

**Docentes:**

Doutor Carlos Augusto Ramos (CAR)

- Regente, Teórica, Prática Laboratorial

Doutor Jorge Duarte (FJD)

- Prática Laboratorial

Mestre Áurea Alexandra Matias (AUM)

- Teórico-Prática

**Unidade Curricular**

Física Aplicada – 2º ano, 1º semestre

Novembro de 2016

**Grupo 4 - Turma 2DJ**

1151088 - Diana Silva

1150693 - Gonçalo Silva

1140808 - Hélder Silva

1060503 - Pedro Fernandes

Licenciatura em Engenharia Informática

Tema 4 - Polarização da Radiação Eletromagnética

[FSIAP – Física Aplicada]

1. Resumo

…..

1. Índice

[1. Resumo 0](#_Toc466232921)

[2. Índice 1](#_Toc466232922)

[3. Índice de Figuras 3](#_Toc466232923)

[4. Índice de Tabelas 3](#_Toc466232924)

[5. Índice de Equações 3](#_Toc466232925)

[6. Introdução 3](#_Toc466232926)

[7. Objetivos 4](#_Toc466232927)

[8. Aplicação 5](#_Toc466232928)

[9. Desenvolvimento do Projeto 6](#_Toc466232929)

[9.1. Fundamentação Teórica 6](#_Toc466232930)

[9.1.1. Radiação Eletromagnética 6](#_Toc466232931)

[9.1.2. Lei de Brewster 6](#_Toc466232932)

[9.1.2.1. Reflexão 6](#_Toc466232933)

[9.1.2.2. Refração 6](#_Toc466232934)

[9.1.3. Lei de Mallus 6](#_Toc466232935)

[9.1.3.1. Polarização 6](#_Toc466232936)

[9.1.3.2. Feixe de Luz 6](#_Toc466232937)

[9.2. Fundamentação Experimental 6](#_Toc466232938)

[9.2.1. Lei de Brewster 6](#_Toc466232939)

[9.2.1.1. Ângulo da Luz Incidente 6](#_Toc466232940)

[9.2.1.2. Influência do Tipo de Material 6](#_Toc466232941)

[9.2.2. Lei de Mallus 6](#_Toc466232942)

[9.2.2.1. Feixe de Luz (caraterísticas) 6](#_Toc466232943)

[9.2.2.2. Ângulo de Rotação da Lente 6](#_Toc466232944)

[9.3. Fundamentação Experimental 6](#_Toc466232945)

[9.3.1. Lei de Brewster 6](#_Toc466232946)

[9.3.1.1. Ângulo da Luz Incidente 6](#_Toc466232947)

[9.3.1.2. Influência do Tipo de Material 6](#_Toc466232948)

[9.3.2. Lei de Mallus 11](#_Toc466232949)

[9.3.2.1. Feixe de Luz (caraterísticas) 11](#_Toc466232950)

[9.3.2.2. Ângulo de Rotação da Lente 13](#_Toc466232951)

[9.4. Aplicação Informática 13](#_Toc466232952)

[9.4.1. Descrição 13](#_Toc466232953)

[9.4.2. Objetivos 13](#_Toc466232954)

[9.4.3. Engenharia de Requisitos 13](#_Toc466232955)

[9.4.4. Análise 13](#_Toc466232956)

[9.4.5. Desenho 13](#_Toc466232957)

[9.4.6. Resultados 13](#_Toc466232958)

[9.4.6.1. Feixe de Luz (caraterísticas) 13](#_Toc466232959)

[9.4.6.2. Ângulo de Rotação da Lente 13](#_Toc466232960)

[10. Conclusão 15](#_Toc466232961)

[11. Referências Bibliográficas 16](#_Toc466232962)

[Anexo A: *Lista de Tarefas – Prazos (1ª fase)* 1](#_Toc466232963)

[Anexo B: *Lista de Tarefas – Prazos (2ª fase)* 2](#_Toc466232964)

1. Índice de Figuras

[Figura 1 – Radiação eletromagnética (retirado de www.infoescola.com/fisica) 6](#_Toc466237259)

[Figura 2 – Polarização por Reflexão (RETIRADO DE XXXXXXXXXXXXXXXX) 7](file:///C:\Users\NANA\Dropbox\ISEP\2º%20ano\FSIAP\Relatório.docx#_Toc466237260)

[Figura 3 – Polarização – água (retirado de ….XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX) 7](file:///C:\Users\NANA\Dropbox\ISEP\2º%20ano\FSIAP\Relatório.docx#_Toc466237261)

1. Índice de Tabelas

[Tabela 1 – Divisão de tarefas - prazos 1](#_Toc466232965)

1. Índice de Equações

[Equação 1 – Vetor de Poynting 6](#_Toc466237267)

[Equação 2 – Reflexão da luz 8](#_Toc466237268)

1. Introdução
   * 1. FALAR DA FASE INICIAL
     2. PESQUISA APROFUNDADA… VÁRIOS TOPICOS QUE SURGIRAM
     3. Delineamento de tarefas (remeter ao anexo 1)
2. Objetivos
3. Aplicação
4. dfgdfgdf
5. Desenvolvimento do Projeto

## Fundamentação Teórica

O sistema Terra-atmosfera está em constantemente modificação absorvendo radiação solar e emitindo a sua própria radiação para o espaço sendo que, praticamente toda a troca de energia entre a Terra e o resto do Universo ocorre por radiação. A transferência de calor dá-se fundamentalmente pela radiação.

