura 6 - A luz transmitida pelo filtro polarizador  $P_1$  está polarizada verticalmente, como indica a seta de duas cabeças. A quantidade de luz transmitida pelo filtro polarizador  $P_2$  depende do ângulo entre a direção de polarização de  $P_1$  e a direção de polarização de  $P_2$ , indicada pelas retas no interior do filtro e pela linha tracejada.

Fonte: Halliday, David, 1916-2010, Fundamentos de física, volume 4: óptica e física moderna

Quando a luz não polarizada é refletida em uma superfície plana separando dois meios transparentes, tal como ar e vidro ou ar e água, a luz refletida é parcialmente polarizada. O grau de polarização depende do ângulo de incidência e da razão entre as velocidades da onda nos dois meios. Para certo ângulo de incidência, chamado de ângulo de polarização  $\theta_p$ , a luz refletida é completamente polarizada. No ângulo de polarização, os raios refletidos e refratados são perpendiculares entre si. David Brewster (1781-1868), um cientista escocês e inventor de vários instrumentos (incluindo o caleidoscópio), descobriu este fato experimentalmente em 1812. O ângulo de polarização também é conhecido como ângulo de Brewster.

Devido a polarização da luz refletida, óculos de sol que contém uma lâmina polarizadora podem ser bastante efetivos na eliminação da reflexão direta de uma superfície. Se a luz é refletida a partir de uma superfície horizontal, tal como a superfície de um lago ou a

neve de um solo, o campo elétrico da luz refletida estará predominantemente na horizontal. Óculos de sol com polarizadores com eixo de transmissão na vertical diminuirão a reflexão através da absorção da luz refletida. Um dos experimentos deste trabalho é sobre filtros polarizadores, encontrados em telas de celulares, notebooks e televisores modernos. Durante o experimento foi possível verificar através de um filtro, a luz sendo polarizada.

### 3.4 PRINCÍPIO DE HUYGENS - FRENTE DE ONDA

O Princípio de Huygens pode ter sido motivado pela observação de ondas na superfície de um tanque de água (YOUNG, 2016). Dada uma frente de onda inicial, Huygens propõe uma construção geométrica para obter a frente de onda num instante posterior. Consideram-se todas as ondas secundárias emanadas de pontos da frente de onda inicial não obstruídos por obstáculos. A frente de onda no instante posterior considerado é a envoltória dessas ondas secundárias. A ideia básica de Huygens é que cada onda secundária isoladamente é demasiada fraca para produzir efeitos perceptíveis. Só produzem efeitos na envoltória  $\Sigma$ , porque sobre ela muitas ondas secundárias vizinhas se reforçam. Na Figura 7 apresentamos a ilustração de uma frente de onda em diferentes instantes de tempo  $t_1$  e  $t_2$ . Como cada ponto da frente de onda de onda, no instante  $T = t_1$ , comporta-se como uma fonte de ondas secundárias, com as mesmas características da fonte original, podemos traçar os círculos a partir de cada ponto, formando a frente de onda no instante  $T = t_2$ , que é a superfície tangente a todas as ondas secundárias formadas pelas fontes secundárias.

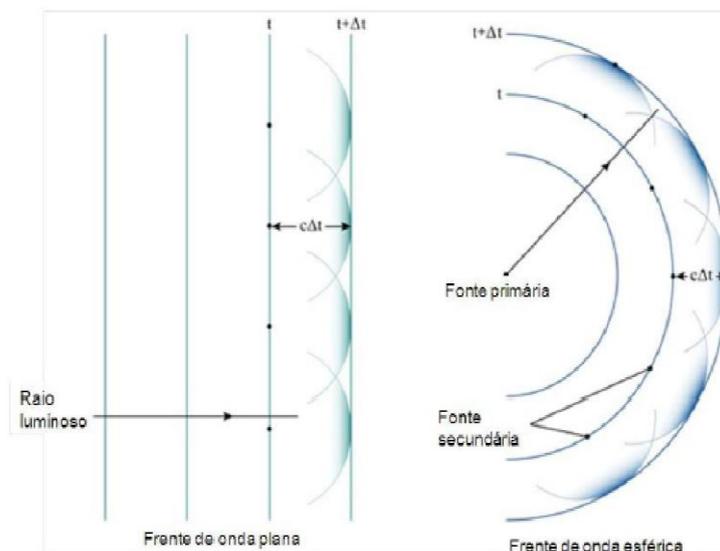


Figura 7 - Representação do Princípio de Huygens.

Fonte: Disponível em: <<http://webx.ubi.pt/~smogo/disciplinas/alunos/propagacao-luz.pdf>>. Acesso em: 25 nov. 2020.

Segundo Huygens, esse princípio permite prever o comportamento de uma onda quando esta encontra um obstáculo no seu caminho. De acordo com Huygens, a fenda pode ser considerada como uma fonte pontual de ondas secundárias que se propagam em todas as direções. Na figura 8 ilustramos esse efeito.

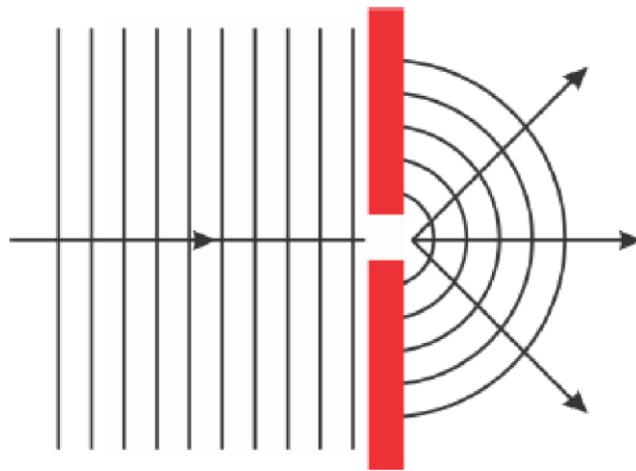


Figura 8 - Ondas planas difratando ao passar pelo orifício do anteparo.

Fonte: Disponível em: <<http://www.alunosonline.com.br/fisica/difracao.html>>. Acesso em: 25 nov. 2020.

### 3.5 REFLEXÃO E REFRAÇÃO

A hipótese de que a luz se propaga em linha reta, constitui frequentemente uma boa aproximação. O estudo das propriedades das ondas luminosas usando essa aproximação é chamado de óptica geométrica. Usaremos o modelo de raios luminosos para análise e estudo de dois importantes aspectos da propagação da luz: a reflexão e a refração (Figura 9). Quando uma onda de luz atinge uma superfície lisa separando dois meios transparentes (como o ar e o vidro ou a água e o vidro), em geral a onda é parcialmente refletida e parcialmente refratada (transmitida) para outro material.

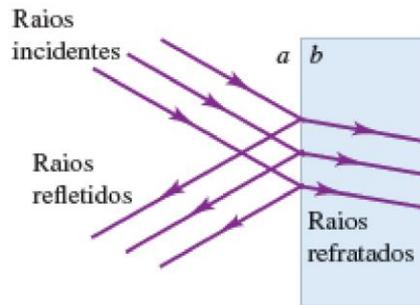


Figura 9 – Propagação da luz na interface entre dois materiais diferentes, como o ar (material a) e o do vidro (material b). No exemplo mostrado aqui, o material b possui um índice de refração maior que o do material a ( $n_b > n_a$ ), e o ângulo  $\theta_b$  é menor que  $\theta_a$ . Do raio incidente  $\theta_a$ , uma parte é refletida formando  $\theta_r$  e parte é refratado formando  $\theta_b$ .

Fonte: Young, Hugh D. Física IV: Sears e Zemansky: ótica e física moderna

Os segmentos de ondas planas podem ser representados por conjuntos de raios que formam feixes de luz conforme mostra a Figura 9. Simplificando, geralmente é desenhado somente um raio de luz em cada feixe. A representação dessas ondas por meios de raios é a base da óptica geométrica. A Figura 9 também mostra o comportamento de um único raio. As direções descritas dos raios incidentes e refletidos ocupam o mesmo plano e o mesmo ângulo  $\theta$ , os raios refratados em uma interface lisa separa dois meios transparentes com índices de refração diferentes. O índice de refração de um material é designado pela letra  $n$ , e é fundamental para a explicação de fenômenos na ótica geométrica:

$$n = \frac{c}{v} \quad (\text{eq. 8})$$

onde  $n$  é o índice de refração de um material,  $c$  é a velocidade da luz no vácuo e  $v$  é a velocidade da luz no material. A luz se propaga mais lentamente através de um material que no vácuo, portanto, o valor de  $n$  em qualquer meio material é sempre maior que 1, ou seja, no vácuo é considerado  $n = 1$ . A velocidade da onda é inversamente proporcional ao índice de refração  $n$  (eq. 8). Quanto maior for o índice de refração de um material, menor será a velocidade da onda nesse material. Como  $n$  é a razão entre duas velocidades, ele é um número puro sem unidades. Os experimentos em uma interface lisa entre dois meios ópticos conduziram às seguintes conclusões sobre reflexão e refração. Os raios incidente, refletido e refratado e a normal à superfície no ponto de incidência estão sobre um mesmo plano. Esse plano, chamado de plano de incidência, é perpendicular ao plano de interface entre dois materiais. Nos

diagramas são desenhados raios incidentes, refletido e refratado contidos no mesmo plano. O ângulo de reflexão  $\theta_r$  é igual ao ângulo de incidência  $\theta_a$  conforme Figura 9, para todos os comprimentos de onda e para qualquer par de materiais (eq. 9).

$$\theta_r = \theta_a \quad (\text{eq. 9})$$

onde  $\theta_r$  é o ângulo de reflexão medido a partir da normal, e  $\theta_a$  é o ângulo de incidência medido a partir da normal. Para a luz monocromática e para um determinado par de materiais, a e b, em lados opostos da interface, a razão entre o seno dos ângulos  $\theta_a$  e  $\theta_b$  (eq. 10) e (eq. 11), em que os dois ângulos são medidos a partir da normal à superfície, é igual ao inverso da razão entre os dois índices de refração:

$$\frac{\text{sen}\theta_a}{\text{sen}\theta_b} = \frac{n_b}{n_a} \quad (\text{eq. 10})$$

ou

$$n_a \cdot \text{sen}\theta_a = n_b \cdot \text{sen}\theta_b \quad (\text{eq. 11})$$

onde  $n_a$  é o índice de refração para materiais com luz incidente,  $n_b$  é o índice de refração para materiais com luz refratada,  $\text{sen}\theta_a$  é o ângulo de incidência medido a partir da normal, e  $\text{sen}\theta_b$  é o ângulo de refração medido a partir da normal. Esse resultado, com a observação de que os raios incidente e refratado e a normal à superfície no ponto de incidência estão todos sobre o mesmo plano, constitui a chamada lei de Snell, em homenagem ao cientista holandês Willebrord Snell (1591-1626). Essa lei pode ser deduzida teoricamente para um raio que passa de um material a para um material b que tenha um índice de refração maior ( $n_b > n_a$ ) e, conseqüentemente, uma velocidade de onda menor, o ângulo  $\theta_b$  com a normal no segundo material é menor que o ângulo  $\theta_a$  com a normal no primeiro material; logo o raio se desvia aproximando-se da normal. A lei da refração explica por que uma régua parcialmente submersa na água ou um canudo em um copo de suco parece dobrado, a luz proveniente da parte submersa muda de direção quando atravessa a interface ar-água, dando a impressão de que os raios estão vindo de uma posição acima de seu ponto de origem real, um efeito semelhante explica a aparência do sol poente. As leis da reflexão e refração se aplicam independentemente do lado da interface de onde provém o raio incidente. A trajetória seguida por um raio refratado é reversível, ou seja, quando vai de a para b, ele segue o mesmo caminho de b para a. Como o raio refletido forma com a normal o mesmo ângulo do raio incidente, a trajetória do raio refletido também é reversível. É por isso que, quando você vê os olhos de uma pessoa em um

espelho, ela também vê você. A frequência  $f$  da onda não varia quando ela passa de um material para outro. Ou seja, o número de ciclos que chega por unidades de tempo deve ser igual ao mesmo número que sai por unidade de tempo, isso decorre a constatação de que uma superfície de contorno não pode criar nem destruir uma onda. O índice de refração depende não só da substância, mas também do comprimento de onda da luz. Essa dependência denomina-se dispersão. O comprimento de onda  $\lambda$  da luz geralmente é diferente quando a onda passa de um material para outro. Isso porque, para qualquer material,  $v = \lambda f$ , como  $f$  em qualquer material é a mesma que no vácuo e a velocidade é sempre menor que a velocidade  $c$  no vácuo, o valor de  $\lambda$  também fica reduzido de modo correspondente. Logo o comprimento de onda  $\lambda$  da luz em um material é menor que o comprimento de onda  $\lambda$  da mesma luz no vácuo.

Para a teoria corpuscular da luz, as leis da reflexão e refração tem explicação? Sim, para a reflexão a teoria corpuscular diz que se uma bola de tênis sofre uma reflexão elástica no solo, a componente vertical de sua velocidade se inverte, sem que a componente horizontal se altere, o que implica na igualdade entre o ângulo de reflexão e o de incidência (eq. 12) e (eq. 13). Já a explicação corpuscular da refração determina que uma bola de tênis que penetra do ar na água, irá desviar sua trajetória se afastando da normal, e isso implica na equação:

$$\frac{\text{sen}\theta_a}{\text{sen}\theta_b} = \frac{n_b}{n_a} \quad (\text{eq. 12})$$

$$n_{ab} = \frac{v_b}{v_a} \quad (\text{eq. 13})$$

ou seja, a velocidade da luz deveria ser maior na água do que no ar ( $n_{ab} > 1$ ). Já na teoria ondulatória temos

$$\frac{\text{sen}\theta_a}{\text{sen}\theta_b} = \frac{v_a}{v_b} \quad (\text{eq. 14})$$

$$n_{ab} = \frac{v_a}{v_b} \quad (\text{eq. 15})$$

conforme a teoria ondulatória, a velocidade da luz na água deve ser menor do que no ar (eq. 14) e (eq. 15). Em 1850, Foucault e Fizeau (Young, 2016) mediram as velocidades da luz no ar e na água, e mostraram que a velocidade na água é menor que no ar, o que foi considerado como um argumento decisivo em favor da teoria ondulatória.

O índice de refração  $n$  para a luz em qualquer meio, exceto o vácuo, depende do comprimento de onda. Assim, se um feixe luminoso é formado por raios de luz de diferentes comprimentos de onda, o ângulo de refração é diferente para cada raio, ou seja, a refração espalha o feixe incidente. Esse espalhamento da luz é conhecido como dispersão monocromática, em a que palavra “dispersão” se refere ao espalhamento da luz de acordo com o comprimento de onda, e a palavra “cromática” se refere às cores associadas aos diferentes comprimentos de onda (Figura 10).

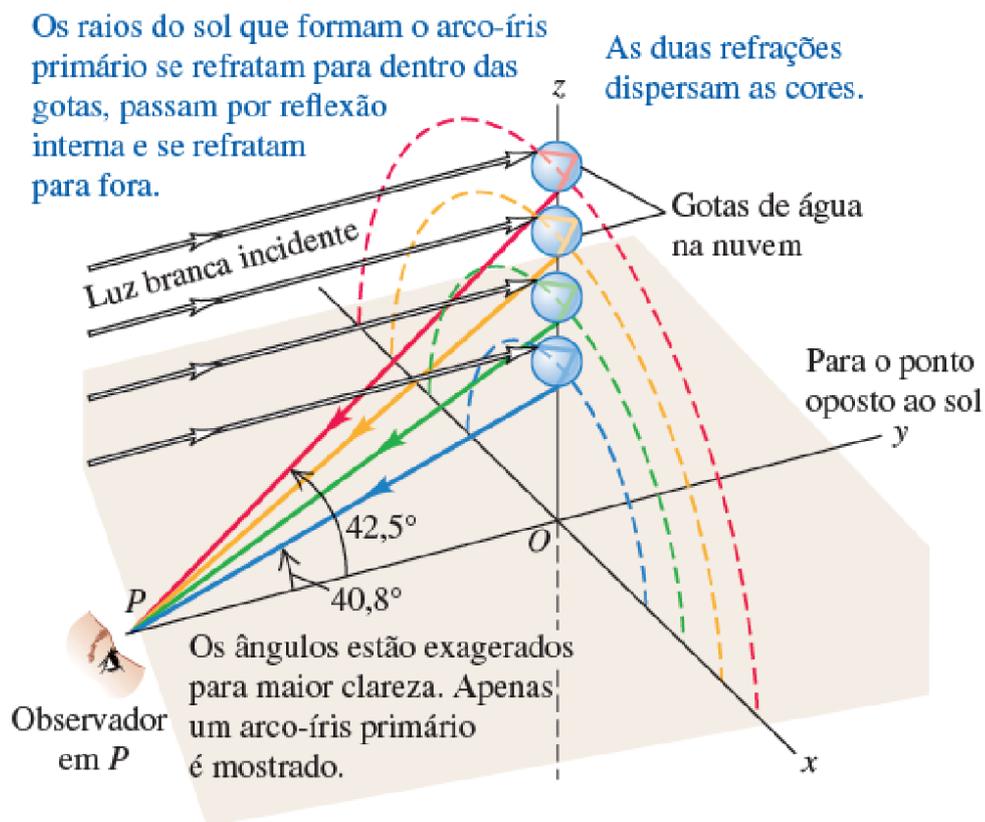


Figura 10 - Como os arco-íris são formados. Formando um arco-íris. O sol nesta ilustração está diretamente atrás do observador em P.

Fonte: Young, Hugh D. Física IV: Sears e Zemansky: ótica e física moderna

Um feixe de luz branca possui raios de todas as cores do espectro visível, com intensidades aproximadamente iguais. Quando observamos um feixe desse tipo, não vemos as cores separadamente, mas temos a impressão de que associamos à luz branca. O desvio (mudança de direção) produzido pelo prisma (qualquer sólido transparente, limitado por faces planas não paralelas, capaz de separar em feixes coloridos um feixe de luz branca nele incidente, ou capaz de desviar a luz) se eleva com o aumento do índice de refração e frequência e com a

diminuição do comprimento de onda. Assim, a luz violeta sofre o maior desvio e a luz vermelha é a que se desvia menos, as demais cores sofrem desvios entre esses dois extremos. Quando a luz emerge do prisma, ela se espalha e as cores são separadas conforme a Figura 10.

Dizemos que a luz sofre dispersão e forma um espectro. A quantidade de dispersão depende da diferença entre o índice de refração da luz violeta e o índice de refração da luz vermelha. Nessa sequência didática fizemos o experimento da dispersão da luz com um recipiente de vidro em formato geométrico de prisma e água. Ao posicionar o recipiente sob a luz solar foi possível observar o fenômeno do arco-íris e a dispersão das cores.

Um outro efeito interessante dentro desse estudo é a reflexão interna total de um raio luminoso. Se um raio emana de um meio com índice de refração maior para um menor, ele é parcialmente refletido e parcialmente refratado, porém conforme é alterado o ângulo de incidência, todos os raios refratados não perpendiculares à interface serão desviados para longe da normal (Figura 11). À medida que o ângulo de incidência aumenta, o ângulo de refração também aumenta até que um ângulo crítico de incidência  $\theta_c$  seja atingido, para qual o ângulo de refração é  $90^\circ$  (eq. 9). Para ângulos de incidência maiores que o ângulo crítico, não existe raio refratado. Todo raio de luz é refletido. Esse ângulo pode ser obtido pela equação

$$\text{sen}\theta_c = \frac{n_b}{n_a} \quad (\text{eq. 9})$$

onde,  $\text{sen}\theta_c$  é o ângulo crítico para a reflexão interna total,  $n_b$  é o índice de refração do segundo material e  $n_a$  é o índice de refração do primeiro material. Uma aplicação extremamente importante da reflexão total é a propagação da luz em fibras ópticas. Por exemplo um cilindro transparente de vidro, onde em suas paredes os ângulos de incidência são superiores ao ângulo crítico, a luz propaga-se dentro da fibra por reflexões totais sucessivas. A fibra funciona como um guia de ondas para a luz, permitindo transmiti-la a grandes distâncias com perdas extremamente pequenas, o que é usado em telefonia e internet. Fibras ópticas são também usadas em vários instrumentos médico cirúrgicos. Outro experimento deste trabalho foi sobre a reflexão total da luz no fluxo de água saindo de uma garrafa PET. Foi possível ver a luz acompanhando o fluxo de água até seu final, um exemplo de como funcionam as fibras ópticas.

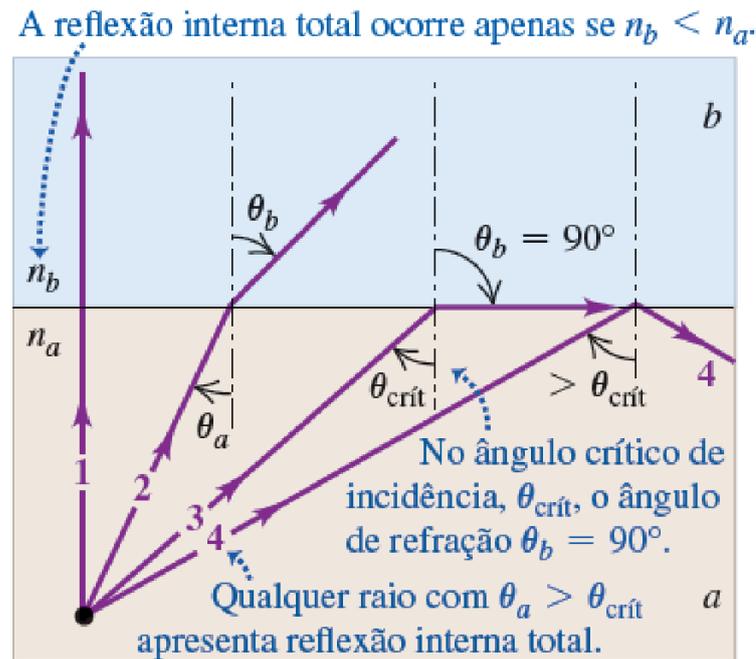


Figura 11 - Reflexão interna total. O ângulo de incidência para o qual o ângulo de refração é igual a  $90^\circ$  denomina-se ângulo crítico; isso ocorre no caso do raio 3. Para maior clareza, as partes refletidas dos raios 1, 2 e 3 não são mostradas.

Fonte: Young, Hugh D. Física IV: Sears e Zemansky: ótica e física moderna

### 3.6 DIFRAÇÃO E INTERFERÊNCIA

O fenômeno de difração da luz foi observado pelo físico e matemático Francesco Maria Grimaldi (1618-1663), no século XVII. A difração observada por Grimaldi ocorre quando a luz contorna obstáculos ou quando passa por uma fenda estreita produzindo um feixe divergente. No entanto, a explicação da difração só foi realizada por Fresnel em 1817, através da sua teoria matemática para a difração da luz baseada na hipótese ondulatória de Huygens, quando ganhou o prêmio oferecido pela Academia de Ciências de Paris. 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 (veja a figura 15, fora de escala). Vamos observar como na interferência, uma sequência de faixas claras e escuras, um pouco diferente, pois temos apenas uma fenda. O padrão de interferência observado para duas fendas era constituído por faixas iguais claras e escuras e o tamanho das fendas foi considerado de tamanho infinitesimal, ideal, de largura praticamente zero. O padrão agora da difração é composto por uma faixa clara larga no meio, de frente a fenda, depois faixas menos intensas e mais estreitas e assim

sucessivamente faixas claras e escuras. Na figura 12 temos essa situação, onde o tamanho da fenda está representado pela letra  $b$ , a distância entre a fenda e o anteparo, letra  $L$  e a diferença de caminho percorrido pelas ondas, letra  $\Delta$  (delta).

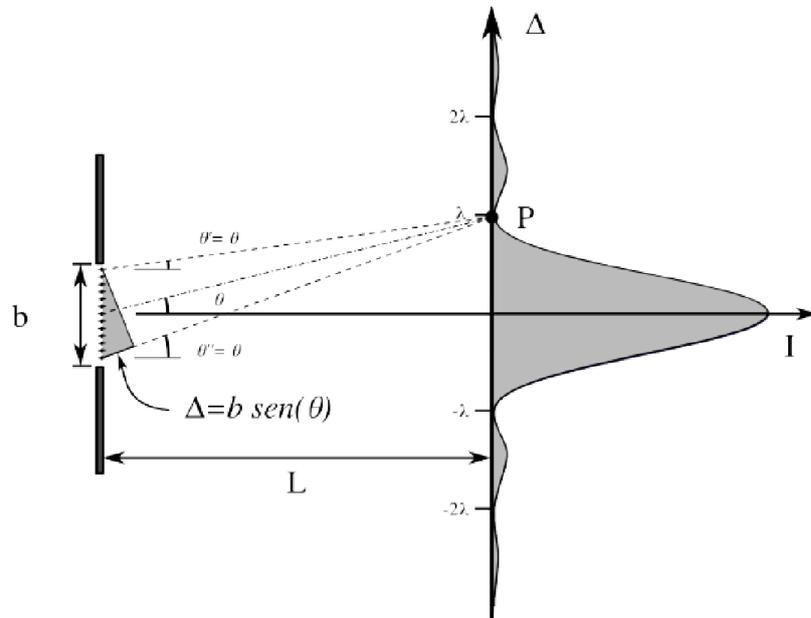


Figura 12 - Formação do máximo central de difração entre os dois primeiros mínimos.

Fonte: Disponível em: <<http://www.physicsoftheuniverse.com/dates.html>>. Acesso em: 25 nov. 2020.

Note que agora temos uma fenda com certa largura que vamos levar em consideração, ou seja, a fenda possui uma largura finita. O que vamos pegar é cada ponto da fenda e usar o princípio de Huygens e supor que cada ponto da fenda seja uma fonte de ondas secundárias naquele ponto e analisar a interferência.

Na verdade, temos duas aproximações para tratar o problema de difração. Quando as dimensões são da ordem do comprimento de onda da luz, aí temos a difração de Fresnel, mas se o obstáculo está suficientemente longe para que possamos usar a aproximação de raios paralelos, trata-se da difração de Fraunhofer. Nossa discussão é restrita à difração de Fraunhofer. Aqui estamos supondo que  $L$  seja muito maior que a largura da fenda ( $L \gg b$ ), então  $\theta' = \theta'' = \theta$ .

O ângulo  $\theta$  para o qual aparecem as regiões escuras (mínimos) no anteparo pode ser determinado por:  $\Delta = b \cdot \sin(\theta) = n \cdot \lambda$ , (sendo  $b$  a largura da fenda,  $\lambda$  o comprimento de onda da luz e  $n = \pm 1, \pm 2, \pm 3 \dots$ ). A posição de um mínimo ( $y$ ) é dada pela equação  $y = \tan(\theta) \cdot L$  ou por  $y = n \cdot \lambda \cdot L / b$  para o ângulo  $\theta$  suficientemente pequeno, menor que  $5^\circ$  podemos fazer  $\sin(\theta) \approx \tan(\theta)$ ,

onde  $L$  é a distância da fenda ao anteparo e  $y$  é a distância do máximo central ao primeiro mínimo.

Portanto, temos como resultado uma figura que conjuga um padrão de difração e logo podemos perceber que a relação que envolve a ordem das franjas é semelhante a relação de interferência, com um detalhe sutil, para uma diferença de fase equivalente a um comprimento de onda temos agora interferência destrutiva, enquanto na interferência com duas fendas foi justamente o contrário e vice-versa. E por que essa diferença?

Os dois fenômenos são parecidos pois estamos somando ondas, mas na interferência somamos em geral duas ondas apenas, estamos olhando para as fontes individuais. Enquanto que na difração observamos as contribuições de um número infinito de ondas que estão uniformemente distribuídas em fase desde  $\pi$  a  $2\pi$  ( $0^\circ$  a  $360^\circ$ ). A soma que fazemos neste caso é aplicando a integral que ao final dá um resultado inesperado, pois estamos somando infinitas contribuições, por isso a diferença na ordem das franjas. Onde a diferença de caminho equivale um comprimento de onda temos na figura de difração uma região de ausência de luz, que é a interferência destrutiva e na região iluminada uma diferença de caminho de meio comprimento de onda, o que não era esperado.

Então podemos concluir que realmente são dois fenômenos semelhantes, mas não iguais. Se voltarmos no experimento da dupla fenda na interferência e levarmos em consideração as suas dimensões, vamos ter os dois fenômenos acontecendo ao mesmo tempo, o resultado é que alguns máximos de interferências são eliminados pelos mínimos de difração, ou seja, as franjas de interferências contidas dentro da envoltória da difração, mas no geral temos que levar em consideração os dois fenômenos acontecendo ao mesmo tempo. E se aumentarmos o número de fendas?

Aí teremos uma rede ou grade de difração, cujo padrão de difração resultante é igual à interferência da fenda dupla de Young (Figura 13), com a diferença de que com o aumento do número de fendas os máximos tornam-se estreitos e mais intensos e entre dois máximos existe mais de um mínimo. Neste trabalho comparamos em dois experimentos os fenômenos ondulatórios de difração e interferência na água e num feixe de luz. Através de um experimento em uma cuba d'água vimos esses fenômenos, e com a incidência de um feixe de luz do laser em um fio de cabelo, verificamos os mesmos fenômenos de difração e interferência.

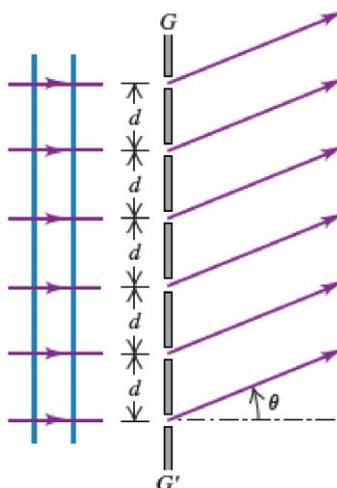


Figura 13 - Um segmento de uma rede de difração de transmissão. A distância entre os centros de fendas adjacentes é  $d$ .

Fonte: Young, Hugh D. Física IV: Sears e Zemansky: ótica e física moderna

Uma ferramenta amplamente usada para medida de comprimento de onda da luz é a rede de difração que consiste em um grande número de linhas ou fendas igualmente espaçadas em uma superfície plana. Uma rede como esta pode ser feita através de ranhuras paralelas e igualmente espaçadas em uma placa de vidro ou metálica com uma máquina de precisão. Com uma rede de difração, a luz é difratada pelas saliências entre as linhas ou ranhuras. Discos fonográficos e CD's exibem algumas das propriedades das redes de difração. Em uma rede de transmissão, a luz passa através de espaçamentos entre as ranhuras. Redes plásticas de baixo custo, produzidas opticamente, com 10 000 fendas ou mais por centímetro, são itens comuns em laboratórios de ensino. O espaçamento entre as fendas em uma rede que tem 10 000 fendas por centímetro é  $d = (1 \text{ cm}) / 10\,000 \text{ fendas} = 10^{-4} \text{ cm}$ . Realizamos neste trabalho um experimento com um CD e algumas fontes de luz. Verificamos através da rede de difração do CD, os diversos comprimentos de ondas dessas fontes, que enxergamos como cores.

Um efeito caracteristicamente ondulatório, encontrado quando ondas se superpõem, é o efeito de interferência. As experiências de interferência mais simples são feitas com luz monocromática (Figura 14), por exemplo, luz amarela de vapor de sódio, correspondendo a uma frequência angular de oscilação  $\omega$  fixa.

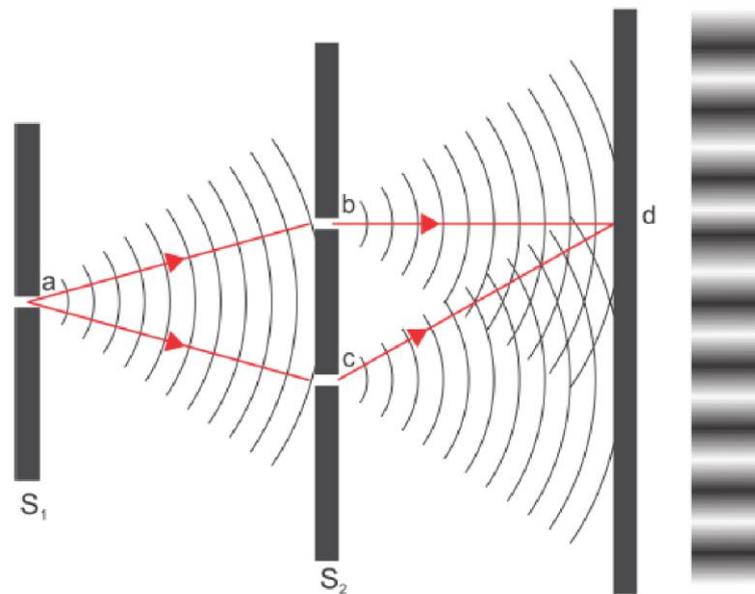


Figura 14 - Representação da montagem de Young para a interferência com luz solar onde, a, b e c são orifícios.

Fonte: Disponível em: <<http://www.physicsoftheuniverse.com/dates.html>>. Acesso em: 25 nov. 2020.

Para calcular o comprimento de onda da luz, através da experiência de fenda dupla, Young idealizou os percursos de dois raios de luz ( $d_1$  e  $d_2$ ) que partem das fontes ( $F_1$  e  $F_2$ ) e atingem o ponto P a uma distância  $y$  do eixo central. A figura 15 mostra tal situação.

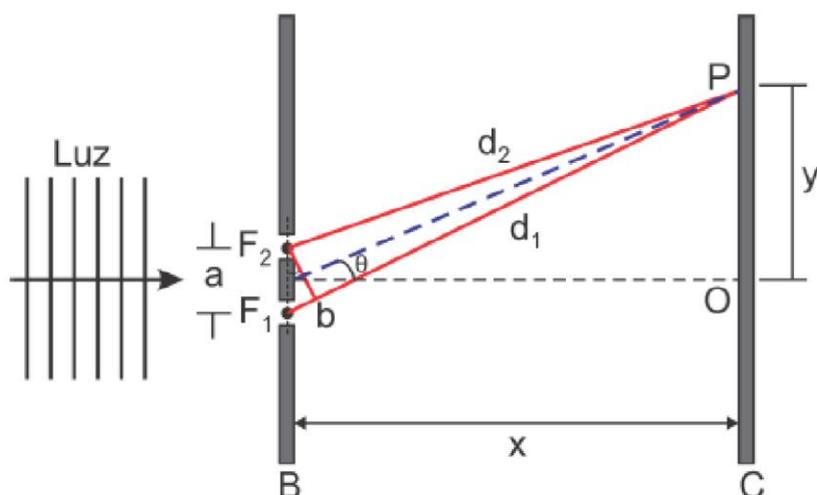


Figura 15 - Os raios que partem de ambos os elementos difratores, fontes  $F_1$  e  $F_2$ , se superpõem na tela C, pois percorrem caminhos ópticos diferentes ( $d_1$  e  $d_2$ ) até o ponto P, distante na medida  $y$  do ponto O.

