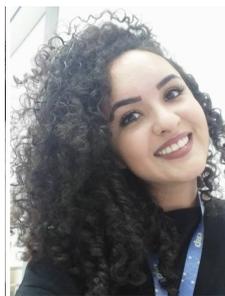


Universidade Estadual de Campinas  
Instituto de Física Gleb Wataglin  
F 609 - Tópicos de Ensino de Física I - 2ºSemestre 2019

Equipamento para análise quantitativa de transmitância e refletância luminosa



Aluna: Amanda Rocha Evaristo  
a154569@dac.unicamp.br  
Orientador: Prof. Dr. Pedro C. de Holanda  
Coordenador Prof. Dr. José Joaquim Lunazzi

# Sumário

<b>Introdução</b>	<b>2</b>
<b>Teoria</b>	<b>2</b>
<b>Procedimento experimental</b>	<b>3</b>
<b>Observações e alterações experimentais</b>	<b>5</b>
Fotos do Experimento	5
Curva de Resposta dos filtros empregados	5
Caracterização da fonte de luz	9
<b>Propostas de Melhoria</b>	<b>10</b>
<b>Avaliação do Professor Docente</b>	<b>11</b>
<b>Conclusão</b>	<b>11</b>
<b>Referências</b>	<b>11</b>

## Introdução

Tendo em vista a importância da disciplina F 609 - Tópicos de Ensino de Física I, que tem como uma de suas finalidades, atuar como ferramenta ativa na transmissão e na disseminação de conhecimentos de física a partir de experimentos elaborados pelos alunos do curso de licenciatura, neste experimento buscou-se abordar um tema interessante, de fácil compreensão e que fosse passível de ser empregado como ferramenta de ensino de física na educação básica (instituições de ensino médio, por exemplo).

Então, o experimento escolhido é um equipamento para análise quantitativa de transmitância e refletância luminosa, que visa explorar as características da luz, estudando seus princípios físicos básicos relacionados ao seu comportamento onda-partícula. Será estudado os estados de polarização da luz a partir de algumas medidas sobre a intensidade luminosa.

Este experimento consiste em medir a taxa percentual tanto de transmissão como de reflexão luminosa, podendo ser empregado de duas maneiras diferentes. Seu funcionamento é através da comparação entre a intensidade luminosa que incide diretamente num sensor de luz antes e após incidir em um filtro ou após refletir em uma placa opaca. Para tal, dentro de uma caixa, numa de suas extremidades, será instalado uma fonte de luz e, na outra extremidade, será realizado uma montagem simples envolvendo dois resistores LDR (*Light Dependent Resistor*) que atuam como sensores de luz, variando a sua resistência interna em função da intensidade luminosa incidente.

Tais elementos foram estrategicamente posicionados de forma que: um LDR meça a intensidade da luz resultante após a incidência nos diferentes filtros a serem empregados e, o outro LDR meça a luz resultante após ser refletida pelo elemento refletor (semelhante a um espelho). A fonte de luz empregada é resultante de um LED de alto brilho, cuja intensidade de luz foi caracterizada empregando um conjunto de duas lâminas polaróides, conhecidas como o polarizador e o analisador.

Para isso, será empregado uma montagem experimental simples, e fácil de ser reproduzida em ambiente escolar, como escolas e institutos de ensino. Devido a sua fácil compreensão e aos conceitos importantes que são explorados no experimento, conclui-se que é viável o emprego deste experimento em cursos de óptica básica e em aulas que abordem e desenvolvam os conceitos de polarização, podendo ser utilizado como exemplo prático dos fenômenos físicos em demonstrações experimentais de conceitos teóricos, servindo de elemento de junção entre a teoria abordada em sala de aula e a prática a partir do experimento, ajudando assim no processo de aprendizagem.

## Teoria

Pode-se definir o valor instantâneo do campo elétrico referente a uma onda eletromagnética plana como sendo  $E(r, t) = E_0 * \exp[i(kr - \omega t) + \phi]$ , em que  $r$  é a posição,  $\omega$  é a frequência angular,  $k$  é o vetor de onda  $k$  e  $j$  representa o ângulo de fase. Deseja-se saber os momentos de ocorrência da polarização da onda.

Para tal, tem-se que a polarização ocorre quando  $j$  e  $E_{0j}/E_{0j}$  forem constantes. Neste caso,  $E_{0j}$  e  $E_{0j}$  são as componentes de  $E_0$  segundo os eixos cartesianos  $x$ ,  $y$  e  $z$ . Para fins práticos, será considerado que a propagação da onda ocorre na direção  $z$  e que a onda encontra-se polarizada.

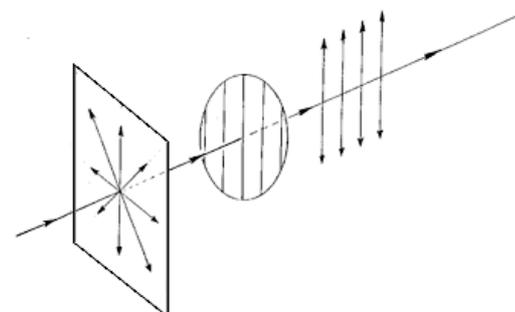
As componentes do campo elétrico são:  $E_x = E_{0x} * \exp(-i\omega t)$  e  $E_y = E_{0y} * \exp(-i\omega t + \delta) * \delta = \phi_x - \phi_y$ . Tem-se que as partes reais de cada componente são descritas como:  $E_x = E_{0x} \cos(\omega t)$  e  $E_y = E_{0y} * \cos(\omega t + \delta)$ .

