

ÓPTICA GEOMÉTRICA

Capítulo 4 – Refração

- Relembrando a refração
- Refringência e índice de refração
- Leis da refração
- Ângulo-limite e reflexão total
- Diopetro plano
- Prismas
- Lâminas de faces paralelas
- Lentes esféricas
 - Nomenclatura;
 - Comportamento óptico;
 - Lentes gaussianas;
 - Raios notáveis para lentes esféricas;
 - Formação da imagem nas lentes convergentes;
 - Formação da imagem nas lentes divergentes;
 - Estudo analítico das lentes esféricas;
 - Equação do fabricante de lentes e associação de lentes.

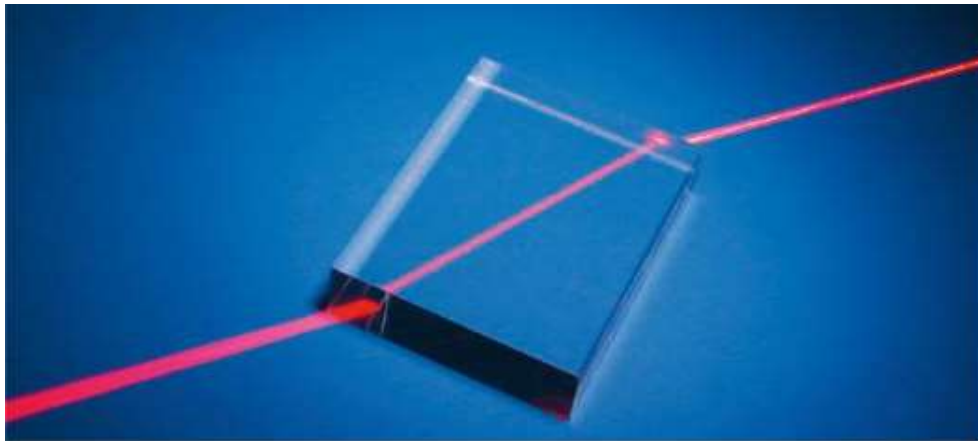
Capítulo 4 – Refração da luz

4.1 – Relembrando a refração

A refração ocorre quando é observada a alteração do meio em que a luz se propaga.

Considere uma fonte luminosa que emite luz sobre a superfície de separação entre dois meios transparentes e homogêneos.

Nesse fenômeno, os raios incidente e refratado propagam-se em meios distintos.



GIPhotoStock/Photo
Researche/Liaistock

Raio de luz sofrendo refração ao incidir na superfície entre o ar e o bloco de plástico homogêneo e transparente.

ÓPTICA GEOMÉTRICA CAPÍTULO 4 – REFRAÇÃO DA LUZ

- Relembrando a refração
- Refringência e índice de refração
- Leis da refração
- Ângulo-limite e reflexão total
- Diopetro plano
- Prismas
- Lâminas de faces paralelas
- Lentes esféricas
 - Nomenclatura;
 - Comportamento óptico;
 - Lentes gaussianas;
 - Raios notáveis para lentes esféricas;
 - Formação da imagem nas lentes convergentes;
 - Formação da imagem nas lentes divergentes;
 - Estudo analítico das lentes esféricas;
 - Equação do fabricante de lentes e associação de lentes.

Capítulo 4 – Refração da luz

4.1 – Relembrando a refração

A figura abaixo traz duas fotos, tiradas da mesma posição, de uma xícara contendo uma moeda no fundo



ÓPTICA GEOMÉTRICA CAPÍTULO 4 – REFRAÇÃO DA LUZ

- Relembrando a refração
- Refringência e índice de refração
- Leis da refração
- Ângulo-limite e reflexão total
- Dioptra plano
- Prismas
- Lâminas de faces paralelas
- Lentes esféricas
 - Nomenclatura;
 - Comportamento óptico;
 - Lentes gaussianas;
 - Raios notáveis para lentes esféricas;
 - Formação da imagem nas lentes convergentes;
 - Formação da imagem nas lentes divergentes;
 - Estudo analítico das lentes esféricas;
 - Equação do fabricante de lentes e associação de lentes.

Capítulo 4 – Refração da luz

4.1 – Relembrando a refração

Na foto à esquerda, a moeda não aparece.

À direita, a moeda aparece depois de se colocar água na xícara. **Por quê?**



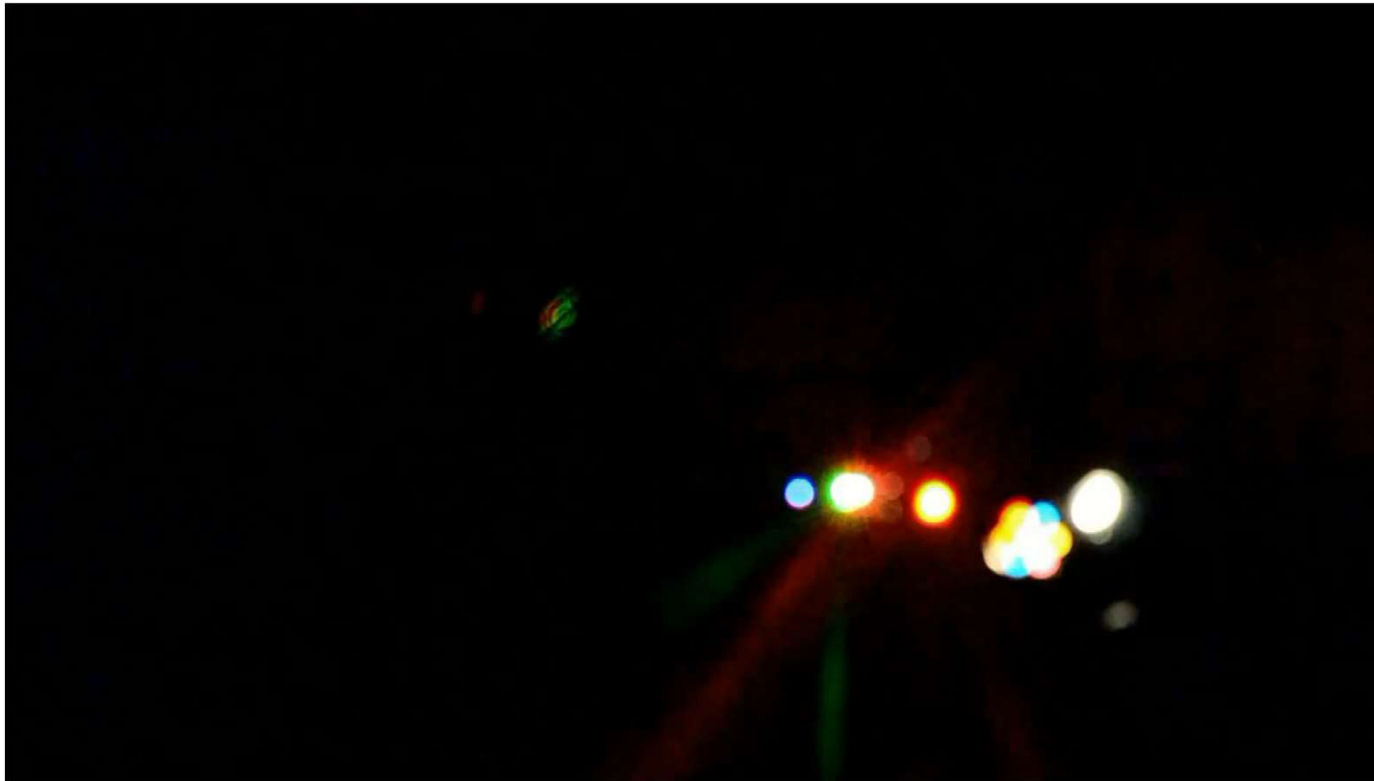
Isso ocorre porque a luz que provém da moeda muda de direção ao passar da água para o ar, atingindo a câmara fotográfica.

ÓPTICA GEOMÉTRICA CAPÍTULO 4 – REFRAÇÃO DA LUZ

- Relembrando a refração
- Refringência e índice de refração
- Leis da refração
- Ângulo-limite e reflexão total
- Dioptra plano
- Prismas
- Lâminas de faces paralelas
- Lentes esféricas
 - Nomenclatura;
 - Comportamento óptico;
 - Lentes gaussianas;
 - Raios notáveis para lentes esféricas;
 - Formação da imagem nas lentes convergentes;
 - Formação da imagem nas lentes divergentes;
 - Estudo analítico das lentes esféricas;
 - Equação do fabricante de lentes e associação de lentes.

Capítulo 4 – Refração da luz

4.1 – Relembrando a refração



- **ÓPTICA GEOMÉTRICA**
- **CAPÍTULO 4 – REFRAÇÃO DA LUZ**
- **Relembrando a refração**
- Refringência e índice de refração
- Leis da refração
- Ângulo-limite e reflexão total
- Diopetro plano
- Prismas
- Lâminas de faces paralelas
- Lentes esféricas
 - Nomenclatura;
 - Comportamento óptico;
 - Lentes gaussianas;
 - Raios notáveis para lentes esféricas;
 - Formação da imagem nas lentes convergentes;
 - Formação da imagem nas lentes divergentes;
 - Estudo analítico das lentes esféricas;
 - Equação do fabricante de lentes e associação de lentes.

Capítulo 4 – Refração da luz

4.1 – Relembrando a refração

A passagem da luz de um meio para outro, acompanhada de variação em sua velocidade de propagação, recebe o nome de refração da luz.



Alexandre Dotta/Photo Researchers/Latinstock

O desvio da luz, quando se propaga por diferentes meios, produz efeitos visuais que se traduzem em imagens distorcidas, aumentadas ou deslocadas.

- **ÓPTICA GEOMÉTRICA**
- **CAPÍTULO 4 – REFRAÇÃO DA LUZ**
- Relembrando a refração
- Refringência e índice de refração
- Leis da refração
- Ângulo-limite e reflexão total
- Diopetro plano
- Prismas
- Lâminas de faces paralelas
- Lentes esféricas
 - Nomenclatura;
 - Comportamento óptico;
 - Lentes gaussianas;
 - Raios notáveis para lentes esféricas;
 - Formação da imagem nas lentes convergentes;
 - Formação da imagem nas lentes divergentes;
 - Estudo analítico das lentes esféricas;
 - Equação do fabricante de lentes e associação de lentes.

Capítulo 4 – Refração da luz

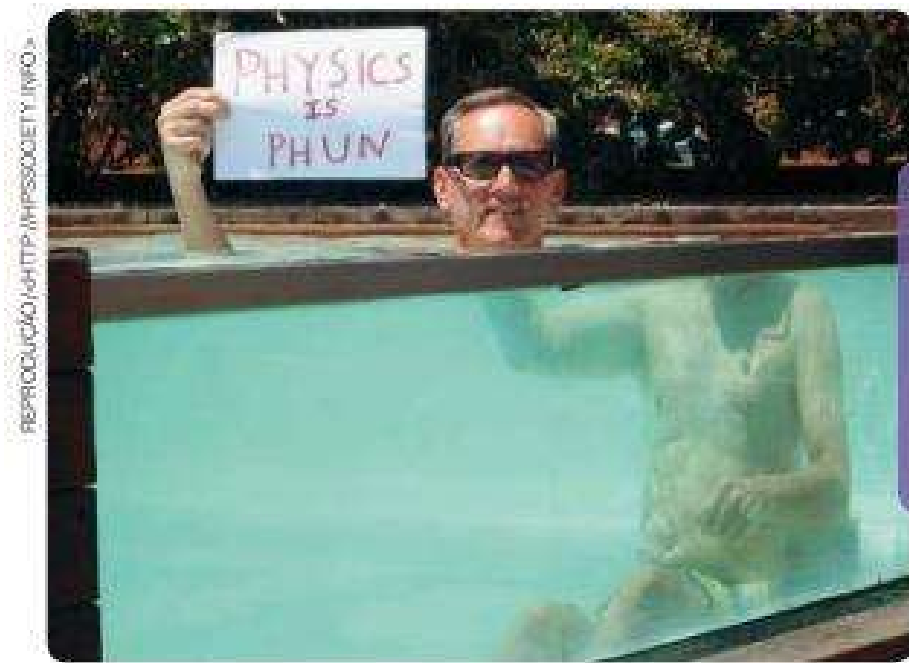
4.1 – Relembrando a refração



- **ÓPTICA GEOMÉTRICA**
- **CAPÍTULO 4 – REFRAÇÃO DA LUZ**
- **Relembrando a refração**
- Refringência e índice de refração
- Leis da refração
- Ângulo-limite e reflexão total
- Diopetro plano
- Prismas
- Lâminas de faces paralelas
- Lentes esféricas
 - Nomenclatura;
 - Comportamento óptico;
 - Lentes gaussianas;
 - Raios notáveis para lentes esféricas;
 - Formação da imagem nas lentes convergentes;
 - Formação da imagem nas lentes divergentes;
 - Estudo analítico das lentes esféricas;
 - Equação do fabricante de lentes e associação de lentes.

Capítulo 4 – Refração da luz

4.1 – Relembrando a refração



A tradução do cartaz "*Physics is phun*" é "Física é divertida". Para brincar com a palavra *Physics*, a palavra *fun* foi propositadamente grafada com "ph" em vez de "f", como é o correto.

