

Carlos Adriano Cardoso

Clenilton Costa

Edson de Carvalho

CONSTRUINDO UM ESTEREOSCÓPIO

Ensinando a polarização da luz a partir de
imagens...



EDLIFMA

CONSTRUINDO UM ESTEREOSCÓPIO

ENSINANDO A POLARIZAÇÃO DA LUZ A PARTIR DA PRODUÇÃO DE IMAGENS



UNIVERSIDADE FEDERAL DO MARANHÃO

Reitor Dr. Fernando Carvalho Silva
Vice-Reitor Dr. Leonardo Silva Soares



EDUFMA EDITORA DA UFMA

Coordenadora Dra. Suênia Oliveira Mendes
Conselho Editorial Prof. Dr. José Carlos Aragão Silva
Prof. Dr. Luis Henrique Serra
Prof^ª. Dra. Ana Caroline Amorim Oliveira
Prof. Dr. Márcio José Celeri
Prof^ª. Dra. Raimunda Ramos Marinho
Prof^ª. Dra Débora Batista Pinheiro Sousa
Prof. Dr. Edson Ferreira da Costa
Prof. Dr. Marcos Nicolau Santos da Silva
Prof. Dr. Carlos Delano Rodrigues
Prof. Dr. Felipe Barbosa Ribeiro
Prof^ª. Dra. Maria Aurea Lira Feitosa
Prof. Dr. Flávio Luiz de Castro Freitas
Prof. Dr. José Ribamar Ferreira Junior
Bibliotecária Iole Costa Pinheiro



Associação Brasileira das Editoras Universitárias



All the contents of this work, except where otherwise noted, is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International license.

Todo o conteúdo deste trabalho, exceto quando houver ressalva, é publicado sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0.

Todo el contenido de esta obra, excepto donde se indique lo contrario, está bajo licencia de la licencia Creative Commons Reconocimiento 4.0.

CARLOS ADRIANO DA CONCEIÇÃO CARDOSO
CLENILTON COSTA DOS SANTOS
EDSON FIRMINO VIANA DE CARVALHO

CONSTRUINDO UM ESTEREOSCÓPIO

ENSINANDO A POLARIZAÇÃO DA LUZ A PARTIR DA PRODUÇÃO DE IMAGENS

São Luís



EDUFMA

2025

Copyright © 2025 by EDUFMA

Projeto Gráfico, Diagramação e Capa
Revisão

Carlos Adriano da Conceição Cardoso
Edson Firmino Viana de Carvalho

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Cardoso, Carlos Adriano da Conceição

Construindo um estereoscópio: ensinando a polarização da luz a partir da produção de imagens [recurso eletrônico] / Carlos Adriano da Conceição Cardoso, Clenilton Costa dos Santos; Edson Firmino Viana de Carvalho. — São Luís: EDUFMA, 2025.

E-book (81 p.) il.

Inclui Bibliografia

ISBN: 978-65-5363-447-3

Livro disponível em formato digital

Livro digital da Editora EDUFMA

Modo de Acesso:

1. Luz – Polarização. 2. Imagem 3D. 3. Física - Ensino. I. Santos, Clenilton Costa dos. II. Carvalho, Edson Firmino Viana de. III. Título.

CDD: 535

CDU: 535.51

Bibliotecária: Rosivalda Pereira – CRB 13/423

CRIADO NO BRASIL [2025]

Todos os direitos reservados. Nenhuma parte deste livro pode ser reproduzida, armazenada em um sistema de recuperação ou transmitida de qualquer forma ou por qualquer meio, eletrônico, mecânico, fotocópia, microfilmagem, gravação ou outro, sem permissão do autor.

| EDUFMA | EDITORA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO MARANHÃO

Av. dos Portugueses, 1966 | Vila Bacanga

CEP: 65080-805 | São Luís | MA | Brasil

Telefone: (98) 3272-8157

www.edufma.ufma.br | edufma@ufma.br

AGRADECIMENTOS

Ao Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física (MNPEF)
À Universidade Federal do Maranhão (UFMA)
Ao Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física da UFMA (PROFIS)
À Superintendência de Tecnologias na Educação (STED) da UFMA
O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de
Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001

Apresentação

Prezado(a) professor(a),

Este guia foi elaborado com o intuito de servir de referência quanto a construção e utilização didática de um estereoscópio para apoiar o estudo da polarização da luz. O referido material resulta de um produto educacional referente à conclusão de dissertação do Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física, ofertado pela Sociedade Brasileira de Física em parceria com a Universidade Federal do Maranhão – MNPEF – Polo 47 – UFMA, intitulada: “**CONSTRUÇÃO DE UM ESTEREOSCÓPIO: uma proposta para o ensino da polarização da luz no ensino médio amparada na abordagem sociocultural de Vigotski**”.

O guia está dividido em quatro partes assim estruturadas: primeiro, uma breve introdução pontuando alguns aspectos relevantes deste trabalho e suas aplicações no Ensino Médio; no capítulo um, um resumo histórico do fenômeno seguido de sua descrição físico matemática e algumas considerações a respeito dos princípios da visão binocular; no capítulo dois, orientações para a construção do estereoscópio, produção das imagens, confecção dos óculos 3D, preparação da tela de projeção, ajustes das imagens e demais acessórios; por fim, no capítulo três, uma sugestão de aplicação didática em que a polarização da luz é estudada no contexto de sua aplicação no cinema 3D.

Bom trabalho!

Palavras do autor...

A melhoria dos indicadores da educação formal básica depende do ajuste de **zução** para esse problema se mostra um tanto complexa. É consenso que um dos fatores que exerce forte influência na qualidade do ensino é a competência técnica do professor, pois só é possível ensinar bem quando se tem domínio daquilo que se pretende ensinar. Se, de um lado, a capacitação profissional do professor se mostra indispensável para a prática de ensinar, do outro, o interesse dos estudantes não pode ser desconsiderado no processo de aprendizagem.

Com vista nessa díade, além da formação continuada, tenho buscado formas de alcançar e unificar dois fatores que, a meu ver, são essenciais para tornar as aulas de Física mais atraentes: o primeiro, é fazer com que os alunos reconheçam a utilidade do assunto abordado; o segundo, motivá-los a realizarem as atividades propostas. Com o intuito de oferecer uma abordagem para o ensino da polarização da luz no ensino médio que contemplasse esses dois aspectos, desenvolvi meu trabalho de mestrado com base nas concepções da teoria da aprendizagem de Vigotski (VIGOTSKII; LURIA; LEONTIEV, 2010), na qual o desenvolvimento do indivíduo é um processo que se constrói a partir das interações que ele estabelece no contexto histórico e cultural que está inserido.

Segundo Vigotski, a socialização não é simplesmente um fator de manifestação do desenvolvimento cognitivo, e sim o elemento que desenvolve os processos mentais superiores: pensamento, linguagem e memória. Dessa forma, os conhecimentos espontâneos e informais adquiridos pelo estudante, mesmo que ainda não definidos conceitualmente, se mostram carregados de significado uma vez que se desenvolvem a partir de situações empíricas e factuais decorrentes de suas experiências diárias, ao passo que os conhecimentos científicos, que primeiramente são apresentados formalmente pelo professor, carecem dessa correlação com as experiências cotidianas para que ganhem sentido. O professor tem um papel de destaque na concepção vigotskiana de ensino-aprendizagem por ser aquele que possui os conhecimentos que os estudantes devem aprender e as habilidades que devem “imitar” para avançar no campo das suas potencialidades intelectuais.

O produto educacional descrito neste guia foi aplicado em uma turma de 35 alunos da terceira série do ensino médio regular de uma escola localizada na cidade de São Luís, capital do Maranhão. A época da intervenção didática a escola não dispunha de laboratório de ciências, quadra poliesportiva e nem auditório. A rede *wifi* não tinha capacidade suficiente para atender a demanda da escola e o laboratório de informática encontrava-se inoperante. Tínhamos à disposição uma sala de vídeo a qual utilizamos para fazer a projeção das imagens.

Apesar do contato frequente com a tecnologia 3D, os estudantes não tinham conhecimento algum acerca dos fenômenos físicos e das técnicas envolvidas na concepção desse tipo de imagens. Com a implementação da estratégia de ensino aqui apresentada, os estudantes tomaram conhecimento dos princípios fundamentais utilizados na produção de imagens tridimensionais e, principalmente, da técnica de polarização da luz. O contato com o estereoscópio foi significativo, pois a visualização de imagens tridimensionais a partir de um equipamento construído com materiais simples, frequentemente utilizados para outros fins, causou surpresa e gerou muitas indagações. Aproveitando a curiosidade dos estudantes os desafiei a produzirem suas próprias imagens 3D.

Ressalto o interesse que o assunto (imagens 3D) despertou de imediato nos estudantes e o fato de que mesmo não fazendo uso expressivo de tecnologias digitais, recurso muito utilizado atualmente em propostas didáticas, houve engajamento dos estudantes na realização das tarefas e assimilação dos principais conceitos relacionados à polarização da luz. Creio que a realização de atividades em que o aluno possa conhecer, entender e participar das etapas e dos processos envolvidos, propicia o estabelecimento de uma relação de afetividade com o objeto de estudo, tornando o aprendizado mais significativo e prazeroso.

ÍNDICE

Introdução.....	5
Capítulo um: Contexto histórico e descrição físico-matemática	8
Capítulo dois: Construção do estereoscópio	30
Capítulo três: proposta de aplicação didática	53
Referências.....	62
Apêndices	64
A.1 – Sugestão de slides para exposição das aulas	64
A.2 – Texto de apoio (Visão binocular e Estereoscopia).....	67
A.3 – Óculos 3D (Moldes).....	71
A.4 – Problemas propostos.....	72
A.5 – Perspectivas de respostas aos problemas	75

Introdução

A luz polarizada é utilizada em diversas áreas para os mais variados fins. É também, antes de tudo, um fenômeno natural que ocorre todos os dias em muitas situações as quais, na maioria das vezes, nem percebemos. Ocorre com a luz do sol espalhada pela atmosfera terrestre ou refletida na superfície de um lago, de uma lâmina de vidro ou em qualquer outra superfície não condutora, por exemplo. A descoberta e o entendimento desse fenômeno (uma propriedade típica das ondas eletromagnéticas) possibilitaram aplicações importantes no campo da medicina, biologia, engenharia, artes visuais, designer e outros. Além disso, seus benefícios estão presentes no dia a dia das pessoas por meio da popularização dos eletrônicos portáteis e da indústria do entretenimento: “os polaroides¹ (ou polarizadores) são de grande importância na pesquisa em física e também em usos mais cotidianos como na fotografia, nas telas de LCD e na projeção de filmes 3D” (VIEIRA; AGUIAR, 2015, p. 4). Por outro lado, mesmo com todas essas implicações, a polarização da luz é um assunto que tem sido pouco explorado no campo do ensino de Física e os estudantes acabam não tendo a oportunidade de estudar essa temática tão presente em seus dia-a-dias.

Em pesquisa de estado da arte, Ribeiro e Vedeaux (2012) relatam que as propostas em experimentação de Ótica no período de 2001 a 2009 tiveram um surpreendente crescimento de 276% em relação ao período de 1992 a 2000. Porém, dentre os fenômenos estudados nessa disciplina: natureza da luz, reflexão, refração, difração, interferência, polarização e espalhamento, há uma grande lacuna em relação aos três últimos mencionados, sendo que a polarização figura como último no ranking com apenas quatro publicações entre 1992 e 2010. Em pesquisa mais recente sobre a reflexão da luz em periódicos de ensino de física, Ribeiro e Carneiro (2016) concluíram que alguns fenômenos, inclusive a polarização da luz (novamente), são considerados como férteis áreas de pesquisa, dada a carência que a revisão apontou.

¹ Material polarizador da luz, usado especialmente em lentes de óculos e lâmpadas, para evitar deslumbramento, e em diversos dispositivos ópticos.

Com o intuito de oferecer ao professor uma forma de trazer para a sala de aula a discussão desse fenômeno, comum na natureza e tão presente na vida dos estudantes, o presente guia propõe uma metodologia para o estudo da polarização da luz no Ensino Médio na qual os estudantes sejam motivados a aprender os conceitos envolvidos a partir da produção de imagens tridimensionais. Para isso, é descrita a construção de um estereoscópio para projeção de imagens 3D por luz polarizada com materiais e instrumentos de fácil aquisição (alguns deles reaproveitados). Para apoiar o trabalho do professor quanto ao uso pedagógico do estereoscópio sugere-se uma Situação de Estudo (SE) que traz a tecnologia 3D empregada no cinema como tema geral de discussão. Nela aborda-se os conceitos relacionados à polarização da luz como: ondas eletromagnéticas; direção de propagação; planos de vibração; polarizar uma onda; processos de polarização, além das características da visão binocular e os princípios básicos da estereoscopia.

Preferencialmente, a SE pode ser aplicada em uma turma onde os estudantes possuam os conhecimentos relacionados às características e propriedades das ondas eletromagnéticas. Entretanto, caso o professor disponha de mais tempo, poderá desenvolvê-la sem esse requisito, uma vez que no decorrer das atividades esses conhecimentos prévios poderão ser apresentados. Dessa forma, esta proposta didática pode ser trabalhada tanto na 3^a quanto na 2^a série do Ensino Médio.

Obviamente, a SE aqui apresentada é apenas uma das formas pelas quais o professor pode utilizar o estereoscópio no estudo da polarização da luz, pois promovendo algumas adequações, é possível abordar, também, outros conteúdos em física: óptica geométrica (formação das imagens nas lupas) e óptica da visão (formação das imagens na retina), bem como conteúdo de outros componentes curriculares: Biologia – visão binocular (percepção de profundidade) e os cones e bastonetes da retina (percepção das cores); Matemática – unidades de medidas (medida de distâncias entre objeto e câmera) e trigonometria (cálculo da distância horizontal da câmera na produção do par de imagens estereoscópicas) e Artes – manifestações artísticas (fotografia e cinema).

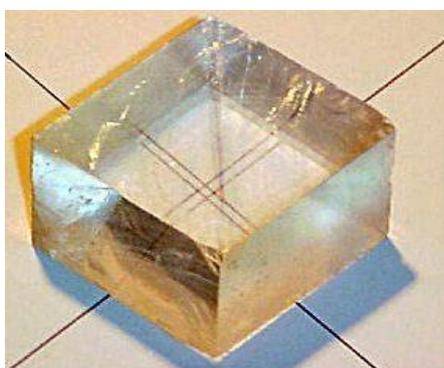
Outro aspecto a ser considerado na presente proposta é a possibilidade da participação dos estudantes na construção do estereoscópio e/ou na produção das imagens tridimensionais. Esse tipo de atividade pode proporcionar um

aprendizado mais prazeroso por agregar valores que vão além da mera sequência de um roteiro ou manipulação de números. Além disso, promove maior interação entre os sujeitos no processo da aprendizagem, favorecendo o compartilhamento de saberes e aproximando mais o ambiente escolar da investigação e do fazer científico.

Capítulo um: Contexto histórico e descrição físico-matemática

A literatura relata que o primeiro fenômeno relacionado com o que hoje denomina-se **polarização da luz**, foi observado em 1669 pelo dinamarquês Erasmó Bartholin, ao perceber que o cristal de calcita (Figura 1), conhecido também como cristal da Islândia (por ser muito abundante nessa ilha) produzia duas imagens de um mesmo objeto.

Figura 1 – Dupla imagem no cristal de calcita



Fonte: PEDRA LUZ. Disponível em: <<http://www.pedraluz.com.br/>>.

O físico holandês Christian Huygens (1629-1695) ao fazer incidir sobre um **cristal de calcita** os raios de luz transmitidos por um outro cristal, também de calcita, percebeu que ao girar o segundo, em uma determinada orientação era produzida uma única imagem. Na época, isso mostrou que a luz que sai de um cristal de calcita não tem as mesmas propriedades que a luz comum (AZEVEDO et al., 2010).

LUZ: ONDA OU PARTÍCULA?

Christian Huygens e o físico inglês Isaac Newton (1643–1727) levantaram hipóteses para explicar o fenômeno. Para Huygens, que defendia a natureza ondulatória da luz, a velocidade de propagação da luz na calcita dependia da direção. Porém, essa hipótese não era capaz de explicar por que o segundo cristal não produzia também duas imagens. Segundo Newton, que defendia a natureza

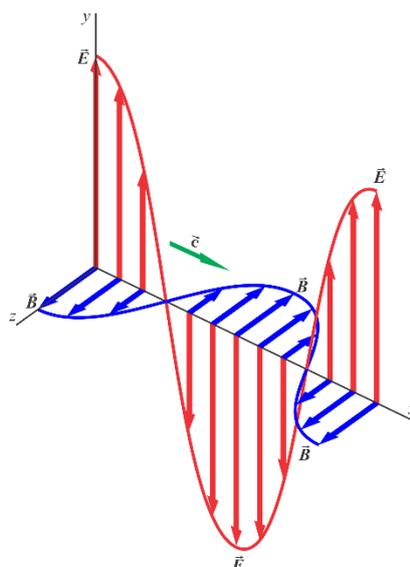
corpúscular, a partícula de luz tinha “lados”, sendo cada uma refratada de maneira diferente dependendo do “lado” da partícula que incide sobre a superfície do cristal de calcita. Após a passagem pela calcita as partículas em cada raio ficam com seus “lados” orientados (quando isso acontece se diz que a luz é polarizada, e a orientação dos “lados” define o que hoje se conhece como plano de polarização). Apesar de equivocada, a explicação deu origem ao termo “polarização”, devido à analogia com polos de um ímã.

Assim, o segundo cristal, desde que alinhado corretamente, não produz a dupla imagem porque todas as partículas incidem com o mesmo “lado”. Isso proporcionava um método de testar se a luz era polarizada (em outras palavras, se os “lados” das partículas que compunham o raio estão ou não alinhados). “Essa ideia não está longe do que se entende por correto atualmente” (AZEVEDO *et al.*, 2010, p. 1204).

A LUZ ENQUANTO ONDA ELETROMAGNÉTICA

Após cerca de 200 anos de embate entre as ideias de Huygens e Newton sobre a natureza da luz, James Clerck Maxwell, físico e matemático escocês, apresentou em 1873 a **Teoria Eletromagnética**, unindo eletricidade, magnetismo e ótica (antes acreditava-se não existir ligação alguma entre esses fenômenos). Maxwell previu a existência de ondas que envolviam oscilações de **campos elétricos** e **campos magnéticos** e que poderiam se propagar no espaço livre (vácuo) como **ondas transversais**, ou seja, os campos elétricos e magnéticos vibrando perpendicularmente à direção de propagação (Figura 2).

Figura 2 - Representação de uma onda eletromagnética



Fonte: CARDOSO (2019).

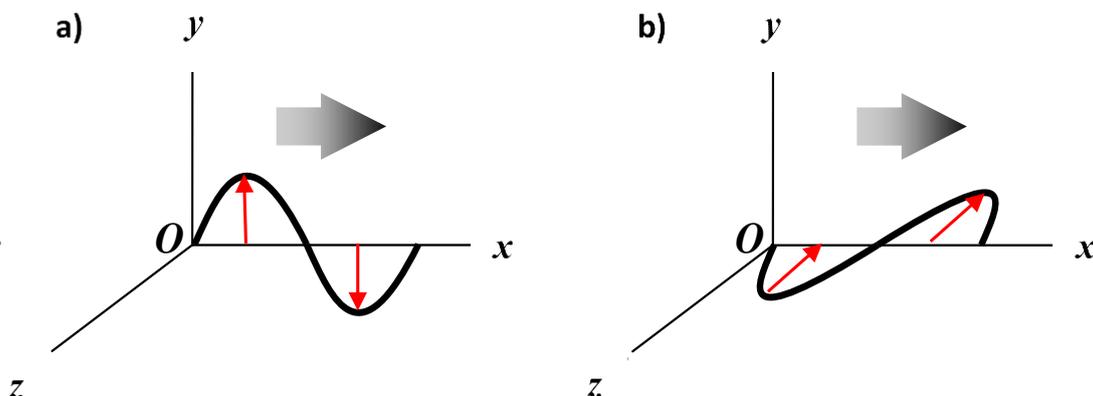
Maxwell encontrou teoricamente a velocidade de propagação dessas ondas, prevendo que seria numericamente igual a velocidade de propagação da luz (já conhecida à época), aproximadamente $3,0 \times 10^8$ m/s. Essa previsão foi confirmada com os trabalhos do físico alemão Heinrich Hertz iniciados em 1887, quando um sinal elétrico foi emitido e detectado à distância, demonstrando que a luz era, de fato, uma onda eletromagnética. Hoje sabemos que a luz visível é produzida pelo movimento de elétrons que constituem as fontes de luz e representa apenas uma estreita faixa do **espectro eletromagnético**, compreendendo as radiações com frequências entre $4,3 \times 10^{14}$ Hz e $7,5 \times 10^{14}$ Hz.

O QUE SIGNIFICA POLARIZAR A LUZ?

As fontes comuns de luz: o sol, uma lâmpada e a chama de uma vela, por exemplo, emitem ondas (luz visível) que vibram em todos os planos possíveis, pois os milhares de elétrons ou moléculas que as compõe têm movimentos totalmente aleatórios e desorganizados. Esse tipo de luz é chamado de luz não polarizada. **Polarizar a luz** significa transmitir somente as ondas luminosas que vibram em uma determinada direção.