A partir destas componentes, realizando manipulações matemáticas com estas expressões,

pode-se obter a seguinte equação da tg relacionada ao ângulo de inclinação  $\alpha$  relacionado aos eixos coordenados x e y:  $tg(2\alpha) = \frac{2E_{0x} * E_{0y} * (\cos \delta)}{(E_{0x})^2 - (E_{0y})^2}$ . Considerando  $\delta=90^\circ$ , então  $tg(2\alpha)=0$ .

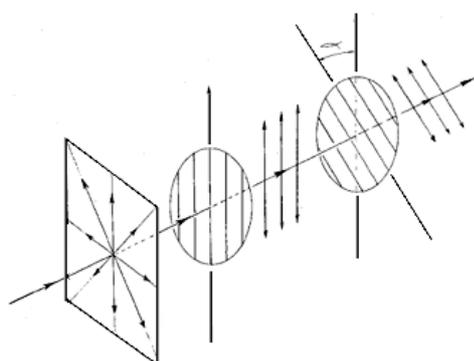
Assim, tem-se que:  $\left(\frac{E_x}{E_{0x}}\right)^2 + \left(\frac{E_y}{E_{0y}}\right)^2 = 1$ . Se considerarmos  $E_{0x} = E_{0y} = E_0$ , tem-se que  $(E_x)^2 + (E_y)^2 = (E_0)^2$ , que se trata da equação de uma circunferência. Tem-se que a polarização é circular. Quando se considera  $\delta=0$ , a equação obtida é a de uma reta, conforme mostra a seguir:  
 $E_y = \left(\frac{E_{0y}}{E_{0x}}\right) * E_x$ .

Neste experimento, a fim de estudar o comportamento da luz bem como a variação de sua intensidade mediante certas situações, será empregado um feixe de luz que incide perpendicularmente numa superfície de um conjunto de duas lâminas conhecidas como polaróides (o polarizador e o analisador). Em seu funcionamento, mantém-se uma lâmina fixa (polarizador) e varia-se a posição angular da segunda lâmina polaroide (analisador). Define-se como um polarizador, todo dispositivo que tem a capacidade de transformar a luz natural em luz polarizada, conforme ilustração ao lado. Como exemplo prático deste elemento, tem-se o plástico polaróide, que será empregado neste experimento. Em seu funcionamento, ele apresenta apenas uma direção de polarização, assim quando se incide um feixe de luz em uma lâmina, os feixes que atravessam o plástico apresentam como característica resultante, um campo elétrico cuja oscilação é paralela a oscilação da lâmina, tendo desta forma, uma luz linearmente polarizada.



Quando empregamos duas lâminas polaróides (o polarizador e o analisador) em conjunto, com o movimento angular de uma lâmina em relação a outra, tem-se que a intensidade da luz transmitida atua variando de acordo com a seguinte relação, conhecida como Lei de Malus:

$I = I_m * (\cos \alpha)^2$ , para o qual  $I_m$  representa a intensidade máxima e  $\alpha$  é o ângulo entre as direções características das duas lâminas polarizadoras. Na imagem ao lado, representa-se o fenômeno de um feixe de luz não polarizado incidindo numa lâmina polarizadora, e na sequência passando pelo conjunto de lâminas e, desta forma obtendo-se o feixe resultante no final deste processo. A intensidade da luz obedece a Lei de Malus.



## Procedimento experimental

Este experimento consiste em medir a taxa percentual tanto de transmissão como de reflexão luminosa, podendo ser empregado de duas maneiras diferentes. Seu funcionamento é através da comparação entre a intensidade luminosa que incide diretamente num sensor de luz antes e após incidir em um filtro ou após refletir em uma placa opaca.

Empregando-se uma pequena caixa de material plástico preto que atua como suporte a fim de fixar os componentes empregados no experimento, fixa-se 01 LED de alto brilho (conforme figura 01 presente na próxima página), sendo este um emissor de luz branca. Tem-se como proposta, incidir este feixe de luz perpendicularmente em diferentes filtros coloridos e verificar posteriormente a transmitância da luz a partir da comparação entre a quantidade de luz transmitida (sem os filtros) e a

luz que foi recebida pelo resistor LDR, após sua incidência no filtro colorido.

Para caracterizar a fonte de luz empregada no experimento, a fim de determinar como se comporta sua transmitância em função de diversas superfícies de incidência, será empregado um conjunto de filtros polaróides, cujo objetivo é variar o ângulo entre as lâminas (ajustados com o auxílio do transferidor) e, para cada posição, incidir o feixe de luz nestas, medindo a correspondente intensidade de luz obtida. O feixe de luz resultante será medido pelo resistor LDR e a tensão equivalente para cada variação angular será medida pelo multímetro. Este valor de tensão está correlacionado ao valor de intensidade luminosa proveniente do LED. A partir da medição da intensidade de luz sem nenhum filtro, é possível obter uma curva de resposta da fonte de luz empregada.

