

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 arroba dac.unicamp.br
Orientador: Prof. Dr. Pedro C. de Holanda
holanda arroba ifi.unicamp.br
Coordenador Prof. Dr. José Joaquim Lunazzi

Sumário

Introdução	2
Teoria	4
Procedimento experimental	5
Observações e alterações experimentais	6
Fotos do Experimento	6
Curva de Resposta dos filtros empregados	7
Caracterização da fonte de luz	11
Ajustes e Acertos Finais	13
Avaliação das fontes de incertezas do experimento realizado	13
Verificação da refletância empregando pelo menos 02 vidros diferentes	14
Propostas de Melhoria	16
Avaliação do Professor Docente	16
Conclusão	16
Referências	17

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).

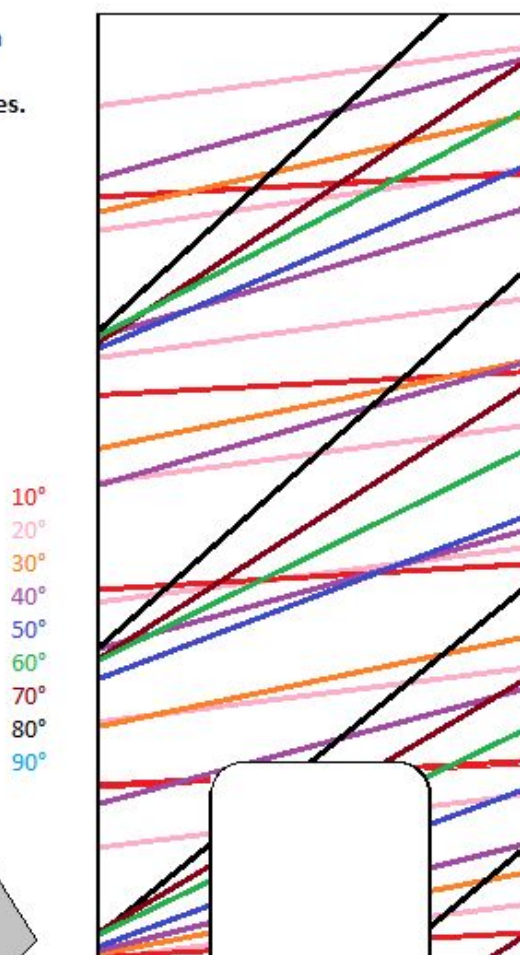
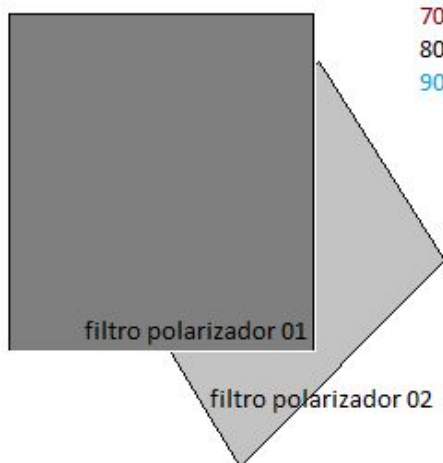
Então, o experimento escolhido é um equipamento para análise quantitativa de transmitância e refletância luminosa, que visa explorar as características da luz, no qual foi possível verificar o seu comportamento de onda a partir da polarização, no qual é possível analisar sua conduta de onda transversal. Estudou-se os estados de polarização da luz a partir de algumas medidas sobre a intensidade luminosa.

Durante o desenvolvimento da disciplina F 609 ministrada pelo Prof Lunazzi, no Laboratório de Óptica, foi possível realizar observações com alguns cristais conhecidos como birrefringentes, como o de calcita, e a partir destas análises estudou-se a polarização, que teve sua origem através da análise experimental de feixes de luz incidindo em cristais birrefringentes cujo comportamento físico segue a Lei de Malus que se trata das consequências relacionadas a decomposição da luz como campo transversal vetorial. Com a finalidade de explorar estes comportamentos, de acordo com a Lei de Malus, adotou-se o emprego do conjunto de duas lâminas conhecidas como polaróides (o polarizador e o analisador) para o qual, tem-se por consequência menos de um fator de absorção que se mostra ausente nos cristais birrefringentes.

Com a finalidade de empregar os filtros polarizadores, de forma didática e de fácil aplicação, construiu-se um suporte semelhante a um gabarito de ângulos que apresenta linhas bem definidas para cada ângulo, permeando o range de 0 a 90 graus, atuando como referência no posicionamento das lâminas polaróides, facilitando a montagem e garantindo o correto posicionamento entre elas afim de, após a incidência perpendicular de um feixe de luz nas mesmas, seja possível analisar o fenômeno da polarização. Mostra-se importante atentar-se as incertezas relacionadas ao posicionamento das lâminas polaróides (detalhe que está abordado no decorrer deste relatório), que para fins didáticos não impossibilita de visualizar as funcionalidades e características dos fenômenos físicos abordados no experimento. O suporte com as lâminas polaróides foram empregados na caracterização da fonte de luz empregada no experimento, com a finalidade de verificar o comportamento não linear da transmitância da luz mediante o emprego das lâminas.

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, foi instalado uma fonte de luz e, na outra extremidade, foi 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.

