



Universidade Estadual de Maringá
Centro de Ciências Exatas
Departamento de Física

Trabalho de Conclusão de Curso

*Proposta de uma Sequência Didática para o Ensino de
Óptica Física e Polarização*

Acadêmico: Vitor Hugo Ferrari Ribeiro

Orientador: Prof. Dr. Paulo Ricardo Garcia Fernandes

Maringá – PR

2022



Universidade Estadual de Maringá

Centro de Ciências Exatas

Departamento de Física

Trabalho de Conclusão de Curso

Proposta de uma Sequência Didática para o Ensino de Óptica Física e Polarização

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Departamento de Física da Universidade Estadual de Maringá, sob orientação da Prof. Dr. Paulo Ricardo Garcia Fernandes, como parte dos requisitos para obtenção do título de licenciado em Física.

Acadêmico: Vitor Hugo Ferrari Ribeiro

Orientador: Prof. Dr. Paulo Ricardo Garcia Fernandes

Maringá – PR

2022

Vitor Hugo Ferrari Ribeiro

*Proposta de uma Sequência Didática para o Ensino de
Óptica Física e Polarização*

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Departamento de Física da
Universidade Estadual de Maringá, sob
orientação da Prof. Dr. Paulo Ricardo
Garcia Fernandes, como parte dos
requisitos para obtenção do título de
licenciado em Física.

Banca Examinadora

Orientador - Prof. Dr. Paulo Ricardo Garcia Fernandes
Departamento de Física - Universidade Estadual de Maringá

Coorientador - Prof. Dr. Breno Ferraz de Oliveira
Departamento de Física - Universidade Estadual de Maringá

Prof. Dr. Maurício Antônio Custódio de Melo
Departamento de Física - Universidade Estadual de Maringá

Prof. Dr. Anuar José Mincache
Departamento de Física - Universidade Estadual de Maringá

Maringá-PR

2022

“Da menor partícula a maior galáxia, para tudo existe uma resposta calculável”.

Albert Einstein

Agradecimentos

Primeiramente agradeço a Deus, por ter me permitido conquistar essa nova etapa, concedendo-me força, coragem e persistência para vencer todas as dificuldades durante o curso.

Ao professor Paulo Ricardo, por ter aceitado me orientar e ao professor Breno por ter assumido o papel de coorientador durante a produção deste trabalho, obrigado pela paciência de ler e reler esses capítulos inúmeras vezes, por todas as sugestões e correções feitas ao mesmo e pelas nossas divertidas conversas e tempo de qualidade juntos.

Aos professores Maurício e Anuar, por terem aceitado gentilmente o convite para participar da banca examinadora deste trabalho.

Aos meus pais e familiares, por todo incentivo e suporte essenciais durante todos os anos dessa graduação. Muito obrigado a todos vocês.

Sumário

Lista de Figuras.....	vii
Lista de Tabelas.....	viii
Lista de Símbolos.....	ix
Resumo.....	x
Abstract.....	xi
Capítulo 1 - Introdução	
1.1 - Revisão Sobre Eletromagnetismo Clássico.....	12
1.2 - Tópicos de Óptica Física.....	19
1.3 - Tópicos de Fluidos Complexos (Cristais Líquidos).....	34
1.4 - Microcontroladores Arduino.....	35
Capítulo 2 - Ensino Médio	
2.1 - Experimentação no Ensino Médio.....	39
2.2 - Sequência Didática.....	42
2.3 - Elaboração do Experimento.....	45
2.4 - Resultados Obtidos.....	50
2.5 – Conclusão.....	53
Referências.....	55
Apêndices	
A. Diagrama Eletrônico e Programação do Sensor LDR.....	57
B. Desenhos 3D das Peças do Aparato Experimental.....	59
C. Desenho Técnico e Detalhado das Peças do Aparato Experimental.....	60

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Representação da Onda Eletromagnética.....	pg. 19
Figura 2. Fenômeno da Refração da Luz.....	pg. 21
Figura 3. Difração com fenda pequena.....	pg. 23
Figura 4. Difração com fenda grande.....	pg. 23
Figura 5. Representação da Interferência Construtiva de Ondas.....	pg. 24
Figura 6. Representação da Interferência Destrutiva de Ondas.....	pg. 25
Figura 7. Representação do Ângulo de Brewster.....	pg. 26
Figura 8. Gráfico da Lei de Malus.....	pg. 30
Figura 9. Observação do efeito de um polarizador na luz de uma tela de computador.....	pg. 33
Figura 10. Representação de Alguns Tipos de Cristais Líquidos.....	pg. 35
Figura 11. Representação Gráfica de uma Placa Arduino UNO.....	pg. 36
Figura 12. Representação Gráfica da Montagem Experimental.....	pg. 47
Figura 13. Gráfico Obtido Experimentalmente.....	pg. 53
Figura 14. Diagrama Eletrônico da Ligação do Sensor no Arduino.....	pg. 57
Figura 15. Arco Graduado.....	pg. 59
Figura 16. Suporte Meia-Lua.....	pg. 59
Figura 17. Base Universal.....	pg. 59
Figura 18. Suporte Reto.....	pg. 59

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Determinação do eixo óptica dos polarizadores.....	pg. 45
Tabela 2. Determinação da porcentagem de polarização de um feixe de luz.....	pg. 48
Tabela 3. Tabela para anotação dos dados experimentais.....	pg. 48
Tabela 4. Polarização da luz em Cristais Líquidos.....	pg. 50
Tabela 5. Valores médios das coletas de dados.....	pg. 52
Tabela 6. Lista de Materiais.....	pg. 57

LISTA DE SÍMBOLOS

\vec{j} – Densidade de Corrente Elétrica.

\vec{B} – Campo Magnético.

\vec{E} – Campo Elétrico.

ϵ_0 – Permissividade Elétrica no Vácuo ($8,85 \times 10^{-12} \text{ C}^2/\text{N}^2\text{m}$).

μ_0 – Permeabilidade Magnética no Vácuo ($4\pi \times 10^{-7} \text{ N/A}^2$).

ϕ – Fluxo Magnético.

ρ – Densidade Superficial de Carga Elétrica.

c – Velocidade da Luz no Vácuo ($\sim 3 \times 10^8 \text{ m/s}$).

n – Índice de Refração.

P_1 – Polarizador 1.

P_2 – Polarizador 2.

RESUMO

O objetivo deste trabalho é proporcionar uma prática educativa que contextualize e utilize tecnologias educacionais no estudo das Ondas Eletromagnéticas, em específico a luz visível, conceito contemplado nos conteúdos de óptica física e óptica geométrica no curso de Física no ensino médio. Além disso, busca-se promover um conhecimento crítico e detalhado sobre alguns efeitos ópticos, suas aplicações e a importância nos dias atuais. Para isso, foi construído um aparato experimental via impressão 3D e Arduino que possibilita o aluno a manusear e interagir com os efeitos estudados; utilizando alguns sensores ligados a um Arduino, tanto o aluno quanto o professor, podem visualizar por meio de um display, alguns dados importantes referentes à intensidade luminosa, por exemplo, e assim, comparar os dados obtidos experimentalmente com a teoria.

Palavras-chave: Ondas Eletromagnéticas, Lei de Malus, Experimento de Óptica, Arduino e Ensino de Física.

ABSTRACT

The goal of this work is to provide an educational practice that contextualizes and uses educational technologies in the study of Electromagnetic Waves, specifically visible light, a concept contemplated in the contents of physical optics and geometric optics in the Physics course in high school. In addition, it seeks to promote a critical and detailed knowledge about some optical effects, their applications and their importance today. For this, an experimental apparatus was built via 3D printing and Arduino that allows the student to handle and interact with the studied effects; using some sensors connected to an Arduino, both the student and the teacher can visualize, through a display, some important data referring to the luminous intensity, for example, and thus, compare the data obtained experimentally with the theory.

Keywords: Electromagnetic Waves, Malus's Law, Optics, Experiment, Arduino and Physics Teaching.

Capítulo 1 – Introdução

1.1 - Revisão Sobre Eletromagnetismo Clássico

A teoria eletromagnética é a descrição matemática da interação entre campos elétricos e magnéticos. Foi desenvolvida no século XIX por grandes cientistas como por exemplo, Charles Coulomb, Carl Friedrich Gauss, Hans Christian Ørsted, André-Marie Ampère, Heinrich Hertz, Michael Faraday, James Clerk Maxwell e muitos outros grandes Físicos.

Mas em especial, foi Maxwell que em 1873 unificou toda a teoria publicando suas 4 equações em seu trabalho intitulado “Tratado sobre eletricidade e magnetismo”, e em 1865 mostrou que as ondas eletromagnéticas possuem a velocidade da luz, a qual ele recalculou com precisão, concordando com o resultado de Weber.

As equações de Maxwell descrevem como os campos elétricos e magnéticos se propagam através do espaço e como eles interagem com a matéria. Esta teoria explica a propagação da luz como uma onda eletromagnética e fornece a base para a compreensão da eletricidade e do magnetismo. A teoria eletromagnética tem muitas aplicações práticas, incluindo a geração e distribuição de energia elétrica, a comunicação por rádio, televisão e telefone, e a tecnologia médica, como a ressonância magnética.

Uma das principais consequências das equações de Maxwell é a previsão da existência de ondas eletromagnéticas relacionadas com as variações, ou ondulações, dos campos eletromagnéticos. Tais ondas têm características especiais que as diferenciam das ondas mecânicas numa corda ou das ondas sonoras, por exemplo, pois não necessitam de um meio de propagação que dê suporte a elas. Por outro lado, alguns aspectos são comuns a todas as ondas, como

a possibilidade de transferir energia de um ponto a outro sem transferência de matéria.

As transmissões de rádio e televisão e o calor que chega até nós (na forma de radiação infravermelha) vindo do Sol são apenas dois exemplos de ondas eletromagnéticas. De fato, nosso principal sentido fisiológico, a visão, é o nosso mais importante meio de obtenção de informações acerca do mundo ao nosso redor, e ele está baseado na interpretação da luz visível que chega até nós, e que é apenas mais uma forma de onda eletromagnética.

No final do século XIX, James Clerk Maxwell, unificou toda a teoria do eletromagnetismo concebendo suas quatro equações, que levam o seu nome até os dias atuais. Baseando se nos estudos já feitos por cientistas antecessores a ele como Gauss, Faraday, Coulomb, Lenz, Ampère e outros, Maxwell conseguiu demonstrar que todos os fenômenos elétricos e magnéticos poderiam ser descritos com essas quatro equações (MACHADO, 2017).

1º Equação de Maxwell – Lei de Gauss para a Eletricidade: também conhecida como a lei da conservação da carga elétrica, é o equivalente à lei de Coulomb em situações estáticas. Ela relaciona os campos elétricos e suas fontes, as cargas elétricas, e pode ser aplicada mesmo para campos elétricos variáveis com o tempo. Ela descreve como a densidade de carga elétrica afeta o campo elétrico em um determinado ponto no espaço. As equações 1 e 2 ilustram a Lei de Gauss para a Eletricidade no formalismo integral e diferencial, respectivamente.

$$\oint_S \vec{E} \cdot \hat{n} dA = \frac{Q_{int}}{\epsilon_0} \quad (1) \quad \vec{\nabla} \cdot \vec{E} = \frac{\rho}{\epsilon_0} \quad (2)$$

Em que \vec{E} é o campo elétrico, ρ é a densidade de carga elétrica e ϵ_0 é a permissividade do vácuo. A notação $\vec{\nabla} \cdot \vec{E}$ representa a divergência do campo elétrico, que descreve como a intensidade do campo varia ao longo do espaço.

A lei da conservação da carga elétrica diz que a quantidade de carga em um sistema é constante, ou seja, a carga não pode ser criada ou destruída. A equação mostra que a carga elétrica gera um campo elétrico que preenche todo espaço, e a densidade de carga em um ponto determinado influencia a intensidade do campo elétrico em torno desse ponto.

As equações 1 e 2, são ferramentas importante para a compreensão da distribuição de carga elétrica em um sistema e são utilizadas para calcular a quantidades total de carga elétrica em um condutor ou a capacitância de um capacitor. Além disso, ela é útil para a análise de sistemas elétricos complexos, como geradores elétricos e sistemas de armazenamento de energia elétrica.

2º Equação de Maxwell – Lei de Gauss para o Magnetismo: Esta lei é equivalente à primeira, mas aplicável aos campos magnéticos e evidenciando ainda a não existência de monopolos magnéticos (não existe polo sul ou polo norte isolado). De acordo com essa lei, as linhas de campo magnético são contínuas, ao contrário das linhas de força de um campo elétrico que se originam em cargas elétricas positivas e terminam em cargas elétricas negativas. As equações 3 e 4 ilustram a Lei de Gauss para o Magnetismo no formalismo integral e diferencial, respectivamente.

$$\oint_S \vec{B} \cdot \hat{n} dA = 0 \quad (3) \quad \vec{\nabla} \cdot \vec{B} = 0 \quad (4)$$

Em que \vec{B} representa o campo magnético. Essa equação descreve a conservação do fluxo magnético. Ela mostra que o fluxo magnético através de uma superfície é zero, o que significa que não há fontes ou sumidouros de magnetismo. Em outras palavras, não há cargas magnéticas isoladas.

3º Equação de Maxwell – Lei de Ampère-Maxwell: A lei de Ampère descreve a relação entre um campo magnético e a corrente elétrica que o origina com base na simetria de natureza se um campo magnético variável induz uma corrente elétrica, e conseqüentemente um campo elétrico, então um campo

elétrico variável deve induzir um campo magnético. As equações 5 e 6 ilustram a Lei de Ampère-Maxwell no formalismo integral e diferencial, respectivamente.

$$\oint_S \vec{B} \cdot d\vec{l} = \iint_S \left[\mu_0 \vec{J} + \mu_0 \epsilon_0 \left(\frac{\partial \vec{E}}{\partial t} \right) \right] \cdot \hat{n} dS \quad (5) \quad \vec{\nabla} \times \vec{B} = \mu_0 \vec{J} + \mu_0 \epsilon_0 \left(\frac{\partial \vec{E}}{\partial t} \right) \quad (6)$$

Em que \vec{B} é o campo magnético, \vec{J} é a densidade de corrente elétrica, \vec{E} é o campo elétrico, ϵ_0 é a permissividade elétrica no vácuo e μ_0 é a permeabilidade do vácuo.