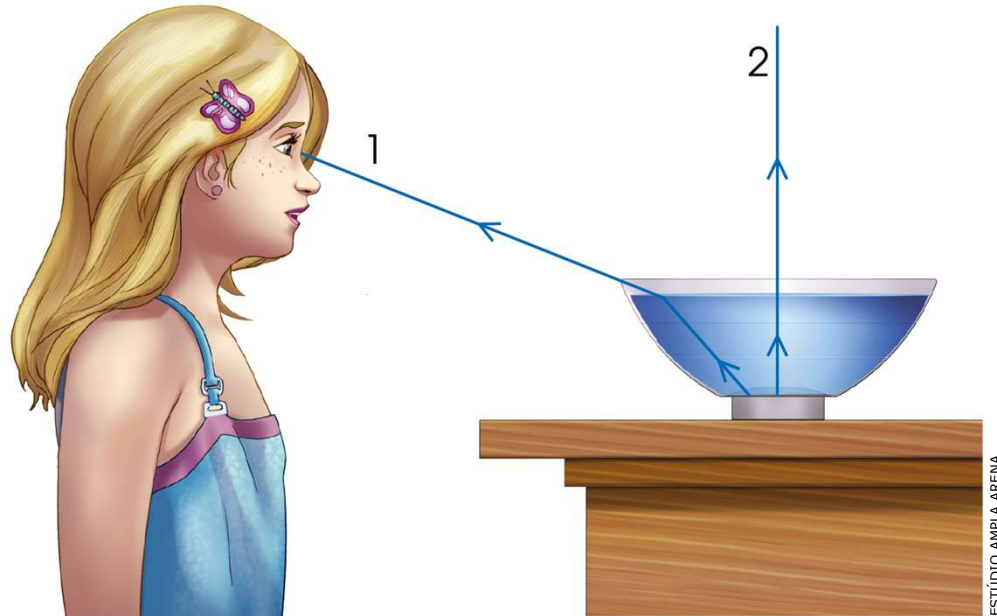
VLW MARCÃO!

- **ÓPTICA GEOMÉTRICA**
- **CAPÍTULO 4 – REFRAÇÃO DA LUZ**
- Relembrando a refração
- Refringência e índice de refração
- Leis da refração
- Ângulo-limite e reflexão total
- Diopetro plano
- Prismas
- Lâminas de faces paralelas
- Lentes esféricas
 - Nomenclatura;
 - Comportamento óptico;
 - Lentes gaussianas;
 - Raios notáveis para lentes esféricas;
 - Formação da imagem nas lentes convergentes;
 - Formação da imagem nas lentes divergentes;
 - Estudo analítico das lentes esféricas;
 - Equação do fabricante de lentes e associação de lentes.

Capítulo 4 – Refração da luz

4.1 – Relembrando a refração

A refração pode ocorrer com ou sem desvio na sua direção de propagação.



ESTÚDIO AMPLA ARENA

- **ÓPTICA GEOMÉTRICA**
- **CAPÍTULO 4 – REFRAÇÃO DA LUZ**
- Relembrando a refração
- Refringência e índice de refração
- Leis da refração
- Ângulo-limite e reflexão total
- Diopetro plano
- Prismas
- Lâminas de faces paralelas
- Lentes esféricas
 - Nomenclatura;
 - Comportamento óptico;
 - Lentes gaussianas;
 - Raios notáveis para lentes esféricas;
 - Formação da imagem nas lentes convergentes;
 - Formação da imagem nas lentes divergentes;
 - Estudo analítico das lentes esféricas;
 - Equação do fabricante de lentes e associação de lentes.

Capítulo 4 – Refração da luz

4.2 – Refringência e Índice de Refração

▪ Conceito de refringência

Refringência é uma propriedade do meio associada à influência que este exerce na propagação da luz. Ela depende das características do meio como, por exemplo, sua composição química e estrutura atômica, seu estado físico, sua densidade e sua temperatura.

Quando a luz muda de meio de propagação, ao incidir sobre a fronteira de um dioptra, sua velocidade de propagação é alterada em função das características dos meios. A maior ou menor refingência de um meio depende de quanto a velocidade de propagação da luz é alterada, comparativamente à sua velocidade de propagação no vácuo.

- **ÓPTICA GEOMÉTRICA**
- **CAPÍTULO 4 – REFRAÇÃO DA LUZ**
- Relembrando a refração
- Refringência e índice de refração
- Leis da refração
- Ângulo-limite e reflexão total
- Dioptra plano
- Prismas
- Lâminas de faces paralelas
- Lentes esféricas
 - Nomenclatura;
 - Comportamento óptico;
 - Lentes gaussianas;
 - Raios notáveis para lentes esféricas;
 - Formação da imagem nas lentes convergentes;
 - Formação da imagem nas lentes divergentes;
 - Estudo analítico das lentes esféricas;
 - Equação do fabricante de lentes e associação de lentes.

Capítulo 4 – Refração da luz

4.2 – Refringência e Índice de Refração

▪ Conceito de Índice de refração

O índice de refração absoluto (ou simplesmente índice de refração), representado pela letra n , é uma grandeza que expressa o grau de refringência de um meio. Ela está associada à dificuldade experimentada pela luz para se propagar num determinado meio. Quanto maior o índice de refração, menor a velocidade de propagação da luz nesse meio.

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

c : velocidade de propagação da luz no vácuo.

v : velocidade de propagação da luz monocromática no meio

- **ÓPTICA GEOMÉTRICA**
- **CAPÍTULO 4 – REFRAÇÃO DA LUZ**
- Relembrando a refração
- Refringência e índice de refração
- Leis da refração
- Ângulo-limite e reflexão total
- Diopetro plano
- Prismas
- Lâminas de faces paralelas
- Lentes esféricas
 - Nomenclatura;
 - Comportamento óptico;
 - Lentes gaussianas;
 - Raios notáveis para lentes esféricas;
 - Formação da imagem nas lentes convergentes;
 - Formação da imagem nas lentes divergentes;
 - Estudo analítico das lentes esféricas;
 - Equação do fabricante de lentes e associação de lentes.

Capítulo 4 – Refração da luz

4.2 – Refringência e Índice de Refração

▪ Índice de refração relativo

O índice de refração relativo, é definido como a razão entre a velocidade da luz que se propaga entre dois meios, desde que um deles não seja o vácuo.

$$n_{1,2} = \frac{n_1}{n_2} \quad \longrightarrow \quad n_{1,2} = \frac{v_1}{v_2}$$

n_1 : índice de refração do meio 1 (meio incidente – que a luz provém)

n_2 : índice de refração do meio 2 (meio refratado – que a luz passa)

$n_{1,2}$: índice de refração relativo.

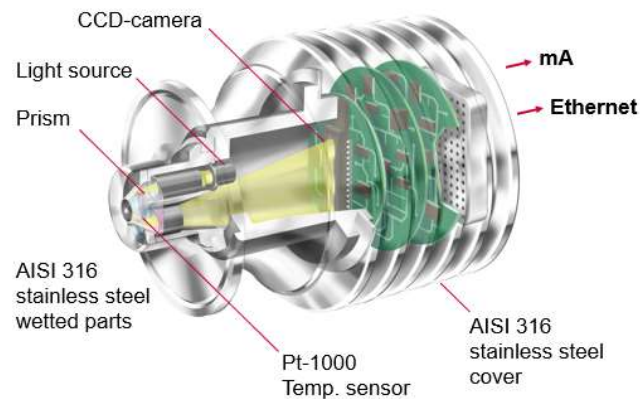
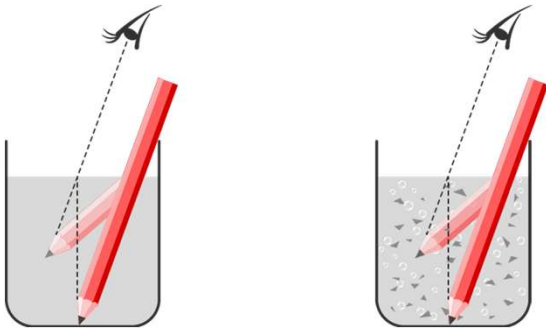
- **ÓPTICA GEOMÉTRICA**
- **CAPÍTULO 4 – REFRAÇÃO DA LUZ**
- Relembrando a refração
- Refringência e índice de refração
- Leis da refração
- Ângulo-limite e reflexão total
- Diopetro plano
- Prismas
- Lâminas de faces paralelas
- Lentes esféricas
 - Nomenclatura;
 - Comportamento óptico;
 - Lentes gaussianas;
 - Raios notáveis para lentes esféricas;
 - Formação da imagem nas lentes convergentes;
 - Formação da imagem nas lentes divergentes;
 - Estudo analítico das lentes esféricas;
 - Equação do fabricante de lentes e associação de lentes.

Capítulo 4 – Refração da luz

4.2 – Refringência e Índice de Refração

▪ Fatores que determinam o índice de refração

- Estado físico;
- Temperatura absoluta;
- Cor da radiação.



Link para visualizar o Refratômetro

<https://www.vaisala.com/pt/blog/2020-01/uma-visao-mais-aprofundada-da-tecnologia-de-medicao-de-concentracoes-de-liquido-com-indice-de-refracao>

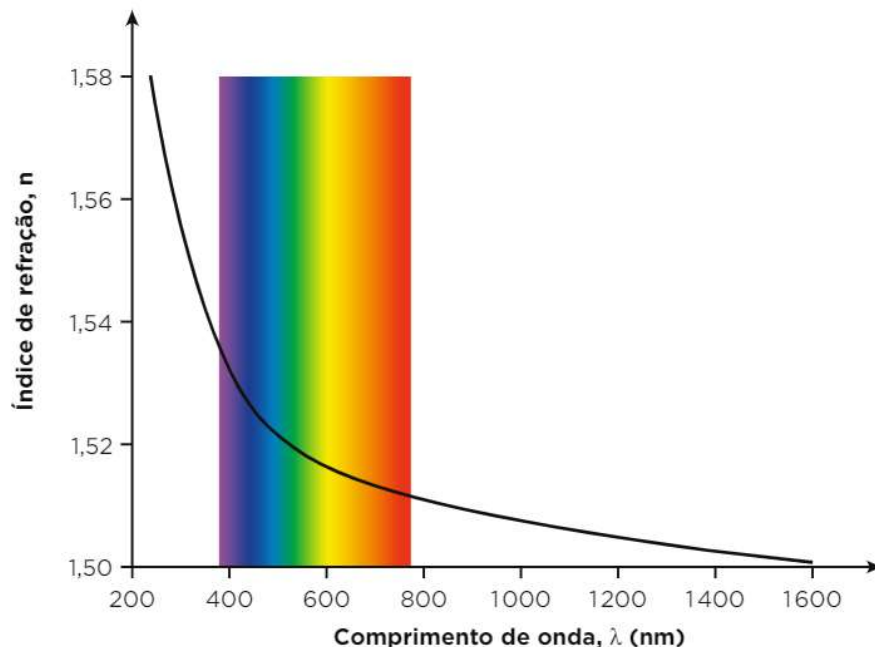
- **ÓPTICA GEOMÉTRICA**
- **CAPÍTULO 4 – REFRAÇÃO DA LUZ**
- Relembrando a refração
- Refringência e índice de refração
- Leis da refração
- Ângulo-limite e reflexão total
- Diopetro plano
- Prismas
- Lâminas de faces paralelas
- Lentes esféricas
 - Nomenclatura;
 - Comportamento óptico;
 - Lentes gaussianas;
 - Raios notáveis para lentes esféricas;
 - Formação da imagem nas lentes convergentes;
 - Formação da imagem nas lentes divergentes;
 - Estudo analítico das lentes esféricas;
 - Equação do fabricante de lentes e associação de lentes.

Capítulo 4 – Refração da luz

4.2 – Refringência e Índice de Refração

▪ O comportamento do índice de refração

O gráfico abaixo mostra o comportamento do índice de refração, para uma amostra de **vidro óptico comum**, em função do comprimento de onda da radiação que nele se propaga.



Para a cor violeta (menor comprimento de onda), o índice de refração do vidro óptico é maior quando comparado ao valor medido utilizando radiação de cor vermelha (maior comprimento de onda).

- **ÓPTICA GEOMÉTRICA**
- **CAPÍTULO 4 – REFRAÇÃO DA LUZ**
- Relembrando a refração
- Refringência e índice de refração
- Leis da refração
- Ângulo-limite e reflexão total
- Diopetro plano
- Prismas
- Lâminas de faces paralelas
- Lentes esféricas
 - Nomenclatura;
 - Comportamento óptico;
 - Lentes gaussianas;
 - Raios notáveis para lentes esféricas;
 - Formação da imagem nas lentes convergentes;
 - Formação da imagem nas lentes divergentes;
 - Estudo analítico das lentes esféricas;
 - Equação do fabricante de lentes e associação de lentes.

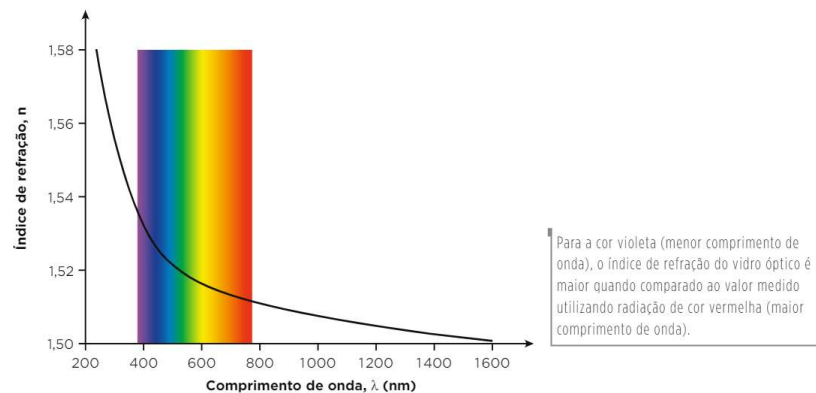
Capítulo 4 – Refração da luz

4.2 – Refringência e Índice de Refração

▪ O comportamento do índice de refração

Do gráfico percebemos que:

- O índice de refração aumenta do vermelho para o violeta.
- Entretanto, como o índice de refração e a velocidade de propagação são inversamente proporcionais, quando o índice de refração aumenta, a velocidade de propagação diminui.
- Dessa forma, a velocidade de propagação diminui do vermelho para o violeta.
- Essa conclusão pode ser estendida para outros meios materiais. Porém, no vácuo, onde a presença de matéria é nula e não há, portanto, interação da luz com meio, o índice de refração é igual a 1 para todas as radiações, que se propagam com mesma velocidade c .