Esquema ilustrativo da montagem experimental empregada para montagem dos filtros polarizadores.



Abertura para o posicionamento dos filtros polarizadores. O filtro 01 ficará colado no verso deste cartão, posicionado fixamente enquanto o filtro 02 tem sua posição variada de acordo com o ângulo desejado para a variação angular dos filtros.

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, foi 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 $E(r, t) = E_0 * \exp[i(kt - \omega t) + \varphi]$, em que r é a posição, ω é a frequência angular, k é o vetor de onda e φ 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 E_x/E_y forem constantes. Neste caso, E_{0x} e E_{0y} 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 $E_y = E_{0y} * \exp(-i\omega t + \delta)$. 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 \tan relacionada ao ângulo de inclinação α relacionado aos eixos coordenados x e y :

$$\tan(2\alpha) = \frac{2E_{0x} * E_{0y} * (\cos \delta)}{(E_{0x})^2 - (E_{0y})^2}$$

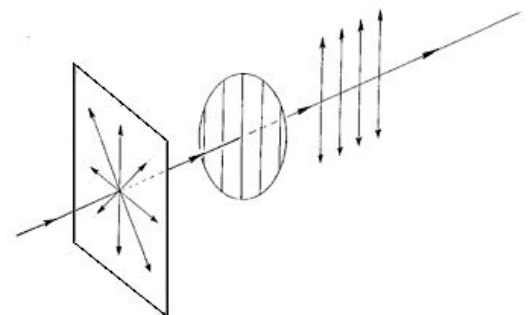
Considerando $\delta=90^\circ$, então $\tan(2\alpha)=0$.

$$\left(\frac{E_x}{E_{0x}}\right)^2 + \left(\frac{E_y}{E_{0y}}\right)^2 = 1$$

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

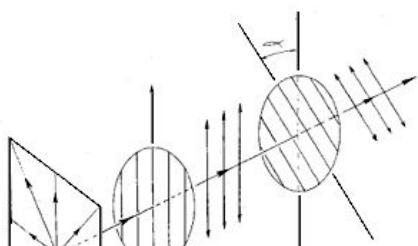
mostra a seguir: $E_y = \left(\frac{E_{0y}}{E_{0x}}\right) * E_x$

Neste experimento, a fim de estudar o comportamento da luz bem como a variação de sua intensidade mediante certas situações, foi 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 polaróide (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 foi 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:

$$I = I_m * (\cos \alpha)^2$$



representa a intensidade máxima e α 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.

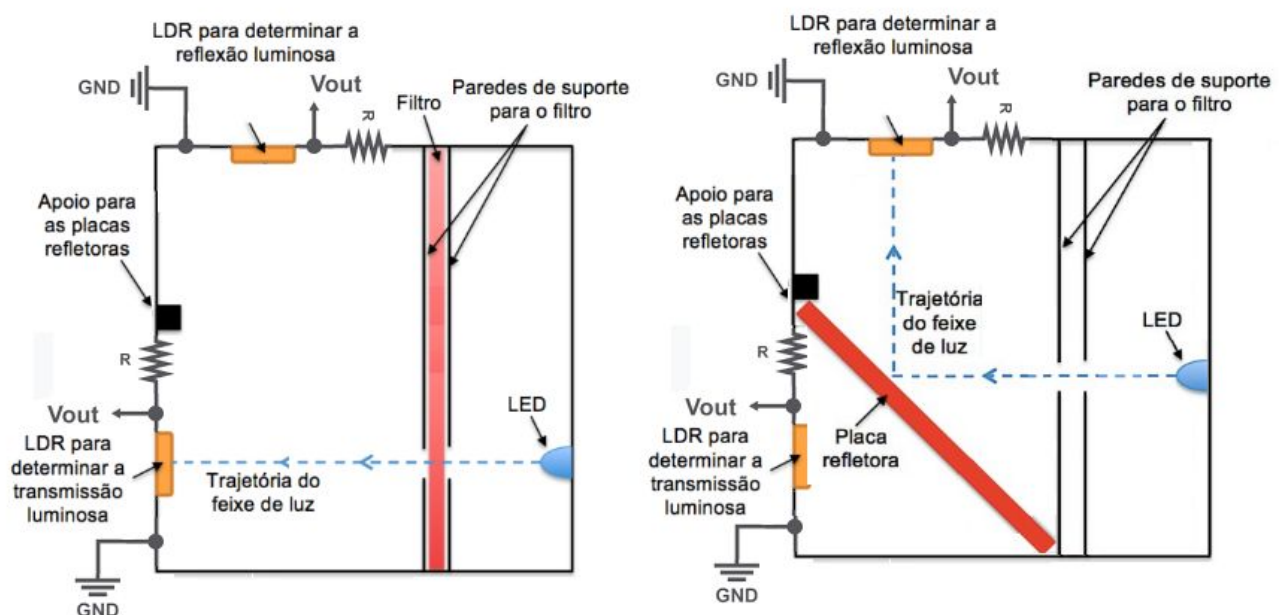
Procedimento experimental

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, empregou-se 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 foi 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 foi realizada a partir da colocação de um filtro no suporte existente entre o LED e o resistor LDR. Para tal, realizou-se 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, empregou-se 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 abaixo algumas fotos da montagem experimental realizada, incluindo ambas as formas de emprego do experimento: transmitância e refletância da luz, com o emprego do elemento refletivo e de alguns filtros usados. Uma das fotos exibe todos os filtros empregados no decorrer das atividades.



