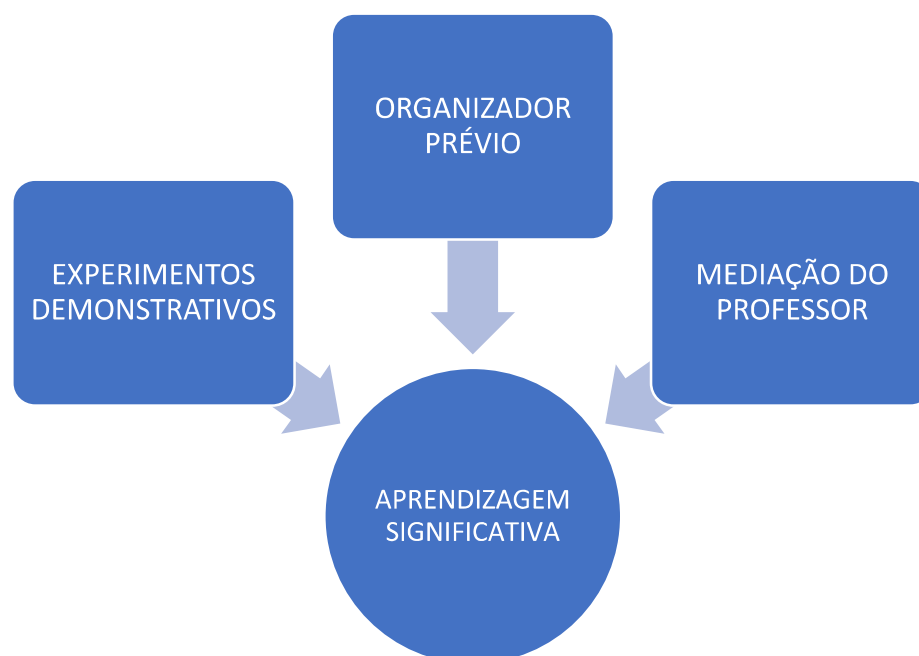


## APÊNDICE B – SEQUÊNCIA DIDÁTICA

# SEQUÊNCIA DIDÁTICA PARA APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA DE ÓPTICA GEOMÉTRICA



**Thalles Abreu Mezêncio**

Ensino Médio  
Componente Curricular  
Física

# SEQUÊNCIA DIDÁTICA PARA APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA DE ÓPTICA GEOMÉTRICA

Ensino Médio  
Componente Curricular Física

## **Thalles Abreu Mezêncio**

- ✓ Mestrando em Ensino de Física pelo programa MNPEF – Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física, pela Unifal – Universidade Federal de Alfenas.
- ✓ Licenciado em Física pela Unifal – Universidade Federal de Alfenas.
- ✓ Professor de Física na rede estadual de ensino do estado de Minas Gerais.
- ✓ professor de Física e Matemática da rede particular do estado de Minas Gerais.

## APRESENTAÇÃO

Caro aluno,

A Física é uma ciência relativamente nova onde novos conhecimentos são apresentados ao mundo a todo instante. Esta apresentação de conhecimentos é feita em forma de pesquisas em universidade, pesquisas em grandes empresas, e a apresentação mais comum dela é em tecnologias que utilizamos em todos os momentos do nosso dia a dia, mas não associamos esta tecnologia com a Física. Por exemplo, o ar-condicionado, os computadores, celulares, televisores, e o GPS, foram construídos mediante muitos estudos em Física e outras áreas afins. Isto torna a Física uma ciência indispensável para a sobrevivência do ser humano.

Dentro da escola temos problemas sérios com relação a estrutura financeira, física e organizacional. Quanto a estrutura financeira sabe-se que os investimentos na área de educação estão longe de serem ideais, o que reflete na estrutura física das escolas públicas, que por sua vez, influenciam o ensino de física que necessita de laboratórios modernos e bem equipados. Quanto a estrutura organizacional temos uma quantidade ínfima de horas aulas de Física para ministrar com qualidade os conteúdos exigidos em documentos oficiais. E todos estes problemas acumulados fazem com que os alunos tenham dificuldades para aprender Física.

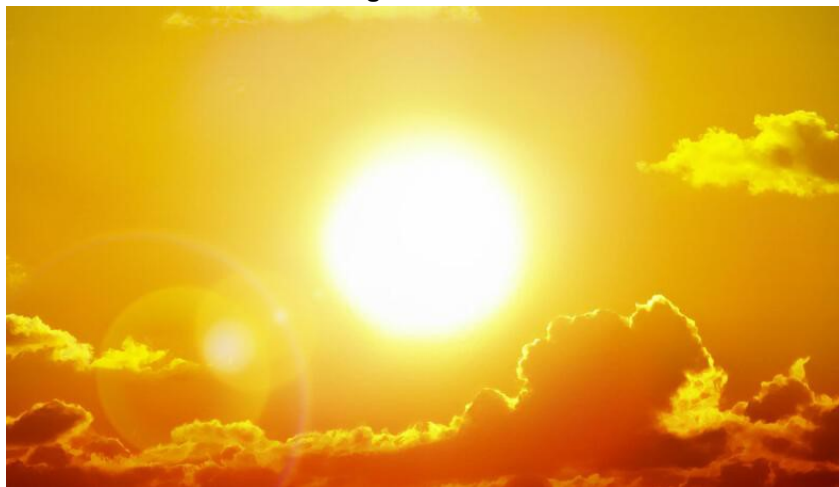
Para otimizar as aulas de Óptica Geométrica, elaborei este material que tem como objetivo despertar a curiosidade dos alunos para a Física a partir da associação de experimentos demonstrativos, realizados pelo professor, associados a uma sequência bem elaborada de questionamentos que trabalham a estrutura cognitiva dos alunos mediante conflitos cognitivos e a mediação do professor. Dessa forma pretendo tornar as aulas de Física mais interessantes e agradáveis.

Este material pode ser trabalhado individualmente ou em grupos de 3 a 5 pessoas. A expectativa é que se consiga ministrá-lo em aproximadamente 20 horas/aula.

**Thalles Abreu Mezêncio**

## B.1 INTRODUÇÃO À ÓPTICA GEOMÉTRICA

Figura 1 – Sol



Fonte: Disponível em: < <https://www.vix.com/pt/comportamento/580566/regente-de-2020-sera-o-sol-isso-significa-que-e-o-ano-para-voce-se-dar-mais-valor>>. Acesso em 16 jan. 2020.

O que é a luz?

---



---



---

Como podemos enxergar os objetos?

---



---



---

Estas questões foram determinantes para que a óptica geométrica se desenvolvesse. A curiosidade e os questionamentos de filósofos, matemáticos, físicos, pesquisadores foram os fatores predominantes neste desenvolvimento. Por exemplo, Platão e Aristóteles se preocuparam em responder tais perguntas muito tempo atrás. Platão achava que nossos olhos

emitiam partículas que ao chegar nos objetos os tornavam visíveis. Aristóteles pensava que a luz era um fluido imaterial.

Hoje a definição de luz não é tão simples! Mas o modelo que a descreve é que hora ela se comporta com partícula e hora se comporta como onda, o que é chamado de dualidade onda partícula. Mas este modelo foi aprovado depois de muita briga!

Existiam os cientistas que defendiam que a luz era uma partícula (modelo corpuscular) como: Galileu Galilei (1564-1642); René Descartes (1596-1650); e Isaac Newton (1642-1727). E os que defendiam que a luz era uma onda (modelo ondulatório) que são: Christian Huygens (1629-1695); Leonhard Euler (1707-1783); e Thomas Young (1773-1829).

Quanto à “Como podemos enxergar os objetos?” nada mais é que os nossos olhos funcionam como se fossem uma câmera fotográfica ou filmadora. Os objetos que enxergamos eles podem refletir ou até mesmo emitir sua própria luz e esta luz chega até a retina, dentro dos nossos olhos,

e é levada como pulsos elétricos até nosso cérebro, onde é feita a decodificação destes pulsos elétricos. Este mesmo fenômeno de reflexão nos ajuda a entender as cores!

Até uma lenda envolvendo um famoso grego que viveu em Siracusa, o Arquimedes, conta que ele inventou uma arma de guerra, a pedido do rei. Esta arma consistia em um enorme espelho que direcionava os raios luminosos do Sol para as embarcações inimigas, fazendo com que estas embarcações pegassem fogo.

A palavra óptica é derivada do grego “optiké” que significa visão.

**Figura 2** – Quadrinhos dualidade onda-partícula da luz



Fonte: Disponível em: <

[http://www.cbpf.br/~eduhq/html/aprenda\\_mais/jurema/ficha\\_dualidadeonda.htm](http://www.cbpf.br/~eduhq/html/aprenda_mais/jurema/ficha_dualidadeonda.htm)>. Acesso em 16 jan. 2020.

### B.1.1 DEFINIÇÃO DE ÓPTICA GEOMÉTRICA

A óptica geométrica é parte da física que estuda o comportamento da luz sem levar em consideração a sua natureza.

## B.1.2 ECLIPSE SOLAR

Figura 3 – Eclipse Solar em Sobral



Fonte: Disponível em: <<https://revistagalileu.globo.com/Revista/noticia/2019/05/eclipse-de-sobral-ha-100-anos-evento-comprovava-teoria-de-einstein.html>>. Acesso em 16 jan. 2020.

Eclipses são fenômenos raros que acontecem quando não podemos visualizar um astro no espaço. O eclipse solar é a ocultação do Sol, enquanto o eclipse lunar é a ocultação da lua. Explique por que este fenômeno ocorre.

---

---

---

## B.2.1 VÍDEO 01: ECLIPSE SOLAR

Figura 4 – Imagem da tela inicial do vídeo 01: Eclipse Solar



Fonte: Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=izWI8aCr7s>>. Acesso em 16 jan. 2020.

## B.2.2 EXPERIMENTO 01: LANTERNA E MOEDA

**Objetivo:** Demonstrar conceitos sobre o princípio da propagação retilínea dos raios luminoso

**Materiais a serem utilizados:**

- Lanterna com luz branca
- Moeda
- Palito de dente
- Fita adesiva
- Folha A4 branca

**Metodologia:**

- a) Prenda a moeda em uma das extremidades do palito de dente, utilizando a fita adesiva;
- b) Posicione a folha A4, prendendo-a no suporte para folha A4 no quadro metálico preto;
- c) Acenda a lanterna e direcione-a para folha A4, que servirá como anteparo;
- d) Posicione a moeda de forma que ela fique entre a fonte (lanterna) e o anteparo (quadro branco de metal).

**Resultados e discussão:**

Podemos comparar o experimento da lanterna e da moeda com um eclipse?

---

---

---

O que pode ser observado com relação ao comportamento da luz?

---

---

---

Por que foram formadas as zonas de sombra?

---

---

---

Por onde os raios de luz se propagam em um eclipse?

---

---

---

Existe mais algum tipo de meio de propagação?

---

---

---

A luz necessita de um meio para se propagar?

---

---

---

Como podemos comparar a lanterna no experimento com o sol para o eclipse?

---

---

---

Existe algum outro tipo de fonte de luz?

---

---

### **B.2.3 EXPERIMENTO 02: LÂMINA DE VIDRO JATEADO**

**Objetivo:** Demonstrar conceitos sobre os meios de propagação da luz

**Materiais a serem utilizados:**

- Laser
- Lâmina de vidro transparente
- Lâmina de vidro jateado
- Quadro negro de metal
- Pedaco de papelão

**Metodologia:**

- a) Acenda o laser e direcione-o para lâmina que não está jateada, de forma que o raio de luz atravesse a lâmina e atinja o quadro negro de metal;
- b) do mesmo modo, direcione o laser para lâmina de vidro jateado;



c) agora direcione o feixe do laser para o papelão.

**Resultados e discussão:**

Qual a diferença na forma com que o laser chega até o quadro negro de metal nos três tipos de material?

---

---

---

No eclipse a Lua serve como um dos tipos de meio de propagação. Qual dos materiais do experimento faz a mesma função que a luz?

---

---

Como podemos caracterizar cada tipo de situação (a, b e c)?

---

---

---

A atmosfera terrestre pode ser considerada um meio de propagação da luz? Se sim, qual classificação podemos dar a ela?

---

---

---

Qual o nome dado para o fenômeno onde a luz muda seu meio de propagação?

---

---

---

## **B.3 SHOW MUSICAL**

### **B.3.1 VÍDEO 02: SOLOMUN – CERCLE FESTIVAL**

**Figura 5** – Imagem da tela inicial do vídeo 02: Solomun – Cercle Festival



Fonte: Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=YgBwTcpskgU>>. Acesso em 16 jan. 2020.

Observando o show apresentado no vídeo o que chama atenção nas luzes utilizadas?

---



---



---

Porque um raio de luz não interrompe o outro quando eles se cortam?

---



---



---

### **B.3.2 EXPERIMENTO 03: CRUZAMENTO DOS RAIOS DE LUZ**

**Objetivo:** Demonstrar conceitos sobre a independência dos raios luminosos

**Materiais a serem utilizados:**

- Canhão de lasers
- Lanterna de luz branca
- Fenda de um orifício (utilizar o canhão de LED branco)
- Quadro negro de metal

**Metodologia:**

- Deixe apenas o orifício central do canhão de LED branco ativo. Desta forma, os outros orifícios devem ser tampados. Uma sugestão é utilizar fita isolante;
- Ative apenas o laser central do canhão de lasers;
- prenda a lanterna e o laser no quadro negro de metal;
- Direcione os raios de luz de forma a se cruzarem.

### Resultados e discussão:

O que aconteceu entre os raios de luz branco e do laser ao serem cruzados? Alguma semelhança entre as luzes do experimento e do show apresentado no vídeo?

---



---



---

Que nome podemos dar a este comportamento das luzes?

---



---



---

No ponto onde as luzes se encontram pode ser observado que há um aumento na intensidade luminosa. Como podemos explicar este acontecimento?

---



---



---

## B.4 MEDIÇÃO DA DISTÂNCIA ENTRE A TERRA E A LUA

Figura 6 – Terra e Lua



Fonte: Disponível em: <<https://br.depositphotos.com/204646316/stock-illustration-infographic-illustration-distance-between-the.html>>. Acesso em 16 jan. 2020.

## B.4.1 VÍDEO 03: ASTRONAUTA FRANCÊS USA REFLETORES DEIXADOS NA LUA HÁ 50 ANOS

Figura 7 – Imagem da tela inicial do vídeo 03: Astronauta Francês usa refletores deixados na lua há 50 anos



Fonte: Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=AA5ty0VKVyk>>. Acesso em 16 jan. 2020.

Qual a função do refletor/espelho que foi deixado na lua?

---

---

---

A luz possui uma velocidade que pode ser medida?

---

---

---

Esta velocidade modifica quando se altera o meio de propagação da luz?

---

---

---

Quais características da luz podem ser afetadas quando ela se propaga em um meio?

---

---

---

## B.4.2 EXPERIMENTO 04: REVERSIBILIDADE EM ESPELHO PLANO

**Objetivo:** Demonstrar conceitos sobre o princípio da reversibilidade dos raios luminosos

**Materiais a serem utilizados:**

- Canhão de Lasers
- Espelho plano
- Giz branco
- Quadro negro de metal
- Régua

**Metodologia:**

- a) Posicione o espelho plano no quadro negro de metal de forma que ele fique posicionado a  $90^\circ$  da linha referencial, e com esta linha centralizada;
- b) posicione o laser de forma que o raio luz por ele emitido esteja inclinado com relação a reta normal traçada;
- c) marque com o giz branco a trajetória percorrida pelo raio de luz;
- d) posicione o laser sobre a marcação feita com o giz, mas no sentido contrário.

**Resultados e discussão**

O que pode ser observado quando o laser foi posicionado sobre a demarcação da trajetória percorrida pela luz e apontado no sentido contrário?

---

---

---

Qual o nome pode ser dado a este comportamento?

---

---

---

Existe alguma semelhança do comportamento da luz no experimento e no vídeo?

---

---

---

Imagine que você está em uma academia de musculação que possui um grande espelho em uma de suas paredes, e do local onde você está posicionado, você pode ver a imagem de um colega que está utilizando um equipamento em um local distante de você. Este colega também poderá enxergar a sua imagem no espelho?

---

---

---

## B.5 FONTES DE LUZ

Corpos que emitem luz são classificados como fonte luz.

### B.5.1 FONTES PRIMÁRIAS E SECUNDÁRIAS

Figura 8 – Fontes de Luz



Fonte: Disponível em: <<http://kgtrabalhoszbxj.innovativeoutdoorsllc.com/luz-e-fontes-de-luz-60jyhexata9279.html>>. Acesso em 16 jan. 2020.

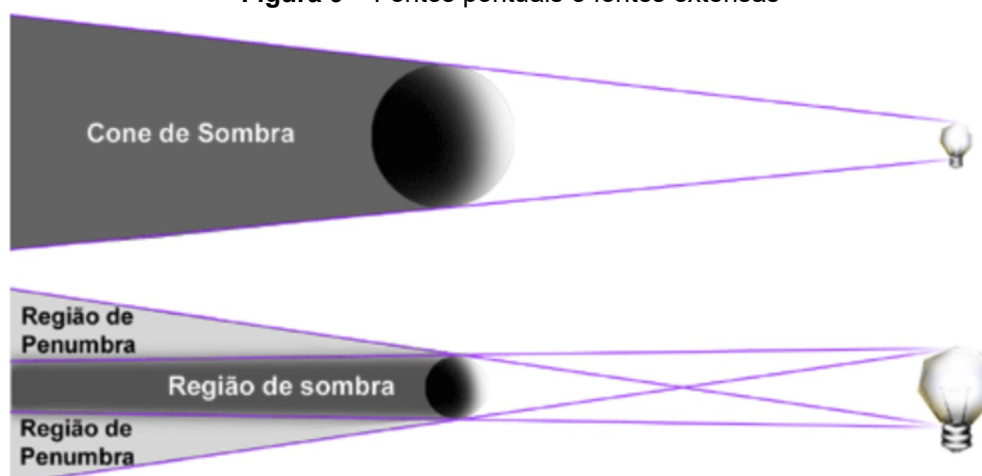
As fontes de luz podem ser classificadas como primárias e secundárias.

As fontes primárias são aquelas que emitem sua própria luz. Por exemplo: O sol, as estrelas, uma vela acesa, e uma lâmpada acesa.

As fontes secundárias são aquelas que não emitem sua própria, mas refletem a luz emitida por uma fonte primária. Por exemplo: A Lua, satélites, uma borracha, um lápis, uma parede, uma vela apagada, e uma lâmpada apagada.

## B.5.2 FONTES PONTUAIS E EXTENSAS

Figura 9 – Fontes pontuais e fontes extensas



Fonte: Disponível em: <[https://www.sobiologia.com.br/conteudos/oitava\\_serie/optica5.php](https://www.sobiologia.com.br/conteudos/oitava_serie/optica5.php)>. Acesso em 16 jan. 2020.