### Radiação Eletromagnética

A radiação eletromagnética carateriza-se por ondas produzidas pelas oscilação ou aceleração de uma carga elétrica sendo constituídas por componentes elétricos e magnéticos. A aceleração da carga elétrica irradia energia, ou seja, quando o campo elétrico varia com o tempo numa dada posição no espaço, provoca uma variação do campo magnético tal como demonstrado na figura seguinte. (Halliday, 2004)

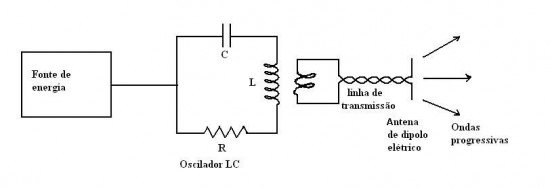
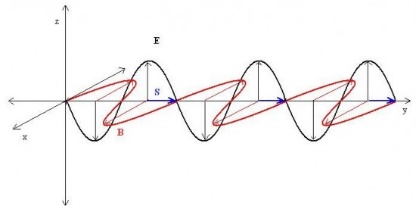


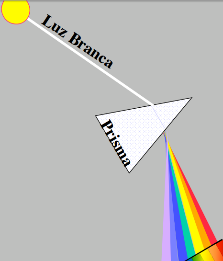
Figura – Radiação eletromagnética (retirado de www.infoescola.com/fisica)

 O campo elétrico oscila numa direção perpendicular ao campo magnético e a direção de propagação é dada pelo vetor de Poynting conforme a equação 1. Podemos verificar que o vetor é sempre perpendicular aos vetores E e B. No eixo x observamos o campo elétrico, enquanto que o eixo z mostra o campo elétrico a oscilar. Consequentemente, o vetor de Poynting estará no eixo y, sempre coincidindo com a direção de propagação da onda. (Kítor, 2016)

Equação – Vetor de Poynting

Figura – Vetor de Poynting (retirado de www.infoescola.com/fisica)

Em 1665, Isaac Newton demonstrou que a luz branca, ao atravessa um prisma, decompõe-se em diversas cores, sendo que o estudo da natureza da luz foi um dos grandes impulsionadores da física moderna.

 No século XVII havia duas visões: Isaac Newton acreditava que a luz era composta por partículas, já Christian Huygens acreditava que a luz era uma onda. Em 1803, Thomas Young demonstrou a natureza ondulatória da luz através de fendas e mostra que a luz quando encontra um obstáculo (fenda) difrata, assim como, quando convergem e encontram outras ondas, interferem-se. Clerk Maxwell desenvolveu no século XIX a teoria moderna do eletromagnetismo demonstrando que a luz é uma forma de onda eletromagnética.

Na natureza podemos observar radiação eletromagnética de inúmeras formas, desde as ondas geradas pelos processos naturais, como temos por exemplo a luz, até às superficiais, como as ondas de rádio, raios-X, entre outras. Todas têm como caraterística comum serem resultado de oscilações do campo eletromagnético.

A intensidade aproximada da velocidade da onda eletromagnética é de 3x108 m/s no vácuo. Noutros meios, a permissividade elétrica e magnética do meio é menor. Por esse motivo, a velocidade deste tipo de onda é menor.

O comprimento de onda (ʎ) é a distância entre as cristas sucessivas que podemos observar, por exemplo, na figura 2. Já a frequência de onda (f) é o número de ondas completas (1 ciclo) que passa por um dado ponto por unidade de tempo (segundos).

As ondas diferem-se quanto ao período T de oscilação dos respetivos campos elétrico e magnético, implicando nas diferentes frequências. A velocidade da radiação eletromagnética (v), no vácuo, é igual para todas as frequências o que implica uma variação do comprimento da onda ʎ que é inversamente proporcional à frequência (f). Isto é, quanto maior a frequência, menor o comprimento de onda e vice-versa.

Equação – Frequência-T Equação – velocidade, comprimento de onda Equação – energia e frequência

ou

Albert Einstein deduziu que a energia é proporcional à frequência. O h usado na equação 4 designa a constante de Plank. Sendo uma constante, podemos concluir que uma porção de radiação ultra-violeta tem menos energia do que da de raios-X, pois os seus fotões têm mais energia.