Figura 02: (a) filtros empregados no experimento, (b) experimento na função de refletância, (c) experimento na função de transmitância empregando filtro laranja.

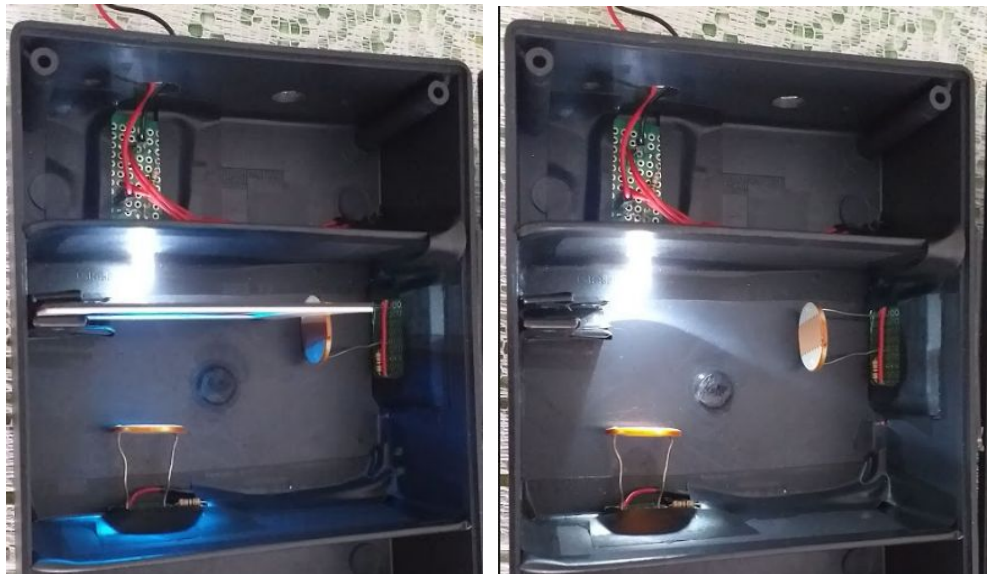


Figura 03: (a) experimento na função de transmitância empregando filtro azul (b) experimento com fonte de luz incidindo no resistor LDR sem filtros.

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 (LF42) 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)

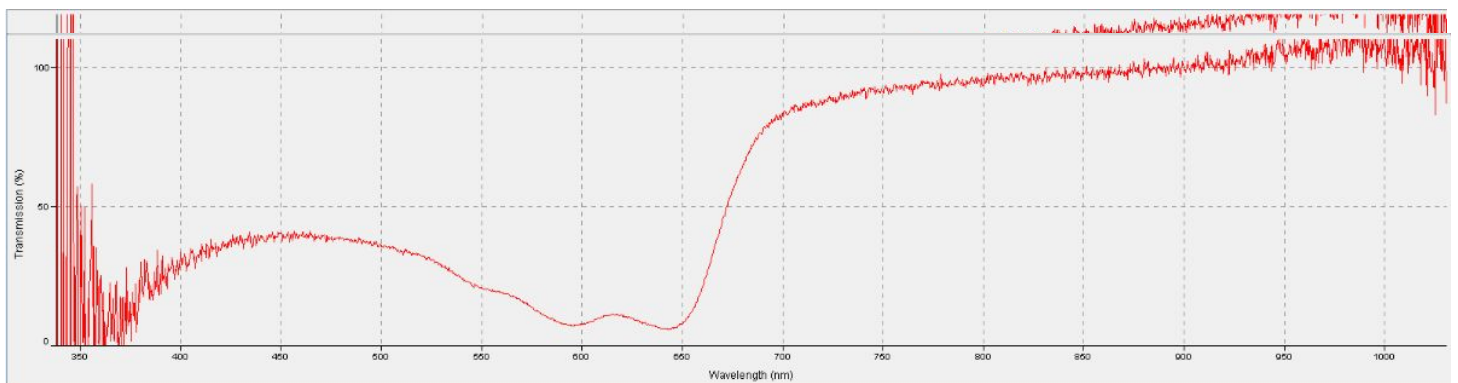
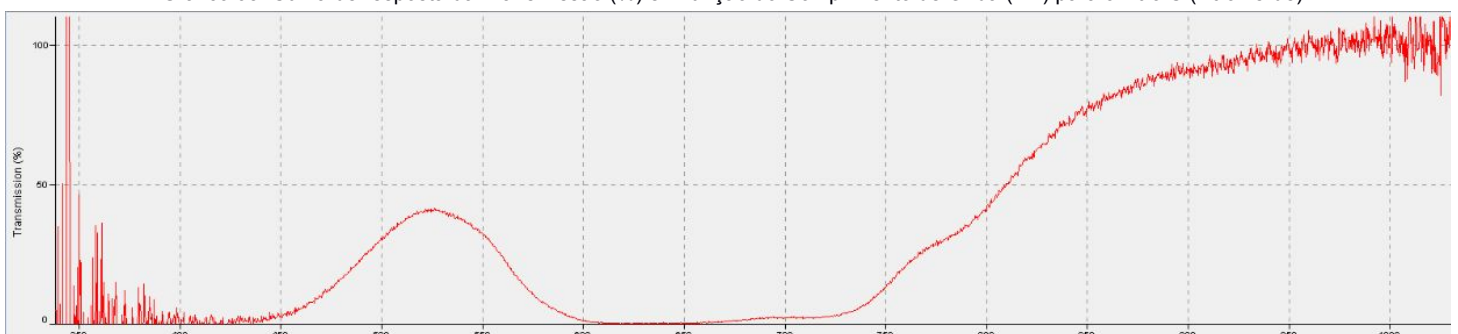