Outra classificação que pode ser feita quanto aos tipos de fontes de luz é que elas podem ser pontuais ou extensas. Para esta classificação devemos levar em consideração as dimensões (tamanhos) das fontes e a distância que as separa de um observador ou um corpo.

Por exemplo, imagine-se portando uma lanterna grande e a uma distância de 0,5 metros um amigo está posicionado como observador. Este amigo pode identificar a lanterna como uma fonte extensa devido as dimensões da lanterna serem consideráveis devido a distância de apenas 0,5 metros. Mas agora imagine este amigo afastando de você de forma a posicionar-se a uma distância de 1000 metros.

Como este amigo (observador) classificará a sua lanterna acesa? Por qual motivo?

---



---



---

**Sombra/Umbra:** Zona com ausência de luz.

**Penumbra:** Zona parcialmente iluminada.

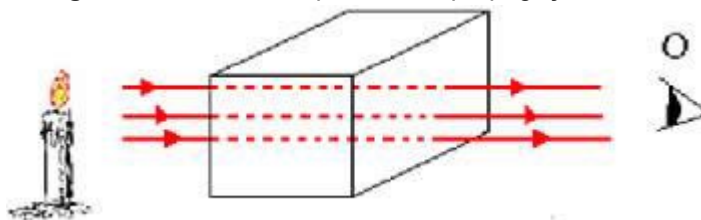
## B.6 MEIOS DE PROPAGAÇÃO DA LUZ

A luz não necessariamente necessita de um meio de propagação, por exemplo ela se propaga no vácuo. Mas o meio em que ela se propaga pode influenciar sua velocidade.

A velocidade da luz no vácuo é  $c = 3 \cdot 10^8$  m/s.

### B.6.1 TRANSPARENTE

**Figura 10** – Meio transparente de propagação de luz.



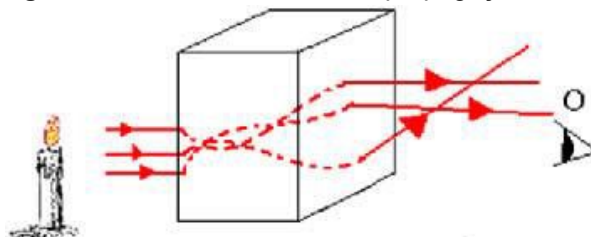
Fonte: Disponível em: <<https://mundoeducacao.bol.uol.com.br/fisica/meios-propagacao-luz.htm>>.

Acesso em 16 jan. 2020.

Um meio de propagação da luz é considerado transparente quando a luz ao atravessá-lo pode ser observada de forma nítida do outro lado. Por exemplo: o vácuo, vidro, água, e o ar.

### B.6.2 TRANSLÚCIDO

**Figura 11** – Meio translúcido de propagação da luz.



Fonte: Disponível em: <<https://mundoeducacao.bol.uol.com.br/fisica/meios-propagacao-luz.htm>>.

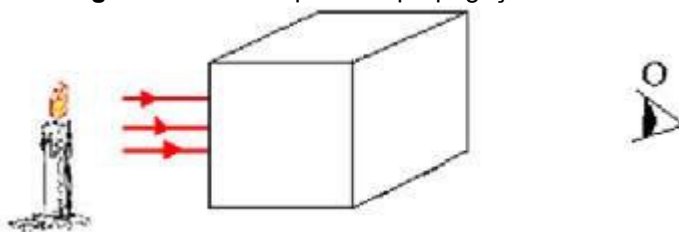
Acesso em 16 jan. 2020.



Um meio é considerado translúcido quando a luz ao atravessá-lo perde a regularidade que os raios possuem em atravessar um meio transparente, assim, ao observar a luz do outro lado deste meio há perda de nitidez. Por exemplo: Vidros em espessuras relativamente grandes, vidros foscos, nuvens, e papel vegetal.

### B.6.3 OPACO

Figura 12 – Meio opaco de propagação da luz.



Fonte: Disponível em: <<https://mundoeducacao.bol.uol.com.br/fisica/meios-propagacao-luz.htm>>.

Acesso em 16 jan. 2020.

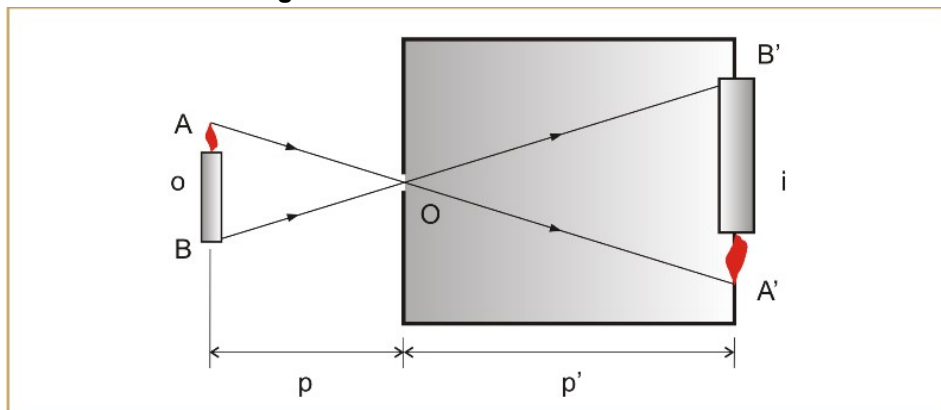
Um meio é considerado opaco quando este não permite a propagação de luz por ele. Por exemplo: A Lua do eclipse, a moeda do experimento 01, madeira, e metais.

**Observações:** Um meio é considerado homogêneo quando suas propriedades físicas e químicas são iguais em todas suas partes. E um meio isótropo é aquele que possui as mesmas propriedades físicas.

## B.7 PRINCÍPIOS DA ÓPTICA GEOMÉTRICA

Princípios são conceitos caracterizados como fundamentais. Neste caso, os princípios da óptica geométrica são conceitos que transitam por todos os fenômenos ópticos.

### B.7.1 RETILINIDADE DOS RAIOS LUMINOSOS

**Figura 13** – Câmara Escura de orifício

Fonte: Disponível em: <<https://www.fisica.ufmt.br>>. Acesso em 16 jan. 2020.

O princípio da retilinidade dos raios luminosos reconhece que em meios homogêneos os raios de luz se propagam em linha reta.

### B.7.2 INDEPENDÊNCIA DOS RAIOS LUMINOSOS

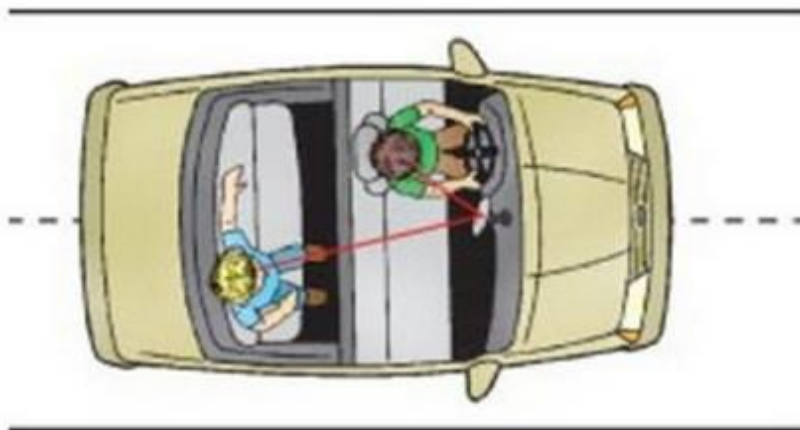
**Figura 14** – Independência dos raios luminosos.

Fonte: Disponível em: <<https://cursoenemgratuito.com.br/propagacao-da-luz/>>. Acesso em 16 jan. 2020.

O princípio da independência dos raios luminosos reconhece que raios de luz ao se interceptarem mantêm suas trajetórias.

### B.7.3 REVERSIBILIDADE DOS RAIOS LUMINOSOS

Figura 15 – Reversibilidade dos raios luminosos.

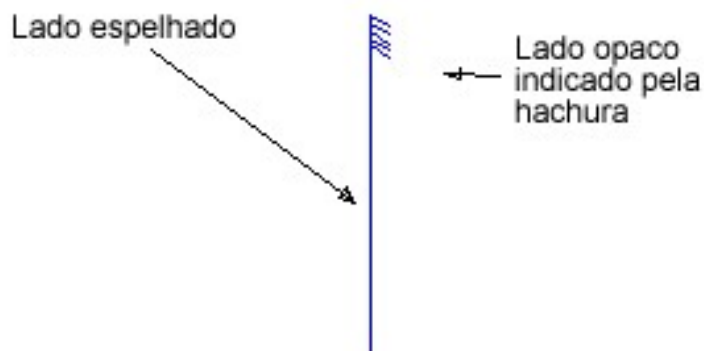


Fonte: Disponível em: <<https://descomplica.com.br/artigo/optica-geometrica-e-espelhos-planos-aprenda-tudo-para-nao-vacilar-na-hora-da-prova/4pJ/>>. Acesso em 16 jan. 2020.

O princípio da reversibilidade dos raios luminosos admite que a trajetória descrita por um raio luminoso pode ser percorrida nos dois sentidos.

#### B.7.3.1 REPRESENTAÇÃO GRÁFICA DE ESPELHOS PLANOS

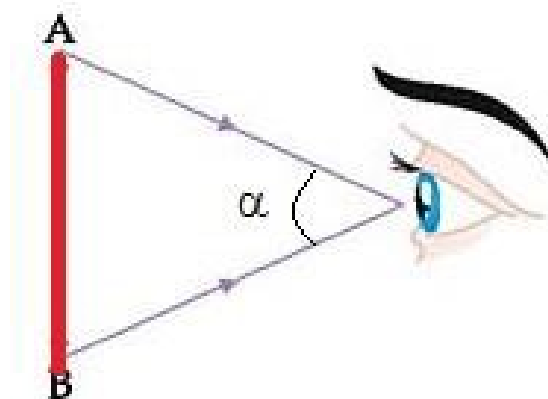
Figura 16 – Representação gráfica de espelhos planos.



Fonte: Disponível em: <<http://vidanafisica.blogspot.com/2011/10/fisica-dos-espelhos.html>>. Acesso em 16 jan. 2020.

### B.7.3.2 ÂNGULO VISUAL

Figura 17 – Ângulo Visual.



Fonte: Disponível em: <<https://cursoenemgratuito.com.br/propagacao-da-luz/>>. Acesso em 16 jan. 2020.

Imagine-se em uma praia onde você pode observar um navio petroleiro a uma distância que possa ser considerada pequena. Conforme o navio se afasta o que ocorre? Porquê?

---

---

---

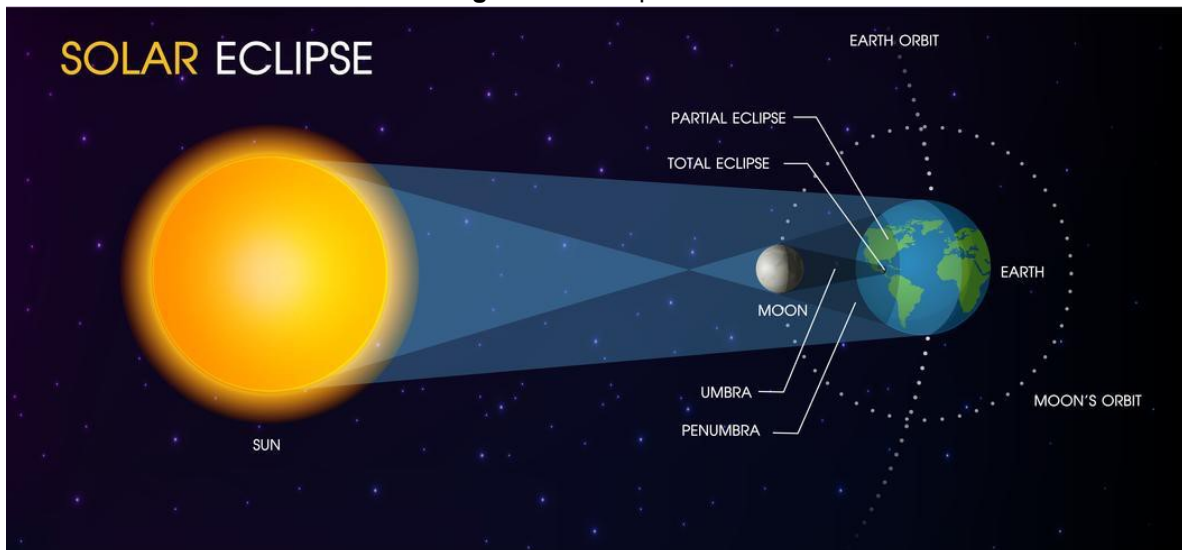
Quando observamos um objeto, podemos identificar pelo menos dois pontos nos quais, definimos suas dimensões (extremidades). Imaginando raios de luz emitidos ou refletidos por suas extremidades direcionados ao olho humano, teremos a formação de um ângulo denominado ângulo visual. Conforme a distância entre observador e objeto aumenta, este ângulo visual diminui. O limite de abertura para que um objeto possa ser visto com nitidez é de aproximadamente 1' (um minuto de arco). Este limite de abertura é denominado de acuidade visual.

## B.8 ECLIPSES

São fenômenos astronômicos raros que ocorrem devido a interceptação de raios luminosos por um corpo celeste.

## B.8.1 ECLIPSE SOLAR

Figura 18 – Eclipse solar.



Fonte: Disponível em: <<https://pt.vecteezy.com/arte-vetorial/594427-eclipse-solar-do-sol>>. Acesso em 16 jan. 2020.

Fenômeno que ocorre quando a Lua na fase nova intercepta os raios solares no momento em que se posiciona entre a Terra e o Sol. Este fenômeno é raro devido as órbitas Terra-Sol e Lua-Terra estarem inclinadas uma em relação a outra por um ângulo de  $5,2^\circ$ .

O eclipse solar pode ser total ou parcial dependendo da posição do observador na Terra.

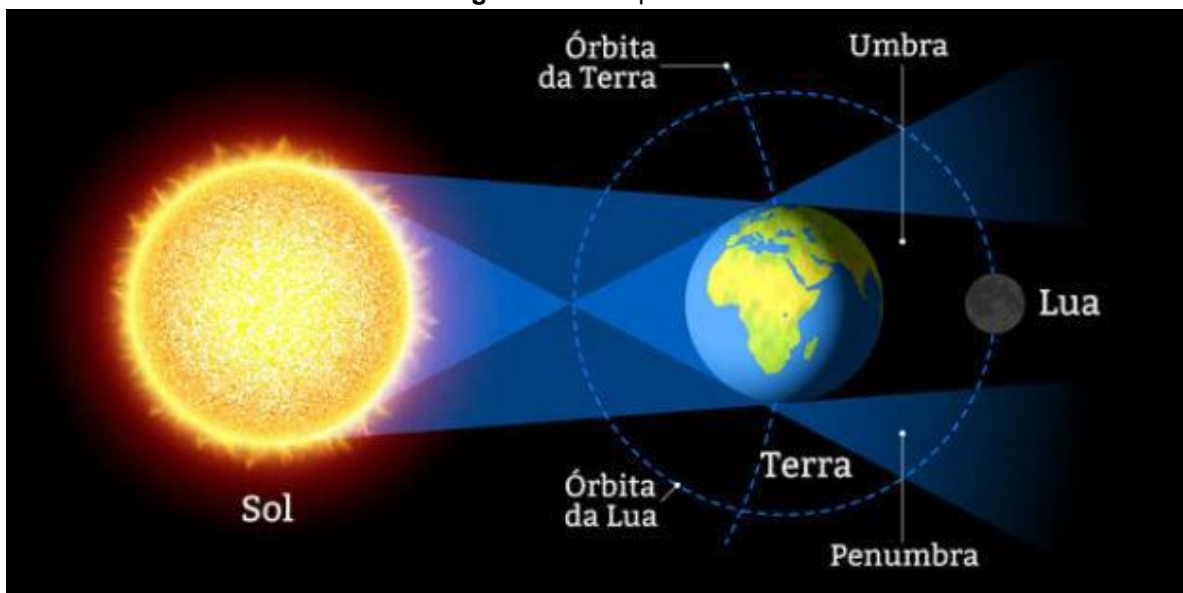
Eclipse solar total: O observador deve estar posicionado dentro da projeção de sombra, que geralmente possui aproximadamente 200 km de extensão. E possui duração de aproximadamente 8 minutos.

Eclipse solar parcial: O observador deve estar posicionado dentro da projeção da penumbra, que geralmente possui aproximadamente 3000 km de extensão. E tem duração de aproximadamente 4 horas.

Existe também o eclipse solar anular onde é possível observar a formação de um anel pelos raios solares. Este fenômeno ocorre quando a lua, em sua órbita, está no ponto mais distante (apogeu) da Terra. Este eclipse é considerado um eclipse parcial.

## B.8.2 ECLIPSE LUNAR

Figura 19 – Eclipse lunar.



Fonte: Disponível em: <<https://www.todamateria.com.br/eclipse-lunar/>>. Acesso em 16 jan. 2020.

Fenômeno que ocorre quando a Terra está posicionada entre o Sol e a Lua na fase cheia. Portanto há a projeção da sombra da Terra na Lua. E o eclipse lunar pode ser total ou parcial.

Eclipse lunar total: A lua deve estar posicionada no cone de sombra projetado pela Terra, sendo totalmente coberta.

Eclipse lunar parcial: A lua deve estar posicionada no cone de penumbra projetado pela Terra, e neste momento ela é parcialmente coberta.

A duração de um eclipse lunar é de aproximadamente 4 horas.

## B.9 FENÔMENOS ÓPTICOS

Os fenômenos ópticos são eventos que podem ser explicados mediante a utilização dos princípios da óptica geométrica.

### B.9.1 REFLEXÃO

É o fenômeno no qual a luz ao atingir um meio não consegue vencer este, retornando para o meio de propagação inicial. Por exemplo a luz refletida por um espelho.

### **B.9.1.1 EXPERIMENTO 05: REFLEXÃO REGULAR DA LUZ POR ESPELHO PLANO**

**Objetivo:** Demonstrar conceitos sobre a reflexão regular da luz.

**Materiais a serem utilizados:**

- Espelho plano
- Canhão de lasers
- Quadro negro de metal

**Metodologia:**

- a) Posicione o espelho plano no quadro negro de metal, formando um ângulo de  $90^\circ$  com a linha tracejada (reta normal), centralizando-o;
- b) Posicione o canhão de lasers de forma que os raios de luz fiquem inclinados com relação a reta normal.

**Resultados e discussão:**

Qual o comportamento dos raios luminosos? Com qual princípio da óptica geométrica podemos relacionar este comportamento?

---

---

---

### **B.9.1.2 EXPERIMENTO 06: REFLEXÃO DIFUSA DA LUZ**

**Objetivo:** Demonstrar conceitos referentes a reflexão difusa da luz

**Materiais a serem utilizados:**

- Chapa metálica simulando uma superfície rugosa
- Canhão de lasers
- Quadro negro de metal

**Metodologia:**

- a) Posicione a chapa metálica simulando uma superfície rugosa no quadro negro de metal, de forma que ela forme um ângulo de  $90^\circ$  com a linha referencial (reta normal), centralizando-a;
- b) Posicione o canhão de lasers de forma que os raios de luz fiquem inclinados com relação a reta normal.