Essas equações descrevem como a corrente elétrica pode criar um campo magnético, e como a presença de uma carga elétrica em movimento ($\partial \vec{E} / \partial t$) também pode produzir um campo magnético. Ela mostra que o fluxo magnético produzido por uma corrente elétrica é proporcional à variação do tempo do fluxo magnético através de uma superfície fechada que encobre a região da corrente. A equação também pode ser usada para calcular a força magnética sobre uma partícula ou o torque sobre um sistema elétrico.

4º Equação de Maxwell – Lei de Faraday-Lenz: Descreve as características do campo elétrico originando um fluxo magnético variável. Os campos magnéticos originados são variáveis no tempo, gerando assim campos elétricos do tipo rotacionais. As equações 7 e 8 ilustram a Lei de Faraday-Lenz no formalismo integral e diferencial, respectivamente.

$$\oint_S \vec{E} \cdot d\vec{l} = - \iint_S \frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \cdot \hat{n} dA \quad (7) \quad \vec{\nabla} \times \vec{E} = - \frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \quad (8)$$

Em que \vec{E} é o campo elétrico, ϕ é o fluxo magnético e $d\phi/dt$ é a variação temporal no fluxo magnético.

Essa equação descreve a relação entre a variação do campo magnético e o campo elétrico. Ela mostra que uma variação no fluxo magnético produz uma corrente elétrica, o que é conhecido como a lei de Faraday. Além disso, ela

também pode ser usada para explicar a geração de campos elétricos em bobinas ou o funcionamento de geradores elétricos.

O formalismo diferencial da terceira equação de Maxwell é uma ferramenta importante para a compreensão da geração e propagação de sinais elétricos, bem como para a análise de sistemas elétricos e magnéticos. O formalismo integral da equação é uma ferramenta importante para a compreensão de fenômenos elétricos e magnéticos, como a geração de correntes elétricas em sistemas de indutância, o funcionamento de transformadores e geradores elétricos, entre outros (MACHADO, 2017; GRIFFITHS, 2011).

Equação da Onda Eletromagnética

Para deduzir a equação de onda para o campo eletromagnético (FERNANDES, 2022), vamos desmembrar as equações em duas partes (a parte magnética e parte elétrica), para isso, vamos considerar uma região do espaço sem a presença de cargas elétricas e sem corrente elétrica, isto é, $\rho = 0$ e $\vec{J} = 0$, ou seja, o vácuo. Reescrevendo as equações de Maxwell na forma diferencial para essas condições, temos:

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{E} = \frac{\rho}{\epsilon_0} \Rightarrow \vec{\nabla} \cdot \vec{E} = 0 \quad (9)$$

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{B} = 0 \quad (4)$$

$$\vec{\nabla} \times \vec{B} = \mu_0 \vec{J} + \mu_0 \epsilon_0 \left(\frac{\partial \vec{E}}{\partial t} \right) \Rightarrow \vec{\nabla} \times \vec{B} = \mu_0 \epsilon_0 \left(\frac{\partial \vec{E}}{\partial t} \right) \quad (10)$$

$$\vec{\nabla} \times \vec{E} = - \frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \quad (8)$$

Vamos começar deduzindo a equação de onda para o vetor campo magnético. Aplicando o operador rotacional, que é uma propriedade do cálculo vetorial, na equação 10 – Lei de Ampère-Maxwell, temos:

$$\vec{\nabla} \times (\vec{\nabla} \times \vec{B}) = \vec{\nabla} \times \left(\mu_0 \varepsilon_0 \left[\frac{\partial \vec{E}}{\partial t} \right] \right)$$

Para solucionar a parte da esquerda da equação, recorreremos a uma propriedade do cálculo vetorial que nos diz:

$$\vec{\nabla} \times (\vec{\nabla} \times \vec{B}) = \vec{\nabla}(\vec{\nabla} \cdot \vec{B}) - \nabla^2 \vec{B}$$

Portanto, temos:

$$\vec{\nabla}(\vec{\nabla} \cdot \vec{B}) - \nabla^2 \vec{B} = \mu_0 \varepsilon_0 \frac{\partial}{\partial t} (\vec{\nabla} \times \vec{E})$$

Olhando para a equação 4 e equação 8, podemos fazer as seguintes substituições:

$$\vec{\nabla}(0) - \nabla^2 \vec{B} = \mu_0 \varepsilon_0 \frac{\partial}{\partial t} \left(-\frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \right)$$

Fazendo algumas simplificações, obtemos o seguinte resultado:

$$\nabla^2 \vec{B} = \mu_0 \varepsilon_0 \frac{\partial^2 \vec{B}}{\partial t^2}$$

Igualando a equação a zero, temos:

$$\nabla^2 \vec{B} - \mu_0 \varepsilon_0 \frac{\partial^2 \vec{B}}{\partial t^2} = 0 \quad (11)$$

Chegamos então, na equação (11) que é equação de onda para o vetor campo magnético.

Para deduzir a equação de onda para o campo elétrico, vamos fazer algo semelhante ao que fizemos para o campo magnético. Vamos começar aplicando o operador rotacional na equação 8 - Lei de Faraday-Lenz, temos:

$$\vec{\nabla}(\vec{\nabla} \times \vec{E}) = \vec{\nabla} \times \left(\frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \right)$$

Mais uma vez, para solucionar a parte da esquerda da equação, recorreremos a uma propriedade do cálculo vetorial que nos diz:

$$\vec{\nabla} \times (\vec{\nabla} \times \vec{E}) = \vec{\nabla}(\vec{\nabla} \cdot \vec{E}) - \nabla^2 \vec{E}$$

Portanto, temos:

$$\vec{\nabla}(\vec{\nabla} \cdot \vec{E}) - \nabla^2 \vec{E} = -\frac{\partial}{\partial t}(\vec{\nabla} \times \vec{B})$$

Olhando para a equação 9, temos que $\vec{\nabla} \cdot \vec{E} = 0$ pois $\rho = 0$ e a equação 10, podemos fazer as seguintes substituições:

$$-\nabla^2 \vec{E} = -\frac{\partial}{\partial t} \left(\mu_0 \varepsilon_0 \frac{\partial \vec{E}}{\partial t} \right)$$

Fazendo algumas simplificações, obtemos o seguinte resultado:

$$\nabla^2 \vec{E} = \mu_0 \varepsilon_0 \frac{\partial^2 \vec{E}}{\partial t^2}$$

Igualando a equação a zero, temos:

$$\nabla^2 \vec{E} - \mu_0 \varepsilon_0 \frac{\partial^2 \vec{E}}{\partial t^2} = 0 \quad (12)$$

Chegamos então, na equação (12) que é equação de onda para o vetor campo elétrico.

Da literatura temos:

$$c = \frac{1}{\sqrt{\mu_0 \varepsilon_0}} \Rightarrow \mu_0 \varepsilon_0 = \frac{1}{c^2}$$

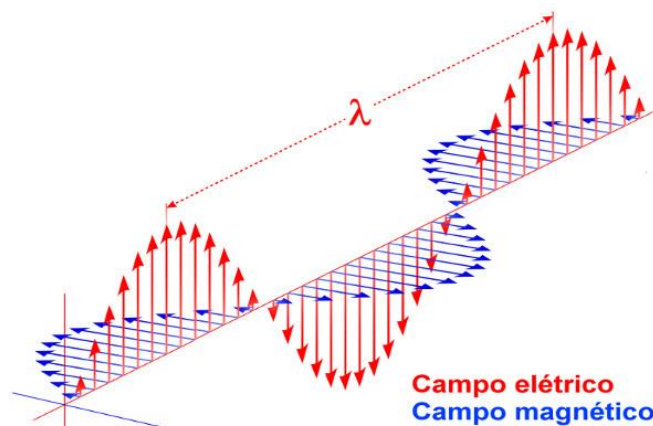
Substituindo essa propriedade nas equações 11 e 12, obtemos uma outra forma de apresentar as equações de onda para os campos elétricos e magnéticos e que inclusive mostram que as ondas eletromagnéticas tem velocidades muito próximas a velocidade da luz, temos então:

$$\nabla^2 \vec{B} - \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 \vec{B}}{\partial t^2} = 0 \quad (13)$$

$$\nabla^2 \vec{E} - \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 \vec{E}}{\partial t^2} = 0 \quad (14)$$

Na figura abaixo, podemos observar uma representação da onda eletromagnética, resultado das equações obtidas anteriormente (NUSSENZVEIG, 2015).

Figura 1 - Representação da Onda Eletromagnética



Fonte: Mundo Educação – Ondas Eletromagnéticas

1.2 – Tópicos de Óptica Física

A luz é uma onda eletromagnética, e como tal, desenvolve oscilações de campos elétricos e campos magnéticos que se propagam ao longo de uma dada direção do espaço. As ondas eletromagnéticas são transversais, o que significa que a direção de oscilação dos campos é perpendicular à direção de propagação. Além disso, para satisfazer as leis do eletromagnetismo (equações de Maxwell), o vetor campo elétrico e o vetor campo magnético também devem ser perpendiculares.

Quando uma onda eletromagnética se propaga longe da sua fonte, ela pode ser representada como uma onda plana, ou seja, se propaga em uma direção específica com os vetores campo elétrico e campo magnético oscilando em um plano perpendicular a direção de propagação. A figura 1 ilustra o exemplo de uma onda eletromagnética plana.

A relação entre eletromagnetismo e óptica se dá pelo fato de que a óptica é um ramo da física que se dedica ao estudo da luz e seus fenômenos, e a luz, como já foi demonstrado anteriormente, é uma forma de radiação eletromagnética. Portanto, o comportamento da luz pode ser explicado em termos das leis do eletromagnetismo.

Assim, os fenômenos ópticos, como a refração, a reflexão, a difração, a interferência e a polarização da luz, podem ser explicadas em termos das equações do Eletromagnetismo. Por exemplo, a refração da luz quando passa de um meio para outro pode ser entendida em termos da velocidade da luz em diferentes meios, o que é governado pelas leis do Eletromagnetismo.

Outro exemplo é a interação da luz com a matéria, que é um dos principais objetos de estudo da óptica e também pode ser entendida, compreendida e descrita em termos das leis do eletromagnetismo. Logo, a compreensão das leis do eletromagnetismo é fundamental para a compreensão da óptica e vice-versa.

Refração

A refração da luz é um fenômeno óptico onde ocorre uma alteração na velocidade de propagação da luz em virtude de uma mudança de meio de propagação, quando as ondas eletromagnéticas são transmitidas através de algum meio translúcido ou transparente.

Quando a luz penetra em meios refringentes, ou seja, capazes de refratar a luz, a sua velocidade diminui. Além disso, de acordo com o ângulo de incidência, é possível que a luz seja defletida de modo que sua direção de propagação sofra mudanças.

No vácuo, a velocidade da luz possui seu valor máximo ($3,0 \times 10^8 \text{ m/s}$); mas ao penetrar em diferentes meios, a sua velocidade é reduzida de acordo com as características do lugar onde as ondas luminosas estão se propagando.

O índice de refração (n) é a grandeza adimensional que mede a razão entre a velocidade da luz no vácuo (c) e a velocidade da luz em um meio qualquer (v). A partir dessa grandeza, podemos ter noção do quanto a velocidade da luz é alterada após a mudança de meio material. A equação 15, logo abaixo mostra como calcular o índice de refração de um meio qualquer:

$$n = \frac{c}{v} \quad (15)$$

Quanto mais refringente for um meio óptico, maior será a redução da velocidade da luz. No diamante, por exemplo, cujo índice de refração é de 2,4, a velocidade da luz é cerca de 2,4 vezes mais lenta do que no vácuo. Além disso, o índice de refração de um meio também varia de acordo com a frequência da luz incidente, por exemplo: o índice de refração para a frequência da luz violeta é maior do que o índice de refração para a luz vermelha.

No fenômeno de refração, a frequência da luz não se altera, entretanto, sua velocidade e comprimento de onda variam de maneira inversamente proporcional; “se a velocidade da luz diminui, seu comprimento de onda aumenta e vice-versa”.

Figura 2 - Fenômeno da Refração da Luz



Fonte: Conhecimento Científico – Refração da Luz

Difração

A difração é o fenômeno pelo qual uma onda, como a luz ou o som, é desviada ao passar por uma abertura ou obstáculo, resultando na formação de padrões de interferência. A difração é uma consequência do fato de que as ondas não podem ser descritas como partículas individuais, mas sim como ondas distribuídas ao longo do espaço.

Quando uma onda atravessa uma abertura, parte da onda é bloqueada e parte é transmitida, resultando na formação de padrões de interferência na região oposta à abertura. A difração é importante em muitas áreas da física, como a óptica, acústica, eletromagnetismo e física nuclear. Além disso, a difração é relevante para a compreensão de fenômenos como a resolução angular de instrumentos ópticos e a formação de imagens por lentes e instrumentos ópticos similares.

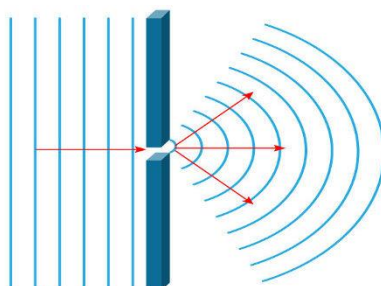
A difração é um fenômeno físico que pode ser observado quando ondas, tanto ondas eletromagnéticas, quanto ondas mecânicas, tentam atravessar um obstáculo com dimensões equivalentes ao seu comprimento de onda; quando isso acontece, a onda fragmenta-se no seu próprio espectro. Nesse fenômeno, as frentes de onda sofrem mudanças em sua direção de propagação. A difração é resultado da interferência das partes da onda entre si.