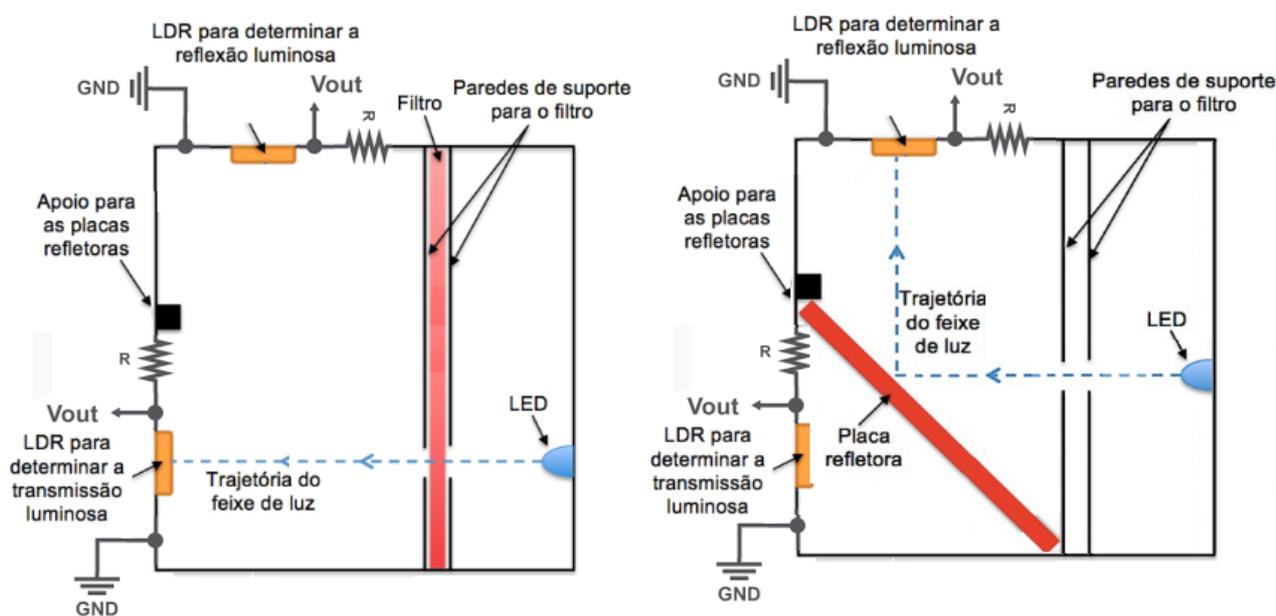


Figura 01: Montagem experimental realizada no experimento

Para tal, no interior da caixa plástica empregada, nas outras laterais da mesma, coloca-se dois resistores LDRs (*Light Dependent Resistor*) que atuam como sensores de luz, variando a sua resistência interna em função da intensidade luminosa incidente.

Estes LDRs encontram-se montados num circuito divisor de tensão, conforme figura 01. Através do uso do conjunto de lâminas polaróides (o polarizador e o analisador) ou um outro filtro colorido, conforme o feixe de luz incide perpendicularmente no resistor LDR, sua resistência interna varia e desta forma, a tensão resultante em seus terminais sofrerá alteração em seu valor. Assim, empregando o circuito divisor de tensão, será possível mensurar através de um multímetro, a tensão equivalente para cada intensidade de luz e assim, será possível caracterizar a curva de resposta da fonte de luz empregada.

A análise da transmissão luminosa será realizada a partir da colocação de um filtro no suporte existente entre o LED e o resistor LDR. Será realizada duas medições de tensão no LDR: uma sem o filtro e outra com o filtro. Através dos valores obtidos, é realizada a comparação matemática percentual relacionada a transmissão luminosa das cores correspondentes aos LEDs.

Para atuar como filtros, serão empregados peças de acrílico em algumas cores distintas: vermelha, tons de laranja, verde e azul, bem como peças de acrílico transparentes cobertas por películas em alguns tons de cinza. A análise da reflexão luminosa é feita a partir do uso de uma placa refletora posicionada de acordo com a figura 01. Assim, usando o LDR, o feixe emitido pelo mesmo é

desviado de acordo com a direção da placa refletora. Com o emprego do resistor LDR, tal feixe desviado é mensurado a partir do valor de tensão equivalente, obtida nos terminais do resistor LDR com o auxílio de um multímetro. Desta forma, com a comparação dos valores do feixe emitido e do feixe desviado, é possível obter o valor matemático percentual relacionado a reflexão luminosa.

## Observações e alterações experimentais

Originalmente o projeto empregava um arduino para realizar as medições das intensidades da luz emitida, refletida e refratada, e de acordo com a sua programação, realizava também os cálculos relacionados ao valor matemático percentual da reflexão e transmissão luminosa. Segue na próxima página, imagens sobre a montagem inicial deste experimento.

A partir de sugestões de melhorias estabelecidas pelo Professor José J Lunazzi, atualmente o experimento irá empregar filtros polarizadores entre as adaptações citadas anteriormente. Mostra-se necessário evidenciar a importância de que a luz incidente tenha seja perpendicular com a superfície de incidência. Em relação aos filtros polarizadores, nota-se que os filtros circulares são mais complexos fisicamente falando do que filtros polarizadores mais tradicionais. No experimento inicial, tinha-se como proposta mensurar a resistência dos resistores LDR para cada feixe de luz incidente, mas devido a impossibilidades encontradas no multímetro empregado, notou-se uma instabilidade o equipamento nas medições de resistência, que acarretavam grande incerteza para as medidas realizadas durante a caracterização da fonte de luz. Assim, adaptou-se a montagem, inserindo-se um circuito divisor de tensão para cada resistor LDR. Com isto, agora mede-se a tensão equivalente para cada incidência de luz, sendo estas medições bem mais estáveis e coerentes com o multímetro e os componentes empregados no experimento. Para a construção deste experimento, será empregado teorias e princípios de funcionamento obtidas a partir de ideias presentes no documento Tese de Mestrado (cujo tema é a área de Óptica) cujo autor foi o Professor José Lunazzi que gentilmente permitiu que seu trabalho pudesse ser empregado como referência para a construção deste experimento. Atualmente, após a análise das adaptações, entre os meses de outubro e início de novembro de 2019, realizou-se a confecção do circuito e posteriores ajustes nas posições dos componentes. Realizou-se a montagem do suporte com filtros polarizadores e a caracterização da fonte de luz.

## Fotos do Experimento

Segue ao lado uma imagem da montagem experimental realizada. Algumas adaptações foram realizadas e não foram exibidas nesta foto. No relatório final deste experimento, será exibido de forma completa a montagem do circuito empregado com o circuito divisor divisor de tensão.