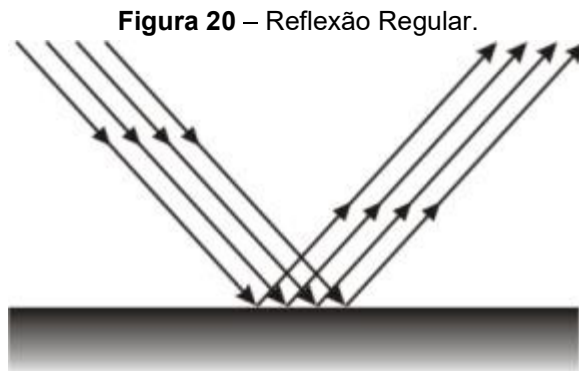
### Resultados e discussão:

O que diferencia a reflexão regular da reflexão difusa?

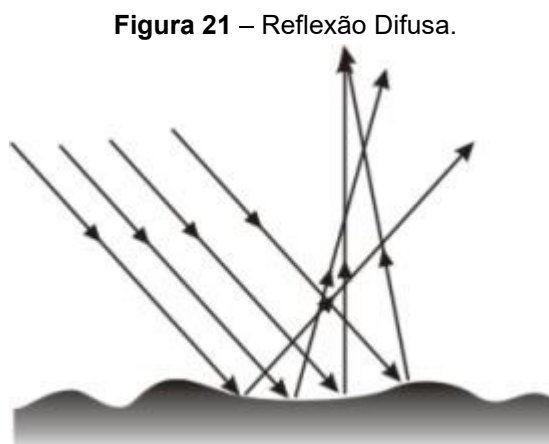
---

---

---



Fonte: Disponível em: <<https://estudodacor.wordpress.com/aspectos-fisicos/materia-e-sua-reacao-a-luz/>>. Acesso em 16 jan. 2020.



Fonte: Disponível em: <<https://estudodacor.wordpress.com/aspectos-fisicos/materia-e-sua-reacao-a-luz/>>. Acesso em 16 jan. 2020.

## B.9.2 REFRAÇÃO

Fenômeno óptico que caracteriza a mudança de meio de propagação da luz.



### B.9.2.1 EXPERIMENTO 07: REFRAÇÃO DA LUZ

**Objetivo:** Demonstrar conceitos sobre refração da luz

**Materiais a serem utilizados:**

- Aquário de vidro
- Laser

**Metodologia:**

- Encha o aquário com água;
- Posicione a face que possui uma reta referencial (paralela à superfície de apoio) para os alunos. Esta reta servirá como reta normal;
- Incida o feixe do laser de forma com que este esteja inclinado com relação a reta normal.

**Resultados e discussão:**

O que pode ser observado quando o raio de luz atinge o aquário?

---

---

---

Por que isto ocorre?

---

---

---

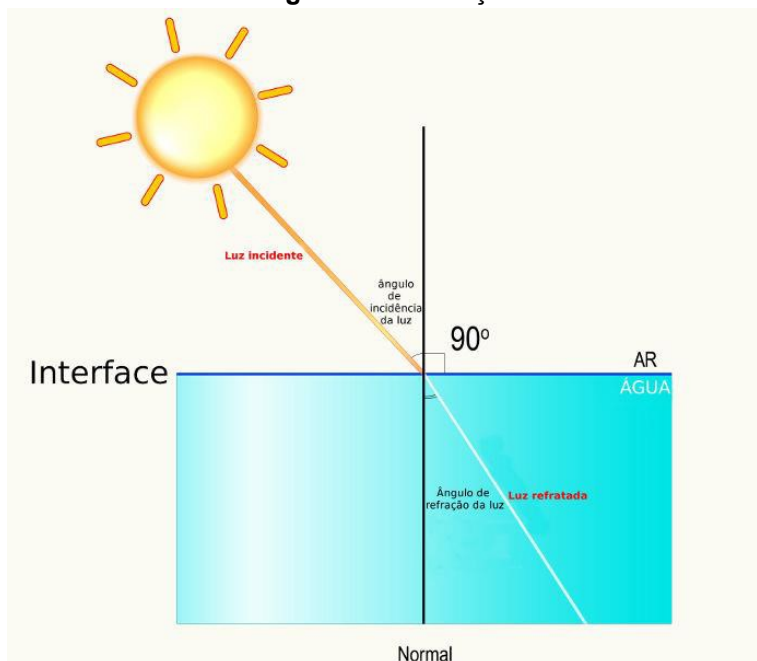
Caso a água fosse trocada por outra substância, o que poderia ocorrer?

---

---

---

Figura 22 – Refração



Fonte: Disponível em: <<https://alunosonline.uol.com.br/fisica/refracao-luz.html>>. Acesso em 16 jan. 2020.

## B.9.3 OUTROS FENÔMENOS ÓPTICOS

### B.9.3.1 ABSORÇÃO

Figura 23 – Absorção da luz



Fonte: Disponível em: <<https://envolverde.cartacapital.com.br/familias-de-baixa-renda-vao-economizar-70-de-energia-com-aquecedor-solar/>>. Acesso em 16 jan. 2020.

A absorção é a transformação da energia luminosa em energia térmica.

Onde a absorção pode ser evidenciada no seu cotidiano?

---

---

---

### **B.9.3.2 EXPERIMENTO 08: DISPERSÃO**

**Objetivo:** Demonstrar conceitos sobre a dispersão dos raios luminosos e análise da luz branca.

**Materiais a serem utilizados:**

- Canhão de luz branca
- Quadro negro de metal
- Prisma

**Metodologia:**

- a) Posicione o canhão de luz no quadro negro de metal, com apenas uma fenda aberta;
- b) Posicione o prisma no quadro de metal preto;
- c) Direcione o feixe de luz branco em uma das faces do prisma;
- d) Rotacione o prisma até localizar o ponto em que acontece a dispersão.

**Resultados e discussão:**

O que pode ser observado?

---

---

---

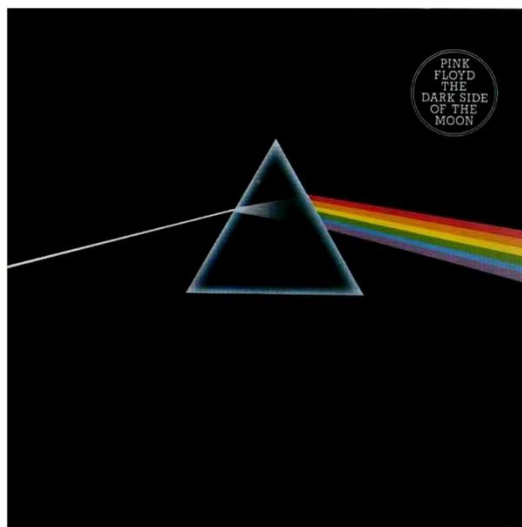
A quais conclusões sobre a luz branca você pode chegar ao observar o experimento?

---

---

---

**Figura 24** – Dispersão da luz



Fonte: Disponível em: <<http://discoshistoricos.blogspot.com/2006/02/1-dark-side-of-moon.html>>.  
Acesso em 16 jan. 2020.

### **B.9.3.3 ESPALHAMENTO DA LUZ**

Por que o céu é azul?

---

---

---

### **B.10. CORES DE UM CORPO**

Por que enxergamos as folhas de uma planta na cor verde?

---

---

---

Por que as pessoas costumam dizer que se você sair com uma camiseta preta em um dia ensolarado, de temperaturas altas, você vai se sentir desconfortável com a temperatura?

---

---

---

Por que as empresas de tinta fabricam uma tinta branca exclusiva para pintar telhas de amianto?

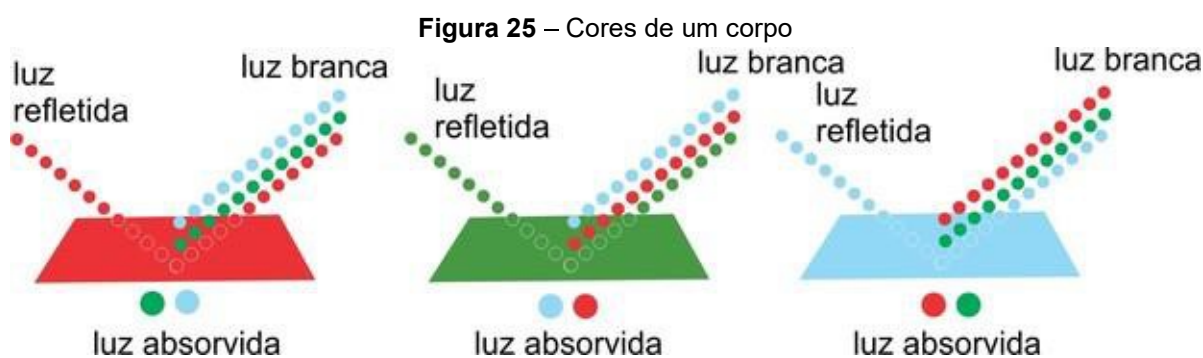
---



---



---



Fonte: Disponível em: <<https://descomplica.com.br/artigo/optica-geometrica-e-espelhos-planos-aprenda-tudo-para-nao-vacilar-na-hora-da-prova/4pJ/>>. Acesso em 16 jan. 2020.

Um corpo de cor preta iluminado com luz branca refletirá qual cor?

---



---



---

De que cor enxergaremos a bandeira do Brasil quando ela for iluminada por uma luz verde?

---



---



---

## B.11 LEIS DA REFLEXÃO

### B.11.1 EXPERIMENTO 09: LEIS DA REFLEXÃO

**Objetivo:** Demonstrar as leis da reflexão

**Materiais a serem utilizados:**

- Quadro negro de metal

- Espelho plano
- Giz
- Régua
- Transferidor
- Canhão de lasers

**Metodologia:**

- a) Posicione o espelho plano no quadro negro de metal, sobre a reta referencial (reta normal) formando um ângulo de  $90^\circ$  e centralize-o;
- b) Com o transferidor determine um ângulo de  $45^\circ$  (ângulo de incidência) em relação a reta normal, e trace uma reta indicado a abertura;
- c) Posicione o canhão de lasers, com apenas um raio acionado sobre a reta traçada em sentido ao espelho;
- d) Com o giz trace uma reta sobre o raio refletido pelo espelho;
- e) Meça o ângulo de reflexão utilizando o transferidor.

**Resultados e discussão:**

Ao comparar o ângulo de incidência com o ângulo de reflexão o que foi observado?

---

---

---

O que o raio incidente, o raio refletido e a reta normal, traçados no quadro de metal tem em comum?

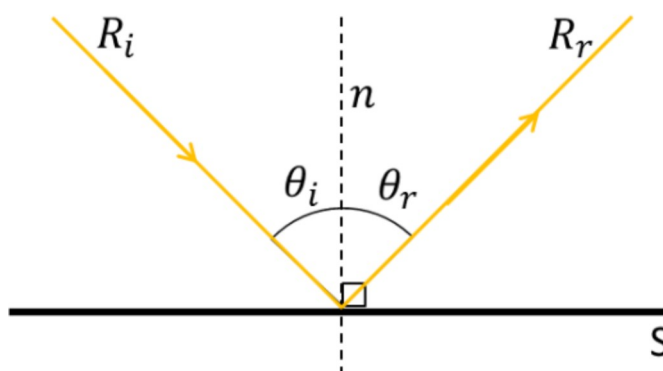
---

---

---

Figura 26 – Leis da reflexão

S: superfície plana



Fonte: Disponível em: <<http://boltz.ccne.ufsm.br/st12/?q=node/78>>. Acesso em 16 jan. 2020.

O fenômeno da reflexão apresenta comportamentos que podem ser descritos em apenas duas leis.

**1ª Lei da Reflexão:** O raio incidente, o raio refletido e a reta normal estão no mesmo plano. Portanto, são coplanares.

**2ª Lei da Reflexão:** O ângulo de incidência possui valor igual ao ângulo de reflexão.

## B.12 ESPELHOS PLANOS

Figura 27 – Espelho Plano



Fonte: Disponível em: <<https://blogdoenem.com.br/leis-de-reflexao-e-espehos-planos-fisica-enem/>>.

Acesso em 16 jan. 2020.

### B.12.1 CONSTRUÇÃO DE IMAGENS NO ESPELHO PLANO

### B.12.1.1 EXPERIMENTO 10: LETRAS EM FRENTE AO ESPELHO

**Objetivo:** Demonstrar o conceito de enantiomorfismo

**Materiais a serem utilizados:**

- Espelho plano
- Papel
- Caneta

**Metodologia:**

- Escreva uma palavra no papel;
- Coloque a frente ao espelho plano.
- Pode ser utilizado um dos espelhos da associação de espelhos devido as suas dimensões serem maiores.

**Resultados e discussão:**

O que pode ser observado ao posicionar a palavra em frente ao espelho?

---



---



---

Você já observou que nos carros de bombeiro, polícia e ambulâncias os textos são escritos ao contrário? Por que isto é feito?

---



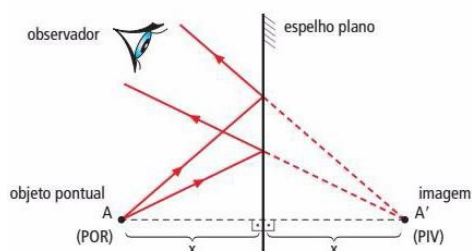
---



---

### B.12.1.2 IMAGEM DE UM CORPO PONTUAL

**Figura 28** – Imagem de um corpo pontual formada por um espelho plano



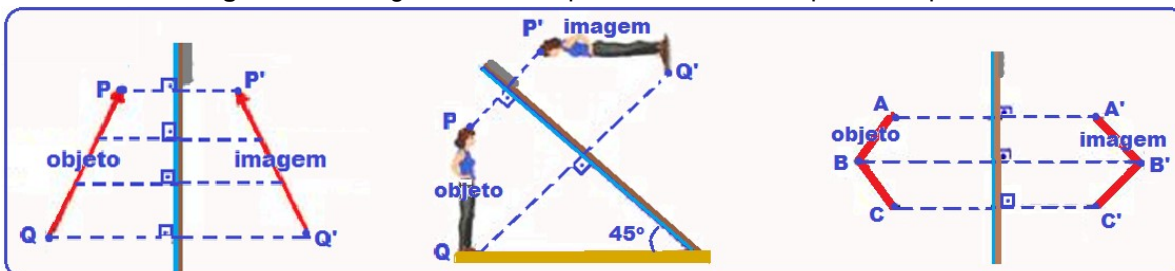
Fonte: Física Aula por Aula, vol. 2, Editora: FTD, 2016.



A distância entre um corpo pontual posicionado em frente a um espelho é a mesma distância de sua imagem com relação ao espelho.

### B.12.1.3 IMAGEM DE UM CORPO EXTENSO

**Figura 29** – Imagem de um corpo extenso formada por um espelho



Fonte: Disponível em: <<http://fisicaevestibular.com.br/novo/optica/optica-geometrica/reflexao-da-luz-e-espelhos-planos/>>. Acesso em 16 jan. 2020.

Podemos entender um corpo extenso frente a um espelho como sendo um conjunto de pontos e cada ponto deste corpo extenso terá distância igual a distância de sua imagem.

A imagem em um espelho plano tem as mesmas dimensões que o objeto, portanto são simétricos, mas a orientação é diferente, esta característica é determinada como enantiomorfismo.

O que você pensa/imagina quando a palavra “virtual” é utilizada em uma definição tipo: realidade virtual, sala de aula virtual, jogo virtual e namoro virtual?

---



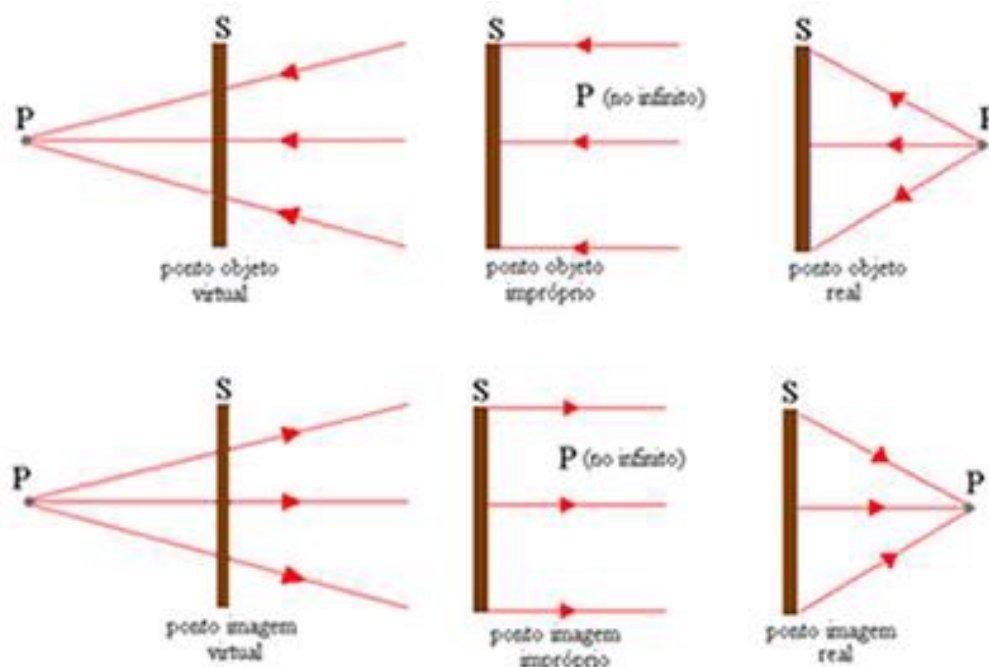
---



---

### B.12.1.4 PONTO OBJETO E PONTO IMAGEM

**Figura 30** – Ponto objeto e ponto imagem



Fonte: Disponível em: <<https://brasilecola.uol.com.br/fisica/definido-um-sistema-optico.htm>>.

Acesso em 16 jan. 2020.

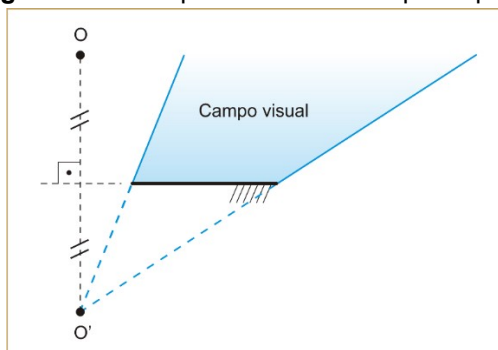
Ponto objeto é o vértice dos raios de luz incidentes.

Ponto imagem é o vértice dos raios de luz emergentes.