- **ÓPTICA GEOMÉTRICA**
- **CAPÍTULO 4 – REFRAÇÃO DA LUZ**
- Relembrando a refração
- Refringência e índice de refração
- Leis da refração
- Ângulo-limite e reflexão total
- Dioptra plano
- Prismas
- Lâminas de faces paralelas
- Lentes esféricas
 - Nomenclatura;
 - Comportamento óptico;
 - Lentes gaussianas;
 - Raios notáveis para lentes esféricas;
 - Formação da imagem nas lentes convergentes;
 - Formação da imagem nas lentes divergentes;
 - Estudo analítico das lentes esféricas;
 - Equação do fabricante de lentes e associação de lentes.

Capítulo 4 – Refração da luz

4.2 – Refringência e Índice de Refração

▪ O comportamento do índice de refração

Resumindo:

▪ No vácuo

$$c = v_{\text{vermelho}} = v_{\text{alaranjado}} = v_{\text{amarelo}} = v_{\text{verde}} = v_{\text{azul}} = v_{\text{anil}} = v_{\text{violeta}}$$

$$n_{\text{violeta}} = n_{\text{anil}} = n_{\text{azul}} = n_{\text{verde}} = n_{\text{amarelo}} = n_{\text{alaranjado}} = n_{\text{vermelho}} = 1$$

▪ Nos demais meios

$$c > v_{\text{vermelho}} > v_{\text{alaranjado}} > v_{\text{amarelo}} > v_{\text{verde}} > v_{\text{azul}} > v_{\text{anil}} > v_{\text{violeta}}$$

$$n_{\text{violeta}} > n_{\text{anil}} > n_{\text{azul}} > n_{\text{verde}} > n_{\text{amarelo}} > n_{\text{alaranjado}} > n_{\text{vermelho}} > 1$$

- **ÓPTICA GEOMÉTRICA**
- **CAPÍTULO 4 – REFRAÇÃO DA LUZ**
- Relembrando a refração
- Refringência e índice de refração
- Leis da refração
- Ângulo-limite e reflexão total
- Diopetro plano
- Prismas
- Lâminas de faces paralelas
- Lentes esféricas
 - Nomenclatura;
 - Comportamento óptico;
 - Lentes gaussianas;
 - Raios notáveis para lentes esféricas;
 - Formação da imagem nas lentes convergentes;
 - Formação da imagem nas lentes divergentes;
 - Estudo analítico das lentes esféricas;
 - Equação do fabricante de lentes e associação de lentes.

Capítulo 4 – Refração da luz

4.2 – Refringência e Índice de Refração

- O comportamento do índice de refração

Meio	índice de refração
Água (20 °C)	1,33
Acetona	1,36
Álcool etílico	1,36
Quartzo fundido	1,46
Vidro (depende do tipo)	entre 1,52 e 1,89
Cloreto de sódio	1,54
Safira	1,77
Diamante	2,42

HALLIDAY, D. et al. *Fundamentos de Física 4 – Ótica e Física moderna*. Rio de Janeiro: LTC, 1995. p. 27.

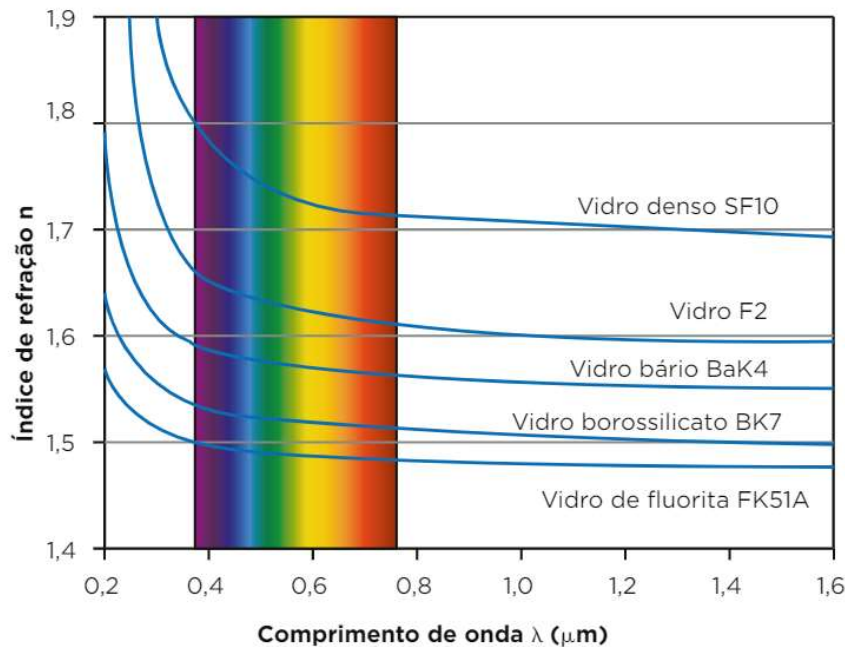
- **ÓPTICA GEOMÉTRICA**
- **CAPÍTULO 4 – REFRAÇÃO DA LUZ**
- Relembrando a refração
- Refringência e índice de refração
- Leis da refração
- Ângulo-limite e reflexão total
- Diopetro plano
- Prismas
- Lâminas de faces paralelas
- Lentes esféricas
 - Nomenclatura;
 - Comportamento óptico;
 - Lentes gaussianas;
 - Raios notáveis para lentes esféricas;
 - Formação da imagem nas lentes convergentes;
 - Formação da imagem nas lentes divergentes;
 - Estudo analítico das lentes esféricas;
 - Equação do fabricante de lentes e associação de lentes.

Capítulo 4 – Refração da luz

4.2 – Refringência e Índice de Refração

Texto para as questões 1 a 3

Todas as radiações eletromagnéticas, independentemente do seu comprimento de onda (ou frequência), se propagam no vácuo com a velocidade de $3 \cdot 10^8$ m/s. Quando elas passam a se propagar em meios materiais, cada cor – frequência ou comprimento de onda – se propaga com uma velocidade específica. Como consequência, cada cor está associada a um índice de refração absoluto para determinado meio material. O gráfico abaixo relaciona o índice de refração absoluto em função do comprimento de onda para diferentes tipos de vidro.



- **ÓPTICA GEOMÉTRICA**
- **CAPÍTULO 4 – REFRAÇÃO DA LUZ**
- Relembrando a refração
- Refringência e índice de refração
- Leis da refração
- Ângulo-limite e reflexão total
- Dioptro plano
- Prismas
- Lâminas de faces paralelas
- Lentes esféricas
 - Nomenclatura;
 - Comportamento óptico;
 - Lentes gaussianas;
 - Raios notáveis para lentes esféricas;
 - Formação da imagem nas lentes convergentes;
 - Formação da imagem nas lentes divergentes;
 - Estudo analítico das lentes esféricas;
 - Equação do fabricante de lentes e associação de lentes.

Capítulo 4 – Refração da luz

4.2 – Refringência e Índice de Refração

EXERCÍCIO 1 - Calcule a velocidade de propagação aproximada da radiação da cor violeta quando se propaga no interior do vidro de fluorita FK51A.

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

Da leitura do gráfico, vemos que o valor do índice de refração absoluto para a cor violeta na amostra é de, aproximadamente, 1,5.

Da definição de índice de refração, temos:

$$n_{\text{meio}} = \frac{c}{v_{\text{meio}}} \Rightarrow 1,5 = \frac{3 \cdot 10^8}{v_{\text{meio}}} \therefore v_{\text{meio}} = 2 \cdot 10^8 \text{ m/s}$$

- **ÓPTICA GEOMÉTRICA**
- **CAPÍTULO 4 – REFRAÇÃO DA LUZ**
- Relembrando a refração
- Refringência e índice de refração
- Leis da refração
- Ângulo-limite e reflexão total
- Dioptro plano
- Prismas
- Lâminas de faces paralelas
- Lentes esféricas
 - Nomenclatura;
 - Comportamento óptico;
 - Lentes gaussianas;
 - Raios notáveis para lentes esféricas;
 - Formação da imagem nas lentes convergentes;
 - Formação da imagem nas lentes divergentes;
 - Estudo analítico das lentes esféricas;
 - Equação do fabricante de lentes e associação de lentes.

Capítulo 4 – Refração da luz

4.2 – Refringência e Índice de Refração

EXERCÍCIO 2 - De acordo com o gráfico, o valor do índice de refração absoluto para a faixa da luz visível:

Dado: Quando uma radiação se propaga, sua velocidade v está relacionada ao comprimento de onda λ e a sua frequência f é dada pela equação fundamental da ondulatória: $v = \lambda \cdot f$

a) é diretamente proporcional ao comprimento de onda.

b) é diretamente proporcional à frequência.

c) é crescente para o aumento do comprimento de onda.

d) é crescente para o aumento da frequência.

e) independe do valor da frequência.

De acordo com o gráfico, o índice de refração absoluto, no espectro da luz visível, diminui com o aumento do comprimento de onda. Para uma determinada velocidade de propagação da luz, o comprimento de onda é inversamente proporcional à frequência; dessa forma, o valor de n será crescente para frequências cada vez maiores.

- **ÓPTICA GEOMÉTRICA**
- **CAPÍTULO 4 – REFRAÇÃO DA LUZ**
- Relembrando a refração
- Refringência e índice de refração
- Leis da refração
- Ângulo-limite e reflexão total
- Diopetro plano
- Prismas
- Lâminas de faces paralelas
- Lentes esféricas
 - Nomenclatura;
 - Comportamento óptico;
 - Lentes gaussianas;
 - Raios notáveis para lentes esféricas;
 - Formação da imagem nas lentes convergentes;
 - Formação da imagem nas lentes divergentes;
 - Estudo analítico das lentes esféricas;
 - Equação do fabricante de lentes e associação de lentes.

Capítulo 4 – Refração da luz

4.2 – Refringência e Índice de Refração

EXERCÍCIO 3 - Considere as três afirmações abaixo, elaboradas de acordo com o gráfico anterior:

I. Para qualquer tipo de vidro, o índice de refração da cor violeta é maior que o da cor vermelha.

II. Se um feixe de luz, propagando-se no ar, incidir obliquamente sobre qualquer uma das amostras, o vidro que apresentará maior desvio da trajetória do raio de luz será o vidro denso SF10.

III. A maior velocidade de propagação será observada no interior da amostra de vidro de fluorita, para a radiação vermelha.

Quais estão corretas?

a) Apenas I.

b) Apenas II.

c) Apenas III.

d) Apenas I e II.

e) I, II e III.

I. Correta: as curvas decrescem à medida que o comprimento de onda aumenta.

II. Correta: o maior desvio ocorre quando a luz é submetida ao maior índice de refração.

III. Correta: a maior velocidade de propagação ocorre quando o índice de refração é o menor possível.

- **ÓPTICA GEOMÉTRICA**
- **CAPÍTULO 4 – REFRAÇÃO DA LUZ**
- Relembrando a refração
- Refringência e índice de refração
- Leis da refração
- Ângulo-limite e reflexão total
- Diopetro plano
- Prismas
- Lâminas de faces paralelas
- Lentes esféricas
 - Nomenclatura;
 - Comportamento óptico;
 - Lentes gaussianas;
 - Raios notáveis para lentes esféricas;
 - Formação da imagem nas lentes convergentes;
 - Formação da imagem nas lentes divergentes;
 - Estudo analítico das lentes esféricas;
 - Equação do fabricante de lentes e associação de lentes.

Capítulo 4 – Refração da luz

4.2 – Refringência e Índice de Refração

- O comportamento do índice de refração



Continuidade óptica

Continuidade óptica é uma condição observada entre dois meios distintos que apresentam o mesmo índice de refração absoluto. Quando isso acontece, é difícil visualizar a interface entre os meios, pois a luz não encontra, na sua propagação, uma superfície de separação entre eles. Portanto, a luz não refrata nem reflete. Lembre-se que a visualização de um objeto é determinada pela parcela da luz que reflete e atinge o olho do observador. A fotografia ao lado mostra dois recipientes idênticos, A e B. Ambos contêm um bastão maciço de vidro.

O tubo B contém água (H_2O) e o tubo A contém tetracloretileno (C_2Cl_4). No tubo B é possível ver a superfície de separação entre o bastão de vidro e a água. No tubo A, essa observação é prejudicada em função da proximidade dos índices de refração do vidro e do tetracloretileno.

É difícil observar o tubo de vidro imerso no recipiente da esquerda, pois ele contém tetracloretileno em vez de água, como o da direita. O vidro e o tetracloretileno apresentam continuidade óptica, isto é, têm o mesmo índice de refração.

- **ÓPTICA GEOMÉTRICA**
- **CAPÍTULO 4 – REFRAÇÃO DA LUZ**
- Relembrando a refração
- Refringência e índice de refração
- Leis da refração
- Ângulo-limite e reflexão total
- Diopetro plano
- Prismas
- Lâminas de faces paralelas
- Lentes esféricas
 - Nomenclatura;
 - Comportamento óptico;
 - Lentes gaussianas;
 - Raios notáveis para lentes esféricas;
 - Formação da imagem nas lentes convergentes;
 - Formação da imagem nas lentes divergentes;
 - Estudo analítico das lentes esféricas;
 - Equação do fabricante de lentes e associação de lentes.