Gráfico 02: Curva de resposta da Transmissão (%) em função do Comprimento de Onda (nm) para o filtro B (filtro azul)

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



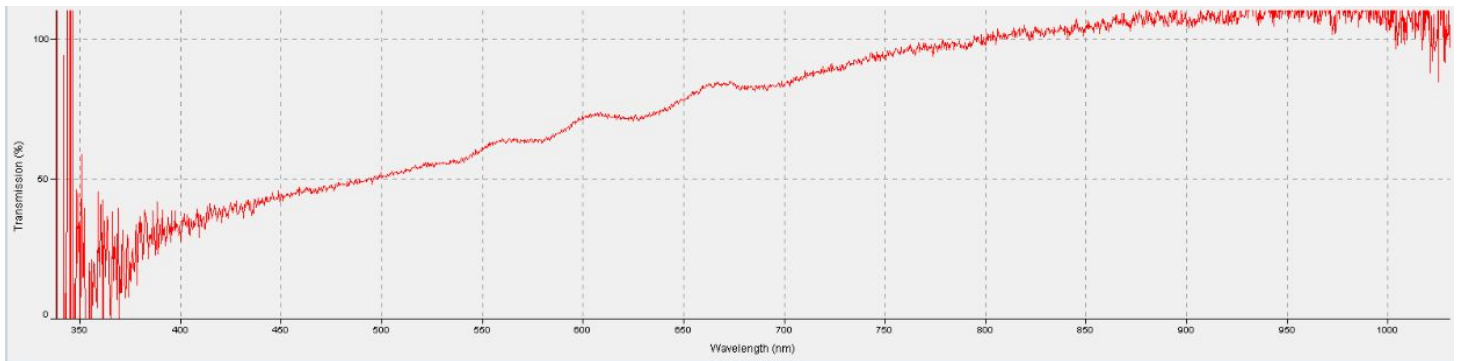


Gráfico 04: Curva de resposta da Transmissão (%) em função do Comprimento de Onda (nm) para o filtro D (filtro cinza)

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

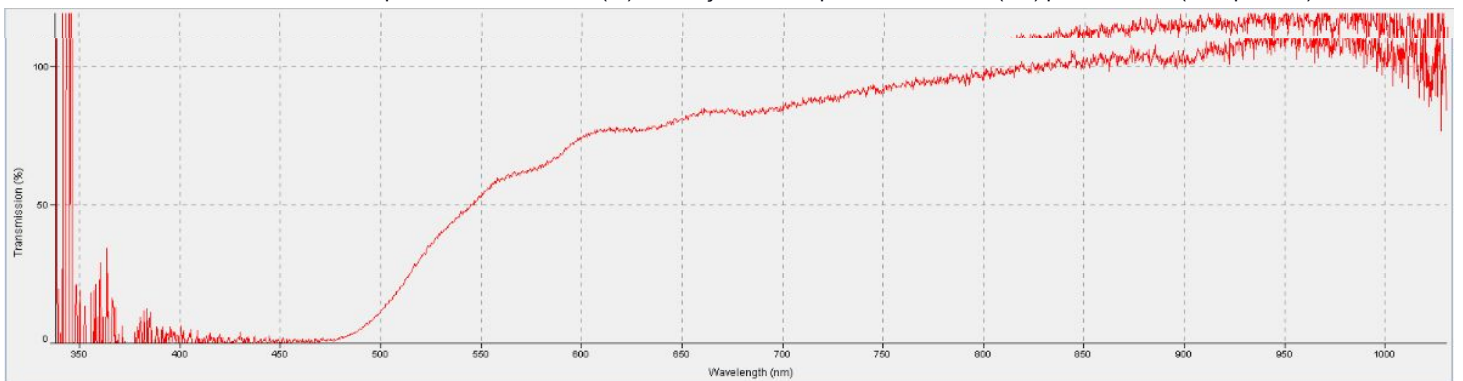


Gráfico 06: Curva de resposta da Transmissão (%) em função do Comprimento de Onda (nm) para o filtro F (laranja)