Ponto objeto e Ponto imagem podem ser classificados como reais, virtuais ou impróprios. O termo real é utilizado quando o vértice é formado pelos próprios raios de luz e o termo virtual é utilizado quando o vértice é formado pelo prolongamento dos raios de luz. O termo impróprio é utilizado quando os raios de luz são paralelos não formando um vértice.

### B.12.1.5 CAMPO VISUAL DE UM ESPELHO PLANO

**Figura 31** – Campo visual de um espelho plano



Fonte: Disponível em: <<http://fisikanarede.blogspot.com/2012/09/espelho-plano-campo-visual.html>>.

Acesso em 16 jan. 2020.

Existe uma região limitada com a qual um observador pode observar a reflexão de objetos por um espelho. Esta região é chamada de campo visual.

## B.12.2 TRANSLAÇÃO DE UM ESPELHO PLANO

Imagine-se parado em frente a um espelho plano. Quando você se afastar do espelho o que ocorrerá com a sua imagem?

---

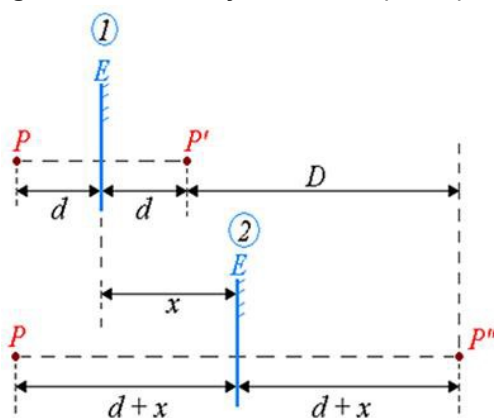


---



---

**Figura 32** – Translação de um espelho plano



Fonte: Disponível em: <<https://brasilecola.uol.com.br/fisica/translacao-um-espelho-plano.htm>>.

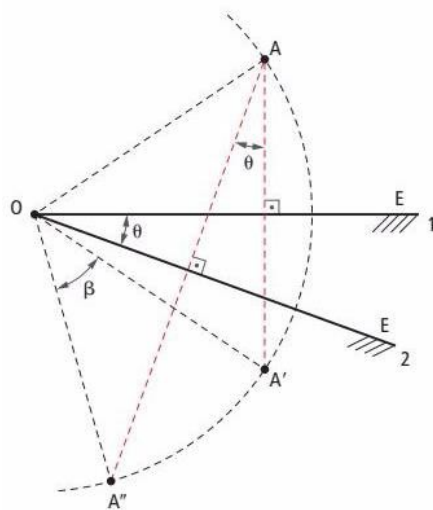
Acesso em 16 jan. 2020.

A translação de um espelho plano é o ato de alterar a distância com relação a um objeto. Nesta movimentação a imagem sempre deslocará o dobro da distância que o espelho plano se deslocou em relação ao objeto. A velocidade desta imagem também deve ser o dobro da velocidade de deslocamento do espelho.

## B.12.3 ROTAÇÃO DE UM ESPELHO PLANO EM TORNO DE UM EIXO

A rotação de um espelho com relação a um objeto fixo também demonstra conceitos semelhantes a translação do espelho plano, pois o deslocamento angular da imagem é o dobro do deslocamento angular ocorrido na rotação de um espelho plano em torno de um eixo fixo.

**Figura 33** – Rotação de um espelho plano



Fonte: Física Aula por Aula, vol. 2, Editora: FTD, 2016.

## B.12.4 EXPERIMENTO 11: ASSOCIAÇÃO DE ESPELHOS PLANOS

**Objetivo:** Demonstrar conceitos sobre associação de espelhos planos

**Materiais a serem utilizados:**

- Espelhos planos associados
- Superfície de apoio (mesa)
- Giz
- Folha de papel A4
- Transferidor
- Régua
- Objeto (bolinha de gude, tampinha de garrafa, moeda, etc)
- Caneta ou lápis

**Metodologia:**

- a) Na folha de papel A4 trace duas retas formando um ângulo de  $90^\circ$  entre elas;
- b) Posicione os espelhos sobre as retas de forma que a parte espelhada dos espelhos fiquem posicionadas para dentro do ângulo de  $90^\circ$ ;
- c) Trace uma reta dividindo o ângulo de  $90^\circ$  em dois ângulos de  $45^\circ$  para demarcar o plano bissetor;
- d) Posicione o objeto sobre o plano bissetor e conte quantas imagens foram geradas;

- e) Altere a posição do objeto, tirando-o do plano bissetor, mantendo - o entre os espelhos e volte a contar as imagens;
- f) Vire a folha A4 e agora trace duas retas formando um ângulo de  $72^\circ$  entre elas;
- g) Trace uma reta dividindo o ângulo de  $72^\circ$  em dois ângulos de  $36^\circ$  para demarcar o plano bissetor;
- h) Posicione o objeto sobre o plano bissetor e conte o número de imagens;
- i) Altere a posição do objeto, tirando-o do plano bissetor, mantendo - o entre os espelhos e volte a contar as imagens;

### Resultados e discussão:

Com o ângulo de  $90^\circ$  ao alterarmos a posição em que o objeto estava sobre o plano bissetor para outro local houve alteração no número de imagens?

---

---

---

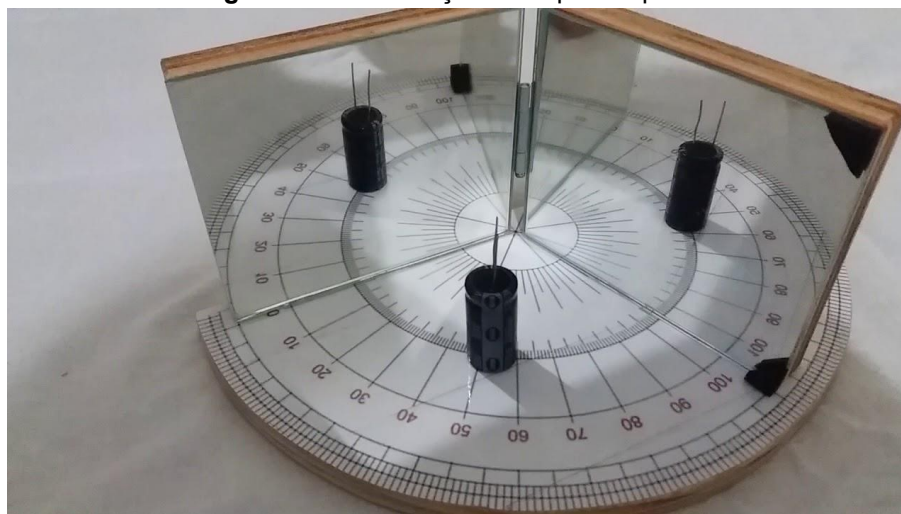
Para o ângulo de  $72^\circ$  ao alterarmos a posição do objeto que estava sobre o plano bissetor para outro local houve alteração no número de imagens?

---

---

---

Figura 34 – Associação de espelhos planos



Fonte: Disponível em: < <https://www.youtube.com/watch?v=1xHiYIPmdsc>>. Acesso em 16 jan. 2020.

$$N = \frac{360^\circ}{\theta} - 1$$

Se  $\frac{360^\circ}{\theta}$  for par o objeto pode estar posicionado em qualquer posição entre os espelhos;

Se  $\frac{360^\circ}{\theta}$  for ímpar o objeto deve estar posicionado sobre o plano bissetor do ângulo entre os espelhos.

O que ocorrerá com as imagens quando o objeto estiver entre os espelhos, com estes espelhos paralelos entre si, e com as faces refletoras viradas uma para a outra?

---



---



---

#### B.12.4.1 VÍDEO 04: FILME A ORIGEM – ASSOCIAÇÃO DE ESPELHOS PLANOS

Figura 35 – Cartaz do filme: A origem



Fonte: Disponível em: <[https://pt.wikipedia.org/wiki/A\\_Origem](https://pt.wikipedia.org/wiki/A_Origem)>. Acesso em 16 jan. 2020.

#### B.13 ESPELHOS ESFÉRICOS

**Figura 36** – Espelhos esféricos

Fonte: Disponível em: <<https://alunosonline.uol.com.br/fisica/equacao-dos-pontos-conjugados.html>>. Acesso em 16 jan. 2020.

Os espelhos esféricos são formados por calotas esféricas. Quando a parte interna da calota é espelhada (refletora) o chamamos de espelho côncavo. Quando a parte externa da calota é espelhada (refletora) o chamamos de espelho convexo.

### **B.13.1 EXPERIMENTO 12: ESPELHO CÔNCAVO**

**Objetivo:** Demonstrar o comportamento de raios de luz paralelos ao incidir o espelho côncavo

**Materiais a serem utilizados:**

- Superfície espelhada côncava
- Canhão de luz branca
- Quadro negro de metal

**Metodologia:**

- a) Posicione a superfície espelhada côncava transversalmente ao eixo óptico (linha referencial) de forma que o vértice desta esteja sobre o eixo óptico;
- b) Posicione o canhão de luz para que os raios de luz estejam paralelos ao eixo óptico a uma distância entre 30-40 cm da superfície refletora.

**Resultados e discussão:**

Qual o comportamento dos raios de luz após serem refletidos por uma superfície côncava?

---

---

---

Qual nome é dado para o ponto de interseção dos raios luminosos? E qual a distância entre o ponto de interseção e vértice do espelho?

---



---



---

### B.13.2 EXPERIMENTO 13: ESPELHO CONVEXO

**Objetivo:** Demonstrar o comportamento de raios de luz paralelos ao incidir o espelho convexo.

**Materiais a serem utilizados:**

- Superfície espelhada convexa
- Canhão de lasers
- Quadro negro de metal

**Metodologia:**

- Posicione a superfície espelhada convexa transversalmente ao eixo óptico de forma que o vértice desta esteja sobre o eixo óptico;
- Posicione o canhão de luz para que os raios de luz estejam paralelos ao eixo óptico a uma distância entre 30-40 cm da superfície refletora.

**Resultados e discussão:**

Existe algum ponto de interseção entre os raios refletidos?

---



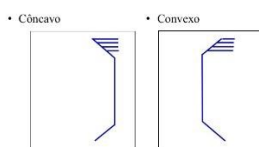
---



---

### B.13.3 REPRESENTAÇÃO GRÁFICA DOS ESPELHOS ESFÉRICOS

**Figura 37** – Representação gráfica dos espelhos esféricos

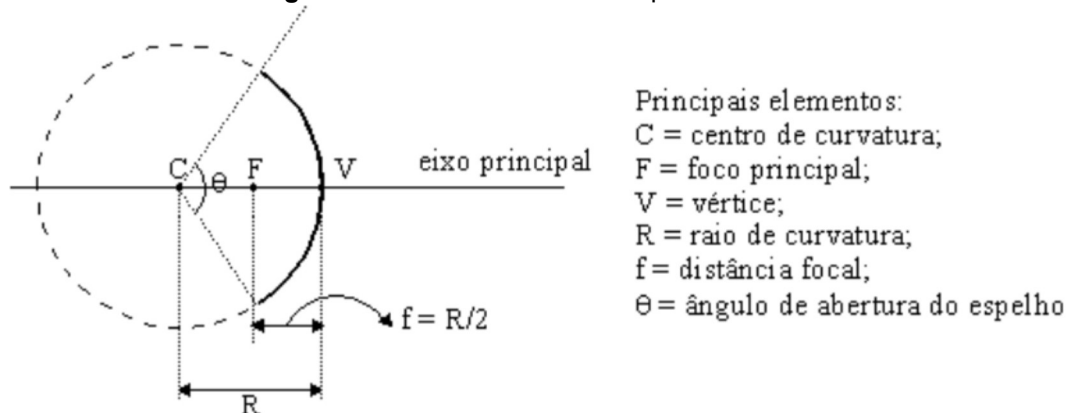


REPRESENTAÇÃO GEOMÉTRICA



### B.13.4 ELEMENTOS DE UM ESPELHO ESFÉRICO

Figura 38 – Elementos de um espelho esférico



Fonte: Disponível em:

<[http://www.if.ufrgs.br/tex/fis01043/20022/Rod\\_Oliveira/textos/4%20Propriedades%20dos%20raios%20luminosos%20Espelho%20esf%20E9rico.htm](http://www.if.ufrgs.br/tex/fis01043/20022/Rod_Oliveira/textos/4%20Propriedades%20dos%20raios%20luminosos%20Espelho%20esf%20E9rico.htm)>. Acesso em 16 jan. 2020.

**Ângulo de abertura:** Ângulo formado por retas traçadas a partir das extremidades do espelho.

**Centro de curvatura:** Centro da superfície esférica.

**Eixo principal:** Reta que passa pelo centro de curvatura e centro do espelho.

**Eixo secundário:** Reta que passa pelo centro de curvatura, mas não pelo centro do espelho.

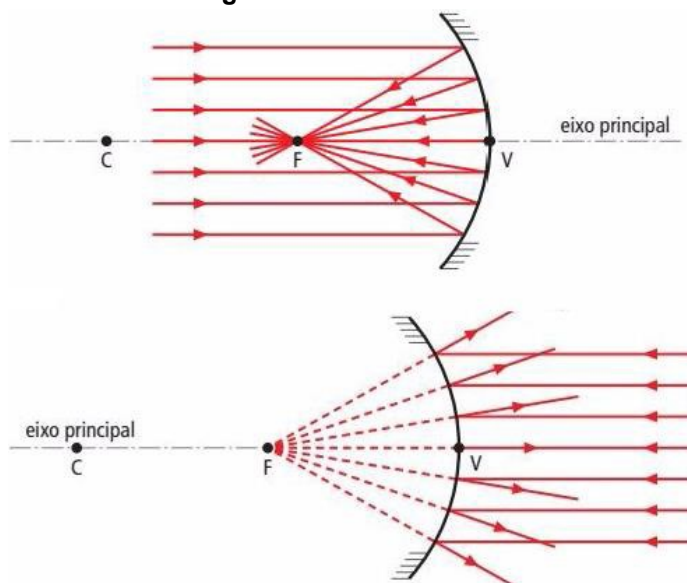
**Raio de curvatura:** Distância entre o centro de curvatura e qualquer ponto do espelho.

**Vértice do espelho:** Centro ou polo do espelho.

### B.13.5 CONDIÇÕES DE GAUSS

Carl Friedrich Gauss (1777-1855) estabeleceu que as superfícies esféricas refletoras devem possuir ângulo de abertura inferior a  $10^\circ$  para que as imagens não sofram distorções.

### B.13.6 DISTÂNCIA FOCAL

**Figura 39 – Distância focal**

Fonte: Física Aula por Aula, vol. 2, Editora: FTP, 2016.

A distância entre o foco principal do espelho e o vértice deste espelho é chamada de distância focal e equivale à metade do raio de curvatura.

$$f = \frac{R}{2}$$

### B.13.7 EXPERIMENTO 14: RAIOS NOTÁVEIS EM ESPELHOS ESFÉRICOS

**Objetivo:** Demonstrar as propriedades dos raios incidentes em espelhos esféricos

**Materiais a serem utilizados:**

- Superfície espelhada convexa
- Superfície espelhada côncava
- Lasers
- Giz
- Quadro negro de metal
- transferidor

**Metodologia:**

- a) Posicione o espelho côncavo sobre o eixo principal;
- b) Incida um raio paralelo ao eixo principal no espelho côncavo e marque o ponto onde está o foco do espelho;

- c) Incida um raio no espelho côncavo que passe pelo foco;
- d) Marque o ponto onde está o centro de curvatura e incida um raio no espelho côncavo que passe pelo centro de curvatura, mas que não passe pelo foco;
- e) Incida um raio no vértice do espelho de forma que este raio esteja inclinado com relação ao eixo principal e com o giz demarque o raio incidente e o raio refletido;
- f) Meça o ângulo de incidência e o ângulo de reflexão;
- g) Posicione o espelho convexo sobre o eixo principal;
- h) Incida um raio paralelo ao eixo principal no espelho convexo e marque o ponto onde está o foco do espelho;
- i) Incida um raio no espelho convexo que esteja na direção do foco;
- j) Marque o ponto onde está o centro de curvatura e incida um raio no espelho convexo que tenha direção do centro de curvatura, mas que não esteja direcionado ao foco;
- k) Incida um raio no vértice do espelho de forma que este raio esteja inclinado com relação ao eixo principal e com o giz demarque o raio incidente e o raio refletido;
- l) Meça o ângulo de incidência e o ângulo de reflexão;

**Resultados e discussão:**

O que ocorreu com o raio que foi incidido de forma paralela no espelho côncavo e também no convexo?

---

---

---

O que ocorreu com o raio que passou pelo foco e incidiu no espelho côncavo e o que ocorreu com o raio que foi direcionado ao foco que atingiu o espelho convexo?

---

---

---

O que ocorreu com o raio que passou pelo centro de curvatura e incidiu no espelho côncavo e o que ocorreu com o raio que foi direcionado ao centro de curvatura que atingiu o espelho convexo?

---

---

---

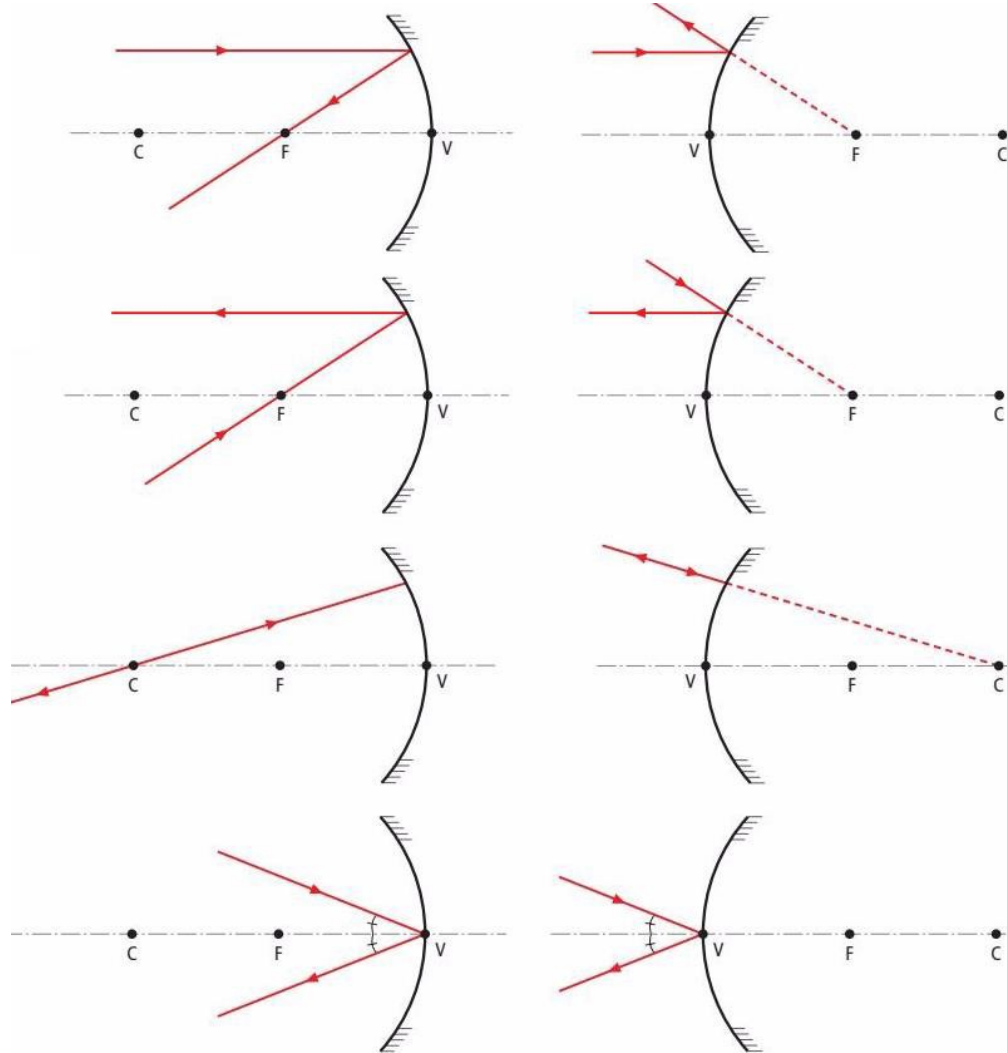
O que ocorreu com os raios que atingiram o vértice dos espelhos côncavos e convexos?