Tabela – Frequência e comprimento de onda (exemplos)

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Tipo de onda | Frequência | Comprimento de onda |
| Rádio AM | De 1,70 x 106 Hz a 5,35 x 105 Hz | 176m a 560m |
| Vermelho |  | 630-740nm |
| Luz visível | De 7,5 x 1014 Hz a 4,3 x 1014 Hz | 4 x 10-7m a 7 x 10-7m |
| Luz violeta |  | 380-440 nm |
| Raios-X | De 6 x 1019 Hz a 3 x 1017 Hz | 5 x 10-12m a 10-9m |

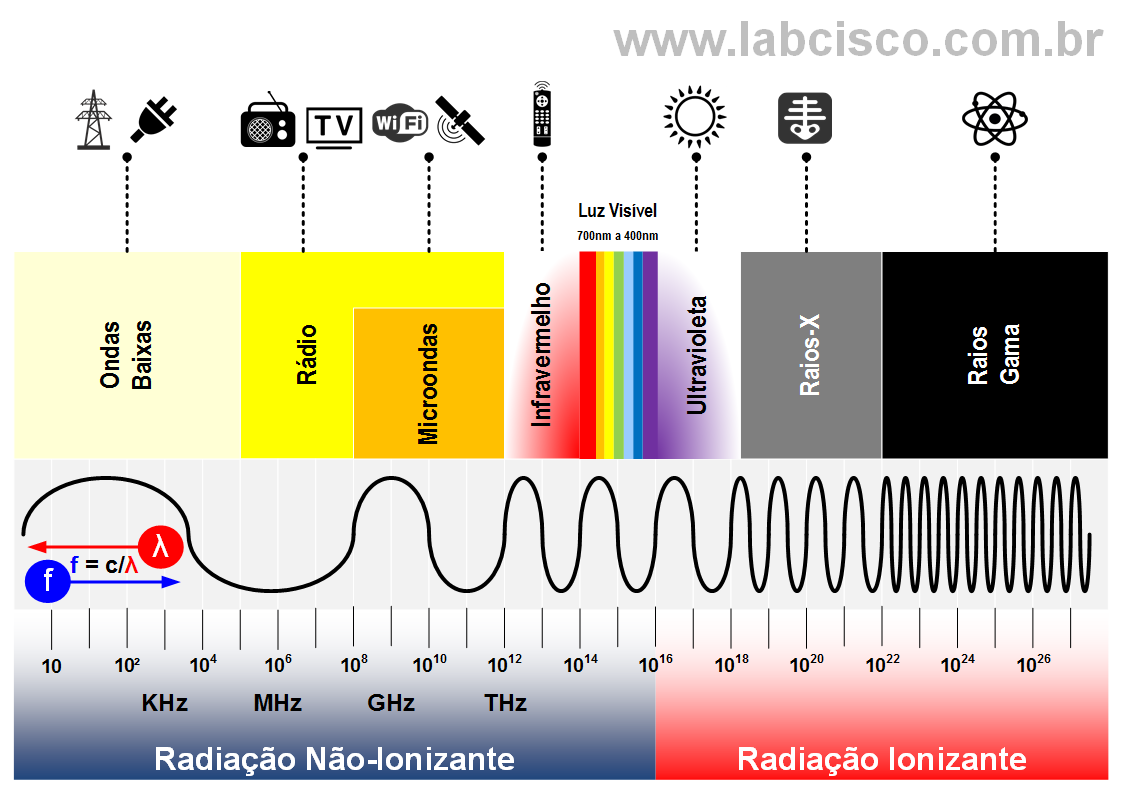


Figura – Espetro eletromagnético na natureza e exterior (retirado de labcisco.com.br)

Pela tabela 1 podemos inferir que a cor à qual correspondem fotões mais energéticos é a violeta pois quanto menor o comprimento de onda, maior a energia.

A maior parte da energia radiante do sol está na luz visível (correspondendo a ~43% do total emitido, 49% no infra-vermelho próximo e 7% na radiação ultravioleta. Menos de 1% é emitida como raios X, rais gama e ondas de rádio. Quando qualquer forma de energia radiante é absorvida por um objeto, o resultado é um crescimento do movimento molecular e um consequente aumento de temperatura.