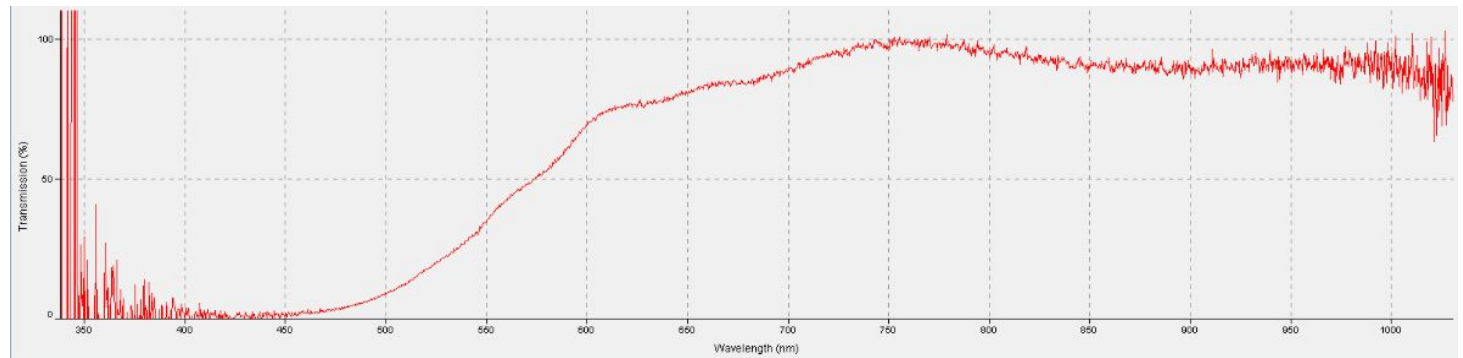


Gráfico 07: Curva de resposta da Transmissão (%) em função do Comprimento de Onda (nm) para o filtro G (marrom)

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

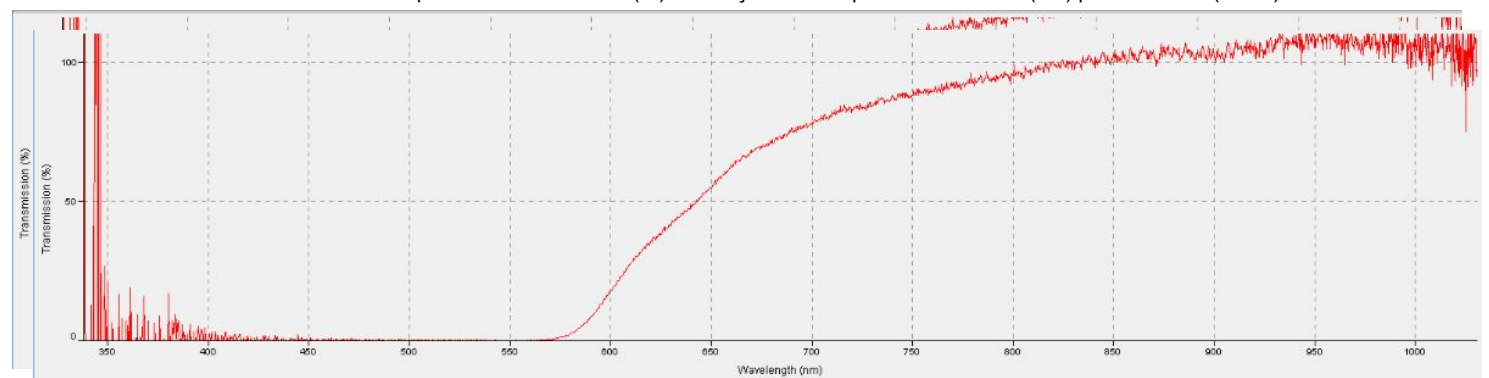


Gráfico 09: Curva de resposta da Transmissão (%) em função do Comprimento de Onda (nm) para o filtro I (vermelho).

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.

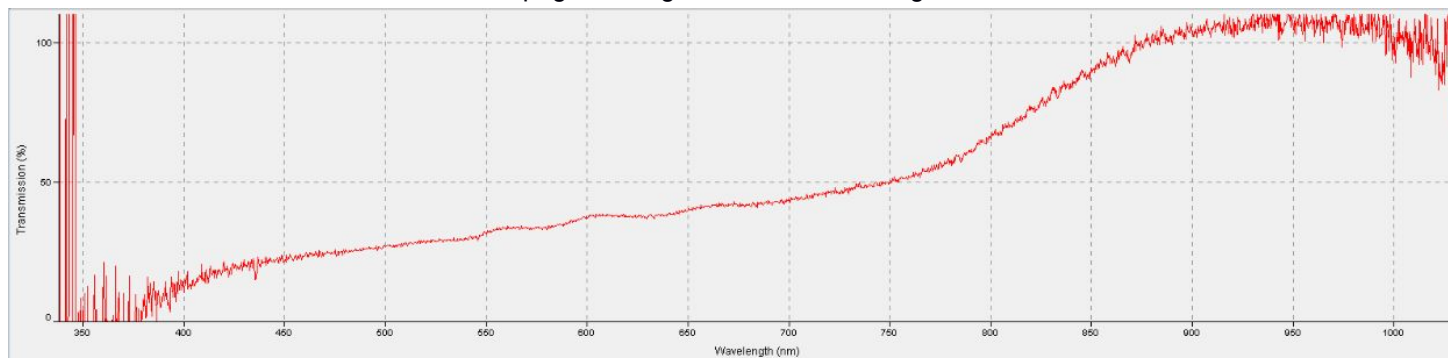
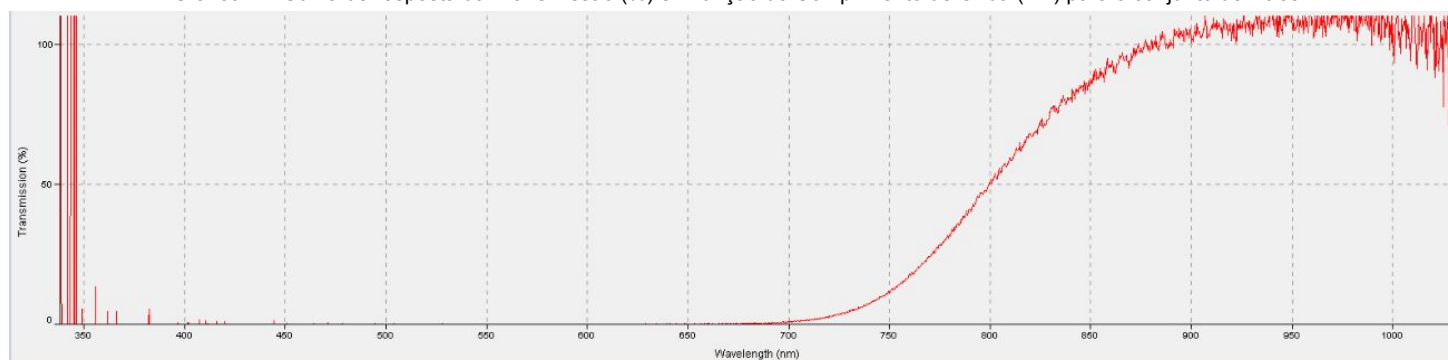