---

---

---

**Figura 40** – Raios notáveis em espelhos esféricos



Fonte: Física Aula por Aula, vol.2, Editora: FTP, 2016.

## B.13.8 CONSTRUÇÃO DE IMAGENS NOS ESPELHOS ESFÉRICOS

Os espelhos esféricos podem construir imagens. E estas imagens podem ser classificadas pela sua natureza, por sua orientação e por seu tamanho.

As imagens podem ser:

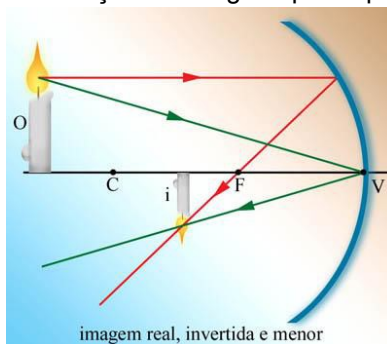
- reais ou virtuais de acordo com sua natureza;
- direitas ou invertidas quanto a sua orientação;
- e podem ser maiores, menores ou do mesmo tamanho que seus objetos.

Existem 5 casos de formação de imagens para espelhos côncavos e um único caso para os espelhos convexos. A formação destas imagens pode ser facilmente obtida pela análise de raios notáveis.

### Espelho Côncavo

**1º Caso:** objeto posicionado depois do centro de curvatura

**Figura 41** – 1º Caso de construção de imagens por espelhos esféricos côncavos

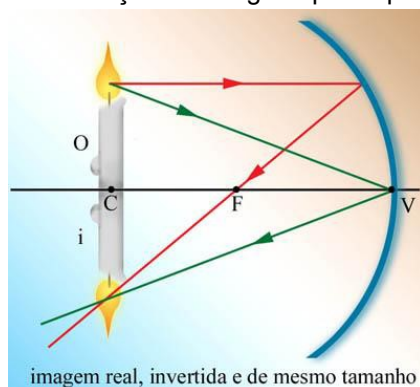


Fonte: Disponível em: <[http://www.fisicapaidegua.com/conteudo/conteudo.php?id\\_top=040302](http://www.fisicapaidegua.com/conteudo/conteudo.php?id_top=040302)>.

Acesso em 16 jan. 2020.

**2º Caso:** objeto posicionado sobre o centro de curvatura

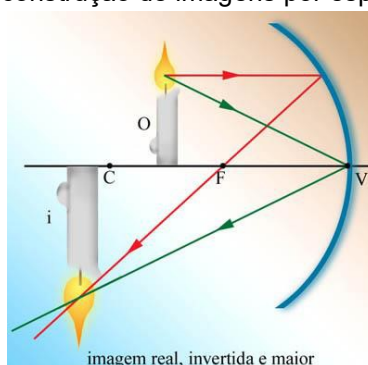
**Figura 42** – 2º Caso de construção de imagens por espelhos esféricos côncavos



Fonte: Disponível em: <[http://www.fisicapaidegua.com/conteudo/conteudo.php?id\\_top=040302](http://www.fisicapaidegua.com/conteudo/conteudo.php?id_top=040302)>.  
Acesso em 16 jan. 2020.

**3º Caso:** objeto posicionado entre o centro de curvatura e o foco

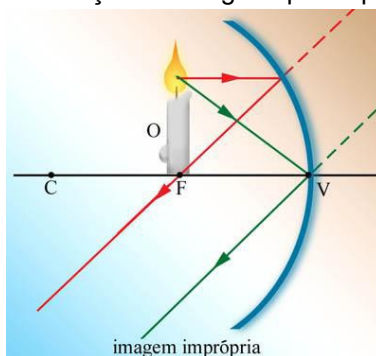
**Figura 43** – 3º Caso de construção de imagens por espelhos esféricos côncavos



Fonte: Disponível em: <[http://www.fisicapaidegua.com/conteudo/conteudo.php?id\\_top=040302](http://www.fisicapaidegua.com/conteudo/conteudo.php?id_top=040302)>.  
Acesso em 16 jan. 2020.

**4º Caso:** objeto posicionado sobre o foco

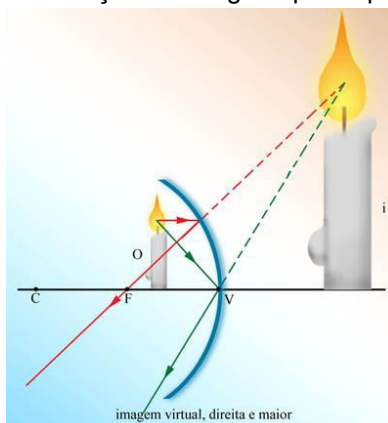
**Figura 44** – 4º Caso de construção de imagens por espelhos esféricos côncavos



Fonte: Disponível em: <[http://www.fisicapaidegua.com/conteudo/conteudo.php?id\\_top=040302](http://www.fisicapaidegua.com/conteudo/conteudo.php?id_top=040302)>.  
Acesso em 16 jan. 2020.

**5º Caso:** objeto posicionado entre o foco e o vértice do espelho

**Figura 45** – 5º Caso de construção de imagens por espelhos esféricos côncavos



Fonte: Disponível em: <[http://www.fisicapaidegua.com/conteudo/conteudo.php?id\\_top=040302](http://www.fisicapaidegua.com/conteudo/conteudo.php?id_top=040302)>.  
Acesso em 16 jan. 2020.

Onde você pode observar que estes espelhos côncavos podem ser utilizados?

---



---

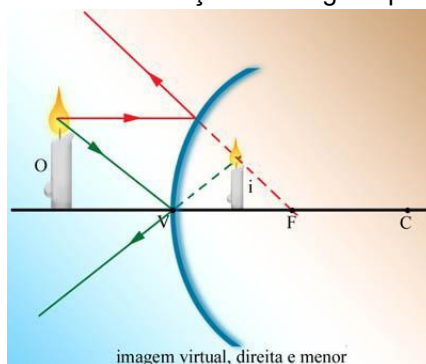


---

## Espelho Convexo

### Caso único

**Figura 46** – Caso único de construção de imagens por espelhos convexos



Fonte: Disponível em: <[http://www.fisicapaidegua.com/conteudo/conteudo.php?id\\_top=040302](http://www.fisicapaidegua.com/conteudo/conteudo.php?id_top=040302)>.  
Acesso em 16 jan. 2020.

Onde você pode observar que os espelhos convexos podem ser utilizados?

---



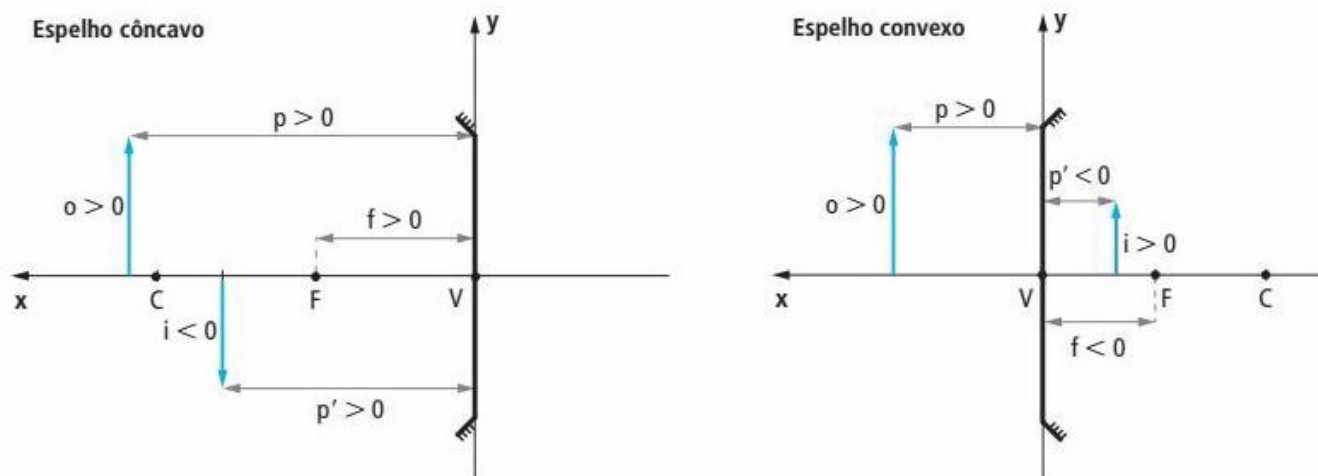
---



---

## B.13.9 REFERENCIAL DE GAUSS PARA ESPELHOS ESFÉRICOS

Figura 47 – Referencial de Gauss para espelhos esféricos



Fonte: Física Aula por aula, vol.2, Editora: FTP, 2016.

Utilizando o plano cartesiano onde o eixo  $x$  é o eixo principal que passa pelo centro de curvatura e vértice do espelho, e o eixo  $y$  passa pelo vértice do espelho, temos:

**p**: Distância do objeto ao vértice do espelho

**p'**: Distância da imagem ao vértice do espelho

**o**: tamanho do objeto

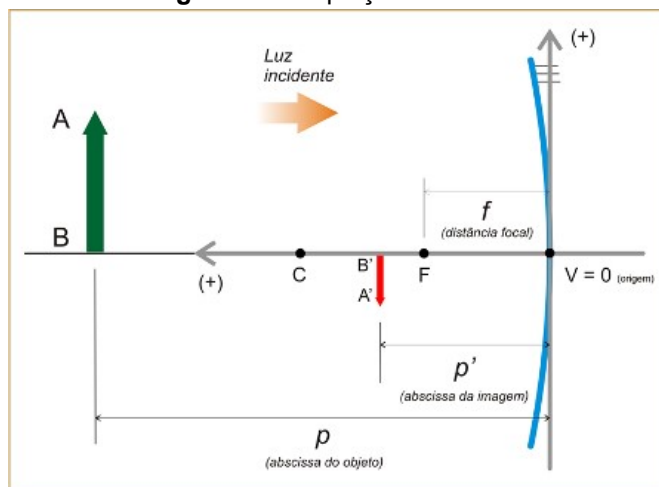
**i**: tamanho da imagem

**f**: distância focal



### B.13.10 EQUAÇÃO DE GAUSS

Figura 48 – Equação de Gauss



Fonte: Disponível em: <<http://fisikanarede.blogspot.com/2012/10/equacao-de-gauss-aumento-linear.html>>. Acesso em 16 jan. 2020.

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{p} + \frac{1}{p'}$$

### B.13.11 AUMENTO LINEAR

$$A = \frac{i}{o} = -\frac{p}{p'}$$



## B.14 REFRAÇÃO

### B.14.1 EXPERIMENTO 15: LEIS DA REFRAÇÃO

**Objetivo:** Demonstrar as leis da refração

**Materiais a serem utilizados:**

- Quadro negro de metal
- Lâmina de faces paralelas
- Giz
- Transferidor
- Régua
- Canhão de Laser

**Metodologia:**

- a) Com o transferidor determine um ângulo de  $45^\circ$  (ângulo de incidência) em relação a reta normal (linha referencial), e trace uma reta indicado a abertura;
- b) Posicione a lâmina de faces paralelas no quadro negro de metal, orientando-se pela linha referencial, utilizando-a como reta normal;
- c) Posicione o canhão de luz, com apenas um raio ativo, sobre a reta traçada em sentido à lâmina de faces paralelas,
- d) Com um pincel ou canetinha, trace uma reta sobre a lâmina de faces paralelas indicando a trajetória do raio refratado;
- e) Meça o ângulo de refração utilizando o transferidor;
- f) Depois de observar o desvio da luz, coloque o laser sobre a reta normal ( $0^\circ$ ).

**Resultados e discussão:**

Ao comparar o ângulo de incidência com o ângulo de refração o que foi observado?

---

---

---

O que o raio incidente, o raio refratado e a reta normal, traçados no quadro branco de metal tem em comum?

---



---



---

O que ocorreu ao colocar o feixe de luz sobre a reta normal?

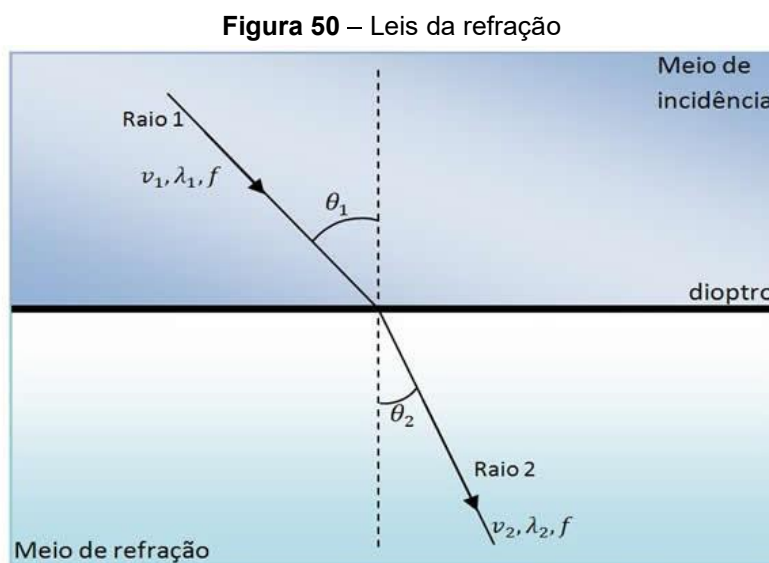
---



---



---



Fonte: Disponível em:

<[https://www.sofisica.com.br/conteudos/Otica/Refracaodaluz/leis\\_de\\_refracao.php](https://www.sofisica.com.br/conteudos/Otica/Refracaodaluz/leis_de_refracao.php)>. Acesso em 16 jan. 2020.

O fenômeno da refração, assim como o fenômeno da reflexão, apresenta comportamentos que podem ser descritos em apenas duas leis. Onde a 1ª Lei da Refração é semelhante a 1ª Lei da Reflexão.

**1ª Lei da Refração:** O raio incidente, o raio refratado e a reta normal estão no mesmo plano. Portanto, são coplanares.

**2ª Lei da Refração:** (Lei de Snell – Descartes)

$$n_1 \cdot \text{sen}\theta_1 = n_2 \cdot \text{sen}\theta_2$$

Onde  $n_1$  e  $n_2$  são os índices de refração absolutos do meio em que a luz está se propagando.

### B.14.1.1 ÍNDICE DE REFRAÇÃO

O índice de refração absoluto é definido pela razão entre a velocidade da luz ( $c$ ) e a velocidade de propagação da luz no meio ( $v$ ) em questão.

$$n = \frac{c}{v}$$

Quanto maior o índice de refração, maior será a dificuldade que a luz terá para se propagar neste meio, fazendo com que a velocidade da luz diminua.

Qual o índice de refração do vácuo?

---



---

Existe algum meio que possua índice de refração menor que 1?

---



---



---

**Figura 51** – Tabela de índices de refração

| Índice de refração de algumas substâncias |                             |                     |                             |
|---|-----------------------------|---------------------|-----------------------------|
| Substância                                | Índice de refração absoluto | Substância          | Índice de refração absoluto |
| Vácuo                                     | 1,00                        | Parafina            | 1,43                        |
| Ar  | 1,000292                    | Glicerina           | 1,47                        |
| Gelo                                      | 1,31                        | Vidro <i>crow</i> n | 1,52                        |
| Água pura                                 | 1,33 (a 20 °C)              | Sal de cozinha      | 1,54                        |
| Álcool etílico                            | 1,36 (a 20 °C)              | Diamante            | 2,42                        |

Fonte: Física Aula por aula, vol.2, Editora: FTP, 2016.

Os índices de refração fazem referência a um raio de luz idealizado, composto por uma única frequência (luz monocromática). Veremos, em breve, ao estudarmos os prismas que os índices de refração absoluto de um meio varia com a sua frequência.

Conhecendo a 2ª Lei da Refração calcule o índice de refração da lâmina de faces paralelas do experimento 15.

---

---

---

Agora calcule a velocidade de propagação da luz na lâmina de faces paralelas.

---

---

---

Podemos calcular o índice de refração relativo entre dois meios.

$$n_{1,2} = \frac{n_1}{n_2}$$

Portanto, o índice de refração relativo pode ser correspondente as velocidades de propagação nestes meios:

$$n_{1,2} = \frac{v_2}{v_1}$$

### B.14.1.2 ANÁLISE DA LEI DE SNELL – DESCARTES

Figura 52 – Situações de análise da lei de Snell – Descartes



Fonte: Física Aula por Aula, vol.2, Editora: FTP, 2016.

Três situações são possíveis:

- Quando o raio incidente refrata de um meio menos refringente para um meio mais refringente.
- Quando o raio incidente refrata de um meio mais refringente para um meio menos refringente
- Quando o raio de luz não sofre desvios

Olhando para o experimento 15, em qual momento temos o raio incidente refratando a partir de um meio menos refringente para um meio mais refringente?

---

---

---

Olhando para o experimento 15, em qual momento temos o raio incidente refratando a partir de um meio mais refringente para um meio menos refringente? (pense nos princípios da óptica geométrica)

---

---

---

Olhando para o experimento 15, em qual momento o raio de luz não sofre desvios?

---

---

---

## B.14.2 EXPERIMENTO 16: DIOPTRO PLANO

**Objetivo:** Demonstrar conceitos sobre dioptros planos

**Materiais a serem utilizados:**

- Aquário de vidro
- Pincel atômico
- Régua
- Água
- Fita adesiva

**Metodologia:**

Marque com o pincel atômico, as faces do aquário com os números 1, 2, 3, e 4 no sentido horário;

- a) Não há necessidade de marcar a face do fundo do aquário;
- b) Na face interna número 3 faça a marcação de um ponto, com o pincel atômico;
- c) Olhando pela face 1, faça uma reta sobre a face externa 1 que esteja paralela ao fundo do aquário, na altura do ponto marcado na face 3;



- d) Posicione-se frente a face 1 e encha o aquário com água, sem se movimentar da sua posição de observador.