De acordo com o princípio de Huygens, cada frente de onda é formada por infinitos pontos, que, por sua vez, são capazes de gerar novas ondas. Como uma consequência desse princípio, quando uma onda incide sobre uma fenda ou obstáculo, ela produz novas ondas circulares, gerando um padrão de difração: uma distribuição espacial das ondas caracterizada por regiões de interferência construtiva e destrutiva.

Esse fenômeno ocorre independentemente do tipo de onda, contudo, dependendo do formato da fenda (fenda simples, fenda dupla, abertura circular

ou rede de difração), tem-se diferentes padrões de formação de imagens, mas todas com regiões iluminadas, conhecidas como máximos, cercadas de regiões sem iluminação, conhecidas como mínimos.

Figura 3 - Difração com fenda pequena

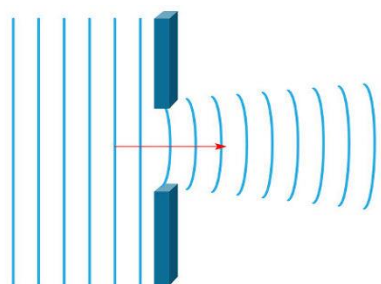


Fonte: Brasil Escola – O que é Difração?

Embora a difração seja comumente definida como o desvio de ondas em torno de um obstáculo, esse efeito é uma consequência do princípio de superposição e da natureza ondulatória da luz, do som, etc. Nesse sentido, não há diferença entre interferência e difração. Usualmente, chama-se de interferência a superposição de poucas ondas e de difração, a superposição de um grande número de ondas.

Como pode ser observado na imagem acima, depois que a onda passa pelo obstáculo, a frente de onda se torna circular, assim, conseguem atingir toda a região posterior ao obstáculo. Observação importante: À medida que o tamanho da fenda por onde as ondas passa aumenta, em relação ao comprimento de onda, o fenômeno de difração torna-se menos intenso.

Figura 4 - Difração com fenda grande



Fonte: Brasil Escola – O que é Difração?

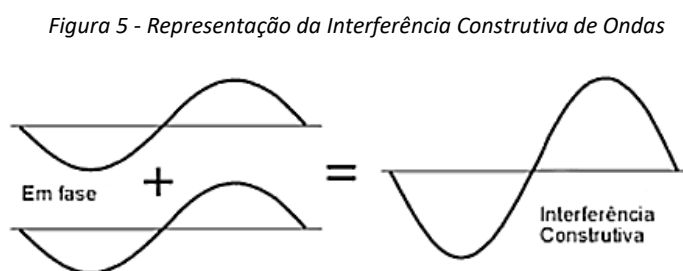
Na imagem acima (Figura 4), o obstáculo apresenta uma abertura maior que na imagem anterior (Figura 3). Isso não impede a ocorrência da difração, porém ela acontece de forma menos intensa (JÚNIOR, 2022).

Interferência

A interferência de ondas é o fenômeno que ocorre quando duas ou mais ondas se sobrepõem em uma determinada região do espaço, e quando combinadas nesse ponto, podem produzir uma onda resultante dessa interação, onde a intensidade dessas ondas resultantes é determinada pela soma das amplitudes das ondas individuais naquele ponto, isso pode resultar em amplificação ou cancelamento, dependendo da fase relativa das ondas.

Esse fenômeno pode ser observado tanto em ondas mecânicas quanto em ondas eletromagnéticas e são divididas basicamente em duas categorias, interferência construtiva e interferência destrutiva. A amplitude resultante da onda é dada pela soma vetorial das amplitudes das ondas individuais.

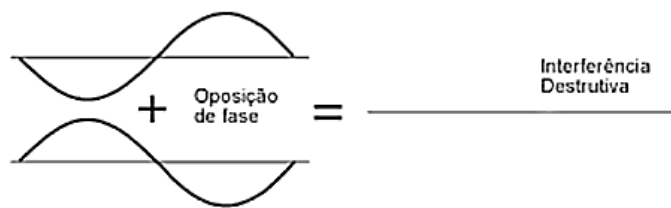
Interferência Construtiva - A interferência construtiva de ondas é um tipo de interferência que ocorre quando duas ondas se sobrepõem de forma a reforçar mutuamente a amplitude resultante. Isso acontece quando as ondas têm a mesma fase, ou seja, quando suas cristas e vales estão sincronizadas. Quando isso acontece, as ondas se combinam para produzir uma onda resultante mais intensa do que as ondas individuais.



Fonte: Diário de Bordo – Interferência

Interferência Destrutiva - A interferência destrutiva de ondas é um tipo de interferência que ocorre quando duas ondas se sobrepõem de forma a cancelar mutuamente a amplitude resultante. Isso acontece quando as ondas têm fases opostas, ou seja, quando as cristas de uma onda coincidem com os vales da outra. Quando isso acontece, as ondas se combinam para produzir uma onda resultante com amplitude zero.

Figura 6 - Representação da Interferência Destrutiva de Ondas



Fonte: Diário de Bordo – Interferência

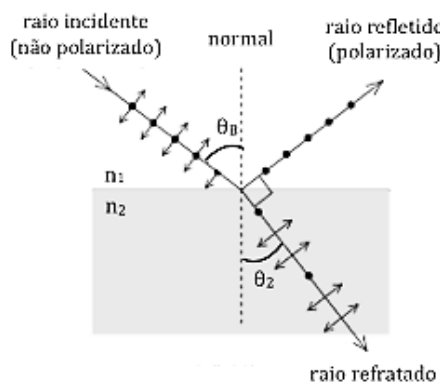
Ângulo de Brewster

Há várias maneiras de se produzir luz polarizada a partir de luz não polarizada, além da utilização de polarizadores. Uma destas maneiras é a polarização por reflexão. É sempre possível decompor a polarização da luz incidente sobre uma superfície de separação entre dois meios em uma componente paralela ao plano de incidência (plano formado pela direção da luz incidente e a direção normal) e outra perpendicular ao mesmo.

Portanto, se um raio de luz não polarizada atingir à superfície no ângulo de Brewster, a luz refletida será polarizada na direção perpendicular ao plano de incidência. Também conhecido como ângulo de polarização é um ângulo específico pelo qual um feixe de luz que incide sobre uma superfície plana e reflexiva, tem a sua componente perpendicular de reflexão completamente anulada sobrando somente a sua componente paralela em relação ao plano de incidência. Com isso, a onda refletida só tem uma componente, que é a perpendicular ao plano de incidência.

Isso significa que, quando a luz é incidente em uma superfície em um ângulo de Brewster, o raio refletido é polarizado perpendicularmente ao plano de incidência, enquanto o raio refratado é polarizado paralelamente ao plano de incidência.

Figura 7 - Representação do Ângulo de Brewster



Fonte: Roteiro de Física Experimental IV (UFRJ, p. 14)

Como o ângulo entre o raio de incidência e a normal é sempre igual ao ângulo entre o raio refletido e a normal, resulta que nesta situação, a direção do raio refletido e o raio refratado são perpendiculares, como mostra a figura 7.

Polarização por Reflexão

A polarização por reflexão ocorre quando a luz é refletida por uma superfície reflexiva, como por exemplo, a superfície de um lago ou o metal de uma janela, e ocorre uma mudança na direção do campo elétrico da luz. Isso resulta na polarização da luz, ou seja, todas as ondas elétricas da luz estão vibrando na mesma direção, diferente da luz não polarizada, que tem suas ondas elétricas vibrando em direções diferentes.

A polarização por reflexão é um processo físico que ocorre quando uma onda eletromagnética incide sobre uma superfície refletora, como por exemplo, uma superfície metálica ou uma camada de água. Neste processo, a polarização da onda é alterada e sua direção de vibração é alterada para que seja

perpendicular à superfície refletora. Isto ocorre porque parte da onda é refletida pela superfície e outra parte é transmitida através dela.

A polarização por reflexão é utilizada em aplicações como sistemas de radares, sistemas de comunicação, na produção de filtros de polarização e também é usada em aplicações militares para detectar superfícies refletoras.

Polarização por Refração

A polarização por refração é o processo pelo qual a polarização de uma onda é alterada ao passar através de uma interface entre dois meios com diferentes índices de refração. Isso ocorre porque a velocidade da onda é diferente nos dois meios, resultando em uma mudança na direção de propagação da onda e, conseqüentemente, na sua polarização.

Quando uma onda polarizada atravessa essa interface, parte da onda é refratada e parte é refletida. A direção da componente elétrica da onda refratada é desviada em relação à direção da onda incidente, resultando na mudança na polarização da onda refratada. Esse processo é importante em aplicações como filtros ópticos, lentes polarizadoras e na análise de materiais.

Polarização por Espalhamento

Polarização por espalhamento é um fenômeno óptico que ocorre quando a luz se espalha ao interagir com partículas em um meio, como moléculas de ar, gotículas de água ou partículas em suspensão. Esse fenômeno resulta em uma mudança na direção da vibração da luz, tornando-a polarizada.

Quando a luz incide em uma partícula, ela é dispersa em todas as direções. No entanto, as ondas de luz polarizadas perpendicularmente ao plano de

espalhamento são espalhadas com mais intensidade do que as ondas polarizadas paralelamente ao plano de espalhamento. Isso resulta em uma polarização preferencial da luz espalhada, o que pode ser observado, por exemplo, como uma coloração azul do céu durante o dia, devido à espalhamento da luz solar pelas moléculas de ar na atmosfera.

Polarização por Absorção

A polarização por absorção é o processo pelo qual a polarização de uma onda é alterada devido à absorção de componentes da onda por um material. Isso ocorre quando a onda incidente possui componentes elétricas paralelas e perpendiculares ao material, e o material absorve preferencialmente uma dessas componentes. Isso resulta em uma mudança na polarização da onda que passa pelo material.

A polarização por absorção ocorre em meios dicroicos, ou seja, meios nos quais o coeficiente de absorção depende da direção de vibração do campo elétrico. A direção em que a absorção é mínima é conhecida como eixo de transmissão, enquanto na direção perpendicular a absorção é máxima. Qualquer raio incidente pode ser expresso como a combinação de dois raios linearmente polarizados nas direções de máxima e mínima absorção.

Para entender como isso ocorre microscopicamente, vamos considerar um material formado por moléculas longas, alinhadas, condutoras e separadas por uma distância da ordem do comprimento da luz incidente. Um exemplo prático desse tipo polarizador são polímeros dopados com átomos de iodo (que tornam as cadeias condutoras nas frequências ópticas e estirados em uma certa direção).

Quando a luz incide com o seu vetor campo elétrico paralelo às cadeias, correntes elétricas se estabelecem e a energia luminosa é absorvida. Se o campo elétrico for perpendicular às cadeias, a corrente não é estabelecida e a luz não é

absorvida. Assim, devido à absorção de um dos componentes do campo, a luz transmitida será linearmente polarizada. Este é o princípio de funcionamento do polarizador denominado Polaroid, que foi inventado por E. H. Land em 1938. Atualmente, os polarizadores Polaroid comumente utilizados são formados por filmes de acetato de celulose contendo cristais microscópicos de sulfeto de iodo.

Em um filme Polaroid, a direção perpendicular à do alinhamento das moléculas é o eixo de transmissão. Se uma onda linearmente polarizada incidir nessa direção, ela atravessa o Polaroid. No entanto, se a onda for linearmente polarizada na direção perpendicular, ela será quase que totalmente absorvida. Se a onda for linearmente polarizada em outra direção, a intensidade transmitida é dada pela equação conhecida como lei de Malus.

Lei de Malus

A lei de Malus é uma lei da óptica que descreve a relação entre a intensidade da luz polarizada e o ângulo de rotação do polarizador. Além disso, a lei de Malus é importante para a compreensão de fenômenos ópticos, como a polarização por reflexão, polarização por refração e polarização por absorção.

Para descrever a lei de Malus, vamos considerar uma onda eletromagnética com direção de polarização fazendo um ângulo θ com relação ao eixo x . Essa onda pode ser decomposta em duas componentes ao longo dos eixos x e y , com amplitudes $E_{0x} = E_0 \cdot \cos \theta$ e $E_{0y} = E_0 \cdot \sin \theta$, respectivamente. Se a onda incidir em um polarizador cujo o eixo de transmissão está ao longo do eixo x , a componente em x não sofre perdas, enquanto a componente em y é totalmente absorvida. Como, a intensidade da onda é proporcional ao quadrado do campo elétrico, a intensidade transmitida é:

$$I(\theta) = E_{0x}^2(\theta) = E_0^2 \cos^2 \theta = I_0 \cos^2 \theta$$

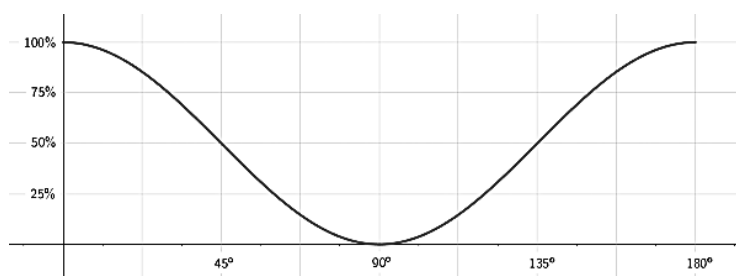
Esta Lei, pode ser enunciada da seguinte forma;

“A intensidade da luz que passa por um polarizador é dada pelo produto entre a intensidade de entrada (proveniente do polarizador) e o quadrado do cosseno do ângulo formado pela defasagem dos eixos de transmissão do polarizador e do analisador.”

$$I(\theta) = I_0 \cdot \cos^2(\theta) \quad (16)$$

A figura abaixo, mostra um gráfico que representa a lei de Malus, onde no eixo y temos o valor da intensidade luminosa lido por um sensor de luz, por exemplo, e no eixo x temos o ângulo de defasagem do polarizador.