Uma onda é linearmente polarizada ao longo da direção y , quando a vibração ocorre somente no eixo y (Figura 3.a); quando a vibração ocorre somente no eixo z , dizemos que ela é polarizada ao longo da direção z (Figura 3.b).

Figura 3 - Representação de ondas polarizadas



Fonte: CARDOSO (2019).

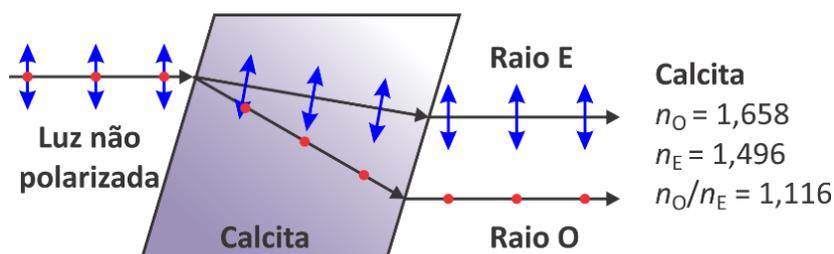
FORMAS DE POLARIZAR A LUZ

Existem alguns processos pelos quais a luz proveniente de uma fonte comum pode ser polarizada. Em alguns casos por processos naturais e em outros por meio de dispositivos desenvolvidos especialmente para essa finalidade. Vejamos:

Polarização por Birrefringência

A **birrefringência** é a propriedade óptica de determinados minerais transparentes (certos cristais como, a calcita, a turmalina e o quartzo por exemplo) que faz com que a radiação luminosa incidente seja dividida em dois feixes com polarizações ortogonais que se propagam com velocidades diferentes dentro do corpo do mineral (Figura 4).

Figura 4 - Polarização por dupla refração – materiais birrefringentes.



Raio ordinário O: o índice de refração n_O é o mesmo em todas as direções de propagação.

Raio extraordinário E: o índice de refração n_E depende da direção de propagação.

Fonte: Adaptado de SLIDEPLAYER. Disponível em: <<https://slideplayer.com.br/>>.

Para entender como isso corre, consideremos um material composto de moléculas longas (onde seu comprimento seja muito maior que sua largura) arranjadas na substância com os seus eixos longos paralelos. Então, quando o campo elétrico oscilante passa por esta substância, os elétrons na substância respondem mais facilmente às oscilações na direção paralela aos eixos das moléculas do que eles responderiam caso o campo elétrico tentasse empurrá-los na direção perpendicular ao eixo molecular (FEYNMAN; LEIGHTON; SANDS, 2009). Desse modo temos respostas diferentes para a polarização em uma e outra direção. A refração para a luz polarizada perpendicularmente ao eixo ótico é chamada **refração ordinária**, enquanto a refração para a luz polarizada num plano que contém o eixo ótico é chamada **refração extraordinária**.

Por uma razão ou por outra, em uma substância birrefringente deve haver uma certa quantidade de alinhamento de moléculas não simétricas. Certamente um cristal cúbico, que tem a simetria de um cubo, não pode ser birrefringente. Mas os cristais longos em forma de agulha como, por exemplo, a calcita, a turmalina e o quartzo, sem dúvida contêm moléculas que são assimétricas, e esse efeito pode ser observado muito facilmente. Existem outros materiais que em certas condições, por serem compostos de longas moléculas, também podem se tornar birrefringentes: o celofane, o plástico quando submetido à tensões mecânicas, substâncias líquidas compostas por moléculas assimétricas quando submetidas a um campo elétrico (YOUNG; FREEDMAN, 2009).

Assim um feixe luminoso pode ser separado em dois feixes perpendicularmente polarizados a partir de luz não polarizada.

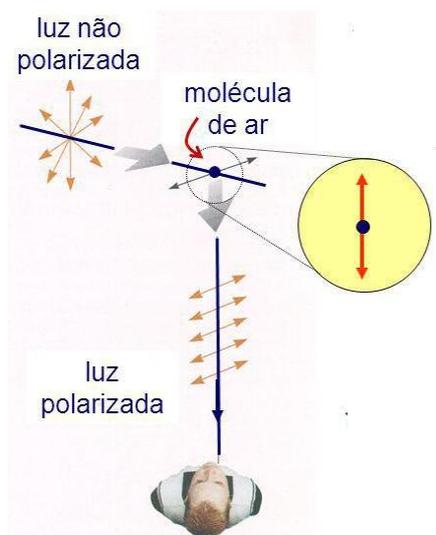
Polarização por espalhamento

Essa importante e curiosa propriedade da luz também se manifesta em fenômenos típicos e corriqueiros do dia a dia. Ao olhar para o céu durante o dia, a luz que vemos é a luz solar que foi absorvida e depois transmitida em várias direções. Esse fenômeno denomina-se **espalhamento**.

No espalhamento, uma radiação que incide sobre um núcleo espalhador é absorvida e irradiada e, dependendo do ângulo de espalhamento, a radiação será polarizada (Figura 5). Se considerarmos a luz espalhada em 90° , a vibração das partículas carregadas irradia na direção do observador somente quando a vibração for perpendicular à sua linha de visão, e assim a luz será polarizada ao longo da direção de vibração. Essa polarização por espalhamento vem da interação entre o campo elétrico da onda e as moléculas das partículas espalhadoras. O campo elétrico da radiação incidente produz um momento de dipolo² induzido sobre as partículas carregadas no ar. Esse dipolo elétrico, então, oscila em uma direção fixa gerando uma onda eletromagnética plana com intensidade máxima em um plano normal à direção da vibração das cargas, que será a onda espalhada. Dessa forma, além da cor azulada, dependendo da direção que observamos a luz do céu ela é também parcialmente ou totalmente polarizada (ORTIZ; LABURÚ, 2010).

² Um dipolo elétrico é um par de cargas de mesma magnitude e sinais contrários, q e $-q$, situadas em pontos diferentes a uma certa distância. A carga total do dipolo é zero. Se \mathbf{l} é o vetor de posição da carga positiva em relação à negativa, então o momento de dipolo elétrico do dipolo é o vetor $\mathbf{p}=q\mathbf{l}$.

Figura 5 - Polarização por espalhamento



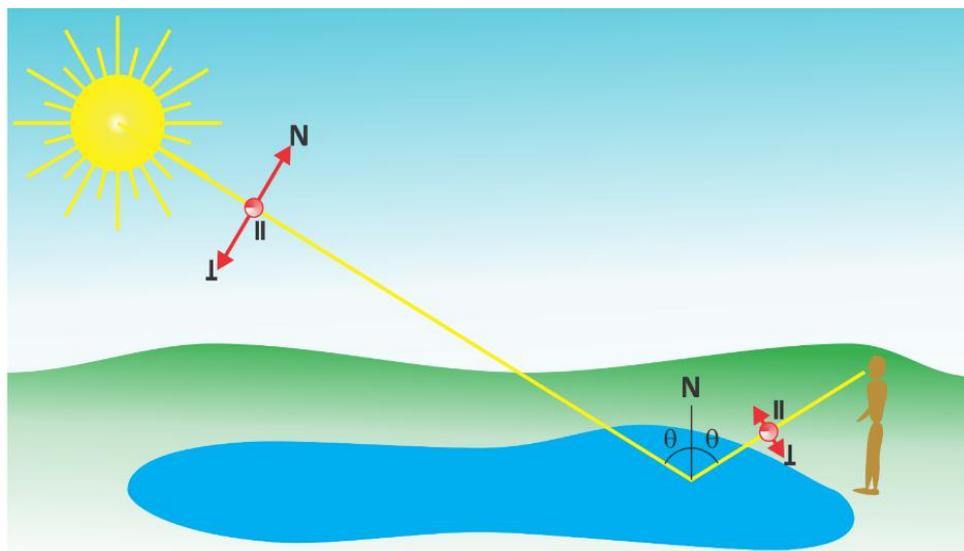
Fonte: Adaptado de SLIDEPLAYER. Disponível em: <<https://slideplayer.com.br/>>.

A luz espalhada em um ângulo de 90° em relação à luz do sol incidente será parcialmente polarizada. Por esse motivo, quando usamos óculos com lentes polarizadas, o céu parece mais escuro quando olhamos em determinadas direções.

Polarização por reflexão

Quando a luz incide sobre uma superfície de um material dielétrico (não condutor), pode ocorrer a polarização parcial ou total da parte refletida (Figura 6).

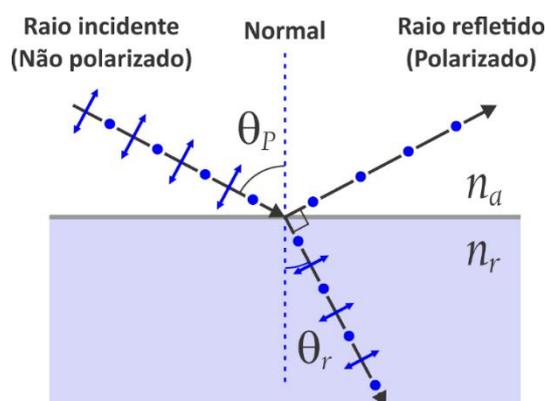
Figura 6 - Representação da polarização por reflexão



Fonte: CARDOSO (2019).

Nessa situação, uma parte da luz é transmitida e outra é refletida, conforme mostra a Figura 7. As ondas provenientes da radiação luminosa se propagam nos mais variados planos, mas na maior parte dos ângulos de incidência, as ondas refletidas mais acentuadamente são aquelas em que o campo elétrico \vec{E} é perpendicular ao plano de incidência, ou seja, paralelo ao plano da interface refletora. Nesse caso, as ondas são parcialmente polarizadas na direção perpendicular ao plano de incidência. Contudo, existe um determinado ângulo de incidência, denominado ângulo de polarização θ_p para o qual os componentes de \vec{E} paralelos ao plano de incidência são totalmente refratados e os componentes de \vec{E} perpendiculares ao plano de incidência são parcialmente refletidos e parcialmente refratados.

Figura 7 - Representação da Polarização em ângulo de Brewster



Fonte: CARDOSO (2019).

O cientista inglês Sir David Brewster descobriu em 1812 que, se o ângulo de incidência coincidir com o ângulo de polarização θ_p , então o raio refletido é perpendicular ao raio refratado (figura 7). Assim, o ângulo de refração θ_r fica igual ao complemento de θ_p . Sendo n_a o índice de refração do meio em que se propaga o raio incidente e n_r o índice de refração do meio em que se propaga o raio refratado, então;

$$\theta_r = 90^\circ - \theta_p \text{ e } n_a \text{ sen } \theta_p = n_r \text{ sen } \theta_r$$

onde, encontramos;

$$n_a \text{ sen } \theta_p = n_r \text{ sen}(90^\circ - \theta_p) = n_r \text{ cos } \theta_p;$$

$$\operatorname{tg} \theta_p = \frac{n_r}{n_a} \text{ (Lei de Brewster para o ângulo de polarização)} \quad (1)$$

Para o caso particular em que n_a é o índice de refração do ar, então $\operatorname{tg} \theta_p = n_r$. Para a água $n_r = 1,33$, logo, $\theta_p = 53^\circ$.

Essa relação é conhecida como lei de Brewster. Ela foi obtida experimentalmente, mas é possível deduzi-la teoricamente a partir das equações de Maxwell.

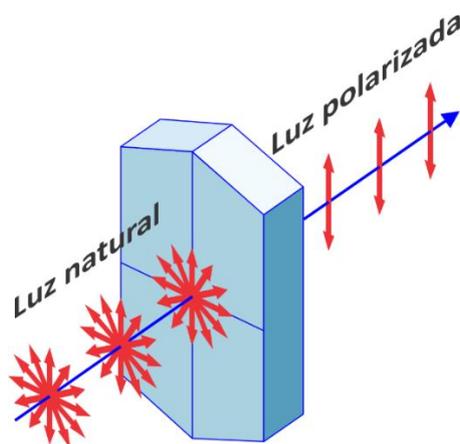
Em resumo, para incidência em ângulo de Brewster, a luz refletida é completamente polarizada perpendicularmente ao plano de incidência. Em particular, se a polarização da luz incidente é paralela ao plano de incidência, o feixe refletido não será observado. Se a luz incidente é não polarizada, a luz refletida é parcialmente polarizada (ou totalmente polarizada para incidência em ângulo de Brewster), exceto para incidência normal.

A polarização por reflexão possibilita o uso eficiente de filtros polarizadores em óculos de sol. Quando uma superfície horizontal reflete a luz solar, o plano de incidência é vertical e a luz refletida contém majoritariamente luz polarizada na direção horizontal. Quando a reflexão ocorre na superfície lisa do asfalto ou de um lago, ela produz um ofuscamento indesejável. Os fabricantes de óculos de sol produzem lentes com eixo de polarização na direção vertical, a fim de que a maior parte da luz refletida com plano de polarização horizontal não atinja os olhos do observador. Os óculos também reduzem a intensidade global da luz não polarizada que incide em suas lentes em cerca de 50% (YOUNG; FREEDMAN, 2009).

Polarização por absorção seletiva

Em certos cristais e outras substâncias não só o índice de refração, mas também o coeficiente de absorção, é diferente para a luz polarizada em direções distintas. A partir dos mesmos argumentos que apoiaram a ideia de birrefringência, é compreensível que a absorção possa variar com a direção na qual as cargas são forçadas a vibrem em uma substância anisotrópica (FEYNMAN; LEIGHTON; SANDS, 2009). Essa forma de polarização, também conhecida como **dicroísmo**, consiste na absorção seletiva da onda linearmente ou circularmente polarizada. Um cristal de turmalina, por exemplo, absorve a radiação em determinados planos de oscilação, conforme mostra a Figura 8.

Figura 8 - Representação da polarização por absorção seletiva



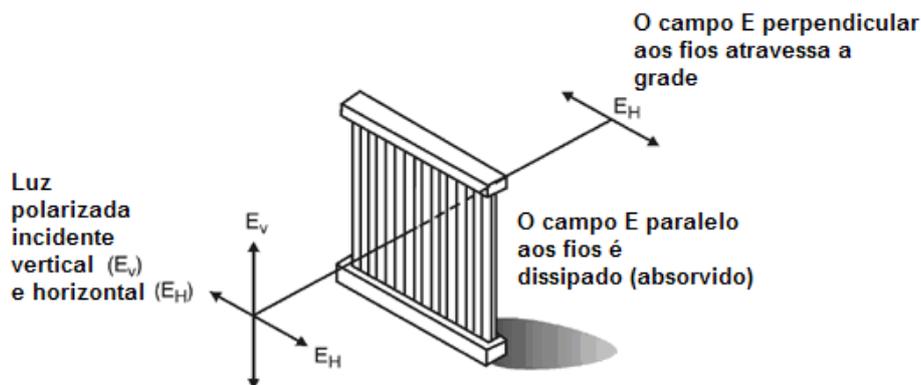
Fonte: CARDOSO (2019).

O entendimento dessa forma de polarização deu origem ao desenvolvimento de películas polarizadoras cuja concepção descreveremos a seguir.

As ondas produzidas por uma emissora de rádio, por exemplo, são, em geral, linearmente polarizadas. Em uma antena de TV que possui um elemento na direção horizontal, são captadas ondas polarizadas na direção horizontal, e, se o elemento da antena estiver disposto na direção vertical, serão captadas ondas polarizadas na direção vertical, visto que os elétrons livres do metal têm maior grau de liberdade para movimentos na direção ao longo do comprimento do elemento condutor. Mas no caso da luz visível, a situação é mais complicada, pois as fontes comuns emitem luz não polarizada. Nesse caso, a emissão total é resultado da emissão individual de cada molécula que constitui a fonte de luz. A luz emitida por uma única molécula pode ser linearmente polarizada como a onda emitida por uma antena de rádio. Todavia, como o número de moléculas de qualquer fonte comum de luz é muito grande, existe uma infinidade de ondas polarizadas aleatoriamente em todas as direções transversais possíveis (YOUNG; FREEDMAN, 2009).

Para se conseguir polarizar um feixe de luz natural é necessário a utilização de filtros. Esses filtros apresentam diferentes detalhes de construção, definidos de acordo com o comprimento de onda da luz a ser polarizada. Para micro-ondas com comprimentos de onda da ordem de alguns centímetros, um bom filtro polarizador consiste de uma grade de fios condutores próximos e paralelos, isolados entre si e igualmente espaçados (Figura 9).

Figura 9 - Representação esquemática de filtros construídos para polarizar uma radiação incidente



Fonte: NOVACON. Disponível em: <<http://www.novacon.com.br/basean3.htm>>.

A onda que possui um campo \vec{E} paralelo aos fios, provoca o movimento dos elétrons que estão livres para mover-se ao longo do comprimento dos fios. Essa corrente resultante dissipa boa parte da energia proveniente das ondas na forma de calor com a taxa I^2R , de forma que as ondas que atravessam a grade possuem amplitudes menores do que as amplitudes das ondas incidentes. Por outro lado, as ondas que chegam a grade com um campo \vec{E} perpendicular a direção de disposição dos fios, atravessam-na praticamente sem nenhuma alteração, pois os elétrons não podem se mover através do ar entre os fios (YOUNG; FREEDMAN, 2009). Portanto, um feixe de ondas que passa através desse tipo de filtro emerge polarizado em um plano perpendicular ao plano dos fios.

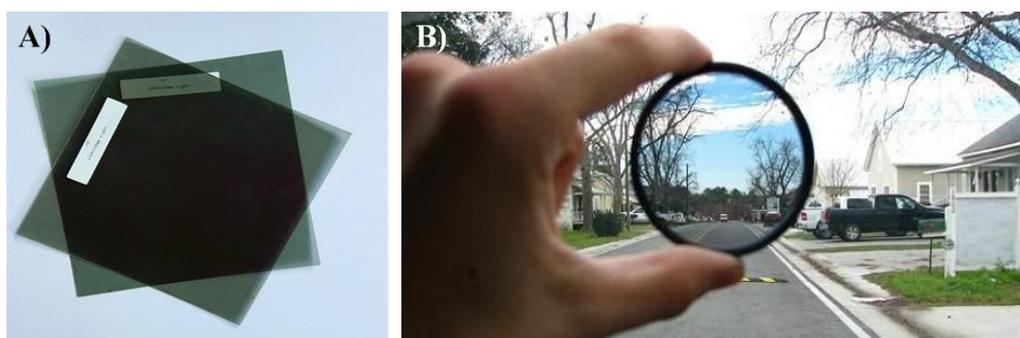
O polarizador sintético

Uma forma simples de polarizar a luz visível é usando o filtro sintético inventado em 1938 por Edwin H. Land, cientista norte-americano. Esse filtro, conhecido como polaroide³ (Figura 10.a), é amplamente usado em óculos de sol e em câmeras fotográficas, por exemplo. Funciona baseado no princípio da absorção seletiva, onde um dos componentes da onda que incide sobre ele é absorvido de forma muito mais acentuada do que o outro (Figura 10.b).

³ Polaroides ou polarizadores sintéticos são largamente utilizados para diversas finalidades. O presente trabalho não tem a pretensão de fazer um levantamento e/ou descrição geral de suas aplicações. Assim, nos deteremos a descrever os princípios básicos envolvidos na construção de imagens 3D e mostrar como esse efeito pode ser obtido com a utilização desses polarizadores.

Um **filtro polaroide** transmite mais de 80% da intensidade da luz polarizada em uma direção paralela a certo eixo do material, chamado **eixo de polarização**, porém transmite menos de 1% da luz polarizada em uma direção perpendicular a esse eixo (YOUNG; FREEDMAN, 2009).

Figura 10 - Imagens de filmes polaroide.

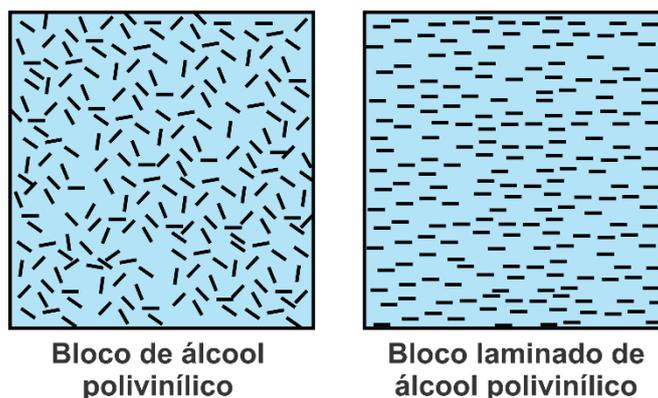


Fonte: Adaptado do site NANOTECH CAMERAS. Disponível em: <<http://nanotechcameras.blog.br/tag/canon/>>.

A construção do polarizador sintético para a luz segue o mesmo princípio do filtro para micro-ondas. O polaroide consiste em uma fina camada de pequenos cristais de herapathite (um sal de iodo e quinina), todos alinhados paralelamente e incorporado em um filme de polímero de nitrocelulose transparente. Esses cristais absorvem a luz quando as oscilações estão em uma direção, mas não absorvem tanto quando as oscilações estão em outra direção. Um tipo comum de filme polaroide é feito utilizando-se uma lâmina de *PVA* (álcool polivinílico) que contém longas cadeias de hidrocarbonetos⁴ dispostas aleatoriamente. Quando a lâmina sofre uma deformação (estiramento), produzida por uma tração a quente (60°), as longas cadeias de hidrocarbonetos se alongam segundo a mesma direção da deformação. Em seguida as lâminas são impregnadas com iodo afim de se tornarem condutoras para frequências óticas (aprox. 10^{14} Hz) e absorverem a luz com polarização paralelas às cadeias moleculares (DUMKE; JR, 1982).