**Resultados e discussão:**

O que ocorreu ao encher o aquário com água? Porque isto ocorreu?

---



---



---

O que são os dioptros planos?

---



---



---

A lâmina de faces paralelas e o ar também são considerados dioptros planos?

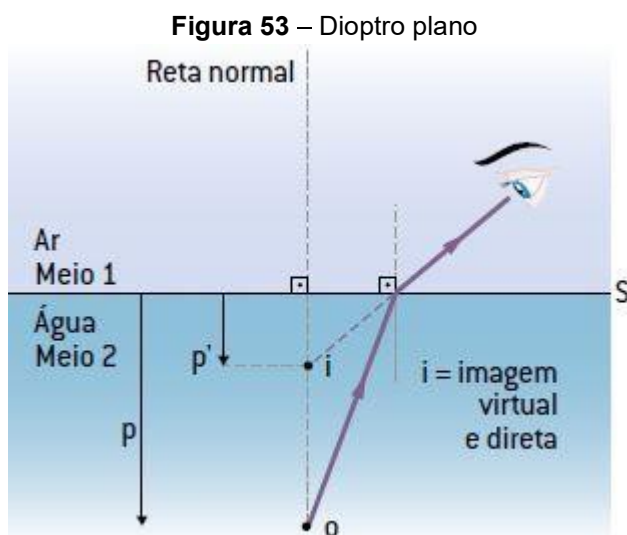
---



---



---



Fonte: Disponível em: <<https://www.coladaweb.com/fisica/optica/dioptro-plano-2>>. Acesso em 16 jan. 2020.

Em dioptros planos a relação entre a profundidade do objeto, profundidade da imagem e os índices de refração dos meios é:

$$\frac{n_{\text{observador}}}{n_{\text{objeto}}} = \frac{p'}{p}$$

### B.14.3 EXPERIMENTO 17: LÂMINA DE FACES PARALELAS

**Objetivo:** Demonstrar conceitos sobre lâminas de faces paralelas

**Materiais a serem utilizados:**

- Quadro negro de metal
- Lâmina de faces paralelas
- Pincel atômico
- Giz
- Transferidor
- Régua
- Canhão Laser

**Metodologia:**

- a) Posicione a lâmina de faces paralelas no quadro de metal, utilizando a linha referencial como reta normal;
- b) Com o transferidor determine um ângulo de  $30^\circ$  (ângulo de incidência) em relação a reta normal, e trace uma reta indicando a abertura;
- c) Posicione o canhão de luz, com apenas um laser ativo, sobre a reta traçada em sentido a lâmina de faces paralelas;
- d) Com o pincel trace uma reta sobre a lâmina de faces paralelas indicando a trajetória do raio refratado;
- e) Demarque o raio de luz que sai pelo outro lado da lâmina de faces paralelas com um giz, e defina uma reta normal a este raio.

**Resultados e discussão:**

Quantos meios de propagam podem ser identificados no experimento?

---

---

---

Quantas refrações ocorrem? Identifique-as.

---

---

---

Houve algum desvio entre o raio de luz que chega até a lâmina e o raio de luz que sai da lâmina?

---



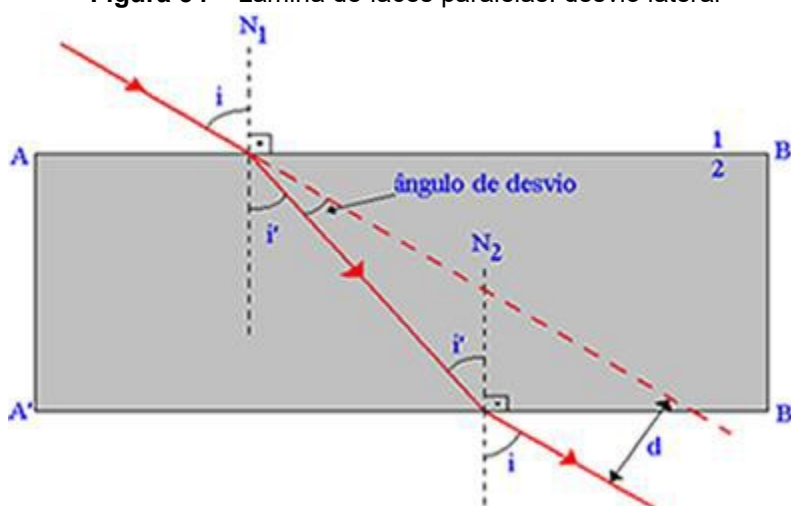
---



---

### B.14.3.1 DESVIO LATERAL

Figura 54 – Lâmina de faces paralelas: desvio lateral



Fonte: Disponível em: <<https://brasilecola.uol.com.br/fisica/lamina-faces-paralelas.htm>>. Acesso em 16 jan. 2020.

$$d = e \cdot \frac{\text{sen}(i - r)}{\text{cos } r}$$

Onde,

d = desvio lateral

e = espessura da lâmina de faces paralelas

i = ângulo de incidência

r = ângulo de refração

Calcule o desvio lateral do experimento 17.

---



---



---

## B.14.4 EXPERIMENTO 18: ÂNGULO LIMITE E REFLEXÃO TOTAL

**Objetivo:** Demonstrar conceitos sobre ângulo limite e reflexão total

**Materiais a serem utilizados:**

- Quadro negro de metal
- Lâmina com uma face circular
- Pincel atômico
- Giz
- Transferidor
- Régua
- Laser

**Metodologia:**

- a) Posicione a lâmina no quadro negro de metal de forma que a face reta esteja posicionada sobre a linha referencial, formando um ângulo de  $90^\circ$ , definindo sua reta normal;
- b) Ligue o laser e incida o canhão de lasers, com apenas um raio ligado, sobre a reta normal;
- c) Lentamente em um movimento no sentido anti-horário, gire o raio de luz até que o raio refratado forme um ângulo de  $90^\circ$  com a reta normal;
- d) Faça a medida do ângulo de incidência (ângulo limite “L”);
- e) Após este momento, ultrapasse a abertura do ângulo limite.

**Resultados e discussão:**

O que ocorre após ultrapassar a abertura do ângulo limite?

---

---

---

Como calcular o seno do ângulo limite, aplicando a lei de Snell – Descartes?

---

---

---

Em qual das situações possíveis, analisadas anteriormente na lei de Snell - Descartes, se enquadra a reflexão total?

---



---



---

Você conhece uma fibra óptica? Sabe como ela funciona?

---



---



---

Miragens são fenômenos reais que ocorrem em locais muito quentes como nos asfaltos das estradas e em desertos. Como você pode explicar tais fenômenos?

---



---



---

Imagine-se observando o céu em uma noite estrelada. Sabendo-se que as estrelas são fontes de luz primárias, que seus raios de luz são independentes, considere que até atingir nossa atmosfera estes raios se propagam no vácuo. Ao entrar em nossa atmosfera que é um meio não homogêneo, pois ela se torna mais rarefeita quanto maior sua altura, podemos dizer que observamos as estrelas em suas posições reais?

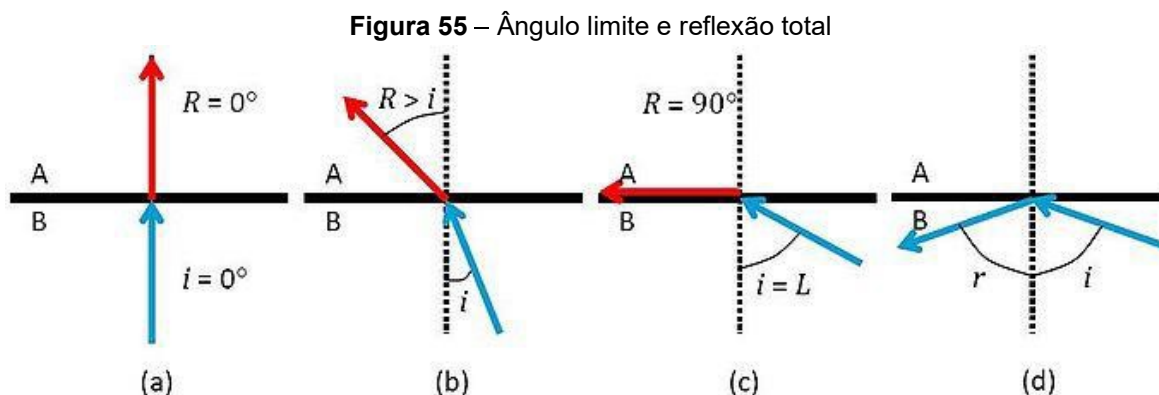
---



---



---



Fonte: Disponível em:

<[https://wikiciencias.casadasciencias.org/wiki/index.php/Reflex%C3%A3o\\_total\\_da\\_luz](https://wikiciencias.casadasciencias.org/wiki/index.php/Reflex%C3%A3o_total_da_luz)>. Acesso em 16 jan. 2020.

## B.14.5 EXPERIMENTO 19: PRISMAS ÓPTICOS

**Objetivo:** Demonstrar conceitos sobre desvio angular e ângulo de refração

**Materiais a serem utilizados:**

- Quadro negro de metal
- Prisma
- Pincel atômico
- Transferidor
- Canhão de lasers

**Metodologia:**

- a) Posicione o prisma no quadro negro de metal de forma que uma de suas faces esteja na posição de  $90^\circ$  com a linha referencial;
- b) Trace com a régua retas normais as outras superfícies laterais;
- c) Marque o ângulo de abertura e meça-o com o transferidor;
- d) Ligue o laser e posicione-o com uma abertura de  $30^\circ$  com relação a reta normal da face de incidência (face 1);
- e) Com o pincel atômico demarque a trajetória do raio luminoso;
- f) Faça o prolongamento do raio incidente na face 1, o prolongamento do raio refratado pela face 2 e marque o ponto de interseção entre eles;
- g) Identifique o ângulo de desvio e meça-o.

**Resultados e discussão:**

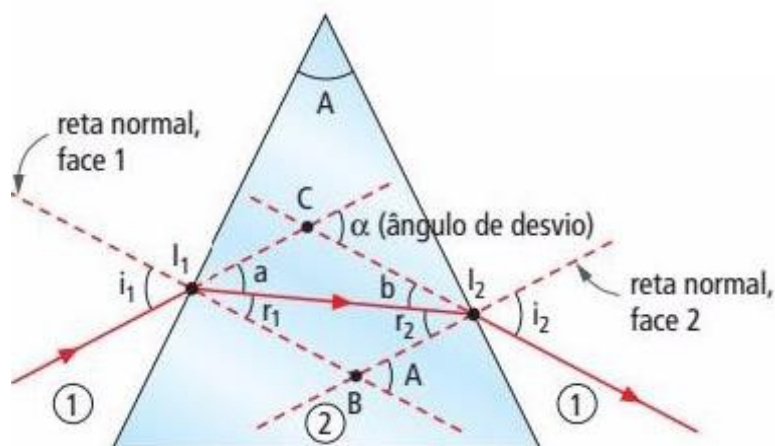
Geometricamente pode ser feita uma relação entre o ângulo de incidência na face 1, o ângulo de refração na face 2 e o ângulo de abertura do prisma para se definir o desvio angular?

---

---

---

**Figura 56** – Prismas ópticos



Fonte: Física Aula por Aula, vol. 2, Editora: FTP, 2016.

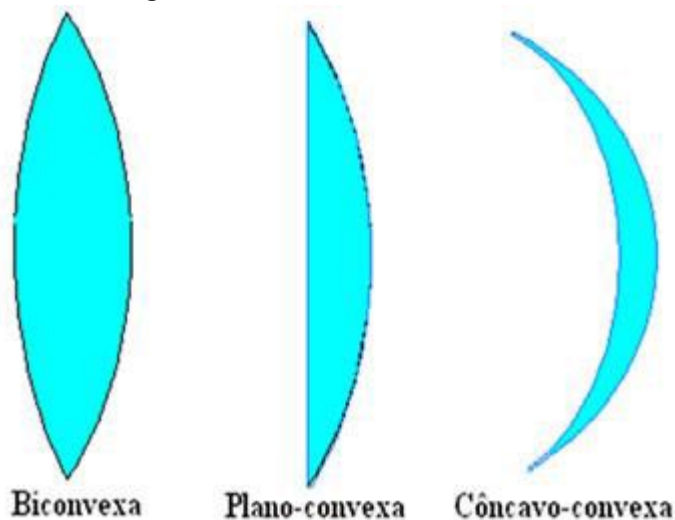
## B.15 LENTES ESFÉRICAS

As lentes esféricas são sistemas ópticos formados por duas superfícies esféricas ou por uma plana e outra esférica, que favorecem a refração dos raios luminosos por serem constituídas de meios transparentes e homogêneos.

### B.15.1 TIPOS DE LENTES

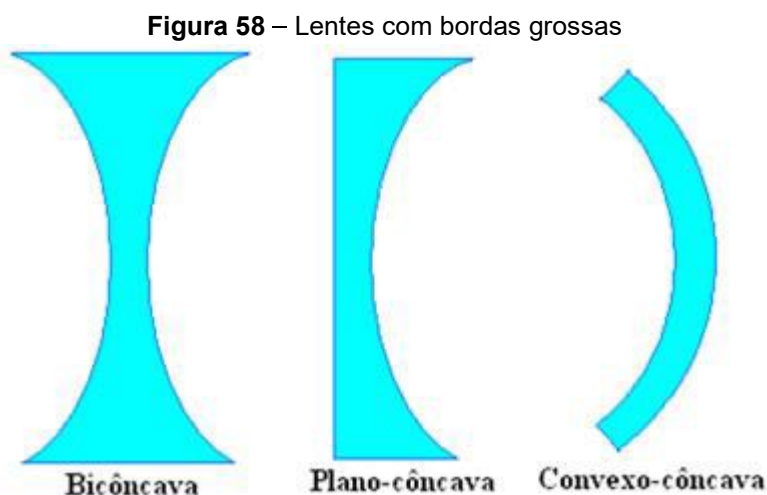
**Lentes com bordas finas:**

**Figura 57** – Lentes com bordas finas



Fonte: Disponível em: < <https://brasilecola.uol.com.br/fisica/lentes-esfericas.htm> >. Acesso em 16 jan. 2020.

### Lentes com bordas grossas:



Fonte: Disponível em: < <https://brasilecola.uol.com.br/fisica/lentes-esfericas.htm>>. Acesso em 16 jan. 2020.

## B.15.2 EXPERIMENTO 20: LENTE DE BORDAS FINAS

**Objetivo:** Demonstrar conceitos sobre o comportamento dos raios de luz em lentes de bordas finas

### Materiais a serem utilizados:

- Canhão de lasers
- Lente de bordas finas
- Quadro negro de metal
- Régua
- Giz

### Metodologia:

- a) posicione o vértice da lente sobre o eixo óptico (linha referencial);
- b) posicione o canhão de lasers, a esquerda da lente, a uma distância de 40 cm;
- c) marque com o pincel atômico o ponto de convergência dos raios luminosos;
- d) mude o canhão de lasers para o lado direito da lente, a uma distância de 40 cm e ligue-o;
- e) marque com o pincel atômico o ponto de convergência dos raios luminosos.



## Resultados e discussão

O que pode ser observado no experimento?

---

---

---

Como podemos chamar o ponto de convergência dos raios luminosos?

---

---

---

Observe que a lente está imersa no ar e o ar possui índice de refração menor que o da lente. Caso ela estivesse imersa em um meio com índice de refração maior que o da lente o que ocorreria?

---

---

---

### B.15.3 EXPERIMENTO 21: LENTE DE BORDAS GROSSAS

**Objetivo:** Demonstrar conceitos sobre o comportamento dos raios de luz em lentes de bordas grossas

**Materiais a serem utilizados:**

- Canhão de lasers
- Lente de bordas grossas
- Quadro negro de metal
- Régua
- Giz

**Metodologia:**

- a) posicione o vértice da lente sobre o eixo óptico;
- b) posicione o canhão de lasers, a esquerda da lente, a uma distância de 30 cm;
- c) Com um giz trace a trajetória dos raios luminosos no quadro de metal;
- d) marque com o giz o ponto de convergência dos raios luminosos;
- e) mude o canhão de lasers para o lado direito da lente, a uma distância de 30 cm, ligue-o e repita o procedimento de traçar a trajetória dos raios luminosos;

f) marque com o giz o ponto de convergência dos raios luminosos.

### Resultados e discussão

O que pode ser observado no experimento?

---



---



---

Como podemos chamar o ponto de convergência dos raios luminosos?

---



---



---

Observe que a lente está imersa no ar e o ar possui índice de refração menor que o da lente. Caso ela estivesse imersa em um meio com índice de refração maior que o da lente o que ocorreria?

---

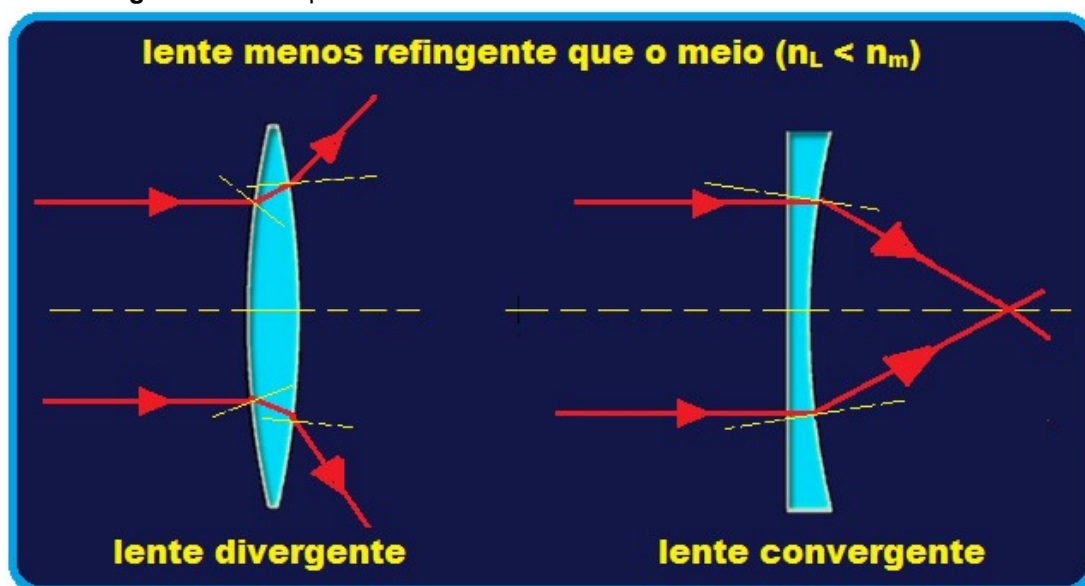


---



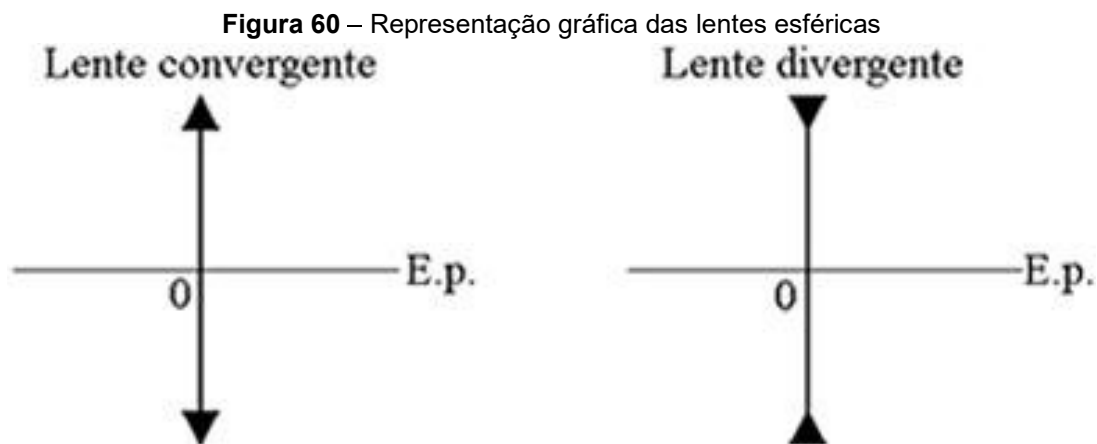
---

Figura 59 – Comportamentos dos raios de luz ao incidir em lentes esféricas



Fonte: Disponível em: < [http://fisicaevestibular.com.br/novo/wp-content/uploads/migracao/optica/lentesconstrucao/o\\_360bb88e03c051f9.html](http://fisicaevestibular.com.br/novo/wp-content/uploads/migracao/optica/lentesconstrucao/o_360bb88e03c051f9.html)>. Acesso em 16 jan. 2020.