Figura 8 - Gráfico da Lei de Malus



Fonte: Sala de demonstrações de Física UFMG – Lei de Malus

Se a luz incidente for não polarizada, as componentes em cada eixo têm na média a mesma amplitude e a intensidade transmitida é metade da intensidade original. Esse resultado também pode ser obtido pela equação 17, lembrando que o valor médio do cosseno quadrado é $\frac{1}{2}$ (na luz não polarizada, a direção do campo elétrico varia aleatoriamente, portanto θ é uma variável aleatória e podemos fazer a média sobre todos os valores possíveis). As fontes de luz mais comuns emitem luz não polarizada, e um polarizador pode ser usado para obter luz linearmente polarizada.

Assim, para verificar a lei de Malus deveremos ter dois polarizadores com eixos de transmissão rotacionados de um ângulo θ um em relação ao outro. Nesse caso, o ângulo θ da equação 16 é o ângulo entre os eixos de transmissão dos polarizadores. Quando os eixos de transmissão dos dois polarizadores forem perpendiculares, nenhuma luz é transmitida, porque a direção de transmissão

para um é a direção de absorção para o outro; é dito que nessa situação temos “polarizadores cruzados” (NUSSENZVEIG, 2014).

Onda Não Polarizada

Para o caso em que temos uma onda não polarizada, que é o caso da luz proveniente das lâmpadas de *led* ou a luz emitida pelo Sol, por exemplo, quando as mesmas passam por um filtro polarizador, se comportam de forma diferente da luz de um *laser* ao passar pelo mesmo, o que já demonstrado anteriormente por meio da lei de Malus. Neste caso, podemos deduzir a equação da polarização resultante encontrando a média da função pelo teorema do valor médio (LEI de Malus, 2013).

Teorema do Valor Médio

Para qualquer função f com valores reais, definidos e contínuos em um segmento $[a, b]$, com $a < b$, existe um c real entre a e b (a e b sendo excluídos) satisfazendo:

$$f(c) = \frac{1}{b-a} \int_a^b f(x) dx$$

Logo, o valor médio da lei de Malus, temos:

$$\frac{I}{2} = \frac{I_0}{2} \cos^2(\theta) \Rightarrow I = \frac{I_0}{2}$$

Porém, para provar essa igualdade, vamos retomar o teorema do valor médio e aplicar nesta equação. Esta função vale 1 (máximo) para um ângulo de 0° e vale 0 (seu mínimo) para um ângulo de 90° . Assim, a média entre esses dois extremos da função será:

$$\frac{\int_0^{\pi/2} \cos^2(\theta) d\theta}{\pi/2 - 0}$$

Usando uma tabela de integrais trigonométricas, podemos fazer a seguinte substituição.

$$\cos^2 x = \frac{1 + \cos(2x)}{2}$$

Posteriormente, destacamos as constantes e integramos termo por termo:

$$\frac{\int_0^{\pi/2} \cos^2(\theta) d\theta}{\pi/2 - 0} = \frac{\int_0^{\pi/2} \left(\frac{1 + \cos(2\theta)}{2} \right) d\theta}{\pi/2 - 0}$$

$$\frac{\frac{1}{2} \int_0^{\pi/2} 1 d\theta + \frac{1}{2} \int_0^{\pi/2} \cos(2\theta) d\theta}{\pi/2 - 0}$$

A integral de 1 ao longo de θ é θ . Observe que podemos fazer uma substituição para a segunda parte da integral:

$$u = 2\theta \quad d\theta = \frac{du}{2}$$

Logo, já resolvendo a integral, temos:

$$\frac{\frac{1}{2} [\theta]_0^{\pi/2} + \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} \int_0^{\pi} \cos(u) du}{\pi/2 - 0} = \frac{\frac{1}{2} [\theta]_0^{\pi/2} + \frac{1}{4} [\sin(u)]_0^{\pi}}{\pi/2 - 0}$$

Poderíamos parar por aqui, mas é mais interessante expressar esta equação com um único termo do valor primitivo da função, pois é a forma mais comum de ser encontrada na literatura; para isso vamos usar a propriedade de distribuição de multiplicação em relação à adição e a propriedade de associação de adição (para isso, vamos usar a seguinte identidade trigonométrica $\sin[2(x)] = 2 \sin(x) \cos(x)$):

$$\frac{\frac{1}{2}[\theta]_0^{\pi/2} + \frac{1}{4}[\sin(2\theta)]_0^{\pi/2}}{\pi/2 - 0} = \frac{\left[\frac{\theta}{2} + \frac{\sin(2\theta)}{4}\right]_0^{\pi/2}}{\pi/2 - 0} = \frac{\left[\frac{\theta}{2} + \frac{2 \sin(\theta) \cos(\theta)}{4}\right]_0^{\pi/2}}{\pi/2 - 0}$$

Finalmente obtemos o valor primitivo da função encontrado com mais frequência na literatura.

$$\Rightarrow \left[\frac{\theta + \sin(\theta) \cos(\theta)}{2}\right]_0^{\pi/2} \cdot \frac{2}{\pi} = (F(\pi/2) - F(0)) \cdot \frac{2}{\pi} = \frac{\pi}{4} \cdot \frac{2}{\pi} = \frac{2}{4} = \frac{1}{2}$$

Se fizermos isso para toda a equação de intensidade luminosa, a função será (máxima) para um ângulo de 0° e será igual a 0 (seu mínimo) para um ângulo de 90° . Assim, a média entre esses dois extremos da função será: I_0 .

$$\frac{\int_0^{\pi/2} I_0 \cos^2(\theta) d\theta}{\pi/2 - 0} = \frac{I_0 \int_0^{\pi/2} \cos^2(\theta) d\theta}{\pi/2 - 0}$$

$$\Rightarrow I_0 \frac{\pi}{4} \cdot \frac{2}{\pi} = I_0 \frac{2}{4} \rightarrow I = \frac{I_0}{2} \quad (17)$$

Portanto, para uma onda não polarizada, a equação fica: $I = I_0/2$. O que já era esperado, como vimos anteriormente. Na figura 3, logo abaixo, pode-se observar o comportamento de uma luz linearmente polarizada proveniente de uma tela de computador ao passar por um polarizador.

Figura 9 - Observação do efeito de um polarizador na luz de uma tela plana de computador



Fonte: Wiki – Lei de Malus

1.3 – Tópicos de Fluidos Complexos (Cristais Líquidos)

Os cristais líquidos são materiais que apresentam um estado da matéria compreendido entre os estados sólido e líquido, logo, esses materiais apresentam características e propriedades tanto da fase sólida quanto da fase líquida. Eles possuem uma estrutura molecular ordenada, como a de um cristal, mas também mantêm a fluidez de um líquido.

São compostos orgânicos complexos que apresentam uma estrutura molecular altamente organizada, semelhante aos cristais sólidos, mas mantêm a capacidade de fluir como um líquido. Isso significa que eles podem mudar sua forma sem quebrar sua estrutura molecular.

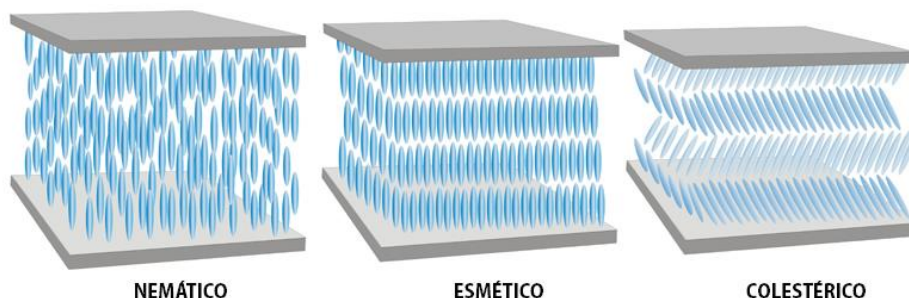
A teoria dos cristais líquidos descreve a organização molecular dos cristais líquidos, bem como a forma como as moléculas interagem entre si. Ela explica como a estrutura molecular dos cristais líquidos é influenciada por fatores como a temperatura, a pressão e a concentração dos componentes. Além disso, a teoria dos cristais líquidos inclui a descrição de como as propriedades ópticas, elétricas e térmicas dos cristais líquidos são influenciadas por sua estrutura molecular.

Os cristais líquidos são amplamente utilizados em tecnologias de exibição, como monitores de televisão, computadores e celulares, pois suas propriedades únicas tornam-os ideais para aplicações que exigem uma combinação de transparência, controle da luz e estabilidade térmica. Eles também são usados em sensores táteis, lubrificantes, cosméticos, materiais de armazenamento de energia, entre outros.

Os cristais líquidos podem ser classificados em vários tipos, como nemáticos, esméticos e coloidais, dependendo de sua estrutura molecular e propriedades. Esses materiais são constituídos na sua maioria por moléculas

orgânicas anisométricas. Essas moléculas possuem dimensões bem maiores que as outras, podendo ter forma alongada ou de disco.

Figura 10 - Representação de Alguns Tipos de Cristais Líquidos



Fonte: Jornal da USP – Alguns Tipos de Cristais Líquidos

Alguns tipos de cristais líquidos apresentam cores fortes que se alteram sob a ação de temperatura, campo elétrico e magnético, por esses motivos o cristal líquido foi adotado em larga escala pela indústria eletrônica e é usado principalmente na fabricação de telas para televisões e monitores, além disso o cristal líquido tornou-se o material padrão para a fabricação de displays para equipamentos eletrônicos de todos os tipos.

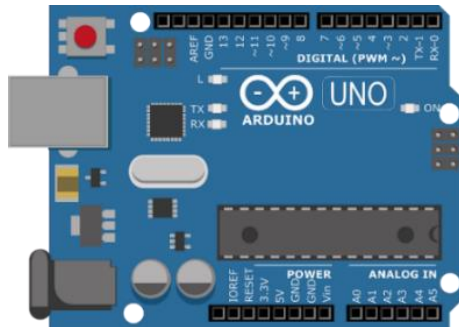
Os cristais líquidos são classificados, de forma geral, em duas grandes famílias: a dos termotrópicos e a dos liotrópicos. Na primeira, os seus constituintes básicos são moléculas e as transições de fase ocorrem quando variamos a temperatura. Na segunda, os constituintes básicos são micelas - aglomerados de moléculas - dissolvidas em um solvente, em geral a água. A principal característica de um cristal líquido liotrópico é a existência de moléculas anfifílicas; moléculas com uma parte polar tendo, portanto, afinidade com a água e outra parte apolar sem afinidade com a água.

1.4 – Microcontroladores Arduino

O Arduino é uma plataforma *open-source* de prototipagem eletrônica com hardware e software flexíveis e fáceis de usar, destinado a estudantes, técnicos,

hobbistas e qualquer outra pessoa interessada em criar objetos ou ambientes interativos. As placas Arduino possuem funcionamento semelhante ao de um pequeno computador, no qual, pode-se programar a maneira como suas entradas e saídas devem se comportar em meio aos diversos componentes externos que podem ser conectados nas mesmas. Para o projeto, utilizou-se o Arduino UNO.

Figura 11 - Representação Gráfica de uma Placa Arduino UNO



Fonte: Research Gate – Arduino UNO

Características Gerais

- Microcontrolador: ATmega328;
- Tensão de operação: 5 V;
- Tensão recomendada (entrada): 7~12 V;
- Limite da tensão de entrada: 6~20 V;
- Portas digitais: 14 (seis pinos com saída PWM);
- Portas analógicas: 6 pinos;
- Corrente contínua por pino de entrada e saída: 40 mA;
- Corrente para o pino de 3.3 V: 50 mA;
- Quantidade de memória FLASH: 32 KB (ATmega328) onde 0.5 KB usado para o bootloader;
- Quantidade de memória SRAM: 2 KB (ATmega328);
- Quantidade de memória EEPROM: 1 KB (ATmega328);
- Velocidade de clock: 16 MHz.

Estrutura do Arduino UNO

Portas Digitais

- O Arduino Uno oferece 14 portas digitais;
- Podem ser utilizadas tanto para entrada (input) como para saída (output);
- As portas servem para comunicação entre o Arduino e dispositivos externos, por exemplo: ler um botão, acender um led ou uma lâmpada, acionar um motor, ligar um display...

Portas PWM

- São portas que simulam portas analógica;
- Fundamentais para o controle de velocidade de motores;
- Observe que essas portas são identificadas com o sinal “~”;
- As portas que podem ser usadas como PWM são: 11, 10, 9, 6, 5 e 3.

Portas RX e TX

- Essas duas portas embora possam ser utilizadas como Portas digitais também são utilizadas pelo Arduino como portas de comunicação serial tanto para entrada como para saída de dados.

Reset

- Esse botão tem como única função reinicializar o Arduino Uno – Ação forçada.

Portas Analógicas

- O Arduino Uno oferece 6 portas analógicas (que também podem ser utilizadas como portas digitais);
- Essas portas são unicamente para entrada de dados e comumente usadas para comunicação com sensores que podem ser utilizados para determinar:

- Temperatura;
- Quantidade de luz;
- Umidade;
- Dentre outras ações.

Pinos de Energia

- São portas que fornecem energia para dispositivos externos.
 - **3,3 V**: Este pino fornece 3.3 volts a dispositivos externos;
 - **5 V**: Este pino fornece 5 volts a dispositivos externos;
 - **GND**: Este pino fornece 0 volts a dispositivos externos.
 - **V_{in}** : O Arduino UNO pode ser alimentado pela porta USB ou por uma fonte externa DC. A recomendação é que a fonte externa seja de 7 V a 12 V e pode ser ligada diretamente no conector de fonte ou nos pinos V_{in} e Gnd
 - O pino AREF é a entrada de tensão de referência para o conversor A/D (analógico/digital) do Arduino; o pino GND é o terra, comum a todos os outros pinos.