## Curva de Resposta dos filtros empregados

Com a finalidade de determinar a curva de resposta dos filtros coloridos que estão sendo empregados no experimento, com o auxílio do Laboratório de Óptica (LF44) do Instituto de Física - IFGW (Unicamp), empregou-se um feixe de luz conhecido incidindo perpendicularmente em cada filtro (todos listados abaixo) e, utilizando um espectrofotômetro, obteve-se a correspondente curva de resposta de cada filtro, no qual é possível visualizar o comportamento dos mesmos em função da variação dos valores de comprimentos de onda. Em cada imagem a seguir observa-se tal comportamento.

Filtros empregados: Filtro A (Amarelo - 60 748), Filtro B (Azul - 60 748), Filtro C (Verde - 60 748), Filtro D (Cinza fino), Filtro E (Transparente Branco), Filtro F (Laranja), Filtro G (Marrom), Filtro H (Verde), Filtro I (Vermelho). A seguir, mostra-se os gráficos obtidos para a curva de resposta de cada filtro empregado no experimento.

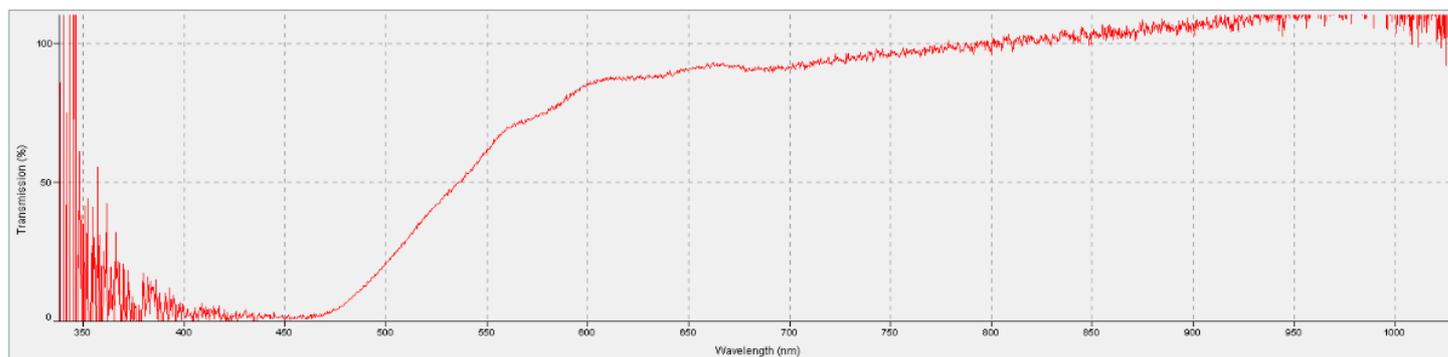


Gráfico 01: Curva de resposta da Transmissão (%) em função do Comprimento de Onda (nm) para o filtro A (filtro amarelo)

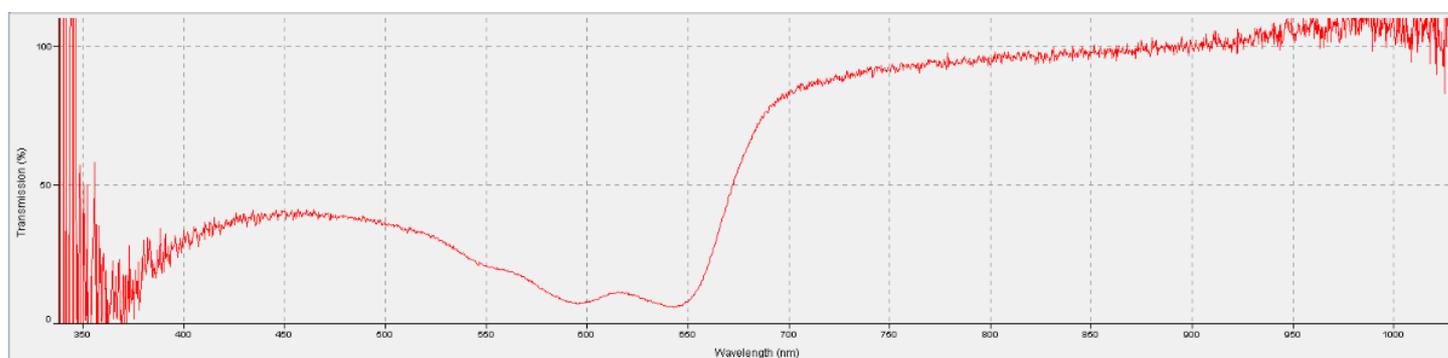


Gráfico 02: Curva de resposta da Transmissão (%) em função do Comprimento de Onda (nm) para o filtro B (filtro azul)