⁴ Na química, um hidrocarboneto é um composto químico constituído por átomos de carbono e de hidrogênio unidos tetraedricamente por ligação covalente assim como todos os compostos orgânicos.

Figura 11 - Cadeias carbônicas em um filme polarizador

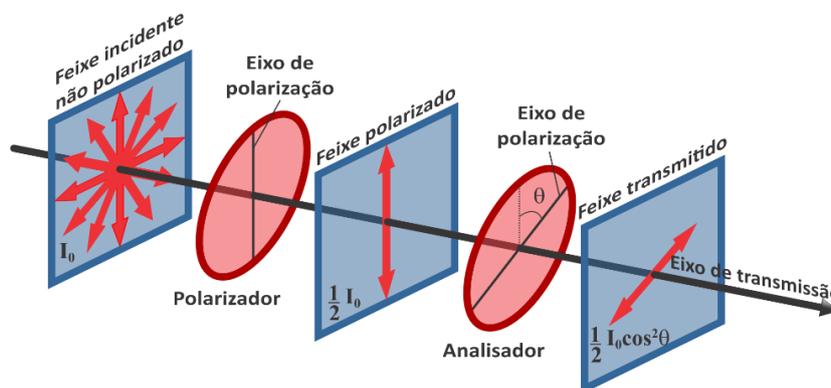


Fonte: CARDOSO (2019).

Um polarizador ideal transmite 50% da intensidade da luz não polarizada incidente. Uma vez que a luz completamente não polarizada apresenta estados de polarização aleatórios, podemos considerar que, na média, os dois componentes do campo \vec{E} (um paralelo e outro perpendicular ao eixo do polarizador) são iguais.

É possível analisar agora o que ocorre quando a luz polarizada que emerge de um polarizador incide sobre um segundo polarizador, como indicado na Figura 12.

Figura 12 - Representação esquemática da Lei de Malus



Fonte: CARDOSO (2019).

Supondo que os eixos de polarização dos polarizadores estejam dispostos em um ângulo θ , que intensidade da luz emergirá do segundo polarizador, ou analisador?

A luz incidente no analisador pode ser decomposta em um componente perpendicular ao eixo de transmissão, proporcional a $\sin \theta$, e um componente

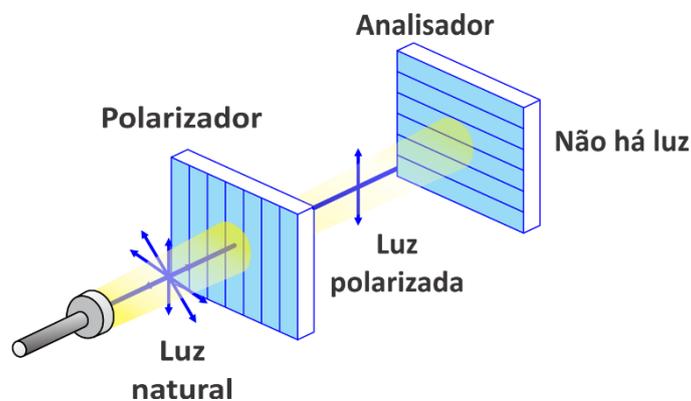
paralelo ao eixo de transmissão, proporcional a $\cos \theta$. A amplitude da luz que emerge do polaroide-analisador é somente a parte cossenoidal; o componente $\sin \theta$ é absorvido.

A amplitude que “sai” pelo polaroide é menor do que a amplitude que “entrou”, por um fator $\cos \theta$. Sabe-se que a intensidade de uma onda eletromagnética é proporcional ao quadrado da amplitude da onda. Logo, a razão entre as intensidades das ondas incidente e transmitida é igual a $\cos^2 \theta$ (FEYNMAN; LEIGHTON; SANDS, 2009). Consequentemente, a intensidade da luz que emerge do analisador é:

$$I = I_{m\acute{a}x} \cos^2 \theta \quad (2)$$

Onde $I_{m\acute{a}x}$ é a intensidade máxima da luz transmitida (para $\theta = 0^\circ$) e I é a intensidade transmitida para um dado ângulo θ . A intensidade da luz transmitida será igual a zero quando o eixo do polarizador estiver cruzado com o do analisador, ou seja, quando $\theta = 90^\circ$ (Figura 13).

Figura 13 - Polarizadores com eixos em direções perpendiculares.



Fonte: CARDOSO (2019).

Essa relação, descoberta experimentalmente por Etienne Louis Malus em 1809, denomina-se **Lei de Malus** e só é válida quando a luz incidente sobre o analisador já estiver polarizada (YOUNG; FREEDMAN, 2009).

As relações anteriores foram obtidas considerando polarizadores ideais. Um polarizador real é caracterizado por transmitâncias⁵ principais K_1 e K_2 :

K_1 é a fração transmitida da intensidade na polarização desejada ($0 \leq K_1 \leq 1$)

K_2 é a fração transmitida da intensidade na polarização não desejada ($0 \leq K_2 \leq 1$)

K_1 deve ser maior possível e K_2 menor possível, por isso a razão K_1/K_2 pode ser considerada um indicador de qualidade do polarizador.

O polarizador sintético é utilizado em várias aplicações, dentre as quais:

- **Mostrador de cristal líquido:** são essenciais na construção de displays e monitores em geral.
- **Cinema 3D:** sistema de projeção e óculos polarizadores adequados
- **Óculos de pescador e de sol:** reduz a luz refletida na água e a luz espalhada pelo céu.
- **Filtros fotográficos:** reduzem reflexos e escurecem o céu.
- **Filtros para microscópio:** permitem acentuar contraste.
- **Filtro antirreflexo:** polarizador circular permite eliminar reflexos em mostradores.
- **Chaves óticas:** baseadas em efeitos *Kerr* (efeito, no qual um campo elétrico é capaz de produzir birrefringência em certos líquidos).

Quadro resumo – Processos de polarização

A figura apresenta um resumo esquemático dos principais processos de polarização da luz, divididos em quatro painéis distintos:

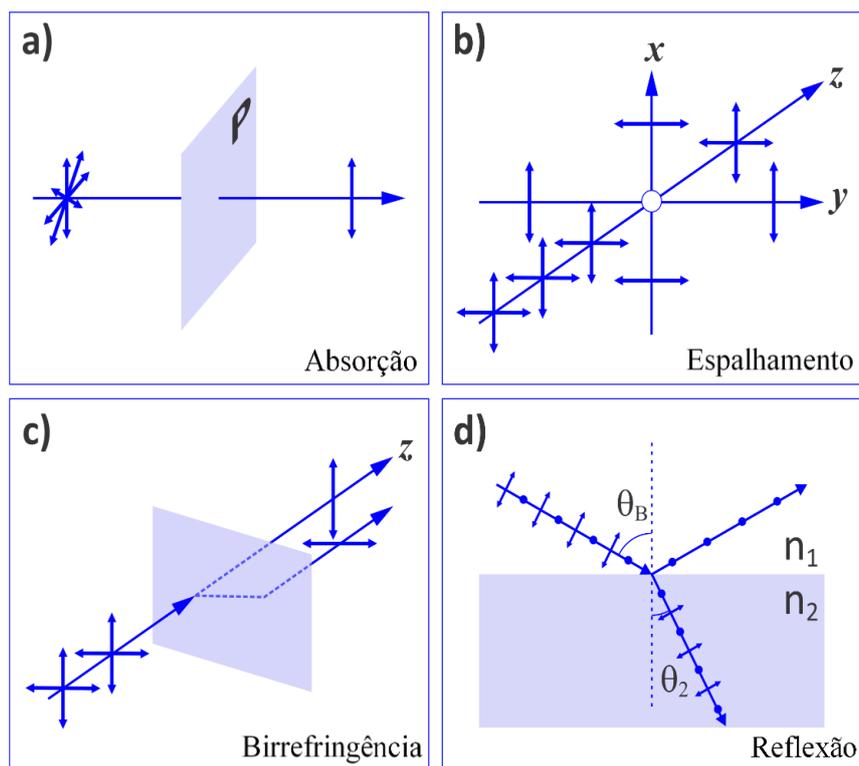
- **(a) Absorção:** Representa o processo de polarização linear por absorção seletiva, onde apenas os componentes do campo elétrico alinhados com o eixo de transmissão do polarizador são permitidos, enquanto os outros são absorvidos.

⁵ Em óptica e espectroscopia, Transmitância é uma grandeza que representa a fração da luz incidente, com um comprimento de onda específico, que atravessa uma amostra de matéria. É um fenômeno relacionado diretamente à absorvância.

- **(b) Espalhamento:** Ilustra o fenômeno de polarização por espalhamento, em que a luz interage com partículas na atmosfera e se polariza em direções perpendiculares à direção do espalhamento.
- **(c) Birrefringência:** Mostra como a luz se divide em dois raios com polarizações distintas ao passar por um material birrefringente, devido às diferentes velocidades de propagação dentro do material.
- **(d) Reflexão:** Apresenta o fenômeno de polarização por reflexão, onde a luz refletida em uma superfície pode ser parcialmente ou totalmente polarizada, dependendo do ângulo de incidência (ângulo de Brewster) e dos índices de refração dos meios.

Cada painel enfatiza um mecanismo físico distinto que contribui para a polarização da luz, destacando conceitos fundamentais em óptica.

Quadro 1 - Resumo esquemático dos processos de polarização da luz

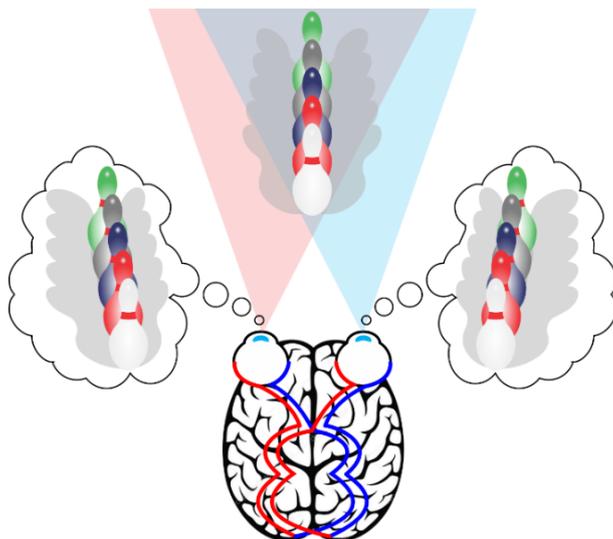


Fonte: Adaptado de Hecht (2002).

ESTEREOSCOPIA, POLARIZAÇÃO DA LUZ E O CINEMA 3D

A concepção de imagens tridimensionais é baseada na técnica da **estereoscopia**: utilização da sobreposição de duas imagens planas de um mesmo objeto e ligeiramente distintas devido a diferença de enquadramento, o que provoca a sensação de profundidade. Estereoscopia é uma palavra que tem origem em dois termos gregos que representam: “visão” e “sólido” (TOMOYOSE, 2010).

Figura 14 - Representação esquemática da visão binocular do homem



Fonte: DEPTH PERCEPTION. Disponível em: <<http://www.vision3d.com/stereo.html>>.

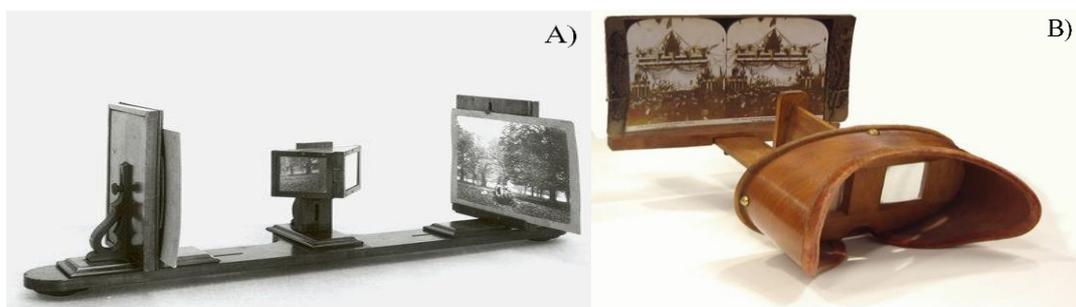
Essa técnica é uma forma de simular a **visão binocular** do homem e de alguns animais, pois embora apenas uma parcela das aves possua sinais de visão estereoscópica, praticamente todos os mamíferos possuem este recurso ainda que de forma rudimentar. A visão estereoscópica advém da natureza óptica de nossa fisiologia, pelo fato de possuímos dois olhos voltados para a mesma direção e separados um do outro por uma distância média de 6,5 cm. As duas imagens, uma de cada olho, cada uma processada por um lado do de nosso cérebro, forma uma imagem final única (MASCHIO, 2008), conforme Figura 14.

O entendimento desse processo proporcionou o desenvolvimento de equipamentos e sistemas que provocam a sensação visual de profundidade em imagens planas. No começo do século XIX, antes mesmo da consolidação da fotografia, o cientista inglês Sir Charles Wheatstone (1802-1875), partindo de experiências de Leonardo da Vinci e dos binóculos primitivos, apresentou o **estereoscópio**, em 1838. (MASCHIO, 2008). O princípio de funcionamento é simples: dois espelhos em ângulo de noventa graus colocados em frente a cada

olho do observador, o qual vê as fotografias (ou eventualmente desenhos) de um par estéreo⁶ que são localizadas paralelas e a cada lado, a noventa graus da visão dele, à esquerda e à direita (LUNAZZI *et al.*, 2015).

Em sua primeira exibição, Charles Wheatstone utilizou como imagens dois pares de figuras geométricas desenhadas cuidadosamente (Figura 15.a). Posteriormente, o escocês Sir David Brewster (1781-1868), combinando o estereoscópio de Wheatstone e a fotografia (outra invenção recente à época), aperfeiçoou o dispositivo utilizando lentes no lugar dos espelhos do estereoscópio original (Figura 15.b), criando assim as primeiras câmeras fotográficas binoculares. Os novos estereoscópios fizeram sucesso por permitirem tirar ou ver cartões em terceira dimensão.

Figura 15 - Estereoscópio de wheatstone (a) e o estereoscópio aperfeiçoado por Brewster (b).



Fonte: A) Estereoscópio de Wheatstone (REALOVIRTUAL, 2025). B) Estereoscópio aperfeiçoado por Brewster (SÉTIMA CABINE, 2025).

Com o desenvolvimento da fotografia e dos sistemas ópticos, o estereoscópio também foi sendo aperfeiçoado. A Figura 16.a mostra um homem visualizando imagens em um estereoscópio que utiliza espelhos dispostos em ângulo de 45° para fazer a junção do par de imagens que foram produzidas em computador e a e Figura 16.b mostra um outro tipo de estereoscópio que consiste de uma pequena caixa que lembra um binóculos, na qual um par de slides estéreo é colocado em um dos lados e o lado oposto possui dois orifícios para que o observador possa posicionar os olhos.

⁶ Refere-se ao conjunto de duas imagens obtidas em ângulos de visão diferentes de uma cena e que serão processadas de forma a transmitir a sensação de profundidade ao observador.

Figura 16 – Jovem visualizando um estereoscópio (a) e slides estéreos (b)



Fonte: LUNAZZI *et al.* (2015).

São várias as técnicas que nos permitem a visualização de imagens tridimensionais estereoscópicas, mas os princípios básicos envolvidos são os mesmos: obter duas imagens (ou vídeos) de um mesmo objeto ou paisagem, com um deslocamento angular horizontal adequado, e depois fazer com que cada olho visualize apenas uma das imagens. A fusão e ajuste dessas duas imagens pelo cérebro nos dão a sensação de imersão e profundidade. Quase sempre é necessário se fazer uso de óculos especiais para separar a informação que cada olho deve receber. Para isso, são utilizadas técnicas associadas a alguma propriedade ou fenômeno ótico. Vejamos algumas.

Efeito Pulfrich

Baseado na característica da visão humana de perceber mais lentamente a luz menos intensa. O observador deve usar um filtro que torna a visão mais escura para um dos olhos, assim, ao observar uma animação, os olhos têm velocidades diferentes de percepção, levando a um pequeno deslocamento entre as imagens vistas por cada olho, o que gera a sensação de profundidade e o efeito tridimensional. O inconveniente dessa técnica é o pouco controle da profundidade e a limitação de funcionar somente com cenas em movimento.

ChromaDepth

Esta técnica utiliza as cores para definir a profundidade dos elementos. As lentes dos óculos com tecnologia ChromaDepth são capazes de desviar a luz de acordo com a sua cor, proporcionando a disparidade entre a visão de cada olho provocando assim o efeito tridimensional. Nessa técnica à medida que a cor de um objeto se aproxima do vermelho, mais próximo o objeto parece estar do observador e quanto mais a cor do objeto se aproxima do azul, mais distante parece estar do observador.

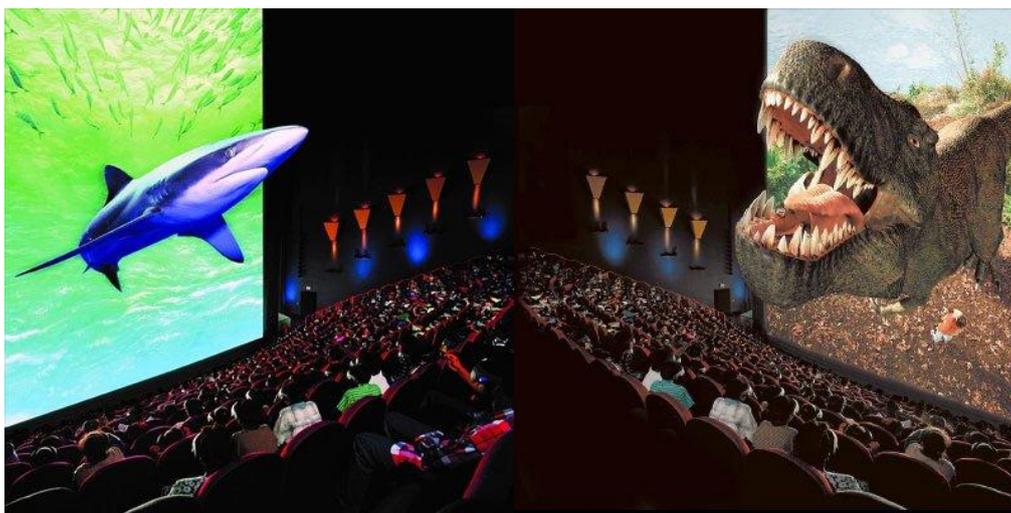
Anáglifo

Técnica que consiste em dividir a imagem em seu espectro de cor e enviar uma faixa delas para cada olho. Para visualizar uma imagem ou vídeo em anáglifo o observador deve fazer uso de óculos especiais com filtros de cores (azul e vermelho) a fim de permitir a passagem somente das cores selecionadas para cada olho. Dessa forma o olho que vê através da lente vermelha percebe apenas luz na faixa do espectro relativa à cor vermelha e o olho que vê através do filtro azul percebe apenas a luz nessa faixa do espectro. Essa foi a técnica que levou as projeções 3D para as salas do **cinema** (Figura 17) durante os anos 50 e ainda hoje é comum em notebooks, jogos e kits educacionais, por exemplo.

Polarização da Luz

A luz polarizada pode ser utilizada no campo da estereoscopia como uma técnica para separar a informação recebida por cada olho e assim possibilitar a visualização estereoscópica.

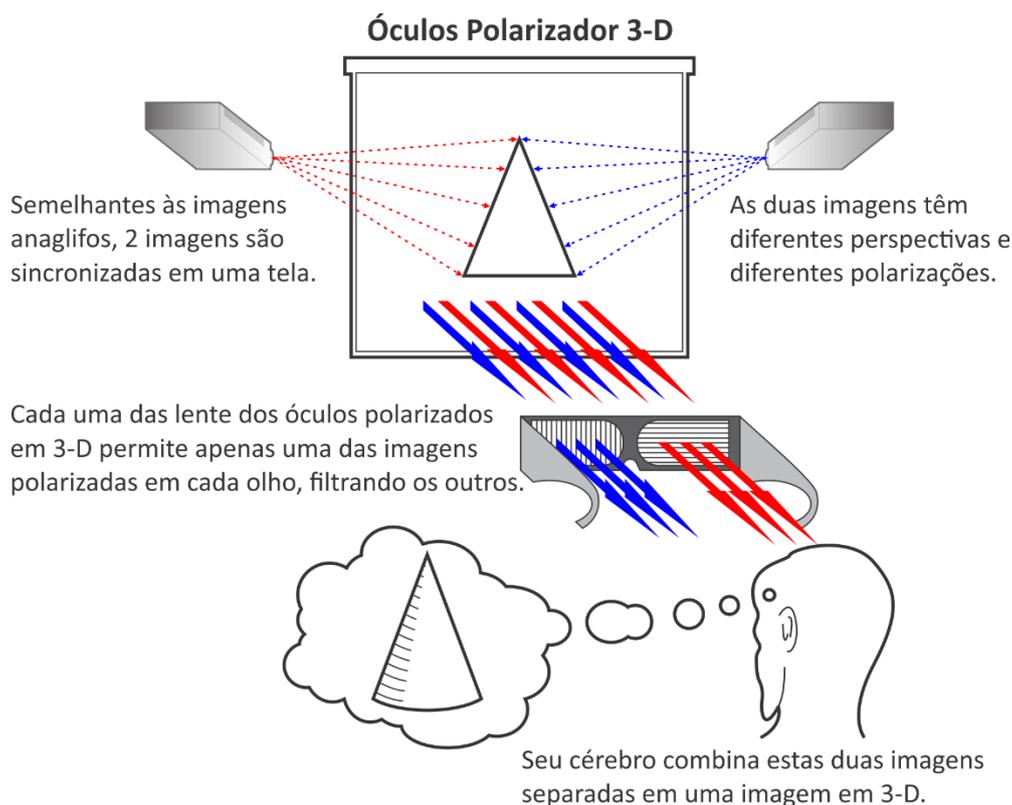
Figura 17 - Imagens 3D em salas de cinema.