Fonte: Disponível em: <<http://www.physicsoftheuniverse.com/dates.html>>. Acesso em: 25 nov. 2020.

Nesse fenômeno estamos considerando as fontes pontuais, ou seja, o tamanho das fendas 1 e 2, por onde passa a luz, foram consideradas ideais, de larguras desprezíveis, pois senão, de acordo com Huygens, entre as fendas temos infinitas fontes de ondas, aí teremos outro fenômeno que é a difração.

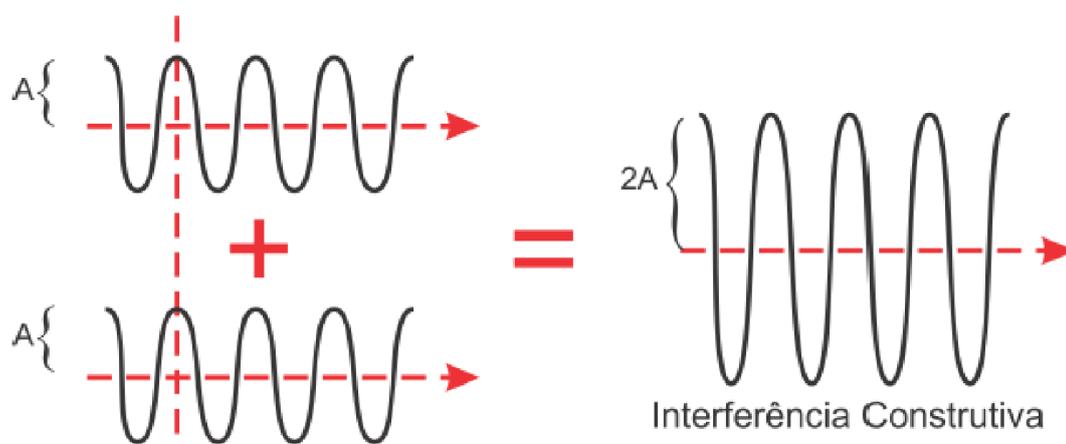


Figura 16 - Ilustração simplificada da interferência construtiva das ondas eletromagnéticas linearmente polarizadas ao longo da mesma direção.

Fonte: Disponível em: <<http://www.physicsoftheuniverse.com/dates.html>>. Acesso em: 25 nov. 2020.

As fontes estão separadas por uma distância  $x$  do anteparo  $C$  e os raios de luz ( $d_1$  e  $d_2$ ) percorrem distâncias distintas, cuja diferença de comprimento é  $F_{1b}$  (Figuras 14 e 15). Esta diferença produz um padrão de claros e escuros, ondas em fases e em oposição de fases que geram interferências construtivas (franjas claras) ou destrutivas (franjas escuras). O tipo de interferência depende da distância percorrida pelas duas ondas. As figuras 16 e 17 ilustram esses efeitos.

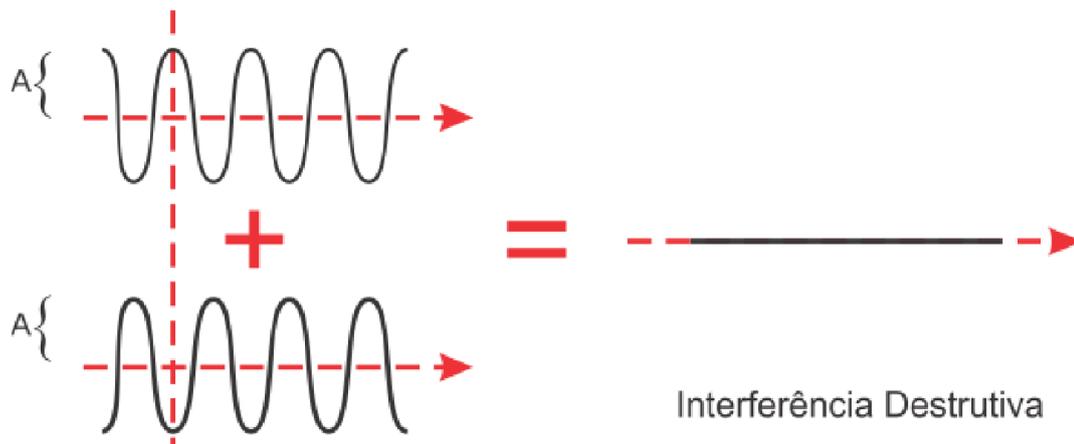


Figura 17 - Ilustração simplificada da interferência destrutiva das ondas eletromagnéticas linearmente polarizadas ao longo da mesma direção.

Fonte: Disponível em: <<http://www.physicsoftheuniverse.com/dates.html>>. Acesso em: 25 nov. 2020.

Em geral, o efeito de superposição das ondas num ponto do espaço é determinado pela diferença entre as fases das duas ondas com que elas chegam a esse ponto. A diferença de fase é usualmente introduzida através da diferença de caminhos. Se duas ondas harmônicas idênticas e em fase fossem emitidas por duas fontes  $F_1$  e  $F_2$ , elas sofreriam interferência em um ponto qualquer  $P$  do espaço e dependerá da diferença entre as distâncias  $d_1$  e  $d_2$  que as ondas percorrerem a partir das suas fontes até um ponto qualquer do espaço dado pela figura 18.

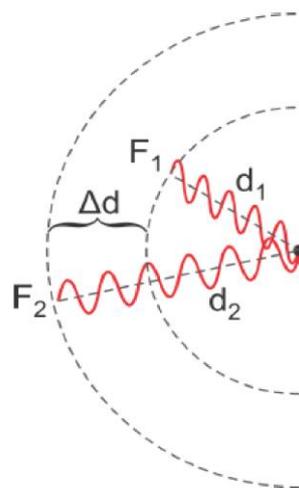


Figura 18 - Duas fontes  $F_1$  e  $F_2$  emitem ondas eletromagnéticas harmônicas idênticas e em fase.

Fonte: Disponível em: <<http://www.physicsoftheuniverse.com/dates.html>>. Acesso em: 25 nov. 2020.

A figura 18 permite entender de maneira simples, se a diferença dos caminhos for  $d_2 - d_1 = n\lambda$ , ( $n = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$ ) onde  $n$  é um número inteiro (ordem da franja) e  $\lambda$  o comprimento de onda, a onda oscilará com amplitude dobrada num ponto qualquer, isto é, ocorrerá interferência construtiva neste ponto, franja clara, que é um ponto de brilhante. Por outro lado, se a diferença for  $d_2 - d_1 = (n + 1/2)\lambda$  teremos interferência destrutiva, e no ponto  $P$  a onda resultante será nula, que corresponde a franja escura, que é ausência de luz. Claro que estamos fazendo aproximações, por exemplo, como a distância entre o anteparo e as fendas é muito grande quando comparadas com a distância entre as fendas ( $X \gg d$ ) podemos considerar que os raios  $PF_1$  e  $PF_2$  são praticamente paralelos conforme a figura 11, portanto no triângulo formado, podemos fazer que  $d_2 - d_1 = a \cdot \sin(\theta)$ . A intensidade das franjas depende da energia de cada fonte que foi redistribuída no anteparo, umas regiões têm mais e outras têm menos energia, a interferência não destrói nem cria energia.

Para que se observe a interferência, porém, é essencial, segundo Young, que as duas porções de luz assim combinadas, sejam originárias da mesma fonte, isto é, que provenham da mesma frente, de onda incidente. Essa condição foi empregada quando admitimos que  $P_1$  e  $P_2$  oscilam em fase. Ela está associada à ideia de coerência. As franjas também podem ser observadas com luz incidente branca, como a luz solar. Nesse caso, a franja central é branca, mas as laterais são coloridas, cada cor do espectro produz uma figura com espaçamento diferente, e as cores observadas resultam da superposição dessas figuras. Só aparece um número limitado de franjas nesse caso, pois longe do centro muitas figuras desigualmente espaçadas, e de cores diferentes se superpõem.

A luz refletida nas superfícies superior e inferior da película encontra-se no olho no ponto  $P$  e sofre interferência.

Algumas cores interferem construtivamente e outras destrutivamente, criando as faixas coloridas.

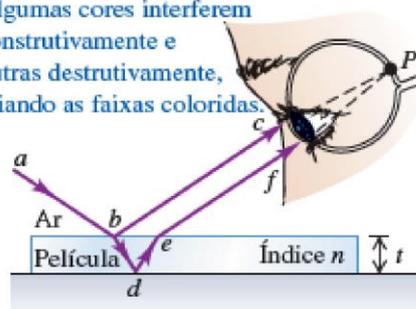


Figura 19 - Interferência entre raios refletidos nas duas superfícies de uma película fina.

Fonte: Young, Hugh D. Física IV: Sears e Zemansky: ótica e física moderna

Costumamos ver faixas brilhantes coloridas quando a luz solar é refletida em bolhas de sabão ou em películas de óleo flutuando sobre a água. Esse efeito é produzido pela interferência da luz. As ondas luminosas são refletidas pelas superfícies opostas dessas películas e ocorre interferência construtiva entre duas ondas refletidas (com caminhos diferentes) em diversos locais e para comprimentos de onda diferentes. A luz que incide sobre a superfície superior de uma película fina com espessura  $t$  é parcialmente refletida na superfície superior (Figura 19). A luz transmitida pela superfície superior é parcialmente refletida na superfície inferior. As duas ondas chegam juntas ao ponto P sobre a retina do olho. Dependendo da relação entre suas fases, pode ocorrer interferência construtiva ou destrutiva. Cores diferentes têm comprimentos de onda diferentes, de modo que a interferência pode ser construtiva para algumas cores e destrutiva para outras conforme figura 20. Outro experimento deste trabalho foi com uma bolha de sabão exposta à luz solar, e verificamos as cores que aparecem na película produzida por interferência dessa luz.



Figura 20 - A interferência também ocorre nas bolhas de sabão: o feixe luminoso, ao incidir na bolha, sofre esse fenômeno tanto na superfície superior quanto na inferior. Em virtude disso, surgem regiões escuras que são as zonas de interferência destrutiva e as regiões claras que correspondem às zonas de interferência construtiva.

Fonte: Elaborado pelo autor.

### 3.7 EFEITO FOTOELÉTRICO

Falamos até agora do comportamento ondulatório da luz, apresentamos características e experimentos que a comprovam, nesta seção introduziremos um novo conceito para a luz, o seu comportamento corpuscular. Através de novos fenômenos e experimentos poderemos verificar esse comportamento.

Em suas experiências de 1887, em que demonstrou a validade da teoria de Maxwell produzindo e detectando ondas eletromagnéticas, Heinrich Hertz produzia uma descarga oscilante fazendo saltar uma faísca entre dois eletrodos, para gerar as ondas, detectava-as usando uma antena ressonante (Fig. 21), onde a detecção também era acompanhada de uma faísca entre os eletrodos. Ele observou que a faísca de detecção saltava com mais dificuldade quando os eletrodos da antena receptora não estavam expostos à luz (predominantemente violeta e ultravioleta) proveniente da faísca primária na antena emissora, ou seja, quando se introduzia um anteparo entre as duas para bloquear a luz.

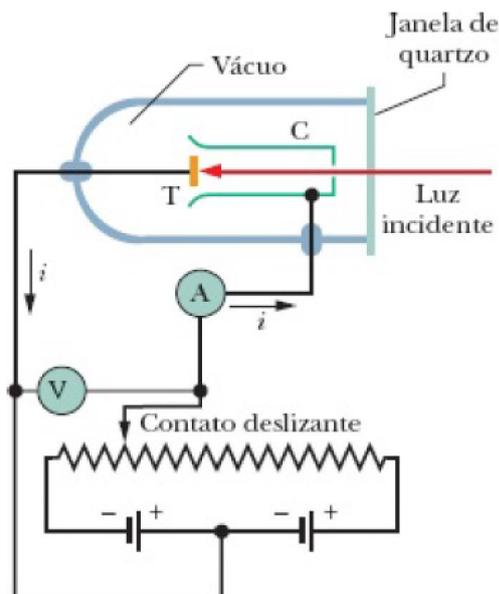


Figura 21 - Montagem usada para produzir ondas eletromagnéticas. A luz incide no alvo T, ejetando elétrons, que são recolhidos pelo coletor C. Os elétrons se movem no circuito no sentido oposto ao sentido convencional da corrente elétrica, indicado por setas na figura. As

baterias e o resistor variável são usados para produzir e ajustar uma diferença de potencial entre T e C.

Fonte: Halliday, David, 1916-2010, Fundamentos de física, volume 4: óptica e física moderna

Curiosamente, ao comprovar a teoria de Maxwell, coroamento da física clássica, Hertz estava assim descobrindo o efeito fotoelétrico, uma das primeiras evidências experimentais da quantização. Verificou-se logo que a razão pela qual a luz ultravioleta facilitava a descarga era por ser capaz de ejetar elétrons da superfície metálica dos eletrodos. Os elétrons assim ejetados, acelerados pela diferença de potencial entre os eletrodos, contribuíram para ionizar o ar e facilitar a descarga. Hoje em dia, as fotocélulas, que têm inúmeras aplicações práticas (fotômetros, controle de portas de elevadores, etc.), empregam o efeito fotoelétrico para converter um sinal luminoso numa corrente elétrica. As investigações posteriores do efeito, devidas principalmente a P. Lenard (1899), revelaram uma série de características intrigantes, contraditórias ao que seria esperado pela física clássica. O efeito fotoelétrico não ficou suficientemente explicado na física clássica até que Einstein, em 1905, desenvolveu uma teoria, levando em consideração a quantização da energia. Ele propôs que, no efeito fotoelétrico, um fóton da radiação incidente, ao atingir o metal, é completamente absorvido por um único elétron, cedendo-lhe energia  $hf$ . Essa interação ocorre instantaneamente, de modo semelhante à colisão de duas partículas, ficando então o elétron do metal com uma energia adicional  $hf$ , conforme a Figura 22.

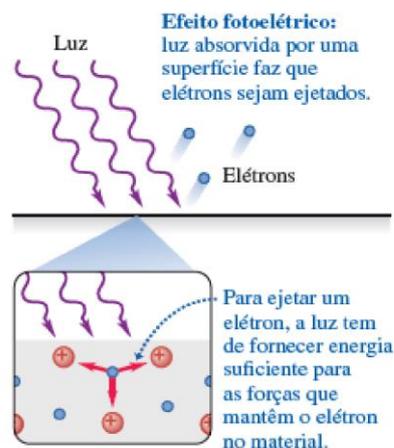


Figura 22 - O efeito fotoelétrico.

D. Física IV: Sears e Zemansky: ótica e física moderna

Essa teoria de Einstein sugere, portanto, que a luz ou outra forma de energia radiante é composta de “partículas”, os fótons, e que estes podem ser absorvidos pelo metal apenas um de cada vez, não existindo frações de um fóton. Tais afirmações estão em total concordância com as hipóteses de Planck, e, com isso, Einstein explicou corretamente que a energia que o elétron absorve deve aumentar com a frequência e não com a intensidade da radiação, fato que a física clássica não conseguira explicar. Classicamente, a luz que incide no alvo é uma onda eletromagnética. O campo elétrico associado a essa onda exerce uma força sobre os elétrons do alvo, fazendo com que oscilem com a mesma frequência que a onda.

Quando a amplitude das oscilações de um elétron ultrapassa certo valor, o elétron é ejetado da superfície do alvo. Assim, se a intensidade (amplitude) da onda aumenta, os elétrons deveriam ser ejetados com maior energia. Entretanto, não é isso que acontece. Para uma dada frequência, a energia máxima dos elétrons emitidos pelo alvo é sempre a mesma, qualquer que seja a intensidade da luz incidente. O aumento da intensidade da radiação incidente aumenta o número de fotoelétrons emitidos. Para o elétron escapar do metal, é necessário que ele tenha uma quantidade mínima de energia para vencer os choques com os átomos vizinhos e a atração elétrica dos núcleos desses átomos.

A energia mínima necessária para um elétron escapar do metal corresponde a um trabalho  $\Phi$ , denominado função trabalho do metal. O valor desse trabalho é característico para cada metal. Portanto, quando o elétron recebe a energia adicional  $hf$  proveniente do fóton incidente, esta deve ser suficiente para superar a função trabalho  $\Phi$  do metal para que o elétron possa escapar, o excesso de energia é conservado pelo elétron na forma de energia cinética

$$hf = \Phi + K_{\text{máx}} \quad (\text{eq. 19})$$

Esta é a equação fotoelétrica de Einstein (eq. 19), chamamos essa energia cinética de máxima  $K_{\text{máx}}$  porque outros elétrons menos favorecidos (mais internos) são emitidos com menor energia cinética por causa da perda de energia sofrida ao atravessar o metal. Existe uma frequência mínima  $f_0$  chamada frequência de corte, na qual o elétron escapará se a energia que ele receber do fóton  $hf$  for igual à energia  $\Phi$ . O resultado não depende da intensidade da luz incidente. Esse resultado constitui outro mistério para a física clássica. Se a luz se comportasse apenas como uma onda eletromagnética, teria energia suficiente para ejetar elétrons, qualquer que fosse a frequência, contanto que a luz fosse suficientemente intensa. Entretanto, não é isso que acontece. Quando a frequência da luz é menor que a frequência de corte  $f_0$ , não são ejetados elétrons, por mais intensa que seja a luz. Assim, fazendo-se incidir fótons na superfície de um

metal, emitem-se fotoelétrons que têm energia cinética até o limite  $K_{máx}$ . Aumentando-se a intensidade da radiação incidente, o número de fótons incidentes, aumenta-se o número de fotoelétrons arrancados. Entretanto, a energia recebida por um elétron, ao absorver um fóton, é sempre a mesma, assim como sua energia cinética máxima. Nesta sequência didática verificamos o efeito fotoelétrico em dois experimentos. No primeiro experimento usamos um eletroscópio carregado negativamente, e para comprovar que a energia necessária para arrancar os elétrons do eletroscópio é diretamente proporcional a sua frequência, utilizamos lâmpadas incandescentes e luz negra com radiação ultravioleta. No segundo experimento verificamos uma aplicação direta do efeito fotoelétrico em sensores de luz, um fototransistor.

#### 4. DESENVOLVIMENTO DA SEQUÊNCIA DIDÁTICA

Na introdução deste trabalho foi mencionado que a proposta do produto educacional é uma sequência didática envolvendo atividades experimentais sobre o comportamento da luz. Sendo assim, os professores podem perceber que a aplicação deste produto educacional em suas turmas não exige a necessidade de laboratório e estrutura especializados para a realização dos experimentos. Visando a realidade de nossas escolas públicas, iremos trabalhar com materiais de baixo custo. Os custos dos experimentos podem ser minimizados: i) primeiro pelos alunos ao trazer elementos de suas casas; ii) segundo com ajuda da gestão escolar para algum material que faltar; e iii) terceiro caberá ao professor providenciar alguns materiais para enriquecer suas aulas. Os elementos mais requeridos são lanternas, pilhas, lasers, etc. que são encontrados hoje no mercado por preços mais acessíveis.

A sequência didática proposta neste trabalho pode ser usada pelo professor durante o ano letivo em qualquer série do ensino médio ou 9º ano do ensino fundamental. Entretanto, alguns ajustes são necessários para cada idade ou série escolar. Por outro lado, existe a possibilidade de usar o produto educacional em etapas ou em partes separadas, ao escolher só alguns dos experimentos que achar necessário. Por exemplo, o professor que estiver interessado em aplicar um grupo de experimentos para as turmas da 3ª série do ensino médio no 2º semestre a fim de relembrar conteúdos de óptica, ondas, eletromagnetismo e física moderna. No sentido de realizar um reforço de conteúdo na proximidade dos vestibulares e o Exame Nacional do Ensino Médio (ENEM).

A ideia do projeto educacional é trabalhar os conteúdos de óptica e física moderna, sempre abordados nos vestibulares do país e ENEM, além de ter uma continuidade sobre o entendimento da natureza da luz. Os experimentos são uma ferramenta importante para tornar possível a elaboração de uma sequência didática com diferentes objetivos e necessidades. Os experimentos propostos envolvem conteúdos tais como refração, difração, interferência, ondas eletromagnéticas e efeito fotoelétrico. Esses experimentos, de fácil busca na internet, foram escolhidos e adaptados no sentido de o aluno vivenciar a construção do conhecimento da natureza da luz e poder contextualizar com os objetivos do produto educacional.

Os experimentos foram adaptados visando à realidade da escola e para que o aluno pudesse perceber em cada momento o tema que estava sendo estudado. Essa adaptação de experimento culminou em doze atividades experimentais onde o aluno tivesse acesso aos fenômenos ligados à natureza da luz e pudesse estar construindo o seu próprio conhecimento sobre este tema. Os experimentos foram propostos com a ideia de montagem pelos alunos, com

a utilização de materiais simples, de baixo custo e fácil compra. Os experimentos também abordam fenômenos que envolvem conceitos de difração e interferência em fio de cabelo, CD ou bolha de sabão, ou ainda efeito fotoelétrico em um eletroscópio caseiro, por exemplo. Essas atividades darão ao aluno a percepção de como a Ciência foi e é construída, e no caso do projeto, como foi o trabalho experimental e teórico de vários cientistas para se entender como a luz se comporta.

A sequência didática está dividida em duas etapas, o desenvolvimento de cada etapa levará entre 6 e 8 aulas. No começo de cada etapa é aplicado um questionário sobre conhecimento prévio, importante neste momento, não se ter nenhum julgamento, e deixar ao aluno livre para expressar sua opinião ou conhecimento. Não devem existir certo ou errado, apenas respostas pessoais de cada um dos alunos. Após esse procedimento individual de reflexão em que o aluno buscou em seus pensamentos as respostas, temos o momento de interação para montagem e realização dos experimentos. Cada etapa consta de um grupo de seis experimentos, portanto, o professor pode dividir grupos para a montagem de todos os experimentos ao mesmo tempo, para depois eles se revezarem, socializarem e discutirem suas dificuldades. Esse momento é importante para o professor, pois poderá sentir as dificuldades dos alunos com relação à montagem.

Através da construção de um diário de bordo o professor pode anotar as reações dos alunos tanto em conseguir ou não conseguir os resultados esperados. Finalizado os experimentos o professor pode abrir uma discussão sobre o resultado de cada experimento, pode trazer uma explicação teórica com uma aula expositiva ou através de slides. Lembrando que ao final dessa sequência temos a proposta de um questionário final, mais técnico, onde o professor poderá verificar se houve alguma aprendizagem significativa, que pode ser avaliativa ou apenas para revisão dos conteúdos. Isto, através de uma verificação do avanço do aprendizado, ou seja, comparando as diferentes etapas do processo, questionário inicial, desenvolvimento dos experimentos e questionário final. Além dessas anotações, o professor poderá pedir aos seus alunos que relatem através de um texto o que eles aprenderam com os experimentos, isto é, é mais um exercício mental do aluno em relação à aula. Por fim, se houver necessidade o professor pode aplicar uma avaliação escrita tradicional com perguntas fechadas dissertativas ou alternativas, com questões do ENEM ou vestibulares do mesmo conteúdo.

A duas etapas percorrem o mesmo caminho, isto é, com perguntas de conhecimento prévio, seis atividades experimentais, e um questionário final, mudando-se apenas os conteúdos. Na nossa sequência foi preparado numa primeira etapa (I) com elementos que abordem a luz como onda e seus fenômenos, tais como: dispersão, reflexão, refração, difração

e interferência. Desde a Grécia antiga já se questionava a luz, Isaac Newton muito tempo depois, usou métodos científicos para determinar algumas propriedades da luz e como a enxergamos. Outros cientistas trabalharam com alguns conceitos envolvendo a luz, como sua velocidade, éter, frente de onda e dupla fenda de Thomas Young, para definir na época que a luz era uma onda, porque obedecia a todas as propriedades ondulatórias, como difração, interferência, entre outras.

Dentro da primeira parte da sequência didática, através dos experimentos deve-se observar o comportamento da luz como onda. Entretanto, a ciência continua avançando de forma que foram observados outros tipos de comportamento da “luz” que não era sensível ao olho humano, como luz infravermelho e ultravioleta, mas detectável através de alguns experimentos. James Maxwell deu grande contribuição para a ciência quando unificou as teorias elétricas e magnéticas. Ainda mais, por meio de cálculos previu a existência de ondas eletromagnéticas, sendo a luz visível uma delas. Os experimentos de Heinrich Hertz (descobridor das ondas de rádio) permitiram observar o comportamento ondulatório das ondas de rádio, micro-ondas, raios-X e gama. Na Tabela 1 é mostrado e detalhados os passos seguidos na realização da sequência didática na sua Etapa I.

ETAPA I	Comportamento ondulatório da luz, óptica geométrica e óptica física.	Tempo
Questionário de Conhecimentos Prévios	Nesse momento o professor irá levantar as ideias prévias dos alunos, importante deixar os alunos bem à vontade com suas respostas e extrair o máximo de conhecimento que os alunos têm sobre o assunto.	2 aulas
Experimentos	Os alunos irão realizar os seis experimentos, não há dificuldades em sua montagem, mas o material deve estar separado para cada experiência, poderá ser separado grupos para as montagens e apresentação dos experimentos.	2 aulas
Discussão dos Resultados	Durante a realização dos experimentos surgirão dúvidas e questionamentos, o professor pode anotar como um diário de bordo para essa parte de discussão dos resultados, com base nos experimentos o professor pode retomar conceitos de óptica e ondas.	2 aulas

Questionário Final	Esse questionário pode servir como uma avaliação do assunto estudado, cada aluno responderá as questões conforme aprendeu durante a sequência didática, o professor pode pedir também uma descrição do que cada aluno aprendeu nos experimentos, se o professor julgar necessário poderá retomar o assunto, comparando as respostas dos conhecimentos prévios e aplicar uma avaliação.	2 aulas
--------------------	--	---------

Tabela 1 - Etapa I da Sequência Didática

Na Etapa II da nossa sequência didática, a luz já ganha uma nova estrutura com experimentos que envolvem ondas eletromagnéticas, radiação e interação com a matéria, tais como o efeito fotoelétrico. Assim, os alunos poderão relacionar através dos experimentos que a luz pode ser definida como uma onda eletromagnética e faz parte de um grande leque de espectro de outras ondas. Além de perceber que existem outros comportamentos para a luz. Max Planck trouxe uma nova física ao mundo em um período onde parecia que tudo estava resolvido, estava nascendo a chamada física moderna, com o quantum, pacotes de energia, radiações e efeito fotoelétrico. A luz tem papel fundamental nesse estudo, o efeito fotoelétrico explicado por Albert Einstein diria ao mundo que fótons, pacotes de luz, poderiam arrancar elétrons de uma chapa metálica como se fosse uma partícula colidindo. Isto foi uma revolução pois agora a luz tinha comportamento corpuscular e ondulatório, e todas ondas eletromagnéticas, radiações, partículas elementares tem também comportamento dual. Na Tabela 2 é mostrado e detalhado os passos para realizar a sequência didática na sua Etapa II.

ETAPA II	Ondas eletromagnéticas, Óptica física, Radiação, Efeito fotoelétrico	Tempo
Questionário de Conhecimentos Prévios	Após a etapa I os alunos já estarão bem familiarizados com alguns conceitos, estarão mais experientes para responder o questionário, podendo realizar, após todos responderem, uma dinâmica sobre a opinião de cada aluno.	2 aulas
Experimentos	Os alunos irão realizar novamente mais seis experimentos, dessa vez alguns experimentos têm certa dificuldade por envolver uma montagem elétrica, direcione esses experimentos para quem já tem uma facilidade com elétrica e é claro o professor pode intervir quando achar necessário.	2 aulas

Discussão dos Resultados	Durante a realização dos experimentos surgirão dúvidas e questionamentos, o professor pode anotar como um diário de bordo para essa parte de discussão dos resultados, será necessário retomar alguns conteúdos alinhados aos experimentos para que os resultados façam sentido e os alunos assimilem a proposta da experiência.	2 aulas
Questionário Final	Esse questionário pode servir como uma avaliação do assunto estudado, cada aluno responderá as questões conforme aprendeu durante a sequência didática, o professor pode pedir também uma descrição do que cada aluno aprendeu nos experimentos, se o professor julgar necessário poderá retomar o assunto, comparando as respostas dos conhecimentos prévios e aplicar uma avaliação.	2 aulas

Tabela 2 - Etapa II da Sequência Didática

O objetivo geral para essa sequência didática envolve que através de um estudo organizado e levando em consideração as ideias prévias dos alunos a construção de conhecimento por parte dos alunos. A construção deste conhecimento é de grande importância na sociedade, pois, pode nos permitir inserir conceitos científicos como parte de seu cotidiano. Através de atividades experimentais que estimulem o interesse e que sua aprendizagem seja significativa.

Esses experimentos foram pensados e adaptados para que em cada atividade o aluno possa vivenciar a construção do conhecimento científico e fazer conexões com sua realidade. Mediante a interação de cada aluno com a montagem dos experimentos, como os debates dos temas abordados, com a possibilidade de construção de hipóteses, de questionamentos, e de argumentação sobre os mesmos. Permitindo a construção do pensamento científico como é utilizado na ciência. O produto é dinâmico podendo sofrer mudanças e variações ao decorrer do tempo que permita acompanhar a evolução de conceitos, em especial da luz.

A seguir será apresentada uma descrição de cada etapa, descrevendo os experimentos a serem utilizados, os objetivos de cada experimento. A construção de cada experimento e conceito a ser abordado.

## 4.1 ETAPA I

### 4.1.1 OBJETIVOS DA ETAPA I

Observar os fenômenos relacionados com os experimentos, analisando o comportamento da luz nos efeitos de dispersão, reflexão, refração, difração e interferência. Discutir os resultados obtidos e analisar os contextos históricos que se desenvolveram tais experimentos. Analisar ao final da etapa a construção científica dos experimentos entendendo que a luz tem natureza ondulatória.

### 4.1.2 EXPERIÊNCIA 1 - DISPERSÃO DA LUZ COM O PRISMA

Nesse experimento será possível, através de uma fonte de luz praticamente branca, observar que a luz se decompõe formando um espectro de cores após atravessar o prisma. Esse fenômeno é chamado de dispersão da luz, a dispersão da luz ocorre, pois, o fenômeno da refração depende do comportamento de onda da luz, cada cor tem um ângulo de desvio ou de refração diferente do outro. Ao atravessar o prisma (Figura 23), pode se observar que a luz de cor vermelha se desvia menos que a luz azulada, projetando em uma superfície clara ou papel sulfite branca.

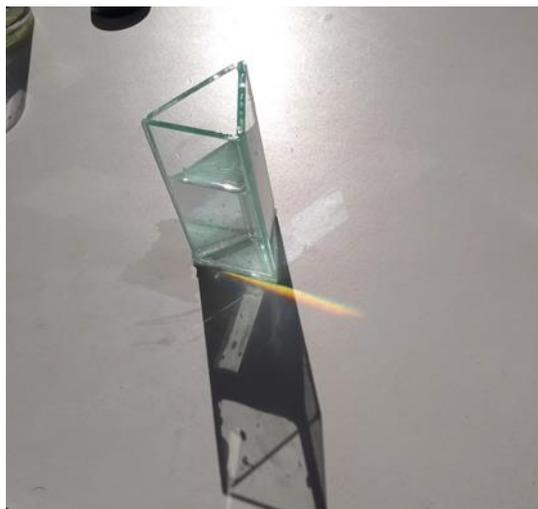


Figura 23 - Efeito da dispersão da luz em um prisma de vidro.

Fonte: Elaborado pelo autor.

<b>Objetivos</b>	Mostrar que a luz branca pode ser decomposta em feixes de várias cores, as cores do arco íris. Aplicar a refração da luz para provocar o desvio e dispersão em prismas e outros meios refringentes.
<b>Competências e habilidades</b>	Reconhecer o papel da luz, suas propriedades e fenômenos que envolvem a sua propagação, como formação de sombras, reflexão, refração etc. Identificar a luz branca como composição de diferentes cores.
<b>Materiais</b>	Prisma (de acrílico, ou montado com lâminas de vidro coladas). Fonte de luz intensa (do Sol, se possível, ou lanterna de luz branca). Anteparo (paredes ou mesas claras, cartolina ou sulfite para projetar o raio de luz)
<b>Custo do Experimento</b>	Prisma (de acrílico, ou montado com lâminas de vidro coladas). (Preço Prisma no Ali Express – R\$5,00 – R\$20,00; uma dica para redução de custo seria fazer em uma vidraçaria). Fonte de luz intensa (do Sol, se possível, ou lanterna de luz branca). (Preço Lanterna nas Americanas: R\$9,00 – R\$20,00). Anteparo (paredes ou mesas claras, cartolina ou sulfite para projetar o raio de luz). (Material de escritório geralmente é encontrado na escola, mas o preço não ultrapassa R\$1,00). (Esses valores foram obtidos em junho de 2020).

Tabela 3 – Sobre o Experimento da Figura 23

Procedimento experimental - Nesse experimento será possível, através de uma fonte de luz praticamente branca, observar que a luz se decompõe formando um espectro de cores após atravessar o prisma. Esse fenômeno é chamado de dispersão da luz, a dispersão da luz ocorre, pois, o fenômeno da refração depende do comportamento de onda da luz, cada cor tem um ângulo de desvio ou de refração diferente do outro. Ao atravessar o prisma (Figura 23), pode se observar que a luz de cor vermelha se desvia menos que a luz azulada, projetando em uma superfície clara ou papel sulfite branca. Variando a projeção poderá se observar todo o espectro de cores, desde o vermelho até o violeta. Este mesmo fenômeno ocorre quando vemos as cores formadas no arco íris no qual a luz branca do sol é decomposta por meio da dispersão nas gotas de água da chuva.