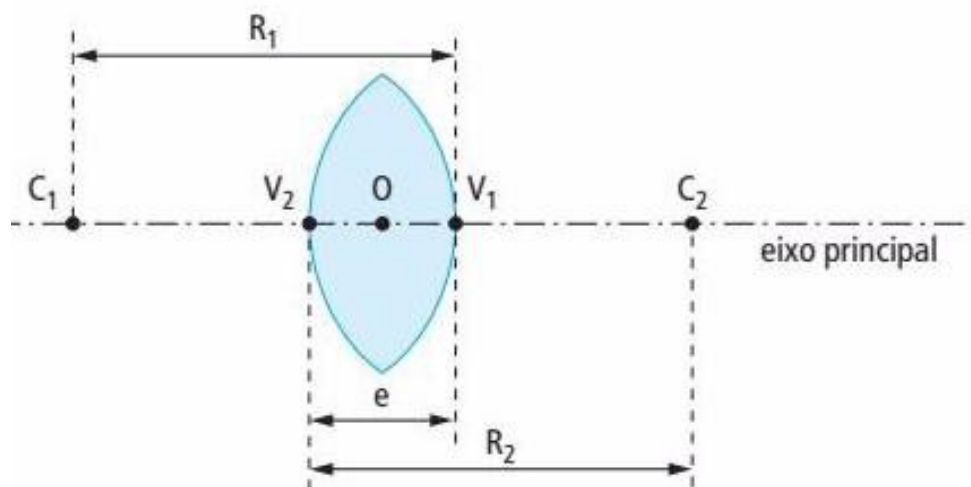
## B.15.4 REPRESENTAÇÃO GRÁFICA DAS LENTES ESFÉRICAS



Fonte: Disponível em: <<https://alunosonline.uol.com.br/fisica/comportamento-optico.html>>. Acesso em 16 jan. 2020.

## B.15.5 ELEMENTOS DE UMA LENTE ESFÉRICA

Figura 61 – Elementos de uma lente esférica



Fonte: Física Aula por Aula, vol. 2, Editora: FTP, 2016.

**Centros de curvatura (C1 e C2):** Ponto que determina o centro da superfície esférica da lente.

**Raios de curvatura (R1 e R2):** Distância entre o centro de curvatura e a borda da superfície esférica.

**Vértices (V1 e V2):** Ponto mais externo da superfície esférica (polo).

**Espessura (e):** Distância entre os vértices

**Eixo principal:** Reta que passa pelos vértices e pelos centros de curvatura da lente.

**Centro óptico (O):** ponto médio entre os vértices.

**Focos:** Ponto de interseção dos raios luminosos ou de seus prolongamentos.

**Distância focal:** Distância entre o centro óptico da lente e o foco.

$$f = \frac{R}{2}$$

## B.15.6 EXPERIMENTO 22: RAIOS NOTÁVEIS EM LENTES ESFÉRICAS

**Objetivo:** Demonstrar as propriedades dos raios incidentes em lentes esféricas

**Materiais a serem utilizados:**

- Lente de bordas finas
- Lente de bordas grossas
- Canhão de lasers
- Giz
- Régua
- Quadro negro de metal
- Transferidor

**Metodologia:**

- a) Posicione a lente de bordas finas sobre o eixo principal (linha referencial);
- b) Incida um raio paralelo ao eixo principal em direção a lente de bordas finas e marque o ponto onde está o foco do espelho;
- c) Incida um raio na lente de bordas finas que passe pelo foco;
- d) Marque o ponto onde está o centro de curvatura e incida um raio na lente de bordas finas que passe pelo centro de curvatura, mas que não passe pelo foco;
- e) Incida um raio no vértice da lente de bordas finas de forma que este raio esteja inclinado com relação ao eixo principal;
- f) Posicione a lente de bordas grossas sobre o eixo principal;

- g) Incida um raio paralelo ao eixo principal na lente de bordas grossas e marque o ponto onde está o foco;
- h) Incida um raio na lente de bordas grossas que passe pelo foco e esteja inclinado com relação ao eixo principal;
- i) Marque o ponto onde está o centro de curvatura e incida um raio na lente de bordas grossas que tenha direção do centro de curvatura, mas que não esteja direcionado ao foco;
- j) Incida um raio no vértice da lente de bordas grossas de forma que este raio esteja inclinado com relação ao eixo principal;

**Resultados e discussão:**

O que ocorreu com o raio que foi incidido de forma paralela na lente de bordas finas, e com a lente de bordas grossas?

---

---

---

O que ocorreu com o raio que passou pelo foco e incidiu na lente de bordas finas, e o que ocorreu com o raio que foi direcionado ao foco que atingiu a lente de bordas grossas?

---

---

---

O que ocorreu com o raio que passou pelo centro de curvatura e incidiu na lente de bordas finas, e o que ocorreu com o raio que foi direcionado ao centro de curvatura que atingiu a lente de bordas grossas?

---

---

---

O que ocorreu com os raios que atingiram o vértice das lentes de bordas finas e de bordas grossas?

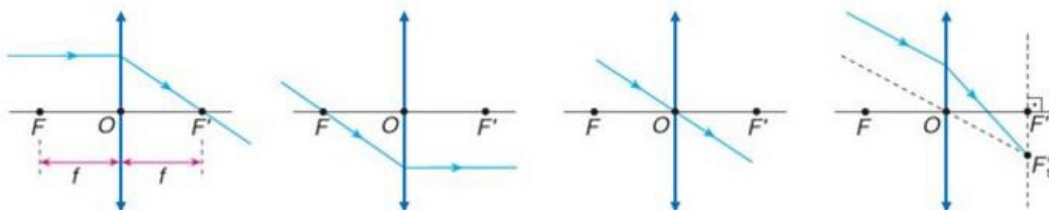
---

---

---

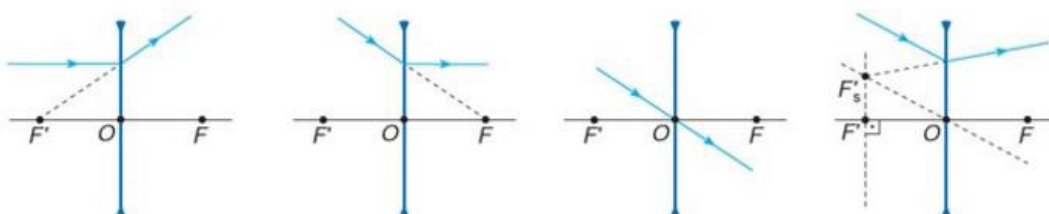
**Figura 62** – Raios notáveis em lentes esféricas

• Lente delgada convergente



$F$ : foco principal objeto;  $F'$ : foco principal imagem;  $O$ : centro óptico;  $f$ : distância focal

• Lente delgada divergente



Fonte: Disponível em: < <http://gt-mre.ufsc.br/moodle/course/view.php?id=24&section=1> >. Acesso em 16 jan. 2020.

## B.15.7 EXPERIMENTO 23: CONSTRUÇÃO DE IMAGENS POR LENTES ESFÉRICAS

**Objetivo:** Demonstrar conceitos sobre a formação de imagens por lentes esféricas

**Materiais a serem utilizados:**

- Quadro negro de metal
- Régua
- Lupa
- Anteparo de folha A4
- Objeto seta
- Lanterna de luz branca
- Giz
- Canhão de lasers

**Metodologia:**

- a) Posicione a lupa centralizando-a;
- b) Sabendo a distância focal marque os centros de curvatura;

- c) Posicione o objeto seta a uma distância superior ao raio de curvatura, do lado esquerdo da lente, fazendo com que a extremidade inferior do objeto seta esteja posicionada sobre o eixo principal;
- d) Posicione a lanterna de luz branca a esquerda do objeto seta, a uma distância de 10 cm e ligue-a;
- e) Posicione o anteparo de folha A4 a direita da lente, centralizado no eixo principal e movimente-o para esquerda e para direita até conseguir obter nitidez da imagem do objeto seta;
- f) Movimente o objeto seta para o centro de curvatura;
- g) Movimente o anteparo até obter a nitidez da imagem;
- h) Movimente o objeto seta de forma que ele fique entre o centro de curvatura e o foco;
- i) Movimente o anteparo até obter a nitidez da imagem;
- j) Movimente o objeto seta de forma que ele fique posicionado sobre o foco
- k) Movimente o anteparo e tente localizar a imagem;
- l) Movimente o objeto seta de forma que ele fique posicionado entre o foco e o vértice da lente;
- m) Movimente o anteparo e tente localizar a imagem;

### **Resultados e discussão**

Com os conhecimentos sobre caracterização de imagens que você adquiriu ao estudar os espelhos esféricos, caracterize a imagem gerada no anteparo, quando o objeto está posicionado antes do centro de curvatura, sobre o centro de curvatura, entre o centro de curvatura e o foco.

---

---

---

Explique o motivo da não formação da imagem quando o objeto está posicionado sobre o foco.

---

---

---

Mesmo não obtendo a imagem quando o objeto seta foi posicionado entre o foco e o vértice esta imagem foi gerada. Porque não conseguimos projetá-la?

---



---



---

A lupa possui uma lente de bordas finas como observado na convergência dos raios luminosos. Caso utilizássemos uma lente de bordas grossas no experimento como poderíamos caracterizar a formação de imagem?

---



---



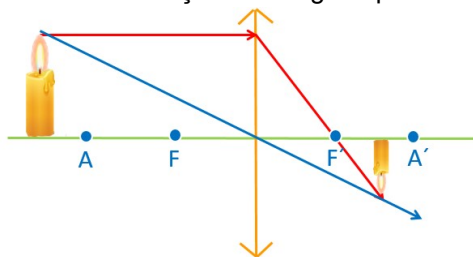
---

## B.15.8 CONSTRUÇÃO GEOMÉTRICA DE IMAGENS POR LENTES ESFÉRICAS

### Lentes convergentes

**1º Caso:** objeto posicionado depois do centro de curvatura

**Figura 63** – 1º Caso de construção de imagens por lentes convergentes

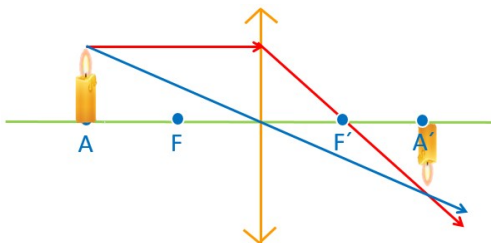


Fonte: Disponível em: < <http://blog.professorbrunofernandes.com.br/resumo-de-fisica-lentes-esfericas/>>. Acesso em 16 jan. 2020.



**2º Caso:** objeto posicionado sobre o centro de curvatura

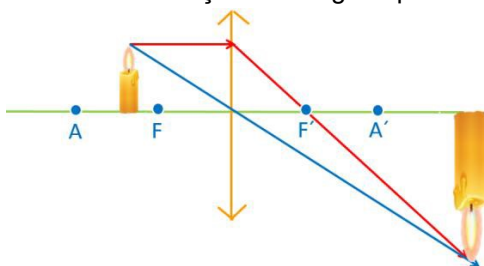
**Figura 64** – 2º Caso de construção de imagens por lentes convergentes



Fonte: Disponível em: <<http://blog.professorbrunofernandes.com.br/resumo-de-fisica-lentes-esfericas/>>. Acesso em 16 jan. 2020.

**3º Caso:** objeto posicionado entre o centro de curvatura e o foco

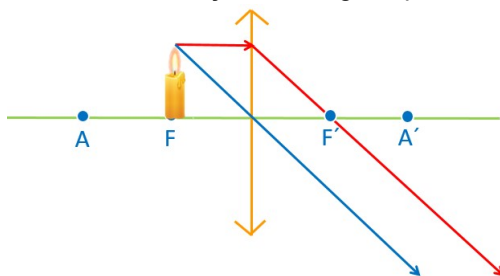
**Figura 65** – 3º Caso de construção de imagens por lentes convergentes



Fonte: Disponível em: <<http://blog.professorbrunofernandes.com.br/resumo-de-fisica-lentes-esfericas/>>. Acesso em 16 jan. 2020.

**4º Caso:** objeto posicionado sobre o foco

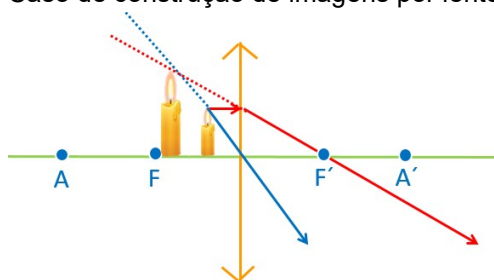
**Figura 66** – 4º Caso de construção de imagens por lentes convergentes



Fonte: Disponível em: <<http://blog.professorbrunofernandes.com.br/resumo-de-fisica-lentes-esfericas/>>. Acesso em 16 jan. 2020.

### 5º Caso: objeto posicionado entre o foco e o vértice do espelho

Figura 67 – 5º Caso de construção de imagens por lentes convergentes

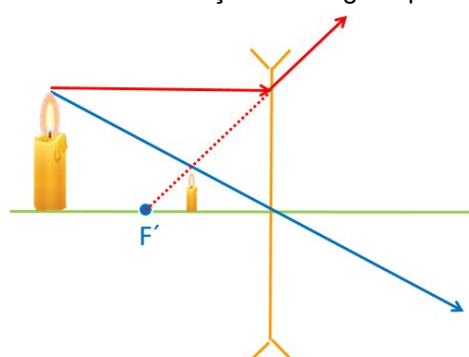


Fonte: Disponível em: <<http://blog.professorbrunofernandes.com.br/resumo-de-fisica-lentes-esfericas/>>. Acesso em 16 jan. 2020.

### Lentes divergentes

#### Caso único

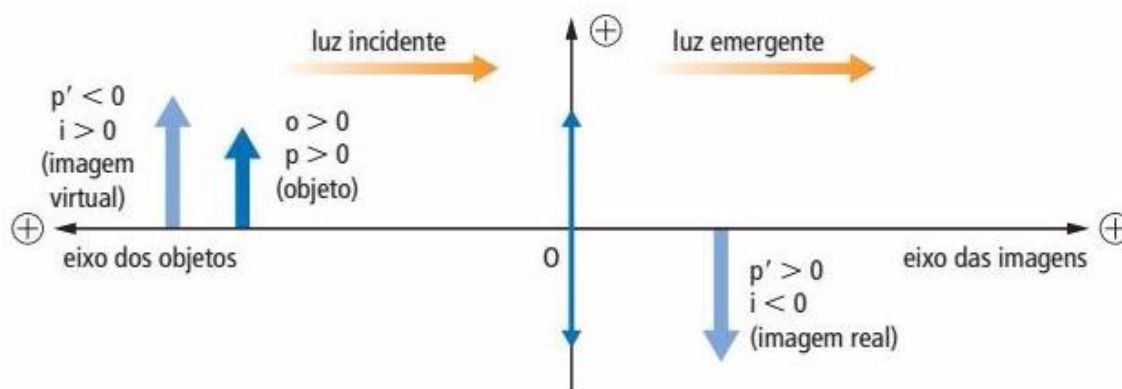
Figura 68 – Caso único de construção de imagens por lentes divergentes



Fonte: Disponível em: <<http://blog.professorbrunofernandes.com.br/resumo-de-fisica-lentes-esfericas/>>. Acesso em 16 jan. 2020.

## B.15.9 REFERENCIAL DE GAUSS PARA LENTES ESFÉRICAS

Figura 69 – Referencial de Gauss para lentes esféricas



Fonte: Física Aula por Aula, vol. 2, Editora: FTP, 2016.



Utilizando os dados do experimento 23 para quando o objeto seta está posicionado sobre o foco, calcule o aumento linear transversal e compare com o valor que você anotou no momento do experimento.

---



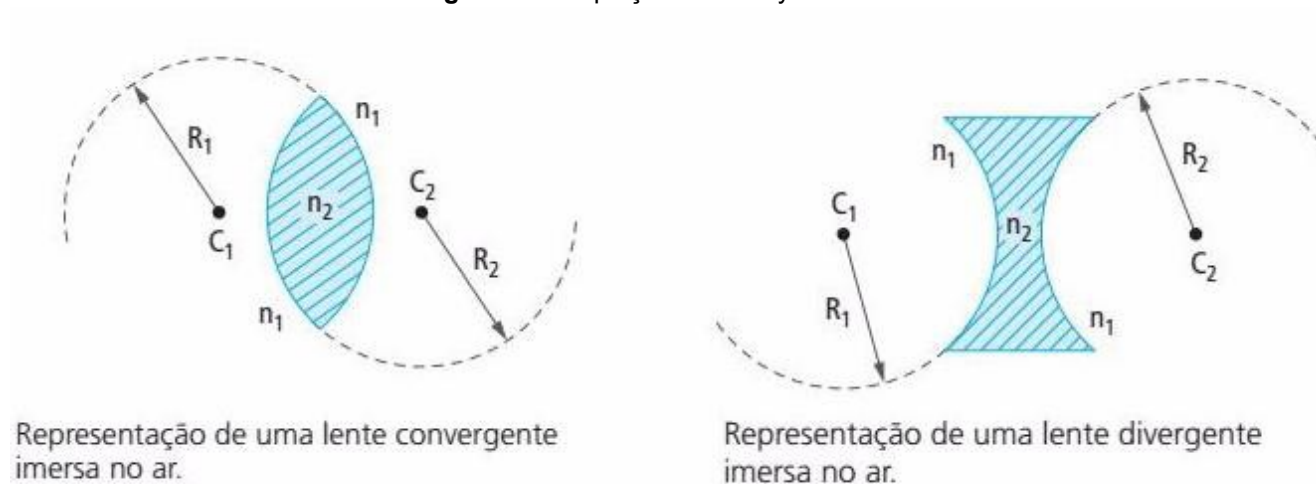
---



---

### B.15.12 EQUAÇÃO DE HALLEY

Figura 71 – Equação de Halley



Fonte: Física Aula por Aula, vol. 2, Editora: FTP, 2016.