Gráfico 10: Curva de resposta da Transmissão (%) em função do Comprimento de Onda (nm) para o conjunto de filtros polarizadores posicionados de forma que se visualizasse a máxima transmitância da luz.

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. Como melhoria do experimento, confeccionou-se uma tampa com a finalidade de diminuir as componentes de incerteza experimentais: tampa preta com aberturas estrategicamente posicionadas, que permite diminuir a incidência de luz externa e simultaneamente, medir as tensões obtidas em cada LDR do circuito.

Na sequência mediu-se os valores resultantes de transmitância com cada filtro empregado no experimento. A seguir mostra-se os valores resultantes da caracterização da fonte de luz empregada no experimento. 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.

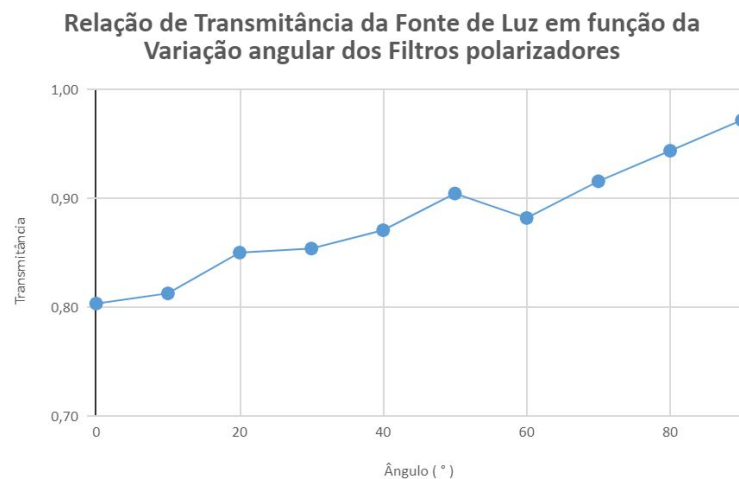
Elemento	Observações	Tensão	Transmitância
[-]	[-]	[V]	[%]
sem filtro	valor de referência	4,27	100,0
I	filtro transparente (levemente acinzentado)	4,39	97,3
A	filtro amarelo	4,73	90,3
B	filtro vermelho	5,20	82,1

C	filtro cinza claro	4,53	94,3
D	filtro verde	4,93	86,7
E	filtro marrom	4,99	85,6
F	filtro azul	4,79	89,3
G	filtro verde	4,97	86,0
H	filtro amarelo escuro	4,83	88,5

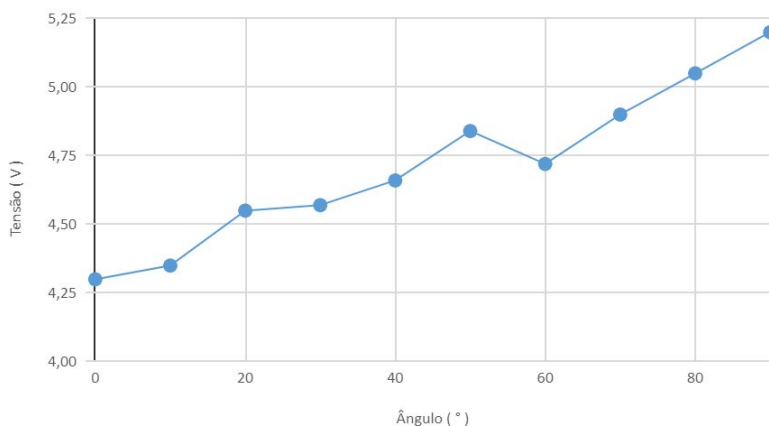
Tabela A: Valores de transmitância obtidos experimentalmente com o experimento, com diferentes filtros.