Como o experimento tem o intuito de ser de baixo custo, o professor poderá improvisar um prisma, podendo até ser um frasco ou copo de vidro com espelho de maquiagem e alguma lupa encontrada em lojas por um preço em conta, ou mesmo com os óculos de um aluno e usando o próprio sol como fonte de luz. Outra ideia é fazer um prisma com retalhos ou sobras de vidro e colá-los com silicone conforme Figura 25, e ao enchê-los de água faça incidir uma

luz de lanterna ou o próprio sol sobre ele. O efeito da dispersão ou o arco íris como conhecemos se dará pela posição da incidência da luz projetada no recipiente com água, portanto um prisma de vidro com água é o mais fácil de se obter o efeito.



Figura 24 - Montagem do experimento pelos alunos.

Fonte: Elaborado pelo autor.



Figura 25 - Prisma de vidro com água para o experimento de dispersão da luz.

Fonte: Elaborado pelo autor.

#### 4.1.3 EXPERIÊNCIA 2 - REFRAÇÃO, REFLEXÃO TOTAL DA LUZ E FIBRA ÓPTICA

Em um pequeno aquário ou recipiente transparente com água, é possível ver com um feixe de laser, um raio de luz sendo desviado ao entrar na água, ela muda sua direção pois na água a velocidade da luz é menor. Isso fica claro na lei de Snell-Descartes onde cada meio tem seu índice de refração, então teremos na passagem de luz do ar para água uma luz incidente onde parte dessa luz ao encontrar a água é refletida e ao entrar na água tem um feixe refratado, a equação da refração chamada de lei de Snell é definida por  $n_a \cdot \text{sen}\theta_a = n_b \cdot \text{sen}\theta_b$ . A

reflexão total da luz na Figura 26 é observada em um certo ângulo de incidência onde o raio de luz não sofre a refração, este é o princípio da fibra óptica.

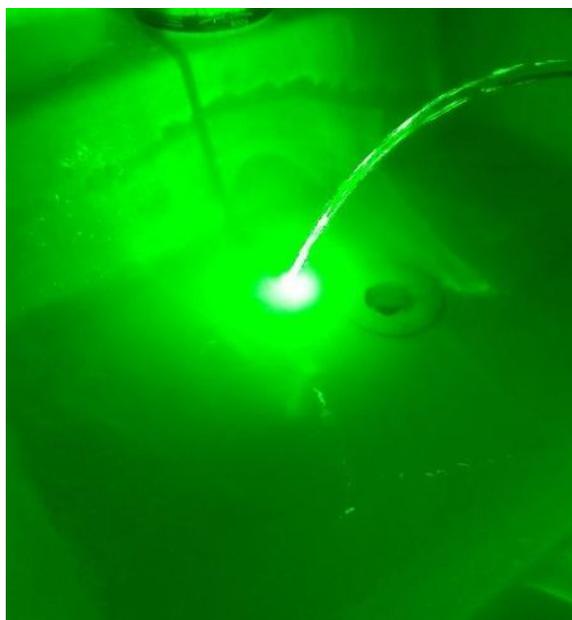


Figura 26 - A luz do laser sofre reflexão total no fluxo de água.

Fonte: Elaborado pelo autor.

<p><b>Objetivo</b></p>	<p>Observar a reflexão na superfície espelhada da água e comprovar a lei que rege este fenômeno e verificar o princípio de propagação retilínea da luz.</p> <p>Verificar na prática o que acontece com um raio de luz que incide em um meio homogêneo diferente.</p> <p>Construir um sistema em que uma coluna de água conduza luz de forma curva, o que mostra o fenômeno da reflexão total e o princípio da fibra óptica.</p>
<p><b>Competências e habilidades</b></p>	<p>Reconhecer o papel da luz, suas propriedades e fenômenos que envolvem a sua propagação, como formação de sombras, reflexão, refração etc.</p> <p>Associar as características de obtenção de imagens a propriedades físicas da luz para explicar, reproduzir, variar ou controlar a qualidade das imagens produzidas.</p>
<p><b>Materiais</b></p>	<p>Recipiente transparente para por água (um pequeno aquário de vidro ou acrílico).</p> <p>Laser vermelho ou verde.</p> <p>Talco ou produto em pó que permita visualizar a reflexão.</p> <p>Garrafa PET, canudinho, tesoura, cola e água.</p>

<b>Custo do Experimento</b>	<p>Recipiente transparente para por água (um pequeno aquário de vidro ou acrílico). (Preço de vaso em floricultura: R\$10,00 – R\$20,00; o preço pode variar conforme a região).</p> <p>Laser vermelho ou verde. (Preço no Ali Express: R\$5,00 – R\$15,00).</p> <p>Talco ou produto em pó que permita visualizar a reflexão. (Opcional, Preço do Talco: R\$10,00 – R\$20,00; o preço pode variar conforme a região).</p> <p>Garrafa PET, canudinho, tesoura, cola e água. (Materiais recicláveis e de escritórios; preços menores que R\$5,00). (Esses valores foram obtidos em junho de 2020).</p>
-----------------------------	--

Tabela 4 – Sobre o Experimento da Figura 26

Procedimento experimental - Um outro fenômeno da luz é a refração onde eu tenho um feixe luminoso e na superfície de separação de dois meios, ele muda de direção. Em um pequeno aquário ou recipiente transparente com água, é possível ver com um feixe de laser, um raio de luz sendo desviado ao entrar na água, ela muda sua direção pois na água a velocidade da luz é menor. Isso fica claro na lei de Snell-Descartes onde cada meio tem seu índice de refração, então teremos na passagem de luz do ar para água uma luz incidente onde parte dessa luz ao encontrar a água é refletida e ao entrar na água tem um feixe refratado. Outro fenômeno e cheio de aplicações é a reflexão total da luz, essa situação ocorre quando a luz incide numa interface entre dois meios onde o meio no qual a luz incide tem um índice de refração maior que o outro, que se atinge um ângulo limite, não ocorre mais refração acima desse ângulo. Então se o índice de refração é menor, a lei de Snell-Descartes só seria viável se houvesse seno de ângulos maiores que um, esse ângulo limite é uma relação em limites da refração. Esse é o princípio da fibra óptica, onde o cabeamento é todo espelhado em seu interior, possibilitando que a luz incidida dentro deles, sofra inúmeras reflexões até chegar ao seu destino e de maneira muito rápida (na velocidade da luz) e sem nenhuma perda.

Para demonstrar a reflexão e refração da luz é necessário um laser, hoje é vendido por um valor baixo, e um recipiente transparente com água, um pote de flor ou pequeno aquário, incidindo o laser na água fica fácil ver sua refração e reflexão. A refração é bem simples de ser demonstrada também com um lápis ou uma moeda em um copo de água. Para a reflexão total precisa-se de uma garrafa PET e um pedaço de canudinho conforme Figura 27, esse canudinho deve ser fixado em um furo feito na parte de baixo da PET, encha a garrafa de água, coloque-a em um recipiente que irá receber a água saindo do canudinho, comece a soltar a água, observe o fluxo de água saindo, incida o laser na parte de trás da garrafa rente a saída da água no canudo e veja que a luz do laser acompanha o fluxo de água conforme a Figura 28.



Figura 27 - Montagem do experimento de reflexão total com garrafa PET e canudinho.

Fonte: Elaborado pelo autor.

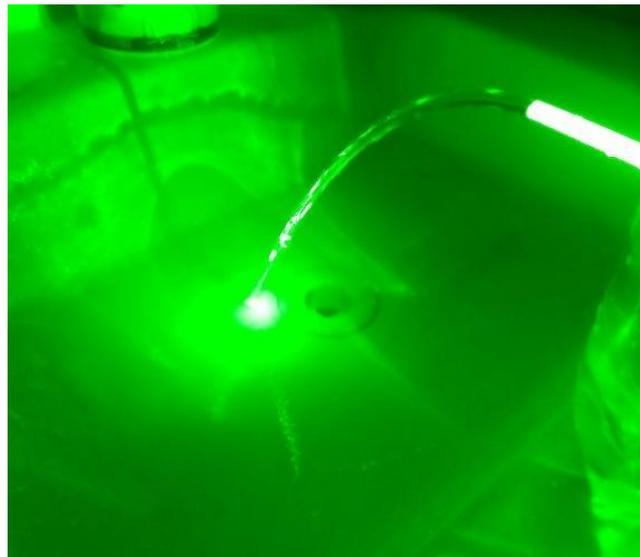


Figura 28 - A água da garrafa PET flui pelo canudinho, ao incidir a luz do laser rente ao canudinho, a luz sofre reflexão total no fluxo de água, o mesmo fenômeno ocorre em fibras ópticas.

Fonte: Elaborado pelo autor.

#### 4.1.4 EXPERIÊNCIA 3 - CUBA DE ÁGUA PARA FENÔMENOS DE DIFRAÇÃO E INTERFERÊNCIA

As ondas são perturbações que se propagam sem que haja transporte de matéria, as cubas transportam energia de vibração sem transporte de matéria, neste exemplo também

podemos notar que quanto maior a frequência de agitação de uma haste, menor serão os comprimentos de onda formados para uma mesma velocidade de propagação das ondas na água. A haste provocará um movimento na cuba de água, formando ondas planas que projetadas, se posicionarmos obstáculos na frente das ondas, podemos observar o fenômeno da difração no qual as ondas tendem a contornar o obstáculo formando ondas circulares conforme Figura 29.



Figura 29 - Cuba de água com ondas sofrendo difração.

Fonte: Elaborado pelo autor.

<b>Objetivos</b>	Construir uma cuba de ondas, utilizando materiais simples, e realizar uma breve apresentação de suas aplicações na demonstração dos fenômenos de difração e interferência.
<b>Competências e habilidades</b>	Identificar e caracterizar modelos de explicação da natureza da luz ao longo da história humana, seus limites e embates.
<b>Materiais</b>	Travessa de Vidro (ou outro material transparente, porém a visualização com o vidro é melhor). Madeira, plástico ou outro material que servirá de obstáculos e fendas. (Materiais recicláveis). Régua servindo de haste para realizar as ondulações. Lanterna LED e sulfite (opcional) para projeção das ondulações. Água.

<b>Custo do Experimento</b>	<p>Travessa de Vidro (ou outro material transparente, porém a visualização com o vidro é melhor). (Utensílio de casa, Preço nas Americanas: R\$10,00 – R\$20,00).</p> <p>Régua servindo de haste para realizar as ondulações. (Material de escritório, menos de R\$1,00).</p> <p>Lanterna LED e sulfite (opcional) para projeção das ondulações. (Preço Lanterna nas Americanas: R\$9,00 – R\$20,00). (Esses valores foram obtidos em junho de 2020).</p>
-----------------------------	---

Tabela 5 – Sobre o Experimento da Figura 29

Procedimento experimental - As ondas são perturbações que se propagam sem que haja transporte de matéria, as cubas transportam energia de vibração sem transporte de matéria, neste exemplo também podemos notar que quanto maior a frequência de agitação de uma haste, menor serão os comprimentos de onda formados para uma mesma velocidade de propagação das ondas na água. A haste provocará um movimento na cuba de água, formando ondas planas que projetadas, se posicionarmos obstáculos na frente das ondas, podemos observar o fenômeno da difração no qual as ondas tendem a contornar o obstáculo formando ondas circulares (Figura 29). Se as peças/obstáculos forem posicionadas de forma que se formem duas fendas, podemos observar a formação de duas fontes de ondas circulares, uma em cada fenda. Como essas ondas são formadas pela mesma frente de ondas planas, as ondas circulares vão ter o mesmo comprimento de onda e estarão em fase, assim a interferência dessas ondas podem formar regiões de nós e de ventres, como veremos na cuba. Podemos ver também que ao mudarmos a abertura das fendas mudaremos o padrão das figuras de interferências. Outra maneira de se obter interferência das ondas é por meio de ondas circulares formada por duas esferas de plástico tocando a superfície da água, para isso vamos tocar a água com a mesma frequência, da mesma forma que as fendas conforme Figura 31. As ondas circulares formadas pelas esferas vão provocar interferências entre si formando regiões de nós e ventres, ou seja, regiões ocorrem interferências destrutivas e construtivas.

Pode-se encher o recipiente tipo uma forma transparente ( Figura 30) de água e agitar com duas colheres, veremos as interferências acontecendo, colocar os obstáculos com uma fenda ou espaço e agitar com uma régua para fazer ondas, fazer com uma e duas fendas, as fendas podem ser pedaços de madeira ou outro material que não se mova na cuba. Verificar com uma fenda a difração e com duas fendas verificar as difrações e interferências.



Figura 30 - Travessa de vidro com água para o experimento dos fenômenos de difração e interferência.

Fonte: Elaborado pelo autor.



Figura 31 - A perturbação na água em dois pontos gera ondas que irão sofrer interferências.

Fonte: Elaborado pelo autor.

#### 4.1.5 EXPERIÊNCIA 4 - INTERFERÊNCIA E DIFRAÇÃO COM FIO DE CABELO E PENTE FINO

Existem dois fenômenos que são típicos, a interferência e a difração, a difração é um fenômeno mediante o qual a onda contorna os obstáculos, e nos processos vai gerar interferência de muitas ondas. De forma que com um fio de cabelo e um pente fino poderemos ver o comportamento ondulatório da luz com esses dois fenômenos, a interferência e a difração conforme Figura 32. Vamos fazer um experimento que ficou conhecido como o experimento de Young e sua fenda dupla, onde foi comprovado o comportamento ondulatório da luz.



Figura 32 - Raio de luz do laser passando pelo fio de cabelo e resultando em um padrão de interferências.

Fonte: Elaborado pelo autor.

<b>Objetivos</b>	<p>Verificar e analisar padrões de difração e interferência da luz com o fio de cabelo e o pente fino.</p> <p>Observar os efeitos de difração e interferência com as franjas no anteparo conforme experimento de Thomas Young.</p> <p>Verificar no experimento algum modelo para a natureza da luz.</p>
<b>Competências e habilidades</b>	<p>Identificar e caracterizar modelos de explicação da natureza da luz ao longo da história humana, seus limites e embates.</p>
<b>Materiais</b>	<p>Fio de cabelo.</p> <p>Pente fino.</p> <p>Laser vermelho ou verde.</p> <p>Fita adesiva preta.</p> <p>Cartolina, papel cartão, tesoura, cola para fixar o fio de cabelo.</p> <p>Parede ou sulfite branca (material de escritório) como anteparo.</p>
<b>Custo do experimento</b>	<p>Pente fino. (Utensílio de casa, preço menos de R\$5,00). Laser vermelho ou verde. (Preço no Ali Express: R\$5,00 – R\$15,00). Fita adesiva preta. (Preço em casa de ferramentas: R\$2,00 – R\$5,00). Cartolina, papel cartão, tesoura, cola para fixar o fio de cabelo. (Material de escritório, menos de R\$1,00). (Esses valores foram obtidos em junho de 2020).</p>

Tabela 6 – Sobre o Experimento da Figura 32

Procedimento experimental – Existem dois fenômenos que são típicos, a interferência e a difração, a difração é um fenômeno mediante o qual a onda contorna os obstáculos, e nos processos vai gerar interferência de muitas ondas. De forma que com um fio de cabelo e um pente fino poderemos ver o comportamento ondulatório da luz com esses dois fenômenos, a

interferência e a difração. Vamos fazer um experimento que ficou conhecido como o experimento de Young e sua fenda dupla, onde foi comprovado o comportamento ondulatório da luz. A ideia é usar um fio de cabelo, que é um obstáculo bem fino, e um laser, de forma que possa ser observado a difração da luz, já que seu comprimento de onda é pequeno e o obstáculo deve ser da mesma ordem de grandeza desse comprimento de onda. O laser será incidido sobre esse fio de cabelo e por equações, pode se verificar até a medida do diâmetro do fio de cabelo. Colocando o fio de cabelo na frente do feixe de laser poderemos ver projetado em um anteparo as franjas de máximos e mínimos, claras e escuras, que seriam as interferências construtivas e destrutivas, assim como ocorre em uma cuba de água com as fendas. O interessante é que com um pente fino também conseguiremos ver o efeito.

Uma base com papel deverá ser feita para esticar o fio de cabelo, o pente terá fita isolante deixando pequena abertura para a luz do laser passar conforme Figura 34. O laser será incidido no fio de cabelo e na abertura do pente. Numa folha de sulfite veremos o padrão de interferência projetado conforme Figura 35.



Figura 33 - Alunos preparando o experimento.

Fonte: Elaborado pelo autor.



Figura 34 - Experimento montado para a verificação dos fenômenos ondulatórios da luz, difração e interferência.

Fonte: Elaborado pelo autor.



Figura 35 - Verificação dos fenômenos ondulatórios de difração da luz ao passar pelo fio e sua interferência pelo padrão de franjas claras e escuras no anteparo.

Fonte: Elaborado pelo autor.

#### 4.1.6 EXPERIÊNCIA 5 – DIFRAÇÃO DA LUZ USANDO UM CD

Um disco de CD tem várias ranhuras e por conta disso ele se comporta como uma rede de difração, e por causa das múltiplas interferências podemos ver as cores emitidas por uma luz

conforme Figura 36. A rede de difração antigamente era um componente muito difícil de se obter, e muito caro também, por conta que se precisava de muitas ranhuras e linha por milímetro, e hoje em dia com o CD temos essa facilidade.



Figura 36 - Um CD exposto a uma luz natural de vela, e expondo o espectro de luz visível.

Fonte: Elaborado pelo autor.

<b>Objetivos</b>	Observar o fenômeno da difração da luz quando esta incide sobre um CD. Utilização de várias fontes de luz para a observação das cores que as compõem.
<b>Competências e habilidades</b>	Identificar e caracterizar modelos de explicação da natureza da luz ao longo da história humana, seus limites e embates. Associar a cor de um objeto a formas de interação da luz com a matéria (reflexão, refração, absorção). Identificar a luz branca como composição de diferentes cores.
<b>Materiais</b>	Lâmpadas incandescentes, fluorescentes ou LED. Luz negra, Lanterna, Vela, isqueiro, fósforo. Soquete e extensão para ligar as lâmpadas. CD em bom estado. Tesoura, estilete. Fita adesiva.
<b>Custo do Experimento</b>	Lâmpadas incandescentes. (Preço casa de elétrica: R\$2,00 – R\$5,00). Fluorescente ou LED. (Preço casa de elétrica: R\$5,00 – R\$10,00). Luz negra. (Preço nas Americanas: R\$15,00 – R\$25,00). Lanterna. (Preço Lanterna nas Americanas: R\$9,00 – R\$20,00). Vela, isqueiro, fósforo. (Utensílios de casa, menos de R\$5,00).

	<p>Soquete e extensão para ligar as lâmpadas. (Preço casa de elétrica: até R\$10,00, pode variar conforme região).</p> <p>CD em bom estado. (Papeleria, menos de R\$1,00 cada).</p> <p>Tesoura, estilete. (Papeleria, menos de R\$5,00).</p> <p>Fita adesiva. (Preço em casa de ferramentas: R\$2,00 – R\$5,00). (Esses valores foram obtidos em junho de 2020).</p>
--	--

Tabela 7 – Sobre o Experimento da Figura 36

Procedimento experimental - Um disco de CD tem várias ranhuras e por conta disso ele se comporta como uma rede de difração, e por causa das múltiplas interferências podemos ver as cores emitidas por uma luz. A rede de difração antigamente era um componente muito difícil de se obter, e muito caro também, por conta que se precisava de muitas ranhuras e linha por milímetro, e hoje em dia com o CD temos essa facilidade. Dessa maneira podemos montar um espectroscópio com um pedaço de CD ou simplesmente retirar uma camada, deixando apenas a parte da rede de difração onde poderemos ver as cores que compõem cada fonte de luz no experimento. Essas cores são dispersas ou desviadas pelas ranhuras na rede de difração e dependendo da fonte de luz podemos ver todas as cores do arco íris. Poderemos ver também que algumas lâmpadas que emitem a luz branca têm menos cores que outras, e que a luz negra só emite cor no espectro do azul e violeta. O espectroscópio tem um efeito quântico por causa das faixas que o elétron é excitado e retorna emitindo um fóton com a cor do elemento, é possível ver esse efeito nas lâmpadas de gases.

Será utilizado lâmpadas de diferentes tipos, vela e luz negra para vermos as cores que a compõem conforme Figura 37. Retire do CD a película de cima com cuidado para não estragar a rede de difração, se precisar retirar algum resíduo, coloque fita adesiva e proceda a retirada. Então é só posicionar os CD's em frente as lâmpadas e velas para verem as cores que surgem no CD conforme Figura 38. O professor pode ainda criar um espectroscópio com uma caixa pequena de embalagem de papel ou caixa de fósforo e um pedaço de CD posicionado dentro da caixa, e por uma pequena fenda observar os espectros das fontes de luz.



Figura 37 - Algumas fontes de luz para este experimento e a película retirada do CD.  
 Fonte: Elaborado pelo autor.



Figura 38 - Cada fonte de luz tem determinados comprimentos de ondas ou frequências que enxergamos como cores, ao incidir a luz dessas fontes no CD essas frequências são dispersadas pela rede de difração e aparecem as cores existentes nessas fontes.

Fonte: Elaborado pelo autor.

#### 4.1.7 EXPERIÊNCIA 6 - INTERFERÊNCIA EM BOLHA DE SABÃO

Costumamos ver faixas brilhantes coloridas quando a luz solar é refletida em bolhas de sabão ou em películas de óleo flutuando sobre a água. Esse efeito é produzido pela interferência da luz (Figura 39). As ondas luminosas são refletidas pelas superfícies opostas

dessas películas e ocorre interferência construtiva entre duas ondas refletidas (com caminhos diferentes) em diversos locais e para comprimentos de onda diferentes.



Figura 39 - Cores em filmes finos.

Fonte: Elaborado pelo autor.

<b>Objetivos</b>	Observar o fenômeno da interferência em filmes finos quando a luz é incidida em uma película ou bolha de sabão. Analisar as interferências construtivas e destrutivas para a formação de cores em uma película ou bolha de sabão.
<b>Competências e habilidades</b>	Identificar e caracterizar modelos de explicação da natureza da luz ao longo da história humana, seus limites e embates. Associar a cor de um objeto a formas de interação da luz com a matéria (reflexão, refração, absorção). Identificar a luz branca como composição de diferentes cores.
<b>Materiais</b>	Recipiente com água e detergente. Lanterna com luz branca (LED). Haste (pedaço de arame) para fazer as bolhas de sabão. Anteparo com fundo branco.
<b>Custo do Experimento</b>	Recipiente com água e detergente. (Preço do detergente em supermercados: Até R\$2,00 dependendo da região). Lanterna com luz branca (LED). (Preço nas Americanas: R\$9,00 – R\$20,00). Haste (pedaço de arame) para fazer as bolhas de sabão. (Preço do arame em casa de construção: Menos de R\$1,00 o metro). (Esses valores foram obtidos em junho de 2020).

Tabela 8 – Sobre o Experimento da Figura 39

Procedimento experimental - Nessa experiência ligamos a lanterna e incidimos a luz inclinadamente sobre o recipiente com água e sabão, em seguida mergulhamos o aro dentro da

água com detergente para formar uma película de sabão, podemos observar que a luz refletida na película será projetada no anteparo branco, assim conforme o líquido escorre, a espessura da película formada no aro vai ficando mais fina. Se esta espessura ficar da ordem dos comprimentos da luz incidente, haverá interferência entre as ondas refletidas na primeira superfície e na segunda superfície da película de sabão. Estas interferências produzem as cores projetadas na tela (Figura 39), por exemplo, as faixas verdes aparecem nas regiões onde ocorreu a interferência construtiva para o comprimento de onda da luz verde, da mesma forma que ocorre interferências construtivas para as outras cores. Notamos também que conforme o líquido escorre, a película vai ficando cada vez mais fina e as interferências construtivas para a luz visível deixam de existir assim a película vai ficando cada vez mais escura indicando que está prestes a se desfazer. Poderá ser feita bolhas de sabão de diferentes tamanhos conforme Figura 41 e expostas ao sol para o mesmo efeito de interferências em filmes finos, películas de óleo também demonstram o mesmo efeito.



Figura 40 - Alunos montando o experimento.

Fonte: Elaborado pelo autor.



Figura 41 - Película de sabão sofrendo interferências.

Fonte: Elaborado pelo autor.

## 4.2 ETAPA II

### 4.2.1 OBJETIVOS DA ETAPA II

Construir um conhecimento significativo sobre o comportamento da luz, revisando a etapa I sobre os conceitos estudados. Verificar na etapa II que a luz demonstra outras propriedades. Analisar os fatos históricos que levaram à novas descobertas sobre o comportamento da luz. Discutir sobre os fatos verificados nos experimentos e entender as novas descobertas sobre a luz como radiação e interação com a matéria e seu comportamento corpuscular. Concluir ao final da etapa II que a física ou as ciências estão sempre em evolução com novas descobertas e que nada no meio científico está pronto ou encerrado.

### 4.2.2 EXPERIÊNCIA 7 - EXPERIMENTO DE HERTZ, ONDAS ELETROMAGNÉTICAS

Ondas eletromagnéticas foram produzidas pela primeira vez em laboratório por Heinrich Hertz em 1887. Maxwell mostrou que suas equações preveem a rapidez das ondas eletromagnéticas no espaço livre com a mesma velocidade da luz pela equação  $c = 1/\sqrt{\mu_0\epsilon_0}$ . O experimento ( Figura 42) irá produzir o que Hertz fez e comprovou nas suas pesquisas o que Maxwell havia previsto, com base só na teoria da conservação da carga elétrica, ele formulou as leis que no espaço livre a gente pode ter ondas eletromagnéticas.



Figura 42 - Experimento feito baseado nas experiências de Hertz ao descobrir as ondas de rádio.

Fonte: Elaborado pelo autor.

<b>Objetivos</b>	<p>Comprovar a existência das ondas eletromagnéticas por meio do mesmo princípio que Hertz provou.</p> <p>Verificar através do experimento a produção e propagação de ondas eletromagnéticas através da transmissão do pulso elétrico e a lâmpada acesa sem nenhuma conexão.</p>
<b>Competências e habilidades</b>	<p>Identificar os principais meios de produção, propagação e detecção de ondas eletromagnéticas no cotidiano.</p> <p>Explicar o funcionamento básico de equipamentos e sistemas de comunicação, como rádio, televisão, telefone celular e fibras ópticas, com base nas características das ondas eletromagnéticas.</p> <p>Reconhecer a evolução dos meios de comunicação e informação, assim como seus impactos sociais, econômicos e culturais.</p>
<b>Materiais</b>	<p>4 fios de cobre rígido com 20 cm de comprimento.</p> <p>1 lâmpada de neon pequena. Papel alumínio para antena.</p> <p>Suportes de madeira, plástico ou outro material para os fios de cobre</p> <p>Acendedor de fogão com sistema piezoelétrico.</p> <p>2 garras jacaré e fios de cobre para acoplar no acendedor.</p>
<b>Custo do Experimento</b>	<p>4 fios de cobre rígido com 20 cm de comprimento. (Preço em casa de elétrica: Até R\$5,00 o metro, dependendo da região).</p> <p>1 lâmpada de neon pequena. (Preço nas Americanas: Até R\$2,00).</p> <p>Papel alumínio para antena. (Preço em supermercados: R\$2,00 – R\$5,00).</p> <p>Acendedor de fogão com sistema piezoelétrico. (Preço em casa de elétrica: Até R\$15,00; dependendo da região; serviço da montagem do técnico também pode variar, nesse experimento foi pago R\$15,00).</p> <p>2 garras jacaré e fios de cobre para acoplar no acendedor. (Preço em casa de eletrônica: Menos de R\$1,00). (Esses valores foram obtidos em junho de 2020).</p>

Tabela 9 – Sobre o Experimento da Figura 42

Procedimento experimental - O experimento irá produzir o que Hertz fez e comprovou nas suas pesquisas o que Maxwell havia previsto, com base só na teoria da conservação da carga elétrica, ele formulou as leis que no espaço livre a gente pode ter ondas eletromagnéticas. A partir daí a óptica se transformou num capítulo do eletromagnetismo, dissemos que Maxwell foi responsável pela unificação do eletromagnetismo com a óptica, porque agora os fenômenos ópticos em princípio poderiam ser estudados à luz do eletromagnetismo. Esses trabalhos eram teóricos e ninguém havia produzido ainda as ondas previstas por ele, e ele tinha essa noção, faltava a comprovação experimental dessa teoria. O experimento é relativamente simples na sua montagem, precisamos de quatro pedaços de fios rígidos de cobre, um suporte que pode ser de madeira para fixarmos os fios. De um lado teremos uma lâmpada pequena de néon conectando dois fios de cobre, e na outra parte ligada aos outros dois fios um acendedor de

fogão modificado com dois fios de garra jacaré para conexão. Essa modificação poderá ser feita por alguém especializado em elétrica-eletrônica, o papel alumínio poderá ser usado para melhorar a antena de transmissão conforme Figuras 42 e 43. O experimento demonstra muito bem que sem nenhuma ligação entre as partes, ao acionar o acendedor a lâmpada acende. O eletromagnetismo em suas leis traz a perturbação que se origina em um determinado ponto, com essa perturbação eletromagnética ela se propaga no espaço e a transmissão de ondas eletromagnéticas representam essas perturbações em pontos até muito longe, e que se demonstra no experimento é que uma perturbação se propaga, sem meios materiais para isso, até mesmo no vácuo.

Em resumo teremos um experimento com os fios de cobre e papel alumínio, que será a antena, colocando nas bases fixas de madeira ou outro material. Colocar as garras do conector do acendedor de fogão de um lado, e do outro a lâmpada de néon. Ao dar um pulso elétrico no acendedor a lâmpada irá acender mesmo sem conexão entre eles conforme Figura 44.



Figura 43 - Alunos montando o experimento de Hertz.

Fonte: Elaborado pelo autor.



Figura 44 - Construção do experimento com as quatro hastes de fio de cobre rígidos, lâmpada de néon, papel alumínio para antena e dispositivo piezoelétrico para gerar carga.

Fonte: Elaborado pelo autor.

#### 4.2.3 EXPERIÊNCIA 8 - BLOQUEAR ONDAS COM PAPEL ALUMÍNIO E ESPONJA DE AÇO

Pode-se usar uma blindagem feita de papel alumínio ou palha de aço para bloquear as ondas eletromagnéticas em uma chamada de celular, isso ocorre pois o alumínio ou a palha de aço blindam as ondas eletromagnéticas vindas de uma torre de transmissão. Essa blindagem eletrostática também chamada de Gaiola de Faraday atua sobre o campo elétrico das ondas de rádio em uma ligação telefônica no caso (Figura 45), impedindo que as ondas eletromagnéticas, uma radiação de variação dos campos elétricos e magnéticos, atravessem o metal e penetrem em um certo meio.



Figura 45 - Celular que receberá a ligação sendo embrulhado em papel alumínio ou esponja de aço.

Fonte: Elaborado pelo autor.

<b>Objetivos</b>	Investigar qual é o comportamento do sinal de um celular quando isolado através de diferentes materiais como, por exemplo, folha de papel alumínio. Demonstrar como as ondas eletromagnéticas de um celular podem ser bloqueadas usando princípios da blindagem eletrostática e gaiola de Faraday.
<b>Competências e habilidades</b>	Identificar os principais meios de produção, propagação e detecção de ondas eletromagnéticas no cotidiano. Explicar o funcionamento básico de equipamentos e sistemas de comunicação, como rádio, televisão, telefone celular e fibras ópticas, com base nas características das ondas eletromagnéticas. Reconhecer a evolução dos meios de comunicação e informação, assim como seus impactos sociais, econômicos e culturais.
<b>Materiais</b>	2 Celulares em funcionamento com área e crédito para ligações. Papel alumínio e esponja de aço.
<b>Custo do Experimento</b>	Papel alumínio e esponja de aço. (Preço em supermercados: Menos de R\$5,00). (Esses valores foram obtidos em junho de 2020).

Tabela 10 – Sobre o Experimento da Figura 45

Procedimento experimental - Uma blindagem eletrostática, conhecida como Gaiola de Faraday deixará o campo elétrico nulo dentro de uma esfera metálica eletrizada, porém em sua casca haverá um campo de forças atuando que é o próprio campo elétrico, portanto essa casca estará eletrizada. Dentro de um veículo cuja carroceria é feita de metal tal como carro, helicóptero ou um avião, também é construído uma blindagem eletrostática contra descargas elétricas, usando-se o mesmo efeito visto com a Gaiola de Faraday. Pode-se usar uma blindagem feita de papel alumínio ou palha de aço para bloquear as ondas eletromagnéticas em uma chamada de celular, isso ocorre pois o alumínio ou a palha de aço blinda as ondas eletromagnéticas vindas de uma torre de transmissão. Essa blindagem eletrostática também chamada de Gaiola de Faraday atua sobre o campo elétrico das ondas de rádio em uma ligação telefônica no caso, impedindo que as ondas eletromagnéticas, uma radiação de variação dos

campos elétricos e magnéticos, atravessem o metal e penetrem em um certo meio. Ao se cobrir esse meio com material condutor, pode-se criar uma blindagem contra essa radiação.

Dois celulares precisarão estar com área e crédito para ligações. Um dos celulares fará a ligação para comprovar que está funcionando, após a verificação o celular que recebeu a ligação será embrulhado primeiro com papel alumínio e será feita a ligação conforme Figuras 45 e 46, depois será embrulhado em palha de aço e nova ligação será feita.