Capítulo 4 – Refração da luz

4.2 – Refringência e Índice de Refração

- O comportamento do índice de refração

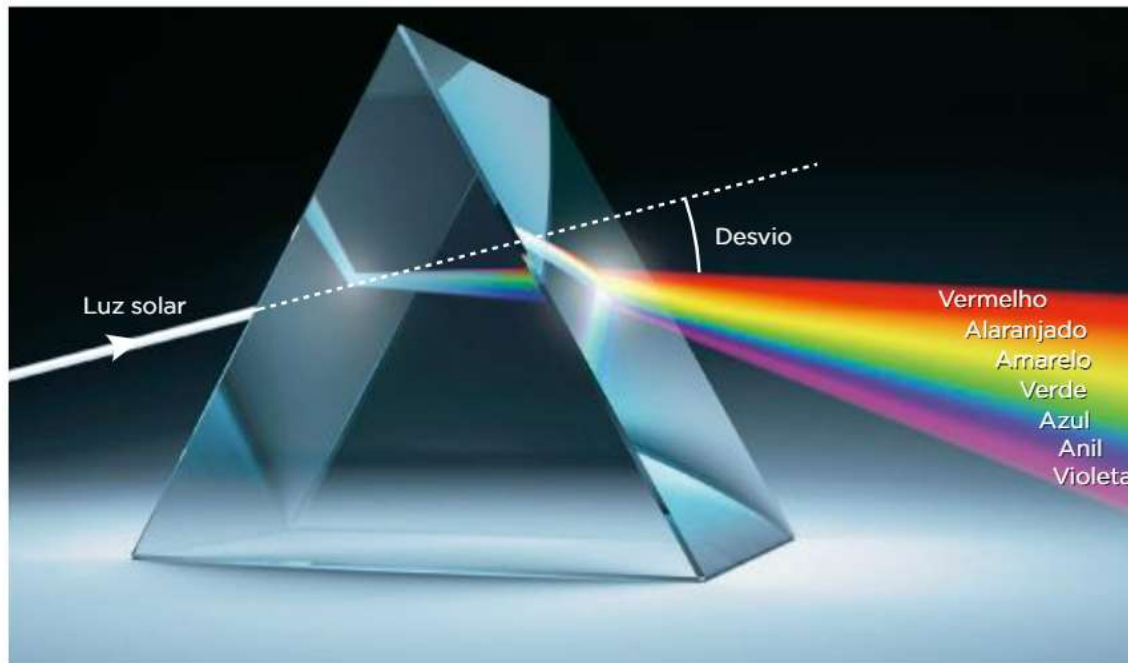


- **ÓPTICA GEOMÉTRICA**
- **CAPÍTULO 4 – REFRAÇÃO DA LUZ**
- Relembrando a refração
- **Refringência e índice de refração**
- Leis da refração
- Ângulo-limite e reflexão total
- Diopetro plano
- Prismas
- Lâminas de faces paralelas
- Lentes esféricas
 - Nomenclatura;
 - Comportamento óptico;
 - Lentes gaussianas;
 - Raios notáveis para lentes esféricas;
 - Formação da imagem nas lentes convergentes;
 - Formação da imagem nas lentes divergentes;
 - Estudo analítico das lentes esféricas;
 - Equação do fabricante de lentes e associação de lentes.

Capítulo 4 – Refração da luz

4.2 – Refringência e Índice de Refração

- Índice de Refração e desvio da luz



A refringência estabelecida pelo prisma determina um desvio diferente para cada cor de luz. A maior refringência observada para a luz violeta é indicada pelo maior desvio e está associada a uma menor velocidade de propagação dessa radiação no interior do prisma.

- **ÓPTICA GEOMÉTRICA**
- **CAPÍTULO 4 – REFRAÇÃO DA LUZ**
- Relembrando a refração
- **Refringência e índice de refração**
- Leis da refração
- Ângulo-limite e reflexão total
- Diopetro plano
- Prismas
- Lâminas de faces paralelas
- Lentes esféricas
 - Nomenclatura;
 - Comportamento óptico;
 - Lentes gaussianas;
 - Raios notáveis para lentes esféricas;
 - Formação da imagem nas lentes convergentes;
 - Formação da imagem nas lentes divergentes;
 - Estudo analítico das lentes esféricas;
 - Equação do fabricante de lentes e associação de lentes.

Capítulo 4 – Refração da luz

4.2 – Refringência e Índice de Refração

- Índice de Refração e desvio da luz

REFRAÇÃO --→ MUDANÇA NA VELOCIDADE --→ DESVIO NA LUZ

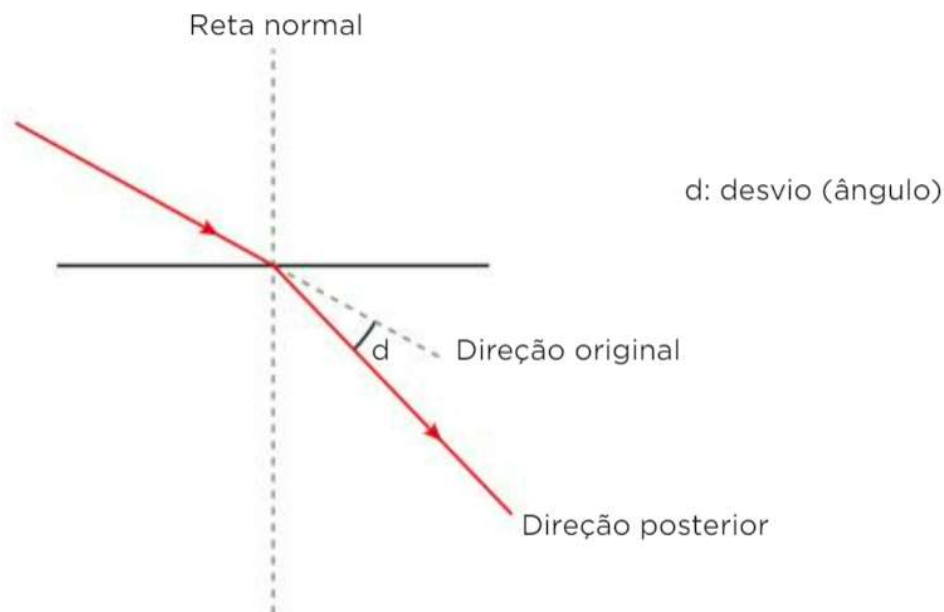
- **ÓPTICA GEOMÉTRICA**
- **CAPÍTULO 4 – REFRAÇÃO DA LUZ**
- Relembrando a refração
- Refringência e índice de refração
- Leis da refração
- Ângulo-limite e reflexão total
- Dioptra plano
- Prismas
- Lâminas de faces paralelas
- Lentes esféricas
 - Nomenclatura;
 - Comportamento óptico;
 - Lentes gaussianas;
 - Raios notáveis para lentes esféricas;
 - Formação da imagem nas lentes convergentes;
 - Formação da imagem nas lentes divergentes;
 - Estudo analítico das lentes esféricas;
 - Equação do fabricante de lentes e associação de lentes.

Capítulo 4 – Refração da luz

4.2 – Refringência e Índice de Refração

▪ Índice de Refração e desvio da luz

O desvio experimentado por um raio de luz corresponde ao ângulo formado entre a direção original de propagação e a direção da trajetória observada após o fenômeno óptico, como mostra a figura:



- **ÓPTICA GEOMÉTRICA**
- **CAPÍTULO 4 – REFRAÇÃO DA LUZ**
- Relembrando a refração
- Refringência e índice de refração
- Leis da refração
- Ângulo-limite e reflexão total
- Diopetro plano
- Prismas
- Lâminas de faces paralelas
- Lentes esféricas
 - Nomenclatura;
 - Comportamento óptico;
 - Lentes gaussianas;
 - Raios notáveis para lentes esféricas;
 - Formação da imagem nas lentes convergentes;
 - Formação da imagem nas lentes divergentes;
 - Estudo analítico das lentes esféricas;
 - Equação do fabricante de lentes e associação de lentes.

Capítulo 4 – Refração da luz

4.2 – Refringência e Índice de Refração

Índice de Refração e desvio da luz

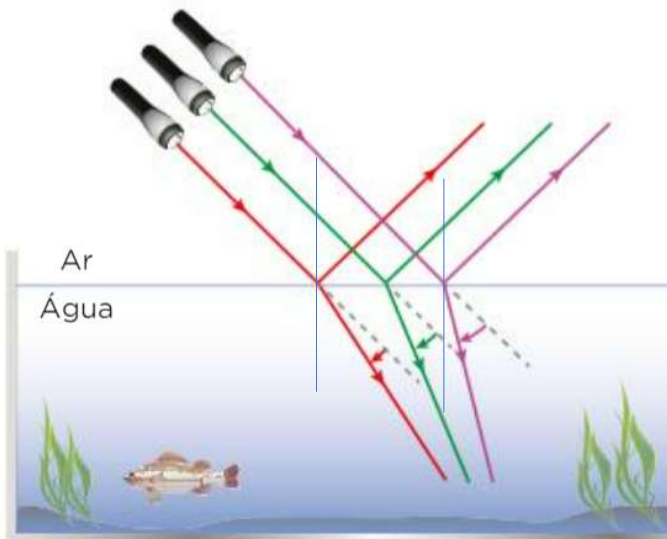
Dessa forma, comparando os desvios (d) de cada radiação, a partir da fotografia anterior, observamos que o desvio aumenta do vermelho para o violeta, isto é:

$$d_{\text{violeta}} > d_{\text{anil}} > d_{\text{azul}} > d_{\text{verde}} > d_{\text{amarelo}} > d_{\text{alaranjado}} > d_{\text{vermelho}}$$

Como o desvio está associado com o maior grau de refringência, concluímos que o índice de refração aumenta do vermelho para o violeta.

$$n_{\text{violeta}} > n_{\text{verde}} > n_{\text{vermelho}} \Leftrightarrow d_{\text{violeta}} > d_{\text{verde}} > d_{\text{vermelho}}$$

Maior desvio → menor velocidade → ângulo de refração menor

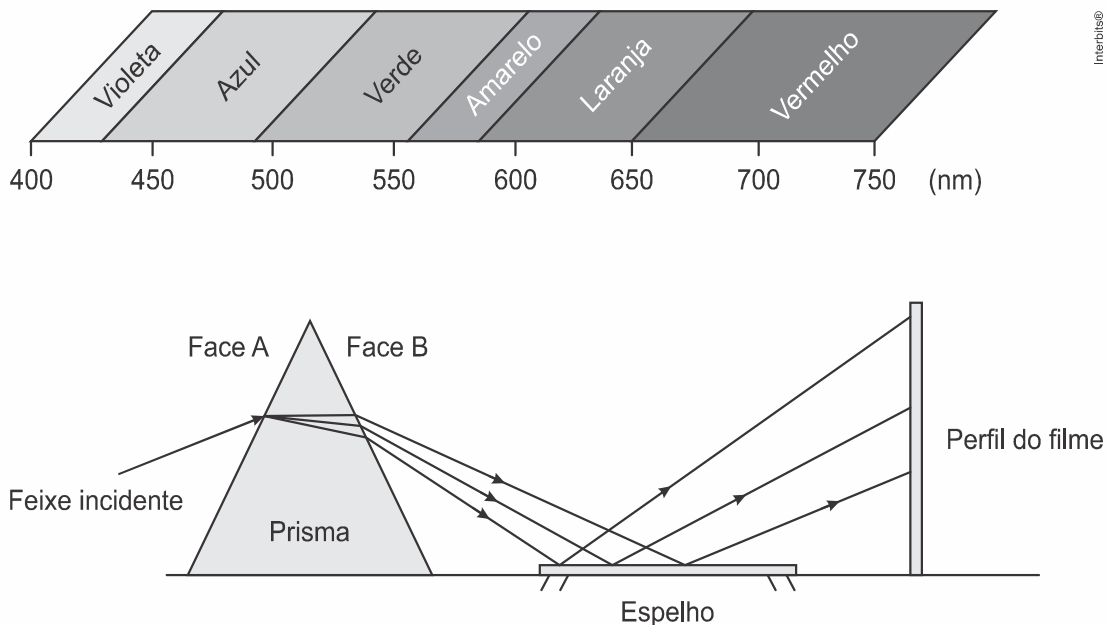


- **ÓPTICA GEOMÉTRICA**
- **CAPÍTULO 4 – REFRAÇÃO DA LUZ**
- Relembrando a refração
- Refringência e índice de refração
- Leis da refração
- Ângulo-limite e reflexão total
- Dioptro plano
- Prismas
- Lâminas de faces paralelas
- Lentes esféricas
 - Nomenclatura;
 - Comportamento óptico;
 - Lentes gaussianas;
 - Raios notáveis para lentes esféricas;
 - Formação da imagem nas lentes convergentes;
 - Formação da imagem nas lentes divergentes;
 - Estudo analítico das lentes esféricas;
 - Equação do fabricante de lentes e associação de lentes.

Capítulo 4 – Refração da luz

4.2 – Refringência e Índice de Refração

(Enem 2018) A figura representa um prisma óptico, constituído de um material transparente, cujo índice de refração é crescente com a frequência da luz que sobre ele incide. Um feixe luminoso, composto por luzes vermelha, azul e verde, incide na face A e emerge na face B e, após ser refletido por um espelho, incide num filme para fotografia colorida, revelando três pontos.



Interbits®

- **ÓPTICA GEOMÉTRICA**
- **CAPÍTULO 4 – REFRAÇÃO DA LUZ**
- Relembrando a refração
- Refringência e índice de refração
- Leis da refração
- Ângulo-limite e reflexão total
- Dioptra plano
- Prismas
- Lâminas de faces paralelas
- Lentes esféricas
 - Nomenclatura;
 - Comportamento óptico;
 - Lentes gaussianas;
 - Raios notáveis para lentes esféricas;
 - Formação da imagem nas lentes convergentes;
 - Formação da imagem nas lentes divergentes;
 - Estudo analítico das lentes esféricas;
 - Equação do fabricante de lentes e associação de lentes.

Capítulo 4 – Refração da luz

4.2 – Refringência e Índice de Refração

Observando os pontos luminosos revelados no filme, de baixo para cima, constata-se as seguintes cores:

- a) Vermelha, verde, azul.
- b) Verde, vermelha, azul.
- c) Azul, verde, vermelha.
- d) Verde, azul, vermelha.
- e) Azul, vermelha, verde.