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

Tabela B: Valores obtidos na caracterização da fonte de luz empregada no experimento.



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



Ajustes e Acertos Finais

Anualmente com a finalidade de disseminar os conhecimentos adquiridos durante o semestre, na disciplina F 609 ministrada pelo Prof. Lunazzi, visando agregar e enriquecer os conhecimentos dos estudantes, de forma a propiciar um momento de descontração e troca de conhecimentos, ocorre o evento CàC (Consulta à Comunidade). Nesta oportunidade, é possível prestigiar os trabalhos realizados pelos alunos, situação esta na qual os projetos ficam expostos a toda comunidade acadêmica da UNICAMP: professores, alunos e funcionários. Este ocorre no corredor lateral do prédio D ("da Pós"), paralelo à Rua Lev Landau, frente ao Laboratório de Ensino de Óptica, o LF-42. Neste ano o CàC ocorreu no dia 18 de novembro de 2019, das 17h às 20hrs.

Tal evento atua como ferramenta de disseminação do conhecimento adquirido devido às atividades de iniciação científica, instrumentação, e ensino. Devido a interação entre os professores e alunos, bem como as dúvidas e sugestões construtivas que aparecem durante a apresentação, todo esse enriquecimento permite que ocorra melhoria nos trabalhos confeccionados, bem como possíveis ajustes no conteúdo e na qualidade da apresentação dos mesmos. Este evento tem importância histórica, ocorrendo a aproximadamente 30 anos, tendo em vista o objetivo das disciplinas F 609 e F 709, na qual trabalha a Instrumentação para o Ensino.

Durante a exposição do experimento proposto neste relatório, em uma conversa rica com o Prof Lunazzi, o mesmo sugeriu alguns estudos a serem realizados no experimento, que visam a sua melhoria e a consequente absorção de conhecimentos acerca do assunto.

As observações estão dispostas a seguir:

Avaliação das fontes de incertezas do experimento realizado

É importante verificar as fontes de incerteza do experimento que estão relacionadas ao posicionamento e a variação angular mínima dos filtros polarizadores, de forma a avaliar

qual a sensibilidade da transmitância do equipamento quando se observa mínimas variações angulares.

Após a exposição realizada no dia 18 de novembro, a fim de buscar solucionar/esclarecer a questão levantada, mediu-se a transmitância obtida no equipamento quando se emprega o conjunto de filtros polarizadores em diversos ângulos (10° , 30° , 60° e 75°). Nesta situação, para cada posição angular dos filtros, buscou-se medir as tensões resultantes nos diferentes ângulos. Na sequência, com a ajuda de um transferidor e um lápis, empregando a relação matemática da hipotenusa em triângulos, criou-se para cada variação angular desejada (1° , 2° , 3° e 4°) um triângulo cujo um dos catetos eram fixos. Apartir da variação do outro cateto, conhecendo-se a relação matemática desejada (sen a, por exemplo) definiu-se qual seria o tamanho correto do lado do triângulo para que, por consequência se obtenha os ângulos de 11, 12, 13 ou 14 graus, por exemplo. Assim, foi possível realizar variações mínimas (cerca de 1° a 4°), no qual tinha-se como objetivo verificar a resposta da tensão resultante para cada variação, visando analisar a sensibilidade do experimento. É importante citar como fontes de incerteza, os elementos a seguir:

- Erro de paralaxe humano
- Erro dos instrumentos de medição (régua, posicionamento do lápis no momento de desenhar/marcar a abertura angular entre os filtros, abertura do compasso)
- Erro da tensão obtida no LDR devido a possível interferência da iluminação externa
- Erro da medição do multímetro empregado no momento de medir os valores de tensão.

Após posteriores medições, evidenciou-se que, ocorre variações de tensão quando as aberturas angulares são maiores ou iguais a 3° . Nesta situação, nota-se a influência de tensões na ordem de 10mV ou 0,01V.

Com a finalidade de diminuir as componentes de incerteza experimentais, confeccionou-se uma tampa preta com aberturas estrategicamente posicionadas, que permite diminuir a incidência de luz externa e simultaneamente, medir as tensões obtidas em cada LDR do circuito.

Os valores obtidos foram medidos 3 vezes variando-se a abertura angular para cada medição, com a finalidade de evidenciar e comprovar os resultados obtidos. Tais valores estão dispostos na tabela a seguir.

Ângulo	Variação angular	Tensão obtida anteriormente	Tensão obtida posteriormente
[$^\circ$]	[$^\circ$]	[V]	[V]
10	4°	4,894	4,909
30	3°	4,948	4,960
60	3°	5,198	5,209
75	4°	5,207	5,218

Tabela C: Valores experimentais obtidos a fim de estudar a sensibilidade do experimento

Verificação da refletância empregando pelo menos 02 vidros diferentes

Durante a apresentação do experimento à comunidade acadêmica, surgiu o importante questionamento a cerca da refletância do experimento quando se empregam filtros compostos por vidro, como elemento refletivo. A partir de consultas em materiais de referência, pode-se conhecer os valores referentes aos fatores relacionados a refletância de cada material a partir de sua composição e do ângulo de incidência.