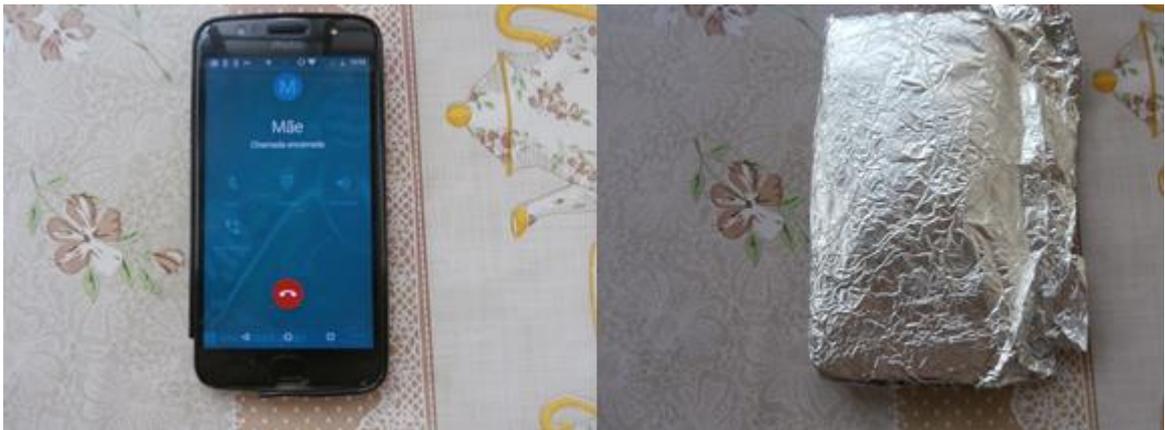


Figura 46 - Celular fazendo a ligação e celular embrulhado.

Fonte: Elaborado pelo autor.

#### 4.2.4 EXPERIÊNCIA 9 - FILTROS DE LUZ, POLARIZAÇÃO DE ONDAS

É possível transformar luz não polarizada em polarizada fazendo-a passar por um filtro polarizador (Figura 47). Quando temos dois filtros polarizadores considerando suas orientações relativas: Se as direções de polarização são paralelas, toda a luz que passa pelo primeiro filtro passa também pelo segundo. Porém, se as direções são perpendiculares (caso em que dizemos que os filtros estão cruzados), não passa nenhuma luz pelo segundo filtro.



Figura 47- Película polarizada retirada da tela de um celular sem uso.

Fonte: Elaborado pelo autor.

<b>Objetivos</b>	<p>Compreender que a luz é polarizada e se propaga transversalmente em campos elétricos e magnéticos.</p> <p>Verificar o fenômeno de polarização de um modo empírico, utilizando películas ou adesivos polarizados, filtros polaróides e óculos de sol polarizados.</p> <p>Verificar que luz polarizada linearmente, transmitida através de um polarizador, depende do ângulo, onde a luz pode ser bloqueada ou não pelo polarizador.</p>
<b>Competências e habilidades</b>	<p>Associar as características de obtenção de imagens a propriedades físicas da luz para explicar, reproduzir, variar ou controlar a qualidade das imagens produzidas.</p> <p>Utilizar o modelo eletromagnético da luz como uma representação possível das cores na natureza.</p> <p>Identificar a luz no espectro de ondas eletromagnéticas, diferenciando as cores de acordo com as frequências.</p>
<b>Materiais</b>	<p>Filtros polarizadores, por exemplo, películas polarizadas de celular, televisão, tablet, computadores, câmera fotográfica, óculos de sol, etc.</p> <p>Tela de computador ligada e sem defeito. (Aparelhos da escola).</p>
<b>Custo do Experimento:</b>	<p>Filtros polarizadores, por exemplo, películas polarizadas de celular, televisão, tablet, computadores, câmera fotográfica, óculos de sol, etc. (Preço no mercado livre: R\$15,00 – R\$30,00; em estabelecimentos de manutenção eletrônica pode-se conseguir de graça).</p>

Tabela 11 – Sobre o Experimento da Figura 47

Procedimento experimental - Uma das características das ondas eletromagnéticas é exibir um fenômeno conhecido como polarização, as ondas eletromagnéticas podem ou não ser polarizadas. Porque na verdade quando ela não é polarizada é porque existe um número infinito de polarizações, mas de qualquer maneira, a polarização das ondas eletromagnéticas está associada ao spin 1 do fóton. E o fato é que as ondas eletromagnéticas, se propagam em uma direção e oscilam na direção perpendicular da direção de propagação. Já que esse plano que elas podem oscilar é um plano, conseqüentemente podem oscilar numa direção ou na outra direção. Então dizemos que uma onda é plano polarizada se ela oscila de tal maneira que o plano de oscilação é perpendicular a direção de propagação, mas no plano as oscilações, que vão sempre ao longo de uma dimensão, como se forem numa reta, que é de difícil percepção por causa da sua propagação. Os polarizadores funcionam como uma fenda permitindo que a

luz passe somente em um plano. Se acontecer de dois polarizadores estarem alinhados na mesma direção, a luz passa pelo primeiro, mas no segundo não se vê nada, pois um deixa passar na vertical e o outro na horizontal, então a onda que passou na vertical não passará na horizontal, não haverá emergência de luz por causa desse polarizador conforme Figura 49. A polarização só ocorre em ondas transversais, ondas longitudinais iguais as sonoras não ocorre esse fenômeno.

Faremos testes de polarização da luz, com o monitor do computador ligado iremos verificar alguns polarizadores como os óculos de sol, um adesivo de tela de celular (Figura 48), um adesivo de tela de TV LCD, ou o que o professor e a sala conseguirem para o experimento. O interessante é demonstrar para os alunos que os óculos comprados em bancas de camelôs ou ambulantes não são polarizadores e podem trazer riscos para a visão.



Figura 48 - Filtro polarizador de tela de celular.

Fonte: Elaborado pelo autor.

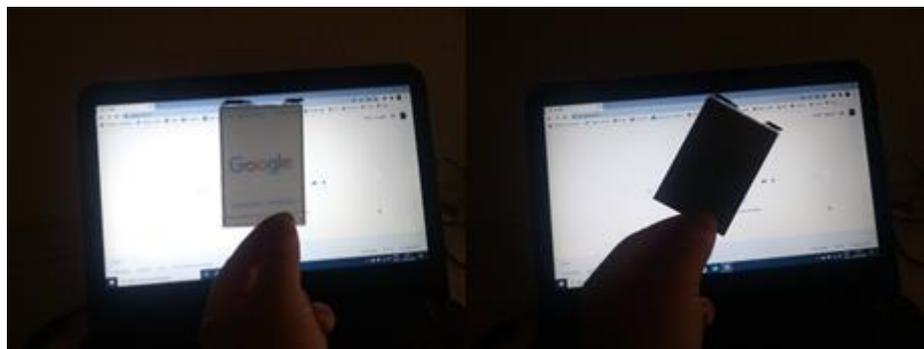


Figura 49 - Ao rotacionar o filtro diante da tela do computador temos o efeito de polarização da luz, onde a luz pode ser totalmente bloqueada.

Fonte: Elaborado pelo autor.

#### 4.2.5 EXPERIÊNCIA 10 - PRODUTOS FLUORESCENTES E FOSFORESCENTE

A fluorescência e a fosforescência só ocorrem quando a radiação incidente tem energia suficiente para excitar os átomos do material. A luz visível não provoca excitação nos átomos, pois não tem energia suficiente para isso, por isso quando incidimos a luz verde do laser, apesar de ser muito intensa, não provoca nenhuma reação no material. Mas quando incidimos a radiação ultravioleta de um laser azul, por exemplo, podemos até escrever no material. A radiação desse laser tem energia suficiente para provocar a fosforescência, após a excitação dos átomos pela energia dos fótons, a relaxação do sistema ocorre de forma lenta e o material fica iluminado por vários minutos, mesmo depois de cessar a radiação ultravioleta do laser conforme Figura 50.



Figura 50 - Material fosforescente excitado por uma lâmpada de luz negra com radiação ultravioleta.

Fonte: Elaborado pelo autor.

<b>Objetivos</b>	Demonstrar experimentalmente a diferença entre material fluorescente e fosforescente. Analisar a interação de fótons com a matéria (absorção e reemissão de fótons), através do experimento. Entender a relação da energia com a frequência de um laser e sua interação com a matéria fosforescente.
<b>Competências e habilidades</b>	Reconhecer e explicar a emissão e a absorção de diferentes cores de luz. Identificar a luz no espectro de ondas eletromagnéticas, diferenciando as cores de acordo com as frequências. Reconhecer o atual modelo científico utilizado para explicar a natureza da luz.

<b>Materiais</b>	Água com sabão em pó, Água tônica, Canetas marca texto. Objetos fluorescentes, Papel ou objeto fosforescente. Lâmpada de luz negra. Laser vermelho, verde e azul/roxo.
<b>Custo do Experimento</b>	Água com sabão em pó. (Utensílio de casa, até R\$5,00). Água tônica. (Preço em supermercados: Até R\$5,00). Canetas marca texto. (Preço em papelarias: Até R\$5,00). Objetos fluorescentes. (Preço Ali Express: Até R\$10,00; também possível encontrar em papelarias e armarinhos). Papel ou objeto fosforescente. (Preço Ali Express: Até R\$20,00; também possível encontrar em papelarias e armarinhos). Lâmpada de luz negra. (Preço nas Americanas: R\$15,00 – R\$25,00). Laser vermelho, verde e azul/roxo. (Preço no Ali Express: R\$5,00 – R\$15,00). (Esses valores foram obtidos em junho de 2020).

Tabela 12 – Sobre o Experimento da Figura 50

Procedimento experimental - A lâmpada de vapor de mercúrio, conhecida como luz negra, emite luz na faixa do violeta, e também radiação ultravioleta de frequência mais baixa conhecida como UVA. Como a radiação ultravioleta é invisível aos nossos olhos, quando ligamos a lâmpada vemos apenas uma luz violeta fraca, a incidência dessa luz sobre o pedaço de papel marrom, por exemplo, praticamente não provoca nenhum efeito pois a radiação ultravioleta é absorvida pelo papel e transformada em calor. Usando uma caneta do tipo marca texto podemos escrever sobre este papel, com a luz ambiente quase não enxergamos o que está escrito nele, mas quando apagamos a luz ambiente e iluminamos o papel com a lâmpada de luz negra, a parte escrita com a caneta marca texto se ilumina. Isso acontece, pois, a tinta desse tipo de caneta possui uma substância fluorescente que absorve a radiação ultravioleta e logo após emite a luz visível, que causa o brilho intenso, também podemos observar um pedaço de papel sulfite que contém substância fluorescente que o torna mais branco, ao contrário do papel marrom (Figuras 51 e 52).

A radiação ultravioleta também pode ser usada para detectar falsificações grosseiras, por exemplo, em notas de dinheiro impressas em papel sulfite, se forem iluminadas duas notas, uma falsa e uma real com luz ambiente, praticamente não veremos diferença entre elas, porém se ligarmos a luz negra, como a nota verdadeira é feita com papel moeda que não é fluorescente, fica evidente a diferença entre as duas notas, a nota falsa por ser fluorescente absorve a radiação ultravioleta e emite luz visível, ao contrário da nota verdadeira que apenas absorve a radiação não emitindo luz. Podemos ainda fazer testes com adesivos de enfeites feitos de materiais fosforescentes, estes materiais também absorvem a radiação ultravioleta e emitem luz visível,

porém mesmo após desligadas a radiação ultravioleta eles ficam emitindo luz, no caso dos enfeites, ficam emitindo luz ainda um intervalo de tempo. Podemos fazer agora um outro teste com material fosforescente e laser, a fluorescência e a fosforescência só ocorrem quando a radiação incidente tem energia suficiente para excitar os átomos do material. A luz visível não provoca excitação nos átomos, pois não tem energia suficiente para isso, por isso quando incidimos a luz verde do laser, apesar de ser muito intensa, não provoca nenhuma reação no material. Mas quando incidimos a radiação ultravioleta de um laser azul, por exemplo, podemos até escrever no material. A radiação desse laser tem energia suficiente para provocar a fosforescência, após a excitação dos átomos pela energia dos fótons, a relaxação do sistema ocorre de forma lenta e o material fica iluminado por vários minutos, mesmo depois de cessar a radiação ultravioleta do laser conforme Figuras 53 e 54.

É interessante levar para esse experimento para comprovar a luminescência dos produtos, frasco com água e sabão em pó, água tônica, tinta de caneta marca texto na água, papel cartão pintado com caneta marca texto, enfeites e objetos de decoração fluorescentes e fosforescentes. Para iluminar todos esses produtos precisaremos de uma lâmpada de luz negra e para o experimento do efeito fotoelétrico, que é a luz como radiação interagindo com a matéria no material fosforescente, precisamos iluminar com laser vermelho, verde e azul.

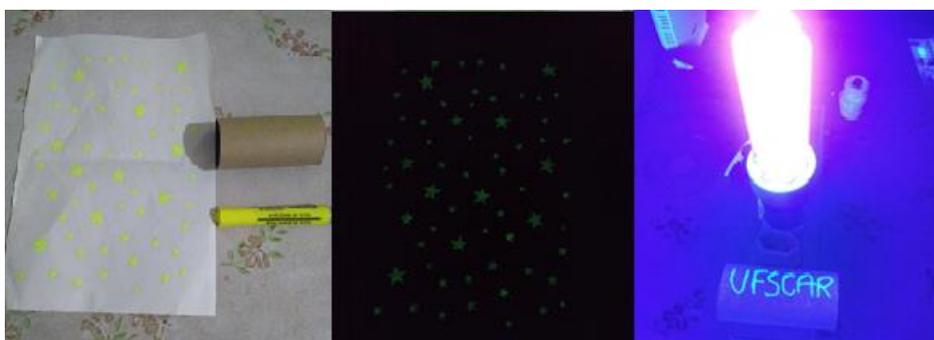


Figura 51 - Materiais fluorescentes sendo excitados com lâmpada de luz negra.

Fonte: Elaborado pelo autor.



Figura 52 - Aluna interagindo com caneta de material fluorescente e lâmpada de luz negra com radiação ultravioleta.

Fonte: Elaborado pelo autor.



Figura 53 - Os lasers vermelho e verde estão sendo incididos no material fosforescente, porém ambos não têm energia suficiente para excitar os átomos do material.

Fonte: Elaborado pelo autor.



Figura 54 - O laser azul/roxo tem energia suficiente para excitar os átomos do material fosforescente.

Fonte: Elaborado pelo autor.

#### 4.2.6 EXPERIÊNCIA 11 - ELETROSCÓPIO E O EFEITO FOTOELÉTRICO

Vamos mostrar com esse experimento (Figura 55) a interação da radiação com a matéria e um dos efeitos mais importantes da física moderna, o efeito fotoelétrico. Este efeito rendeu o prêmio Nobel para o cientista Albert Einstein em 1921 (Halliday, 2016). Inicialmente

iremos eletrizar o canudinho atritando-o com papel toalha, o papel toalha tem a tendência de perder elétrons ficando positivo conforme a tabela triboelétrica, já o canudinho ganha esses elétrons ficando negativo. Após o atrito, o eletroscópio será carregado por contato, transferindo parte das cargas do canudinho, nesse caso o eletroscópio se eletriza com cargas do mesmo sinal do canudinho. Ao ligarmos uma lâmpada incandescente de alta potência, verificamos que nada acontece e o eletroscópio continua carregado, porém, quando ligamos uma lâmpada de luz negra que emite radiação ultravioleta sobre o eletroscópio, ele se descarrega imediatamente.



Figura 55 - Experimento do eletroscópio para demonstrar o efeito fotoelétrico.

Fonte: Elaborado pelo autor.

<b>Objetivos</b>	<p>Verificar o efeito fotoelétrico ocorrendo no eletroscópio através da emissão de luz ultravioleta.</p> <p>Analisar o efeito ocorrendo através da frequência de luz proporcional a sua energia e não com sua intensidade conforme modelo clássico.</p> <p>Discutir um novo modelo para o comportamento corpuscular da luz.</p>
<b>Competências e habilidades</b>	<p>Reconhecer o atual modelo científico utilizado para explicar a natureza da luz.</p> <p>Identificar a luz no espectro de ondas eletromagnéticas, diferenciando as cores de acordo com as frequências.</p> <p>Explicar a absorção e a emissão de radiação pela matéria, recorrendo ao modelo de quantização da energia.</p>
<b>Materiais</b>	<p>1 frasco de maionese ou do tipo plástico com tampa. (Material reciclável).</p> <p>1 pedaço de fio de cobre rígido, Papel alumínio.</p> <p>Alicate (opcional), Tesoura, estilete, cola, Fita adesiva.</p> <p>Canudinho e papel toalha para eletrizar o eletroscópio.</p> <p>Lâmpada incandescente e Luz negra.</p> <p>Soquete e extensão elétrica para liga-las.</p>

<b>Custo do Experimento</b>	<p>1 pedaço de fio de cobre rígido. (Preço em casa de elétrica: Até R\$5,00 o metro, dependendo da região).</p> <p>Papel alumínio. (Preço em supermercados: Menos de R\$5,00).</p> <p>Alicate (opcional). (Preço nas Americanas: Até R\$10,00).</p> <p>Tesoura, estilete, cola. (Preço em papelarias: Menos de R\$5,00).</p> <p>Fita adesiva. (Preço em casa de elétrica: Menos de R\$5,00).</p> <p>Lâmpada incandescente. (Preço casa de elétrica: R\$2,00 – R\$5,00).</p> <p>Luz negra. (Preço nas Americanas: R\$15,00 – R\$25,00).</p> <p>Soquete e extensão elétrica para liga-las. (Preço casa de elétrica: até R\$10,00, pode variar conforme região). (Esses valores foram obtidos em junho de 2020).</p>
-----------------------------	---

Tabela 13 – Sobre o Experimento da Figura 55

Procedimento experimental - Primeiramente deve-se montar um eletroscópio com pote de maionese ou outro pote de plástico ou vidro. Um eletroscópio é de fácil montagem, precisa-se além do pote, um pedaço de fio de cobre rígido e uma bola de papel alumínio na parte de cima e duas folhas bem finas e separadas na parte de baixo. Na tampa do pote terá um furo pequeno apenas para entrada do fio de cobre, esse fio terá um gancho embaixo onde será colocada as folhas de papel alumínio conforme Figura 57. O pote tem que estar bem fechado e vedado, na parte de cima do fio coloque a bola de papel alumínio e está pronto o eletroscópio.

Vamos mostrar com esse experimento a interação da radiação com a matéria e um dos efeitos mais importantes da física moderna, o efeito fotoelétrico, este efeito rendeu o prêmio Nobel para o cientista Albert Einstein em 1921. Inicialmente iremos eletrizar o canudinho atritando-o com papel toalha, o papel toalha tem a tendência de perder elétrons ficando positivo conforme a tabela triboelétrica, já o canudinho ganha esses elétrons ficando negativo. Após o atrito, o eletroscópio será carregado por contato, transferindo parte das cargas do canudinho, nesse caso o eletroscópio se eletriza com cargas do mesmo sinal do canudinho. Ao ligarmos uma lâmpada incandescente de alta potência, verificamos que nada acontece e o eletroscópio continua carregado conforme Figura 58, porém, quando ligamos uma lâmpada de luz negra que emite radiação ultravioleta sobre o eletroscópio, ele se descarrega imediatamente conforme Figura 59. Apesar da lâmpada de luz negra possuir uma potência elétrica muito menor comparada com a lâmpada incandescente, ela emite um tipo de radiação cuja energia dos fótons é muito maior. Esse efeito antes não compreendido foi explicado por Einstein, a energia dos fótons depende da frequência da radiação, quanto maior a frequência da onda, maior a energia. Por exemplo, os fótons da luz violeta têm mais energia do que os fótons da luz vermelha, pois a frequência da luz violeta é maior do que a frequência da luz vermelha. Dessa forma os fótons

da radiação ultravioleta por possuírem mais energia, conseguem arrancar os elétrons do eletroscópio, ao contrário da lâmpada incandescente que emite radiação infravermelha.



Figura 56 - Alunos montando o experimento.

Fonte: Elaborado pelo autor.



Figura 57 - Montagem do eletroscópio com pote plástico, fio de cobre, pedaço de papel alumínio, canudinho e papel toalha.

Fonte: Elaborado pelo autor.



Figura 58 - O canudinho atritado com o papel toalha fica carregado com cargas negativas, ao tocar com o canudinho no papel alumínio, os elétrons fluem para a parte inferior do eletroscópio, esses elétrons se repelem separando as fitas de papel alumínio, e mesmo exposto a uma lâmpada incandescente, não há alteração aos elétrons, a energia da lâmpada não é suficiente para arrancar esses elétrons.

Fonte: Elaborado pelo autor.



Figura 59 - Ao posicionar uma lâmpada de luz negra de radiação ultravioleta com energia suficiente, os elétrons são arrancados do eletroscópio, mesmo o canudinho ainda tocando o papel alumínio.

Fonte: Elaborado pelo autor.

#### 4.2.7 EXPERIÊNCIA 12 - OUVINDO O CONTROLE REMOTO, EXPERIMENTO DE FOTOTRANSISTOR

Esse experimento vai permitir que nós consigamos ouvir o sinal que o controle remoto emite através da luz infravermelho e também vamos verificar o efeito fotoelétrico que é a base desse projeto, o efeito fotoelétrico ocorre quando se emite uma luz em um metal e através dos fótons emitidos por essa luz com energia necessária, elétrons do metal são arrancados. Para enxergarmos esse efeito vamos utilizar um fototransistor (Figura 60), que funciona por meio do efeito fotoelétrico.

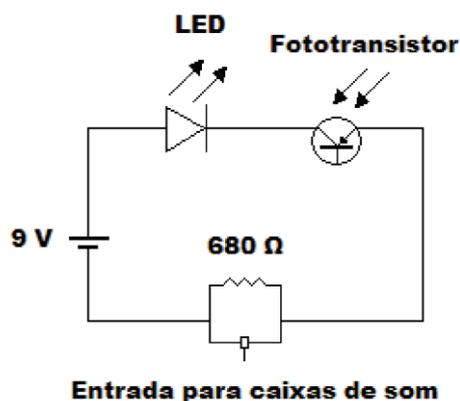


Figura 60 - Circuito esquemático do experimento.

Fonte: Disponível em: <<https://images.app.goo.gl/9ixNLVnYTABKrx46>>. Acesso em: 20 nov. 2020.

<p><b>Objetivos</b></p>	<p>Compreender a interação existente entre a radiação e a matéria, a partir da existência de fenômenos naturais, da vida e da tecnologia, relacionando posteriormente com a noção do fenômeno conhecido como efeito fotoelétrico.</p> <p>Definir o efeito fotoelétrico a partir do aparato experimental, explicando como ocorre o fenômeno e apresentar a explicação dada para o fenômeno por Albert Einstein.</p> <p>Compreender uma das aplicações tecnológicas do efeito fotoelétrico, ao que se refere à interação da luz infravermelha do controle remoto com o fototransistor, a partir da montagem de um experimento de baixo custo.</p>
-------------------------	---

<b>Competências e habilidades</b>	<p>Explicar a absorção e a emissão de radiação pela matéria, recorrendo ao modelo de quantização da energia.</p> <p>Identificar diferentes radiações presentes no cotidiano, reconhecendo sua sistematização no espectro eletromagnético e sua utilização por meio das tecnologias a elas associadas (rádio, radar, forno de micro-ondas, raios X, tomografia, laser etc.).</p> <p>Reconhecer o atual modelo científico utilizado para explicar o comportamento da luz.</p>
<b>Materiais</b>	<p>1 bateria de 9 V.</p> <p>1 Fototransistor infravermelho.</p> <p>1 LED vermelho (ou de outra cor).</p> <p>1 pino fêmea P2 (para conectar a caixa de som).</p> <p>1 resistor de 680 <math>\Omega</math> e 1/8 W.</p> <p>2 garras jacarés.</p> <p>1 suporte para bateria.</p> <p>1 controle remoto comum de televisão.</p> <p>1 caixinha de som de computador ou de rádio.</p>
<b>Custo do Experimento</b>	<p>1 bateria de 9 V. (Preço em casa de eletrônica: Até R\$10,00).</p> <p>1 Fototransistor infravermelho. (Preço em casa de eletrônica: Até R\$5,00). 1 LED vermelho (ou de outra cor).</p> <p>1 pino fêmea P2 (para conectar a caixa de som). (Preço em casa de eletrônica: Até R\$5,00). 1 resistor de 680 <math>\Omega</math> e 1/8 W. (Preço em casa de eletrônica: Menos que R\$1,00).</p> <p>2 garras jacarés. (Preço em casa de eletrônica: Menos de R\$1,00).</p> <p>1 suporte para bateria. (Preço em casa de eletrônica: Menos de R\$1,00). 1 controle remoto comum de televisão. (Utensílio de casa ou da escola; valor médio R\$10,00).</p> <p>1 caixinha de som de computador ou de rádio. (Utensílio de casa ou da escola, valor médio R\$20,00). (Esses valores foram obtidos em junho de 2020).</p>

Tabela 14 – Sobre o Experimento da Figura 60

Procedimento experimental - Esse é o experimento ouça seu controle remoto, esse experimento vai permitir que nós consigamos ouvir o sinal que o controle remoto emite através da luz infravermelho e também vamos verificar o efeito fotoelétrico que é a base desse projeto, o efeito fotoelétrico ocorre quando se emite uma luz em um metal e através dos fótons emitidos por essa luz com energia necessária, elétrons do metal são arrancados. Para enxergarmos esse efeito vamos utilizar um fototransistor que funciona por meio do efeito fotoelétrico. Um transistor comum funciona como um registro de água a grosso modo, onde eu posso regular o quanto de corrente elétrica irá passar pelos terminais chamados coletor e emissor, como se fosse um fluxo de água pelo cano. E o registro que comanda se passa, e quanto passa de corrente

elétrica é a base do transistor, eu posso usá-lo para receber um certo sinal elétrico em sua base e assim ter uma quantidade bem maior de corrente vindo de outro circuito, por isso são muito usados nos amplificadores de correntes. No caso do fototransistor, só funciona como passa ou não passa corrente, isso porque em sua base é a luz emitida de uma fonte que libera essa corrente, portanto os fótons emitidos por essa fonte de luz movimentam os elétrons de uma placa até a outra estabelecendo uma corrente elétrica. Os elétrons irão se desprender do coletor e irão para o emissor do fototransistor toda vez que for emitida luz em sua base, sem luz na base não teremos fluxo de elétrons. Então através da luz do controle remoto, que é uma radiação infravermelha, poderemos ouvir o sinal por ele produzido. O LED no circuito mostrará o movimento em que a corrente elétrica passa pelo fototransistor acendendo, um resistor em paralelo limitará a tensão no LED e estará em paralelo com o conector da caixa de som, uma bateria 9 V vai alimentar o circuito. Com o circuito montado (Figura 61), tudo conectado, e as caixas funcionando podemos testar se realmente podemos ouvir o controle remoto, com o botão do controle apertado vamos direcioná-lo para o fototransistor. A radiação infravermelha emitida pelo controle libera o fluxo de elétrons alimentados pela bateria, esses elétrons estarão na mesma frequência da radiação (Figura 62), a caixa de som irá transformar essa frequência eletromagnética em som, podendo então ouvir os pulsos que vem do controle remoto.

Temos o esquema do circuito para ser montado na Figura 60, os componentes são de preço baixo, mas dependendo da localização só serão encontrados via internet. O circuito poderá ser montado no protoboard ou soldado, fica a critério, o circuito é de fácil montagem. A comprovação do efeito fotoelétrico é ligar a caixa de som e verificar os ruídos produzidos pela radiação infravermelha do controle remoto.

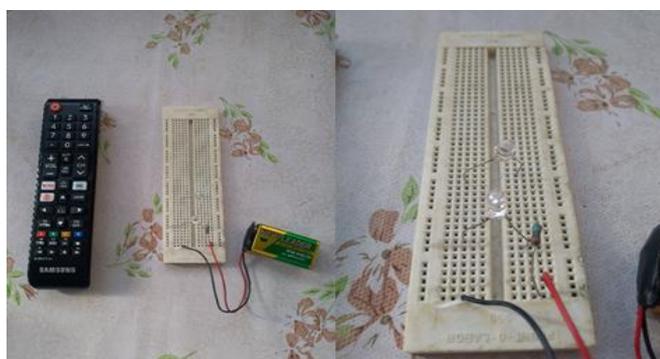


Figura 61 - Circuito montado conforme esquema da Figura 37, foi usado para a montagem do circuito um protoboard, e a caixa de som deve ser conectada em paralelo com o resistor.

Fonte: Elaborado pelo autor.

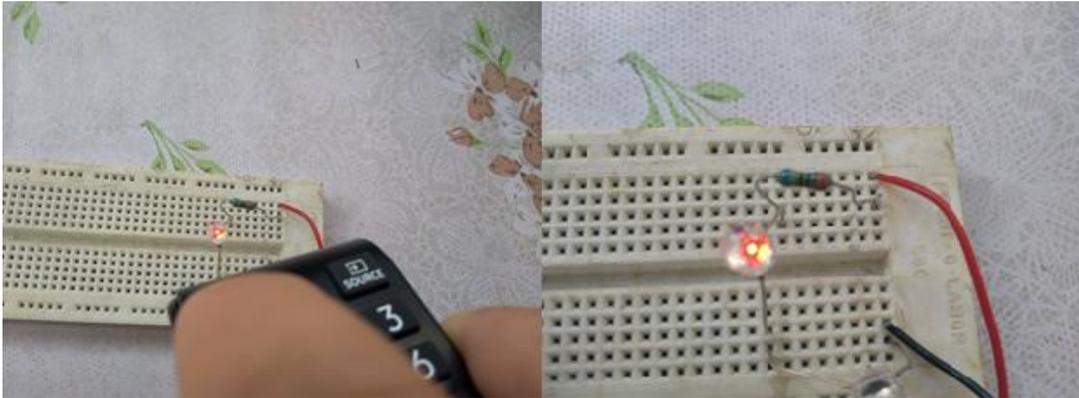


Figura 62 - Ao acionar o botão do controle remoto o fototransistor libera a corrente elétrica da bateria fazendo o LED vermelho acender e teremos um som característico na caixa de som.

Fonte: Elaborado pelo autor.

## 5 APLICAÇÃO DA SEQUÊNCIA DIDÁTICA

A sequência didática foi organizada pensando no grupo de estudantes onde seria aplicado e a viabilidade de sua execução. A sequência didática exigiu a preparação de um grupo de experimentos variados, descritos anteriormente na seção desenvolvimento da sequência didática. Esta foi apresentada numa turma de 3ª série do ensino médio em uma escola pública estadual na cidade de Sorocaba. Entretanto, devido a que esta turma não estava sob a minha responsabilidade foi conversado com os professores do dia para a liberação dos alunos. No dia marcado foram utilizadas as seis aulas da manhã, e um total de 19 alunos participaram da aplicação. Conforme será relatado nas conclusões, o tempo para a aplicação da sequência é de suma importância para a aprendizagem. A sequência didática começou com um questionário de conhecimentos prévios por volta do meio da primeira aula e terminamos todas as atividades no final da quinta aula. Em relação ao tempo de execução, embora tenha sido necessário fazer toda a sequência num único dia. A possibilidade de resultados melhores com mais tempo de execução foi observada. Por exemplo, pelo menos quatro aulas para a Etapa I e mais quatro para a Etapa II. Isto possibilitaria a execução dos experimentos com calma, revendo alguma coisa que não saiu legal, discutindo mais sobre cada experimento, e a aplicação do questionário final.

Ao começo da etapa I foi aplicado um questionário de conhecimentos prévios sobre temas de óptica geométrica, reflexão, refração, dispersão e fenômenos ondulatórios. Após isto, os alunos montaram e realizaram os seis experimentos desta etapa. Dividimos os alunos em três grupos, portanto cada grupo montou dois experimentos. Tivemos a demonstração de cada experimento e a discussão sobre eles. Fechamos essa primeira parte com um novo questionário agora com perguntas mais técnicas. As questões foram pensadas visando os conhecimentos prévios dos alunos sobre óptica e fenômenos ondulatórios. As respostas mostraram certo desconhecimento sobre fenômenos ondulatórios e sobre como a luz se relaciona com esses fenômenos. Ficará evidente nas respostas dadas pelos alunos mais adiante. Podemos perceber em uma conversa prévia que essa turma de 3ª série tem uma defasagem com assuntos estudados na 2ª série. Mesmo sendo aplicados, os alunos sofreram com a falta de professores. Durante os primeiros experimentos os alunos interagiram muito, montando e até se frustrando com alguns experimentos que não deram certo.

Durante a realização dos experimentos alguns problemas surgiram nessa primeira etapa. Por exemplo, o sabão em pó, levado não estava fazendo as bolhas, o ideal nesse experimento é o detergente, então tivemos que fazer essa alteração. Outro acontecimento foi a

ideia do espectroscópio, uma ideia original, porém, dada a dificuldade de montagem pelos alunos foi descartado, ficando só o experimento com o CD inteiro e lâmpadas. O que mais ficou evidente foram as várias dúvidas geradas nesta etapa e o interesse gerado na execução dos experimentos. Por exemplo, como é formado o arco-íris, o efeito relacionado à fibra óptica, a luz sofrendo difração e interferência, inclusive tirando a dúvida sobre o comportamento da luz. Relacionaram a luz tendo comportamento ondulatória de interferência e difração na bolha de sabão e CD 's. Cada experimento tem suas implicações, devem ser testados anteriormente para não se ter problemas na montagem ou em seu funcionamento, apesar de simples, alguns experimentos exigem o material específico para que funcione. Devemos ter esses cuidados para também não frustrar os alunos que estão com uma expectativa em relação ao trabalho prático.

No segundo momento começamos de novo com um questionário de conhecimentos prévios sobre ondas eletromagnéticas e efeito fotoelétrico. Após esse questionário foram montados mais seis experimentos com aplicação e demonstração do conteúdo, houve a discussão dos experimentos e fechamos com o questionário de perguntas técnicas. Houve tempo ainda para os alunos mais interessados montarem e interagirem de novo com os experimentos e tirarem várias dúvidas sobre o conteúdo apresentado. Para responder o novo questionário prévio os alunos precisavam ter algumas ideias mesmo que pouca sobre ondas eletromagnéticas, energia solar e efeito fotoelétrico. O que pode ser percebido neste momento é que mesmo sendo assunto da 3ª série, alguns tópicos não foram significativos para eles. Uma possibilidade que deve ter acontecido foi apenas uma aprendizagem mecânica e logo esqueceram. Entretanto, surgiram várias dúvidas, o que foi muito bom e produtivo para a montagem dos experimentos.