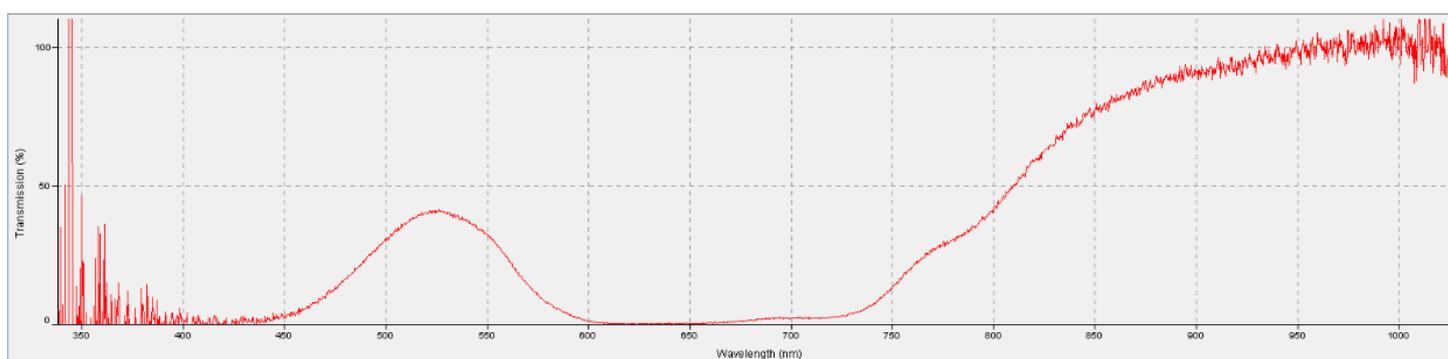


Gráfico 03: Curva de resposta da Transmissão (%) em função do Comprimento de Onda (nm) para o filtro C (filtro verde)

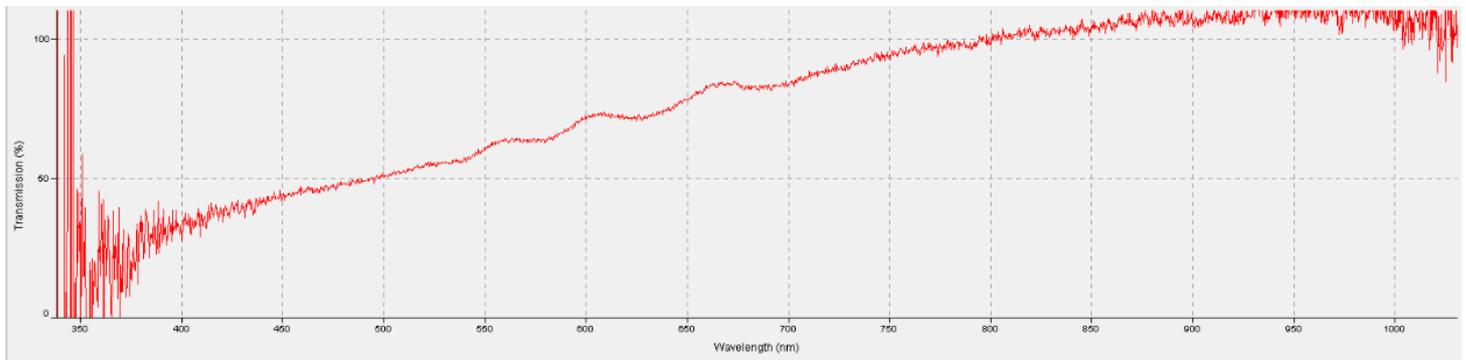


Gráfico 04: Curva de resposta da Transmissão (%) em função do Comprimento de Onda (nm) para o filtro D (filtro cinza)

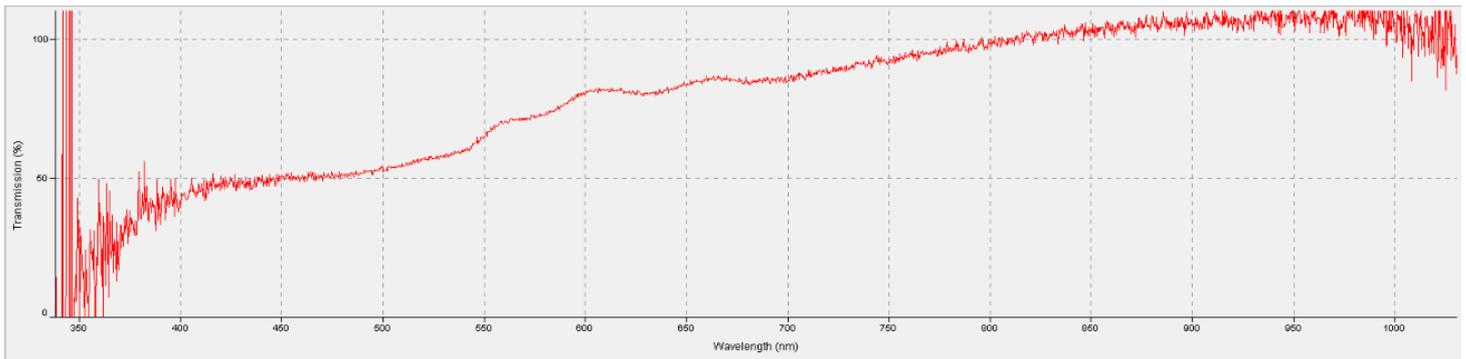


Gráfico 05: Curva de resposta da Transmissão (%) em função do Comprimento de Onda (nm) para o filtro E (transparente)