Edmond Halley (1656-1742) observou que para determinar a distância focal de uma lente, duas características eram fundamentais:

- A relação entre o índice de refração da lente e do meio em que ela está imersa;
- Os raios de curvatura das superfícies esféricas que formam a lente.

$$\frac{1}{f} = \left(\frac{n_2}{n_1} - 1\right) \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}\right)$$

Onde,

$n_1$ : Índice de refração do meio

$n_2$ : Índice de refração da lente

$R_1$  e  $R_2$ : São os raios das superfícies esféricas

Convenção para os raios das superfícies esféricas das lentes:

- Face convexa –  $R > 0$
- Face côncava –  $R < 0$

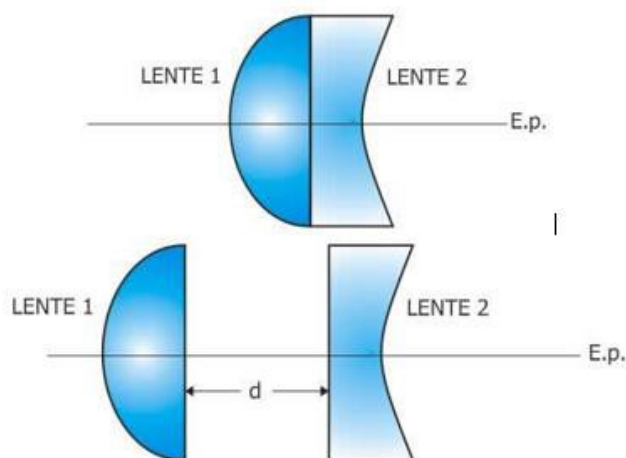
O termo  $1/f$  é chamado de vergência ( $V$ ), portanto:

$$V = \frac{1}{f}$$

No Sistema Internacional de medidas a unidade de vergência é a dioptria (di).

### B.15.13 ASSOCIAÇÃO DE LENTES

Figura 72 – Associação de lentes



Fonte: Disponível em:

<<https://www.sofisica.com.br/conteudos/Otica/Lentesesfericas/associacaodelentes.php>>. Acesso em 16 jan. 2020.

Em associações de lentes, quando as lentes estiverem juntas (lentes justapostas), devemos somar as vergências para obtermos a vergência equivalente.

Quando estas estiverem separadas usamos a generalização do teorema das vergências:

$$V_{eq.} = V_1 + V_2 - V_1 \cdot V_2 \cdot d$$

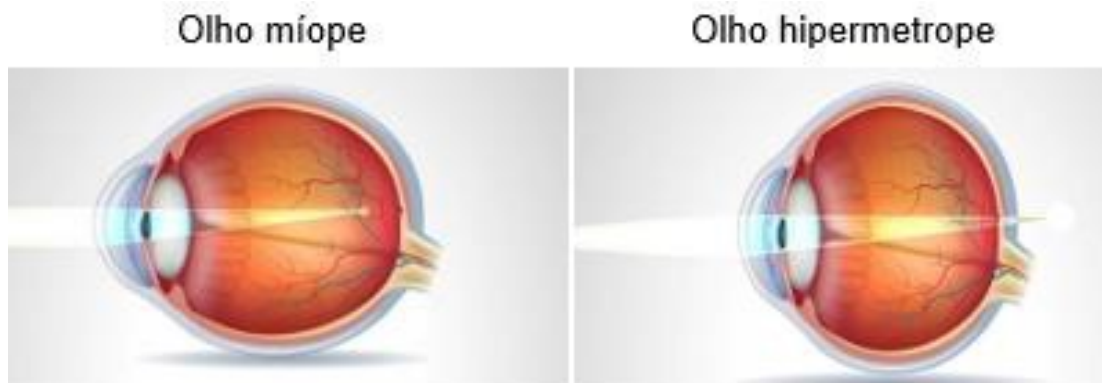
## B.15.14 AVALIAÇÃO SOMATIVA 02

A miopia e a hipermetropia são problemas visuais caracterizados por deformações no globo ocular. O olho míope é mais longo que o olho normal enquanto o olho hipermetrope é mais curto, conforme pode ser visto nas imagens abaixo.

A hipermetropia causa dificuldade de enxergar objetos que estão próximos, e a miopia causa dificuldade de enxergar objetos que estão longe, mas há como corrigir estas situações com o uso de lentes que já estudamos.

Observe que no olho hipermetrope a imagem se forma depois da retina e no olho míope a imagem se forma antes da retina. Sendo que em um olho humano normal a imagem deve estar posicionada sobre a retina, utilize os conhecimentos que vocês possuem para identificar qual tipo de lente é adequado para corrigir cada problema e descreva como chegaram a esta conclusão.

**Figura 73** – Olhos com problemas visuais



Fonte: Disponível em: <<https://drauziovarella.uol.com.br/doencas-e-sintomas/miopia-hipermetropia-e-astigmatismo/>>. Acesso em 16 jan. 2020.

---

---

---

---

---

---

---

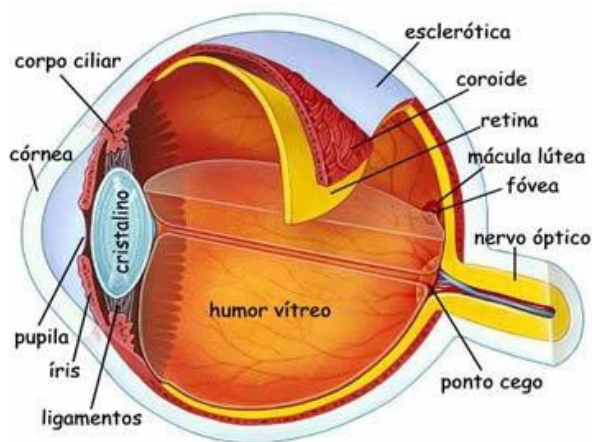
---

## B.16 PROBLEMAS VISUAIS

Os problemas visuais são muito comuns. Tanto os que são herdados geneticamente quando aos que são caracterizados por deformações oculares. Conforme há o aumento da idade o corpo humano perde líquidos e ao perder os líquidos presentes no olhando também há o aparecimento de problemas visuais.

### B.16.1 O OLHO HUMANO NORMAL

Figura 74 – Olho humano normal



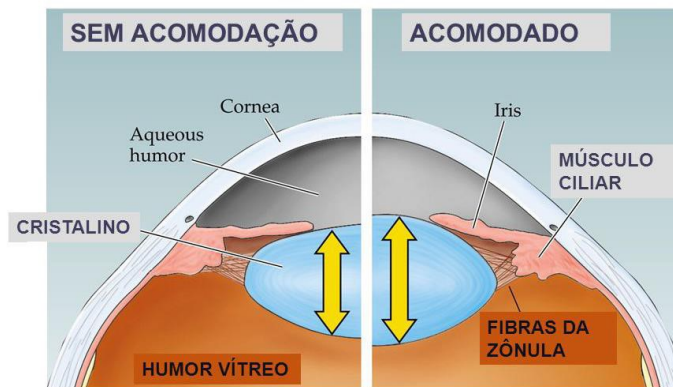
Fonte: Disponível em: <<https://brasilecola.uol.com.br/fisica/defeitos-na-visao-humana.htm>>.

Acesso em 16 jan. 2020.

O olho humano funciona como uma câmara escura, ou uma máquina fotográfica. Uma explicação simplificada para seu funcionamento é que a luz entra pelo orifício que chamamos de pupila, atravessa toda a extensão do olho até atingir a retina, onde a imagem em forma de energia luminosa é transformada em energia elétrica, e conduzida pelo nervo óptico até o cérebro que faz a interpretação da informação.

## B.16.2 ACOMODAÇÃO VISUAL

Figura 75 – Acomodação Visual

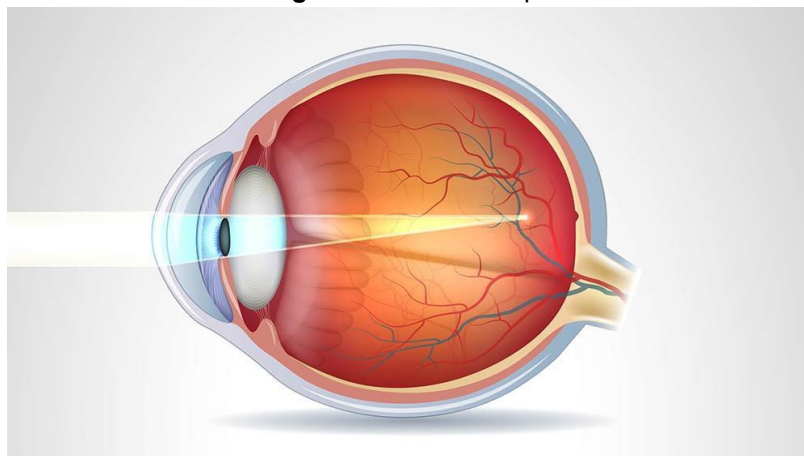


Fonte: Disponível em: <<http://optometriabrasilinfo.blogspot.com/2016/07/definicao-para-que-imagem-fique-nitida.html>>. Acesso em 16 jan. 2020.

A distância focal do olho pode ser alterada quando os músculos ciliares alteram a forma da lente do olho, provocando variações na sua convergência, permitindo que uma imagem mais nítida possa ser observada.

## B.16.3 MIOPIA

Figura 76 – Olho míope



Fonte: Disponível em: <<https://drauziovarella.uol.com.br/doencas-e-sintomas/miopia-hipermetropia-e-astigmatismo/>>. Acesso em 16 jan. 2020.



A miopia é acometida por uma deformação no bulbo do olho humano, onde este apresenta um alongamento no seu comprimento normal, fazendo com que a imagem seja formada antes da retina.

O míope possui dificuldade para enxergar objetos que estão distantes, pois o ponto remoto (PR) se forma a uma distância finita, diferente do olho normal.

Para um objeto posicionado a uma distância infinitamente grande ( $p$  tende ao infinito), temos que a imagem se forma no ponto remoto. Aplicando Gauss:

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{p} + \frac{1}{p'}$$

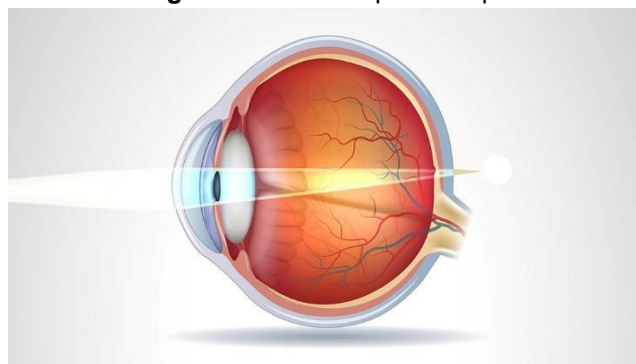
$$\frac{1}{f} = 0 + \frac{1}{-PR}$$

$$f = -PR \text{ (lente divergente)}$$

Como o foco da lente para correção da miopia é negativo, deve-se usar uma lente divergente.

#### B.16.4 HIPERMETROPIA

Figura 77 – Olho hipermetrope



Fonte: Disponível em: <<https://drauziovarella.uol.com.br/doencas-e-sintomas/miopia-hipermetropia-e-astigmatismo/>>. Acesso em 16 jan. 2020.

A hipermetropia é um problema causado por uma deformação no bulbo do olho humano quando este possui um encurtamento, fazendo com que a imagem seja formada depois da retina.

O hipermetrope possui dificuldade para enxergar objetos que estão próximos.

Para um olho normal a distância mínima para se obter nitidez de um objeto é de aproximadamente 25 cm, e para o hipermetrope esta distância maior (ponto próximo - PP). Aplicando Gauss:

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{p} + \frac{1}{p'}$$

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{0,25} + \frac{1}{-PP}$$

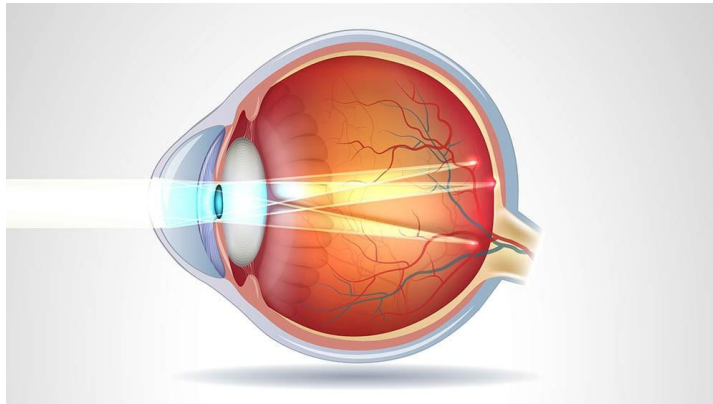
Como PP é maior que 0,25 metros temos que  $1/f > 0$ . Portanto a lente para correção da hipermetropia é uma lente positiva (convergente)

### **B.16.5 PRESBIOPIA**

A presbiopia também é conhecida como vista cansada e é caracterizada pela perda de nitidez ao ler textos que estão próximos. Este tipo de problema é gerado pelo enrijecimento dos músculos ciliares dificultando que a acomodação visual seja feita. A correção deste problema visual é feita por lentes convergentes.

### **B.16.6 ASTIGMATISMO**

**Figura 78** – Olho com astigmatismo

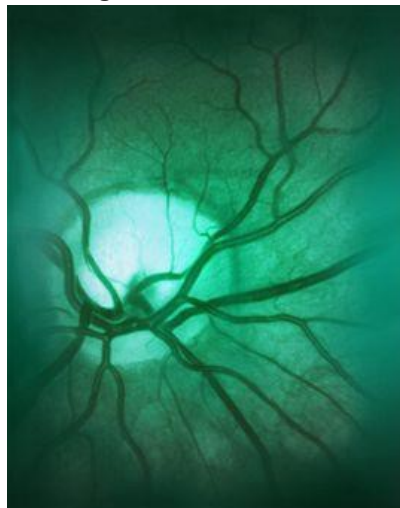


Fonte: Disponível em: <<https://drauziovarella.uol.com.br/doencas-e-sintomas/miopia-hipermetropia-e-astigmatismo/>>. Acesso em 16 jan. 2020.

Quando a córnea (proteção transparente) perde seu formato esférico faz com que a imagem chegue borrada ou sombreada na retina, fazendo com que não haja nitidez na imagem. A correção do astigmatismo pode ser feita por lentes cilíndricas.

### **B.16.7 GLAUCOMA**

**Figura 79 – Glaucoma**



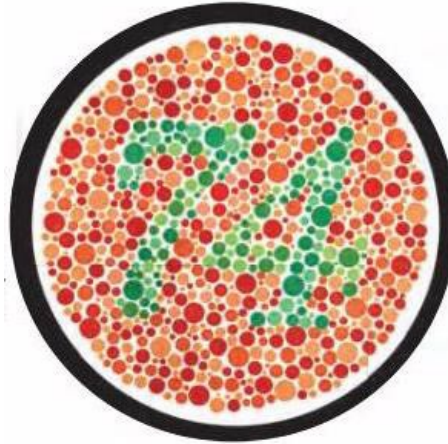
Fonte: Disponível em: <<http://www.portaldosolhos.com.br/category/glaucoma/>>. Acesso em 16 jan. 2020.

O glaucoma é gerado por lesões no nervo óptico devido a pressão intraocular. É um problema visual que evolui lentamente e pode levar a cegueira.

O glaucoma não tem cura, mas o seu tratamento pode ser realizado com o uso de colírios, e exercícios físicos.

## B.16.8 DALTONISMO

Figura 80 – Daltonismo



Nessa imagem, quem não tem daltonismo enxerga o número 74; aqueles que possuem, por sua vez, não conseguirão enxergar nenhum número ou verão o número 21.

Fonte: Física Aula por Aula, vol. 2, Editora FTP, 2016.

O daltonismo é conhecido como cegueira para as cores e atinge uma parcela maior da população masculina. É uma deficiência hereditária onde o daltônico não possui a capacidade para distinguir, principalmente, as cores verde e vermelho, devido a uma redução no número de cones receptores sensíveis a estas cores.

Existem lentes especiais para pessoas daltônicas.

## B.16.9 ESTRABISMO

Figura 81 - Olho com estrabismo



Fonte: Disponível em: <<https://portaldavisaocuritiba.com.br/estrabismo-convergente-como-tratar/>>. Acesso em 16 jan. 2020.

O estrabismo é o desalinhamento do eixo óptico dos olhos devido a imperfeições nos músculos ciliares. O estrabismo faz com que mais de uma imagem de um mesmo objeto seja conjugada na retina.

É denominado esotropia quando o desalinhamento ocorre para dentro, e exotropia quando o desalinhamento ocorre para fora.

A correção pode ser realizada por cirurgia ou uso de toxina botulínica.

## B.16.10 CATARATA

Figura 82 – Olho com catarata



Fonte: Disponível em: <<https://www.allaboutvision.com/pt-br/condicoes/complicacoes-da-cirurgia-de-atarata/>>. Acesso em 16 jan. 2020.

A catarata ocorre quando a lente do olho inibe a passagem dos raios luminosos, tornando-se opaca, produzindo uma visão embaçada. A catarata pode ser congênita, que atinge crianças por hereditariedade, devido a infecções como a rubéola durante a gestação, ou diabetes. Também pode ser adquirida por traumas, inflamações, exagero no uso de corticoides, ou até mesmo pela idade.

O único método eficiente para correção da catarata é a cirurgia de implante de lente intraocular, substituindo a lente do olho.

## REFERÊNCIAS

FILHO, B. B.; XAVIER, C. **Física aula por aula: termologia, óptica, ondulatória**, 2º ano – 3ª. ed. – São Paulo: FTD, 2016. – (Coleção física aula por aula)

LUZ, A. M. R.; ÁLVARES, B. A. **Física: volume 2** – São Paulo: Scipione, 2005.

SILVA, D. N. **Física: volume único** – São Paulo: Ática, 2000.

YOUNG, H. D.; FREEDMAN, R. A. **Sears e Zemansky física IV: ótica e física moderna**; tradução e revisão técnica Adir Moysés Luiz. – São Paulo: Addison Wesley, 2004.