Durante a confecção e montagem dos experimentos nesta etapa, os alunos foram questionando sobre os fenômenos que estavam ocorrendo e tirando suas dúvidas. Eles questionaram sobre velocidade e frequência das ondas eletromagnéticas, espectro das radiações, radiações que não vemos como ondas de rádio, infravermelho e ultravioleta. Foi discutido também a energia que o ultravioleta tem, usando luz negra, e suas consequências na interação com a matéria, ou seja, o efeito fotoelétrico. Eles gostaram bastante do experimento de Hertz, como um pulso sem conexão nenhuma podia acender a lâmpada de néon. Outro experimento que chamou a atenção foi com efeitos fluorescentes e fosforescentes, fizeram desenhos com canetas marca texto que só se conseguia enxergar com luz ultravioleta. O experimento do eletroscópio foi adaptado porque ao carregar a bola de papel alumínio as folhas se separaram, porém, ao retirar o canudo elas voltavam ao lugar. Então com o canudo carregado e encostado na bola de papel alumínio pudemos fazer o teste com as lâmpadas e deu certo, com

a lâmpada LED não acontecia nada e com a lâmpada de luz negra o eletroscópio descarregava. Vimos por fim as tecnologias envolvidas com estes fenômenos, apesar de pouco conhecimento dos alunos, puderam ver pelos experimentos e discussões o princípio de funcionamento de sensores presentes em portas automáticas, luzes de banheiro e postes de luz. No experimento do controle remoto tivemos que ajudar na montagem, dado o tempo corrido e certa dificuldade dos alunos. Mas o experimento funcionou e deu para explicar algumas coisas relacionadas aos sensores que temos hoje em dia com a mesma base de funcionamento.

Outro ponto interessante a ser relatado refere-se que após o término das atividades alguns alunos quiseram saber mais sobre os assuntos tratados, montando novamente alguns experimentos. Foi então uma conversa produtiva onde eles tiraram outras dúvidas. Outra sala, uma 1ª série veio para aula e os alunos da 3ª série começaram a explicar os experimentos para essa turma, esta iniciativa foi muito produtiva. Alguns se interessaram, e puderam interagir e fazer perguntas, com isso pude perceber que uma parcela dos alunos da 3ª série conseguiu agregar os conteúdos pelos experimentos e terem sentido para sua aprendizagem.

A seguir será descrito as algumas das respostas dos alunos obtidas nos questionários prévio e final, em cada uma das etapas. Para cada questão será colocada as respostas consideradas satisfatórias e não satisfatórias com os referidos comentários para cada um.

## 5.1 ETAPA I

### 5.1.1 CONHECIMENTOS PRÉVIOS

<b>Pergunta</b>	1) Liste alguns refletores de luz que você conhece.
<b>Resposta Satisfatória</b>	Apenas o cuidado em responder tudo, alguns objetos absorvem toda a luz, portanto não são refletores.

Resposta satisfatória, mais de 60% dos alunos tiveram respostas parecidas a esta.



Espelhos, a Lua, a água, etc.

Resposta não satisfatória.



Tudo.

Alguns alunos se precipitaram em suas respostas imaginando que tudo pode ser refletido, por isso enxergamos, o que ocorre é que verdadeiramente só enxergamos aquilo que é refletido, mas temos objetos que absorvem toda a luz e não refletem, consequentemente não conseguimos enxergá-los sem ajuda de aparelhos especiais. Alguns foram mais sucintos em escrever coisas do cotidiano que são bem comuns na nossa vida como espelhos e água onde podemos ver nossa própria imagem.

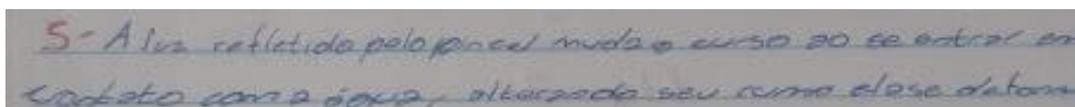
<b>Pergunta</b>	2) Qual seria a sua explicação para a imagem abaixo?
<b>Resposta Satisfatória</b>	A imagem distorcida do lápis na água se dá pelo fenômeno da refração. O raio de luz tem velocidade menor na água.



Figura 63 - Copo com água e um pincel exemplificando o efeito de refração.

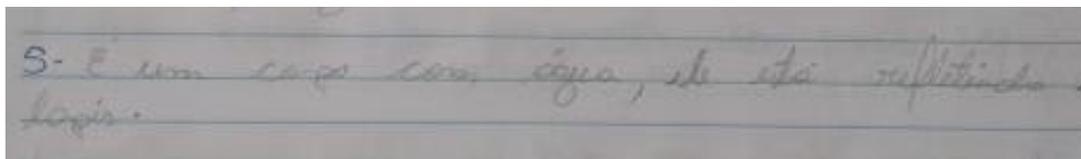
Fonte: Elaborado pelo autor.

Resposta satisfatória, menos de 20% dos alunos sabiam explicar o fenômeno que estava ocorrendo na imagem.



A luz refletida pelo pincel muda o curso ao entrar em contato com a água, alterando seu rumo e se deforma.

Resposta não satisfatória, a maioria dos alunos relacionou a imagem com o fenômeno da reflexão.



É um copo com água, ele está refletindo o lápis.

Pelas respostas entendemos que o fenômeno da refração não é intuitivo aos alunos, aqueles que por ventura estudaram o conteúdo, souberam explicar. Porém para a maioria o fenômeno está ligado à reflexão do lápis no copo distorcendo a imagem ou uma ilusão de ótica no qual o cérebro é “enganado” ao formar a imagem. Para a maioria temos que construir esse conceito, não é intuitivo, porém é de fácil entendimento.

Sobre as outras questões dessa etapa de questionário prévio, vimos que as interpretações sobre a luz divergem um pouco, mesmo assim tivemos boas respostas, para esses alunos a luz é forma de energia, é calor, onda eletromagnética e está no espectro visível, são fótons, são partículas, etc. Alguns tiveram respostas bem vagas e distantes sobre a luz, para esses a ideia não está bem formada e construída em sua cabeça. Também tiveram em suas respostas a noção de reflexão da luz e as imagens se formando no olho, alguns quiseram explicar o processo falando em retina ou córnea, daí a explicação se torna mais complexa mesmo. Interessante a lembrança de que a imagem é formada ao contrário, outras respostas bem simplórias como enxergamos através da luz mostram alguns alunos com uma ideia bem vaga sobre o conceito. Todos tinham a noção de fontes ou produtores de luz. Um aluno colocou a Lua como um dos seus exemplos de fonte de luz, esse é um erro recorrente, sempre acontece de alguns pensarem que a Lua tem luz própria e isso acontece para outros astros também.

A maioria dos alunos concordam que o efeito do arco íris é a partir do raio de luz incidente nas gotas de água, seja numa chuva ou em uma cachoeira, porém, assim como no efeito do lápis é difícil a intuição para o fenômeno da dispersão das cores. Muito não tem a noção que a luz branca possui essas cores ou se sabe não consegue explicar o efeito de separação destas cores no arco íris. Logo o conceito tem que ser trabalhado e o aluno poderá ver o fenômeno óptico da dispersão da luz. As ondas sonoras são bem conhecidas por todos, os alunos podem não ter construído os conceitos de ondas mecânicas e eletromagnéticas, ou saber o que é uma onda mecânica e que o som é uma onda mecânica, mas se referir ao som sendo uma onda

ele saberá. Alguns outros já demonstraram um conhecimento de ondas eletromagnéticas como as ondas de rádio. Uma pergunta foi sobre o comportamento ondulatório da luz, porém os alunos usaram a intuição comparando com os efeitos de difração e interferência nas ondas no mar e no lago para responder. Alguns explicaram em suas respostas que a luz em sua propagação contorna obstáculos até chegar em nós, outros acreditavam que a luz só sofre interferência por desconhecer os efeitos de difração.

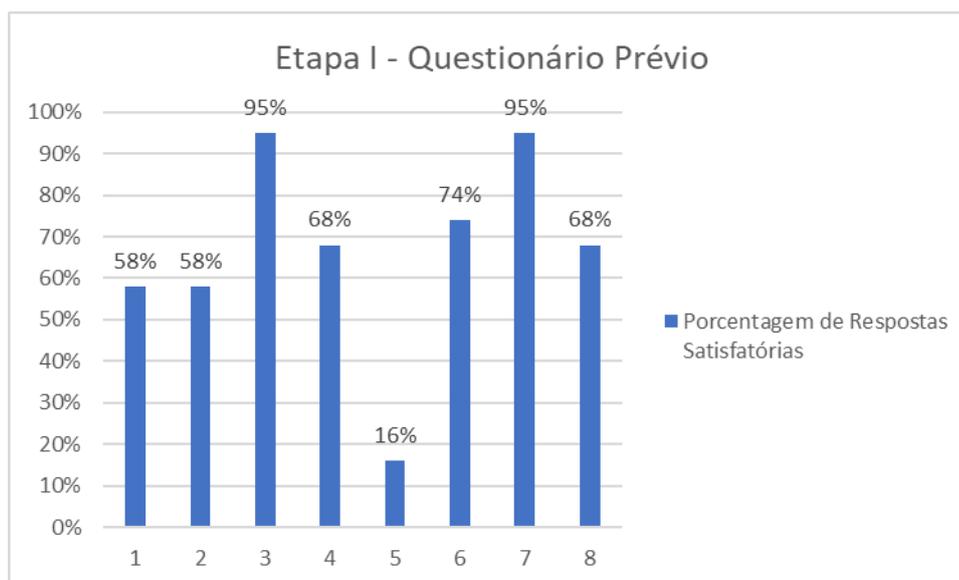
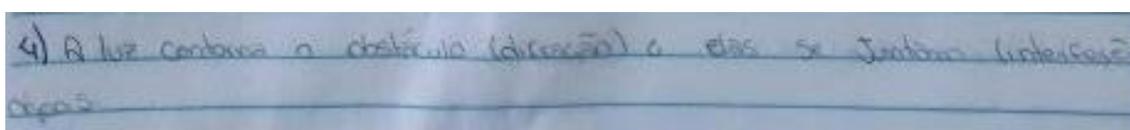


Gráfico 1 – Gráfico com as porcentagens de respostas satisfatórias dos alunos neste questionário prévio.

### 5.1.2 QUESTIONÁRIO FINAL - ENTENDIMENTO DOS ALUNOS REFERENTES AOS EXPERIMENTOS FEITOS NA ETAPA I

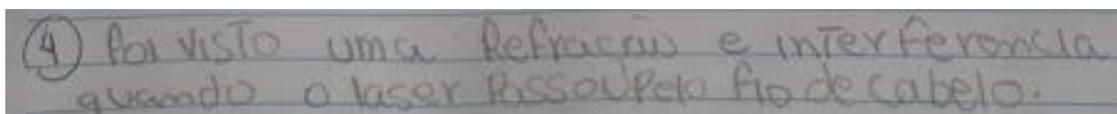
<b>Pergunta</b>	1) O que foi visto no anteparo quando a luz passa pelo fio de cabelo?
<b>Resposta Satisfatória</b>	A luz apresentando comportamento ondulatório de difração e interferência.

Resposta satisfatória, mais de 70% explicou o fenômeno corretamente.



A luz contorna o obstáculo (difração) e elas se juntam (interferência) depois.

Resposta não satisfatória, alguns confundiram a nomenclatura por serem nomes muito parecidos.

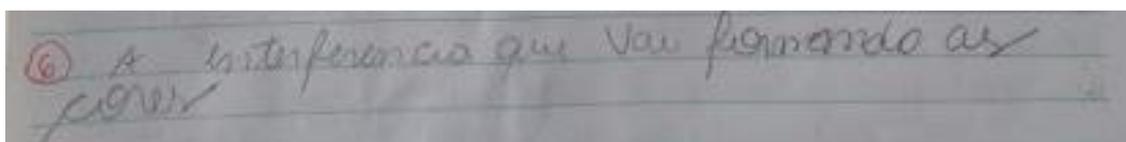


Foi visto uma refração e interferência quando o laser passou pelo fio de cabelo.

A maioria dos alunos viram que o laser contorna o fio de cabelo e um padrão aparece no anteparo, mas explicar o que realmente acontece é um pouco mais complicado, alguns identificaram alguma semelhança desse experimento com o experimento da cuba, ou seja, identificaram que assim como na cuba houve difração e interferência, ocorreu o mesmo para a luz do laser. Alguns colocaram a refração novamente como um dos fenômenos confundindo as nomenclaturas.

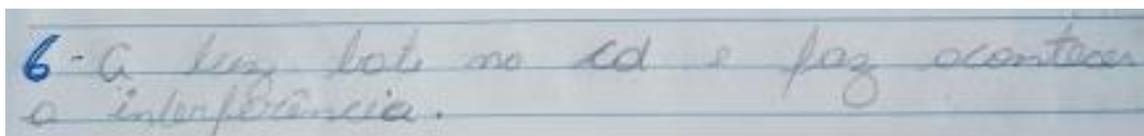
<b>Pergunta</b>	2) O que significa as cores vistas na película de sabão?
<b>Resposta Satisfatória</b>	Filmes finos como a bolha de sabão sofrem interferência da luz, as cores são o resultado de interferências construtivas.

Resposta satisfatória, mais de 70% relacionaram as cores ao fenômeno de interferência.



A interferência que vai formando as cores.

Resposta não satisfatória, houve algumas confusões com o experimento apresentado.



A luz bate no cd e faz acontecer a interferência.

Um experimento talvez do mais simples, porém com uma explicação mais complexa. Como há várias etapas entre o raio de luz entrar na película e sair, houve alguns equívocos dos alunos em suas respostas.

Creio que as respostas traduzem o significado que o experimento teve para cada aluno ao responder as questões finais dessa etapa. Em sua visão ele percebeu que quando a luz entrou no prisma com água, algo ocorreu ali para que ao sair tivéssemos um leque de cores, explicar o que ocorreu ali dentro com suas próprias palavras talvez seja um pouco mais complexo, porém a refração nesse momento já faz mais sentido para eles, já a dispersão da luz não ficou tão claro para alguns ao analisar as respostas. As palavras reflexão e refração ainda não tem um significado para alguns alunos, tanto que houve alguma confusão na hora de responder, todos acompanharam a luz sendo refletida no fluxo de água, porém como já falado antes cada aluno precisa de um certo tempo para absorver todas as informações.

O fenômeno da interferência é bem visível na cuba com duas fendas, isso trouxe significado aos alunos, onde uma onda se encontra com outra, a difração nesse caso, e pelas respostas dadas não ficou tão claro, talvez um exemplo de difração no som ficasse mais evidente o fenômeno. Alguns até confundiram o nome com a refração, para esses talvez as informações não se conectaram ou houve excesso de informação. Interessante perceber cada visão comentada sobre os experimentos, alguns responderam simplesmente o que ele viu no experimento com o CD, mas não se referiu ao que tornou possível visualizar no experimento, é claro que o professor poderá em um momento oportuno falar das características do CD para tornar a visualização das cores de cada fonte de luz possível.

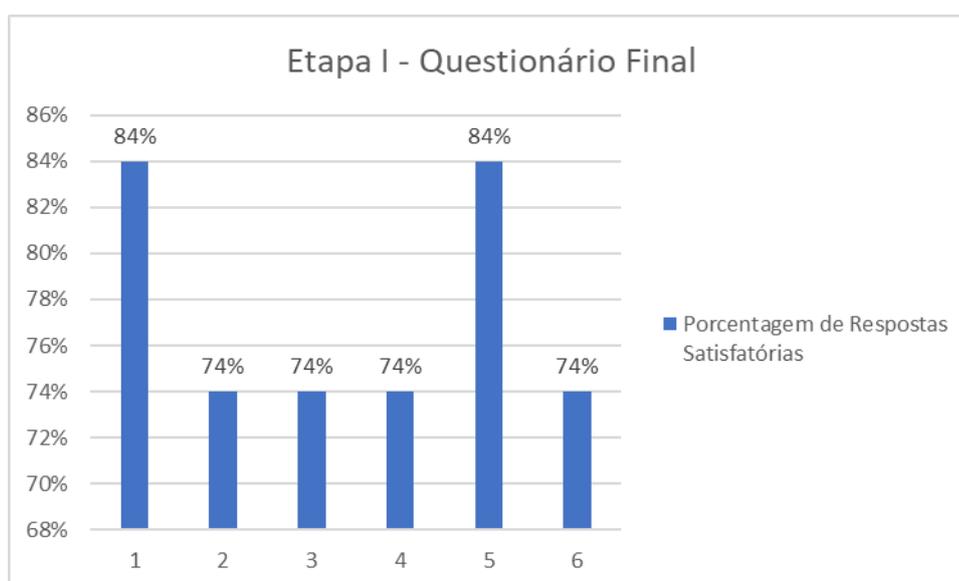


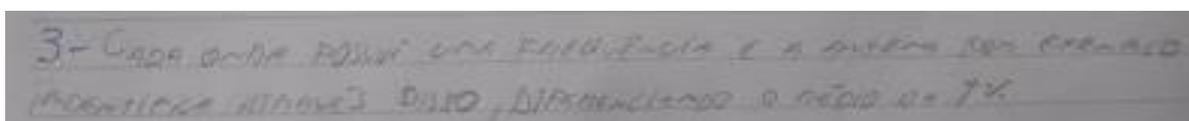
Gráfico 2 - Gráfico com as porcentagens de respostas satisfatórias dos alunos neste questionário final.

## 5.2 ETAPA II

## 5.2.1 CONHECIMENTOS PRÉVIOS

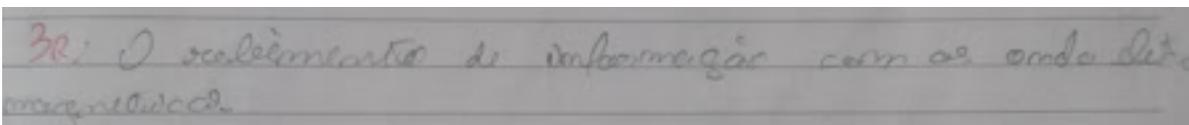
<b>Pergunta</b>	1) Podemos ter uma variedade de informações chegando em equipamentos como rádio e TV. O interessante é que a antena pode identificar qual é a informação de rádio ou de TV. Qual explicação você daria sobre essa identificação das antenas?
<b>Resposta Satisfatória</b>	As antenas recebem variadas frequências, possibilitando a identificação sobre rádio ou TV.

Resposta satisfatória, aproximadamente 50% dos alunos tinham esse conhecimento.



Cada onda possui uma frequência e a antena por exemplo identifica através disso, diferenciando o rádio da TV.

Resposta não satisfatória.

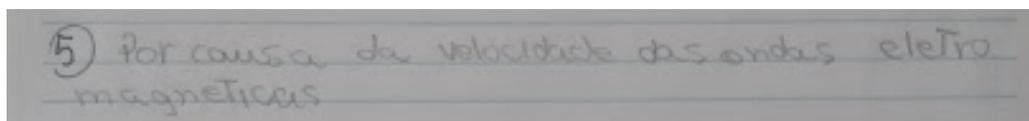


O recebimento de informação com as ondas eletromagnéticas.

Um ouvinte de rádio está acostumado a ouvir “sintonizado nessa frequência” ou filmes policiais onde se busca ouvir a “frequência do rádio da polícia”, pode ser que o aluno não faça a conexão entre a frequência e transmissão de rádio ou outro aparelho. Alguns fizeram menção às ondas eletromagnéticas, porém todas chegam aos aparelhos e precisamos de alguma maneira identificá-las.

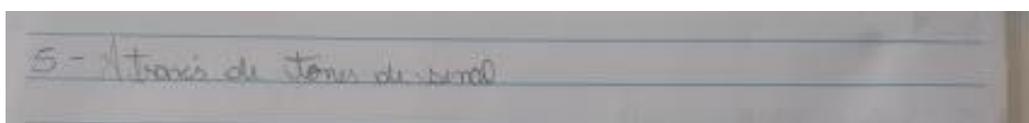
<b>Pergunta</b>	2) Como uma mensagem de WhatsApp ou ligação telefônica pode chegar tão rápido mesmo sendo grande as distâncias entre as pessoas?
<b>Resposta Satisfatória</b>	As ondas eletromagnéticas transmitidas de um celular podem ter a velocidade da luz.

Resposta satisfatória, apenas 10% dos alunos responderam sobre a velocidade das ondas eletromagnéticas.



Por causa da velocidade das ondas eletromagnéticas.

Resposta não satisfatória, a maioria dos alunos não sabiam as respostas, acreditavam que satélites, torres de transmissão e fibras ópticas eram responsáveis pela rapidez da informação.



Através de torres de sinal.

Apesar dos alunos se referirem a satélites e fibras ópticas que facilitam e muito a comunicação, a pergunta estava direcionada a velocidade de propagação das ondas eletromagnéticas, poucos tiveram essa intuição. Talvez a velocidade da luz estudada na 2ª série não fez conexão com a velocidade das ondas eletromagnéticas.

Nesta etapa de questões prévias alguns alunos fugiram um pouco da pergunta que estava relacionada com aparelhos de transmissão de informações. Talvez para muitos o conceito de ondas eletromagnéticas esteja somente relacionado com as ondas de rádio, o que é intuitivo por causa das “ondas do rádio”. Talvez por uma falha de escrita alguns colocaram ondas magnéticas ou elétricas, a maioria tem uma percepção que os aparelhos funcionam com base em algum tipo de onda, chamada eletromagnética, o conceito nesse momento pode ser ainda bem raso, com os experimentos eles irão construindo uma ideia melhor sobre o conceito. Também um pouco de percepção já basta para o aluno compreender que não conseguimos enxergar como alguns animais, principalmente os que enxergam no escuro para caçar. A maioria teve essa percepção e respondeu corretamente, talvez alguns não saibam quais radiações provêm do sol, ficará mais evidente nos experimentos.

A energia solar é uma realidade hoje com painéis solares gerando energia elétrica nas cidades, os noticiários têm falado de energias limpas e renováveis. Os alunos mais atentos sabem disso, pode ser que a grande maioria não conheça o processo de transformação da energia solar em energia elétrica, como também há dúvidas sobre o processo de transformação de energia em uma hidroelétrica. Cada aluno respondeu como funciona o processo ao seu modo,

colocando o que ele tem de significativo para o assunto. Sobre sensores de luz concluíram que as lâmpadas não são programadas, por serem sensíveis a luz, os sensores acoplados ao circuito funcionam enquanto há luz incidente neles. A maioria dos alunos tem a noção de que as lâmpadas são controladas pelos sensores, e esses controlados pela luz que irradia sobre eles. O princípio é claro, fica mais difícil se ninguém tiver estudado sobre o efeito fotoelétrico, que é o caso dessa turma. A questão era chamar o aluno para essa reflexão, porque estudar o efeito fotoelétrico. Ele poderá ver com esse questionamento algo que é prático no cotidiano sobre o conceito estudado. Alguns limitaram suas respostas somente ao sensor e outros em sensor de movimento, claro que o entendimento mais profundo requer uma base nas explicações do professor sobre o efeito fotoelétrico.

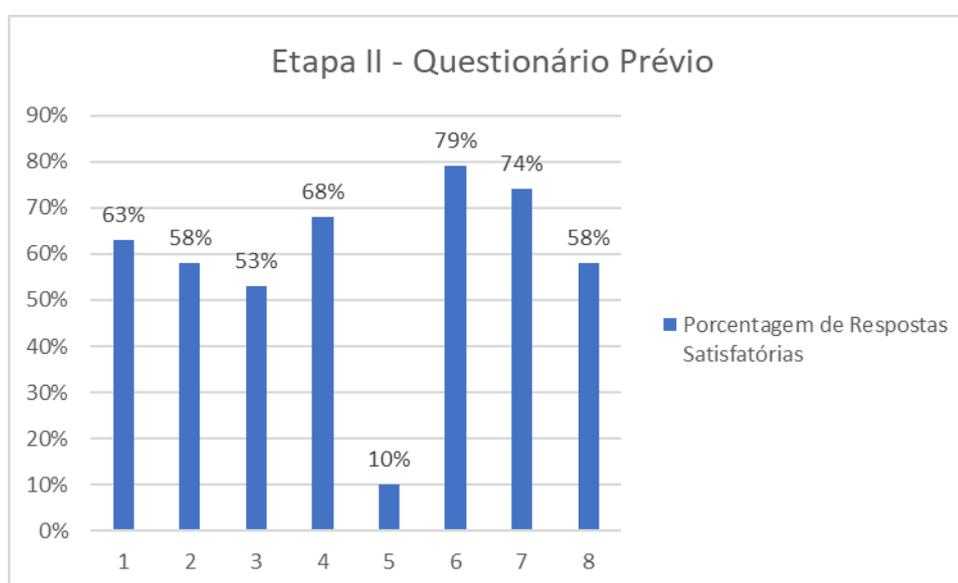


Gráfico 3 - Gráfico com as porcentagens de respostas satisfatórias dos alunos neste questionário prévio.

### 5.2.2 QUESTIONÁRIO FINAL - ENTENDIMENTO DOS ALUNOS REFERENTES AOS EXPERIMENTOS FEITOS NA ETAPA II

<b>Pergunta</b>	1) O que ocorreu para a lâmpada acender quando foi dado o pulso elétrico?
<b>Resposta Satisfatória</b>	Foi criada uma onda eletromagnética que é transmitida sem nenhuma conexão para a lâmpada.

Resposta satisfatória, aproximadamente 80% dos alunos responderam corretamente o fenômeno ocorrido no experimento.



Transmissão pelas ondas eletromagnéticas.

Resposta não satisfatória, algum aluno se perdeu na nomenclatura.

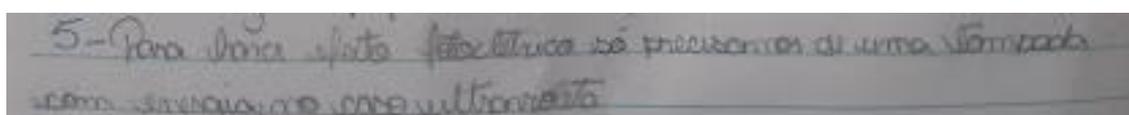


Ondas Elétrica e Magnética.

O experimento é bem visual e todos puderam ver a lâmpada acender instantaneamente após o pulso elétrico, aproveitamos a oportunidade para falar da velocidade de propagação das ondas, o que era uma dúvida de toda turma. Alguns ainda tropeçam na nomenclatura, acredito que alguns estão ouvindo sobre esses assuntos pela primeira vez.

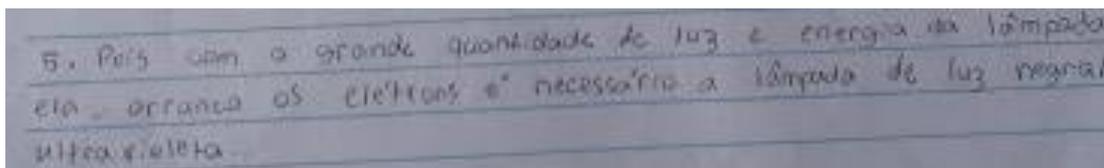
<b>Pergunta</b>	2) Para haver efeito fotoelétrico precisamos de lâmpadas com grande intensidade luminosa? Por quê?
<b>Resposta Satisfatória</b>	Não, pela teoria de Albert Einstein sobre o efeito fotoelétrico a energia está relacionada com a frequência da radiação e não com a sua intensidade.

Resposta satisfatória, mais de 60% dos alunos responderam que o efeito fotoelétrico está relacionado com a energia da lâmpada.



Para haver efeito fotoelétrico só precisamos de uma lâmpada com energia, no caso ultravioleta.

Resposta não satisfatória, houve equívocos sobre quantidade de luz ou intensidade luminosa para haver efeito fotoelétrico.



Pois com grande quantidade de luz e energia da lâmpada ela arranca os elétrons é necessária a lâmpada de luz negra/ultravioleta.

Uma grande dificuldade que é também histórica, é relacionar a energia de uma lâmpada com sua frequência para efeito fotoelétrico, para qualquer um seria normal a lâmpada com mais intensidade ter mais energia e conseqüentemente ter “força” para arrancar os elétrons. Para alguns alunos a intensidade ainda é o que faz acontecer o efeito fotoelétrico, outros alunos colocaram que é necessária uma lâmpada de radiação ultravioleta, mas não se referindo a frequência proporcional a energia. Esses assuntos deverão ser melhor trabalhados pois até intuitivamente somos forçados a pensar ao contrário.

Os alunos viram nessa etapa um experimento de muita eficiência que mostra bem o princípio da gaiola de Faraday, vale ressaltar que o princípio tem outros exemplos para serem citados para os alunos, como por exemplo a carcaça de um carro isolando dentro dele uma descarga elétrica em um dia de chuva. Além dos celulares que transmitem sinais eletromagnéticos, outros aparelhos de transmissão podem ser bloqueados com a gaiola de Faraday, por exemplo um rádio a pilha, informações que podem ser compartilhadas com a turma. O que acontece com o raio de luz quando passa pelos óculos ou um polarizador não é intuitivo ao aluno, porque polarização é um conceito pouco visto, e não faz parte do seu cotidiano. Alguns que usam óculos até já ouviram falar em lentes polarizadas, mas na maioria da turma não era conhecido esse conceito, então aproveitamos o momento para uma explicação sobre polarização, e os cuidados com lentes de óculos de sol. Inclusive levamos óculos de sol que não tinham o efeito de polarizador para mostrar os cuidados que devemos ter com esses tipos de óculos.

A intenção do experimento com materiais fluorescentes e fosforescente foi mostrar a interação da radiação com a matéria, e no caso a interação da radiação ultravioleta com substâncias e objetos fluorescentes e fosforescentes. Mostrar também a energia de um laser azul/roxo diferente da energia do laser vermelho e verde, pois o azul/roxo consegue excitar os elétrons dos objetos fosforescentes. Para os alunos a visualização é importante para iniciar os conceitos de teoria quântica de energia de uma radiação. Semicondutores não é tratado no ensino médio com muita eficiência, tirando algumas escolas que conseguem acompanhar o

currículo, a maioria não irá tratar do assunto, o transistor é uma particularidade dos semicondutores e acoplado ao estudo do efeito fotoelétrico e física moderna, é uma boa oportunidade de apresentar esses conceitos. É claro que não dá para aprofundar nos conceitos, mas dar uma visão geral do funcionamento e suas aplicações. O objetivo desse experimento do controle remoto foi mostrar ao aluno o funcionamento de um dispositivo fotosensível que tem como base o efeito fotoelétrico e suas aplicações no cotidiano. Nas respostas os alunos traduziram as aplicações que são possíveis com relação ao experimento realizado.

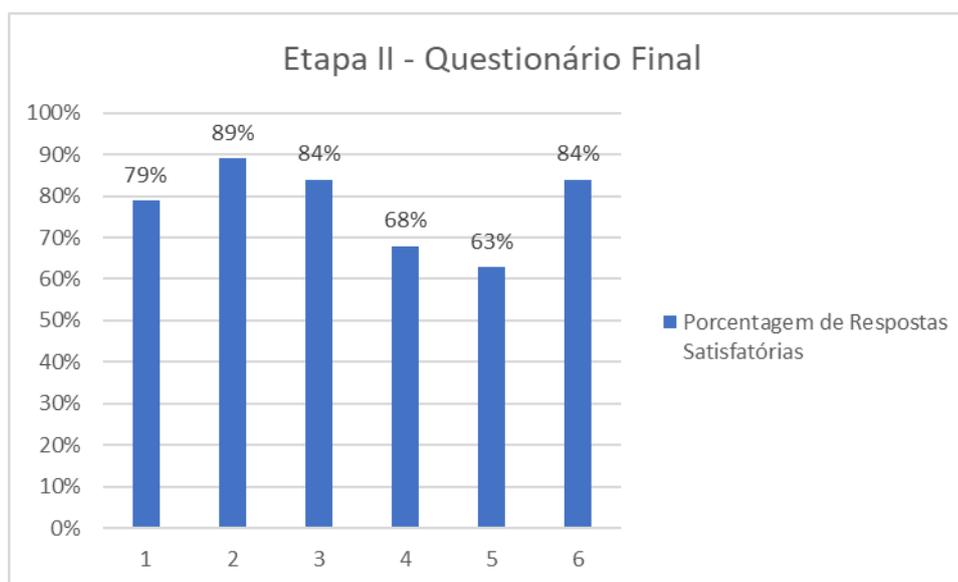


Gráfico 4 - Gráfico com as porcentagens de respostas satisfatórias dos alunos neste questionário final.

Com base na execução de nossa proposta foi possível verificar que a montagem da sequência didática com experimentos pode contribuir de maneira significativa para a melhoria das aulas de Física, no que diz respeito à motivação e interesse dos alunos pelos assuntos trabalhados em sala de aula. A aula fica melhor distribuída, o professor sabe os objetivos a alcançar, sabe onde está e aonde quer chegar. E em termos de avaliação, o professor fica com inúmeras possibilidades, como já comentado antes, durante o processo da sequência o aluno é avaliado o tempo todo, todo o seu comportamento nos conhecimentos prévios, nos experimentos, o retorno que ele dá, os comentários, a questões mais técnicas e o que ele aprendeu dá ao professor todas as condições de avaliação.

Segundo Séré (2017), em meio às atividades experimentais o aluno consegue facilmente ser “ator” na construção da ciência. Ele deve ter a possibilidade de debater a validação do experimento e dos resultados experimentais. Já Cunha (2016) diz que os resultados

da aprendizagem serão possíveis pela frequência com que ocorre as experimentações e um indicador de qualidade, ou seja, a produção dos alunos em aula e o envolvimento dos alunos, permitindo a autonomia do aluno e estes assumindo responsabilidades diante dos desafios.

Analisando só as respostas dos alunos entendo que esse assunto deveria retornar em outro momento, com mais tempo e mais calma, poderia ser comentado as respostas de cada um, principalmente na Etapa II, que ficou um pouco corrida e era um assunto novo para eles. Portanto fiquei com ótima impressão que o produto dará muito certo para as minhas próximas aplicações, se atentando aos detalhes descritos aqui e organizando melhor o material e o tempo teremos ótimos resultados.