### Polarização por Reflexão/Lei de Brewster

O fenómeno de reflexão ocorre quando o ângulo de incidência é igual ao ângulo de reflexão (exemplo: espelho). O fenómeno de polarização seletiva mediante incidência de luz em superfícies dielétricas foi explicado pelo físico da Royal Society de Londres, sir David Brewster na primeira metade do séc. XIX. A polarização por reflexão, ou também conhecido como lei Brewster, tem várias aplicações práticas, mas fundamentalmente o importante é perceber em que material existe a reflexão. (Grimm, 1999)

Quando a luz não polarizada incide num material refringente, observe-se que existe uma reflexão preferencial para as ondas em que o vetor do campo elétrico vibra perpendicularmente ao plano de incidência. O ângulo de Brewster é quando para determinado ângulo de incidência, a luz refletida é linearmente polarizada na direção perpendicular ao plano de incidência e o feixe refratado é parcialmente polarizado (Sampaio, 2016). Isto é, quando luz natural incide sobre uma superfície dielétrica, de índice de refração maior do que o meio de origem, sob um determinado ângulo, o de Brewster, a luz refletida é linearmente polarizada, com direção de polarização paralela ao plano da superfície dielétrica como demonstrado na figura seguinte.

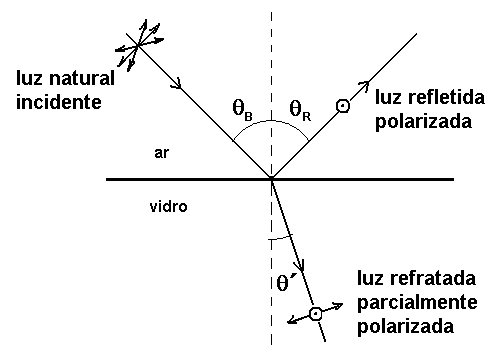
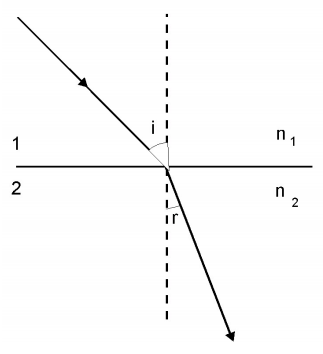


Figura - Polarização por reflexão numa interface ar-vidro (retirado de www.ebah.com.br)

Podemos observar nas figuras seguintes que a soma dos ângulos de reflexão (Ɵr) e de refração (Ɵ’) é de 90º. Iremos de seguida analisar os índices de refração, e, com o auxílio da Lei de Snell-Descartes, a relação entre os índices de refração e o ângulo de Brewster.

### Lei de Snell-Descartes

Quando a luz se propaga atravessando diferentes meios, sofre refração, mudando de velocidade em função dos diferentes índices de refração (n). Se n2>n1 temos:

Equação – índices de refração

Segundo a Lei de Snell-Descartes, passando a luz de um meio menos refringente para outro mais refringente, o raio refratado aproxima-se do normal, se o raio incidir obliquamente. Já na situação oposta, o raio sofre um desvio, afastando-se do normal, se o raio incidir obliquamente.

Figura - Lei de Snell-Descartes (retirado de www.infoescola.com)

Equação 7 – Ângulo de Brewster

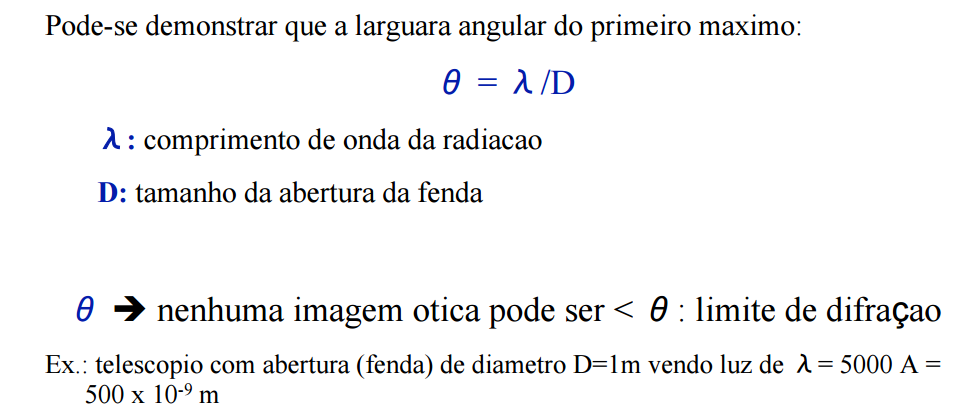
Ɵ – ângulo de Brewster; n1 – índice de refração do meio de onde a luz incide; n2 – onde ocorre a refração

A frequência de onda não muda na refração (se não alterarmos a fonte), fazendo com que v seja diretamente proporcional ao comprimento de onda. Logo podemos concluir que, estando o raio a incidir obliquamente, quanto maior o índice de refração, menor a velocidade, menor o senƟ e menor o comprimento de onda.