Processador

- É onde tudo acontece, é o cérebro desta placa, é aí que fica gravado o código desenvolvido e que será executado;
- Uma vez gravado, não há necessidade de ter contato com o computador.

Porta USB

- Esta é a porta usada para estabelecer uma conexão entre a placa de Arduino e o PC. É ela que permite o envio de códigos para o processador, permite conexão com a serial e também é usada para a alimentação da placa.

Capítulo 2 – Ensino Médio

2.1 – Experimentação no Ensino Médio

A experimentação é um componente importante do ensino de física, pois permite que os estudantes tenham uma compreensão mais profunda e tangível dos conceitos físicos. Através da realização de experimentos, os estudantes podem ver como as teorias físicas se aplicam a situações reais e desenvolver habilidades importantes como a resolução de problemas, a colaboração e a comunicação. Além disso, a experimentação pode aumentar o interesse dos estudantes pelas ciências e estimular a criatividade e a curiosidade. Em suma, a experimentação é uma ferramenta valiosa para ajudar os estudantes a compreender e se conectar com a física.

Os resultados de muitas pesquisas em ensino de física são unânimes em considerar a importância das atividades experimentais para uma melhor compreensão acerca dos fenômenos físicos (PARANÁ, p. 71). Alguns autores, como Gaspar (2003) e Araújo (2003), sugerem a utilização de atividades experimentais, como forma de estimular o aluno, beneficiando sua aprendizagem sendo, portanto, considerada uma ferramenta capaz de auxiliar na compreensão de conceitos, princípios e leis da Física.

As dificuldades e os erros decorrentes das experiências de uma atividade experimental em um laboratório escolar, geram uma reflexão e discussão entre o docente e discente sobre os conceitos físicos em questão (FUSINATO, p. 9). É fundamental que o professor compreenda o papel da experimentação no ensino de física no processo de construção do conhecimento. ARAÚJO e ABIB classificaram as atividades experimentais em três tipos de abordagens ou modalidades (atividades de demonstração, de verificação e de investigação).

Atividades de Demonstração: As atividades experimentais demonstrativas são aquelas nas quais o professor executa o experimento enquanto os alunos apenas

observam os fenômenos ocorridos. São frequentemente integradas às aulas expositivas, sendo realizadas no seu início, como forma de despertar o interesse do aluno para o tema abordado, ou término da aula, como forma de relembrar os conteúdos apresentados (ARAÚJO; ABIB, 2003).

O emprego dos experimentos demonstrativos em sala de aula, em alguns casos, é até mesmo recomendado, especialmente quando existem poucos recursos materiais, quando não se dispõe de um espaço apropriado em que todos os alunos possam participar da execução de um determinado tipo de experimento; ou quando o professor dispõe de pouco tempo para a realização de experimentos, podendo incluí-los no contexto da aula expositiva (ARAÚJO; ABIB, 2003; GASPAR; MONTEIRO, 2005).

Neste tipo de atividade, o professor é o principal agente do processo. Cabe a ele exercer o papel de liderança, montar o experimento, fazer questões aos alunos, executar os procedimentos, destacar o que deve ser observado e, sobretudo, fornecer as explicações científicas que possibilitem a compreensão do que é observado. Embora a interação entre os alunos não seja tão favorecida cria-se um ambiente propício à aprendizagem (GASPAR; MONTEIRO, 2005).

Atividade de Verificação: As atividades experimentais de verificação, são aquelas empregadas com a finalidade de se verificar ou confirmar alguma lei ou teoria. Os resultados de tais experimentos são facilmente previsíveis e as explicações para os fenômenos geralmente conhecidas pelos alunos (ARAÚJO; ABIB, 2003). Pelo fato de necessitar da abordagem prévia do conteúdo, essa modalidade de atividade experimental deve ser realizada após a aula expositiva.

Os professores que empregam as atividades de verificação em suas aulas, destacam que elas servem para motivar os alunos tornando o ensino mais realista e palpável, fazendo com que a abordagem do conteúdo não se restrinja apenas ao livro didático. Dessa forma, esta forma de atividade experimental,

proporciona aos alunos a oportunidade de visualizarem os fenômenos que obedecem à lógica da teoria apresentada, em que, entende-se que a aprendizagem é favorecida (ARAÚJO; ABIB, 2003).

Atividades de Investigação: Os experimentos do tipo investigativo, frequentemente citados nos estudos mais recentes sobre experimentação, representam uma estratégia para permitir que os alunos ocupem uma posição mais ativa no processo de construção do conhecimento participando em todas as etapas da investigação, desde a interpretação do problema a uma possível solução para o mesmo. As abordagens tradicionais de experimentação (demonstração, verificação) oferecem poucas oportunidades para que os estudantes possam, analisar situações problemáticas, coletar dados, elaborar e testar hipóteses, argumentar e discutir com os colegas.

A atividade de investigação pode ser a própria aula ou, em alguns casos, em mais de uma aula. Uma vez que envolvem uma série de etapas a serem desenvolvidas pelos estudantes, desde a análise do problema, levantamento de hipóteses, preparo e execução dos procedimentos, análise e discussão dos resultados.

O papel do professor neste tipo de atividade é também bem distinto daqueles abordados anteriormente. Sua função é essencialmente auxiliar os alunos na busca das explicações causais, negociar estratégias para busca das soluções para o problema, questionar as ideias dos alunos, incentivar a criatividade em todas as etapas da atividade, ou seja, do processo entre o grupo e a tarefa, intervindo nos momentos em ser um mediador ou facilitador que há indecisão, falta de clareza ou consenso. Apesar de demandar mais tempo e exigir mais atenção e auxílio do professor, essa forma de organização da atividade experimental captura a atenção dos alunos e melhora seu envolvimento com as atividades (ARAÚJO E ABIB, 2003).

2.2 – Sequência Didática

Uma sequência didática é uma estrutura planejada de atividades de ensino e aprendizagem que visa ajudar os estudantes a compreender conceitos específicos de uma disciplina. Ela normalmente inclui uma série de passos consecutivos, desde a apresentação inicial de um conceito até a aplicação prática e a avaliação do conhecimento adquirido.

A sequência didática é projetada para maximizar a eficiência e a eficácia da aprendizagem, ajudando os estudantes a construir habilidades e conhecimentos de forma organizada e sistemática. Além disso, a sequência didática pode ajudar a motivar e envolver os estudantes, tornando o aprendizado mais significativo e retentivo.

A sequência didática pode incluir uma variedade de atividades, como a apresentação de conceitos teóricos, a realização de experimentos, a solução de problemas, e a discussão em grupo. O objetivo é ajudar os estudantes a construir uma compreensão progressiva e profunda do assunto, e a desenvolver habilidades importantes como a resolução de problemas e a comunicação.

Para este trabalho, foi pensado uma breve sequência didática com apenas 4 aulas para demonstrar

Aula 1 – Introdução ao Estudo da Óptica Física

Duração: 55 Minutos

Objetivos

- Mostrar a importância do estudo da Óptica Física no cotidiano;
- Identificar as tecnologias que utilizam conceitos de Óptica Física;
- Entender a importância da Óptica Física para o desenvolvimento tecnológico.
- Entender o conceito de onda eletromagnética;
- Compreender como a luz é uma onda eletromagnética;
- Entender os fenômenos ópticos a partir das propriedades das ondas eletromagnéticas.

Metodologia

Introdução: apresentação teórica sobre ondas eletromagnéticas, incluindo sua definição, características e equações.

Com o auxílio de um projetor e um notebook, mostrar na prática o uso de tecnologias que utilizam a Óptica Física, como por exemplo, microscópios, telescópios e lasers.

Atividade em grupo: os alunos irão pesquisar e apresentar outras tecnologias que utilizam Óptica Física, como fibras ópticas, CD/DVD, holografia e scanners.

Discussão em grupo sobre a importância da Óptica Física para o desenvolvimento tecnológico e suas aplicações em diversas áreas, como medicina, comunicação e indústria.

Materiais Utilizados

Quadro Branco, Canetões, Projetor e Notebook.

Aula 2 – Explicando os Principais Fenômenos Ópticos

Duração: 55 Minutos

Objetivos

- Relembrar o que é a refração da luz;
- Relembrar as leis da refração da luz;
- Relembrar como a refração da luz ocorre em diferentes meios;
- Entender o que é a difração da luz;
- Compreender como ocorre a difração da luz;
- Entender o que é a interferência da luz;
- Compreender como ocorre a interferência da luz.

Metodologia

- Introdução: apresentação teórica sobre o que é e como ocorre a difração da luz e a interferência da luz, incluindo suas definições, características e as equações.

- Demonstração prática: utilizando um laser, os alunos poderão visualizar o padrão de difração da luz em uma fenda.

- Demonstração prática: utilizando uma fonte de luz monocromática, duas fendas e um anteparo, os alunos poderão visualizar o padrão de interferência da luz.

Materiais Utilizados

Quadro Branco, Canetões, Projetor e Notebook.

Aula 3 – Polarização da Luz

Duração: 55 Minutos

Objetivos

- Entender o que é a polarização da luz;
- Entender como ocorre a polarização da luz;
- Entender a diferença entre luz polarizada e não polarizada.

Metodologia

Introdução: explicação teórica sobre o que é a polarização da luz, com exemplos e demonstrações visuais, incluindo suas definições, características e as equações.

Exibição de um vídeo que explica como ocorre a polarização da luz e as diferentes formas de polarização: linear, circular e elíptica.

Demonstração prática de como polarizar a luz utilizando uma lâmina polarizadora e um feixe de luz não polarizada.

Discussão sobre as aplicações da polarização da luz, como em óculos de sol, filmes 3D, televisores LCD e em pesquisa científica.

Atividade em grupo: os alunos irão pesquisar e apresentar para a turma exemplos de como a polarização da luz é utilizada na tecnologia.

Materiais Utilizados

Quadro Branco, Canetões, Projetor e Notebook.

Aula 4 – Experimento da Lei de Malus

Duração: 55 Minutos

Objetivos

- Mostrar para o aluno a importância da experimentação no ensino de Física.
- Entender como ocorre a polarização da luz;
- Compreender a Lei de Malus na prática;

Metodologia

Realização do experimento proposto nesta monografia, seguindo o roteiro apresentado no tópico 2.3, mediante a supervisão do professor.

Materiais Utilizados

Quadro Branco, Canetões, Projetor, Notebook e o Aparato Experimental.

2.3 – Elaboração do Experimento

Para realizar o experimento em sala de aula, foi elaborado o seguinte plano que deve ser seguido com cautela pelos alunos, mediante uma explicação prévia do professor.

Determinação do Eixo Óptico dos Polarizadores

Para realizar os experimentos a seguir, é necessário conhecer a orientação dos eixos de transmissão dos polarizadores a serem utilizados. Isso pode ser facilmente realizado, observando a reflexão da luz em uma superfície dielétrica (piso do laboratório, por exemplo) através do polarizador.

- a) Mantendo o suporte do polarizador na vertical, observe (à grande distância) a reflexão de uma das lâmpadas no piso do laboratório.
- b) Gire lentamente o polarizador de modo a minimizar a reflexão observada. Como a luz refletida possui preferencialmente direção de polarização paralela ao piso (isso será mostrado na prática sobre Ângulo de Brewster), quando for observada extinção dessa luz o eixo de transmissão do polarizador será perpendicular ao plano do piso.
- c) Veja qual é a indicação angular na escala do goniômetro do suporte do polarizador, e anote esse valor. Repita esse procedimento para os demais polarizadores que se encontram sobre sua bancada.

Tabela 1 - Determinação do Eixo Óptica dos Polarizadores

Polarizador	Identificação do Polarizador	Leitura Angular (Eixo de Transmissão)
1		
2		

Observações Qualitativas

- Com um polarizador na frente dos olhos, observe a luz emitida por uma lâmpada incandescente ou fluorescente. Em seguida, gire o polarizador em torno da direção perpendicular ao seu plano. Descreva o que foi observado e explique.
- Agora, observe a mesma lâmpada através de dois polarizadores paralelos. Mantenha um deles fixo e gire o outro. Descreva o que acontece com a intensidade da luz que você observa e explique o que ocorre.
- Observe através de um polarizador a luz refletida por uma superfície qualquer. Gire o polarizador. Descreva o que acontece com a intensidade da luz que você observa e explique.

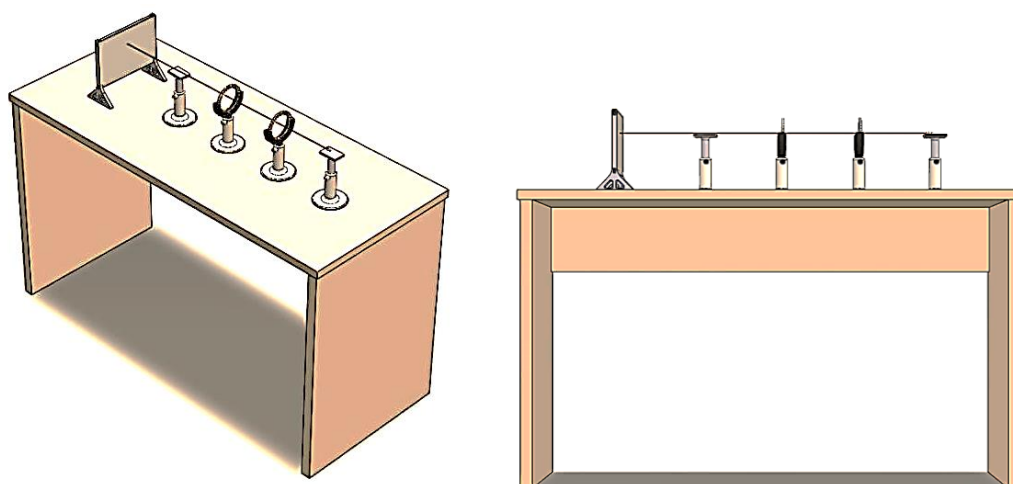
Determinação da Porcentagem de Polarização de Um Feixe de Luz

Um parâmetro importante para se especificar um feixe de luz quanto a sua polarização é a porcentagem de polarização. Para medir essa grandeza, faz-se o feixe atravessar um polarizador, e mede-se a intensidade da luz na condição de mínima e máxima transmissão, I_{\min} e I_{\max} . Qual a relação entre a intensidade luminosa e a tensão medida? A partir dessa medida a porcentagem de polarização pode ser calculada por:

$$\Delta\% = \left(\frac{I_{\text{medido}} - I_{\min}}{I_{\max} - I_{\min}} \right) \cdot 100\%$$

a) Alinhe o feixe de laser horizontalmente e verticalmente com relação ao trilho óptico. Assegure-se que o feixe esteja numa direção horizontal e paralela à superfície da mesa.