Fonte: AVMAKERS. O cinema 3D morreu? Disponível em: <<https://www.avmakers.com.br/blog/o-cinema-3d-morreu>>.

Para isso é necessário que as imagens esquerda e direita estejam sobrepostas, mas com polarizações diferentes, em uma tela capaz de manter a polarização da luz incidente de forma que um observador, utilizando óculos com filtros polarizadores apropriados, receba a imagem correta para cada olho. (TOMOYOSE, 2010). A Figura 18 descreve basicamente um sistema de exibição 3D utilizando a técnica de polarização da luz.

Figura 18 - Representação esquemática do sistema 3d por polarização



Fonte: CARDOSO (2019).

Em vez de usar cores para filtrar as imagens que cada olho deve observar, utiliza-se a **polarização da luz** para fazer essa separação. Nos óculos 3D cada lente é polarizada de forma diferente, filtrando apenas as ondas de luz polarizadas na mesma direção. A tela é desenvolvida de forma a manter a polarização correta quando a luz do projetor é refletida. A vantagem desse processo em relação aos demais, é a possibilidade de observar o efeito tridimensional tanto em imagens estáticas quanto em movimento. Além disso, todo espectro de cores é preservado. O ápice desse novo formato ocorreu em 2009 com o lançamento do filme Avatar. A qualidade das imagens e o sentido de profundidade em 3D ofereceram ao espectador uma sensação imersiva, que não encontra paralelo em nenhuma experiência anterior em 3D (CHRISTOFOLI, 2011).

Capítulo dois: Construção do estereoscópio

Primeiramente vamos listar os materiais e instrumentos utilizados. Em seguida descreveremos a construção do aparato.

MATERIAIS

- ✓ 1 Celular
- ✓ 2 Lanternas de LED
- ✓ 2 Lupas – distância focal de aproximadamente 315mm
- ✓ 2 Bases planas (madeira, compensado ou MDF)
- ✓ Tela de compensado (lisa) ou MDF
- ✓ Tinta de pigmentos metálicos (spray)
- ✓ Película polarizadora
- ✓ 1 Folha de isopor (15mm)
- ✓ 1 Cartolina
- ✓ Palitos de picolé (20 unidades ou mais)
- ✓ Régua, fita métrica ou trena
- ✓ Estilete
- ✓ Pistola de cola quente e cola quente (um ou dois bastões)
- ✓ Fita durex
- ✓ Velcro (adesivo, se possível)
- ✓ Cola instantânea ou similar

O quadro abaixo informa onde adquirir os materiais e instrumentos bem como o preço médio praticado à época da construção do aparato:

Quadro 2 – Materiais e instrumentos

Materiais	Onde/como adquirir	Estimativa de preço (unidade)
Celular	X	X
Lanternas de LED (2)	Lojas de equipamentos elétricos ou variedades;	R\$ 12,00
Lupas (2)	Livrarias, armarinhos, lojas de variedades;	R\$ 5,00
Bases planas	Marcenaria e oficinas de moveis;	Reutilização
Tela de compensado, MDF ou qualquer superfície plana e lisa.	Lojas de materiais para construção: estruturas em metais;	Reutilização
Tinta de pigmentos metálicos - <i>spray</i> (1)	Lojas de materiais de construção, variedades e livrarias;	R \$ 16,00

Películas polarizadoras	Monitores de PC, tablets e notebooks descartados;	Reutilização
Folha de isopor - 15mm (1)	Armarinhos, lojas de material escolar e de festas;	R\$ 2,00
Cartolina (1)	Armarinhos, variedades e lojas de material escolar;	Reutilização
Palitos de picolé	Armarinhos, lojas de material escolar ou variedades;	R \$ 0,49 o pacote com 100 unidades ou reutilização
Régua, fita métrica ou trena	Armarinhos, lojas de material escolar, lojas de materiais de construção;	R\$ 5,00
Estilete	Armarinhos, lojas de material escolar ou variedades;	R\$ 3,50
Tesoura	Armarinhos, lojas de material escolar ou variedades;	X
Pistola de cola quente	Lojas de material escolar, loja de artigos para festas;	R\$ 16,00
Bastões de cola quente (1)	Armarinhos, lojas de material escolar e de festas;	R\$ 2,50
Velcro adesivo – macho e fêmea	Armarinhos, variedades e lojas de tecidos;	R\$ 17,00
Fita durex (1)	Armarinhos, lojas de material escolar ou variedades;	R\$ 1,90
Cola instantânea (1)	Armarinhos, lojas de material escolar ou variedades;	R\$ 9,99
	Total	R\$ 108,39

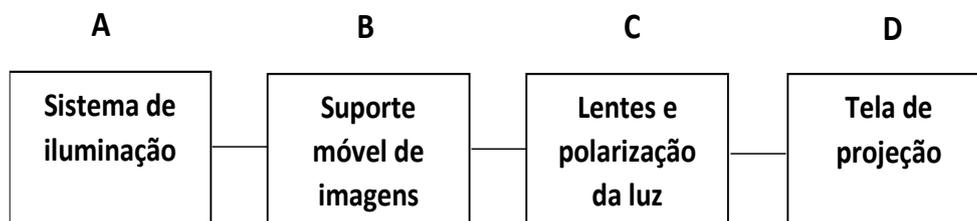
Fonte: CARDOSO (2019).

ESTRUTURA DO ESTEREOSCÓPIO

O estereoscópio pode ser dividido em quatro blocos, conforme ilustrado na Figura 19. A Figura 20 apresenta o esquema do experimento montado, que inclui os seguintes componentes: a fonte de luz (A), suportes móveis em formato de moldura (B), um par de lupas (C) para ampliação e projeção das imagens, películas polarizadoras removidas de monitores de computadores, notebooks e/ou tablets,

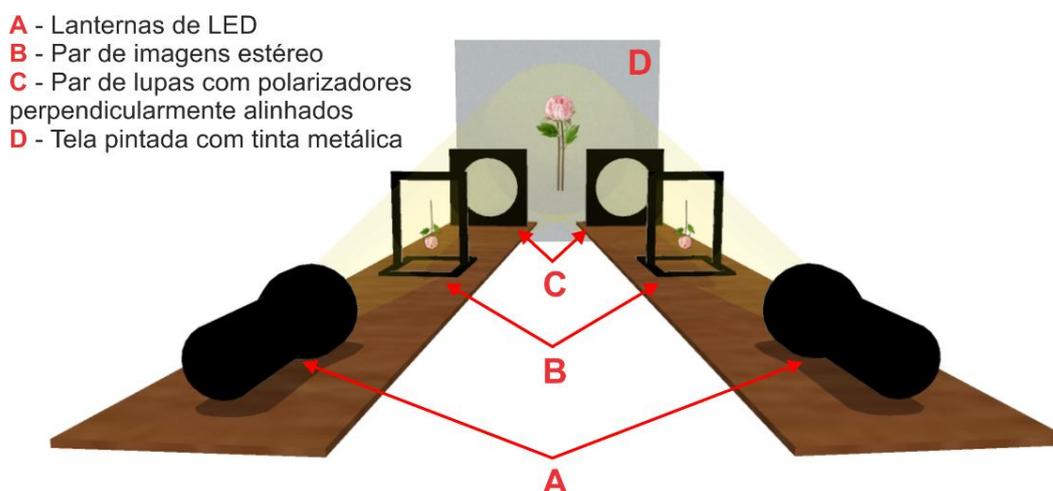
duas bases retangulares planas (que podem ser feitas de compensado ou MDF) e uma tela de projeção (D).

Figura 19 - Diagrama em blocos do esteresoscópio



Fonte: CARDOSO (2019).

Figura 20 - Representação do estereoscópio por luz polarizada



Fonte: CARDOSO (2019).

A seguir, descreveremos os detalhes construtivos:

Sistema de iluminação (A)

As lanternas têm a função de iluminar o par de imagens estereoscópicas que serão projetadas. Utilizamos duas lanternas de LED do mesmo modelo (Figura 21) que possuem um grupo de 9 LEDs dispostos em um refletor de 70mm de diâmetro (quanto mais próximo do diâmetro das lupas - 100mm - melhor). Escolha lanternas com boa intensidade luminosa, pois as películas polarizadoras das lentes e dos óculos diminuem a intensidade da luz.

Figura 21 - Fontes de luz

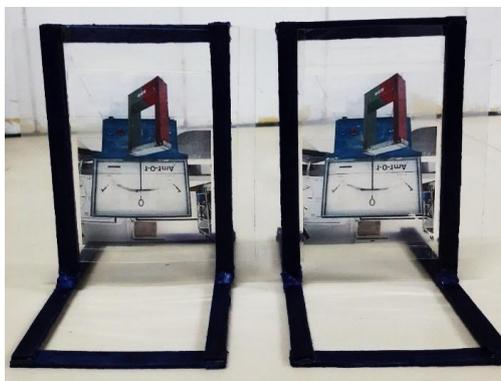


Fonte: CARDOSO (2019).

Suportes de fixação das imagens (B)

Esses suportes em formato de moldura (Figura 22) devem acomodar o par de imagens. A parte interna onde as imagens em transparências devem ser encaixadas possuem uma área de 66mm × 86mm.

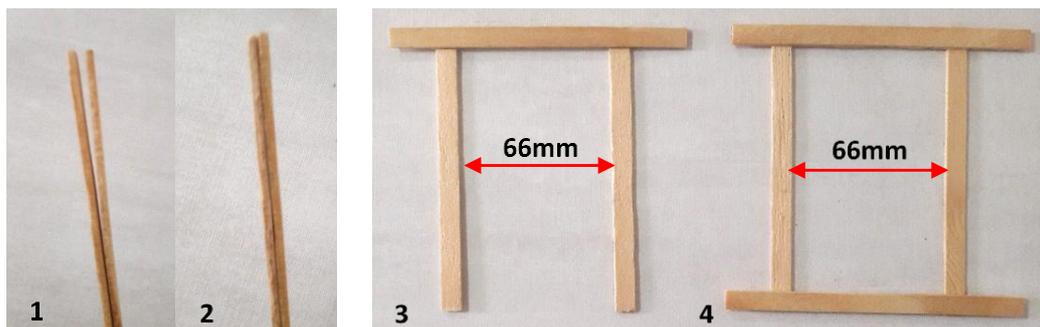
Figura 22 - Suportes do par de imagem estéreo



Fonte: CARDOSO (2019).

Para a confecção de cada suporte são necessários 10 palitos de picolé. Selecione aqueles que apresentarem melhor alinhamento. Utilize uma régua para fazer as medidas; caneta ou lapiseira para as marcações; cola quente para colar as partes e uma serra (ou uma pequena faca) para cortar as pontas. Acompanhe os passos ilustrados pelas imagens a seguir.

Figura 23 - Montagem dos suportes das imagens (a)

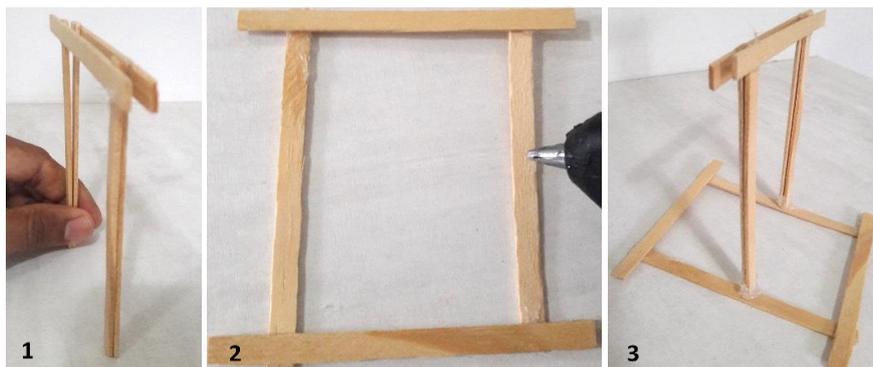


Fonte: CARDOSO (2019).

Para selecionar os palitos, coloque-os aos pares um sobre o outro e confira alinhamento lateral. Na Figura 23 temos: **1** – palitos desalinhados; **2** – bom alinhamento dos palitos. O suporte é construído a partir da montagem de duas partes conforme Figura 23 (3 e 4). Para cada suporte precisaremos confeccionar: duas peças iguais a indicada na Figura 23-3 e uma peça igual a indicada na Figura 23-4 . Uma distância de 66mm entre os palitos que estão na vertical deve ser deixada para que o par de imagens estereoscópicas seja colocado.

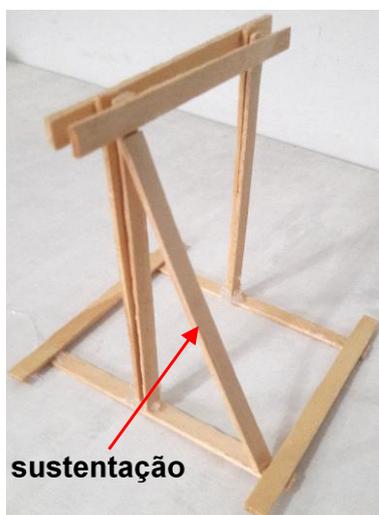
Pegue as duas partes (Figura 23-3) e coloque-as uma sobre a outra (de forma que os palitos que estão dispostos na vertical fiquem encostados) e cole suas extremidades. A cola não deve ser colocada entre um palito e outro (uma pequena quantidade nas laterais das extremidades é suficiente), pois os palitos devem ficar bem encostados ao longo de seus comprimentos (Figura 23-2). Em seguida, aplique um pouco de cola em cada um dos palitos dispostos na horizontal da outra parte (Figura 24-2) que servirá de apoio e cole nele as extremidades da parte que deverá acomodar as imagens. Caso necessário, acrescente mais palitos (Figura 25) para alinhar e dar mais resistência aos suportes.

Figura 24 - Montagem dos suportes das imagens (b)



Fonte: CARDOSO (2019).

Figura 25 - Montagem dos suportes das imagens (c)

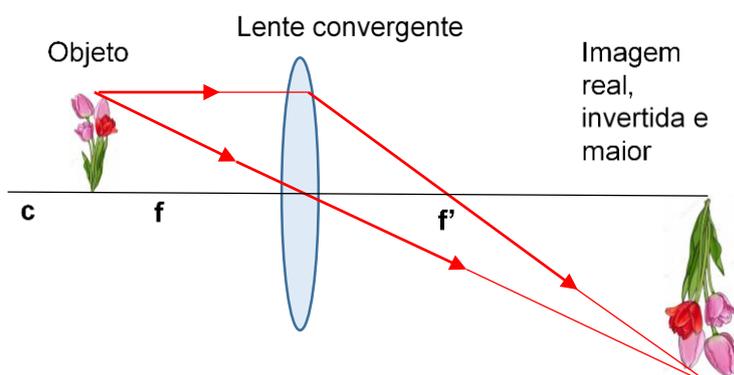


Fonte: CARDOSO (2019).

Lentes e polarização da luz (C)

Essa parte do estereoscópio tem dupla função: uma é fazer a ampliação do par de imagens colocadas no suporte móvel; a outra, é fazer com que as imagens sejam projetadas em planos de polarização perpendiculares. Tomando os devidos cuidados quanto a posição do objeto (posição do suporte móvel), a imagem será projetada sobre o anteparo conforme mostra a Figura 26.

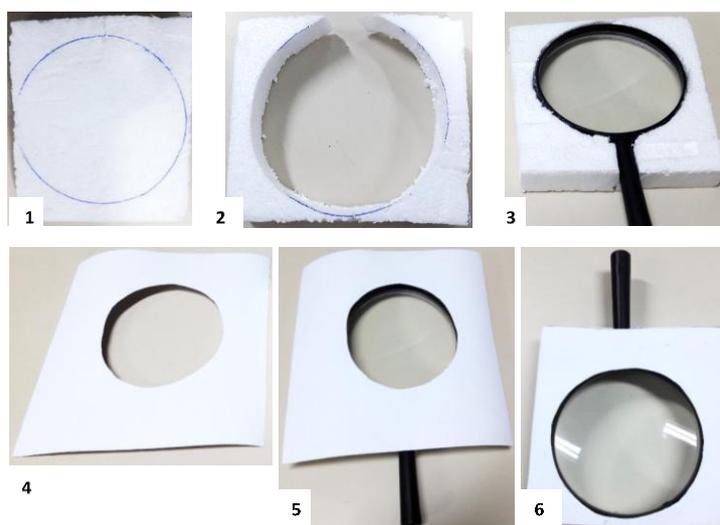
Figura 26 - Formação de imagem em uma lente convergente (lupa).



Fonte: CARDOSO (2019).

Para a ampliação das imagens, utilize duas lupas de 100mm de diâmetro e distância focal de aproximadamente 315mm (quanto menor a distância focal maior a ampliação). Não é recomendável utilizar lupas com diâmetro menores, isso pode provocar distorções nas imagens projetadas em regiões próximas às bordas das fotografias. Fixe as lupas em uma estrutura de isopor; recubra com cartolina e, para a polarização da luz, coloque películas polarizadoras sobre as lentes de cada uma das lupas. Realize cada uma das etapas conforme a Figura 27.

Figura 27 - Montagem das lentes de projeção.



Fonte: CARDOSO (2019).

- 1 – Recorte um pedaço de isopor em um tamanho que comporte as lupas. Utilize a própria lupa para marcar a área a ser recortada;
- 2 – Utilize um estilete para recortar a área demarcada;

3 – Posicione a lupa na região que foi cortada e aplique cola quente no espaço entre a borda da lupa (parte de plástico que contorna a lente) e o isopor;

4 – Para dar um melhor acabamento, recubra o isopor com cartolina ou qualquer outro tipo de papel;

5 – Utilize cola quente ou cola de isopor (a secagem é um pouco mais lenta) para fixar o recobrimento deixando completamente livre a área das lentes;

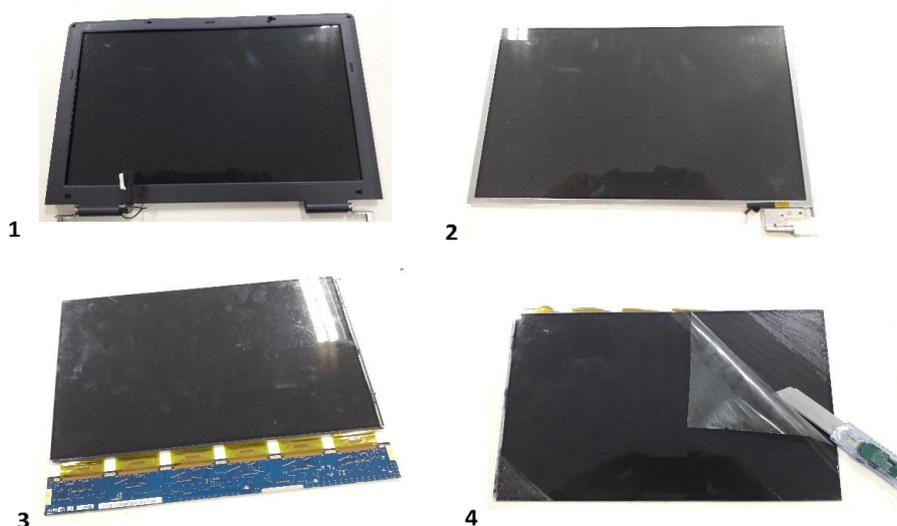
6 – Aparência do suporte após a realização das etapas anteriores.

REMOÇÃO DAS PELÍCULAS POLARIZADORAS

Películas polarizadoras são encontradas no mercado como item de reposição para monitores de TVs, computadores, smartphones e painéis de veículos, por exemplo. Por isso, são vendidas em formatos e tamanhos específicos a preços elevados. Porém, é possível obtê-las sem custo algum removendo-as de monitores de PC, tablets, notebooks ou TVs de LCD inutilizados. Se você não tiver nenhum monitor velho em casa, não será difícil conseguir em lojas de manutenção eletrônica ou em pontos de coleta de lixo eletrônico (procure saber onde estão localizados os pontos de coleta em sua região).

De posse de um desses monitores desmonte-o utilizando uma chave (do tipo estrela) para retirar os parafusos que predem o display à carcaça plástica (Figura 28-1) e à moldura de metal (Figura 28-2).

Figura 28 - Remoção da película polarizadora.



Fonte: CARDOSO (2019).

O display, entre outros elementos, possui uma superfície de vidro recoberta dos dois lados com películas escuras (são os polarizadores), uma fosca e outra brilhosa (é essa que interessa).