N1v1=n2v2 | n1ʎ1=n2ʎ2 | v1/senƟ1= v2/senƟ2 | v1/ʎ1=v2/ʎ2 | senƟ1/ʎ1=senƟ2/ʎ2

Tabela – Índices de Refracção de alguns meios

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Equação | Material/Meio | Índice de Refracção |
| Vácuo | N=1 |
| Ar | N= 1,0003 |
| Vidro | N= 1,5 |



### Lei de Mallus

### Polarização

### Feixe de Luz

## Fundamentação Teórico-Experimental

### Lei de Brewster

### Ângulo da Luz Incidente

<http://fisica.ufpr.br/grimm/aposmeteo/cap2/cap2-7.html>

<https://books.google.pt/books?id=OZ-NDOMjZvEC&pg=PA296&lpg=PA296&dq=lei+de+brewster&source=bl&ots=03GThVY7UF&sig=27NBlk_OMKfXTYikpXTAuJhgF2Y&hl=pt-PT&sa=X&ved=0ahUKEwifsvbEtpXQAhWC0hoKHe2xCfk4ChDoAQgZMAA#v=onepage&q&f=false>

página 296 -> fórmulas

A polarização por reflexão tem inúmeras aplicações práticas. Óculos polarizados sã um exemplo em que usam o princípio do ângulo de Brewster para diminuir a incidência da luz refletida de superfícies horizontais. Também os monitores de computador possuem uma película polarizada.

### Influência do Tipo de Material

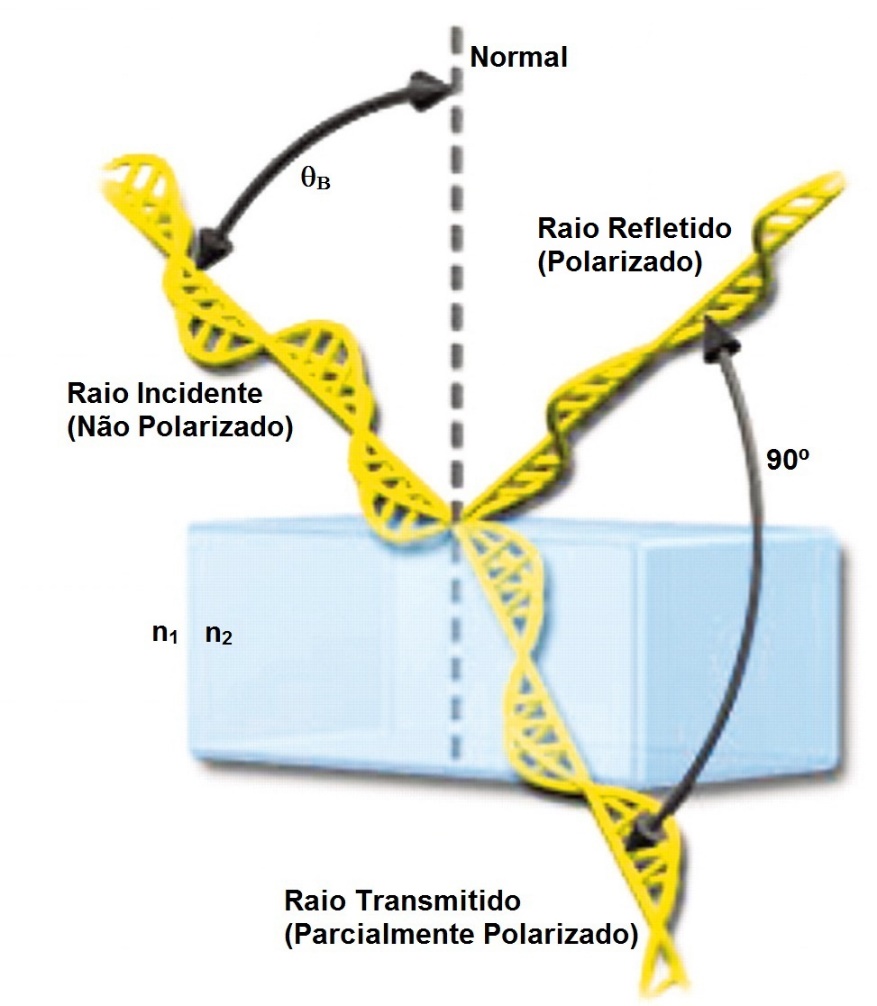
**Modo geral:**

Figura – Polarização por Reflexão (RETIRADO DE XXXXXXXXXXXXXXXX)