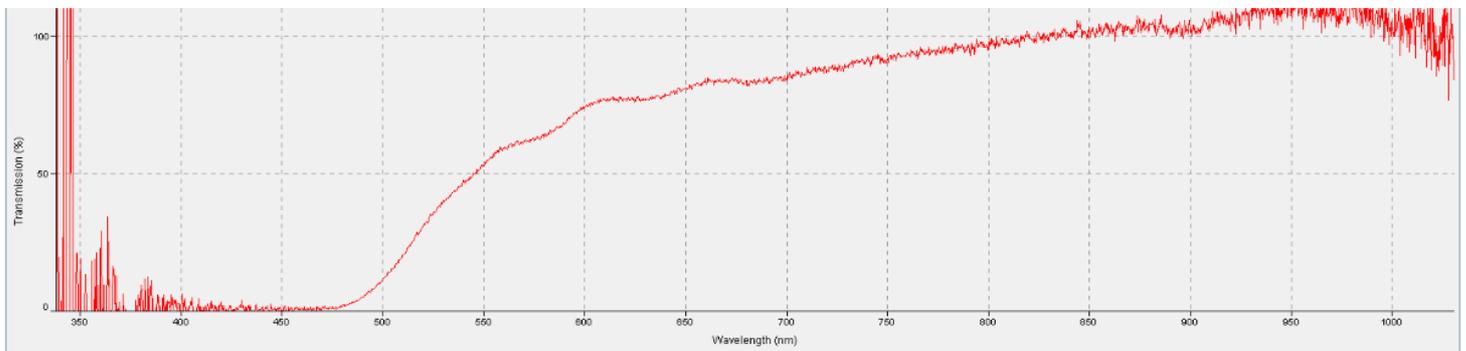


Gráfico 06: Curva de resposta da Transmissão (%) em função do Comprimento de Onda (nm) para o filtro F (laranja)

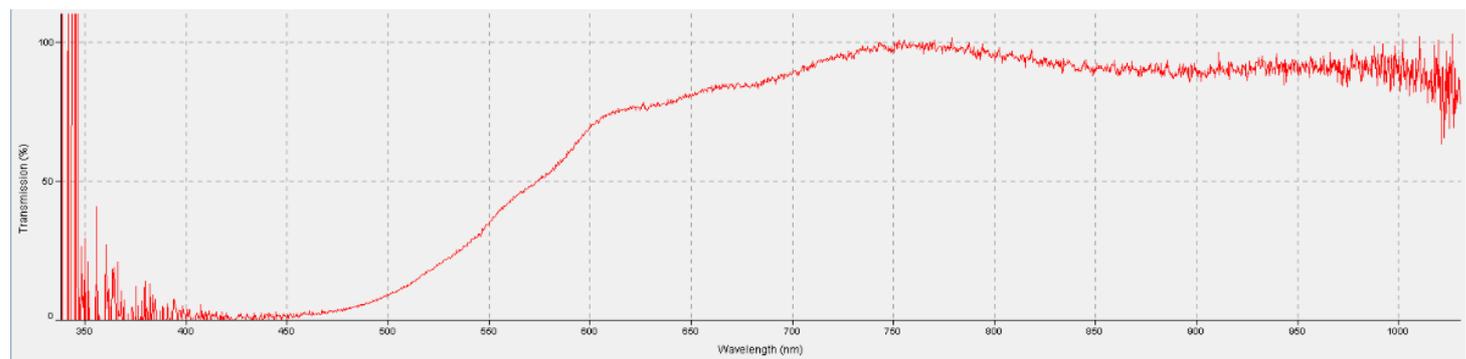


Gráfico 07: Curva de resposta da Transmissão (%) em função do Comprimento de Onda (nm) para o filtro G (marrom)

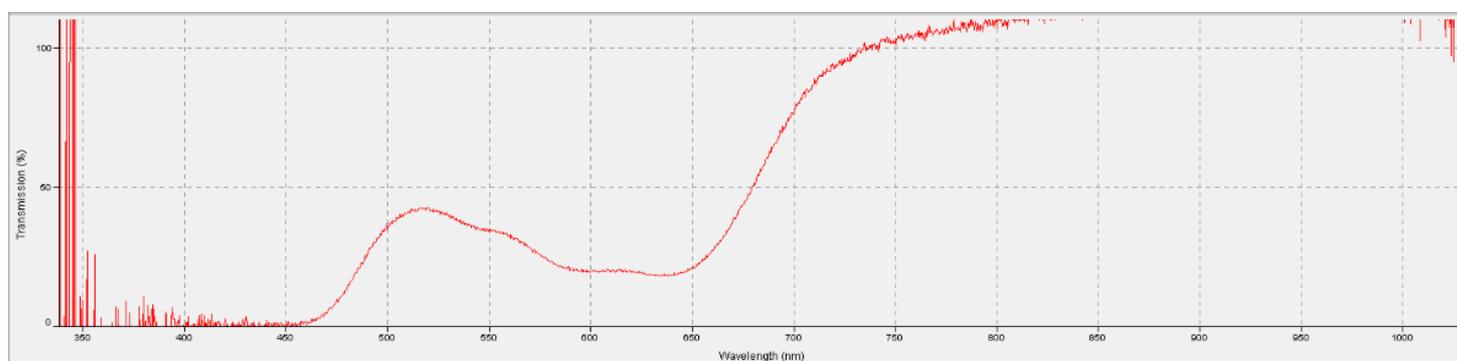


Gráfico 08: Curva de resposta da Transmissão (%) em função do Comprimento de Onda (nm) para o filtro H (verde)

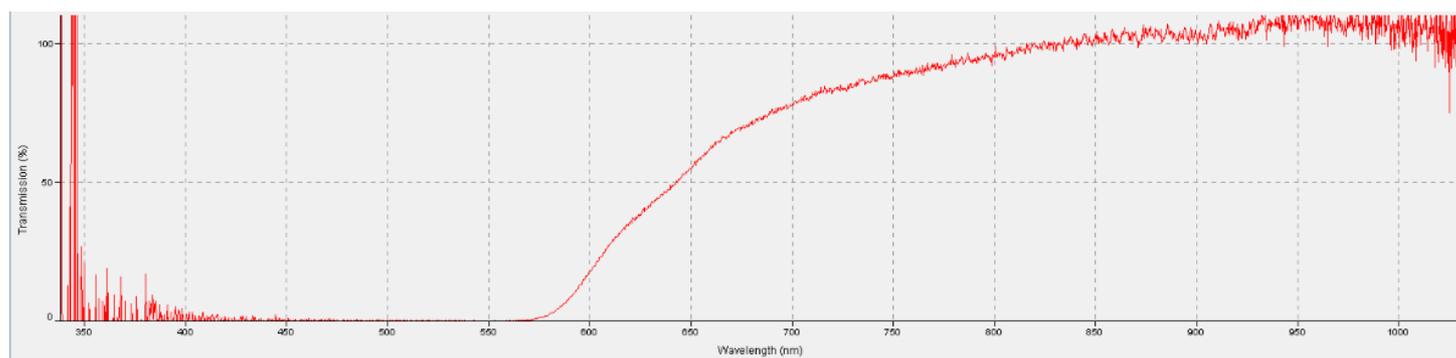


Gráfico 09: Curva de resposta da Transmissão (%) em função do Comprimento de Onda (nm) para o filtro I (vermelho).