Coloque-o sobre uma mesa plana e bem apoiada e utilize a ponta do estilete (ou qualquer lamina plana de pequena espessura) para começar a retirada da película polarizadora por uma das quinas (Figura 28-4). Se você perceber que a película está saindo sem brilho e mediante muito esforço, provavelmente parte da cola utilizada para fixá-la ao vidro está vindo junto. Para evitar que o vidro quebre e a película se perca, pare e recomece a remoção por outro lado. Alguns monitores têm a película fortemente aderida à superfície do vidro (nesse aspecto, displays menores costumam dar mais trabalho), em monitores maiores e mais robustos a remoção é mais suave e as perdas conseqüentemente são menores. Não utilize água ou substâncias abrasivas para limpar as películas, um tecido macio e seco é mais indicado. Na Figura 29 vemos alguns pedaços de películas extraídas da tela de um monitor.

Figura 29 - Películas polarizadoras removidas.



Fonte: CARDOSO (2019).

Colocação das películas polarizadoras

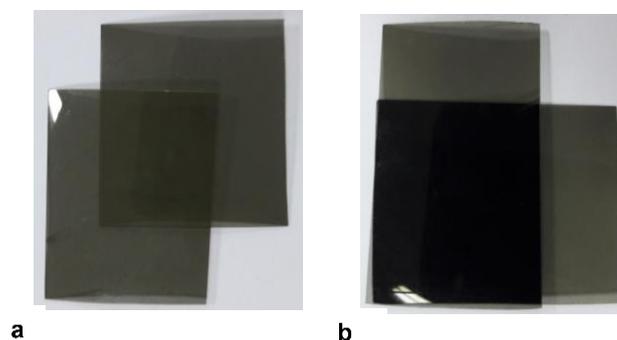
As películas polarizadoras devem ser fixadas em um dos lados de cada suporte de forma a cobrir toda a área das lentes (lupas) e devem ser dispostas com eixos de polarização perpendiculares. Para isso, siga as seguintes instruções.

1 – Recorte, utilizando estilete ou tesoura, um pedaço da película em forma de um quadrado de lado 105mm (as lupas têm 100mm e os 5mm a mais são necessários para servir de contato com a fita durex);

2 – Coloque o pedaço já recortado em cima do restante da película, ele servirá de moldes para a película que recobrirá a lente do outro suporte (Figura 30.a);

3 – Antes de fazer o recorte, certifique-se de que ambas estejam com eixos de polarização em direções perpendiculares (Figura 30.b).

Figura 30 – Películas polarizadoras recortadas.

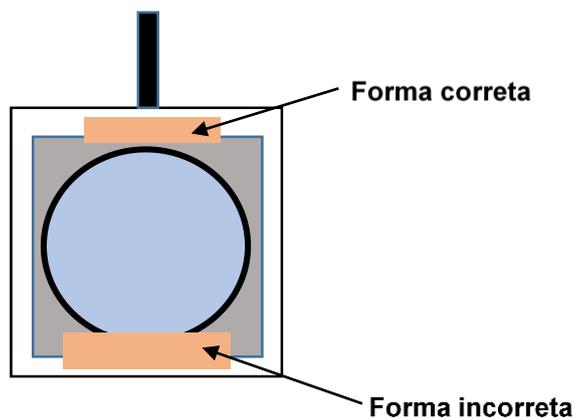


Fonte: CARDOSO (2019).

Caso necessário, coloque-as sobre o display ou lanterna de um celular, provoque a rotação da película que já foi recortada até que a intensidade da luz transmitida seja a menor possível (nesse caso os eixos estarão em posições perpendiculares) e então faça o recorte.

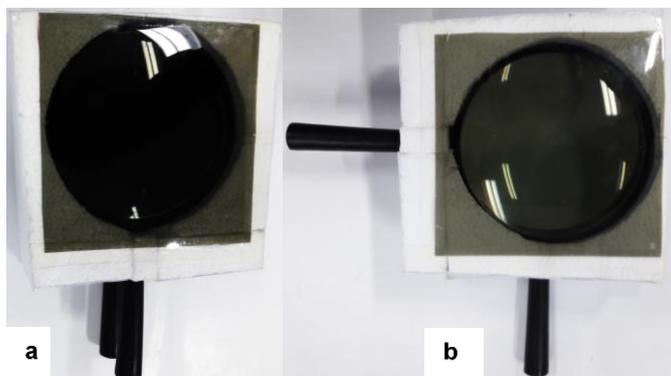
4 – Finalmente, fixe cada filme polarizador no respectivo suporte passando fita durex em volta de todo o perímetro. Tome cuidado para que nenhuma parte da fita durex ultrapasse a região das lentes, pois elas alteram o plano de polarização da luz transmitida (Figura 31). A Figura 32 mostra como devem ficar as imagens transmitidas pelas lupas quando os respectivos suportes das lentes estão paralelamente (a) e perpendicularmente (b) alinhados.

Figura 31 - Colagem da pelúcia polarizadora no suporte da lupa.



Fonte: CARDOSO (2019).

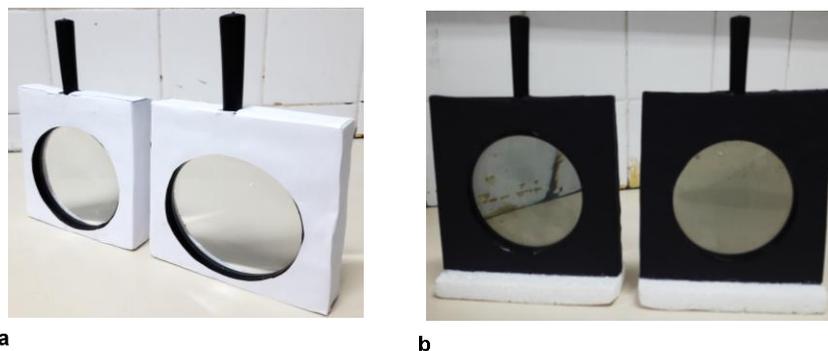
Figura 32 – Lentes de projeção-polarização com eixos perpendiculares (a) e paralelos (b).



Fonte: CARDOSO (2019).

Para dar mais estabilidade aos suportes, pode-se colar na parte inferior (oposta aos cabos das lupas) plataformas de isopor com largura de aproximadamente 50mm (Figura 33).

Figura 33 – Pares de lentes de projeção-polarização.



Fonte: CARDOSO (2019).

Tela de projeção (D)

A tela sobre a qual as imagens serão projetadas é uma parte importante do aparato, deve ser constituída de um material capaz de refletir a luz incidente (polarizada) e manter o plano de polarização, caso contrário o efeito 3D não ocorrerá. Realizamos vários testes a fim de encontrar uma solução prática e barata. Obtivemos projeções com bons resultados utilizando superfícies metálicas planas de alguns móveis e eletrodomésticos (superfície metálicas não desfazem a polarização da luz incidente) – obviamente uma tela de fácil transporte é mais conveniente para uso em sala de aula. Recorremos aos pontos de descartes de materiais, mas as superfícies metálicas encontradas estavam sempre amassadas. Compramos um pedaço de folha de alumínio, porém alguns vincos (devido ao manuseio na hora do corte e ao enrolamento para transporte) produziram linhas de intensa reflexão nas imagens projetadas, o que causa desconforto aos olhos.

Experimentamos um tipo de folha de papel, vendido em lojas de decorações, na qual uma das faces é prateada e brilhante, sem sucesso. Alcançamos o resultado pretendido utilizando tintas de pigmentos metálicos. Por tanto, utilize uma superfície lisa com dimensões de aproximadamente 400mm x 600mm em MDF, compensado, plástico ou acrílico, por exemplo, e pinte uma das faces com tinta(spray) de pigmentos metálicos (Figura 34). O spray na cor prata apresenta um bom resultado. Leia e siga atentamente as instruções do fabricante para aplicação do spray.

Figura 34 - Tela de projeção



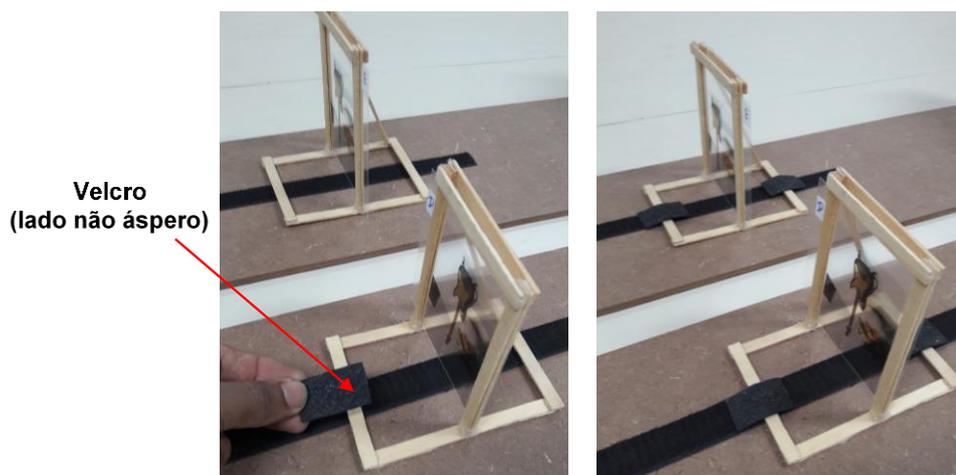
Fonte: CARDOSO (2019).

CONSTRUÇÃO DAS BASES

Os dispositivos de cada parte (A, B e C) que compõe o estereoscópio devem ser colocados sobre uma base plana que permita um bom alinhamento entre eles. Utilize duas bases retangulares, feitas de um material de média densidade. Isso ajuda na estabilidade do sistema e facilita o ajuste das partes que ficarão sobre elas. As bases podem ser feitas em madeira, compensado, MDF ou similares. O mais importante é que sejam planas e com dimensões de aproximadamente 13cm de largura (mesma largura dos suportes das lentes) por no mínimo 90cm de comprimento.

Utilizando cola super bonder (ou similar), cole um pedaço de velcro (o lado mais áspero por exemplo) de aproximadamente 40cm em cada uma das bases (Figura 35). Destaque também quatro pedaços (o lado menos áspero) de 50mm que servirão para fixar os suportes das imagens nas bases após os ajustes para a projeção.

Figura 35 - Bases do estereoscópio



Fonte: CARDOSO (2019).

Agora basta colocar cada parte sobre a base e o estereoscópio estará pronto (Figura 36).

Figura 36 - Estereoscópio de luz polarizada montado

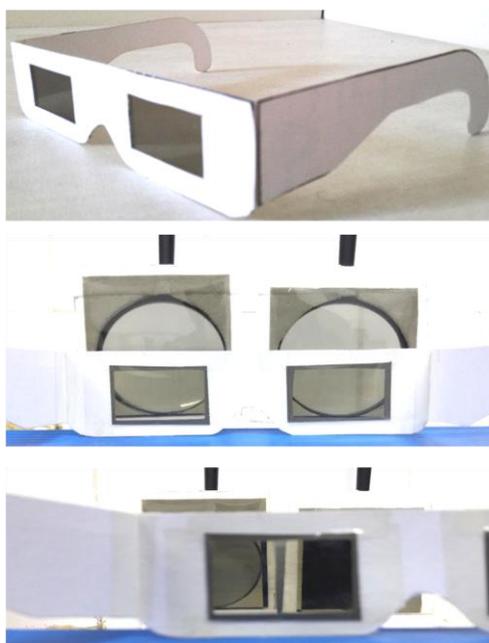


Fonte: CARDOSO (2019).

CONFECÇÃO DOS ÓCULOS 3D

Imprima em papel o modelo de óculos 3D que servirá de moldes (Apêndice A.3); cole-o sobre algum tipo de papel um pouco mais rígido: cartolina, papel cartão, papel de caixas de sapatos e outros; faça os recortes com tesoura (utilize o estilete para as “curvas”); utilize fita durex para fazer a montagem das partes móveis dos óculos; fixe as películas polarizadoras com fita durex nos dois lados do óculos de forma que o lado esquerdo fique com polarização paralela à polarização da película fixada à lupa do lado esquerdo e o lado direito dos óculos fique com polarização paralela à polarização da película fixada à lupa do lado direito. Observe que a película de cada lado dos óculos deve estar com polarização perpendicular à película da lupa do lado oposto como ilustra a Figura 37.

Figura 37 - Óculos 3D com lentes polarizadas



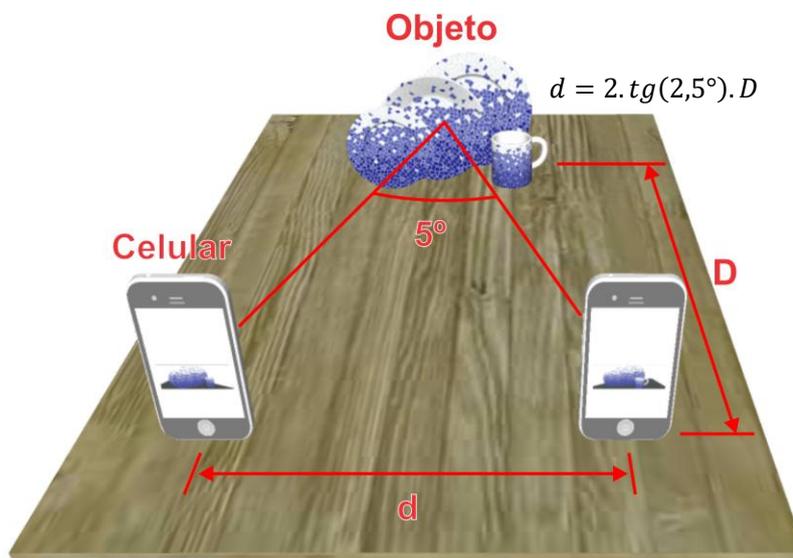
Fonte: CARDOSO (2019).

PRODUÇÃO DAS IMAGENS

Para obter o par de imagens estéreo, utilize o celular para tirar duas fotos em ângulos diferentes do mesmo objeto ou paisagem. Para isso, o aparelho deverá ser deslocado para direita ou para esquerda entre uma foto e outra. A distância

horizontal é calculada a partir de relações trigonométricas de forma a manter uma abertura angular de 5° entre o ponto-objeto e o eixo de visão em cada posição da câmera, conforme a Figura 38.

Figura 38 - Trigonometria do posicionamento da câmera e objeto.

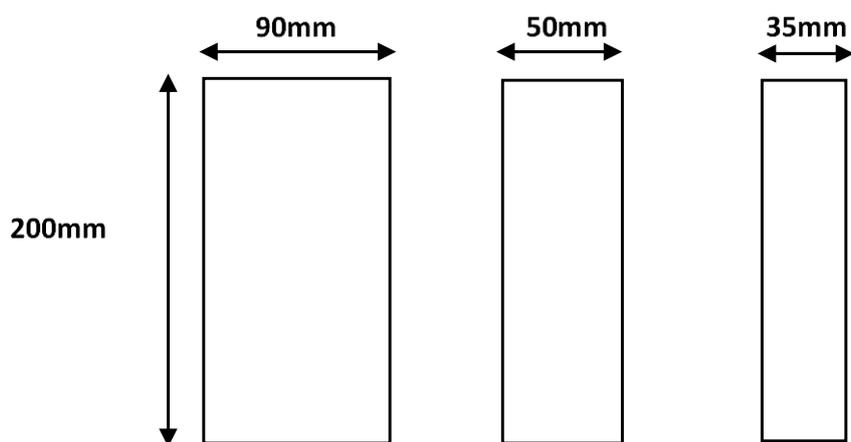


Fonte: CARDOSO (2019).

Suporte do celular

Para garantir a variação angular de 5° entre as fotografias e evitar movimentos na direção vertical, construa um suporte com escala graduada em milímetros. O suporte pode ser confeccionado em isopor. Para montá-lo, corte três pedaços de isopor em forma de retângulos com as medidas indicadas na Figura 39; cubra as peças com cartolina, caso queira dar um melhor acabamento, e em seguida cole as partes com cola quente. Todas as peças têm o mesmo comprimento (200mm), somente as larguras variam. A peça mais estreita (35mm) servirá de empunhadura para as mãos.

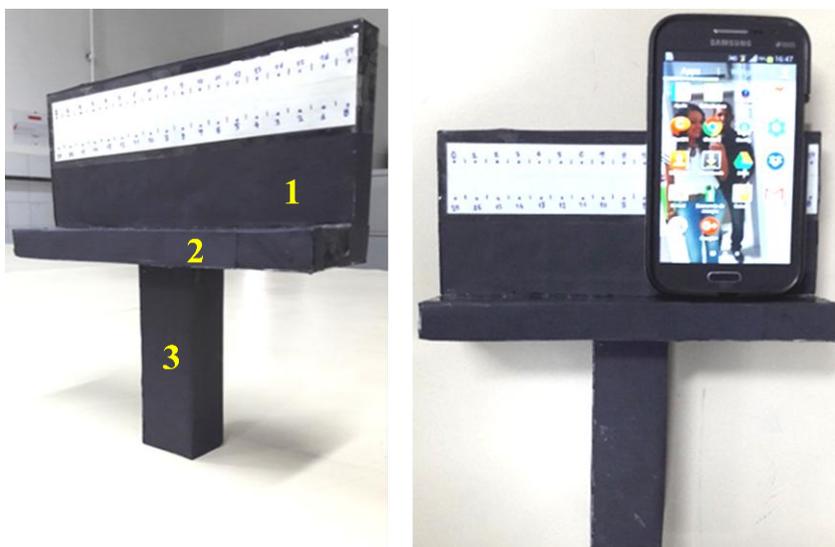
Figura 39 - Partes do suporte da câmera - celular



Fonte: CARDOSO (2019).

A escala graduada pode ser feita diretamente no suporte utilizando uma régua para fazer as marcações (com uma caneta ou lapiseira) em milímetros, ou pode-se utilizar a própria régua fixando-a com cola quente ao suporte. Após a montagem o suporte deve ficar conforme a Figura 40.

Figura 40 - Suporte da câmera (celular) montado



Fonte: CARDOSO (2019).

Recomendações para obter bons pares de imagens estéreo:

1- Não tire fotos de objetos muito distantes. Bons resultados são obtidos com o objeto (referência) a distâncias entre 50cm e 100cm da câmera (celular). Para encontrar a distância vertical entre as posições da câmera entre uma foto e outra, utilize a equação que aparece no Quadro 3 e preencha a tabela abaixo:

Quadro 3 - Cálculos da distância horizontal entre as posições da câmera.

$d = 2 \cdot tg(2,5^\circ) \cdot D$	
D	d
50cm	
60cm	
70cm	
80cm	
100cm	

Fonte: CARDOSO (2019).

- 2- Prepare uma cena com pelos menos dois objetos, um mais à frente do outro. Isso ajuda a reforçar o efeito de profundidade na imagem final.
- 3- Escolha cores contrastantes para compor a paisagem: um objeto vermelho ao lado de um azul, em cima de uma mesa marrom por exemplo.
- 4- A definição da câmera do celular também interfere na qualidade das imagens. Utilizar aparelhos com câmeras de pelo menos 8 megapixels.

Nota: Algumas imagens estereoscópicas, prontas para impressão, estão disponíveis no material suplementar.

A Figura 41 mostra um par estéreo obtido de acordo com as orientações indicadas.

Figura 41 - Par de imagens estereoscópicas.



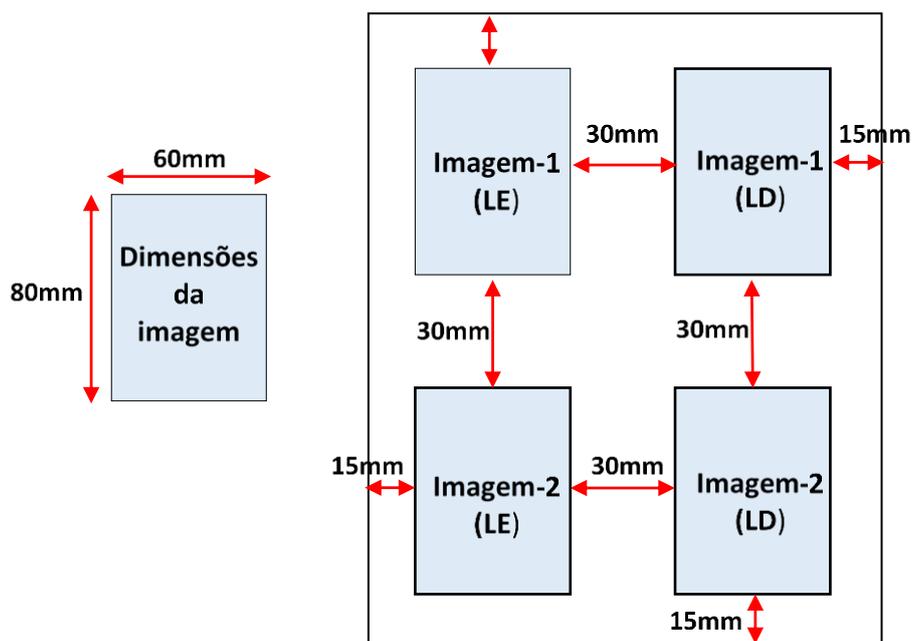
Fonte: CARDOSO (2019).

À primeira vista parece ser a mesma imagem, de fato, o objeto fotografado é o mesmo. Porém, se olharmos com mais atenção (compare a distância lateral do recipiente de tinta com as ranhuras na parede atrás), perceberemos que ambas estão dispostas em ângulos ligeiramente distintos: uma está mais à esquerda – lado esquerdo (LE) e outra está mais à direita – lado direito (LD).