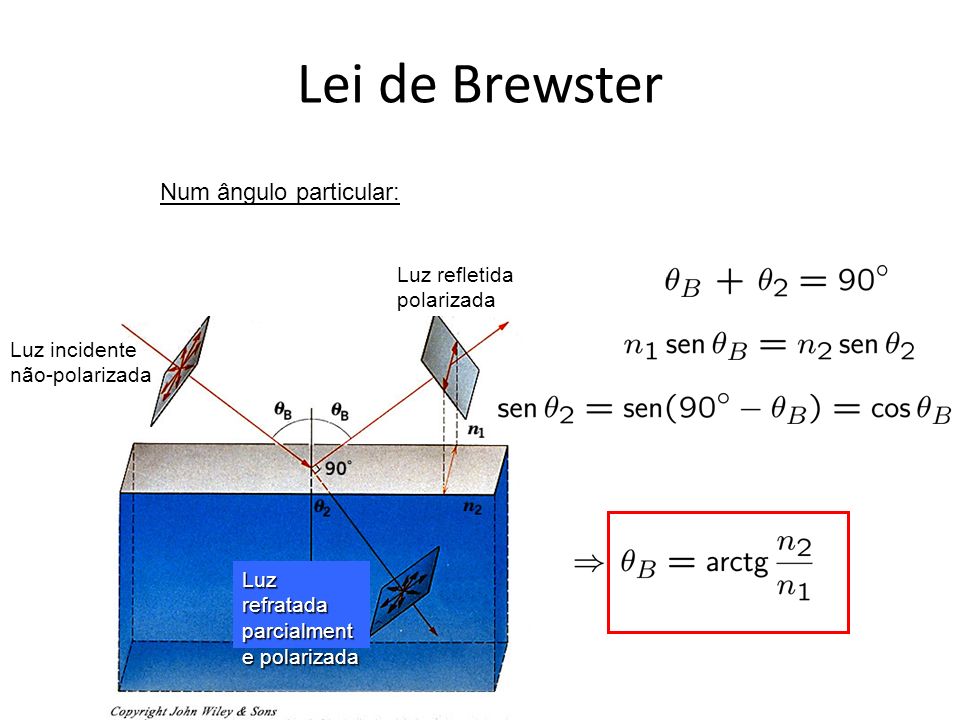
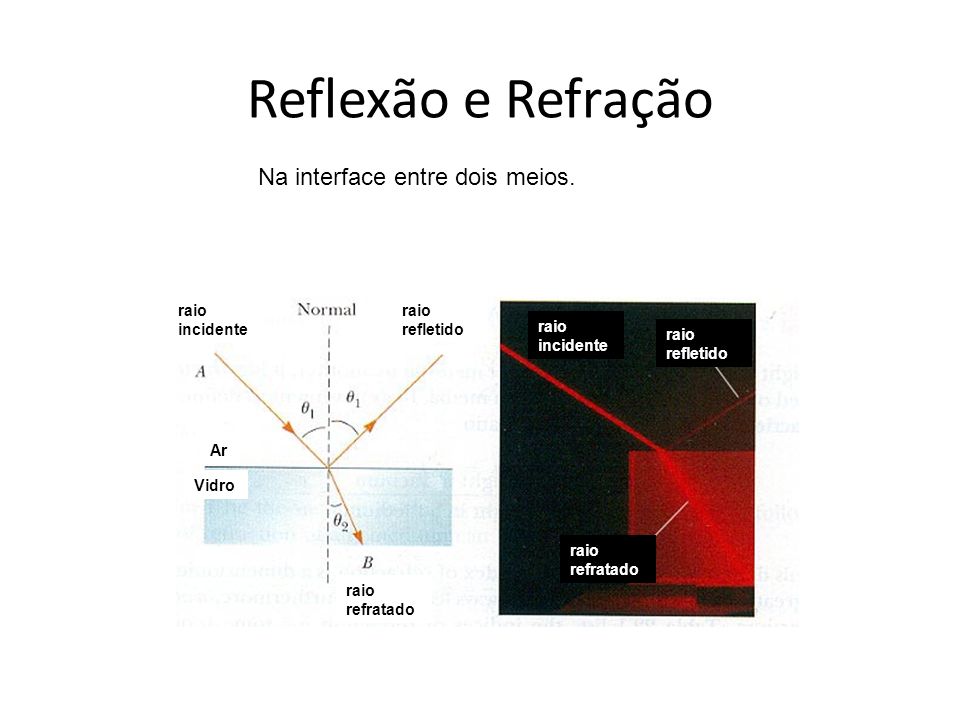
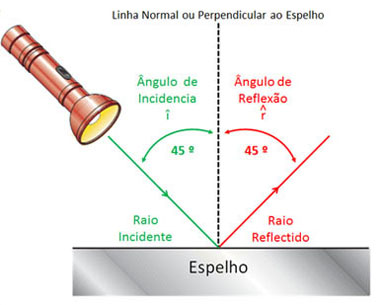
**Á**[**gua**](https://pt.wikipedia.org/wiki/%C3%81gua)**:**

Figura – Polarização – água (retirado de ….XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX)