Resumindo:

■ No vácuo

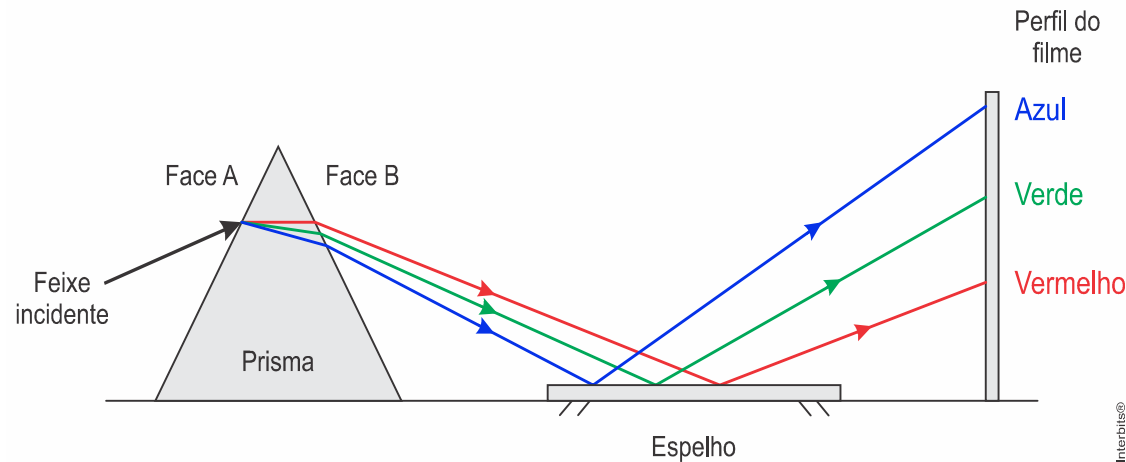
$$c = v_{\text{vermelho}} = v_{\text{alaranjado}} = v_{\text{amarelo}} = v_{\text{verde}} = v_{\text{azul}} = v_{\text{anil}} = v_{\text{violeta}}$$

$$n_{\text{violeta}} = n_{\text{anil}} = n_{\text{azul}} = n_{\text{verde}} = n_{\text{amarelo}} = n_{\text{alaranjado}} = n_{\text{vermelho}} = 1$$

■ Nos demais meios

$$c > v_{\text{vermelho}} > v_{\text{alaranjado}} > v_{\text{amarelo}} > v_{\text{verde}} > v_{\text{azul}} > v_{\text{anil}} > v_{\text{violeta}}$$

$$n_{\text{violeta}} > n_{\text{anil}} > n_{\text{azul}} > n_{\text{verde}} > n_{\text{amarelo}} > n_{\text{alaranjado}} > n_{\text{vermelho}} > 1$$



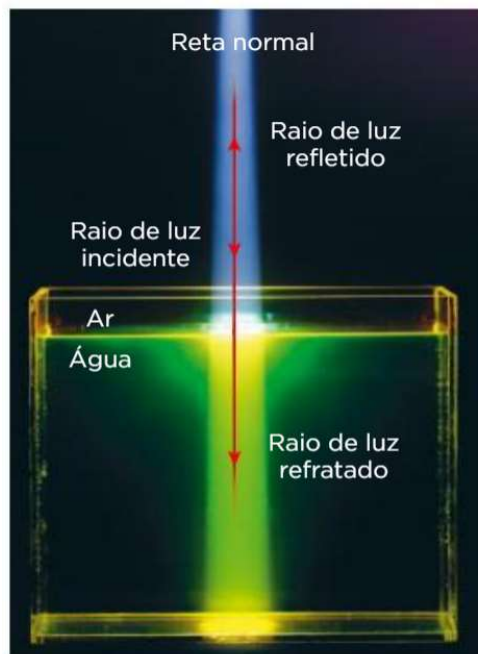
- **ÓPTICA GEOMÉTRICA**
- **CAPÍTULO 4 – REFRAÇÃO DA LUZ**
- Relembrando a refração
- Refringência e índice de refração
- Leis da refração
- Ângulo-limite e reflexão total
- Diopetro plano
- Prismas
- Lâminas de faces paralelas
- Lentes esféricas
 - Nomenclatura;
 - Comportamento óptico;
 - Lentes gaussianas;
 - Raios notáveis para lentes esféricas;
 - Formação da imagem nas lentes convergentes;
 - Formação da imagem nas lentes divergentes;
 - Estudo analítico das lentes esféricas;
 - Equação do fabricante de lentes e associação de lentes.

Capítulo 4 – Refração da luz

4.2 – Refringência e Índice de Refração

▪ Índice de Refração e desvio da luz

Apesar da mudança do índice de refração com a cor, nem sempre a luz apresenta desvio na sua trajetória ao refratar. Quando incide normalmente, isto é, a incidência dos raios ocorre sobre a reta normal e, portanto, perpendicular à superfície de separação entre os meios, não ocorre o desvio.



Richard Megna/Fundamental Photographs

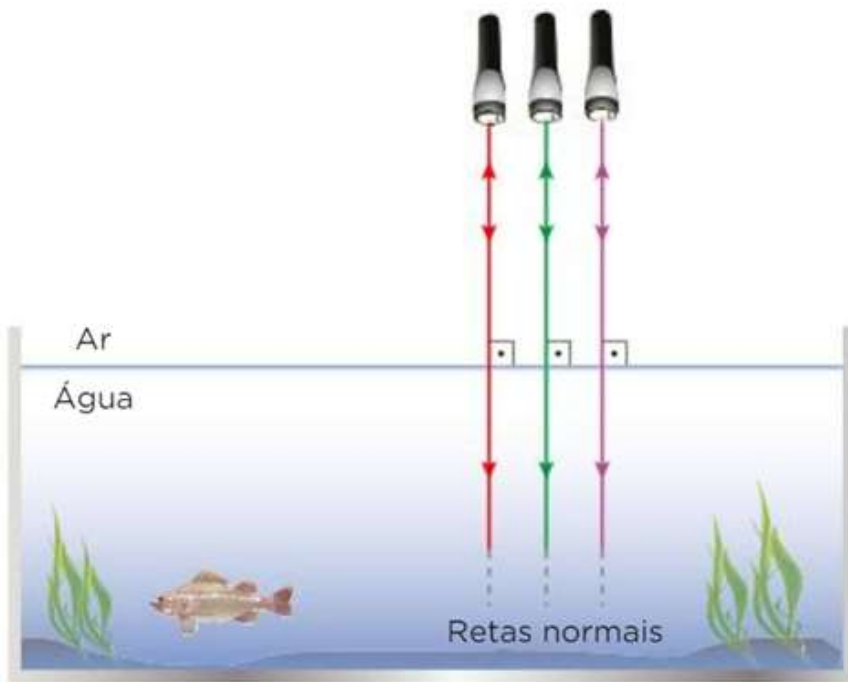
Na incidência normal (perpendicular à superfície), a luz muda de meio de propagação, altera sua velocidade, mas não desvia sua trajetória.

- **ÓPTICA GEOMÉTRICA**
- **CAPÍTULO 4 – REFRAÇÃO DA LUZ**
- Relembrando a refração
- Refringência e índice de refração
- Leis da refração
- Ângulo-limite e reflexão total
- Diopetro plano
- Prismas
- Lâminas de faces paralelas
- Lentes esféricas
 - Nomenclatura;
 - Comportamento óptico;
 - Lentes gaussianas;
 - Raios notáveis para lentes esféricas;
 - Formação da imagem nas lentes convergentes;
 - Formação da imagem nas lentes divergentes;
 - Estudo analítico das lentes esféricas;
 - Equação do fabricante de lentes e associação de lentes.

Capítulo 4 – Refração da luz

4.2 – Refringência e Índice de Refração

- Índice de Refração e desvio da luz



Representação de três raios de luz de cores diferentes incidindo sobre a superfície de separação entre dois meios transparentes e homogêneos. Não há desvio na incidência normal (perpendicular à superfície) para qualquer cor de luz (vermelho, verde ou violeta).

- **ÓPTICA GEOMÉTRICA**
- **CAPÍTULO 4 – REFRAÇÃO DA LUZ**
- Relembrando a refração
- Refringência e índice de refração
- Leis da refração
- Ângulo-limite e reflexão total
- Diopetro plano
- Prismas
- Lâminas de faces paralelas
- Lentes esféricas
 - Nomenclatura;
 - Comportamento óptico;
 - Lentes gaussianas;
 - Raios notáveis para lentes esféricas;
 - Formação da imagem nas lentes convergentes;
 - Formação da imagem nas lentes divergentes;
 - Estudo analítico das lentes esféricas;
 - Equação do fabricante de lentes e associação de lentes.

Capítulo 4 – Refração da luz

4.2 – Refringência e Índice de Refração

▪ Índice de Refração e desvio da luz

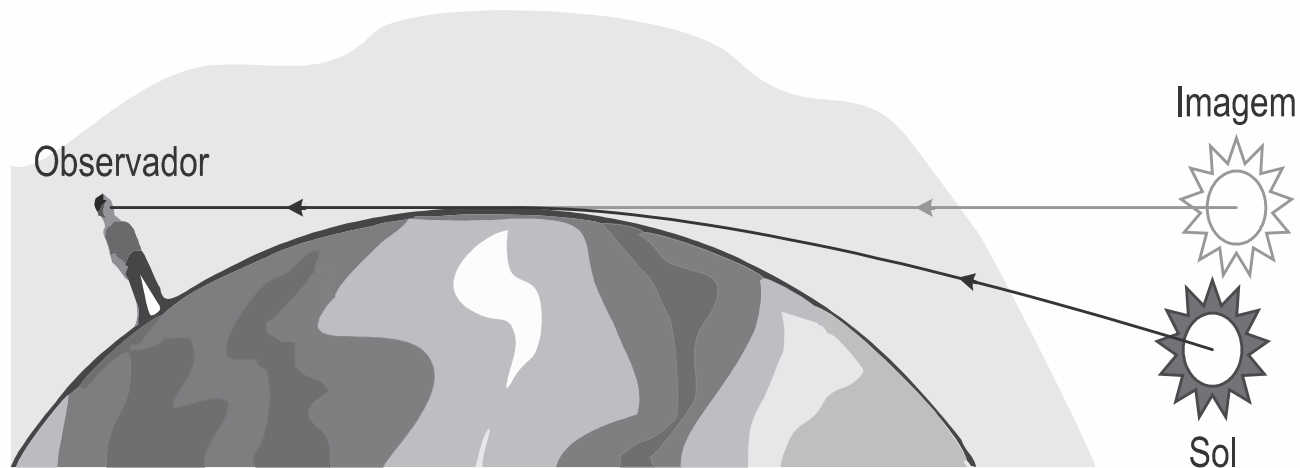
- Em resumo, a refração ocorre sempre que houver mudança de meio.
- Pode ser acompanhada da mudança de velocidade de propagação da luz.
- Entretanto, só haverá mudança de direção se a incidência da luz sobre a superfície de separação entre os meios for oblíqua.
- O desvio, quando ocorre, depende da cor da luz incidente.
- As luzes de cor violeta e vermelha apresentam, respectivamente, maior e menor desvios.

- **ÓPTICA GEOMÉTRICA**
- **CAPÍTULO 4 – REFRAÇÃO DA LUZ**
- Relembrando a refração
- Refringência e índice de refração
- Leis da refração
- Ângulo-limite e reflexão total
- Diopetro plano
- Prismas
- Lâminas de faces paralelas
- Lentes esféricas
 - Nomenclatura;
 - Comportamento óptico;
 - Lentes gaussianas;
 - Raios notáveis para lentes esféricas;
 - Formação da imagem nas lentes convergentes;
 - Formação da imagem nas lentes divergentes;
 - Estudo analítico das lentes esféricas;
 - Equação do fabricante de lentes e associação de lentes.

Capítulo 4 – Refração da luz

4.2 – Refringência e Índice de Refração

(Enem (Libras) 2017) No Hemisfério Sul, o solstício de verão (momento em que os raios solares incidem verticalmente sobre quem se encontra sobre o Trópico de Capricórnio) ocorre no dia 21 ou 23 de dezembro. Nessa data, o dia tem o maior período de presença de luz solar. A figura mostra a trajetórias da luz solar nas proximidades do planeta Terra quando ocorre o fenômeno óptico que possibilita que o Sol seja visto por mais tempo pelo observador.

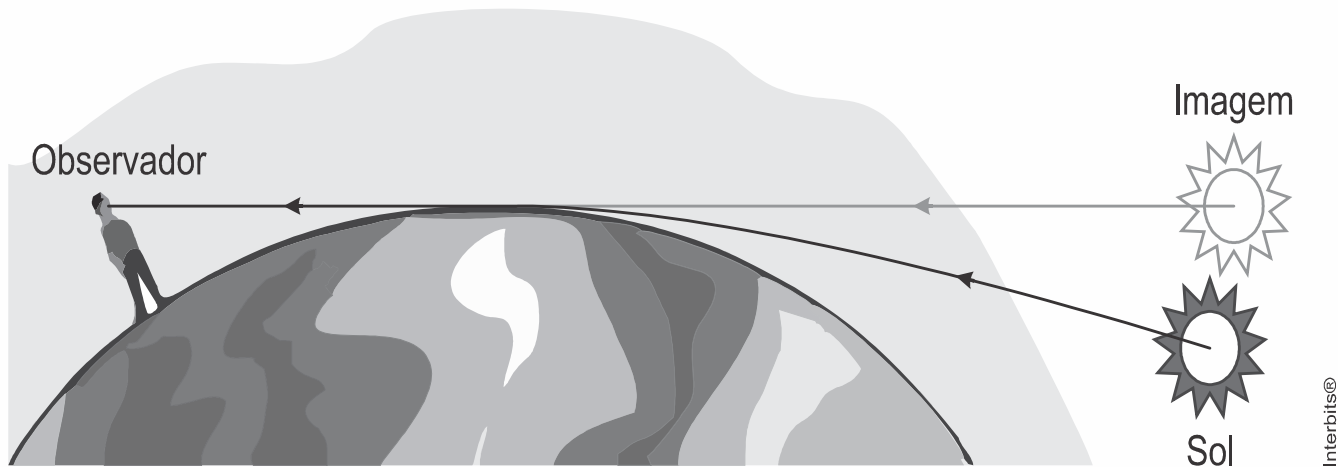


Interbits®

- **ÓPTICA GEOMÉTRICA**
- **CAPÍTULO 4 – REFRAÇÃO DA LUZ**
- Relembrando a refração
- Refringência e índice de refração
- Leis da refração
- Ângulo-limite e reflexão total
- Dioptra plano
- Prismas
- Lâminas de faces paralelas
- Lentes esféricas
 - Nomenclatura;
 - Comportamento óptico;
 - Lentes gaussianas;
 - Raios notáveis para lentes esféricas;
 - Formação da imagem nas lentes convergentes;
 - Formação da imagem nas lentes divergentes;
 - Estudo analítico das lentes esféricas;
 - Equação do fabricante de lentes e associação de lentes.