Figura 12 - Representação Gráfica da Montagem Experimental



Fonte: Autor

- b) Monte o aparato ilustrado na figura 12, com a direção de transmissão do polarizador ao longo da vertical. Gire o primeiro filtro polarizador até obter a máxima intensidade de luz na entrada do detector. Inicialmente faça esse ajuste observando visualmente. Observação: durante todas as medidas correlacionadas utilizando-se o fotodetector, não altere a intensidade de luz da lâmpada acima de sua bancada. Além disso, posicione o polarizador de modo que possa visualizar a marcação angular do polarizador sem olhar diretamente para o laser.
- c) Conecte a saída do fotodiodo ao Arduino, como mostrado no apêndice A. Ligue o fotodiodo. Dica: feito esse ajuste, mantenha-o até o fim da prática.
- d) Gire o goniômetro do suporte do polarizador até obter o mínimo de tensão no voltímetro. Anote a leitura do voltímetro e da escala angular nessa condição.
- f) Sabendo que a tensão mostrada pelo voltímetro é proporcional a intensidade da luz incidente no fotodiodo, determine a porcentagem de polarização do feixe de laser.
- g) Repita o procedimento anterior colocando uma folha de papel fosco na frente do laser. Meça a porcentagem de polarização da luz após passar pelo papel e discuta o resultado obtido. Anote todos os seus dados na tabela abaixo:

Tabela 2 - Determinação da Porcentagem de Polarização de Um Feixe de Luz

Laser			Laser com Difusor		
$V_{m\acute{a}x}$	$V_{m\grave{i}n}$	%P	$V_{m\acute{a}x}$	$V_{m\grave{i}n}$	%P

Verificação da Lei de Malus

- Monte o aparato descrito na figura 7, inicialmente utilizando um único polarizador. Lembre-se sempre de verificar o alinhamento do feixe laser (horizontal e paralelo ao trilho óptico) e a retro-reflexão dos polarizadores.
- Ajuste o primeiro polarizador na condição de maior transmissão na vertical.
- Acrescente o segundo polarizador à montagem cruzado com o primeiro (direção de transmissão horizontal). Faça o ajuste fino desta situação observando a mínima intensidade de luz no sinal do fotodetector. Gire o goniômetro do segundo polarizador de 90°. Nesta condição os dois polarizadores devem estar com eixos de transmissão alinhados.
- Verifique se o fotodetector não está saturado.
- Meça a intensidade de luz em função do ângulo entre os eixos dos dois polarizadores. Faça medidas girando o segundo polarizador em passos de 10° em 10° até atingir a volta completa do polarizador 360°. Qual é o período da curva obtida? Interprete o resultado com base na lei de Malus.

Tabela 3 - Tabela para anotação dos dados experimentais

θ (°)	V (%)	θ (°)	V (V)	θ (°)	V (V)
0°		120°		240°	
10°		130°		250°	
20°		140°		260°	
30°		150°		270°	

40°		160°		280°	
50°		170°		290°	
60°		180°		300°	
70°		190°		310°	
80°		200°		320°	
90°		210°		330°	
100°		220°		340°	
110°		230°		350°	

Óptica de Fluidos Complexos

Nesta parte do experimento verificaremos a propriedade de rotação da polarização por moléculas em uma solução aquosa de sacarose.

- a) Alinhe o feixe do laser verticalmente e horizontalmente com relação ao trilho óptico.
- b) Coloque dois polarizadores cruzados na frente do laser. Gire um dos polarizadores de modo a minimizar a intensidade sob o detector para garantir que os polarizadores estejam cruzados.
- c) Em seguida, coloque uma cubeta de 5 cm com solução de sacarose de concentração de 2 kg/l (massa do soluto pelo volume total da solução) entre os polarizadores, como mostrado na figura 12.
- d) Anote a indicação angular do segundo polarizador e então gire-o de tal forma que se obtenha novamente um mínimo de intensidade. Anote essa nova indicação angular e subtraia daquela anterior. Assim você estará determinando o ângulo de rotação da polarização da luz introduzido pela cubeta de sacarose. Indique também a direção de rotação da polarização (direita ou esquerda) com relação ao vetor de propagação. Anote todos os seus dados na tabela 3.

e) Repita o procedimento para diferentes comprimentos de cubetas 5, 10 e 15 *cm* (mantendo a concentração da solução em 2 *kg/L*), e para diferentes concentrações (mantendo o comprimento da cubeta).

f) Suponha que a lei fenomenológica para o ângulo rodado seja $\theta = \alpha CL$. Encontre o parâmetro α e compare o seu valor com o valor tabelado.

Tabela 4 - Polarização da Luz em Cristais Líquidos

Concentração em volume da solução (<i>g/ml</i>)	Comprimento da cubeta	Ângulo de Rotação da Polarização

g) Repita o procedimento (e) para uma solução de frutose de concentração 2 *kg/L*.

2.4 – Resultados Obtidos

Como não foi possível levar o kit experimental para dentro de um colégio ou uma sala de aula para colher resultados com alunos de ensino médio, eu e meu orientador, o professor Dr. Paulo Ricardo, realizamos o experimento em um dos laboratórios do Departamento de Física da Universidade Estadual de Maringá, para testar todo o aparato experimental, bem como a parte eletrônica e a leitura dos sensores. Seguimos o roteiro elaborado na sequência didática apresentado no tópico 2.3 desta mesma. Para a realização do experimento, observamos alguns pontos importantes:

- A luz ambiente interfere na leitura do fotossensor; para corrigir esses dados e melhorar a precisão da medição, foi necessário fazer uma análise do ambiente para fazer a calibração do sensor, as correções foram feitas no próprio código de programação do Arduino, que está disponível no Apêndice A.
- Para calibrar o sensor, montamos o aparato experimental conforme a figura 12, porém, sem a presença dos filtros polarizadores, deixamos somente o *laser* e o fotossensor, um de frente para o outro, de modo que, a luz do *laser* incidisse sobre o fotossensor sem nenhuma barreira. Feito a calibração, constatamos os seguintes valores das leituras do sensor.

- **Sem a Presença dos Filtros Polarizadores**

- Intensidade Luminosa Máxima (quando a luz do *laser* é incidida sobre o fotossensor sem nenhuma barreira) = 100%.
- Intensidade Luminosa Mínima (quando não havia mais a presença da luz do *laser* que incidia sobre o fotossensor e ainda sem a presença de nenhuma barreira, apenas com a presença da luz ambiente) = 0%. Esse valor de 0% só foi possível obter depois de ter calibrado o sensor via programação, onde ignoramos a luz ambiente na leitura da intensidade da luz. Vale lembrar que para cada ambiente será necessário fazer esta calibração para chegar nestes mesmos dados.

- **Com a Presença dos Filtros Polarizadores**

- Intensidade Luminosa Máxima (quando a luz do *laser* é incidida sobre o fotossensor passando pelos dois filmes polarizadores P_1 e P_2 de forma paralela ($P_1 \parallel P_2$)) = 97%. Foi observado que ao passar pelos polarizadores, houve uma absorção de 3% da luz incidente.

- Intensidade Luminosa Mínima (quando a luz do *laser* é incidida sobre o fotossensor passando pelos dois filmes polarizadores P_1 e P_2 de forma perpendicular ($P_1 \perp P_2$)) = 0%. Resultado esperado, pois era a mesma condição de ausência de luz do *laser*, apenas com a influência do ambiente externo.

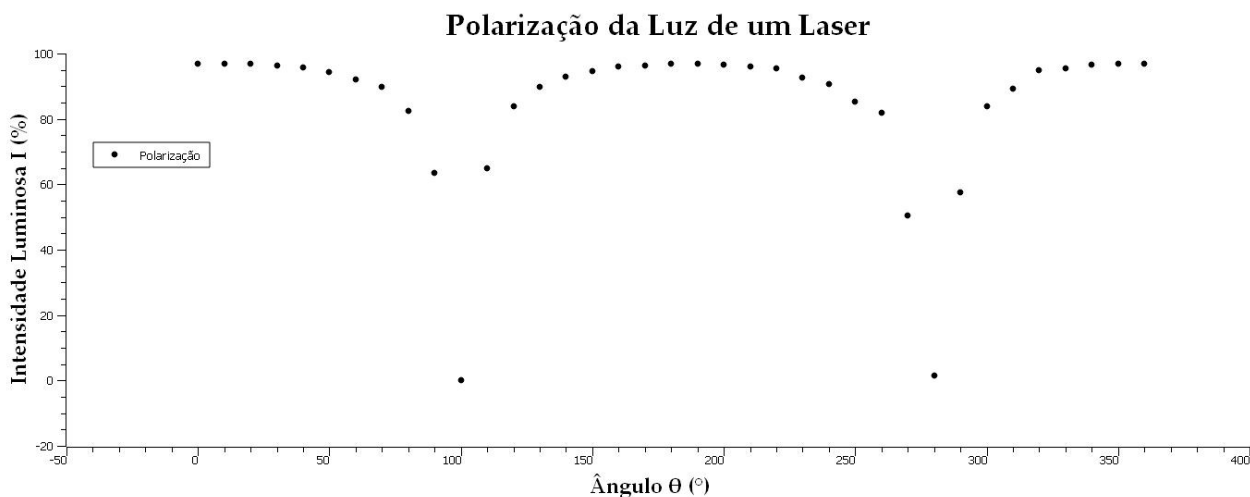
Feito a calibração do experimento, pudemos dar início a coleta de dados seguindo o roteiro já apresentado no tópico 2.3; realizamos o experimento cinco vezes afim de extrair dados suficientes para trabalharmos com uma média estatística, considerando desvios percentuais, imprecisão na montagem e possíveis anomalias nas medidas, ao final temos uma tabela que mostra a média dessas cinco medidas. Segue abaixo a tabela com o valor médio dos dados obtidos. Tendo feito o experimento cinco vezes, calculamos os valores médios obtidos para cada valor coletado, esses dados são apresentados na tabela abaixo.

Tabela 5 - Valores médios das coletas de dados

θ (°)	V (%)	θ (°)	V (V)	θ (°)	V (V)
0°	97	120°	84	240°	90,6
10°	97	130°	89,8	250°	85,2
20°	96,8	140°	93	260°	81,8
30°	96,4	150°	94,6	270°	50,4
40°	95,8	160°	96	280°	1,6
50°	94,4	170°	96,4	290°	57,6
60°	92,2	180°	96,8	300°	83,8
70°	89,8	190°	96,8	310°	89,2
80°	82,4	200°	96,6	320°	95
90°	63,4	210°	96	330°	95,4
100°	0	220°	95,6	340°	96,6
110°	64,8	230°	92,6	350°	97

Tendo os valores médios, é possível fazer um gráfico com os dados obtidos na tabela 10, afim de verificar a curva proveniente do experimento e compara-la com a curva teórica obtida pela lei de Malus.

Figura 13 – Gráfico Obtido Experimentalmente



Fonte: Autor

2.5 – Conclusão

Numa análise mais rigorosa, percebe-se que alguns fatores não podem ser desprezados na conclusão final da análise dos dados. Alguns desses fatores são: o erro humano na imprecisão da medição dos dados e na montagem do experimento, a luz proveniente do ambiente externo, a imprecisão na própria leitura do sensor programado via Arduino e principalmente a fabricação dos filmes polarizadores, que não são dos mais profissionais encontrados no mercado, justamente para viabilizar a realização do experimento gastando menos recursos financeiros. Inúmeros são os fatores que podem atuar como interferências no experimento mesmo fazendo o máximo para evitá-los.

Todavia, os dados obtidos neste experimento extraviaram um pouco as tolerâncias admitidas. Considerando a fabricação dos filmes polarizadores e esse desvio, o experimento mostrou um resultado satisfatório, no sentido de

demonstrar o funcionamento de polarizadores em circuitos ópticos, pois, dentro dos erros admitidos, cumpriu as previsões teóricas esperadas.

Conclui-se então, que a partir dos procedimentos e métodos anteriormente listados, o experimento condiz com a realidade, porém, não foi possível obter a curva senoidal ou cossenoidal, conforme a lei de Malus, isso fica claro ao observar a figura 13, em que vemos uma curva com picos em mínimos conhecidos e esperados pela teoria (em 90° e 280°), porém o comportamento no geral não foi verificado, mostrando que de fato a fabricação dos filmes polarizadores e a curva de leitura do sensor LDR é um fator crucial para a elaboração desse experimento, também não foi possível obter resultados satisfatórios, pois, toda medida ou grandeza quando analisada experimentalmente contém erros estatísticos.

No geral, o kit experimental construído neste trabalho não se limita somente a análise e verificação da lei de Malus, mas sim em uma série de outros experimentos que podem ser feitos, como por exemplo, observar o comportamento da luz ao passar por um fluído complexo, verificar o fenômeno da difração da luz e observar o padrão de interferência da luz de um *laser* ao passar por um fio de cabelo, verificar a transmitância e absorção da luz ao passar por diferentes meios, e por fim, também é possível adaptar algumas lentes e espelhos para verificar alguns comportamentos da óptica geométrica.