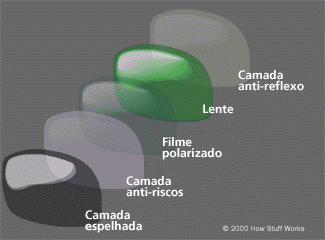
**Vidro**:

****

**Espelho**:

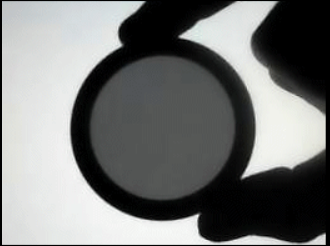
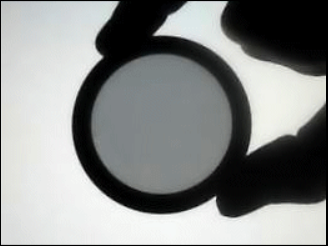
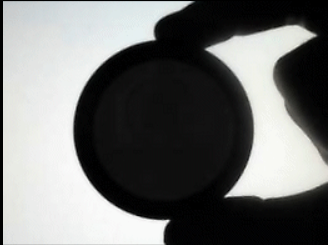
****

Outro exemplo seria colocar uma pelicula nas [lentes](https://pt.wikipedia.org/wiki/Lente) dos óculos, assim é possível diminuir a quantidade de luz que chega nos olhos do utilizador, evitando clarões devido à reflexão:

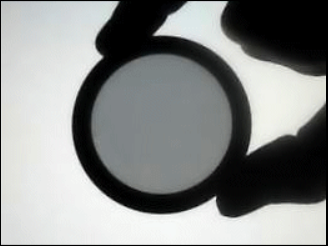
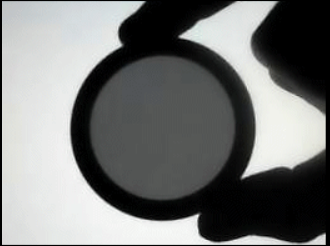
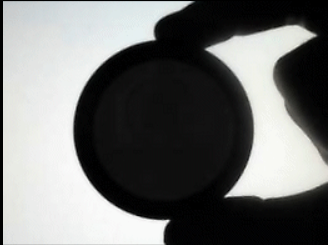


No ramo da fotografia aquática, usa-se este princípio físico para poder fotografar objetos debaixo da água. A luz do sol, ao refletir na água sob o ângulo de Brewster, é polarizada paralelamente à água. Logo, usando um [filtro polarizador](https://pt.wikipedia.org/wiki/Filtro_polarizador) e girando-o até torná-lo perpendicular à luz que reflete na água, consegue-se eliminar a luz do [Sol](https://pt.wikipedia.org/wiki/Sol) incidindo na camara fotográfica e fotografar o objeto:

Sentido 🡪



Sentido 🡨



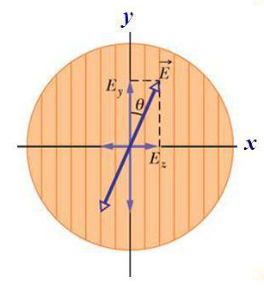
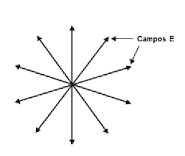
### Lei de Mallus

### Feixe de Luz (caraterísticas)

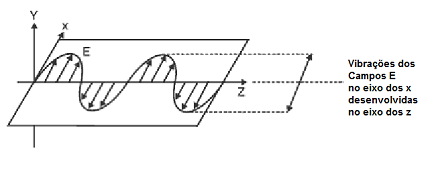
As grandezas que caraterizam um feixe luz são a direção da propagação, a amplitude e fase de oscilação, o comprimento de onda e a frequência.

Na simulação da polarização por absorção, temos um feixe de luz incidente que atravessa duas lentes de polarização cujos eixos de polarização diferem entre elas, observando os seus efeitos no referido feixe de luz resultante.

O campo da lente polarizadora pode-se decompor em componentes de x e y, assumindo-se y colinear ao eixo da lente, como podemos observar na figura abaixo.

Quando a luz natural (não polarizada) incide na lente polarizadora, as componentes perpendiculares ao eixo da polarização são eliminadas por absorção, e as componentes de vetores paralelos à direção de polarização são transmitidos, sendo então o resultado apenas luz polarizada.



A irradiância de uma luz que passa através do polarizador é dada pela lei de Malus:

E = EO cos2ϴ

Sendo E = irradiação transmitida através do polarizador

EO = máxima irradiação transmitida

ϴ = ângulo entre o eixo de transmissão do polarizador e o plano de polarização da luz incidente

Verifica-se ainda que a intensidade da luz transmitida é igual a metade da intensidade da luz não polarizada incidente.