Empregando o espectrofotômetro, mediu-se também a curva de resposta do conjunto de filtros polarizadores em 02 momentos: Quando o ângulo entre eles é tal que se visualiza a máxima e a mínima transmitância da luz. Na pagina a seguir, visualiza-se os gráficos obtidos.

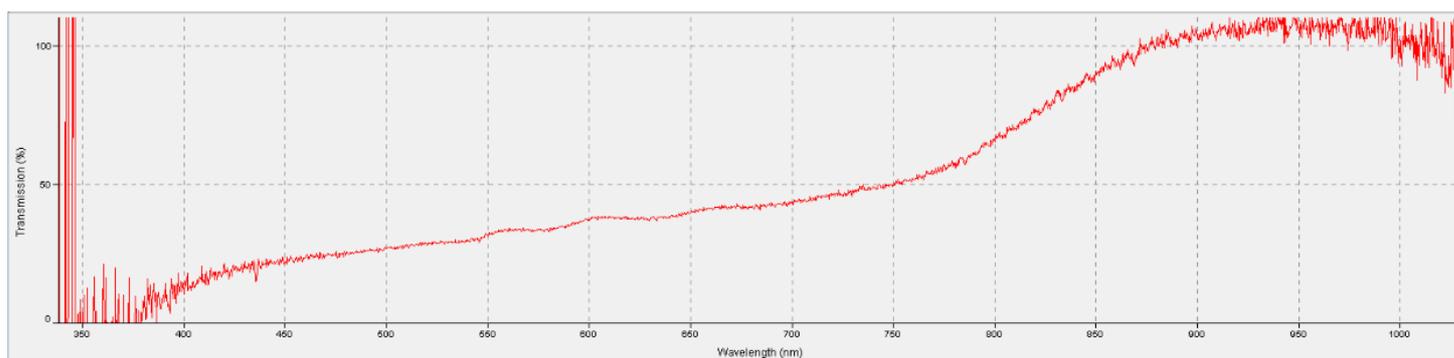


Gráfico 10: Curva de resposta da Transmissão (%) em função do Comprimento de Onda (nm) para o conjunto de filtros polarizadores posicionados de forma que se visualizasse a máxima transmitância da luz.

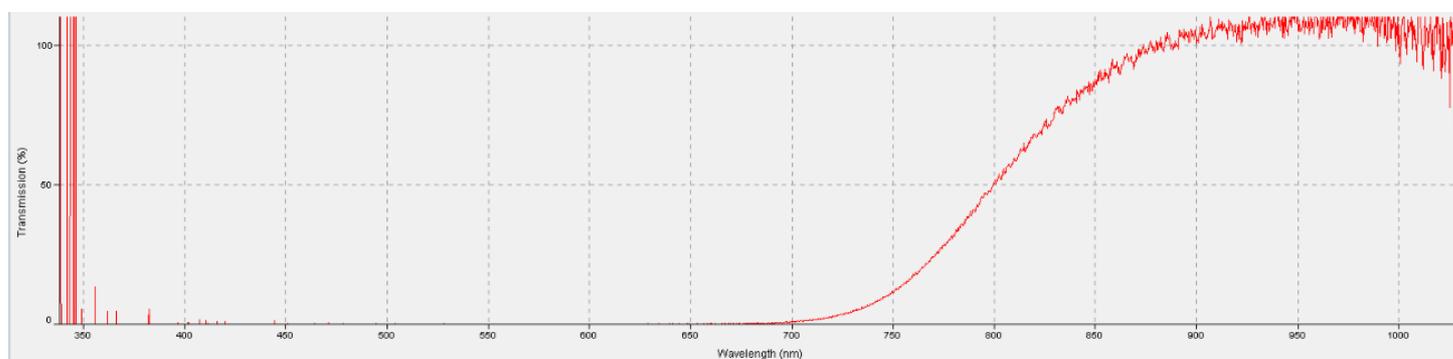


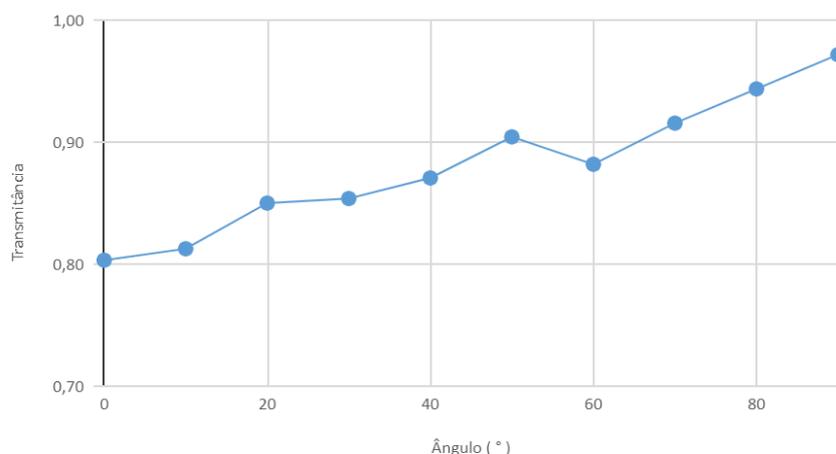
Gráfico 11: Curva de resposta da Transmissão (%) em função do Comprimento de Onda (nm) para o conjunto de filtros polarizadores posicionados de forma que se visualizasse a mínima transmitância da luz.