Capítulo 4 – Refração da luz

4.2 – Refringência e Índice de Refração



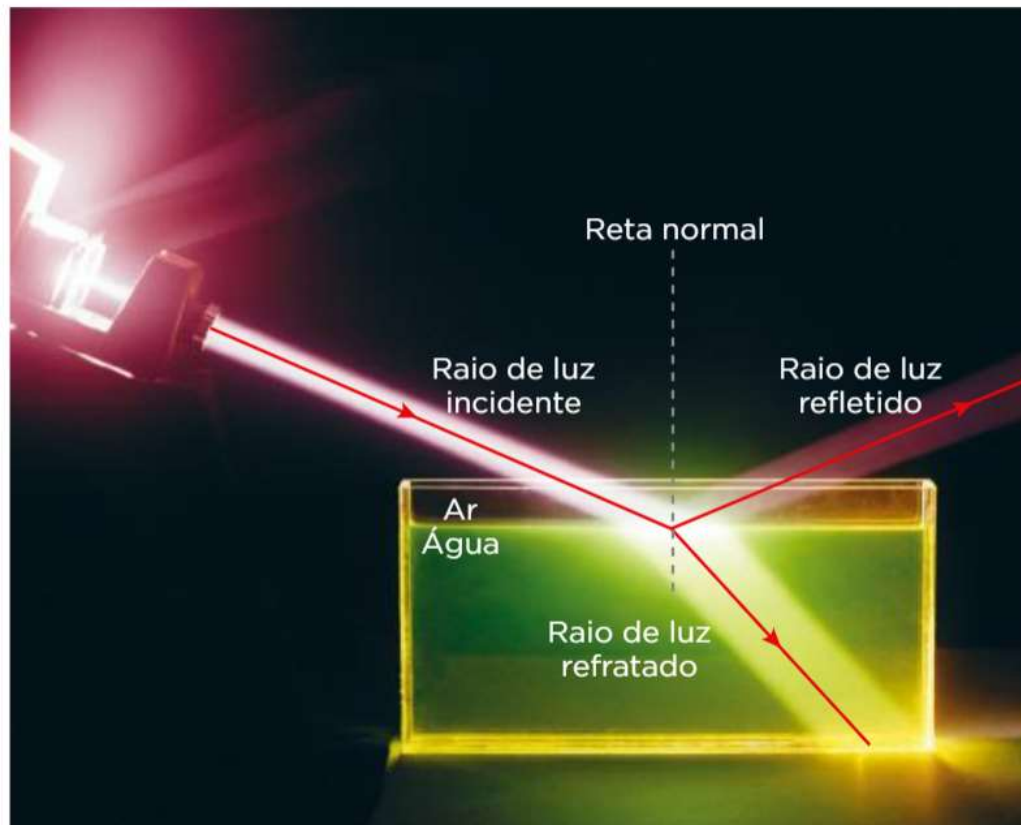
Qual é o fenômeno óptico mostrado na figura?

- a) A refração da luz solar ao atravessar camadas de ar com diferentes densidades.
- b) A polarização da luz solar ao incidir sobre a superfície dos oceanos.
- c) A reflexão da luz solar nas camadas mais altas da ionosfera.
- d) A difração da luz solar ao contornar a superfície da Terra.
- e) O espalhamento da luz solar ao atravessa a atmosfera.

- **ÓPTICA GEOMÉTRICA**
- **CAPÍTULO 4 – REFRAÇÃO DA LUZ**
- Relembrando a refração
- Refringência e índice de refração
- Leis da refração
- Ângulo-limite e reflexão total
- Diopetro plano
- Prismas
- Lâminas de faces paralelas
- Lentes esféricas
 - Nomenclatura;
 - Comportamento óptico;
 - Lentes gaussianas;
 - Raios notáveis para lentes esféricas;
 - Formação da imagem nas lentes convergentes;
 - Formação da imagem nas lentes divergentes;
 - Estudo analítico das lentes esféricas;
 - Equação do fabricante de lentes e associação de lentes.

Capítulo 4 – Refração da luz

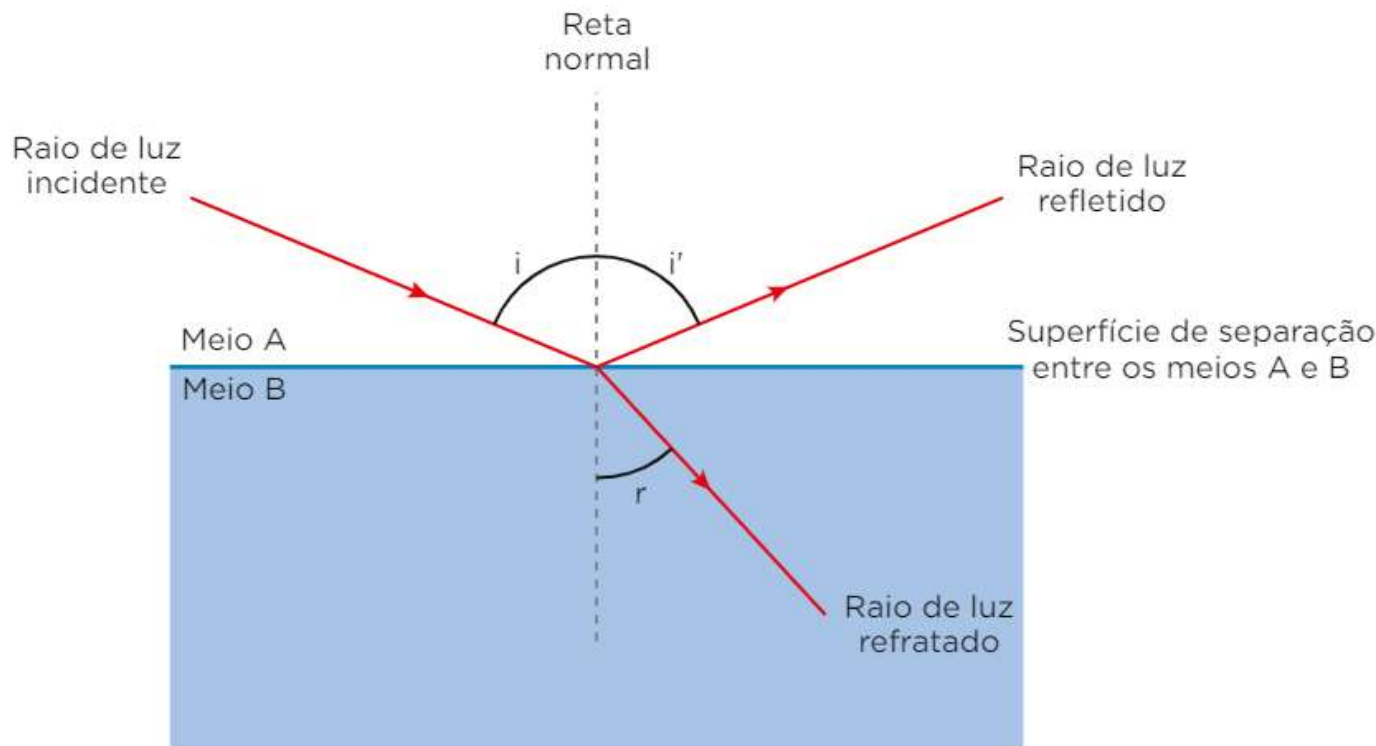
4.3 – Leis da refração



- **ÓPTICA GEOMÉTRICA**
- **CAPÍTULO 4 – REFRAÇÃO DA LUZ**
- Relembrando a refração
- Refringência e índice de refração
- **Leis da refração**
- Ângulo-limite e reflexão total
- Diopetro plano
- Prismas
- Lâminas de faces paralelas
- Lentes esféricas
 - Nomenclatura;
 - Comportamento óptico;
 - Lentes gaussianas;
 - Raios notáveis para lentes esféricas;
 - Formação da imagem nas lentes convergentes;
 - Formação da imagem nas lentes divergentes;
 - Estudo analítico das lentes esféricas;
 - Equação do fabricante de lentes e associação de lentes.

Capítulo 4 – Refração da luz

4.3 – Leis da refração

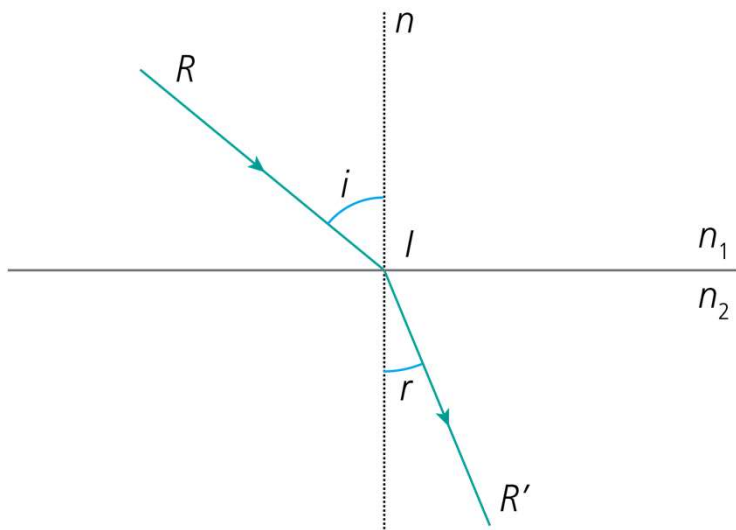


Representação esquemática dos fenômenos da reflexão e da refração.

- **ÓPTICA GEOMÉTRICA**
- **CAPÍTULO 4 – REFRAÇÃO DA LUZ**
- Relembrando a refração
- Refringência e índice de refração
- **Leis da refração**
- Ângulo-limite e reflexão total
- Dioptro plano
- Prismas
- Lâminas de faces paralelas
- Lentes esféricas
 - Nomenclatura;
 - Comportamento óptico;
 - Lentes gaussianas;
 - Raios notáveis para lentes esféricas;
 - Formação da imagem nas lentes convergentes;
 - Formação da imagem nas lentes divergentes;
 - Estudo analítico das lentes esféricas;
 - Equação do fabricante de lentes e associação de lentes.

Capítulo 4 – Refração da luz

4.3 – Leis da refração



▪ 1ª Lei da refração

O raio de incidência, a reta normal e o raio refratado estão contidos no mesmo plano.

▪ 2ª Lei da refração

O ângulo de refração e o ângulo de incidência são dados pela Lei de Snell

$$\eta_1 \sen i = \eta_2 \sen r$$

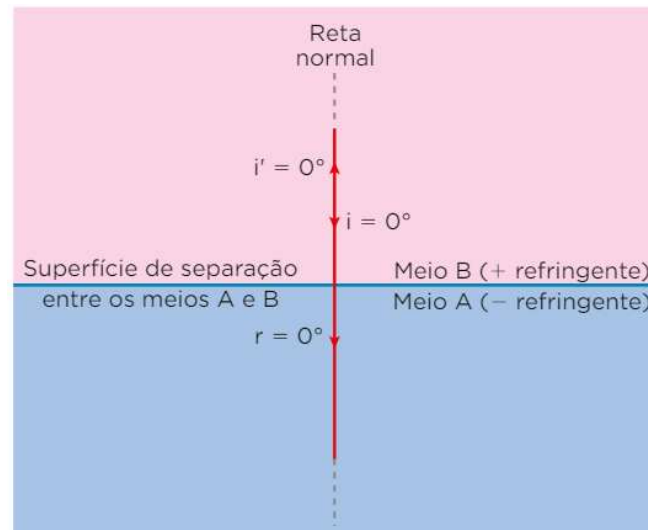
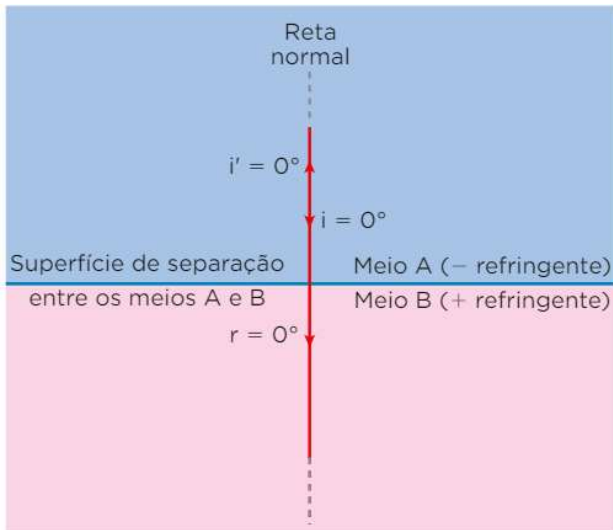
- **ÓPTICA GEOMÉTRICA**
- **CAPÍTULO 4 – REFRAÇÃO DA LUZ**
- Relembrando a refração
- Refringência e índice de refração
- **Leis da refração**
- Ângulo-limite e reflexão total
- Diopetro plano
- Prismas
- Lâminas de faces paralelas
- Lentes esféricas
 - Nomenclatura;
 - Comportamento óptico;
 - Lentes gaussianas;
 - Raios notáveis para lentes esféricas;
 - Formação da imagem nas lentes convergentes;
 - Formação da imagem nas lentes divergentes;
 - Estudo analítico das lentes esféricas;
 - Equação do fabricante de lentes e associação de lentes.

Capítulo 4 – Refração da luz

4.3 – Leis da refração

▪ Ângulo de incidência nulo

No caso em que o ângulo de incidência seja nulo ($i = 0^\circ$), o valor correspondente do ângulo de refração também será zero ($r = 0^\circ$). Nesse caso, a luz não apresenta desvio em sua trajetória, qualquer que seja o sentido de propagação.