## 6 CONCLUSÃO

A sequência didática teve como base o caderno do aluno para Física, utilizado no estado de São Paulo para a 2ª e 3ª série do ensino médio. Esta possui várias possibilidades de ser trabalhada pelo professor em sala de aula, pensando sempre que na maioria dos casos serão duas aulas semanais. Outra possibilidade da sequência está associada ao fato de pode ser montada conforme a necessidade, explorando somente assuntos que interessam ao professor. Por exemplo, trabalhar só óptica física na 2ª série e voltar com a sequência na 3ª série para estudar física moderna e o efeito fotoelétrico. Outra opção é o professor montar dois ou três experimentos de cada etapa para exemplificar a suas aulas, dado o tempo curto de aulas semanais.

Os experimentos podem enriquecer as aulas, porém a aquisição de alguns materiais pode ter um custo mais elevado, a fim de melhorar o efeito do experimento. Neste sentido, uma boa alternativa é focar em alguns itens. Assim, uma sugestão, por exemplo, no experimento da fenda dupla, com o fio de cabelo, experimento simples e eficaz para a explicação de difração e interferência, e o custo deve ir à qualidade do laser a ser utilizado. Outro experimento simples e barato é o eletroscópio para explicação do efeito fotoelétrico, também eficaz na explicação do conteúdo, entretanto o custo deve ir dirigido na qualidade da lâmpada de luz negra.

Sobre as respostas dos alunos nos questionários de conhecimentos prévios. Na primeira etapa pode-se observar que diversos alunos tinham algum conhecimento de óptica, e alguns fenômenos ligados à luz. Mesmo sendo somente alguma percepção sobre assuntos ligados a cores do arco íris e visão, fontes e refletores de luz. Porém assuntos mais específicos como refração, difração e interferência, eles tiveram mais dificuldade de assimilação. Assuntos que não são muito intuitivos, como a difração, geraram dúvidas se a luz pode contornar obstáculos ou não. Por outro lado, na segunda etapa, os assuntos se referiam as ondas eletromagnéticas, as radiações do espectro, frequências e sua velocidade. A maioria dos alunos tem alguma noção de aplicações de ondas eletromagnéticas no cotidiano, porém muitos tiveram dificuldades para relacionar a frequência das ondas transmitidas em uma antena de rádio ou TV, e também sobre a velocidade de uma informação, como uma ligação telefônica, relacionada com a velocidade da luz. Na interação da luz com a matéria, os alunos conhecem algum conceito de energia solar, mas desconhecem o efeito fotoelétrico e suas aplicações, assuntos tratados na

3ª série de uma forma mais técnica. As perguntas a estes conceitos foram satisfatórias no sentido de chamar a atenção e refletir sobre o funcionamento de algumas tecnologias presentes no cotidiano. Geralmente, o aluno não sabe que tais tecnologias funcionam com base nos princípios estudados na física.

Nos questionários finais das etapas I e II, percebemos que seria necessário um tempo maior nos experimentos e nas discussões dos resultados, isso faria uma grande diferença nas respostas, principalmente na etapa II. Na etapa I ficou evidente uma certa confusão com as nomenclaturas, relacionando o fenômeno com o seu nome, por exemplo, a difração e a refração, sendo uma o fato da luz contornar obstáculos, como no fio de cabelo, e a outra sendo a luz ser desviada ao ser incidida em meios diferentes, por sua velocidade ser menor, como no exemplo ar e água. Faltou um tempo maior também para o efeito da dispersão da luz, os alunos perceberam que algo ocorria com a luz no processo de entrar e sair do prisma, mas poucos conseguiram relacionar com o fenômeno. Dentre os seis experimentos mostrados, os alunos puderam vivenciar os fenômenos, vendo os mesmos acontecerem, e construíram seus conceitos baseados no que ocorria em cada um. Seria preciso intensificar esses conhecimentos, ao meu ver pelas respostas obtidas, os experimentos foram mais significativos para alguns, um pouco menos para outros e até sem significado nenhum para algum aluno. Na etapa II, com um tempo mais escasso, os assuntos de ondas eletromagnéticas e gaiola de Faraday foram mais compreendidos. A polarização é um fenômeno que pode ser melhor trabalhado, porém não era intenção aprofundar no assunto. Efeitos de radiação ultravioleta no material fosforescente e no eletroscópio devem ser melhorados, em relação aos argumentos dos fenômenos ocorridos, para melhor compreensão dos alunos e a discussão ser mais rica. Finalmente as aplicações tecnológicas do efeito fotoelétrico precisam de mais tempo para os alunos absorverem e construírem esse conceito.

A sequência didática permitiu fazer esse diagnóstico de conhecimentos prévios, ajudando na trajetória de um novo conhecimento. Uma sequência didática com experimentos, onde pode-se explorar um conceito por inteiro, cria uma gama de oportunidades de atividades para o professor. Ao se trabalhar com experimentos, os alunos já estão envolvidos nos conceitos históricos da ciência e a sua construção. Os experimentos envolvem os alunos a serem críticos com o que eles estão trabalhando e eles podem relacionar os conceitos aplicados ao seu cotidiano. Através de levantamentos prévios o aluno percebe sua evolução ao tratar sobre os assuntos propostos. Dentro dessa sequência, o professor poderá trabalhar vários temas isoladamente, como na óptica física, os fenômenos de difração e interferência, e na física moderna, o efeito fotoelétrico. Podendo adaptar experimentos, questionários prévios e final

para melhor alcance dos objetivos. Trabalhos iguais a esse podem ser melhor desenvolvidos, com outros experimentos, para outros assuntos das ciências da natureza. Na física, por exemplo, sequências didáticas onde os experimentos tratem de gravidade, calor, acústica, eletricidade, etc. Para o professor de física, seria interessante montar sequências didáticas com experimentos para os assuntos tratados em cada série do ensino médio.

Chegando ao final da sequência me senti muito bem, pois vi o sorriso no rosto dos alunos e muitos agradecendo pela aula, talvez muitos ali nunca tivessem feitos experiências na vida, e numa manhã descobriu coisas interessantíssimas. Os próprios alunos que ficaram após o término fazendo perguntas e mexendo com os experimentos me trouxeram a confiança de uma aula importante e compensadora. Durante a aplicação da proposta foi notável que a sequência didática desenvolvida neste trabalho fez com que os alunos se interessassem mais pela ciência. Quando se trabalha com experimentos, de maneira organizada, partindo dos conhecimentos prévios dos alunos, causa um impacto, onde ele refletiu, argumentou, discutiu e levantou hipóteses.

## REFERÊNCIAS

ALMEIDA, Maria José P. M. de. A luz: enfoque no ensino médio e representações de estudantes. *Proposições*. v. 7, n. 1 [19], 34-40, março, 1996.

AMARAL, Ivan A. Conhecimento formal, experimentação e estudo ambiental. *Ciência & Ensino*, n. 3, p. 10-15, dez. 1997.

ARAÚJO, Fernando Grillo; BRAGA, Alex de Souza; KILLNER, Gustavo Isaac. O conceito de luz no ensino médio: uma revisão bibliográfica Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências – X ENPEC, Águas de Lindóia, SP, 24 a 27 de novembro de 2015.

ARAÚJO, M. S. T.; ABIB, M. L. V. S. Atividades experimentais no ensino de física: diferentes enfoques, diferentes finalidades. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 25, n.2, jun. 2003.

AUSUBEL, D.P.; Novak, J.D.; Hanesian, J. *Psicologia educacional*. Rio de Janeiro, interamericana, 1980

BASSALO, J. M. F. A crônica da ótica clássica (parte III: 1801-1905). *Caderno Catarinense de Ensino de Física*. v.6, n.1, p-37-58, Florianópolis, abril, 1989.

BASSALO, J. M. F. A crônica da ótica clássica. *Caderno Catarinense de Ensino de Física*. v.3, n.3, p-138-159, Florianópolis, dezembro, 1986.

BASSALO, J. M. F. A crônica da ótica clássica. *Caderno Catarinense de Ensino de Física*. v.4, n.3, p-140-150, Florianópolis, abril, 1987.

BORGES, A.T. Novos rumos para o laboratório escolar de ciências. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, v. 19, n. 3, p. 291-313, 2002.

BRASIL. Ministério da Educação. Secretaria de Educação Média e Tecnológica. *Parâmetros Curriculares Nacionais: Ensino Médio*. Brasília, 1999.

CARUSO, F.; OGURI, V. *Física moderna: origens clássicas e fundamentos quânticos*. Rio de Janeiro: Campus, 2006.

CUNHA, A. E. et al. Envolver os alunos na realização de trabalho experimental de forma produtiva: o caso de um professor experiente em busca de boas práticas. *Revista electrónica de enseñanza de las ciencias*, Vigo, v. 11, n. 3, p. 635-659, 2012. Disponível em <<http://reec.uvigo.es/volumenes/volumen11/>>. Acesso em: dez. 2016.

FERREIRA, Norberto Cardoso. *Proposta de laboratório para a escola brasileira: um ensaio sobre a instrumentação no ensino de Física*. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências) - IFUSP/FEUSP. São Paulo, 1978.

HALLIDAY, David, 1916-2010, Fundamentos de física, volume 4: óptica e física moderna / David Halliday, Robert Resnick, Jearl Walker; tradução Ronaldo Sérgio de Biasi. 10. ed. - Rio de Janeiro: LTC, 2016. il.; 28 cm.

LEAL, Telma Ferraz. Fazendo acontecer: o ensino da escrita alfabética na escola. In: LEAL, Telma Ferraz; ALBUQUERQUE, Eliana Borges Correia de; MORAIS, Artur Gomes de (Orgs.). Alfabetização: apropriação do sistema de escrita alfabética. Belo Horizonte: Autêntica, 2005. p. 89-110.

LIMA, A.A.; OLIVEIRA, A.M. Experimentos de física: renovando a prática docente com materiais de baixo custo. Revista de Pesquisa Interdisciplinar, Cajazeiras, v. 1, Ed. Especial, 259 -264, set/dez. 2016.

MONTAI, Vinicius; LABURÚ, Carlos Eduardo. Experimentos de física: Critérios de escolha utilizados pelos professores do Ensino Médio. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE ENSINO DE FÍSICA, 16, 2005, Rio de Janeiro. Anais... São Paulo: SBF, 2005.

MOREIRA, M. A. Aprendizagem significativa, Brasília: Editora Universidade de Brasília, 1999.

MOREIRA, M. A. Mapas Conceituais e Aprendizagem Significativa. 2013. Disponível em <<http://moreira.if.ufrgs.br>>. Acesso 20 fev. 2015.

MOURA, Wladimir Cardoso de. Propostas de ensino de física em óptica geométrica usando uma simulação do PHET e óptica física através de experimentos. 2016. 140f. Dissertação (Mestrado em Ensino da Física) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte, 2016

OLIVEIRA, Maria Marly. Sequência didática interativa no processo de formação de professores. Petrópolis, RJ: Vozes, 2013.

PEREIRA, Julien Lopes. Controvérsia entre o modelo corpuscular e ondulatório da luz: um caminho para o ensino da óptica no nível médio. 2011. 98f. Dissertação (Mestrado em Educação) – Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca (CEFET/RJ), Rio de Janeiro, 2011.

RIBEIRO, Jair Lúcio Prados; VERDEAUX, Maria de Fátima da Silva. Atividades experimentais no ensino de óptica: uma revisão. Revista Brasileira de Ensino de Física. 34, n. 4, 4403, 2012.

ROSA, Cleci T. Werner da; ROSA, Álvaro Becker da Rosa. Atividades experimentais na perspectiva construtivista: proposta de organização de roteiro para aulas de Física. Física na Escola, v. 13, n. 1, p. 1-7, 2012.

ROSSI, Diego De Lovo. O uso de simulações virtuais como apoio ao currículo da SEE-SP para a disciplina de física. 2015. 45f. Dissertação (Mestrado em Ensino em Física) – Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente, 2015.

SALVETTI, Alfredo Roque. A história da luz. 2. ed. São Paulo: Livraria da Física, 2008.

SANTOS, Júlio César F. *Aprendizagem Significativa: modalidades de aprendizagem e o papel do professor*. 2 ed. Porto Alegre, Rio Grande: Editora Mediação Distribuidora e Livraria Ltda, 2008.

SCARINCI, Anne L.; MARINELI, Fábio. O modelo ondulatório da luz como ferramenta para explicar as causas da cor. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 36, n. 1, 1309, 2014.

SÉRÉ, M. G.; COELHO, S. M.; NUNES, A. D. O papel da experimentação no ensino da física. *Caderno brasileiro de ensino de física*, v. 20, n. 1, abr. 2003. Disponível em <<https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/6560>>. Acesso em: jan. 2017.

SILVA, B. V. C.; MARTINS, A. F. P. A natureza da luz e o ensino da óptica: uma experiência didática envolvendo o uso da história e da filosofia da ciência no ensino médio. *Experiências em Ensino de Ciências*, v.5(2), p.71-91, 2010.

SILVA, Fabio W. O. da. A teoria da luz de Newton nos textos de Young. *Revista Brasileira de Ensino de Física*. 31, n. 1, 1601, 2009.

SILVA, José Alves da; KAWAMURA, Maria Regina Dubeux. Natureza da luz: uma atividade com textos de divulgação científica em sala de aula. *Caderno Cat. de Ensino de Física*, 316 v. 18, n. 3: p. 316-339, agosto, 2001.

SUART, R. C.; MARCONDES, M. E. R. Atividades experimentais investigativas: habilidades cognitivas manifestadas por alunos do Ensino Médio. In: *ENCONTRO NACIONAL DE ENSINO DE QUÍMICA*, 2008, Curitiba. Atas.

VISCOVINI, Ronaldo Celso. Kit de experimentos ópticos com apontador laser. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 22, n. 1, março, 2000.

YOUNG, Hugh D. *Física IV: Sears e Zemansky: ótica e física moderna* / Hugh D. Young, Roger A. Freedman; colaborador A. Lewis Ford; tradução Daniel Vieira; revisão técnica Adir Moysés Luiz. – 14. ed. – São Paulo: Pearson Education do Brasil, 2016.

ZABALA, Antoni. *A prática educativa: como ensinar*. Porto Alegre: Artmed, 1998.

ZANON, Lenir B., SILVA, Lenice H. A experimentação no ensino de Ciências. In: SCHNETZLER, Roseli P., ARAGÃO, Rosália M. R. *Ensino de Ciências: fundamentos e abordagens*. Campinas: Vieira Gráfica e Editora Ltda. 2000, p.182.

**MNPEF**  
Mestrado Nacional  
Profissional em  
Ensino de Física

**MNPEF** Mestrado Nacional  
Profissional em  
Ensino de Física  
Polo **ufsc** Sorocaba



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS**  
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIAS PARA A SUSTENTABILIDADE  
DEPARTAMENTO DE FÍSICA, QUÍMICA E MATEMÁTICA

**Produto educacional**

**Sequência Didática para Estudar o Comportamento  
da Luz através de Experimentos**

Sorocaba  
Dezembro de 2020

## SUMÁRIO

<b>1 APRESENTAÇÃO DA SEQUÊNCIA DIDÁTICA .....</b>	<b>119</b>
1.1 OBJETIVOS DA SEQUÊNCIA DIDÁTICA .....	119
1.2 O PAPEL DO PROFESSOR NESSA PROPOSTA.....	119
1.3 OBJETIVOS DOS EXPERIMENTOS .....	120
<b>2 OPÇÕES DE SEQUÊNCIAS COM EXPERIMENTOS .....</b>	<b>121</b>
<b>3 OPÇÃO DE QUESTIONÁRIO DE CONHECIMENTOS PRÉVIOS.....</b>	<b>124</b>
<b>4 OPÇÃO DE QUESTIONÁRIO FINAL .....</b>	<b>126</b>
<b>5 EXPERIMENTOS.....</b>	<b>127</b>
5.1 EXPERIÊNCIA 1 - DISPERSÃO DA LUZ COM O PRISMA .....	127
5.2 EXPERIÊNCIA 2 - REFRAÇÃO, REFLEXÃO TOTAL DA LUZ E FIBRA .....	130
5.3 EXPERIÊNCIA 3 - CUBA DE ÁGUA PARA FENÔMENOS DE DIFRAÇÃO.....	134
5.4 EXPERIÊNCIA 4 - INTERFERÊNCIA E DIFRAÇÃO COM FIO DE CABELO.....	137
5.5 EXPERIÊNCIA 5 – DIFRAÇÃO DA LUZ USANDO UM CD .....	141
5.6 EXPERIÊNCIA 6 - INTERFERÊNCIA EM BOLHA DE SABÃO.....	144
5.7 EXPERIÊNCIA 7 - EXPERIMENTO DE HERTZ, ONDAS .....	147
5.8 EXPERIÊNCIA 8 - BLOQUEAR ONDAS COM PAPEL ALUMÍNIO .....	150
5.9 EXPERIÊNCIA 9 - FILTROS DE LUZ, POLARIZAÇÃO DE ONDAS .....	153
5.10 EXPERIÊNCIA 10 - PRODUTOS FLUORESCENTES E FOSFORESCENTE .....	156
5.11 EXPERIÊNCIA 11 - ELETROSCÓPIO E O EFEITO FOTOELÉTRICO .....	160
5.12 EXPERIÊNCIA 12 - OUVINDO O CONTROLE REMOTO.....	165
<b>6 REFERÊNCIAS .....</b>	<b>169</b>
<b>LISTA DE FIGURAS .....</b>	<b>170</b>
<b>LISTA DE TABELAS .....</b>	<b>172</b>

## **1 APRESENTAÇÃO DA SEQUÊNCIA DIDÁTICA**

A sequência didática apresentada segue os pressupostos teóricos do modelo de Unidades de Ensino Potencialmente Significativas propostos por Moreira. Esta, foi desenvolvida tendo como base a utilização de atividades experimentais de baixo custo. Buscou-se como referencial teórico um ensino no qual o aluno deixa de ser mero espectador, tendo importante papel na construção do conhecimento. Para isso elaboramos questões introdutórias e situações-problemas mediadas pelo professor de tal modo que o aluno tenha a oportunidade de se expressar e discutir conceitos com seus pares e com o professor. Esse conjunto de ações principais, tem por objetivo, propiciar um processo de ensino com aprendizagem significativa.

Essa sequência didática visa tornar a aula mais dinâmica, buscando despertar no aluno uma predisposição para aprender de forma significativa, sempre utilizando de meios para relacionar o seu conhecimento prévio, da sala de aula ou cotidiano, com os novos conceitos apresentados pelo professor. Esse produto educacional buscou utilizar estratégias facilitadoras para aprendizagem significativa, como organização sequencial do conteúdo e a consolidação dos conhecimentos prévios dos alunos. Isso foi realizado por meio de questionamentos, de experimentos e argumentações, almejando o processo contínuo de diferenciação e integração dos conceitos pelos alunos.

### **1.1 OBJETIVOS DA SEQUÊNCIA DIDÁTICA**

- Constituem-se como objetivos dessa proposta de ensino:
- Promover a interação entre professor e alunos, bem como a interação entre os próprios alunos;
- Motivar os alunos para o estudo de física moderna;
- Promover condições de aprendizagem dos conteúdos conceituais, procedimentais e atitudinais de física moderna;
- Contribuir para a formação de cidadãos;

### **1.2 O PAPEL DO PROFESSOR NESSA PROPOSTA**

Esse produto educacional se pauta numa proposta de ensino, na qual o professor tem o papel de estimular o debate entre os alunos, de forma que cada aluno tenha liberdade para participar e interagir.

Tem ainda a função de distribuir as atividades e criar um ambiente propício para que ocorra o ensino e a aprendizagem, sempre buscando alcançar os objetivos da proposta.

### **1.3 OBJETIVOS DOS EXPERIMENTOS**

Observar os fenômenos relacionados com os experimentos, analisando o comportamento da luz nos efeitos de dispersão, reflexão, refração, difração e interferência. Discutir os resultados obtidos e analisar os contextos históricos que se desenvolveram tais experimentos. Analisar a construção científica dos experimentos entendendo que a luz tem natureza ondulatória.

Verificar que a luz demonstra outras propriedades. Analisar os fatos históricos que levaram à novas descobertas sobre o comportamento da luz. Discutir sobre os fatos verificados nos experimentos e entender as novas descobertas sobre a luz como radiação e interação com a matéria e seu comportamento corpuscular. Concluir que a física ou as ciências estão sempre em evolução com novas descobertas e que nada no meio científico está pronto ou encerrado.

## 2 OPÇÕES DE SEQUÊNCIAS COM EXPERIMENTOS

Ao todo estão disponíveis neste trabalho doze experimentos que tratam de óptica física, física moderna, eletromagnetismo e comportamento dual da luz. O professor terá a liberdade de escolher seus experimentos, aqueles que o ajudarão mais em suas aulas. Podendo montar suas sequências de acordo com os conteúdos estudados, seu tempo de aula e as condições da escola. A Tabela 1 apresenta três opções de sequência didática com experimentos para o professor. Em cada opção um tema a ser estudado com a opção de quatro experimentos envolvendo o assunto. E com a possibilidade de alterações pelo professor atendendo às implicações já comentadas aqui de cada realidade. Colocamos como opção um questionário prévio para verificação de conhecimento prévios do aluno sobre os temas a serem estudados, e um questionário final opcional após a realização dos experimentos para discussão dos resultados.

<p><b>Opção 1</b> – Esta opção está direcionada a uma revisão ou explicação sintetizada do comportamento ondulatório e corpuscular da luz.</p>	<p><b>Experimento 1</b> – INTERFERÊNCIA E DIFRAÇÃO COM FIO DE CABELO E PENTE FINO  <b>Experimento 2</b> – DIFRAÇÃO DA LUZ USANDO UM CD  <b>Experimento 3</b> – FILTROS DE LUZ, POLARIZAÇÃO DE ONDAS  <b>Experimento 4</b> – OUVINDO O CONTROLE REMOTO, EXPERIMENTO DE FOTOTRANSISTOR</p>
<p><b>Opção 2</b> – Esta opção está direcionada aos conteúdos de óptica física e ondulatória estudados na 2ª série do ensino médio.</p>	<p><b>Experimento 1</b> – DISPERSÃO DA LUZ COM O PRISMA  <b>Experimento 2</b> – REFRAÇÃO, REFLEXÃO TOTAL DA LUZ E FIBRA ÓPTICA  <b>Experimento 3</b> – CUBA DE ÁGUA PARA FENÔMENOS DE DIFRAÇÃO E INTERFERÊNCIA  <b>Experimento 4</b> – INTERFERÊNCIA EM BOLHA DE SABÃO</p>
<p><b>Opção 3</b> – Esta opção está direcionada aos conteúdos de eletromagnetismo e física moderna estudados na 3ª série do ensino médio.</p>	<p><b>Experimento 1</b> – EXPERIMENTO DE HERTZ, ONDAS ELETROMAGNÉTICAS  <b>Experimento 2</b> – BLOQUEAR ONDAS COM PAPEL ALUMÍNIO E ESPONJA DE AÇO  <b>Experimento 3</b> – PRODUTOS FLUORESCENTES E FOSFORESCENTE  <b>Experimento 4</b> – ELETROSCÓPIO E O EFEITO FOTOELÉTRICO</p>

Tabela 1 - Opções de experimentos de como o professor pode relacionar as sequências com os conteúdos estudados.

Esta tabela traz opções de montagens de sequências didáticas para determinados assuntos em que o professor irá ministrar. Essas sugestões podem ser alteradas de maneira a facilitar o desenvolvimento das aulas. Portanto o professor é totalmente livre para escolher os seus experimentos e adequá-los à sua realidade.

1ª Opção: A primeira opção de sequência visa o conteúdo de comportamento da luz de maneira geral, onde o enfoque é nos experimentos que tratam a luz como onda, fenômenos de difração, interferência e polarização, e comportamento corpuscular com o efeito fotoelétrico. Os materiais necessários para esses experimentos são de fácil acesso como lasers, lâmpadas, CD's e adesivos polarizadores ou polaróides, encontrados em telas de celulares sem uso ou óculos escuros. O experimento com o fototransistor tem um custo baixo e de fácil acesso, porém se o professor tiver alguma dificuldade em encontrar os componentes, o mesmo pode ser trocado pelo eletroscópio para exemplificar o efeito fotoelétrico. Como opção de perguntas de conhecimentos prévios, o professor pode usar as questões 7, 8, 14,15 e 16, e as opções de questionário final são as questões 4, 5, 9 e 12.

2ª Opção: Na segunda opção o professor poderá trabalhar o comportamento ondulatório da luz, dentro dos conteúdos de óptica física e ondulatória, estudados na 2ª série do ensino médio, e trazer experimentos para o aluno vivenciar os fenômenos de reflexão, refração, dispersão, difração e interferência da luz. Podendo ter alterações que compreenda cada realidade. São experimentos simples e de baixo custo, como demonstrar as ondas em um recipiente com água, e as cores em uma bolha de sabão com água e detergente. Para realizar o experimento da dispersão, o professor deve adquirir um recipiente em forma geométrica de prisma, de outra maneira ficará muito difícil presenciar o fenômeno. Esse prisma poderá ser montado com retalhos de vidros obtidos em vidraçarias. Para o experimento de fibra óptica precisará de um laser, alguns sites vendem o kit de lasers, vermelho, verde, azul/roxo. A montagem é bem simples com garrafa PET e um pedaço de canudinho colado na parte inferior da garrafa. As opções de questões prévias para essa sequência são 1, 2, 3, 4, 5, 6 e 7, e as opções para o questionário final são 1, 2, 3 e 6.

3ª Opção: A terceira opção está relacionada com os conteúdos da 3ª série do ensino médio, assuntos de eletromagnetismo, ondas eletromagnéticas, comportamento corpuscular da luz, radiação e interação com a matéria, e o efeito fotoelétrico em física moderna. As opções de experimentos nessa sequência exigem alguns materiais como um acendedor de fogão adaptado

para gerar pulso elétrico, material fosforescente e lâmpada de luz negra, além dos lasers já comentados. O experimento mais simples e mais barato é a gaiola de Faraday, com dois celulares e papel alumínio ou esponja de aço. Com esse experimento é possível explicar vários fenômenos do eletromagnetismo e das ondas eletromagnéticas. Porém o experimento de Hertz é uma opção bem impactante para o aluno, ver uma lâmpada acender sem conexão entre o gerador de pulsos, além de vários conceitos para serem discutidos na aula. O material fluorescente é mais fácil de se obter e uma lâmpada de luz negra tem um custo baixo, porém com o material fosforescente e lasers é possível demonstrar como a luz interage com o material em suas determinadas frequências, então a opção é muito válida. O experimento do eletroscópio é muito simples, a montagem com materiais de baixo custo, e o funcionamento de fácil compreensão. Será necessária uma lâmpada incandescente ou LED e uma lâmpada de luz negra. As questões prévias que temos como opção são 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15 e 16, e as de questionário final são 7, 8, 10 e 11.

### 3 OPÇÃO DE QUESTIONÁRIO DE CONHECIMENTOS PRÉVIOS

- 1) Muitas informações que temos do mundo chegam a nós por meio da luz. Qual a ideia que você tem sobre o que é luz?
- 2) Como nossos olhos enxergam as coisas?
- 3) Liste alguns produtores ou fontes de luz que você conhece.
- 4) Agora liste alguns refletores de luz que você conhece.
- 5) Qual seria a sua explicação para a imagem abaixo?



Figura 1 - Copo com água e um pincel exemplificando o efeito de refração.

Fonte: Elaborado pelo autor.

- 6) Fenômenos como arco-íris trazem a percepção de cores que nós temos. Como essas cores são formadas no céu?
- 7) Em uma praia vemos as ondas do mar se propagando, ao jogar uma pedra no lago calmo vemos a formação de ondas. Cite um outro exemplo que tenha característica ondulatória. A luz teria essas mesmas características ondulatórias em sua propagação?
- 8) Nas ondas formadas no mar ou no lago podemos perceber fenômenos ondulatórios de difração e interferência, ou seja, elas contornam obstáculos e se sobrepõem a outras ondas. A luz pode em sua propagação ou caminho sofrer difração ou interferência?
- 9) Usamos no nosso dia a dia vários aparelhos que utilizam as ondas eletromagnéticas para transmissão de informações. Cite dois desses aparelhos.

- 10) O controle remoto transmite a informação do botão apertado para a TV, o micro-ondas aquece nosso alimento. Esses dois aparelhos têm alguma coisa em comum em seu funcionamento? Se sim, você saberia dizer o que é?
- 11) Podemos ter uma variedade de informações chegando em equipamentos como rádio e TV. O interessante é que a antena pode identificar qual é a informação de rádio ou de TV. Qual explicação você daria sobre essa identificação das antenas?
- 12) O Sol ou uma lâmpada emite radiações que chegam aos nossos olhos como luz. Nossos olhos podem enxergar todas as radiações emitidas assim como alguns animais? Explique sua resposta.
- 13) Como uma mensagem de WhatsApp ou ligação telefônica pode chegar tão rápido mesmo sendo grande as distâncias entre as pessoas?
- 14) A luz do Sol é essencial para a vida na Terra. É possível gerar eletricidade através da luz solar? Se sim, explique como.
- 15) Como as lâmpadas dos postes de luz acendem a noite se não tem ninguém para ligá-las?
- 16) Você já deve ter visto portas automáticas em supermercados, ou entrada em um banheiro e a luz acendeu sozinha. Como é possível a porta abrir ou a lâmpada acender sozinha?

#### 4 OPÇÃO DE QUESTIONÁRIO FINAL

- 1) O que aconteceu quando a luz passou pelo prisma?
- 2) Como as informações são levadas pela fibra óptica?
- 3) O que ocorreu com a água quando foi colocada duas fendas?
- 4) O que foi visto no anteparo quando a luz passa pelo fio de cabelo?
- 5) O que você observou de diferente entre uma lâmpada e outra?
- 6) O que significa as cores vistas na película de sabão?
- 7) O que ocorreu para a lâmpada acender?
- 8) Como podemos bloquear uma onda eletromagnética?
- 9) Tem alguma explicação para a tela ficar escura com o movimento dos óculos?
- 10) Qual a diferença entre o fluorescente e fosforescente?
- 11) Para haver efeito fotoelétrico precisamos de lâmpadas com grande intensidade luminosa? Por quê?
- 12) Qual é a função do fototransistor no experimento? Onde o seu conceito é utilizado?

## 5 EXPERIMENTOS

### 5.1 EXPERIÊNCIA 1 - DISPERSÃO DA LUZ COM O PRISMA

Nesse experimento será possível, através de uma fonte de luz praticamente branca, observar que a luz se decompõe formando um espectro de cores após atravessar o prisma. Esse fenômeno é chamado de dispersão da luz, a dispersão da luz ocorre, pois, o fenômeno da refração depende do comportamento de onda da luz, cada cor tem um ângulo de desvio ou de refração diferente do outro. Ao atravessar o prisma (Figura 2), poderá se observar que a luz de cor vermelha se desvia menos que a luz azulada, projetando em uma superfície clara ou papel sulfite branca.



Figura 2 - Efeito da dispersão da luz em um prisma de vidro.

Fonte: Elaborado pelo autor.

<b>Objetivos</b>	Mostrar que a luz branca pode ser decomposta em feixes de várias cores, as cores do arco íris. Aplicar a refração da luz para provocar o desvio e dispersão em prismas e outros meios refringentes.
------------------	--

<b>Competências e habilidades</b>	Reconhecer o papel da luz, suas propriedades e fenômenos que envolvem a sua propagação, como formação de sombras, reflexão, refração etc. Identificar a luz branca como composição de diferentes cores.
<b>Materiais</b>	Prisma (de acrílico, ou montado com lâminas de vidro coladas). Fonte de luz intensa (do Sol, se possível, ou lanterna de luz branca). Anteparo (paredes ou mesas claras, cartolina ou sulfite para projetar o raio de luz)
<b>Custo do Experimento</b>	Prisma (de acrílico, ou montado com lâminas de vidro coladas). (Preço Prisma no Ali Express – R\$5,00 – R\$20,00; uma dica para redução de custo seria fazer em uma vidraçaria). Fonte de luz intensa (do Sol, se possível, ou lanterna de luz branca). (Preço Lanterna nas Americanas: R\$9,00 – R\$20,00). Anteparo (paredes ou mesas claras, cartolina ou sulfite para projetar o raio de luz). (Material de escritório geralmente é encontrado na escola, mas o preço não ultrapassa R\$1,00). (Esses valores foram obtidos em junho de 2020).

Tabela 2 – Explicações sobre os testes da Figura 2.

Procedimento experimental - Nesse experimento será possível, através de uma fonte de luz praticamente branca, observar que a luz se decompõe formando um espectro de cores após atravessar o prisma. Esse fenômeno é chamado de dispersão da luz, a dispersão da luz ocorre, pois, o fenômeno da refração depende do comportamento de onda da luz, cada cor tem um ângulo de desvio ou de refração diferente do outro. Ao atravessar o prisma (Figura 2), poderá se observar que a luz de cor vermelha se desvia menos que a luz azulada, projetando em uma superfície clara ou papel sulfite branca. Variando a projeção poderá se observar todo o espectro de cores, desde o vermelho até o violeta. Este mesmo fenômeno ocorre quando vemos as cores formadas no arco íris no qual a luz branca do sol é decomposta por meio da dispersão nas gotas de água da chuva.

Como o experimento tem o intuito de ser de baixo custo, o professor poderá improvisar um prisma, podendo até ser um frasco ou copo de vidro com espelho de maquiagem e alguma lupa encontrada em lojas por um preço em conta, ou mesmo com os óculos de um aluno e usando o próprio sol como fonte de luz. Outra ideia é fazer um prisma com retalhos ou sobras de vidro e colá-los com silicone conforme Figura 4, e ao enchê-los de água faça incidir uma luz de lanterna ou o próprio sol sobre ele. O efeito da dispersão ou o arco íris como conhecemos se dará pela posição da incidência da luz projetada no recipiente com água, portanto um prisma de vidro com água é o mais fácil de se obter o efeito.



Figura 3 - Montagem do experimento pelos alunos.

Fonte: Elaborado pelo autor.



Figura 4 - Prisma de vidro com água para o experimento de dispersão da luz.

Fonte: Elaborado pelo autor.