## Caracterização da fonte de luz

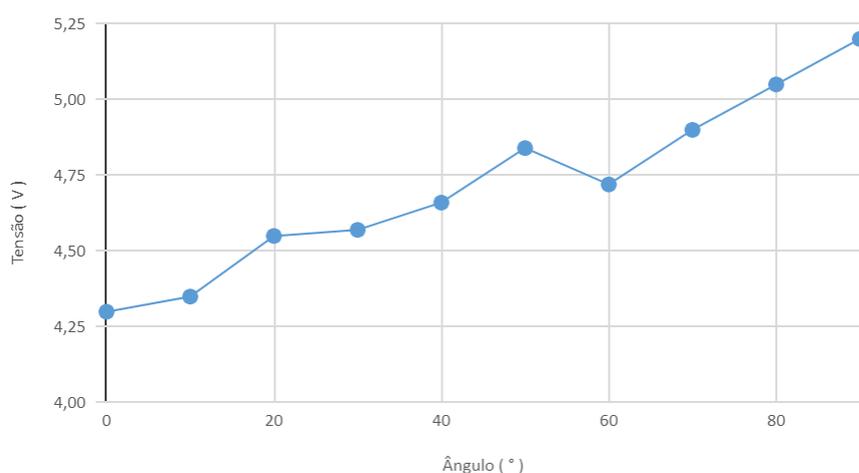
Realizou-se a caracterização da fonte de luz de alta intensidade, de cor branca, a partir do emprego do conjunto de lâminas polaróides (o polarizador e o analisador), sempre medindo as tensões resultantes nos terminais do resistor LDR através do uso de um multímetro. Os valores obtidos estão disponíveis a seguir. Pode-se visualizar um gráfico que mostra a relação de transmitância da fonte de luz em função da variação angular dos filtros.

Ângulo [ ° ]	Tensão [ V ]	Transmitância [ - ]
0	4,30	0,80
10	4,35	0,81
20	4,55	0,85
30	4,57	0,85
40	4,66	0,87
50	4,84	0,90
60	4,72	0,88
70	4,90	0,92
80	5,05	0,94
90	5,20	0,97
Sem filtro	5,35	1,00

**Relação de Transmitância da Fonte de Luz em função da Variação angular dos Filtros polarizadores**



**Relação entre a tensão medida em função da Variação angular dos Filtros polarizadores**



## Propostas de Melhoria

Através de observações experimentais realizadas durante a montagem do experimento, pode-se sugerir como proposta de melhoria, realizar a seguinte adaptação: Na pequena caixa de material plástico preto que atua como suporte a fim de fixar os componentes empregados no experimento, pode-se fixar 02 LEDs de alto brilho (conforme imagem abaixo), tal que um dos LEDs é um emissor de luz branca e o outro é do tipo RGB (abreviação do inglês para *Red*, *Green* e *Blue*), que atua emitindo luzes nas cores primárias: azul, verde e vermelha, a fim de se variar o comprimento de onda empregado na fonte de luz, visando assim explorar novos resultados ao se empregar os filtros coloridos.

## Avaliação do Professor Docente

*O projeto está bem fundamentado e apresenta um claro plano de trabalho, condizente com os prazos de entrega do projeto final fixados pela disciplina. A aluna tem demonstrado um bom envolvimento com o desenvolvimento do projeto, e portanto acredito em uma conclusão bastante satisfatória.*

*Pedro C Holanda*

Pedro Cunha de Holanda

## Conclusão

Sabe-se que inicialmente, os estudos que eram realizados a respeito do assunto polarização, investigavam o comportamento da natureza da luz. Com o desenvolvimento da ciência ao longo dos anos, atualmente pode-se obter facilmente, dados a respeito de como se comporta a estrutura de um determinado corpo, a partir do estado de polarização que este corpo emite ou reflete, seja ele muito pequeno ou com dimensões astronômicas. Desta forma, o fenômeno da polarização se mostra uma importante ferramenta de pesquisa. Logo, nota-se a importância desta área de estudo dentro dos ambientes escolares da educação básica, tendo em vista a contribuição que tais resultados podem ter para a sociedade, na forma da prestação de produtos e serviços de saúde e bem estar.

## Referências

1. SANTOS, Elio Molisani Ferreira. ARDUINO: Uma ferramenta para aquisição de dados, controle e automação de experimentos de óptica em Laboratório didático de física no Ensino Médio. Mestrado profissional em Física - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Instituto de Física, 2014. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/handle/10183/115456>
2. V, Eden Costa. Medidas de Intensidade Luminosa. Polarização. Artigo - Universidade Federal Fluminense, Instituto de Física, 2002. Disponível em: [http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1806-11172002000100006](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1806-11172002000100006)
3. Experimento “Pêndulos acoplados” - Gustavo Moreto - Relatórios da disciplina F 609 do Instituto de Física da Unicamp - 2o semestre de 2018; Disponível em: [https://www.ifi.unicamp.br/~lunazzi/F530\\_F590\\_F690\\_F809\\_F895/F809/F609\\_2018\\_sem2/Gustavo-Lunazzi\\_F609\\_S2\\_181203.pdf](https://www.ifi.unicamp.br/~lunazzi/F530_F590_F690_F809_F895/F809/F609_2018_sem2/Gustavo-Lunazzi_F609_S2_181203.pdf)