O uso do kit experimental e a inclusão de mais materiais didáticos e interativos, como por exemplo, o uso de jogos e simulações digitais e *online* no ambiente escolar acompanhado de metodologias ativas, pode ser uma excelente forma de motivar o estudo e o ensino de Física, como já foi mencionado anteriormente; se mostrando uma ótima ferramenta para tornar os alunos mais participativos, interessados e empolgados com as aulas, alcançando praticamente todos os tipos de alunos, até mesmo aqueles que se mostravam mais desinteressados às ciências, transformando o ambiente escolar mais propício a

debates e discussões científicas saudáveis, aumentando até mesmo a integração entre os próprios alunos e os demais agentes escolares.

Referências

ARAÚJO, M. S. T. de; ABIB, M. L. V. dos S.. Atividades experimentais no ensino de física: diferentes enfoques, diferentes finalidades. Revista Brasileira de Ensino de Física. Rev. Bras. Ens. Fis. vol.25 no.2 São Paulo Junho 2003.

BUENO, R. de S. M.; KOVALICZN, R. A.. O ensino de ciências e as dificuldades das atividades experimentais. Programa de Desenvolvimento Educacional – PDE no Paraná, 2008.

FERNANDES, Paulo Ricardo Garcia. **Notas de Aula do Curso de Eletromagnetismo**. Maringá: Slide, 2022. 500 slides, color. Departamento de Física - Universidade Estadual de Maringá.

FREJLICH, Jaime. **Óptica**. São Paulo: Oficina de Texto, 2011. 248 p.

FUSINATO, P. A.. Eletricidade básica: caderno de atividades experimentais. Vários autores, Michel Corci Batista e Polônia Altoé Fusinato,(org). Maringá, Pr, Editora: Massoni, 2014.

GASPAR, A. Experiências de Ciências para o Ensino fundamental. 1. ed. São Paulo: Editora Ática, 2003.

GASPAR, A; MONTEIRO, I. C. de C.. Atividades experimentais de demonstrações em sala de aula: uma análise segundo o referencial da teoria de vygotsky. Investigações em Ensino de Ciências – V10(2), pp. 227-254, 2005 .

GOLDBACH et al, (2009); Atividades práticas em livros didáticos atuais de biologia: investigações e reflexões. Revista Perspectivas da Ciência e Tecnologia v.1, n.1, jan-jun 2009.

GRIFFITHS, David J.. **Eletrodinâmica**. 3. ed. São Paulo: Pearson, 2011. 402 p. 3 v.

NUSSENZVEIG, Herch Moysés. **Eletromagnetismo**: curso de física básica. 2. ed. São Paulo: Bluncher, 2015. 295 p.

NUSSENZVEIG, Herch Moysés. **Ótica, Relatividade e Física Quântica**: curso de física básica. 2. ed. São Paulo: Bluncher, 2014. 359 p.

JÚNIOR, Joab Silas da Silva. "O que é difração?"; Brasil Escola. Disponível em: <https://brasilecola.uol.com.br/o-que-e/fisica/o-que-e-difracao.htm>. Acesso em 25 de novembro de 2022.

LEI de Malus: Onda Não Polarizada. Estados Unidos: Wiki, 2013. Disponível em: LEI de Malus: Onda Não Polarizada. Estados Unidos: Artigo, 2013. Color.

Disponível em: https://pt.frwiki.wiki/wiki/Lei_de_Malus. Acesso em: 24 nov. 2022.. Acesso em: 24 nov. 2022.

MACHADO, Kleber Daum. **Eletromagnetismo**: eletrostática. 2. ed. Ponta Grossa: Todapalavra, 2017. 1034 p.

MACHADO, Kleber Daum. **Eletromagnetismo**: magnetostática e eletrodinâmica. 2. ed. Ponta Grossa: Todapalavra, 2017. 972 p.

MACHADO, Kleber Daum. **Eletromagnetismo**. Eletrodinâmica, relatividade e radiação. 2. ed. Ponta Grossa: Todapalavra, 2017. 1131 p.

PARANÁ, Diretrizes curriculares da Educação básica: Física. Secretaria de Estado da Educação do Paraná, Curitiba, 2008.

POLARIZAÇÃO Linear, Lei de Malus e Atividade Óptica: Laboratório de Óptica. São Carlos: Universidade de São Paulo, 2014. 21 p. Disponível em: https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/88573/mod_resource/content/1/Apostila4.pdf. Acesso em: 12 set. 2022.

ROSITO, Á. B.; O ensino de ciências e a experimentação. Vários autores, Construtivismo e ensino de ciências: reflexões epistemológicas e metodológicas. Roque Moraes (org) – 3ª ed, 1ª reimpr. – Porto Alegre: Edipucrs, 2001.

SADIKU, Matthew Nojimu Olanipekun. **Elementos de Eletromagnetismo**. 5. ed. Porto Alegre: Bookman, 2012. 702 p

Apêndices

A – Diagrama Eletrônico e Programação do Sensor LDR

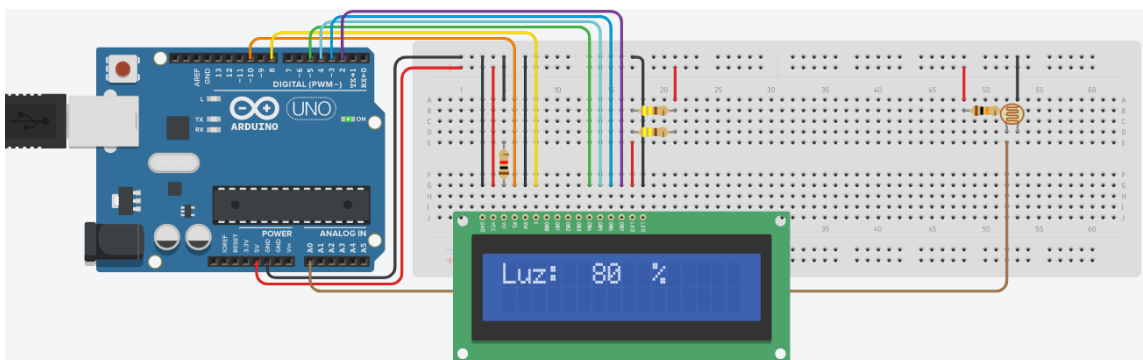
Os materiais utilizados encontram-se na tabela abaixo:

Tabela 6 - Lista de Materiais

Componente	Quantidade
Arduino UNO	1
Display LCD	1
Resistor 1 k Ω	1
Resistor 440 Ω	2
Resistor 10 k Ω	1
LDR	1

Abaixo, encontram-se a montagem esquemática dos componentes eletrônicos e o código de programação para montagem do kit experimental.

Figura 14 - Diagrama Eletrônico da Ligação do Sensor no Arduino



Fonte: Autor

```
#include <Wire.h>
```

```
#include <LiquidCrystal_I2C.h>
```

```
LiquidCrystal_I2C lcd(0x27,16,2);
```

```

const int sensorLuz = 0;      // Pino analógico que o sensor de luz está conectado.
int valorSensorLuz = 0;     // Usada para ler o valor do sensor de luz.

void setup()
{
  Serial.begin(9600); //Inicia a comunicação serial (para exibir os valores lidos)
  lcd.init();
  lcd.setBacklight(HIGH);
  lcd.print("Intensidade Luz"); // Imprime um texto
  lcd.setCursor(1, 1);
  lcd.print("Vitor Ferrari");
  delay(5000);           // 5 segundos de delay
}

void loop()
{
  valorSensorLuz = analogRead(sensorLuz);
  valorSensorLuz = map(valorSensorLuz, 7, 690, 100, 0);
  lcd.clear();          // Limpa o display
  lcd.setCursor(0,0);   //posiciona o cursor na coluna 0 linha 1 do LCD.
  lcd.print("Luz: ");   //Imprime a string no display do LCD.
  lcd.print(valorSensorLuz);
  delay(1000);

  Serial.print(valorSensorLuz);
  delay(250);
}