## 5.2 EXPERIÊNCIA 2 - REFRAÇÃO, REFLEXÃO TOTAL DA LUZ E FIBRA ÓPTICA

Em um pequeno aquário ou recipiente transparente com água, é possível ver com um feixe de laser, um raio de luz sendo desviado ao entrar na água, ela muda sua direção pois na água a velocidade da luz é menor. Isso fica claro na lei de Snell-Descartes onde cada meio tem seu índice de refração, então teremos na passagem de luz do ar para água uma luz incidente onde parte dessa luz ao encontrar a água é refletida e ao entrar na água tem um feixe refratado, a equação da refração chamada de lei de Snell é definida por  $n_a \cdot \text{sen}\theta_a = n_b \cdot \text{sen}\theta_b$ . A reflexão total da luz na Figura 5 é observada em um certo ângulo de incidência onde o raio de luz não sofre a refração, este é o princípio da fibra óptica.



Figura 5 - A luz do laser sofre uma reflexão total no fluxo de água.

Fonte: Elaborado pelo autor.

<p><b>Objetivo</b></p>	<p>Observar a reflexão na superfície espelhada da água e comprovar a lei que rege este fenômeno e verificar o princípio de propagação retilínea da luz.</p> <p>Verificar na prática o que acontece com um raio de luz que incide em um meio homogêneo diferente.</p> <p>Construir um sistema em que uma coluna de água conduza luz de forma curva, o que mostra o fenômeno da reflexão total e o princípio da fibra óptica.</p>
------------------------	---

<b>Competências e habilidades</b>	<p>Reconhecer o papel da luz, suas propriedades e fenômenos que envolvem a sua propagação, como formação de sombras, reflexão, refração etc.</p> <p>Associar as características de obtenção de imagens a propriedades físicas da luz para explicar, reproduzir, variar ou controlar a qualidade das imagens produzidas.</p>
<b>Materiais</b>	<p>Recipiente transparente para por água (um pequeno aquário de vidro ou acrílico).</p> <p>Laser vermelho ou verde.</p> <p>Talco ou produto em pó que permita visualizar a reflexão.</p> <p>Garrafa PET, canudinho, tesoura, cola e água.</p>
<b>Custo do Experimento</b>	<p>Recipiente transparente para por água (um pequeno aquário de vidro ou acrílico). (Preço de vaso em floricultura: R\$10,00 – R\$20,00; o preço pode variar conforme a região).</p> <p>Laser vermelho ou verde. (Preço no Ali Express: R\$5,00 – R\$15,00).</p> <p>Talco ou produto em pó que permita visualizar a reflexão. (Opcional, Preço do Talco: R\$10,00 – R\$20,00; o preço pode variar conforme a região).</p> <p>Garrafa PET, canudinho, tesoura, cola e água. (Materiais recicláveis e de escritórios; preços menores que R\$5,00). (Esses valores foram obtidos em junho de 2020).</p>

Tabela 3 – Explicações sobre os testes da Figura 5.

Procedimento experimental - Um outro fenômeno da luz é a refração onde eu tenho um feixe luminoso e na superfície de separação de dois meios, ele muda de direção. Em um pequeno aquário ou recipiente transparente com água, é possível ver com um feixe de laser, um raio de luz sendo desviado ao entrar na água, ela muda sua direção pois na água a velocidade da luz é menor. Isso fica claro na lei de Snell-Descartes onde cada meio tem seu índice de refração, então teremos na passagem de luz do ar para água uma luz incidente onde parte dessa luz ao encontrar a água é refletida e ao entrar na água tem um feixe refratado. Outro fenômeno e cheio de aplicações é a reflexão total da luz, essa situação ocorre quando a luz incide numa interface entre dois meios onde o meio no qual a luz incide tem um índice de refração maior que o outro, que se atinge um ângulo limite, não ocorre mais refração acima desse ângulo. Então se o índice de refração é menor, a lei de Snell-Descartes só seria viável se houvesse seno de ângulos maiores que um, esse ângulo limite é uma relação em limites da refração. Esse é o princípio da fibra óptica, onde o cabeamento é todo espelhado em seu interior, possibilitando que a luz incidida dentro deles, sofra inúmeras reflexões até chegar ao seu destino e de maneira muito rápida (na velocidade da luz) e sem nenhuma perda.

Para demonstrar a reflexão e refração da luz é necessário um laser, hoje é vendido por um valor baixo, e um recipiente transparente com água, um pote de flor ou pequeno aquário, incidindo o laser na água fica fácil ver sua refração e reflexão. A refração é bem simples de ser demonstrada também com um lápis ou uma moeda em um copo de água. Para a reflexão total precisa-se de uma garrafa PET e um pedaço de canudinho conforme Figura 6, esse canudinho deve ser fixado em um furo feito na parte de baixo da PET, encha a garrafa de água, coloque-a em um recipiente que irá receber a água saindo do canudinho, comece a soltar a água, observe o fluxo de água saindo, incida o laser na parte de trás da garrafa rente a saída da água no canudo e veja que a luz do laser acompanha o fluxo de água conforme a Figura 7.



Figura 6 - Montagem do experimento de reflexão total com garrafa PET e canudinho.

Fonte: Elaborado pelo autor.

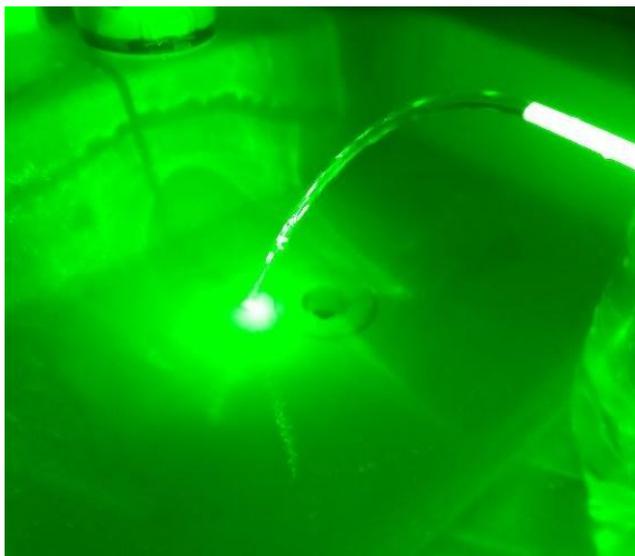


Figura 7 - A água da garrafa PET flui pelo canudinho, ao incidir a luz do laser rente ao canudinho, a luz sofre reflexão total no fluxo de água, o mesmo fenômeno ocorre em fibras ópticas.

Fonte: Elaborado pelo autor.

### 5.3 EXPERIÊNCIA 3 - CUBA DE ÁGUA PARA FENÔMENOS DE DIFRAÇÃO E INTERFERÊNCIA

As ondas são perturbações que se propagam sem que haja transporte de matéria, as cubas transportam energia de vibração sem transporte de matéria, neste exemplo também podemos notar que quanto maior a frequência de agitação de uma haste, menor serão os comprimentos de onda formados para uma mesma velocidade de propagação das ondas na água. A haste provocará um movimento na cuba de água, formando ondas planas que projetadas, se posicionarmos obstáculos na frente das ondas, podemos observar o fenômeno da difração no qual as ondas tendem a contornar o obstáculo formando ondas circulares conforme Figura 8.



Figura 8 - Cuba de água com ondas sofrendo difração.

Fonte: Elaborado pelo autor.

<b>Objetivos</b>	Construir uma cuba de ondas, utilizando materiais simples, e realizar uma breve apresentação de suas aplicações na demonstração dos fenômenos de difração e interferência.
<b>Competências e habilidades</b>	Identificar e caracterizar modelos de explicação da natureza da luz ao longo da história humana, seus limites e embates.

<b>Materiais</b>	Travessa de Vidro (ou outro material transparente, porém a visualização com o vidro é melhor). Madeira, plástico ou outro material que servirá de obstáculos e fendas. (Materiais recicláveis). Régua servindo de haste para realizar as ondulações. Lanterna LED e sulfite (opcional) para projeção das ondulações. Água.
<b>Custo do Experimento</b>	Travessa de Vidro (ou outro material transparente, porém a visualização com o vidro é melhor). (Utensílio de casa, Preço nas Americanas: R\$10,00 – R\$20,00). Régua servindo de haste para realizar as ondulações. (Material de escritório, menos de R\$1,00). Lanterna LED e sulfite (opcional) para projeção das ondulações. (Preço Lanterna nas Americanas: R\$9,00 – R\$20,00). (Esses valores foram obtidos em junho de 2020).

Tabela 4 – Explicações sobre os testes da Figura 8.

Procedimento experimental - As ondas são perturbações que se propagam sem que haja transporte de matéria, as cubas transportam energia de vibração sem transporte de matéria, neste exemplo também podemos notar que quanto maior a frequência de agitação de uma haste, menor serão os comprimentos de onda formados para uma mesma velocidade de propagação das ondas na água. A haste provocará um movimento na cuba de água, formando ondas planas que projetadas, se posicionarmos obstáculos na frente das ondas, podemos observar o fenômeno da difração no qual as ondas tendem a contornar o obstáculo formando ondas circulares (Figura 9). Se as peças/obstáculos forem posicionadas de forma que se formem duas fendas, podemos observar a formação de duas fontes de ondas circulares, uma em cada fenda. Como essas ondas são formadas pela mesma frente de ondas planas, as ondas circulares vão ter o mesmo comprimento de onda e estarão em fase, assim a interferência dessas ondas podem formar regiões de nós e de ventres, como veremos na cuba. Podemos ver também que ao mudarmos a abertura das fendas mudaremos o padrão das figuras de interferências. Outra maneira de se obter interferência das ondas é por meio de ondas circulares formada por duas esferas de plástico tocando a superfície da água, para isso vamos tocar a água com a mesma frequência, da mesma forma que as fendas conforme Figura 10. As ondas circulares formadas pelas esferas vão provocar interferências entre si formando regiões de nós e ventres, ou seja, regiões ocorrem interferências destrutivas e construtivas.

Podemos encher o recipiente tipo uma forma transparente ( Figura 10) de água e agitar com duas colheres, veremos as interferências acontecendo, colocar os obstáculos com uma

fenda ou espaço e agitar com uma régua para fazer ondas, fazer com uma e duas fendas, as fendas podem ser pedaços de madeira ou outro material que não se mova na cuba. Verificar com uma fenda a difração e com duas fendas verificar as difrações e interferências.



Figura 9 - Travessa de vidro com água para o experimento dos fenômenos de difração e interferência.

Fonte: Elaborado pelo autor.



Figura 10 - A perturbação na água em dois pontos gera ondas que irão sofrer interferências.

Fonte: Elaborado pelo autor.

#### 5.4 EXPERIÊNCIA 4 - INTERFERÊNCIA E DIFRAÇÃO COM FIO DE CABELO E PENTE FINO

Existem dois fenômenos que são típicos, a interferência e a difração, a difração é um fenômeno mediante o qual a onda contorna os obstáculos, e nos processos vai gerar interferência de muitas ondas. De forma que com um fio de cabelo e um pente fino poderemos ver o comportamento ondulatório da luz com esses dois fenômenos, a interferência e a difração conforme Figura 11. Vamos fazer um experimento que ficou conhecido como o experimento de Young e sua fenda dupla, onde foi comprovado o comportamento ondulatório da luz.



Figura 11 - Raio de luz do laser passando pelo fio de cabelo e resultando em um padrão de interferências.

Fonte: Elaborado pelo autor.

<b>Objetivos</b>	<p>Verificar e analisar padrões de difração e interferência da luz com o fio de cabelo e o pente fino.</p> <p>Observar os efeitos de difração e interferência com as franjas no anteparo conforme experimento de Thomas Young.</p> <p>Verificar no experimento algum modelo para a natureza da luz.</p>
<b>Competências e habilidades</b>	<p>Identificar e caracterizar modelos de explicação da natureza da luz ao longo da história humana, seus limites e embates.</p>
<b>Materiais</b>	<p>Fio de cabelo.</p> <p>Pente fino.</p> <p>Laser vermelho ou verde.</p> <p>Fita adesiva preta.</p> <p>Cartolina, papel cartão, tesoura, cola para fixar o fio de cabelo.</p> <p>Parede ou sulfite branca (material de escritório) como anteparo.</p>

<b>Custo do experimento</b>	Pente fino. (Utensílio de casa, preço menos de R\$5,00). Laser vermelho ou verde. (Preço no Ali Express: R\$5,00 – R\$15,00). Fita adesiva preta. (Preço em casa de ferramentas: R\$2,00 – R\$5,00). Cartolina, papel cartão, tesoura, cola para fixar o fio de cabelo. (Material de escritório, menos de R\$1,00). (Esses valores foram obtidos em junho de 2020).
-----------------------------	---

Tabela 5 – Explicações sobre os testes da Figura 11

Procedimento experimental – Existem dois fenômenos que são típicos, a interferência e a difração, a difração é um fenômeno mediante o qual a onda contorna os obstáculos, e nos processos vai gerar interferência de muitas ondas. De forma que com um fio de cabelo e um pente fino poderemos ver o comportamento ondulatório da luz com esses dois fenômenos, a interferência e a difração. Vamos fazer um experimento que ficou conhecido como o experimento de Young e sua fenda dupla, onde foi comprovado o comportamento ondulatório da luz. A ideia é usar um fio de cabelo, que é um obstáculo bem fino, e um laser, de forma que possa ser observado a difração da luz, já que seu comprimento de onda é pequeno e o obstáculo deve ser da mesma ordem de grandeza desse comprimento de onda. O laser será incidido sobre esse fio de cabelo e por equações, pode se verificar até a medida do diâmetro do fio de cabelo. Colocando o fio de cabelo na frente do feixe de laser poderemos ver projetado em um anteparo as franjas de máximos e mínimos, claras e escuras, que seriam as interferências construtivas e destrutivas, assim como ocorre em uma cuba de água com as fendas. O interessante é que com um pente fino também conseguiremos ver o efeito.

Uma base com papel deverá ser feita para esticar o fio de cabelo, o pente terá fita isolante deixando pequena abertura para a luz do laser passar conforme Figura 13. O laser será incidido no fio de cabelo e na abertura do pente. Numa folha de sulfite veremos o padrão de interferência projetado conforme Figura 14.



Figura 12 - Alunos preparando o experimento.

Fonte: Elaborado pelo autor.



Figura 13 - Experimento montado para a verificação dos fenômenos ondulatórios da luz, difração e interferência.

Fonte: Elaborado pelo autor.



Figura 14 - Verificação dos fenômenos ondulatórios de difração da luz ao passar pelo fio e sua interferência pelo padrão de franjas claras e escuras no anteparo.

Fonte: Elaborado pelo autor.

### 5.5 EXPERIÊNCIA 5 – DIFRAÇÃO DA LUZ USANDO UM CD

Um disco de CD tem várias ranhuras e por conta disso ele se comporta como uma rede de difração, e por causa das múltiplas interferências podemos ver as cores emitidas por uma luz conforme Figura 15. A rede de difração antigamente era um componente muito difícil de se obter, e muito caro também, por conta que se precisava de muitas ranhuras e linha por milímetro, e hoje em dia com o CD temos essa facilidade.



Figura 15 - Um CD exposto a uma luz natural de vela, e expondo o espectro de luz visível.

Fonte: Elaborado pelo autor.

<b>Objetivos</b>	Observar o fenômeno da difração da luz quando esta incide sobre um CD. Utilização de várias fontes de luz para a observação das cores que as compõem.
<b>Competências e habilidades</b>	Identificar e caracterizar modelos de explicação da natureza da luz ao longo da história humana, seus limites e embates. Associar a cor de um objeto a formas de interação da luz com a matéria (reflexão, refração, absorção). Identificar a luz branca como composição de diferentes cores.
<b>Materiais</b>	Lâmpadas incandescentes, fluorescentes ou LED. Luz negra, Lanterna, Vela, isqueiro, fósforo. Soquete e extensão para ligar as lâmpadas. CD em bom estado. Tesoura, estilete. Fita adesiva.

<b>Custo do Experimento</b>	<p>Lâmpadas incandescentes. (Preço casa de elétrica: R\$2,00 – R\$5,00).          Fluorescente ou LED. (Preço casa de elétrica: R\$5,00 – R\$10,00).          Luz negra. (Preço nas Americanas: R\$15,00 – R\$25,00).          Lanterna. (Preço Lanterna nas Americanas: R\$9,00 – R\$20,00).          Vela, isqueiro, fósforo. (Utensílios de casa, menos de R\$5,00).          Soquete e extensão para ligar as lâmpadas. (Preço casa de elétrica: até R\$10,00, pode variar conforme região).          CD em bom estado. (Papeleria, menos de R\$1,00 cada).          Tesoura, estilete. (Papeleria, menos de R\$5,00).          Fita adesiva. (Preço em casa de ferramentas: R\$2,00 – R\$5,00). (Esses valores foram obtidos em junho de 2020).</p>
-----------------------------	--

Tabela 6 – Explicações sobre os testes da Figura 15

Procedimento experimental - Um disco de CD tem várias ranhuras e por conta disso ele se comporta como uma rede de difração, e por causa das múltiplas interferências podemos ver as cores emitidas por uma luz. A rede de difração antigamente era um componente muito difícil de se obter, e muito caro também, por conta que se precisava de muitas ranhuras e linha por milímetro, e hoje em dia com o CD temos essa facilidade. Dessa maneira podemos montar um espectroscópio com um pedaço de CD ou simplesmente retirar uma camada, deixando apenas a parte da rede de difração onde poderemos ver as cores que compõem cada fonte de luz no experimento. Essas cores são dispersas ou desviadas pelas ranhuras na rede de difração e dependendo da fonte de luz podemos ver todas as cores do arco íris. Poderemos ver também que algumas lâmpadas que emitem a luz branca têm menos cores que outras, e que a luz negra só emite cor no espectro do azul e violeta. O espectroscópio tem um efeito quântico por causa das faixas que o elétron é excitado e retorna emitindo um fóton com a cor do elemento, é possível ver esse efeito nas lâmpadas de gases.

Será utilizado lâmpadas de diferentes tipos, vela e luz negra para vermos as cores que a compõem conforme Figura 16. Retire do CD a película de cima com cuidado para não estragar a rede de difração, se precisar retirar algum resíduo, coloque fita adesiva e proceda a retirada. Então é só posicionar os CD's em frente as lâmpadas e velas para verem as cores que surgem no CD conforme Figura 17. O professor pode ainda criar um espectroscópio com uma caixa pequena de embalagem de papel ou caixa de fósforo e um pedaço de CD posicionado dentro da caixa, e por uma pequena fenda observar os espectros das fontes de luz.



Figura 16 - Algumas fontes de luz para este experimento e a película retirada do CD.

Fonte: Elaborado pelo autor.



Figura 17 - Cada fonte de luz tem determinados comprimentos de ondas ou frequências que enxergamos como cores, ao incidir a luz dessas fontes no CD essas frequências são dispersadas pela rede de difração e aparecem as cores existentes nessas fontes.

Fonte: Elaborado pelo autor.

## 5.6 EXPERIÊNCIA 6 - INTERFERÊNCIA EM BOLHA DE SABÃO

Costumamos ver faixas brilhantes coloridas quando a luz solar é refletida em bolhas de sabão ou em películas de óleo flutuando sobre a água. Esse efeito é produzido pela interferência da luz (Figura 18). As ondas luminosas são refletidas pelas superfícies opostas dessas películas e ocorre interferência construtiva entre duas ondas refletidas (com caminhos diferentes) em diversos locais e para comprimentos de onda diferentes.



Figura 18 - Cores em filmes finos.

Fonte: Elaborado pelo autor.

<b>Objetivos</b>	<p>Observar o fenômeno da interferência em filmes finos quando a luz é incidida em uma película ou bolha de sabão.</p> <p>Analisar as interferências construtivas e destrutivas para a formação de cores em uma película ou bolha de sabão.</p>
<b>Competências e habilidades</b>	<p>Identificar e caracterizar modelos de explicação da natureza da luz ao longo da história humana, seus limites e embates.</p> <p>Associar a cor de um objeto a formas de interação da luz com a matéria (reflexão, refração, absorção).</p> <p>Identificar a luz branca como composição de diferentes cores.</p>
<b>Materiais</b>	<p>Recipiente com água e detergente.</p> <p>Lanterna com luz branca (LED).</p> <p>Haste (pedaço de arame) para fazer as bolhas de sabão.</p> <p>Anteparo com fundo branco.</p>

<b>Custo do Experimento</b>	<p>Recipiente com água e detergente. (Preço do detergente em supermercados: Até R\$2,00 dependendo da região).</p> <p>Lanterna com luz branca (LED). (Preço nas Americanas: R\$9,00 – R\$20,00).</p> <p>Haste (pedaço de arame) para fazer as bolhas de sabão. (Preço do arame em casa de construção: Menos de R\$1,00 o metro). (Esses valores foram obtidos em junho de 2020).</p>
-----------------------------	--

Tabela 7 – Explicações sobre os testes da Figura 18

Procedimento experimental - Nessa experiência ligamos a lanterna e incidimos a luz inclinadamente sobre o recipiente com água e sabão, em seguida mergulhamos o aro dentro da água com detergente para formar uma película de sabão, podemos observar que a luz refletida na película será projetada no anteparo branco, assim conforme o líquido escorre, a espessura da película formada no aro vai ficando mais fina. Se esta espessura ficar da ordem dos comprimentos da luz incidente, haverá interferência entre as ondas refletidas na primeira superfície e na segunda superfície da película de sabão. Estas interferências produzem as cores projetadas na tela (Figura 17), por exemplo, as faixas verdes aparecem nas regiões onde ocorreu a interferência construtiva para o comprimento de onda da luz verde, da mesma forma que ocorre interferências construtivas para as outras cores. Notamos também que conforme o líquido escorre, a película vai ficando cada vez mais fina e as interferências construtivas para a luz visível deixam de existir assim a película vai ficando cada vez mais escura indicando que está prestes a se desfazer. Poderá ser feita bolhas de sabão de diferentes tamanhos conforme Figura 19 e expostas ao sol para o mesmo efeito de interferências em filmes finos, películas de óleo também demonstram o mesmo efeito.



Figura 19 - Alunos montando o experimento.

Fonte: Elaborado pelo autor.

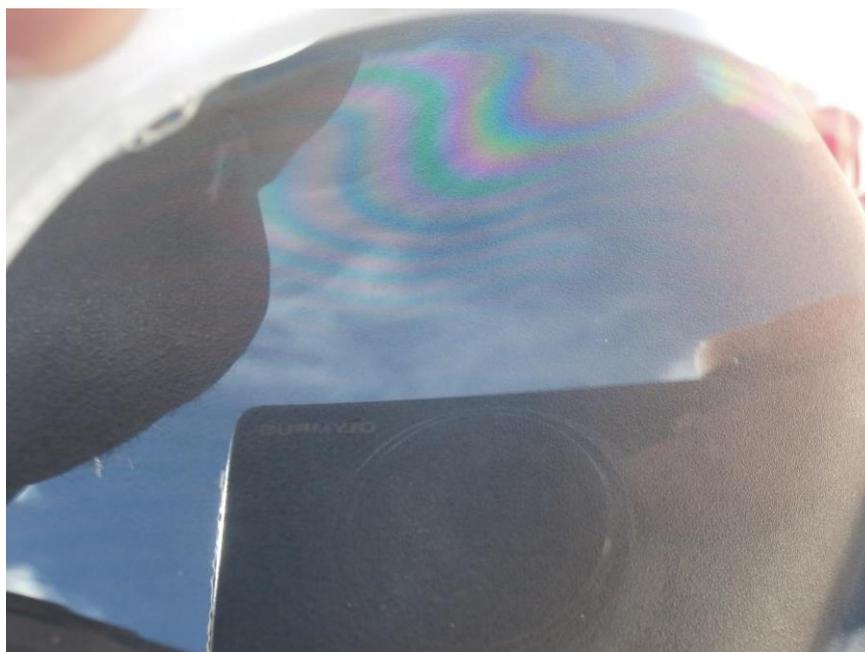


Figura 20 - Película de sabão sofrendo interferências.

Fonte: Elaborado pelo autor.

## 5.7 EXPERIÊNCIA 7 - EXPERIMENTO DE HERTZ, ONDAS ELETROMAGNÉTICAS

Ondas eletromagnéticas foram produzidas pela primeira vez em laboratório por Heinrich Hertz em 1887. Maxwell mostrou que suas equações preveem a rapidez das ondas eletromagnéticas no espaço livre com a mesma velocidade da luz pela equação  $c = 1/\sqrt{\mu_0\epsilon_0}$ . O experimento ( Figura 21) irá produzir o que Hertz fez e comprovou nas suas pesquisas o que Maxwell havia previsto, com base só na teoria da conservação da carga elétrica, ele formulou as leis que no espaço livre a gente pode ter ondas eletromagnéticas.



Figura 21 - Experimento feito baseado nas experiências de Hertz ao descobrir as ondas de rádio.

Fonte: Elaborado pelo autor.

<p><b>Objetivos</b></p>	<p>Comprovar a existência das ondas eletromagnéticas por meio do mesmo princípio que Hertz provou.</p> <p>Verificar através do experimento a produção e propagação de ondas eletromagnéticas através da transmissão do pulso elétrico e a lâmpada acesa sem nenhuma conexão.</p>
<p><b>Competências e habilidades</b></p>	<p>Identificar os principais meios de produção, propagação e detecção de ondas eletromagnéticas no cotidiano.</p> <p>Explicar o funcionamento básico de equipamentos e sistemas de comunicação, como rádio, televisão, telefone celular e fibras ópticas, com base nas características das ondas eletromagnéticas.</p> <p>Reconhecer a evolução dos meios de comunicação e informação, assim como seus impactos sociais, econômicos e culturais.</p>

<b>Materiais</b>	4 fios de cobre rígido com 20 cm de comprimento. 1 lâmpada de neon pequena. Papel alumínio para antena. Suportes de madeira, plástico ou outro material para os fios de cobre Acendedor de fogão com sistema piezelétrico. 2 garras jacaré e fios de cobre para acoplar no acendedor.
<b>Custo do Experimento</b>	4 fios de cobre rígido com 20 cm de comprimento. (Preço em casa de elétrica: Até R\$5,00 o metro, dependendo da região). 1 lâmpada de neon pequena. (Preço nas Americanas: Até R\$2,00). Papel alumínio para antena. (Preço em supermercados: R\$2,00 – R\$5,00). Acendedor de fogão com sistema piezelétrico. (Preço em casa de elétrica: Até R\$15,00; dependendo da região; serviço da montagem do técnico também pode variar, nesse experimento foi pago R\$15,00). 2 garras jacaré e fios de cobre para acoplar no acendedor. (Preço em casa de eletrônica: Menos de R\$1,00). (Esses valores foram obtidos em junho de 2020).

Tabela 8 – Explicações sobre os testes da Figura 21

Procedimento experimental - O experimento irá produzir o que Hertz fez e comprovou nas suas pesquisas o que Maxwell havia previsto, com base só na teoria da conservação da carga elétrica, ele formulou as leis que no espaço livre a gente pode ter ondas eletromagnéticas. A partir daí a óptica se transformou num capítulo do eletromagnetismo, dissemos que Maxwell foi responsável pela unificação do eletromagnetismo com a óptica, porque agora os fenômenos ópticos em princípio poderiam ser estudados à luz do eletromagnetismo. Esses trabalhos eram teóricos e ninguém havia produzido ainda as ondas previstas por ele, e ele tinha essa noção, faltava a comprovação experimental dessa teoria. O experimento é relativamente simples na sua montagem, precisamos de quatro pedaços de fios rígidos de cobre, um suporte que pode ser de madeira para fixarmos os fios. De um lado teremos uma lâmpada pequena de néon conectando dois fios de cobre, e na outra parte ligada aos outros dois fios um acendedor de fogão modificado com dois fios de garra jacaré para conexão. Essa modificação poderá ser feita por alguém especializado em elétrica-eletrônica, o papel alumínio poderá ser usado para melhorar a antena de transmissão conforme as Figuras 22 e 23. O experimento demonstra muito bem que sem nenhuma ligação entre as partes, ao acionar o acendedor a lâmpada acende. O eletromagnetismo em suas leis traz a perturbação que se origina em um determinado ponto, com essa perturbação eletromagnética ela se propaga no espaço e a transmissão de ondas eletromagnéticas representam essas perturbações em pontos até muito longe, e que se demonstra no experimento é que uma perturbação se propaga, sem meios materiais para isso, até mesmo no vácuo.

Em resumo teremos um experimento com os fios de cobre e papel alumínio, que será a antena, colocando nas bases fixas de madeira ou outro material. Colocar as garras do conector do acendedor de fogão de um lado, e do outro a lâmpada de néon. Ao dar um pulso elétrico no acendedor a lâmpada irá acender mesmo sem conexão entre eles.



Figura 22 - Alunos montando o experimento de Hertz.

Fonte: Elaborado pelo autor.



Figura 23 - Construção do experimento com as quatro hastes de fio de cobre rígidos, lâmpada de néon, papel alumínio para antena e dispositivo piezoelétrico para gerar carga.

Fonte: Elaborado pelo autor.

## 5.8 EXPERIÊNCIA 8 - BLOQUEAR ONDAS COM PAPEL ALUMÍNIO E ESPONJA DE AÇO

Pode-se usar uma blindagem feita de papel alumínio ou palha de aço para bloquear as ondas eletromagnéticas em uma chamada de celular, isso ocorre pois o alumínio ou a palha de aço blinda as ondas eletromagnéticas vindas de uma torre de transmissão. Essa blindagem eletrostática também chamada de Gaiola de Faraday atua sobre o campo elétrico das ondas de rádio em uma ligação telefônica no caso (Figura 24), impedindo que as ondas eletromagnéticas, uma radiação de variação dos campos elétricos e magnéticos, atravessem o metal e penetrem em um certo meio.



Figura 24 - Celular que receberá a ligação sendo embrulhado em papel alumínio ou esponja de aço.

Fonte: Elaborado pelo autor.

<b>Objetivos</b>	<p>Investigar qual é o comportamento do sinal de um celular quando isolado através de diferentes materiais como, por exemplo, folha de papel alumínio.</p> <p>Demonstrar como as ondas eletromagnéticas de um celular podem ser bloqueadas usando princípios da blindagem eletrostática e gaiola de Faraday.</p>
------------------	--

<b>Competências e habilidades</b>	Identificar os principais meios de produção, propagação e detecção de ondas eletromagnéticas no cotidiano. Explicar o funcionamento básico de equipamentos e sistemas de comunicação, como rádio, televisão, telefone celular e fibras ópticas, com base nas características das ondas eletromagnéticas. Reconhecer a evolução dos meios de comunicação e informação, assim como seus impactos sociais, econômicos e culturais.
<b>Materiais</b>	2 Celulares funcionando com área e crédito para ligações. Papel alumínio e esponja de aço.
<b>Custo do Experimento</b>	Papel alumínio e esponja de aço. (Preço em supermercados: Menos de R\$5,00). (Esses valores foram obtidos em junho de 2020).

Tabela 9 – Explicações sobre os testes da Figura 24

Procedimento experimental - Uma blindagem eletrostática, conhecida como Gaiola de Faraday deixará o campo elétrico nulo dentro de uma esfera metálica eletrizada, porém em sua casca haverá um campo de forças atuando que é o próprio campo elétrico, portanto essa casca estará eletrizada. Dentro de um veículo cuja carroceria é feita de metal tal como carro, helicóptero ou um avião, também é construído uma blindagem eletrostática contra descargas elétricas, usando-se o mesmo efeito visto com a Gaiola de Faraday. Pode-se usar uma blindagem feita de papel alumínio ou palha de aço para bloquear as ondas eletromagnéticas em uma chamada de celular, isso ocorre pois o alumínio ou a palha de aço blinda as ondas eletromagnéticas vindas de uma torre de transmissão. Essa blindagem eletrostática também chamada de Gaiola de Faraday atua sobre o campo elétrico das ondas de rádio em uma ligação telefônica no caso, impedindo que as ondas eletromagnéticas, uma radiação de variação dos campos elétricos e magnéticos, atravessem o metal e penetrem em um certo meio. Ao se cobrir esse meio com material condutor, pode-se criar uma blindagem contra essa radiação.

Dois celulares precisarão estar com área e crédito para ligações. Um dos celulares fará a ligação para comprovar que está funcionando, após a verificação o celular que recebeu a ligação será embrulhado primeiro com papel alumínio e será feita a ligação conforme Figuras 24 e 25, depois será embrulhado em palha de aço e nova ligação será feita.

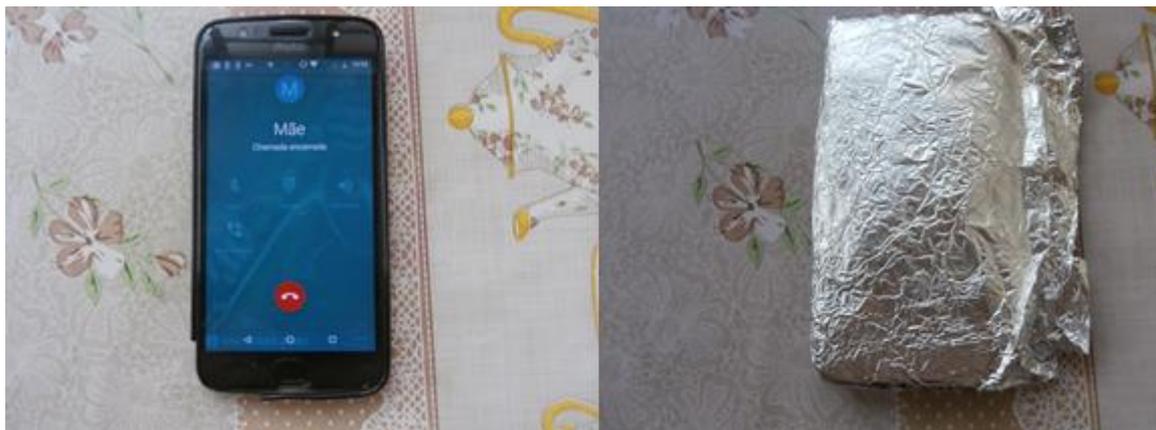


Figura 25 - Celular fazendo a ligação e celular embrulhado.

Fonte: Elaborado pelo autor.

## 5.9 EXPERIÊNCIA 9 - FILTROS DE LUZ, POLARIZAÇÃO DE ONDAS

É possível transformar luz não polarizada em polarizada fazendo-a passar por um filtro polarizador (Figura 26). Quando temos dois filtros polarizadores considerando suas orientações relativas: Se as direções de polarização são paralelas, toda a luz que passa pelo primeiro filtro passa também pelo segundo. Porém, se as direções são perpendiculares (caso em que dizemos que os filtros estão cruzados), não passa nenhuma luz pelo segundo filtro.