Quando a luz incide sobre a reta normal, isto é, perpendicularmente à superfície de separação entre dois meios, não há desvio em sua trajetória.

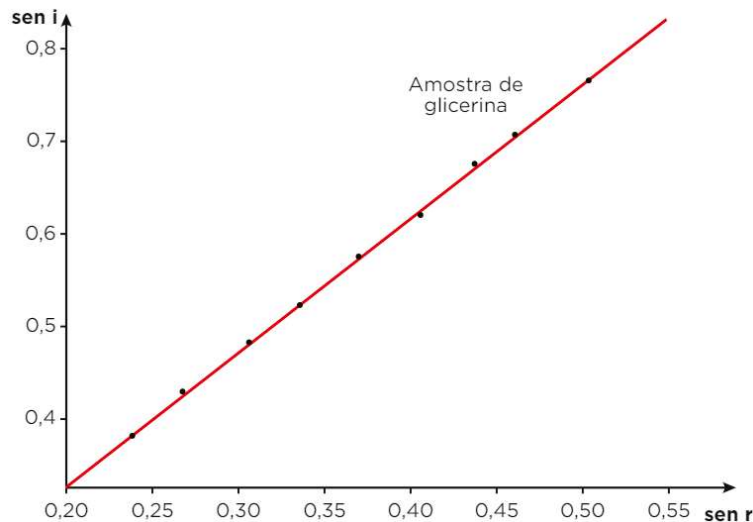
- **ÓPTICA GEOMÉTRICA**
- **CAPÍTULO 4 – REFRAÇÃO DA LUZ**
- Relembrando a refração
- Refringência e índice de refração
- **Leis da refração**
- Ângulo-limite e reflexão total
- Dioptro plano
- Prismas
- Lâminas de faces paralelas
- Lentes esféricas
 - Nomenclatura;
 - Comportamento óptico;
 - Lentes gaussianas;
 - Raios notáveis para lentes esféricas;
 - Formação da imagem nas lentes convergentes;
 - Formação da imagem nas lentes divergentes;
 - Estudo analítico das lentes esféricas;
 - Equação do fabricante de lentes e associação de lentes.

Capítulo 4 – Refração da luz

4.3 – Leis da refração

▪ Ângulo de incidência não nulo (incidência oblíqua)

Para os casos em que a incidência da luz seja oblíqua em relação à superfície de separação, é possível construir, experimentalmente, um gráfico do seno do ângulo de refração em função do seno do ângulo de incidência, como mostra o gráfico de uma amostra de glicerina.



$$\frac{\text{sen}(i)}{\text{sen}(r)} = \text{cte}$$

$$\frac{\text{sen}(i)}{\text{sen}(r)} = n_{2,1} = \frac{n_2}{n_1}$$

Assim, chegamos a:

$$\boxed{n_1 \text{ sen } i = n_2 \text{ sen } r}$$

em que n_1 é o índice de refração do meio A (meio de onde a luz provém) e n_2 é o índice de refração do meio B (meio para o qual a luz passa).

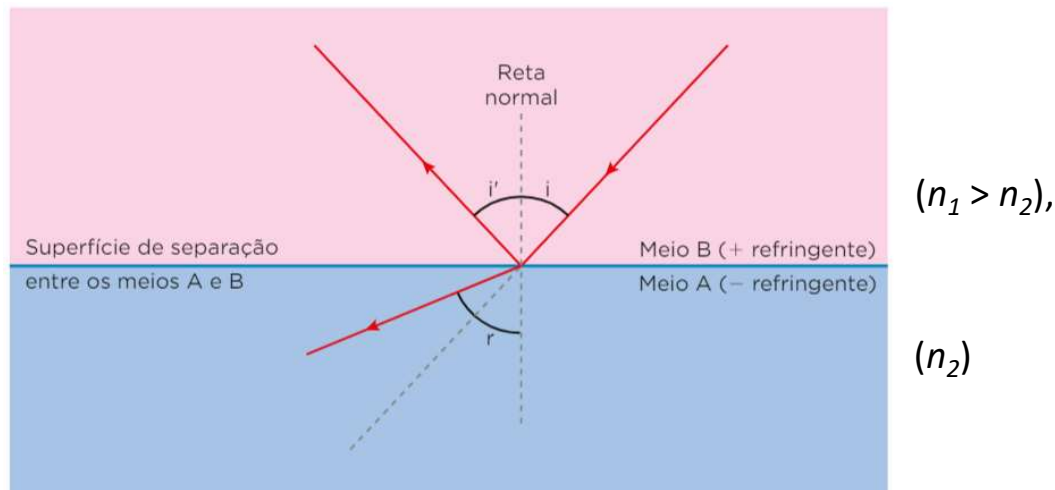
- **ÓPTICA GEOMÉTRICA**
- **CAPÍTULO 4 – REFRAÇÃO DA LUZ**
- Relembrando a refração
- Refringência e índice de refração
- **Leis da refração**
- Ângulo-limite e reflexão total
- Dioptro plano
- Prismas
- Lâminas de faces paralelas
- Lentes esféricas
 - Nomenclatura;
 - Comportamento óptico;
 - Lentes gaussianas;
 - Raios notáveis para lentes esféricas;
 - Formação da imagem nas lentes convergentes;
 - Formação da imagem nas lentes divergentes;
 - Estudo analítico das lentes esféricas;
 - Equação do fabricante de lentes e associação de lentes.

Capítulo 4 – Refração da luz

4.3 – Leis da refração

▪ Consequências da Lei de Snell-Descartes

Quando a luz incidindo obliquamente passa de um meio mais refringente para um meio menos refringente ($n_1 > n_2$), o raio de luz refratado modifica sua trajetória afastando-se da reta normal.



Quando a luz refrata obliquamente de um meio mais para outro menos refringente, **o raio refratado se afasta da reta normal.**

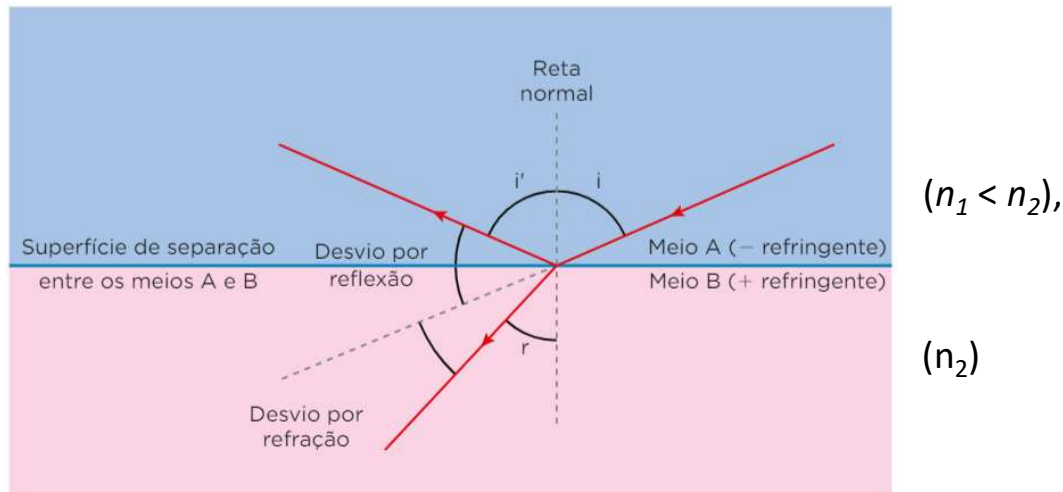
- ÓPTICA GEOMÉTRICA
- CAPÍTULO 4 – REFRAÇÃO DA LUZ
- Relembrando a refração
- Refringência e índice de refração
- Leis da refração
- Ângulo-limite e reflexão total
- Dioptro plano
- Prismas
- Lâminas de faces paralelas
- Lentes esféricas
 - Nomenclatura;
 - Comportamento óptico;
 - Lentes gaussianas;
 - Raios notáveis para lentes esféricas;
 - Formação da imagem nas lentes convergentes;
 - Formação da imagem nas lentes divergentes;
 - Estudo analítico das lentes esféricas;
 - Equação do fabricante de lentes e associação de lentes.

Capítulo 4 – Refração da luz

4.3 – Leis da refração

▪ Consequências da Lei de Snell-Descartes

Quando a luz, incidindo obliquamente, passa de um meio menos refringente para um meio mais refringente ($n_1 < n_2$), o raio refratado modifica sua trajetória aproximando-se da reta normal



Quando a luz refrata obliquamente de um meio menos para outro mais refringente, **o raio refratado se aproxima da reta normal.**

- **ÓPTICA GEOMÉTRICA**
- **CAPÍTULO 4 – REFRAÇÃO DA LUZ**
- Relembrando a refração
- Refringência e índice de refração
- **Leis da refração**
- Ângulo-limite e reflexão total
- Dioptro plano
- Prismas
- Lâminas de faces paralelas
- Lentes esféricas
 - Nomenclatura;
 - Comportamento óptico;
 - Lentes gaussianas;
 - Raios notáveis para lentes esféricas;
 - Formação da imagem nas lentes convergentes;
 - Formação da imagem nas lentes divergentes;
 - Estudo analítico das lentes esféricas;
 - Equação do fabricante de lentes e associação de lentes.

Capítulo 4 – Refração da luz

4.3 – Leis da refração

▪ Consequências da Lei de Snell-Descartes

Em resumo, para $i \neq 0$, temos:

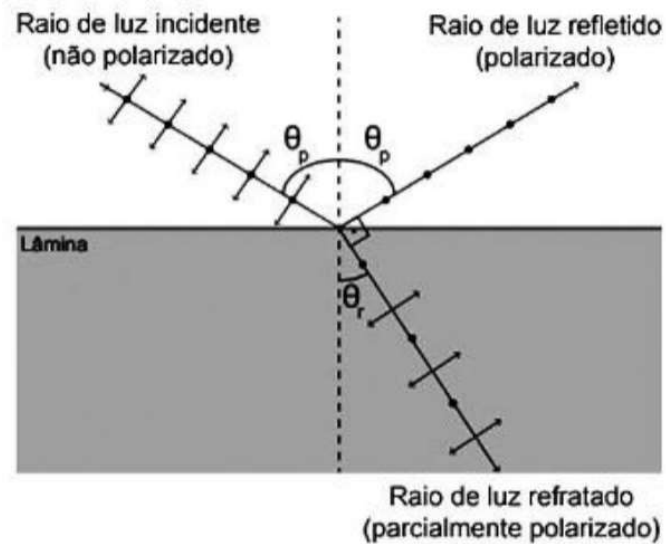
Quando a luz se propaga de um meio...	... o raio refratado...
(mais refringente) → (menos refringente)	... se afasta da reta normal.
(menos refringente) → (mais refringente)	... se aproxima da reta normal.

- **ÓPTICA GEOMÉTRICA**
- **CAPÍTULO 4 – REFRAÇÃO DA LUZ**
- Relembrando a refração
- Refringência e índice de refração
- **Leis da refração**
- Ângulo-limite e reflexão total
- Dioptro plano
- Prismas
- Lâminas de faces paralelas
- Lentes esféricas
 - Nomenclatura;
 - Comportamento óptico;
 - Lentes gaussianas;
 - Raios notáveis para lentes esféricas;
 - Formação da imagem nas lentes convergentes;
 - Formação da imagem nas lentes divergentes;
 - Estudo analítico das lentes esféricas;
 - Equação do fabricante de lentes e associação de lentes.

Capítulo 4 – Refração da luz

4.3 – Leis da refração

(Enem 2015) A fotografia feita sob luz polarizada é usada por dermatologistas para diagnósticos. Isso permite ver detalhes da superfície da pele que não são visíveis com o reflexo da luz branca comum. Para se obter luz polarizada, pode-se utilizar a luz transmitida por um polaroide ou a luz refletida por uma superfície na condição de Brewster, como mostra a figura. Nessa situação, o feixe da luz refratada forma um ângulo de 90° com o feixe da luz refletida, fenômeno conhecido como Lei de Brewster. Nesse caso, o ângulo da incidência θ_p , também chamado de ângulo de polarização, e o ângulo de refração θ_r estão em conformidade com a lei de Snell.



- ÓPTICA GEOMÉTRICA
- CAPÍTULO 4 – REFRAÇÃO DA LUZ
- Relembrando a refração
- Refringência e índice de refração
- Leis da refração
- Ângulo-limite e reflexão total
- Dioptra plano
- Prismas
- Lâminas de faces paralelas
- Lentes esféricas
 - Nomenclatura;
 - Comportamento óptico;
 - Lentes gaussianas;
 - Raios notáveis para lentes esféricas;
 - Formação da imagem nas lentes convergentes;
 - Formação da imagem nas lentes divergentes;
 - Estudo analítico das lentes esféricas;
 - Equação do fabricante de lentes e associação de lentes.

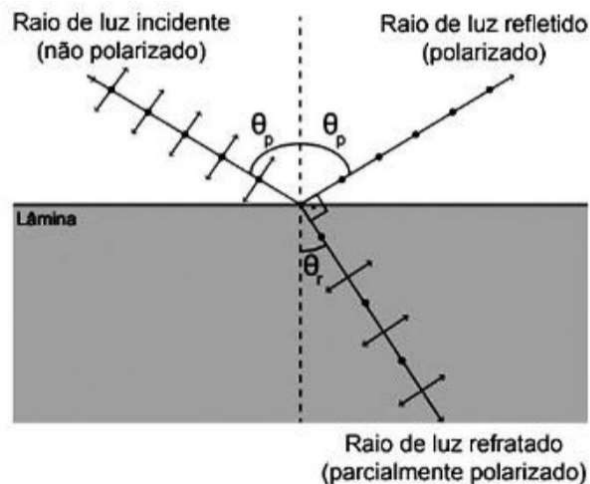
Capítulo 4 – Refração da luz

4.3 – Leis da refração

(Enem 2015)

Considere um feixe de luz não polarizada proveniente de um meio com índice de refração igual a 1, que incide sobre uma lâmina e faz um ângulo de refração θ_r de 30°

Nessa situação, qual deve ser o índice de refração da lâmina para que o feixe refletido seja polarizado?