I t = I inc. / 2

Após ter obtido a luz polarizada, ao chegar ao polarizador (ou analisador) seguinte, podemos relacionar as intensidades da luz incidente e resultante pela fórmula enunciada por Malus:

Is = Ie.cos²θ

em que Is é a intensidade de saída, Ie a intensidade de entrada e o ângulo θ é dado pelo desfasamento entre os eixos de transmissão da primeira lente (polarizador) e a segunda (analisador).

### Ângulo de Rotação da Lente

## Experiências

Neste capítulo iremos abordar algumas aplicações práticas das leis estudadas anteriormente, nomeadamente, as leis de Brewster e de Mallus. Procuraremos analisar as condicionantes existentes em cada uma das experiências, aplicando os conhecimentos adquiridos anteriormente na revisão da bibliografia sobre os temas.

### Lei de Brewster

Um exemplo da aplicação da polarização por reflexão é o efeito da imagem tridimensional no cinema e nos televisores 3D que é obtido expondo-se cada olho a uma mesma imagem em duas posições ligeiramente diferentes. Um modo de se conseguir imagens distintas em cada olho é através do uso de óculos com filtros polarizadores. (Unicamp, 2014)

https://www.linkedin.com/pulse/%C3%A2ngulo-de-brewster-jos%C3%A9-eduardo-s-cl%C3%B3s

<http://sites.ifi.unicamp.br/laboptica/roteiros-do-laboratorio/18-atividades-com-luz-polarizada-malus-brewster-e-polarimetro/>

### Lei de Mallus

## Aplicação Informática

### Descrição

### Objetivos

### Engenharia de Requisitos

### Análise

### Desenho

### Resultados

### Feixe de Luz (caraterísticas)

### Ângulo de Rotação da Lente

1. Conclusão
2. Referências Bibliográficas

*…*

**ANEXO TÉCNICO**

**ANEXOS**

# Anexo A: *Lista de Tarefas – Prazos (1ª fase)*

Tabela – Divisão de tarefas - prazos

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Tarefas | | Diana | Pedro | | Gonçalo | | | Hélder |
| Relatório | | | | | | | | |
| Fundamentação Teórica | **Lei de Brewster** | | | | | | | |
| Reflexão | X |  | |  | | |  |
| Refracção | X |  | |  | | |  |
| Lei de Mallus | | | | | | | |
| Polarização |  |  | | X | | |  |
| Luz |  |  | | X | | |  |
|  | PRAZO | 6 novembro | | | | | | |
| Fundamentação Experimental | Lei de Brewster | | | | | | | |
| Ângulo |  | X | |  | | |  |
| Tipo de material |  | X | |  | | |  |
| Lei de Mallus | | | | | | | |
| Feixe de luz (caraterísticas) |  |  | |  | | | X |
| Ângulo de rotação da lente |  |  | |  | | | X |
| PRAZO | 6 novembro | | | | | | |
| Casos práticos | Lei de Brewster | | | | | | | |
| Experiência1 | X | X | |  | | |  |
| **Lei de Mallus** | | | | | | | |
| Experiência 1 |  |  | | X | | | X |
|  | PRAZO | 15 novembro | | | | | | |
| Estrutura | Introdução |  | |  | | X |  | |
| Conclusão | X | |  | |  |  | |
| Resumo |  | |  | | X |  | |
| Aplicação “LightGo” | Contextualização | X |  | |  | | |  |
| Objetivos |  |  | | X | | |  |
| Resultados (imagens) |  |  | |  | | | X |
|  | PRAZO | 15 novembro | | | | | | |
| Aplicação | | | | | | | | |
| Engenharia de Requisitos | Diagrama de casos de uso |  | X | |  | | | X |
| Definir tipo de polarização |  |  | | X | | |  |
| Polarização reflexão | X |  | |  | | |  |
| Polarização absorção |  | X | |  | | | X |
| Carregar ficheiros | X |  | |  | | |  |
| Análise | Racional Identificação |  | X | |  | | | X |
| Racional Associações |  | X | |  | | | X |
| Modelo de domínio | X | X | | X | | | X |
| Desenho (Diagrama de Classes e Diagrama e Sequência) | Carregar ficheiros |  |  | |  | | |  |
| Definir tipo de polarização |  |  | |  | | |  |
| Obter polarização absorção |  |  | |  | | |  |
| Obter polarização reflexão |  |  | |  | | |  |
| Estatística |  |  | |  | | |  |
|  |  | 8 novembro | | | | | | |
|  | Código | | | | | | | |
| Carregar ficheiros |  | X | |  | | |  |
| Definir tipo de polarização |  |  | | X | | | X |
| Obter polarização absorção |  |  | | X | | | X |
| Obter polarização reflexão | X | X | |  | | |  |
| Estatística |  |  | |  | | |  |
|  | 15 novembro | | | | | | |

# Anexo B: *Lista de Tarefas – Prazos (2ª fase)*