Impressão das imagens

A impressão das imagens deve ser feita em transparências apropriadas para máquinas impressoras a laser ou jato de tinta. Tome cuidado para não utilizar transparência jato de tinta em impressora a laser ou vice-versa, cada uma delas deve ser utilizada de acordo com as especificações do fabricante. Antes de imprimir as imagens, são necessários alguns cuidados, esquematizados na Figura 42: **1** - assegure-se que as fotos estejam configuradas no tamanho 60mm x 80mm, essas dimensões se adequam ao diâmetro das lupas e permitem a projeção de uma imagem maior com um menor distanciamento entre o estereoscópio e a tela de projeção (o distanciamento causa a diminuição da intensidade da luz incidente na tela de projeção); **2** - deixe um espaço de 30 milímetros entre os lados de uma foto e as que estão próximas, esses espaços serão necessário para colocar as imagens no suporte móvel (B); **3** – a transparência só imprime imagens em uma de suas faces e nem sempre é possível identificar a olho nu, por isso os fabricantes costumam indicar com alguma marca o lado onde deve ser feita a impressão. Esteja atento a esses detalhes.

Figura 42 - Edição das imagens para impressão



Fonte: CARDOSO (2019).

Se você não estiver seguro quanto a esses procedimentos, deixe que um profissional faça a edição e impressão das imagens. Esse serviço não custa caro e evita transtornos.

Recorte das imagens

Após a impressão das imagens, recorte-as para que sejam colocadas nos suportes móveis. Identifique os limites de largura (60mm) e altura (80mm) e faça os recortes deixando uma sobra de no mínimo 15mm em cada lado. Utilize régua e caneta para fazer as marcações em volta de cada imagem e um estilete para fazer os recortes. Para garantir um corte retilíneo, coloque a borda da régua sobre as marcações e passe a lâmina do estilete. Outro detalhe importante é a identificação dos lados direito e esquerdo de cada par de imagem, ou seja, identificar a foto que foi tirada com a câmera mais à direita e a que foi tirada com a câmera mais à esquerda. Lembre-se que as fotos serão colocadas invertidas no suporte (as lentes projetam imagens reais e invertidas). Então, para que se tenha as letras **D** (lado direito) e **E** (lado esquerdo) colocadas corretamente, siga os passos a seguir.

Coloque o par de imagens sobre uma folha branca (Figura 43) e em seguida uma imagem sobre a outra de forma a alinhar os limites de todos os seus lados

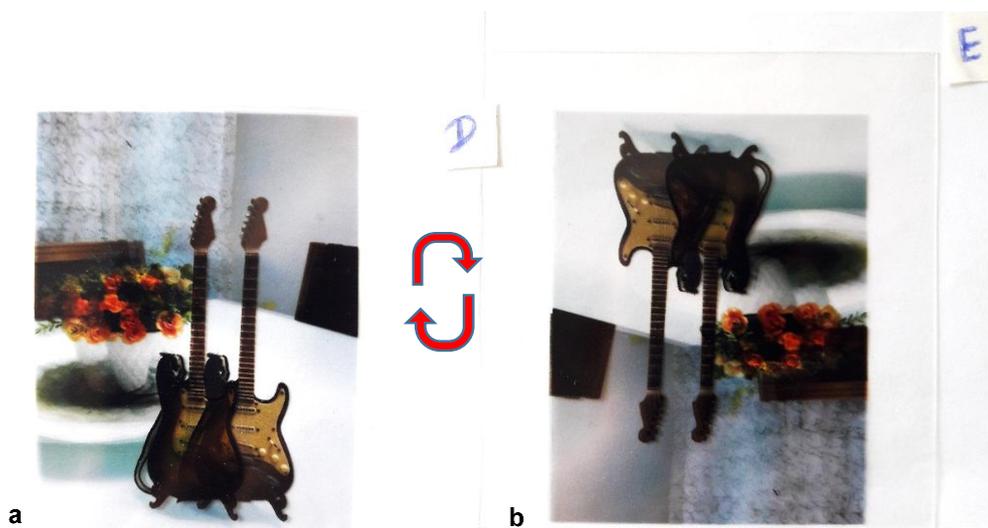
(Figura 44.a). Em seguida, faça um giro de 360° e veja, nessa orientação invertida, qual delas está mais à direita. Caso não disponha de um pincel marcador permanente (canetas comuns não marcam transparências), recorte dois pequenos pedaços de papel; grafe as letras **D** (direita) e **E** (esquerda) e fixe-os com fita durex no canto da respectiva imagem (Figura 44.b). A Figura 45 mostra como deve ficar a imagem fixada no suporte.

Figura 43 – Par de imagens estereoscópicas impressas.



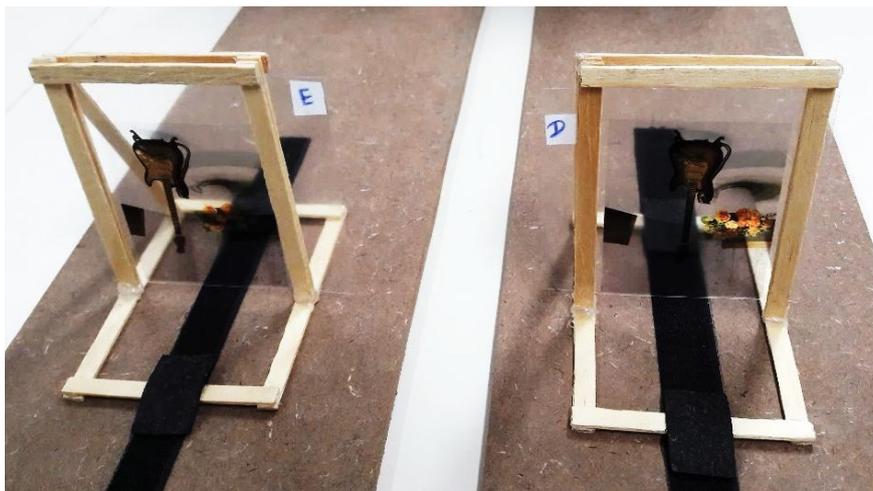
Fonte: CARDOSO (2019).

Figura 44 – Par estéreo(a) com lados identificados (b).



Fonte: CARDOSO (2019).

Figura 45 – Par de imagens colocadas nos suportes



Fonte: CARDOSO (2019).

AJUSTES PARA VISUALIZAÇÃO DAS IMAGENS

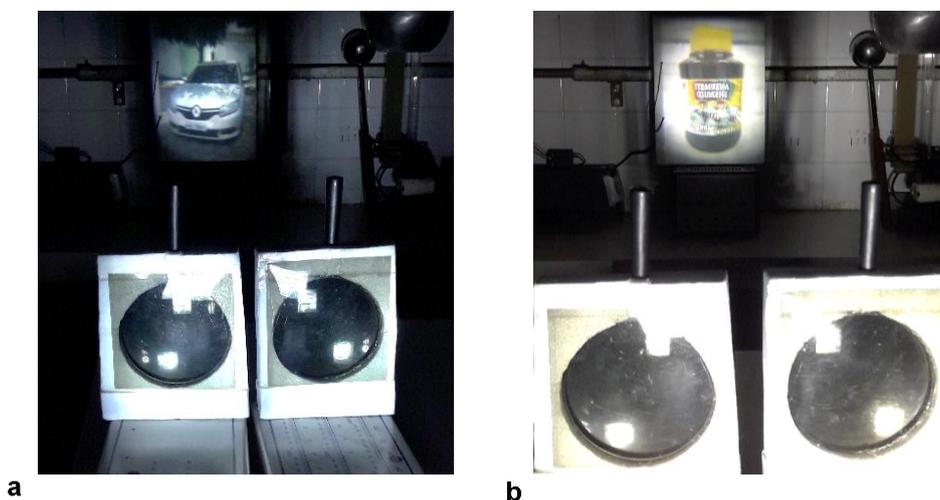
Para visualizar as imagens é necessário fazer os ajustes das imagens na tela de projeção. Primeiramente providencie uma mesa plana para acomodar o estereoscópio; coloque as bases lado a lado deixando um espaço de aproximadamente 6cm entre elas; posicione as lentes polarizadas alinhadas nas extremidades das bases e nas outras extremidades posicione as lanternas; coloque cada par de imagem em sua respectiva base (imagem direita na base do lado direito e imagem esquerda na outra base) entre a lanterna e a lente. Em seguida proceda conforme os passos descritos a seguir:

- 1- Ligue uma das lanternas;
- 2- Escolha o tamanho da projeção (alterando a distância entre o estereoscópio e a tela de projeção);
- 3- Ajuste o foco (posição onde a imagem projetada é mais nítida) aproximando ou afastando a imagem da lente;
- 4- Fixe o suporte à base com o velcro (Figura 35);
- 5- Ligue a outra lanterna, repita o passo 3 de forma a deixar as imagens no mesmo tamanho, na mesma altura e com um pequeno deslocamento horizontal;

- 6- Coloque os óculos 3D para finalizar o ajuste. Faça pequenos deslocamentos horizontais nas imagens projetadas fazendo aberturas nas extremidades inferiores (onde estão as lanternas) das bases do estereoscópio até que o efeito tridimensional seja perceptível.

Observação: Durante os ajustes para encontrar a distância horizontal adequada entre as imagens na tela de projeção, tome cuidado para não inverter os lados de cada imagem. A imagem direita (identificada com D) deve sempre ficar mais à direita da imagem esquerda (identificada com E). A Figura 46 mostra exemplos de projeções.

Figura 46 – Projeção no estereoscópio: imagem de um automóvel (a) e de um vidro de tinta (b)



Fonte: CARDOSO (2019).

Capítulo três: proposta de aplicação didática

A metodologia adotada para aplicação didática do estereoscópio no estudo da polarização da luz está baseada nas etapas da Situação de Estudo (SE). A SE é uma metodologia de aplicação didática fundamentada na abordagem vigotskiana de aprendizagem e desenvolvimento. Essa proposta de ensino remete para o processo de reconfiguração curricular para contemplar a complexidade do trabalho pedagógico. Foi pensada em 2000 e vem sendo desenvolvida pelo Grupo Interdepartamental de Pesquisa sobre Educação em Ciências (Gipéc) da Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul (Unijuí) (SANGIOGO *et al.*, 2013).

Estando em conformidade como a teoria sócio-histórico-cultural, essa proposta considera relevante elementos das experiências dos alunos que vão além da necessidade de mediação de conceitos científicos, pois essas vivências e as relações que o aluno estabelece com seu meio são importantes na construção do conhecimento que possibilita a formação das funções psicológicas superiores (MALDANER; ZANON, 2001). A SE privilegia a questão da significação conceitual, indicando preocupação mais cognitiva do que pedagógica, contempla os conteúdos escolares a partir da vivência dos estudantes, contribuindo para o desenvolvimento dos conceitos de modo mais significativo, rompendo com a forma linear e tradicional do ensino. Busca-se, com a referida proposta, contemplar um ensino contextualizado e interdisciplinar, que corrobore com aspectos defendidos nas orientações curriculares nacionais. Foca-se em uma ‘situação concreta’, complexa, que professores e estudantes buscam compreender de forma ampla (SANGIOGO *et al.*, 2013).

A SE segue uma dinâmica específica sistematizada em três etapas: problematização, primeira elaboração e função de elaboração e compreensão textual.

Na etapa da **problematização** os estudantes são postos diante de um problema vivenciado por eles cujo entendimento formal ainda não possuem, mas que conhecem e podem comentar alguns aspectos. A segunda etapa, definida como etapa da **primeira elaboração**, é feita a organização e sistematização das ideias e

conceitos levantados na etapa anterior. Na terceira e última etapa, **função de elaboração e compreensão textual**, há uma retomada dos questionamentos iniciais com intuito de que os estudantes possam compreendê-los sob uma perspectiva científica e que, utilizando os conceitos e as definições estudadas, possam demonstrar entendimento de outras situações análogas às que lhes foram apresentadas ao longo do desenvolvimento da Situação de Estudo. É nessa etapa que se objetiva a generalização dos conceitos propostos ao longo de toda a Sequência Didática.

As atividades foram planejadas de forma que os estudantes possam aprender sobre a **polarização da luz** a partir da discussão dos processos e princípios físicos envolvidos na produção de imagens e filmes 3D. Além dos conceitos atinentes à polarização, assuntos como: visão binocular; campo de visão; estereoscopia e trigonometria, podem ser abordados buscando oferecer um estudo contextualizado e interdisciplinar. A SE está planejada para ser desenvolvida durante seis aulas de 50 minutos. O componente curricular Física, na 3ª série, possui carga horária semanal de 3 horas-aulas distribuídas, geralmente, em dois encontros. Ou seja, a proposta pode ser implementada em duas semanas.

Como requisito para a aplicação da presente proposta, mas não obrigatoriamente, os estudantes devem ter estudado as principais características e propriedades de uma onda (principalmente as ondas eletromagnéticas).

Acreditamos ser possível ensinar sobre polarização da luz sem que os estudantes possuam previamente os conceitos relacionados aos fenômenos ondulatórios, uma vez que, caso o professor prefira e disponha de tempo, poderá abordá-los no decorrer das atividades da SE.

As aulas estão distribuídas de acordo com as etapas da Situação de Estudo como mostra o quadro abaixo:

Metodologia

Situação de Estudo: **COMO FUNCIONA O CINEMA 3D?**

Desenvolvimento da sequência didática

1 – Problematização 1º e 2º encontro	2 – Primeira elaboração 3º e 4º encontro	3 - Função de elaboração e compreensão textual 5º e 6º encontro
<ul style="list-style-type: none"> ✓ Apresentação da SE, ✓ Indagações sobre imagens tridimensionais, ✓ Demonstração de algumas imagens 3D, ✓ Explicação dos princípios da visão estereoscópica, ✓ Apresentação da polarização da luz como o princípio físico utilizado no cinema 3D, 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Conhecer as primeiras observações e explicações acerca do fenômeno, ✓ Entender o significado físico de polarizar uma onda, ✓ Estudar os processos pelos quais a luz pode ser polarizada, ✓ Compreender o processo de produção de imagens 3D pela técnica de polarização da luz, 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Oficina: projeção de imagens 3D, ✓ AVALIAÇÃO: <ul style="list-style-type: none"> • Empregar adequadamente os conceitos e termos científicos relacionados ao tema de estudo, • Explicar novas situações a partir dos conhecimentos adquiridos,

Fonte: CARDOSO (2019).

A partir da discussão, da interação com os colegas e com a mediação do professor, os estudantes serão conduzidos a compreender o problema de acordo com os conhecimentos científicos a ele relacionados.

- ❖ **Etapa da problematização:** Etapa onde os alunos expressam o seu entendimento sobre o tema a ser abordado. É nesse momento que o professor deve dar significado as linguagens que vão se tornar uma discussão conceitual.

AULAS 1 e 2

Recursos e materiais:

- 1 – Data Show (se possível): exposição de slides (Apêndice A.1);
- 2 – Texto de apoio: Visão binocular (Apêndice A.2);
- 3 – Óculos 3-D (lentes azul e vermelho);
- 4 – Películas polarizadoras;
- 5 – Lanternas;

6 – Estereoscópio;

Nessas duas primeiras aulas, o professor:

Inicia uma conversa com os alunos buscando saber o que eles costumam fazer nos momentos vagos. Comenta sobre filmes e pergunta com que frequência os alunos vão ao cinema, se preferem assistir em projeção normal ou em 3D, por exemplo - *o objetivo é atrair os alunos através de um assunto aparentemente informal. Envolvê-los no assunto e abrir caminho para a apresentação do tema a ser trabalhado.*

Levanta alguns questionamentos: **Como as imagens são produzidas de forma a provocar a sensação 3D? Por que só percebemos o efeito tridimensional se usarmos óculos especiais? Qual a principal diferença notada em olhar para as imagens com e sem os óculos (azul e vermelho)? Qual o significado do termo 3D e em que uma imagem 3D difere de uma 2D? Qual o motivo de se utilizar as cores azul e vermelha? Outras cores também funcionam? Qual a técnica utilizada para separar as imagens no cinema 3D atual? Alguém já ouviu falar em polarização da luz e qual seu significado?** – *as perguntas buscam fazer com que os alunos explicitem o entendimento que possuem, mesmo que informal, sobre o funcionamento dessa tecnologia, dando-lhe significado e defendendo suas ideias. O professor também traz para a discussão algumas palavras que mostram outras possibilidades de se compreender a situação em discussão e que possam produzir algum sentido novo, podendo vir a se tornar conceitos no decorrer do estudo. A partir daí, cria-se a necessidade de estudos para compreender a demanda colocada.*

Apresenta o trabalho a ser desenvolvido - *o professor apresenta o tema geral (**Como funciona o cinema 3D?**) da Situação de Ensino; indica os objetivos; as etapas; os recursos que serão utilizados e a forma de avaliação.*

Demonstra algumas imagens tridimensionais como: desenhos anamórficos, hologramas e anáglifos (o professor deve providenciar ou solicitar previamente que os alunos tragam óculos de cores para visualização das imagens) disponíveis na internet. Boas imagens nesse formato estão disponíveis em: <https://br.pinterest.com/> - *a intenção é despertar a curiosidade dos alunos, levantar*

questionamentos e confrontar as observações feitas durante a demonstração das imagens com algumas das respostas dadas aos questionamentos anteriores.

Exibe imagens tridimensionais com o estereoscópio – *o professor organiza a turma de forma que todos os alunos possam visualizar as imagens. É provável que muitas perguntas surjam ao mesmo tempo. O professor deve finalizar a demonstração e só depois iniciar as discussões.*

Explica os princípios da visão estereoscópica - *o professor discute brevemente com os estudantes as diferenças e similaridades entre o sistema 3D em anáglifo, o cinema 3D atual e o estereoscópio. Explica de maneira objetiva a visão monocular e binocular dos animais destacando a importância da disposição dos olhos no crânio para a percepção tridimensional dos objetos e reforça que as principais técnicas de produção de imagens tridimensionais simulam a visão binocular do homem. Para ilustrar as características da visão binocular, o professor pode promover algumas dinâmicas (Apêndice B. 2).*

Explica de forma sucinta os princípios envolvidos na visualização de imagens tridimensionais pelas técnicas de espelhos, slides estéreos e anáglifos (reforça que cada olho deve receber uma imagem diferente); explica a separação das imagens em faixas de cores (azul e vermelho) na técnica do anáglifo destacando a importância dos cones e bastonetes na retina e finaliza mencionando a polarização da luz como técnica utilizada atualmente na tecnologia 3D dos cinemas para separar a informação que cada olho deve receber das imagens refletidas na tela de projeção - *o objetivo é promover um diálogo entre as disciplinas de Física e Biologia em torno do tema central. O professor não explica, ainda, os processos de polarização da luz, mas traz a palavra "polarização" para o contexto a fim de identificar os significados que os alunos atribuem a ela, quer seja trazido de outras áreas de estudos, quer seja de suas vivências fora da escola. O professor exemplifica que películas polarizadoras estão presentes, por exemplo, em óculos de sol, filtros fotográficos, displays e monitores em geral e demonstra que em determinada orientação as películas transmitem boa parte da luz, mas em outra, a bloqueia quase totalmente.*

- ❖ **Etapa da primeira elaboração:** É feita a sistematização dos conhecimentos envolvidos na etapa anterior e atividades que permitam a socialização dos conceitos estudados.

AULAS 3 e 4

Recursos e materiais:

- 1 – Data show para exposição de slides – primeira elaboração (Apêndice A.1);
- 2 – Texto de apoio: processos de polarização (Capítulo 2 deste produto);
- 3 – Películas polarizadoras, lupas do estereoscópio e/ou óculos de sol;
- 4 – Lanterna;
- 5 – Roteiro para produção de imagens tridimensionais (Secção 3.4 deste produto);
- 6 – Suporte móvel para celular;

Neste segundo momento, o professor:

Comenta os principais fatos históricos relacionados à polarização, destacando as primeiras observações no cristal de **turmalina**, as primeiras explicações e o modelo atualmente aceito para o entendimento do fenômeno - *o objetivo é mostrar que o entendimento e o domínio da técnica de polarização da luz, assim como muitas outras, surgiu da observação de fenômenos naturais e que a física é fruto de uma construção histórica do conhecimento.*

Reforça que a ótica é o ramo da física que estuda a luz; destaca suas características e propriedades enquanto **onda eletromagnética**; explica e descreve o significado de polarizar uma onda - *o objetivo é lembrar e/ou inserir no contexto de estudo palavras representativas de conceitos científicos e específicos para o entendimento do fenômeno, tais como: onda eletromagnética, oscilação, ondas transversais e longitudinais, plano de oscilação, frequência, período, comprimento de onda, velocidade de propagação, espectro eletromagnético.*

Enfatiza que a luz se origina da vibração dos elétrons presentes em uma substância e que essas vibrações, que ocorrem em vários planos, produzem ondas eletromagnéticas que se propagam em todas as direções - *deve ficar claro que um corpo que emite luz de forma espontânea, o faz por meio das vibrações aleatórias de seus elétrons e por isso emite luz não polarizada e que polarizar a luz significa fazê-la propagar-se em planos preferencias de oscilação.*

Descreve os processos pelos quais a luz pode ser polarizada e faz demonstrações práticas - *nesse momento, além da descrição e explicação físico-matemática de cada processo, é importante que o professor apresente exemplos de aplicação da polarização da luz em cada um dos processos. Por birrefringência o professor pode mostrar fotos da dupla imagem de um objeto vista através da calcita; por espalhamento, pode orientar os estudantes a olharem para o céu com óculos de sol (com lentes polarizadas) ou até mesmo com os filmes polarizadores utilizados durante a aula, se for possível, e observarem que o céu fica mais "escurecido" em certas regiões do que em outras; por reflexão, o professor pode fazer uso dos filmes polarizadores ou das lupas (recobertas com polarizadores) do estereoscópio para observar a polarização da luz refletida no chão da sala de aula ou no quadro negro; por absorção, o melhor exemplo são os polarizadores utilizados nas lupas. A lei de Malus pode ser avaliada qualitativamente utilizando-se as duas lupas e uma das lanternas do estereoscópio.*

Desafia os alunos a produzirem **imagens tridimensionais** (par de fotografias estereoscópicas) para serem projetadas com o estereoscópio no encontro seguinte. O professor deve informar que, além da exibição das imagens, deve ser explicado como o **estereoscópio** funciona, enfatizando o emprego da luz polarizada como técnica para a visualização das imagens 3D - *essa tarefa será desenvolvida na forma de oficina. A turma deve ser dividida em equipes e os estudantes deverão produzir e trazer impressas as imagens no encontro seguinte. O objetivo é promover a interação social dos alunos em torno da reprodução de uma tecnologia presente no mundo do entretenimento.*

Distribui o guia contendo as orientações para a produção e impressão do par de imagens estereoscópicas. Um para cada aluno ou um por equipe - *é importante que o professor explique cada etapa e demonstre o que for possível para que os estudantes possam sanar todas as dúvidas e produzir boas imagens.*

- ❖ **Etapa da Função de elaboração e compreensão textual:** Nessa etapa os estudantes devem: demonstrar o entendimento adquirido sobre a tecnologia empregada no cinema 3D; identificar os principais fenômenos físicos envolvidos e utilizar as palavras representativas dos conceitos científicos de acordo com o contexto da discussão.