```

B – Desenhos 3D das Peças do Aparato Experimental

Figura 15 - Arco Graduado



Fonte: Autor

Figura 16 – Suporte Meia-Lua



Fonte: Autor

Figura 17 – Base Universal



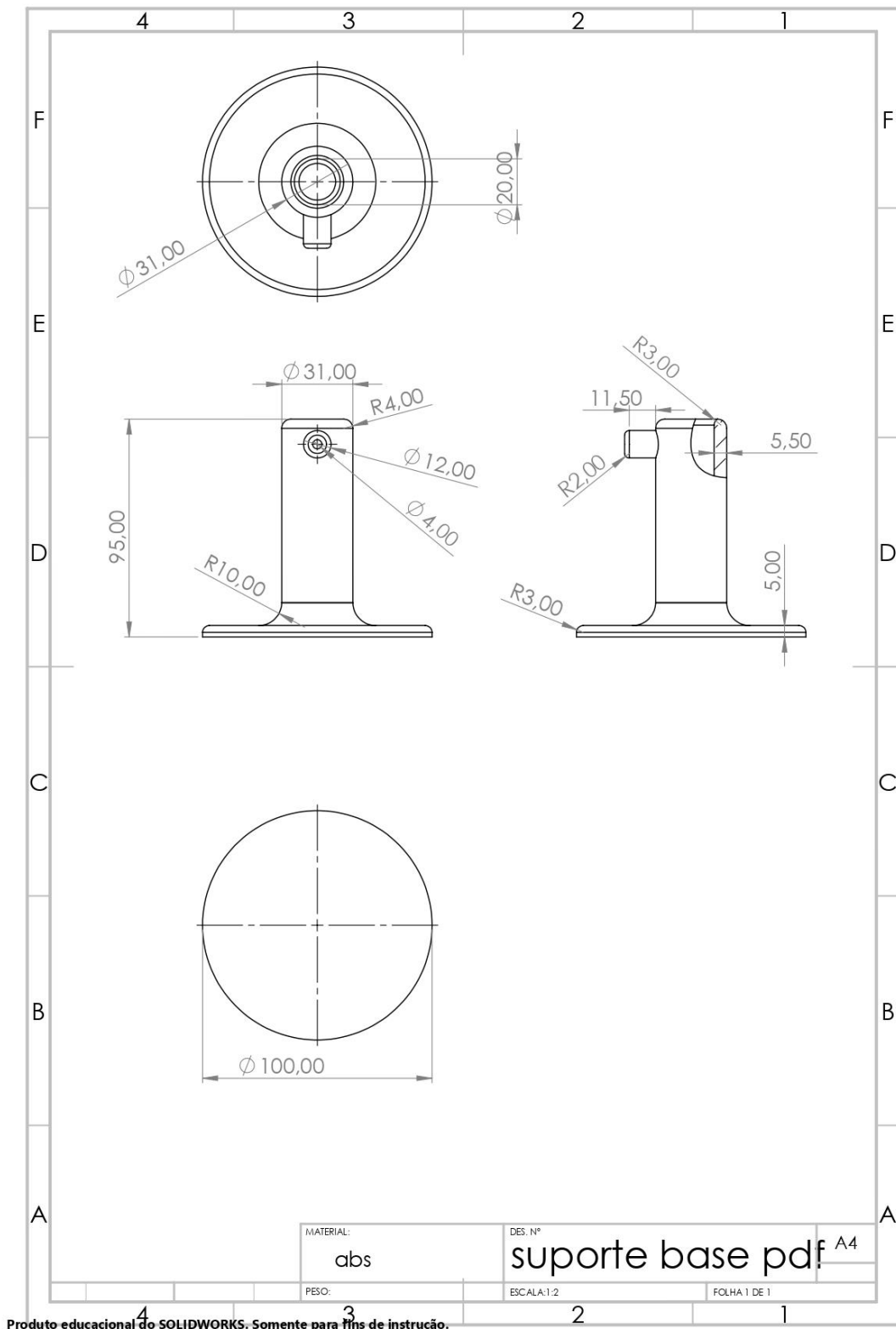
Fonte: Autor

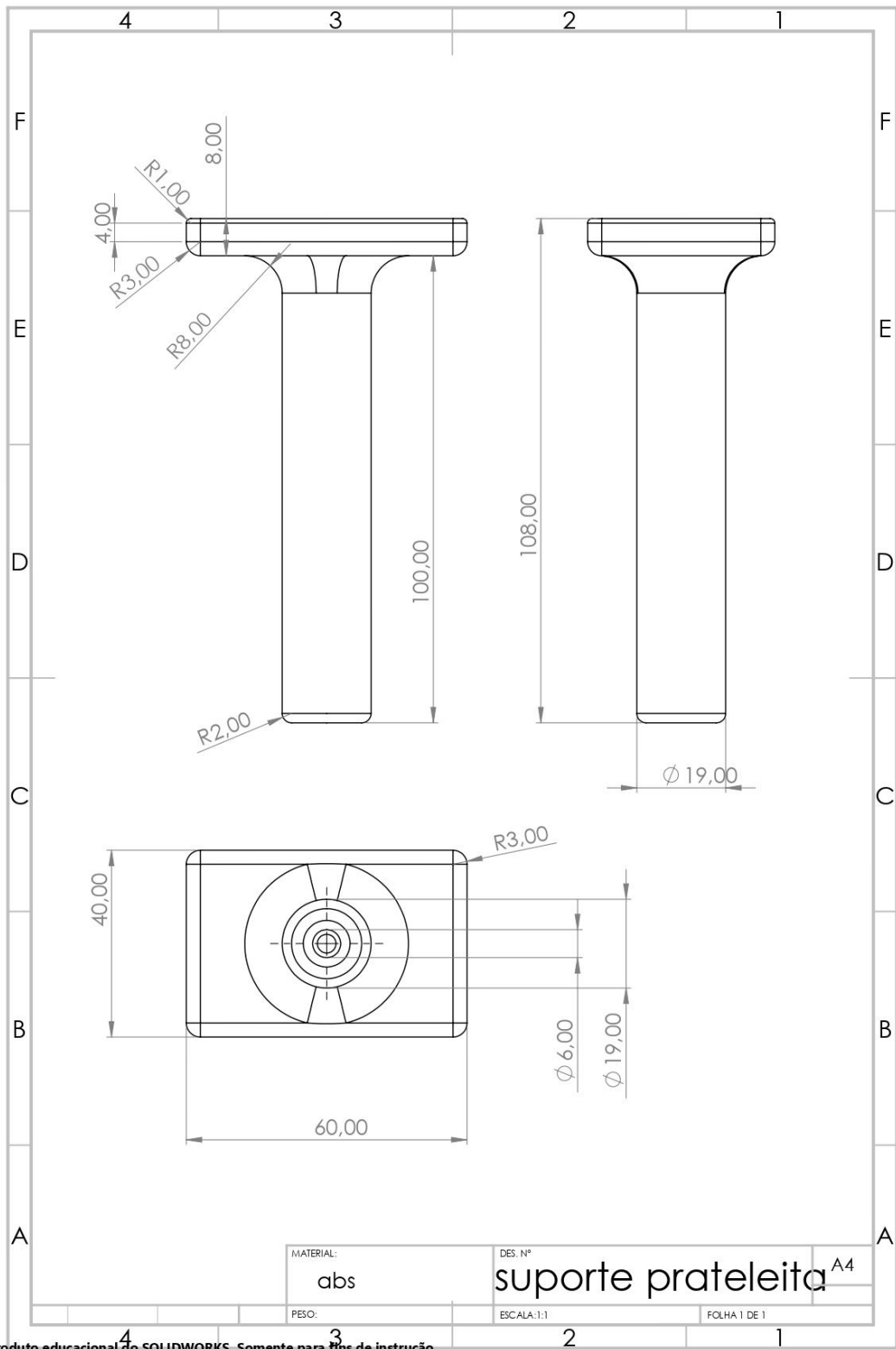
Figura 18 – Suporte Reto



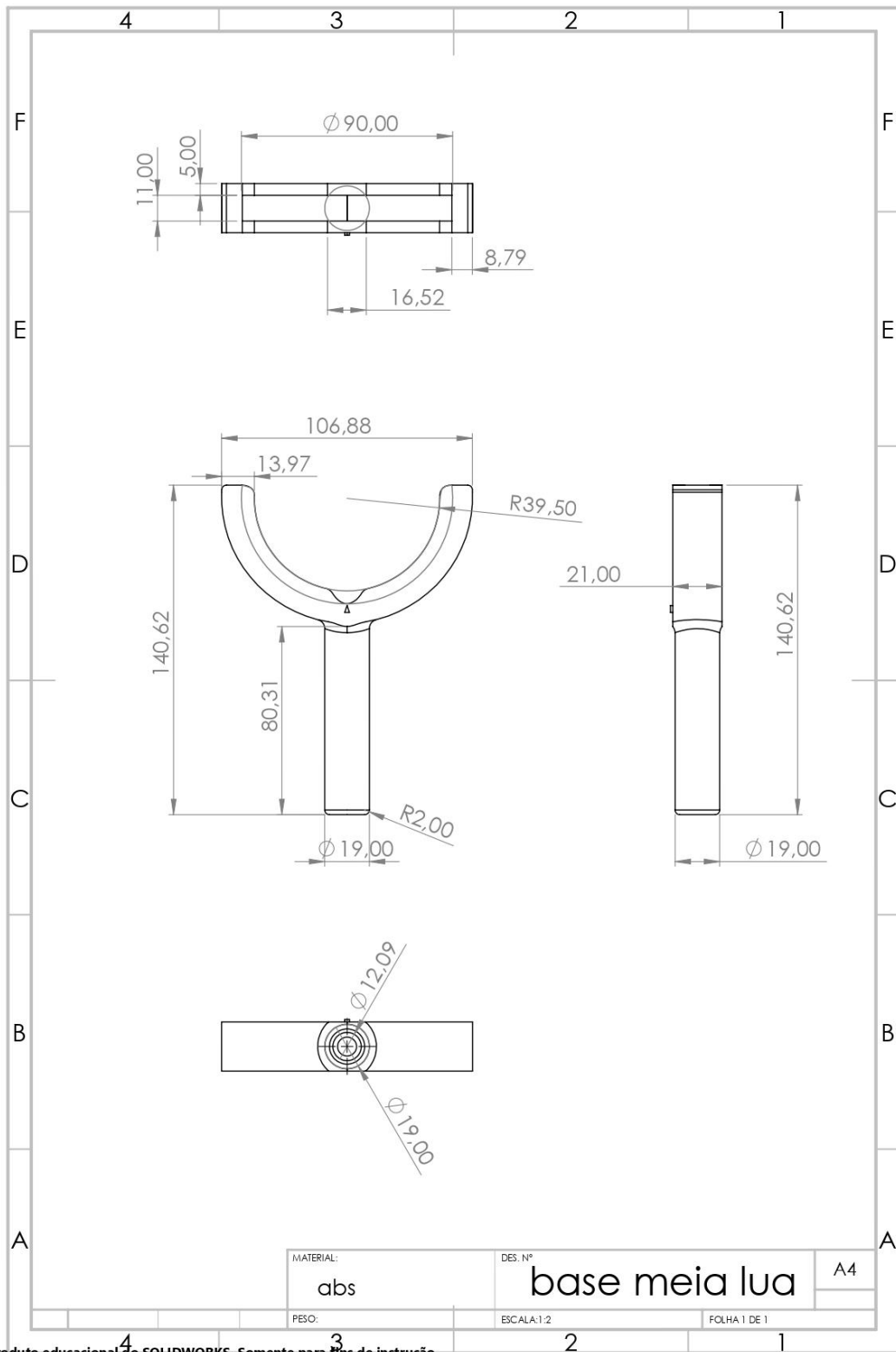
Fonte: Autor

C – Desenhos Técnico e Detalhado das Peças do Aparato Experimental

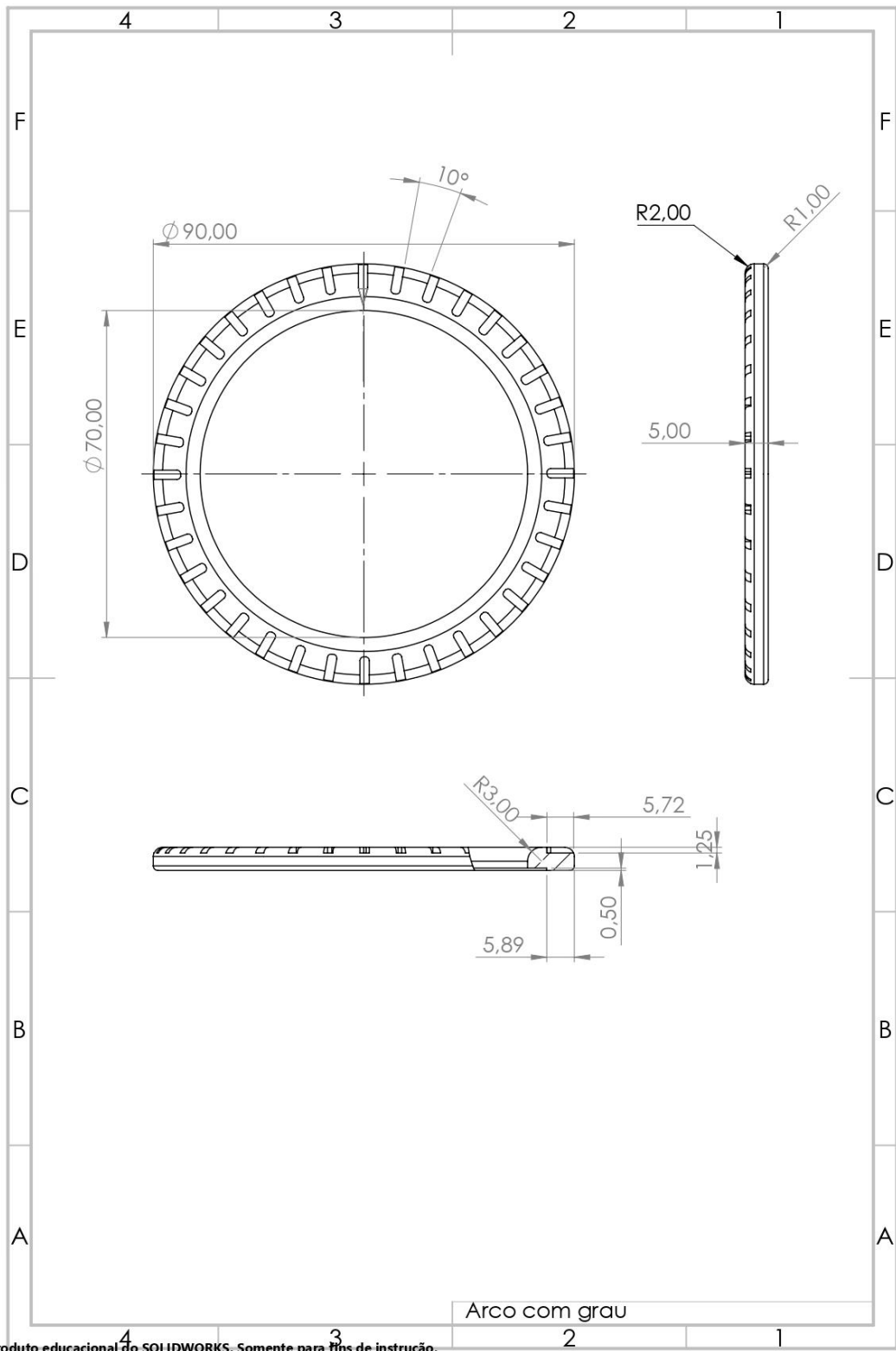




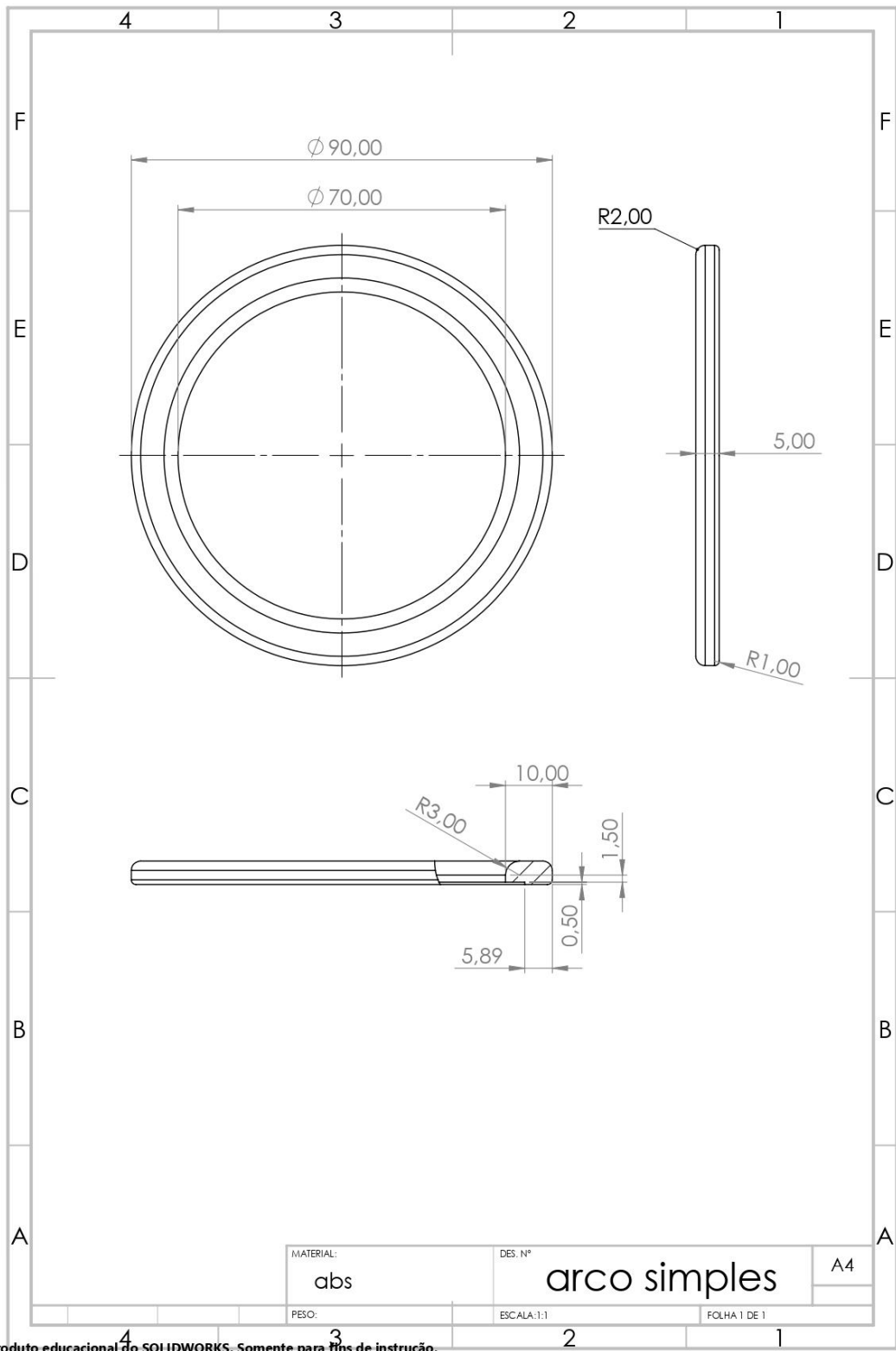
Produto educacional do SOLIDWORKS. Somente para fins de instrução.



Produto educacional do SOLIDWORKS. Somente para fins de instrução.



Produto educacional do SOLIDWORKS. Somente para fins de instrução.



Produto educacional do SOLIDWORKS. Somente para fins de instrução.