As figuras dispostas a seguir apresentam os gráficos da variação do fator solar relativo (FSrel) em função do ângulo de incidência, fazendo-se uma comparação entre os diferentes tipos de materiais transparentes ensaiados e entre eles e o vidro incolor de 3 mm (material usual de referência). Foram considerados nesses gráficos ângulos entre 30 e 80 graus, pois em ângulos menores a variação e as diferenças do FS não são significativas.

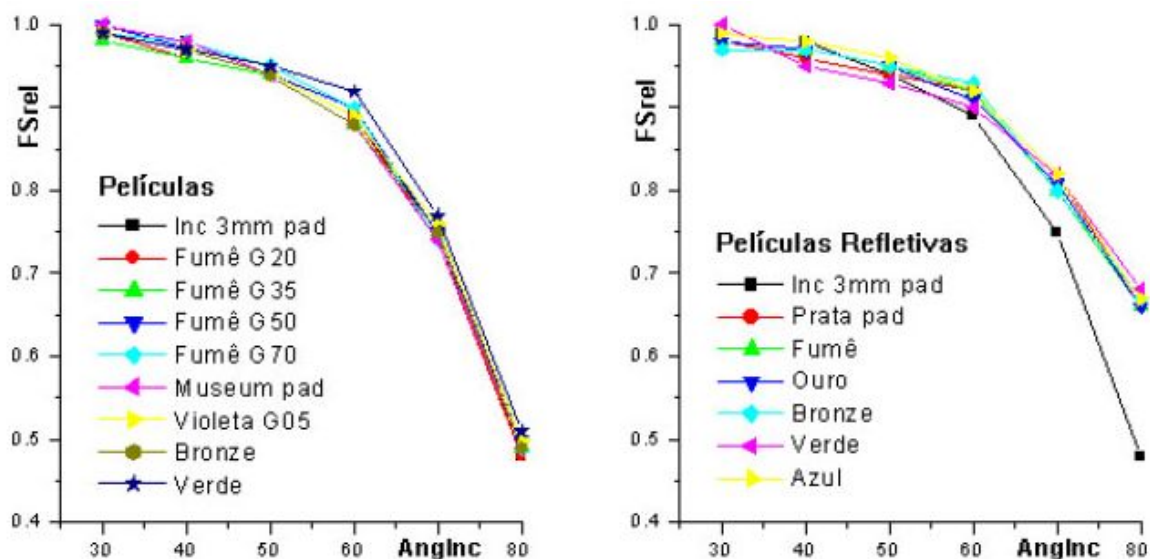


Figura A: Filtros comuns (à esquerda) e filtros refletivos (à direita) em função do ângulo de incidência

Após a exposição realizada no dia 18 de novembro, a fim de buscar solucionar/esclarecer a questão levantada, mediu-se a refletância obtida quando se emprega 02 filtros diferentes cinza: um claro e um mais escuro, cujo material de composição é o vidro fumê (citado na figura A), com abertura angular de aproximadamente 40°, de espessura de 4mm, muito semelhante a espessura disponível no material de referência consultado (e exposto na figura A).

Evidenciou-se que a refletância obtida para tais vidros é de 12% e 12,8% respectivamente. É importante ressaltar as componentes de incertezas que podem influenciar experimentalmente nos resultados alcançados. Posteriormente à apresentação, mediu-se novamente a transmitância e a refletância do experimento com os filtros disponíveis, bem como os elementos refletivos utilizados. Os resultados estão dispostos na tabela a seguir:

Elemento	Observações	Tensão	Refletância
[-]	[-]	[V]	[%]
Espelho	elemento refletivo	6,54	65,3
C	filtro cinza claro	16,70	12,0
I	filtro transparente (levemente acinzentado)	15,65	12,8

Tabela D: Valores experimentais medidos após a apresentação do experimento, analisando a transmitância e refletância do experimento

Ao término das apresentações e últimas análises a serem realizadas no experimento, foi necessário devolver ao Laboratório de Óptica (LF42) – UNICAMP, os filtros empregados no decorrer das atividades experimentais: 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. Pois tais elementos pertencem ao Laboratório e, com a finalidade de permitir que outros alunos possam construir experimentos e atividades didáticas ampliando assim seus conhecimentos, foi necessário a devolução das peças.

Assim o experimento entregue após o término das apresentações, possui outros filtros coloridos compostos por acetatos e acrílicos que foram gentilmente cedidos pelo Prof Lunazzi, que ministra a disciplina.

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 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
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
4. Santos, Joaquim Pizzutti; Rorizll, Maurício. Influência do ângulo de incidência nos ganhos de calor solar através de materiais transparentes. Artigo - Universidade Federal de Santa Maria. Departamento de Estruturas e Construção Civil, Centro de Tecnologia, 2012. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1678-86212012000100010

5. Ustra, Andréa Teixeira. Estudo da propagação da luz em materiais birrefringentes. Relatório Final de Instrumentação para o Ensino – F 809. Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP. Instituto de Física Gleb Wataglin (IFGW), 2004. Disponível em: https://www.ifi.unicamp.br/~lunazzi/F530_F590_F690_F809_F895/F809/F809_s em1_2004/992647Andrea-Frejilch_F809_RF.pdf