AULAS 5 e 6

Recursos e materiais:

- 1 – Estereoscópio (de preferência mais de um aparato);
- 2 – Folhas de papel em branco;
- 3 – Fita durex;
- 4 – Tesoura e/ou estilete;

Nessa terceira, e última etapa...

As equipes irão fazer a exposição das imagens tridimensionais produzidas - o professor deve orientar as equipes quanto aos ajustes das imagens no estereoscópio. É importante fazer previamente um planejamento do tempo para que todas as equipes possam apresentar suas imagens e haja tempo hábil para a discussão dos conceitos. Para uma turma com aproximadamente 30 alunos é recomendável pelo menos dois estereoscópios. Esclareça bem os estudantes quanto a produção e impressão das imagens. Se as imagens estiverem totalmente prontas já se tem uma boa margem de tempo para as demais tarefas dessa etapa.

Finalizada as **apresentações das imagens**, as equipes serão questionadas pelo professor e pelos colegas a fim de que seja averiguada a apropriação dos conceitos científicos e o uso correto das palavras representativas deles na explicação da problemática proposta na SE - os alunos deverão explicar os princípios da visão estereoscópica e sua utilização na produção de imagens tridimensionais. Deverão descrever o funcionamento do estereoscópio ressaltando o conceito de polarização da luz como técnica empregada na projeção e visualização de imagens 3D no cinema.

A atividade que encerra a SE é a aplicação da **avaliação individual subjetiva** (Apêndice A.4) na qual são retomadas as questões iniciais apresentadas na

problematização e também apresentadas outras cuja problemática pode ser entendida a partir do pensamento conceitual formado - as questões buscam averiguar o nível de assimilação que os estudantes alcançaram dos principais conceitos abordados na SE. Para isso, o aluno pode transmitir o que aprendeu de duas maneiras: 1 – por meio da escrita e, 2 – através de esquemas representativos (iconográfico). Questões envolvendo situações diferentes da problemática trabalhada na SE, mas que podem ser entendidas a partir dos mesmos princípios e conceitos, são apresentadas a fim de constatar a capacidade dos estudantes de solucionar problemas correlatos e extrapolar para outros contextos os conhecimentos adquiridos.

Referências

AVMAKERS. O cinema 3D morreu? [Imagem “saindo” da tela no cinema]. Disponível em: <<https://www.avmakers.com.br/blog/o-cinema-3d-morreu>>. Acesso em: 21 jan. 2025.

AZEVEDO, E. R. De et al. UTILIZAÇÃO DE UM ESPECTRÓGRAFO DE PROJEÇÃO COMO UMA FERRAMENTA PARA DEMONSTRAÇÕES SOBRE POLARIZAÇÃO DA LUZ. **Quim. Nova**, v. 33, n. 5, p. 1204–1210, 2010.

CARDOSO, C. A. C. Construção de um estereoscópio: uma proposta para o ensino da polarização da luz no ensino médio. 2019. 229 f. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Rede - Ensino de Física em Rede Nacional/CCET) - Universidade Federal do Maranhão, São Luís, 2019 .

CARNEIRO, J. L. P., RIBEIRO, M. H. da S. A reflexão da luz nos periódicos de Ensino de Física: evidenciando tendências e carências de pesquisa a partir de uma revisão bibliográfica. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, 33(2), 355–398, 2016.

CHRISTOFOLI, E. P. O Renascimento do 3d. **Contemporânea**, v. 9, v. 17, p. 511–526, 2011.

DEPTH PERCEPTION FROM TWO EYES. [Imagem]. Disponível em: <https://www.researchgate.net/figure/Depth-perception-from-two-eyes-Source-http-www-vision3dcom-stereohtml_fig11_278667179>. Acesso em: 21 jan. 2025.

DUMKE, V. R.; JR, G. W. Preparação de Lâminas Polarizadoras. **Revista Brasileira de Física**, v. 12, n. 2, 1982.

HECHT, E. **Óptica**. 3 ed. Fundação Calouste Gulbenkian, Lisboa, 2002.

FEYNMAN, R. P.; LEIGHTON, R. P.; SANDS, M. **Lições de Física The Feynman Lectures on Physics Volume I**. São Paulo: Bookman, 2009.

LUNAZZI, J. J.; FRANÇA, M. C.; MORI, A. da S. Revivendo o estereoscópio de Wheatstone. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 37, n. 2, 2015.

MALDANER, O. A.; ZANON, L. B. Situação de Estudo: uma organização do ensino que extrapola a formação disciplinar em ciências. **Espaço da Escola**, Ijuí, n. 41, p. 45–60, 2001.

MASCHIO, A. V. A Estereoscopia: Investigação de Processos de Aquisição, Edição e Exibição de Imagens Estereoscópicas em Movimento. **Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual Paulista “ Julio de Mesquita Filho”**, Bauru, p. 2–231, 2008.

NANOTECH CAMERAS. [Imagem de filmes polaroide]. Disponível em: <<http://nanotechcameras.blog.br/tag/canon/>>. Acesso em: 21 jan. 2025.

ORTIZ, A. J.; LABURÚ, C. E. Proposta simples para o experimento de espalhamento rayleigh. **Cad. Bras. Ens. Fís.**, v. 27, n. 3, p. 599–608, 2010.

PEDRA LUZ: A luz em sua vida. 2025. Disponível em: <http://www.pedraluz.com.br/>. Acesso em: 21 jan. 2025.

REALOVIRTUAL. PS4 HMD, Oculus Rift: inventos del siglo XIX. Estereoscópio de Wheatstone. Disponível em: <https://www.realovirtual.com/articulos/6/ps4-hmd-oculus-rift-inventos-del-siglo-xix/5/poco-historia-ii>>. Acesso em: 21 jan. 2025.

RIBEIRO, J. L. P.; CARNEIRO, M. H. da S. A reflexão da luz nos periódicos de Ensino de Física: evidenciando tendências e carências de pesquisa a partir de uma revisão bibliográfica. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 33, n. 2, p. 355–398, 2016.

RIBEIRO, J. L. P.; VERDEAUX, M. de F. da S. Experimento simples, explicação nem tanto! Reflexão e polarização em óculos 3D. **Física na Escola**, v. 13, n. 1, p. 14–16, 2012.

SANGIOGO, F. A. et al. Pressupostos epistemológicos que balizam a Situação de Estudo: algumas implicações ao processo de ensino e à formação docente. **Ciência & Educação (Bauru)**, [s. l.], v. 19, n. 1, p. 35–54, 2013. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1516-73132013000100004&lng=pt&tlng=pt. Acesso em: 26/06/2018.

SÉTIMA CABINE. A história de séculos do 3D. Estereoscópio aperfeiçoado por Brewster. Disponível em: <https://setimacabine.com.br/a-historia-de-seculos-do-3d/>>. Acesso em: 21 jan. 2025.

TOMOYOSE, A. N. Comparação e Classificação de Técnicas de Estereoscopia para Realidade Aumentada de Jogos. **Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo**, São paulo, p. 125, 2010.

RIBEIRO, J. P. ; VERDEAUX, M. de F. da S. Experimento simples, explicação nem tanto! Reflexão e polarização em óculos 3D. **Física na Escola**, São Paulo, v. 13, n. 1, p. 14–16, mai. 2012.

SLIDEPLAYER. [Imagem ilustrativa sobre polarização por dupla refração]. Disponível em: <https://slideplayer.com.br>>. Acesso em: 21 jan. 2025.

VIEIRA, L. P.; AGUIAR, C. E. **Verificação da lei de malus com um Smartphone. XXI Simpósio Nacional de Ensino de Física**. 2015. Disponível em: <http://www.sbf1.sbfisica.org.br/eventos/snef/xxi/sys/resumos/T0583-1.pdf>. Acesso em: 10/01/2018.

VIGOTSKII, L. S.; LURIA, A. R.; LEONTIEV, A. N. Linguagem desenvolvimento e aprendizagem. 11. ed. São Paulo: ícone, 2010.

YOUNG, H. D.; FREEDMAN, R. A. **Física IV - Ótica e Física Moderna**. São Paulo: Pearson, 2009.

Apêndices

A.1 – Sugestão de slides para exposição das aulas

Problematização – os slides estão disponíveis no material suplementar.

Imagens tridimensionais
(1 – Problematização)

Professor:

Data:

1 – Problematização

❖ Estrutura da Aula

- > Imagens tridimensionais;
- > Visão binocular;
- > Estereoscopia;
- > Imagens estereoscópicas;
- > Como funciona o cinema 3D?;
- > A polarização da Luz;

Imagens tridimensionais anamórficas



Fonte: <https://br.pinterest.com/>

Imagens tridimensionais com espelhos



Fonte: http://www.xamato.com.br/educacao/13/temas/01_05/objetos3d.php

Imagens tridimensionais anáglifas



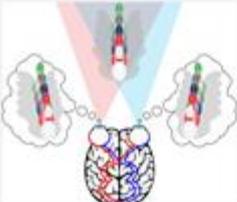
Fonte: <https://br.pinterest.com/>

Imagens tridimensionais anáglifas



Fonte: <https://br.pinterest.com/>

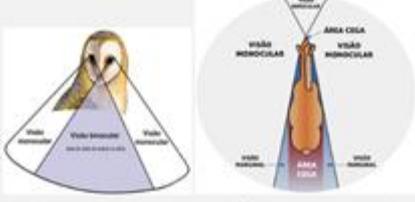
Visão binocular



- O fato de possuímos **visão binocular** (os olhos separados por uma distância média de 6,5 cm e voltado para a mesma direção) faz com que vejamos uma mesma cena sob dois pontos ligeiramente distintos.
- O cérebro faz a fusão das duas imagens formando uma imagem única tridimensional do mundo à nossa volta. Esse fenômeno natural é conhecido como **estereoscopia**.

Fonte: adaptado de <http://www.povosites.uepb.edu.br/educacao/5/feitura/binocular.html>

Visão binocular



A conja tem um bom ângulo de visão binocular, mas possui pequeno campo de visão.

O cavalo tem pequeno ângulo de visão binocular, porém um extenso campo de visão.

Imagens estereoscópicas

- A concepção de imagens tridimensionais é baseada na técnica da estereoscopia: palavra que tem origem em dois termos gregos que representam "visão" e "sólido". É uma simulação da visão binocular.
- Charles Wheatstone (1802-1875), partindo de experiências de Leonardo da Vinci e dos binóculos primitivos, apresentou o estereoscópio, em 1838.



Fonte: adaptado de <https://www.reikiavirtual.com/diagramas/qual-fund-oculos-rti-inventos-doi-olho-via-7-boco-historia-4> e <http://teimacastina.com.br/a-historia-de-seculos-do-3d/>

Imagens estereoscópicas



- A imagem ao lado mostra um homem visualizando imagens em um estereoscópio que utiliza espelhos dispostos em ângulo de 45° para fazer a junção do par de imagens que foram produzidas em computador.

Fonte: https://www.fu-unicamp.br/~unest/prof_lunazzi/Esteroscopia/estere_nossos-trabalhos.htm

Como funciona o cinema 3D?

Polarização da luz

- A polarização é um fenômeno associado ao comportamento ondulatório da luz. Além de possuir aplicações em diversas áreas do conhecimento, está presente em nosso dia a dia quer seja na ocorrência de fenômenos naturais, quer seja em dispositivos eletroeletrônicos.
- Esse é o tema central do nosso estudo e nas próximas aulas iremos aprender um pouco mais sobre ele e de que forma pode ser utilizado na produção de imagens tridimensionais.

Como funciona o cinema 3D?



- O fenômeno da **polarização da luz** é utilizada no campo da estereoscopia como uma técnica para separar a informação recebida por cada olho e assim possibilitar a visualização estereoscópica.

- O **cinema 3D** utiliza essa tecnologia.

Fonte: <https://www.avmakers.com.br/blog/ao-cinema/3d/>

Referências

<https://br.pinterest.com/>

<https://www.avmakers.com.br/blog/ao-cinema/page/2/>

https://www.fu-unicamp.br/~unest/prof_lunazzi/Esteroscopia/estere_nossos-trabalhos.htm

http://www.inmat.gov.br/br/educacao/13/semanasp01_cienciaeovivo.php

Primeira elaboração – os slides estão disponíveis no material suplementar.

Imagens tridimensionais (2 – Primeira elaboração)

A polarização da luz

Professor:

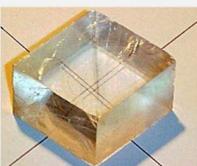
Data:

Imagens tridimensionais

❖ Estrutura da Aula

- Dupla imagem no cristal de calcita;
- As explicações de Huygens e Newton;
- Ondas eletromagnéticas;
- O significado físico de polarizar a luz;
- Processos de polarização da luz;
- O polarizador sintético;
- A polarização da luz no cinema 3D;

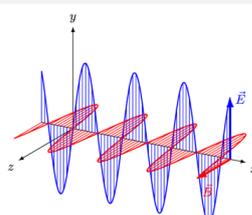
Cristal de Calcita



Fonte: <http://www.pedraluz.com.br/2009/10/calcita-ofica-um-convite-ao-despertar.html>

- Calcita: conhecido também como cristal da Islândia por ser muito abundante nessa ilha.
- A literatura relata que o fenômeno foi observado pela primeira vez em 1669 pelo dinamarquês Erasm Bartholin, ao perceber que o cristal de calcita produzia duas imagens de um mesmo objeto.

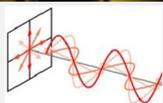
Luz - uma onda eletromagnética



Fonte: <https://roberto-fumari.blogspot.com>

- Uma onda eletromagnética é a combinação de um campo elétrico e um campo magnético oscilando em direções perpendiculares.
- São produzidas quando cargas elétricas livres são aceleradas ou quando elétrons ligados a átomos e moléculas sofrem transições para estados de menor energia.
- Considerando um elétron vibrando em um único plano, a onda eletromagnética produzida teria a configuração representada na animação.

O que significa polarizar a luz?

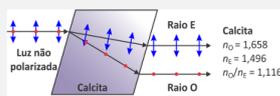


- As fontes comuns de luz emitem ondas eletromagnéticas oscilando em todos os planos possíveis.
- Polarizar a luz significa fazer com que a componente elétrica (e consequente a magnética) da radiação de uma fonte de luz comum (não polarizada) seja posta a se propagar em um plano preferencial de oscilação.

1

Processos de polarização da luz

❖ Birrefringência



Calcita $n_o = 1,658$
 $n_e = 1,496$
 $n_o/n_e = 1,116$

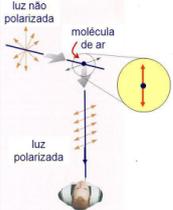
Raio ordinário O: o índice de refração n_o é o mesmo em todas as direções de propagação.
Raio extraordinário E: o índice de refração n_e depende da direção de propagação.

Fonte: adaptado de: <https://slideplayer.com.br/slide/1609675/>

2

Processos de polarização da luz

❖ Espalhamento



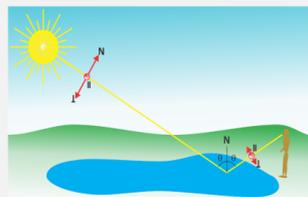
Fonte: adaptado de <https://slideplayer.com.br/slide/1609675/>

- A luz espalhada em um ângulo de 90° em relação à luz do sol incidente, será parcialmente polarizada.
- Por esse motivo, quando usamos óculos com lentes polarizadas, o céu parece mais escuro quando olhamos em determinadas direções.

7

Processos de polarização da luz

❖ Reflexão



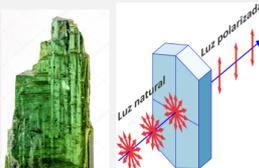
Fonte: Cardoso (2019)

- Quando a luz incide sobre uma superfície de um material dielétrico (não condutor), pode ocorrer a polarização parcial ou total da parte refletida.
- Nesse caso, as ondas são parcialmente polarizadas na direção paralela à superfície refletora.

3

Processos de polarização da luz

❖ Absorção Seletiva

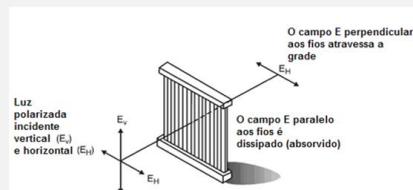


Fonte: Cardoso (2019)

- Em certos cristais e outras substâncias não só a velocidade de propagação, mas também a absorção, é diferente para a luz polarizada em direções distintas.
- Um cristal de turmalina, por exemplo, absorve a luz em determinados planos de oscilação.

4

Método artificial de polarização da luz

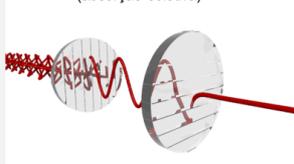


Fonte: <http://www.novacon.com.br/basean3.htm>

5

Método artificial de polarização da luz

❖ Polarizador sintético (absorção seletiva)



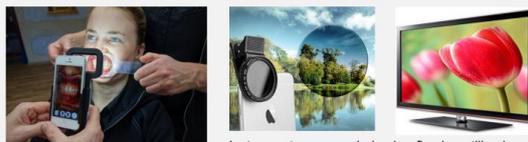
Fonte: <http://physicsandwaves.pbworks.com>

- Uma forma simples de polarizar a luz visível é usando o filtro sintético inventado em 1938 por Edwin H. Land, cientista norte-americano.
- Funciona baseado no princípio da absorção seletiva, onde um dos componentes da onda que incide sobre ele é absorvido de forma muito mais acentuada do que o outro.

10

Método artificial de polarização da luz

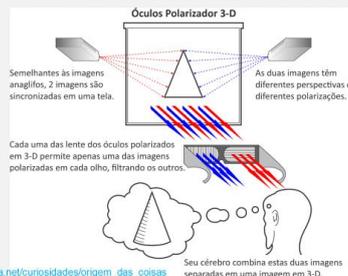
❖ Polarizador sintético – algumas aplicações



- Instrumento com polarizador fixado: utilizado por odontologistas para obter melhores imagens dos dentes;
- Filtro polarizador para câmera de celular;
- TVs de LCD: tela recoberta com filme polarizador;
- Óculos de sol: as lentes polarizadas evitam o ofuscamento da visão;

11

A polarização da luz do cinema 3D



Fonte: adaptado de http://www.vocesabia.net/curiosidades/origem_das_coisas/como_funciona_a_tecnologia-3d/

Seu cérebro combina essas duas imagens separadas em uma imagem em 3-D.

12

Referências

- http://www.vocesabia.net/curiosidades/origem_das_coisas/como_funciona_a_tecnologia-3d/
- <http://physicsandwaves.pbworks.com>
- <http://www.novacon.com.br/basean3.htm>
- <https://slideplayer.com.br/slide/1609675/>
- <https://roberto-fumari.blogspot.com>
- <http://www.pedraluz.com.br/2009/10/calcita-optica-um-convide-ao-despertar.html>

13

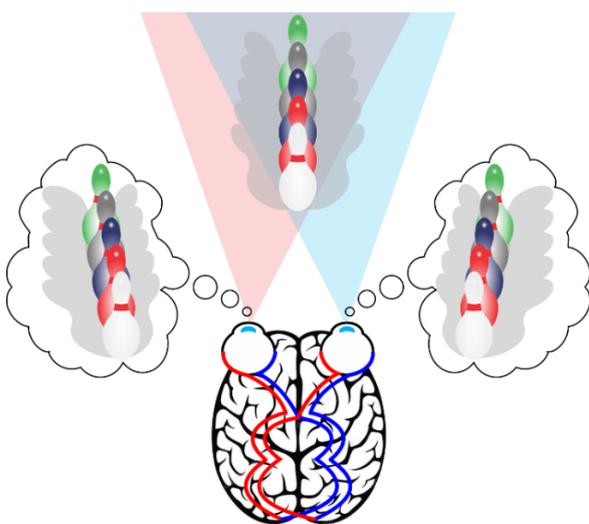
A.2 – Texto de apoio (Visão binocular e Estereoscopia)

Como funciona o cinema 3D? (Problematização)

Visão binocular

Você já parou para pensar e se perguntou como e por que conseguimos distinguir a posição entre objetos que estão a distâncias relativamente próximas a nós? Sabemos exatamente qual está à frente e qual está ao fundo. Qual é maior e qual é menor. Não é mesmo? Essa situação, que parece simples, pode mudar muito quando os objetos estão muito distantes ou se taparmos um dos olhos. Quando, por exemplo, avistamos de longe dois veículos em uma longa estrada não conseguimos saber qual deles se aproxima e qual se afasta. O mesmo ocorre quando olhamos as estrelas no céu, pois temos a impressão de que todas estão à mesma distância e não temos como afirmar qual delas é maior ou menor.