Figura 26 - Película polarizada retirada da tela de um celular sem uso.

Fonte: Elaborado pelo autor.

<p><b>Objetivos</b></p>	<p>Compreender que a luz é polarizada e se propaga transversalmente em campos elétricos e magnéticos.</p> <p>Verificar o fenômeno de polarização de um modo empírico, utilizando películas ou adesivos polarizados, filtros polaróides e óculos de sol polarizados.</p> <p>Verificar que luz polarizada linearmente, transmitida através de um polarizador, depende do ângulo, onde a luz pode ser bloqueada ou não pelo polarizador.</p>
<p><b>Competências e habilidades</b></p>	<p>Associar as características de obtenção de imagens a propriedades físicas da luz para explicar, reproduzir, variar ou controlar a qualidade das imagens produzidas.</p> <p>Utilizar o modelo eletromagnético da luz como uma representação possível das cores na natureza.</p> <p>Identificar a luz no espectro de ondas eletromagnéticas, diferenciando as cores de acordo com as frequências.</p>
<p><b>Materiais</b></p>	<p>Filtros polarizadores, por exemplo, películas polarizadas de celular, televisão, tablet, computadores, câmera fotográfica, óculos de sol, etc.</p> <p>Tela de computador ligada e sem defeito. (Aparelhos da escola).</p>

<b>Custo do Experimento:</b>	Filtros polarizadores, por exemplo, películas polarizadas de celular, televisão, tablet, computadores, câmera fotográfica, óculos de sol, etc. (Preço no mercado livre: R\$15,00 – R\$30,00; em estabelecimentos de manutenção eletrônica pode-se conseguir de graça).
------------------------------	--

Tabela 10 – Explicações sobre os testes da Figura 26

Procedimento experimental - Uma das características das ondas eletromagnéticas é exibir um fenômeno conhecido como polarização, as ondas eletromagnéticas podem ou não ser polarizadas. Porque na verdade quando ela não é polarizada é porque existe um número infinito de polarizações, mas de qualquer maneira, a polarização das ondas eletromagnéticas está associada ao spin 1 do fóton. E o fato é que as ondas eletromagnéticas, se propagam em uma direção e oscilam na direção perpendicular da direção de propagação. Já que esse plano que elas podem oscilar é um plano, conseqüentemente podem oscilar numa direção ou na outra direção. Então dizemos que uma onda é plano polarizada se ela oscila de tal maneira que o plano de oscilação é perpendicular à direção de propagação, mas no plano as oscilações, que vão sempre ao longo de uma dimensão, como se forem numa reta, que é de difícil percepção por causa da sua propagação. Os polarizadores funcionam como uma fenda permitindo que a luz passe somente em um plano. Se acontecer de dois polarizadores estarem alinhados na mesma direção, a luz passa pelo primeiro, mas no segundo não se vê nada, pois um deixa passar na vertical e o outro na horizontal, então a onda que passou na vertical não passará na horizontal, não haverá emergência de luz por causa desse polarizador conforme Figura 28. A polarização só ocorre em ondas transversais, ondas longitudinais iguais às sonoras não ocorre esse fenômeno.

Faremos testes de polarização da luz, com o monitor do computador ligado iremos verificar alguns polarizadores como os óculos de sol, um adesivo de tela de celular (Figura 27), um adesivo de tela de TV LCD, ou o que o professor e a sala conseguirem para o experimento. O interessante é demonstrar para os alunos que os óculos comprados em bancas de camelôs ou ambulantes não são polarizadores e podem trazer riscos para a visão.



Figura 27 - Filtro polarizador de tela de celular.

Fonte: Elaborado pelo autor.

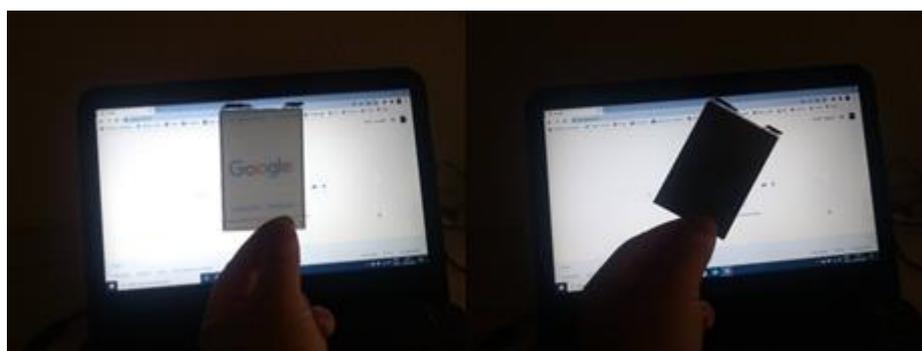


Figura 28 - Ao rotacionar o filtro diante da tela do computador temos o efeito de polarização da luz, onde a luz pode ser totalmente bloqueada.

Fonte: Elaborado pelo autor.

## 5.10 EXPERIÊNCIA 10 - PRODUTOS FLUORESCENTES E FOSFORESCENTE

A fluorescência e a fosforescência só ocorrem quando a radiação incidente tem energia suficiente para excitar os átomos do material. A luz visível não provoca excitação nos átomos, pois não tem energia suficiente para isso, por isso quando incidimos a luz verde do laser, apesar de ser muito intensa, não provoca nenhuma reação no material. Mas quando incidimos a radiação ultravioleta de um laser azul, por exemplo, podemos até escrever no material. A radiação desse laser tem energia suficiente para provocar a fosforescência, após a excitação dos átomos pela energia dos fótons, a relaxação do sistema ocorre de forma lenta e o material fica iluminado por vários minutos, mesmo depois de cessar a radiação ultravioleta do laser conforme Figura 30.



Figura 29 - Material fosforescente excitado por uma lâmpada de luz negra com radiação ultravioleta.

Fonte: Elaborado pelo autor.

<b>Objetivos</b>	<p>Demonstrar experimentalmente a diferença entre material fluorescente e fosforescente.</p> <p>Analisar a interação de fótons com a matéria (absorção e reemissão de fótons), através do experimento.</p> <p>Entender a relação da energia com a frequência de um laser e sua interação com a matéria fosforescente.</p>
<b>Competências e habilidades</b>	<p>Reconhecer e explicar a emissão e a absorção de diferentes cores de luz.</p> <p>Identificar a luz no espectro de ondas eletromagnéticas, diferenciando as cores de acordo com as frequências.</p> <p>Reconhecer o atual modelo científico utilizado para explicar a natureza da luz.</p>

<b>Materiais</b>	Água com sabão em pó, Água tônica, Canetas marca texto. Objetos fluorescentes, Papel ou objeto fosforescente. Lâmpada de luz negra. Laser vermelho, verde e azul/roxo.
<b>Custo do Experimento</b>	Água com sabão em pó. (Utensílio de casa, até R\$5,00). Água tônica. (Preço em supermercados: Até R\$5,00). Canetas marca texto. (Preço em papelarias: Até R\$5,00). Objetos fluorescentes. (Preço Ali Express: Até R\$10,00; também possível encontrar em papelarias e armarinhos). Papel ou objeto fosforescente. (Preço Ali Express: Até R\$20,00; também possível encontrar em papelarias e armarinhos). Lâmpada de luz negra. (Preço nas Americanas: R\$15,00 – R\$25,00). Laser vermelho, verde e azul/roxo. (Preço no Ali Express: R\$5,00 – R\$15,00). (Esses valores foram obtidos em junho de 2020).

Tabela 11 – Explicações sobre os testes da Figura 29

Procedimento experimental - A lâmpada de vapor de mercúrio, conhecida como luz negra, emite luz na faixa do violeta, e também radiação ultravioleta de frequência mais baixa conhecida como UVA. Como a radiação ultravioleta é invisível aos nossos olhos, quando ligamos a lâmpada vemos apenas uma luz violeta fraca, a incidência dessa luz sobre o pedaço de papel marrom, por exemplo, praticamente não provoca nenhum efeito pois a radiação ultravioleta é absorvida pelo papel e transformada em calor. Usando uma caneta do tipo marca texto podemos escrever sobre este papel, com a luz ambiente quase não enxergamos o que está escrito nele, mas quando apagamos a luz ambiente e iluminamos o papel com a lâmpada de luz negra, a parte escrita com a caneta marca texto se ilumina. Isso acontece, pois, a tinta desse tipo de caneta possui uma substância fluorescente que absorve a radiação ultravioleta e logo após emite a luz visível, que causa o brilho intenso, também podemos observar um pedaço de papel sulfite que contém substância fluorescente que o torna mais branco, ao contrário do papel marrom (Figuras 30 e 31). A radiação ultravioleta também pode ser usada para detectar falsificações grosseiras, por exemplo, em notas de dinheiro impressas em papel sulfite, se forem iluminadas duas notas, uma falsa e uma real com luz ambiente, praticamente não veremos diferença entre elas, porém se ligarmos a luz negra, como a nota verdadeira é feita com papel moeda que não é fluorescente, fica evidente a diferença entre as duas notas, a nota falsa por ser fluorescente absorve a radiação ultravioleta e emite luz visível, ao contrário da nota verdadeira que apenas absorve a radiação não emitindo luz. Podemos ainda fazer testes com adesivos de enfeites feitos de materiais fosforescentes, estes materiais também absorvem a radiação ultravioleta e emitem luz visível, porém mesmo após desligadas a radiação ultravioleta eles

ficam emitindo luz, no caso dos enfeites, ficam emitindo luz ainda um intervalo de tempo. Podemos fazer agora um outro teste com material fosforescente e laser, a fluorescência e a fosforescência só ocorrem quando a radiação incidente tem energia suficiente para excitar os átomos do material. A luz visível não provoca excitação nos átomos, pois não tem energia suficiente para isso, por isso quando incidimos a luz verde do laser, apesar de ser muito intensa, não provoca nenhuma reação no material. Mas quando incidimos a radiação ultravioleta de um laser azul, por exemplo, podemos até escrever no material. A radiação desse laser tem energia suficiente para provocar a fosforescência, após a excitação dos átomos pela energia dos fótons, a relaxação do sistema ocorre de forma lenta e o material fica iluminado por vários minutos, mesmo depois de cessar a radiação ultravioleta do laser conforme Figuras 32 e 33.

É interessante levar para esse experimento para comprovar a luminescência dos produtos, frasco com água e sabão em pó, água tônica, tinta de caneta marca texto na água, papel cartão pintado com caneta marca texto, enfeites e objetos de decoração fluorescentes e fosforescentes. Para iluminar todos esses produtos precisaremos de uma lâmpada de luz negra e para o experimento do efeito fotoelétrico, que é a luz como radiação interagindo com a matéria no material fosforescente, precisamos iluminar com laser vermelho, verde e azul.

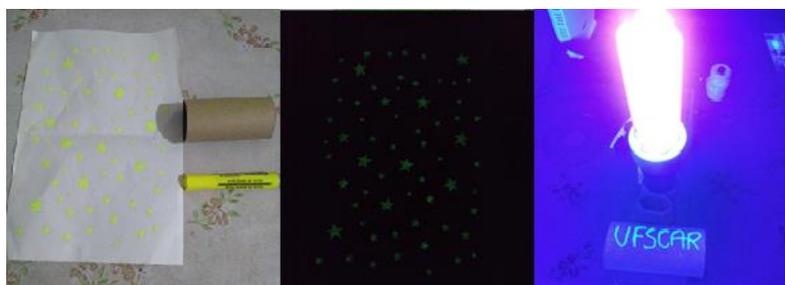


Figura 30 - Materiais fluorescentes sendo excitados com lâmpada de luz negra.

Fonte: Elaborado pelo autor.



Figura 31 - Aluna interagindo com caneta de material fluorescente e lâmpada de luz negra com radiação ultravioleta.

Fonte: Elaborado pelo autor.



Figura 32 - Os lasers vermelho e verde estão sendo incididos no material fosforescente, porém ambos não têm energia suficiente para excitar os átomos do material.

Fonte: Elaborado pelo autor.

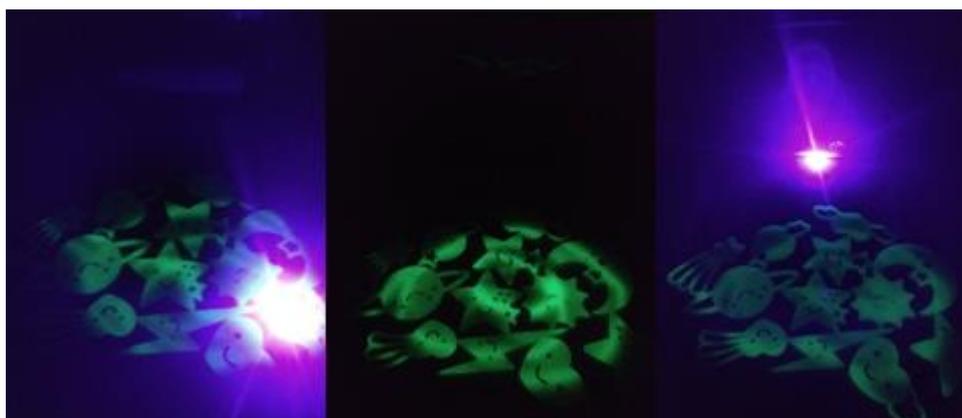


Figura 33 - O laser azul/roxo tem energia suficiente para excitar os átomos do material fosforescente.

Fonte: Elaborado pelo autor.

### 5.11 EXPERIÊNCIA 11 - ELETROSCÓPIO E O EFEITO FOTOELÉTRICO

Vamos mostrar com esse experimento (Figura 34) a interação da radiação com a matéria e um dos efeitos mais importantes da física moderna, o efeito fotoelétrico. Este efeito rendeu o prêmio Nobel para o cientista Albert Einstein em 1921 (HALLIDAY, 2016). Inicialmente iremos eletrizar o canudinho atritando-o com papel toalha, o papel toalha tem a tendência de perder elétrons ficando positivo conforme a tabela triboelétrica, já o canudinho ganha esses elétrons ficando negativo. Após o atrito, o eletroscópio será carregado por contato, transferindo parte das cargas do canudinho, nesse caso o eletroscópio se eletriza com cargas do mesmo sinal do canudinho. Ao ligarmos uma lâmpada incandescente de alta potência, verificamos que nada acontece e o eletroscópio continua carregado, porém, quando ligamos uma lâmpada de luz negra que emite radiação ultravioleta sobre o eletroscópio, ele se descarrega imediatamente.



Figura 34 - Experimento do eletroscópio para demonstrar o efeito fotoelétrico.

Fonte: Elaborado pelo autor.

<b>Objetivos</b>	<p>Verificar o efeito fotoelétrico ocorrendo no eletroscópio através da emissão de luz ultravioleta.</p> <p>Analisar o efeito ocorrendo através da frequência de luz proporcional a sua energia e não com sua intensidade conforme modelo clássico.</p> <p>Discutir um novo modelo para o comportamento corpuscular da luz.</p>
<b>Competências e habilidades</b>	<p>Reconhecer o atual modelo científico utilizado para explicar a natureza da luz.</p> <p>Identificar a luz no espectro de ondas eletromagnéticas, diferenciando as cores de acordo com as frequências.</p> <p>Explicar a absorção e a emissão de radiação pela matéria, recorrendo ao modelo de quantização da energia.</p>

<b>Materiais</b>	1 frasco de maionese ou do tipo plástico com tampa. (Material reciclável). 1 pedaço de fio de cobre rígido, Papel alumínio. Alicate (opcional), Tesoura, estilete, cola, Fita adesiva. Canudinho e papel toalha para eletrizar o eletroscópio. Lâmpada incandescente e Luz negra. Soquete e extensão elétrica para ligá-las.
<b>Custo do Experimento</b>	1 pedaço de fio de cobre rígido. (Preço em casa de elétrica: Até R\$5,00 o metro, dependendo da região). Papel alumínio. (Preço em supermercados: Menos de R\$5,00). Alicate (opcional). (Preço nas Americanas: Até R\$10,00). Tesoura, estilete, cola. (Preço em papelarias: Menos de R\$5,00). Fita adesiva. (Preço em casa de elétrica: Menos de R\$5,00). Lâmpada incandescente. (Preço casa de elétrica: R\$2,00 – R\$5,00). Luz negra. (Preço nas Americanas: R\$15,00 – R\$25,00). Soquete e extensão elétrica para ligá-las. (Preço casa de elétrica: até R\$10,00, pode variar conforme região). (Esses valores foram obtidos em junho de 2020).

Tabela 12 – Explicações sobre os testes da Figura 34

Procedimento experimental - Primeiramente deve-se montar um eletroscópio com pote de maionese ou outro pote de plástico ou vidro. Um eletroscópio é de fácil montagem, precisa-se além do pote, um pedaço de fio de cobre rígido e uma bola de papel alumínio na parte de cima e duas folhas bem finas e separadas na parte de baixo. Na tampa do pote terá um furo pequeno apenas para entrada do fio de cobre, esse fio terá um gancho embaixo onde será colocada as folhas de papel alumínio conforme Figura 36. O pote tem que estar bem fechado e vedado, na parte de cima do fio coloque a bola de papel alumínio e está pronto o eletroscópio.

Vamos mostrar com esse experimento a interação da radiação com a matéria e um dos efeitos mais importantes da física moderna, o efeito fotoelétrico, este efeito rendeu o prêmio Nobel para o cientista Albert Einstein em 1921. Inicialmente iremos eletrizar o canudinho atritando-o com papel toalha, o papel toalha tem a tendência de perder elétrons ficando positivo conforme a tabela triboelétrica, já o canudinho ganha esses elétrons ficando negativo. Após o atrito, o eletroscópio será carregado por contato, transferindo parte das cargas do canudinho, nesse caso o eletroscópio se eletriza com cargas do mesmo sinal do canudinho. Ao ligarmos uma lâmpada incandescente de alta potência, verificamos que nada acontece e o eletroscópio continua carregado conforme Figura 36, porém, quando ligamos uma lâmpada de luz negra que emite radiação ultravioleta sobre o eletroscópio, ele se descarrega imediatamente conforme Figura 38. Apesar da lâmpada de luz negra possuir uma potência elétrica muito menor comparada com a lâmpada incandescente, ela emite um tipo de radiação cuja energia dos fótons

é muito maior. Esse efeito antes não compreendido foi explicado por Einstein, a energia dos fótons depende da frequência da radiação, quanto maior a frequência da onda, maior a energia. Por exemplo, os fótons da luz violeta têm mais energia do que os fótons da luz vermelha, pois a frequência da luz violeta é maior do que a frequência da luz vermelha. Dessa forma os fótons da radiação ultravioleta por possuírem mais energia, conseguem arrancar os elétrons do eletroscópio, ao contrário da lâmpada incandescente que emite radiação infravermelha.



Figura 35 - Alunos montando o experimento.

Fonte: Elaborado pelo autor.



Figura 36 - Montagem do eletroscópio com pote plástico, fio de cobre, pedaço de papel alumínio, canudinho e papel toalha.

Fonte: Elaborado pelo autor.



Figura 37 - O canudinho atritado com o papel toalha fica carregado com cargas negativas, ao tocar com o canudinho no papel alumínio, os elétrons fluem para a parte inferior do eletroscópio, esses elétrons se repelem separando as fitas de papel alumínio, e mesmo exposto a uma lâmpada incandescente, não há alteração aos elétrons, a energia da lâmpada não é suficiente para arrancar esses elétrons.

Fonte: Elaborado pelo autor.



Figura 38 - Ao posicionar uma lâmpada de luz negra de radiação ultravioleta com energia suficiente, os elétrons são arrancados do eletroscópio, mesmo o canudinho ainda tocando o papel alumínio.

Fonte: Elaborado pelo autor.

## 5.12 EXPERIÊNCIA 12 - OUVINDO O CONTROLE REMOTO, EXPERIMENTO DE FOTOTRANSISTOR

Esse experimento vai permitir que nós consigamos ouvir o sinal que o controle remoto emite através da luz infravermelho e também vamos verificar o efeito fotoelétrico que é a base desse projeto, o efeito fotoelétrico ocorre quando se emite uma luz em um metal e através dos fótons emitidos por essa luz com energia necessária, elétrons do metal são arrancados. Para enxergarmos esse efeito vamos utilizar um fototransistor (Figura 39), que funciona por meio do efeito fotoelétrico.

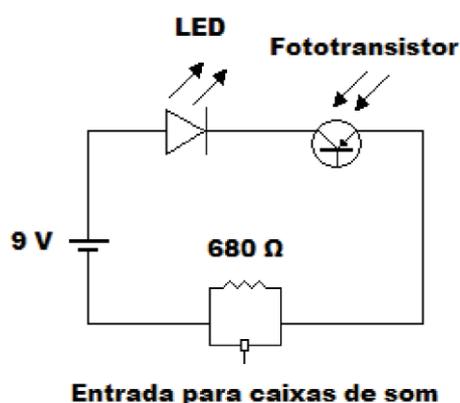


Figura 39 - Circuito esquemático do experimento.

Fonte: Disponível em: <<https://images.app.goo.gl/9ixNLVnYTABKrx46>>. Acesso em: 20 nov. 2020.

<p><b>Objetivos</b></p>	<p>Compreender a interação existente entre a radiação e a matéria, a partir da existência de fenômenos naturais, da vida e da tecnologia, relacionando posteriormente com a noção do fenômeno conhecido como efeito fotoelétrico.</p> <p>Definir o efeito fotoelétrico a partir do aparato experimental, explicando como ocorre o fenômeno e apresentar a explicação dada para o fenômeno por Albert Einstein.</p> <p>Compreender uma das aplicações tecnológicas do efeito fotoelétrico, ao que se refere à interação da luz infravermelha do controle remoto com o fototransistor, a partir da montagem de um experimento de baixo custo.</p>
-------------------------	---

<b>Competências e habilidades</b>	<p>Explicar a absorção e a emissão de radiação pela matéria, recorrendo ao modelo de quantização da energia.</p> <p>Identificar diferentes radiações presentes no cotidiano, reconhecendo sua sistematização no espectro eletromagnético e sua utilização por meio das tecnologias a elas associadas (rádio, radar, forno de micro-ondas, raios X, tomografia, laser etc.).</p> <p>Reconhecer o atual modelo científico utilizado para explicar o comportamento da luz.</p>
<b>Materiais</b>	<p>1 bateria de 9 V.</p> <p>1 Fototransistor infravermelho.</p> <p>1 LED vermelho (ou de outra cor).</p> <p>1 pino fêmea P2 (para conectar a caixa de som).</p> <p>1 resistor de 680 <math>\Omega</math> e 1/8 W.</p> <p>2 garras jacarés.</p> <p>1 suporte para bateria.</p> <p>1 controle remoto comum de televisão.</p> <p>1 caixinha de som de computador ou de rádio.</p>
<b>Custo do Experimento</b>	<p>1 bateria de 9 V. (Preço em casa de eletrônica: Até R\$10,00).</p> <p>1 Fototransistor infravermelho. (Preço em casa de eletrônica: Até R\$5,00).</p> <p>1 LED vermelho (ou de outra cor).</p> <p>1 pino fêmea P2 (para conectar a caixa de som). (Preço em casa de eletrônica: Até R\$5,00).</p> <p>1 resistor de 680 <math>\Omega</math> e 1/8 W. (Preço em casa de eletrônica: Menos que R\$1,00).</p> <p>2 garras jacarés. (Preço em casa de eletrônica: Menos de R\$1,00).</p> <p>1 suporte para bateria. (Preço em casa de eletrônica: Menos de R\$1,00).</p> <p>1 controle remoto comum de televisão. (Utensílio de casa ou da escola; valor médio R\$10,00).</p> <p>1 caixinha de som de computador ou de rádio. (Utensílio de casa ou da escola, valor médio R\$20,00). (Esses valores foram obtidos em junho de 2020).</p>

Tabela 13 – Explicações sobre os testes da Figura 39

Procedimento experimental - Esse é o experimento ouça seu controle remoto, esse experimento vai permitir que nós consigamos ouvir o sinal que o controle remoto emite através da luz infravermelho e também vamos verificar o efeito fotoelétrico que é a base desse projeto, o efeito fotoelétrico ocorre quando se emite uma luz em um metal e através dos fótons emitidos por essa luz com energia necessária, elétrons do metal são arrancados. Para enxergarmos esse efeito vamos utilizar um fototransistor que funciona por meio do efeito fotoelétrico. Um transistor comum funciona como um registro de água a grosso modo, onde eu posso regular o quanto de corrente elétrica irá passar pelos terminais chamados coletor e emissor, como se fosse

um fluxo de água pelo cano. E o registro que comanda se passa, e quanto passa de corrente elétrica é a base do transistor, eu posso usá-lo para receber um certo sinal elétrico em sua base e assim ter uma quantidade bem maior de corrente vindo de outro circuito, por isso são muito usados nos amplificadores de correntes. No caso do fototransistor, só funciona como passa ou não passa corrente, isso porque em sua base é a luz emitida de uma fonte que libera essa corrente, portanto os fótons emitidos por essa fonte de luz movimentam os elétrons de uma placa até a outra estabelecendo uma corrente elétrica. Os elétrons irão se desprender do coletor e irão para o emissor do fototransistor toda vez que for emitida luz em sua base, sem luz na base não teremos fluxo de elétrons. Então através da luz do controle remoto, que é uma radiação infravermelha, poderemos ouvir o sinal por ele produzido. O LED no circuito mostrará o movimento em que a corrente elétrica passa pelo fototransistor acendendo, um resistor em paralelo limitará a tensão no LED e estará em paralelo com o conector da caixa de som, uma bateria 9 V vai alimentar o circuito. Com o circuito montado (Figura 39), tudo conectado, e as caixas funcionando podemos testar se realmente podemos ouvir o controle remoto, com o botão do controle apertado vamos direcioná-lo para o fototransistor. A radiação infravermelha emitida pelo controle libera o fluxo de elétrons alimentados pela bateria, esses elétrons estarão na mesma frequência da radiação (Figura 41), a caixa de som irá transformar essa frequência eletromagnética em som, podendo então ouvir os pulsos que vem do controle remoto.

Temos o esquema do circuito para ser montado na Figura 38, os componentes são de preço baixo, mas dependendo da localização só serão encontrados via internet. O circuito poderá ser montado no protoboard ou soldado, fica a critério, o circuito é de fácil montagem. A comprovação do efeito fotoelétrico é ligar a caixa de som e verificar os ruídos produzidos pela radiação infravermelha do controle remoto.

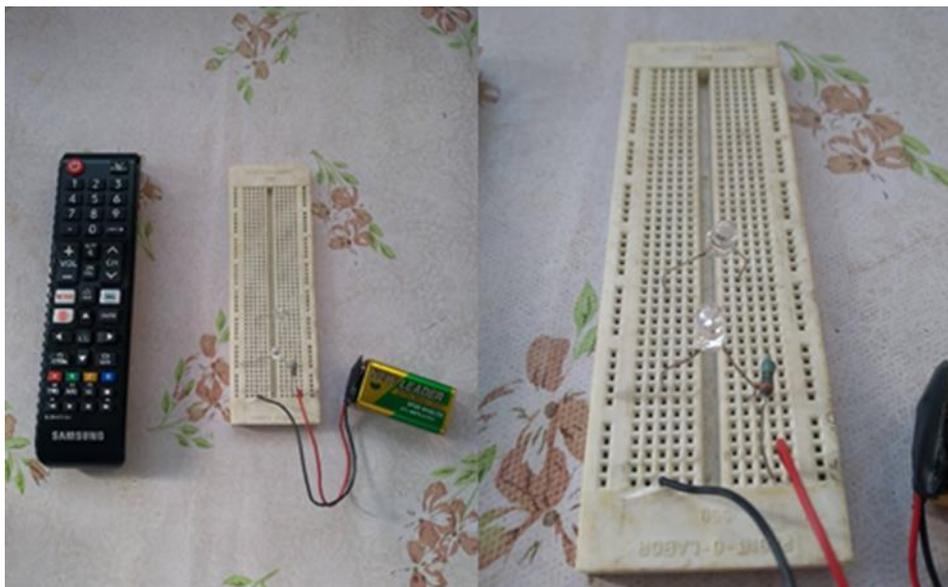


Figura 40 - Circuito montado conforme esquema da Figura 38, foi usado para a montagem do circuito um protoboard, e a caixa de som deve ser conectada em paralelo com o resistor.

Fonte: Elaborado pelo autor.

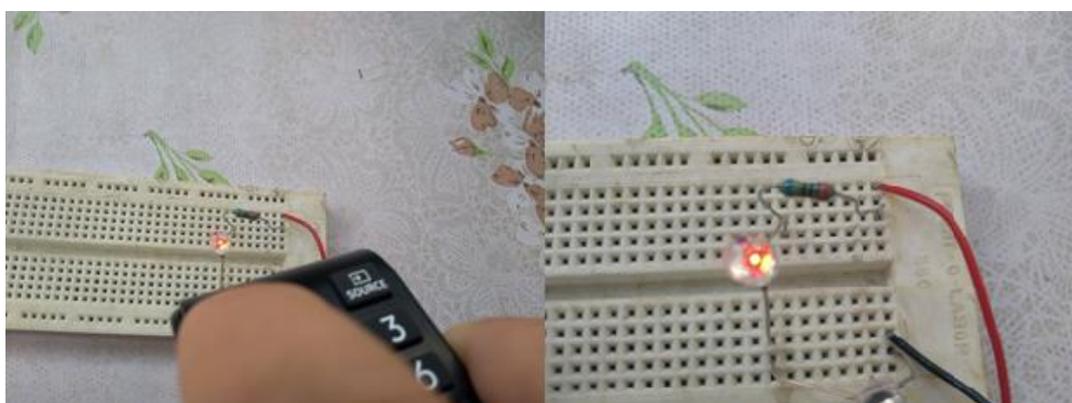


Figura 41 - Ao acionar o botão do controle remoto o fototransistor libera a corrente elétrica da bateria fazendo o LED vermelho acender e teremos um som característico na caixa de som.

Fonte: Elaborado pelo autor.

## 6 REFERÊNCIAS

HALLIDAY, David, 1916-2010, Fundamentos de física, volume 4: óptica e física moderna / David Halliday, Robert Resnick, Jearl Walker; tradução Ronaldo Sérgio de Biasi. 10. ed. - Rio de Janeiro: LTC, 2016. il.; 28 cm.

**LISTA DE FIGURAS**

Figura 1 - Copo com água e um pincel exemplificando o efeito de refração	124
Figura 2 - Efeito da dispersão da luz em um prisma de vidro	127
Figura 3 - Montagem do experimento pelos alunos	129
Figura 4 - Prisma de vidro com água para o experimento de dispersão da luz	129
Figura 5 - A luz do laser sofre uma reflexão total no fluxo de água	130
Figura 6 - Montagem do experimento de reflexão total com garrafa PET e canudinho	132
Figura 7 - A água da garrafa PET flui pelo canudinho	133
Figura 8 - Cuba de água com ondas sofrendo difração	134
Figura 9 - Travessa de vidro com água para o experimento dos fenômenos de difração	136
Figura 10 - A perturbação na água em dois pontos gera ondas	136
Figura 11 - Raio de luz do laser passando pelo fio de cabelo	137
Figura 12 - Alunos preparando o experimento	139
Figura 13 - Experimento montado para a verificação dos fenômenos ondulatórios	139
Figura 14 - Verificação dos fenômenos ondulatórios de difração da luz	140
Figura 15 - Um CD exposto a uma luz natural de vela	141
Figura 16 - Algumas fontes de luz para este experimento e a película retirada do CD	143
Figura 17 - Cada fonte de luz tem determinados comprimentos de ondas	143
Figura 18 - Cores em filmes finos	144
Figura 19 - Alunos montando o experimento	146
Figura 20 - Película de sabão sofrendo interferências	146
Figura 21 - Experimento feito baseado nas experiências de Hertz	147
Figura 22 - Alunos montando o experimento de Hertz	149
Figura 23 - Construção do experimento com as quatro hastes de fio de cobre rígidos	149
Figura 24 - Celular que receberá a ligação sendo embrulhado em papel alumínio	150
Figura 25 - Celular fazendo a ligação e celular embrulhado	152
Figura 26 - Película polarizada retirada da tela de um celular sem uso	153
Figura 27 - Filtro polarizador de tela de celular	155
Figura 28 - Ao rotacionar o filtro diante da tela do computador	155
Figura 29 - Material fosforescente excitado por uma lâmpada de luz negra	156
Figura 30 - Materiais fluorescentes sendo excitados com lâmpada de luz negra	158

Figura 31 - Aluna interagindo com caneta de material fluorescente	158
Figura 32 - Os lasers vermelho e verde estão sendo incididos no material fosforescente	159
Figura 33 - O laser azul/roxo tem energia suficiente para excitar os átomos	159
Figura 34 - Experimento do eletroscópio para demonstrar o efeito fotoelétrico	160
Figura 35 - Alunos montando o experimento	162
Figura 36 - Montagem do eletroscópio com pote plástico, fio de cobre	162
Figura 37 - O canudinho atritado com o papel toalha fica carregado com cargas	163
Figura 38 - Ao posicionar uma lâmpada de luz negra de radiação ultravioleta	163
Figura 39 - Circuito esquemático do experimento	165
Figura 40 - Circuito montado conforme esquema da Figura 38	168
Figura 41 - Ao acionar o botão do controle remoto o fototransistor libera a corrente	168

**LISTA DE TABELAS**

Tabela 1 - Opções de experimentos de como o professor pode relacionar as sequências	121
Tabela 2 – Explicações sobre os testes da Figura 2	127
Tabela 3 – Explicações sobre os testes da Figura 5	131
Tabela 4 – Explicações sobre os testes da Figura 8	134
Tabela 5 – Explicações sobre os testes da Figura 11	137
Tabela 6 – Explicações sobre os testes da Figura 15	141
Tabela 7 – Explicações sobre os testes da Figura 18	144
Tabela 8 – Explicações sobre os testes da Figura 21	147
Tabela 9 – Explicações sobre os testes da Figura 24	150
Tabela 10 – Explicações sobre os testes da Figura 26	153
Tabela 11 – Explicações sobre os testes da Figura 29	160
Tabela 12 – Explicações sobre os testes da Figura 34	154
Tabela 13 – Explicações sobre os testes da Figura 39	165