Isso ocorre pelo fato de que quando visualizamos um objeto a nossa frente, o nosso olho direito “enxerga” uma imagem e o esquerdo “enxerga” outra. Não acredita? Experimente então colocar um dos seus dedos (o indicador) a um palmo dos seus olhos, não mexa a mão e nem a cabeça. Agora abra e feche os olhos alternadamente (se não conseguir fechar um olho só, basta usar a



Fonte: <http://www.vision3d.com/stereo.html>

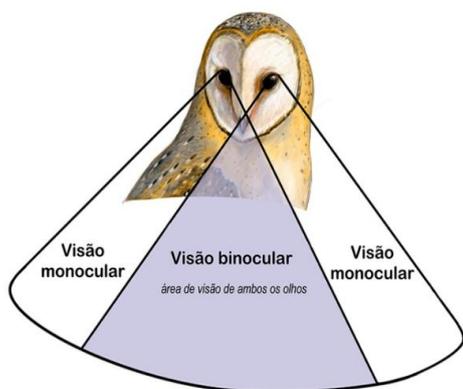
outra mão para cobri-los alternadamente). O que aconteceu? Percebeu que o dedo ficou “correndo” de um lado para o outro?

O fato de possuímos **visão binocular** (os olhos separados por uma distância média de 6,5 cm e voltado para a mesma direção) faz como que vejamos uma mesma cena sob dois pontos ligeiramente distintos. O cérebro faz a fusão das duas imagens formando uma imagem única

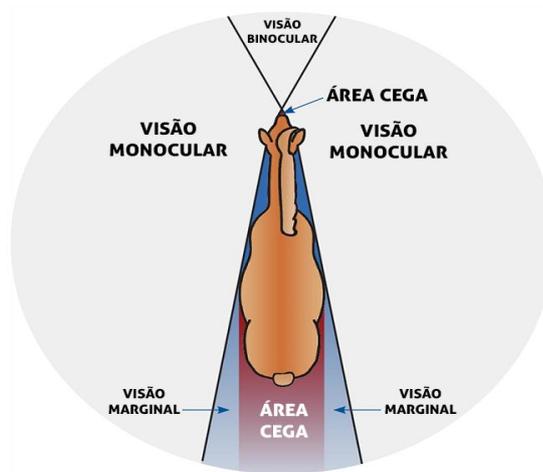
tridimensional do mundo à nossa volta. Esse fenômeno natural é conhecido como **estereoscopia**.

Dessa forma, à distâncias relativamente pequenas, conseguimos distinguir o posicionamento e tamanho relativos dos objetos por conta dos diferentes ângulos que cada um é visto. Por outro lado, se os objetos estão localizados à grandes distâncias, passam a ser vistos praticamente sob o mesmo ângulo. Nessas condições perdemos a percepção de distancia e tamanho relativos dos objetos.

Embora apenas uma parcela das aves possua sinais de visão estereoscópica, praticamente todos os mamíferos, ainda que de forma rudimentar, possuem este recurso.



A coruja tem um bom ângulo de visão binocular, mas possui pequeno campo de visão.



O cavalo tem pequeno ângulo de visão binocular, porém um extenso campo de visão.

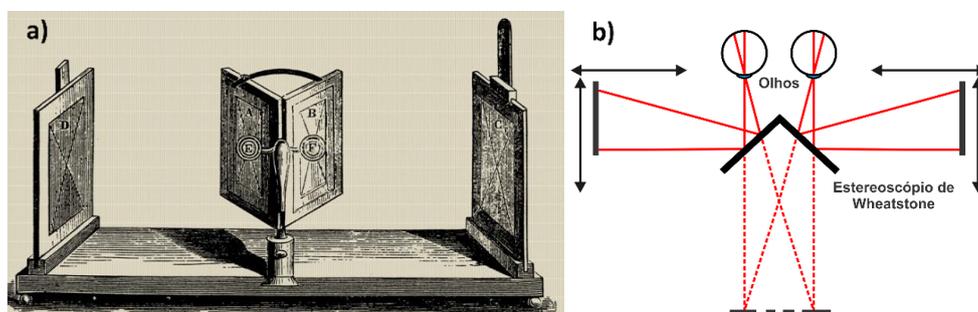
Fonte: Imagens obtidas da internet.

Animais que possuem maior ângulo de visão binocular são bons de “pontaria”, não costumam perder suas presas no momento do bote devido a capacidade que têm de avaliar a posição dos objetos à sua frente. Algumas aves conseguem, em pleno voo, fisgar peixes em um lago, por exemplo. Por outro lado, animais que possuem pequeno ângulo de visão binocular não conseguem avaliar tão bem a posição relativa dos objetos, entretanto, por possuírem um extenso campo de visão, conseguem enxergar tudo o que está a sua volta abrangendo um campo de visão de mais de 230° na horizontal. Por isso, um leão (que possui um bom ângulo de visão binocular) deve se esconder e se movimentar bem devagar antes de investir contra uma zebra (que possui um extenso campo de visão).

Imagens Tridimensionais

A construção de imagens tridimensionais é baseada na técnica da estereoscopia (palavra que tem origem grega e significa visão sólida). É uma técnica que simula a visão binocular do homem e é composta basicamente por duas etapas: a primeira consiste em obter um par de imagens (foto, desenho ou vídeo) registradas de posições ligeiramente distintas; a segunda é fazer com que cada olho visualize somente uma das imagens. O resultado é uma sensação psicológica de profundidade, o que nos dar a impressão de que o objeto está diante de nós.

Podemos pensar que a obtenção de imagens em três dimensões é fruto de estudos recentes ou novidade tecnológica trazida pela popularização do cinema tridimensional (abreviado 3D) na década passada, no entanto, os conceitos básicos e as primeiras imagens não o são. No começo do século XIX, antes mesmo da consolidação da fotografia, o cientista inglês Sir Charles Wheatstone (1802-1875), partindo de experiências de Leonardo da Vinci e dos binóculos primitivos, apresentou o estereoscópio, em 1838.



Estereoscópio de Wheatstone: imagens estereoscópicas cuidadosamente desenhadas visualizadas simultaneamente através de espelhos planos simulam a sensação visual.

Fonte: <https://en.wikipedia.org/wiki/Stereoscope>

Rapidamente o estereoscópio foi sendo aperfeiçoado. Os desenhos foram substituídos pela fotografia (recém inventada) e os espelhos por prismas e lentes. Além disso, outras formas de se conceber imagens estereoscópicas foram desenvolvidas. Dentre elas, a que projeta o par de imagens na mesma superfície e com o auxílio de determinadas técnicas faz-se a separação da imagem que cada olho deve enxergar (note que nos primeiros estereoscópios as imagens eram colocadas em posições diferentes e depois um espelho fazia a junção delas).

Técnicas para produção de imagens estereoscópicas

Em se tratando de imagens estereoscópicas projetadas em uma superfície, quase sempre é necessário se fazer uso de óculos especiais para separar a informação que cada olho deve receber. Existem várias técnicas, cada uma associada a alguma propriedade ou fenômeno ótico.

Anáglifo

Técnica que consiste em dividir a imagem em seu espectro de cor e enviar uma faixa delas para cada olho. Para visualizar uma imagem ou vídeo em anáglifo o observador deve fazer uso de óculos especiais com filtros



de cores (azul e vermelho) a fim de permitir a passagem somente das cores selecionadas para cada olho. Dessa forma o olho que vê através da lente vermelha percebe apenas luz na faixa do espectro relativa à cor vermelha e o olho que vê através do filtro azul percebe apenas a luz nessa faixa do espectro. Essa foi a técnica que levou as projeções 3D para as salas do cinema durante os anos 50 e ainda hoje é comum em notebooks, jogos e kits educacionais, por exemplo.

Polarização da Luz

A polarização da luz também é utilizada no campo da estereoscopia. Em vez de usar cores para filtrar as imagens que cada olho deve ver, utiliza-se a polarização para fazer essa separação. Há a utilização de óculos especiais no qual cada lente é polarizada de forma diferente.

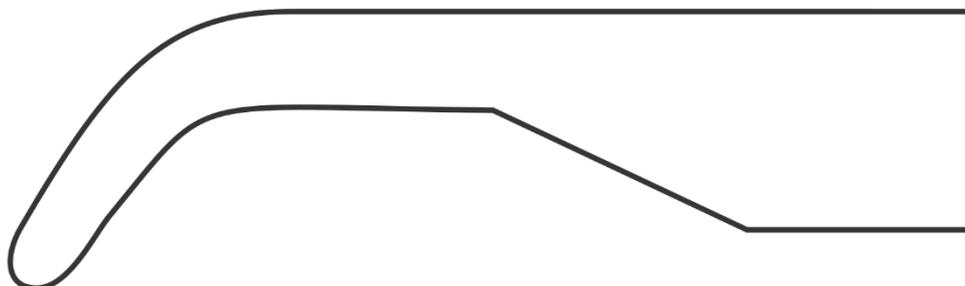
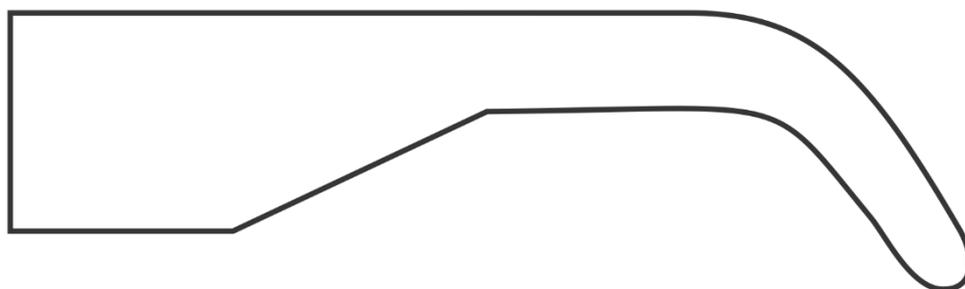
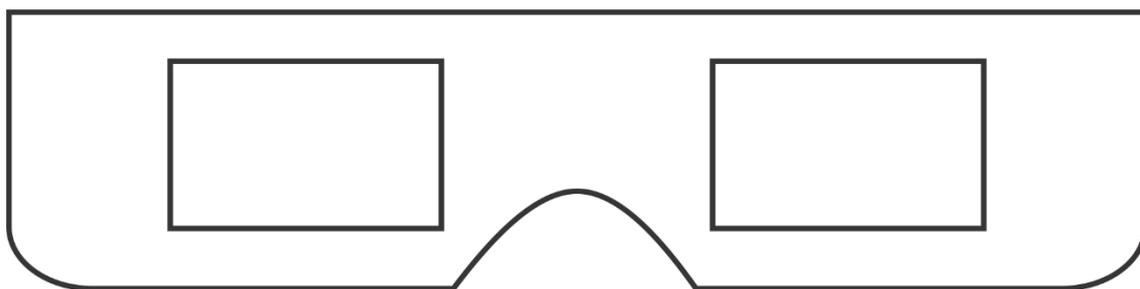


A polarização é um fenômeno associado ao comportamento ondulatório da luz e é o principal assunto do nosso estudo. Nas próximas aulas iremos aprender como ele ocorre, conhecer algumas de suas aplicações tecnológicas e, é claro, compreender de que forma é empregado na concepção de imagens tridimensionais no cinema.

A.3 – Óculos 3D (Moldes)

Óculos 3D

Cole este papel sobre uma cartolina, ou similares, recorte as partes dos óculos, cole as pernas internamente usando uma fita adesiva e cole as lentes (polarizadores) dos óculos por dentro da armação com fita durex.



A.4 – Problemas propostos

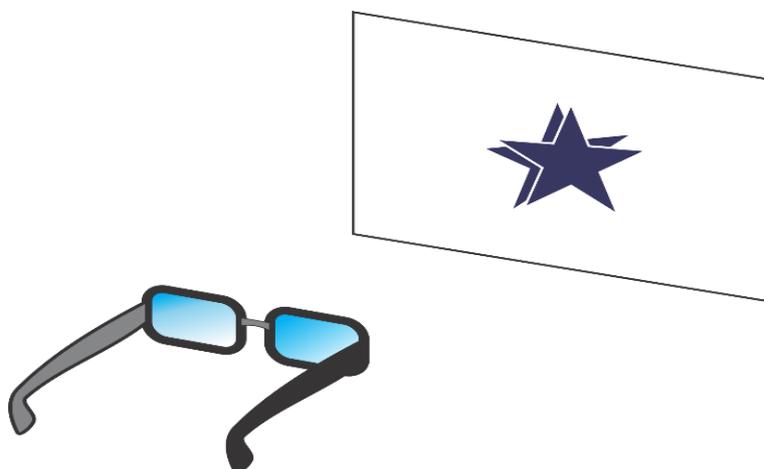
Escola: _____
Prof(a): _____ Disciplina: _____
Aluno: _____ Série: _____ Turma: _____

Lista de exercícios

Polarização da Luz

1. A luz visível pode ser entendida como um tipo de onda eletromagnética que resulta do movimento de elétrons em átomos que receberam determinadas “doses” de energia. Uma fonte comum de luz possui uma quantidade enorme de elétrons que vibram de forma desorganizada e aleatória. De acordo com o que você aprendeu, o que significa polarizar a luz?

2. Existem algumas técnicas pelas quais é possível "imitar" a percepção tridimensional que temos naturalmente do mundo à nossa volta e fazer com que imagens e/ou vídeos pareçam mais “realistas”. Uma das formas de se conseguir essa ilusão de ótica é obter duas imagens em ângulos diferentes de um objeto ou paisagem, projetá-las em uma tela e depois fazer com que cada olho veja, simultaneamente, apenas uma das imagens. O cinema 3D utiliza o fenômeno da polarização para fazer a separação das imagens. Utilizando o esquema abaixo, desenhe como deve se propagar a luz de cada imagem que “sai” da tela de projeção e como devem estar orientados os eixos de polarização das lentes dos óculos 3D.



3. Os monitores de computadores, notebook, as telas de TV's, tablets celulares e similares, transmitem imagens com luz polarizada. Se você olhar para um desses monitores através de uma película polarizadora (ou óculos de sol) e começar a fazer um giro na película, irá perceber que em uma determinada posição a imagem que vem do monitor é nítida e em outra a imagem praticamente desaparece. Explique ou descreva (com desenhos) por que isso ocorre.

4. A luz pode ser polarizada por meio de alguns processos naturais: birrefringência, espalhamento, reflexão e absorção. Descreva como ocorre a polarização em pelo menos dois desses processos.

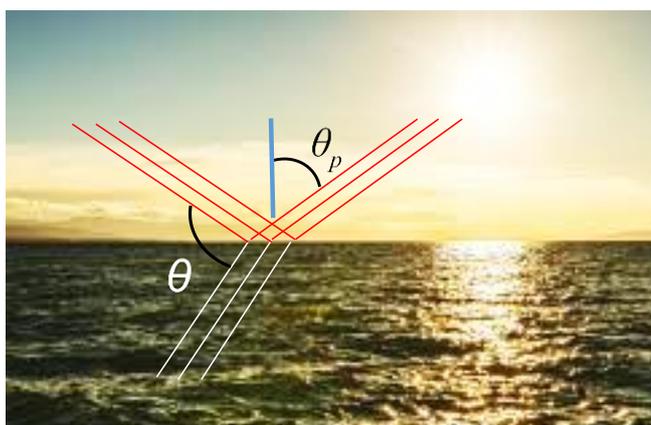
5. Os fotógrafos profissionais utilizam filtros polarizadores em suas câmeras para melhorar a qualidade das imagens, obtendo cores mais nítidas e contrastantes. É possível girar o filtro até que se atinja a qualidade desejada. Isso é possível quando a luz dos objetos presentes na cena incide parcialmente polarizada na lente da câmera. Quais processos de polarização você identifica nessa situação?

6. A figura abaixo representa a luz de um laser polarizada em um plano vertical. Desenhe linhas retas indicando como devem estar orientadas as grades absorvedoras (longas cadeias de hidrocarbonetos) de um polaroide colocado à frente do laser para que a luz seja transmitida (1) e não transmitida (2).



7. Os óculos de sol (com lentes polarizadas) eliminam boa parte dos reflexos da luz em objetos e superfícies evitando ofuscamento. Nestes óculos, os eixos de polarização das duas lentes são dispostos na mesma direção. O que aconteceria caso um colega seu fosse ao cinema e colocasse óculos de sol para assistir um filme 3D?

8. Quando a luz incide sobre a superfície de um bloco de vidro ou sobre a superfície da água, parte dela é refletida, parte é refratada e parte é transmitida. Geralmente, a luz refletida é parcialmente polarizada. No entanto, dependendo do material de que é feita a superfície refletora existe um ângulo de incidência (θ_p) para o qual a luz refletida é quase que totalmente polarizada.



De acordo com a figura acima, para que a luz refletida seja totalmente polarizada, qual deve ser o valor do ângulo θ ? Se você vai passear em um dia de sol e pretende usar óculos escuros polarizados (os eixos de polarização estão indicados pelas linhas retas), qual dos três apresentados é mais apropriado? Justifique.

A.5 – Perspectivas de respostas aos problemas

Questão 1 – Espera-se que o aluno seja capaz de conceituar polarização usando a linguagem escrita e empregando adequadamente as palavras e termos científicos (ondas, propagação, campo elétrico, plano de vibração, absorção etc.).

Questão 2 – Espera-se que o aluno demonstre entendimento de como os princípios da visão binocular e da polarização da luz são utilizados na produção de imagens tridimensionais no cinema. O aluno deve desenhar ondas se propagando da tela em planos de vibração perpendiculares e incidindo na lente dos óculos. Deve desenhar, também, linhas paralelas em uma das lentes e horizontais na outra e indicar quais das ondas incidentes serão transmitidas por cada lente.

Questão 3 – Espera-se que o aluno demonstre o entendimento de que quando luz polarizada incide em polarizador, ela será transmitida com máxima intensidade se o eixo de polarização do polarizador estiver disposto paralelamente ao plano de polarização da luz incidente e que, caso estejam dispostos perpendicularmente, a luz transmitida terá a menor intensidade possível.

Questão 4 – Espera-se que o aluno seja capaz de expressar, através da linguagem escrita, o modelo físico teórico dos, ou de alguns, processos de polarização da luz.

Questão 5 – Espera-se que o aluno consiga compreender outras situações em que os conhecimentos acerca da polarização da luz estejam sendo empregados. Na situação apresentada, o aluno deve identificar dois processos: 1- polarização por reflexão (luz refletida parcialmente polarizada pelas pessoas e objetos presentes na cena) e 2 – Polarização por absorção (lentes com polarizadores colocadas na câmera fotográfica).

Questão 6 – Espera-se que o aluno saiba diferenciar eixo de polarização (direção de vibração das ondas que serão transmitidas) e eixo de absorção (direção de vibração das ondas que serão absorvidas) em um polarizador.

Questão 7 – Espera-se que o aluno demonstre entendimento sobre os mecanismos de produção e visualização de imagens tridimensionais no cinema. O aluno deve explicar que o espectador não terá a percepção tridimensional, pois nos óculos 3D, ao contrário dos óculos de sol, os eixos de polarização das lentes estão dispostos em direções perpendiculares.

Questão 8 – Espera-se que o aluno demonstre entendimento dos princípios trigonométricos envolvidos no processo de polarização por reflexão (lei de Brewster) e de que forma esses princípios estão associados à utilização dos óculos de sol. O aluno deve responder que o ângulo θ é 90° e que os óculos mais apropriados estão indicados na opção 1.

Realizado o Depósito legal na Biblioteca Nacional conforme a Lei nº 10.994, de 14 de dezembro de 2004.

TÍTULO	CONSTRUINDO UM ESTEREOSCÓPIO: ensinando a polarização da luz a partir da produção de imagens 3D
AUTORES	Carlos Adriano da Conceição Cardoso Clenilton Costa dos Santos Edson Firmino Viana de Carvalho
ORGANIZAÇÃO	Edson Firmino Viana de Carvalho
PROJETO GRÁFICO E CAPA	Carlos Adriano da Conceição Cardoso
ILUSTRAÇÃO DA CAPA	Carlos Adriano da Conceição Cardoso
PÁGINAS	81
FORMATO	160 x 250 mm
TIPOGRAFIA	Segoe MDL2 Assets CORPO Segoe MDL2 Assets TÍTULOS Times New Roman LEGENDAS