Reprodução/Enem

- a) $\sqrt{3}$
- b) $\frac{\sqrt{3}}{3}$
- c) 2
- d) $\frac{1}{2}$
- e) $\frac{\sqrt{3}}{2}$

Aplicando a lei de Snell, temos:

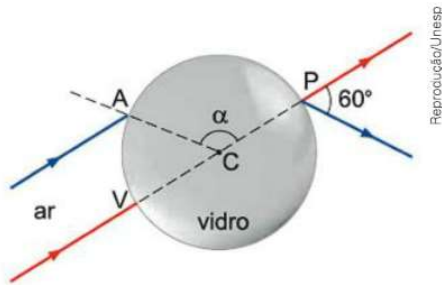
$$n_m \cdot \sin \theta_p = n_L \cdot \sin \theta_r \Rightarrow 1 \cdot \sin 60^\circ = n_L \cdot \sin 30^\circ \Rightarrow \\ \Rightarrow 1 \cdot \frac{\sqrt{3}}{2} = n_L \cdot \frac{1}{2} \Rightarrow n_L = \sqrt{3}$$

- **ÓPTICA GEOMÉTRICA**
- **CAPÍTULO 4 – REFRAÇÃO DA LUZ**
- Lembrando a refração
- Refringência e índice de refração
- **Leis da refração**
- Ângulo-limite e reflexão total
- Dioptro plano
- Prismas
- Lâminas de faces paralelas
- Lentes esféricas
 - Nomenclatura;
 - Comportamento óptico;
 - Lentes gaussianas;
 - Raios notáveis para lentes esféricas;
 - Formação da imagem nas lentes convergentes;
 - Formação da imagem nas lentes divergentes;
 - Estudo analítico das lentes esféricas;
 - Equação do fabricante de lentes e associação de lentes.

Capítulo 4 – Refração da luz

4.3 – Leis da refração

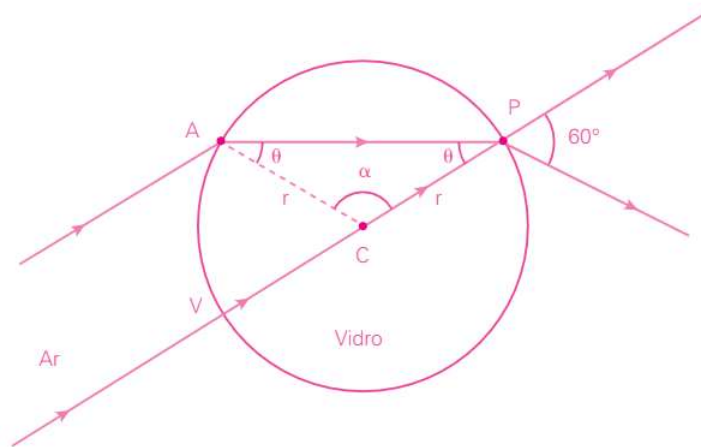
(Unesp) Dois raios luminosos monocromáticos, um azul e um vermelho, propagam-se no ar, paralelos entre si, e incidem sobre uma esfera maciça de vidro transparente de centro C e de índice de refração $\sqrt{3}$, nos pontos A e V . Após atravessarem a esfera, os raios emergem pelo ponto P , de modo que o ângulo entre eles é igual a 60° .



Considerando que o índice de refração absoluto do ar seja igual a 1, que $\sin 60^\circ = \frac{\sqrt{3}}{2}$ e que $\sin 30^\circ = \frac{1}{2}$ o ângulo α indicado na figura é igual a

- a) 90°
- b) 165°
- c) 20°
- d) 135°
- e) 150°

A figura mostra as trajetórias dos dois raios na parte interior da esfera.



Aplicando a lei de Snell-Descartes no ponto P , temos:

$$\frac{\sin i}{\sin r} = \frac{n_{\text{ar}}}{n_{\text{vidro}}} \Rightarrow \frac{\sin \theta}{\sin 60^\circ} = \frac{1}{\sqrt{3}} \Rightarrow \sin \theta = 0,5 \therefore \theta = 30^\circ$$

Como o triângulo ACP é isósceles, temos:

$$2\theta + \alpha = 180^\circ \Rightarrow 2 \cdot 30^\circ + \alpha = 180^\circ \Rightarrow \alpha = 120^\circ$$

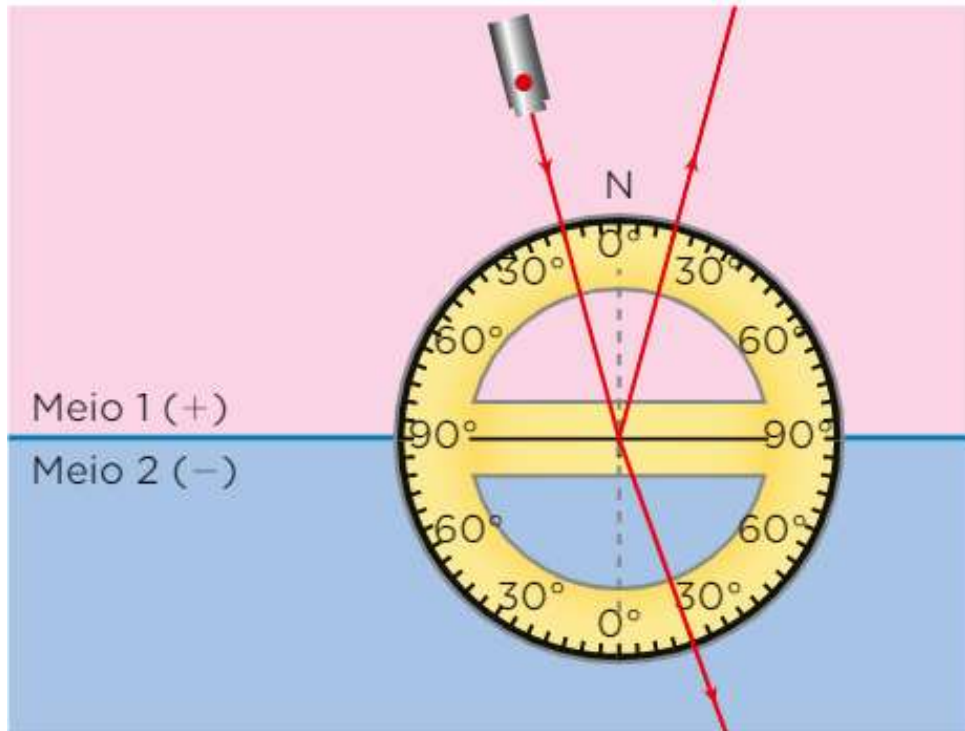
- **ÓPTICA GEOMÉTRICA**
- **CAPÍTULO 4 – REFRAÇÃO DA LUZ**
- Relembrando a refração
- Refringência e índice de refração
- **Leis da refração**
- **Ângulo-limite e reflexão total**
- **Dioptro plano**
- **Prismas**
- **Lâminas de faces paralelas**
- **Lentes esféricas**
 - Nomenclatura;
 - Comportamento óptico;
 - Lentes gaussianas;
 - Raios notáveis para lentes esféricas;
 - Formação da imagem nas lentes convergentes;
 - Formação da imagem nas lentes divergentes;
 - Estudo analítico das lentes esféricas;
 - Equação do fabricante de lentes e associação de lentes.

Capítulo 4 – Refração da luz

4.4 – Ângulo-limite e reflexão total

▪ Ângulo-limite

Na situação adiante temos um Dioptro plano composto pelos meios 1 (mais refringente) e 2 (menos refringente).



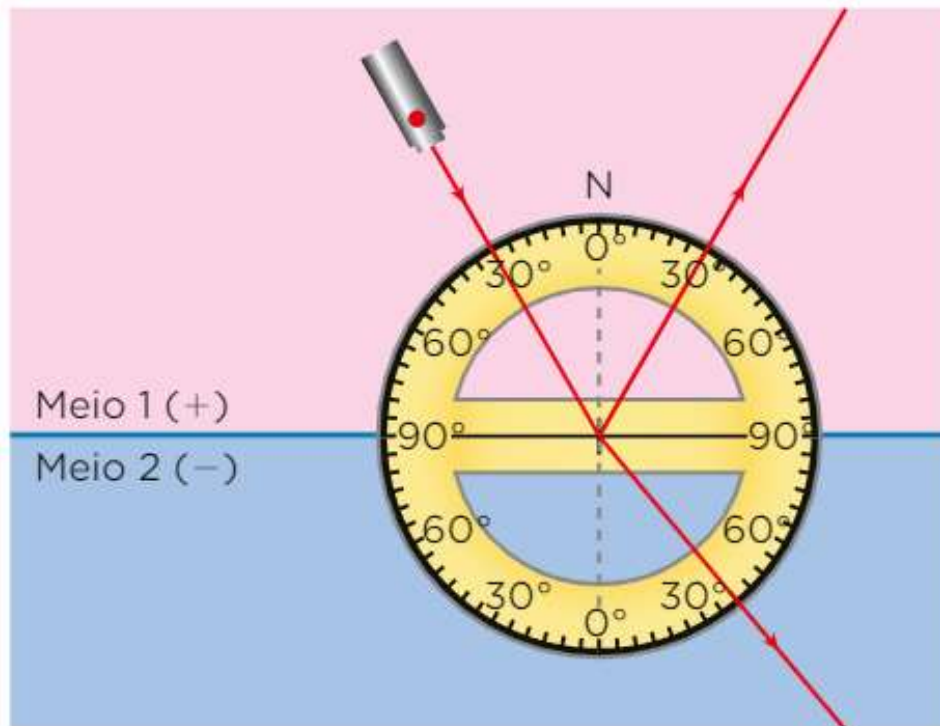
- **ÓPTICA GEOMÉTRICA**
- **CAPÍTULO 4 – REFRAÇÃO DA LUZ**
- Relembrando a refração
- Refringência e índice de refração
- Leis da refração
- **Ângulo-limite e reflexão total**
- Dioptro plano
- Prismas
- Lâminas de faces paralelas
- Lentes esféricas
 - Nomenclatura;
 - Comportamento óptico;
 - Lentes gaussianas;
 - Raios notáveis para lentes esféricas;
 - Formação da imagem nas lentes convergentes;
 - Formação da imagem nas lentes divergentes;
 - Estudo analítico das lentes esféricas;
 - Equação do fabricante de lentes e associação de lentes.

Capítulo 4 – Refração da luz

4.4 – Ângulo-limite e reflexão total

▪ Ângulo-limite

Na situação adiante temos um Dioptro plano composto pelos meios 1 (mais refringente) e 2 (menos refringente).



À medida que o ângulo de incidência aumenta, crescem os ângulos de reflexão e de refração

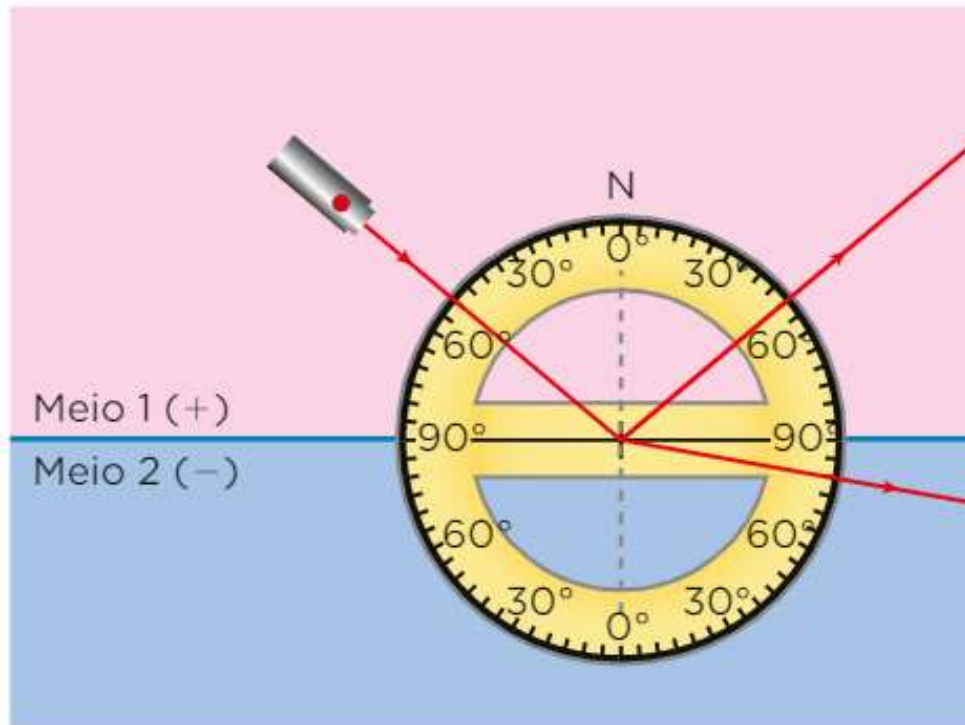
- **ÓPTICA GEOMÉTRICA**
- **CAPÍTULO 4 – REFRAÇÃO DA LUZ**
- Relembrando a refração
- Refringência e índice de refração
- Leis da refração
- **Ângulo-limite e reflexão total**
- Dioptro plano
- Prismas
- Lâminas de faces paralelas
- Lentes esféricas
 - Nomenclatura;
 - Comportamento óptico;
 - Lentes gaussianas;
 - Raios notáveis para lentes esféricas;
 - Formação da imagem nas lentes convergentes;
 - Formação da imagem nas lentes divergentes;
 - Estudo analítico das lentes esféricas;
 - Equação do fabricante de lentes e associação de lentes.

Capítulo 4 – Refração da luz

4.4 – Ângulo-limite e reflexão total

▪ Ângulo-limite

Na situação adiante temos um Dioptro plano composto pelos meios 1 (mais refringente) e 2 (menos refringente).



À medida que o ângulo de incidência aumenta, crescem os ângulos de reflexão e de refração

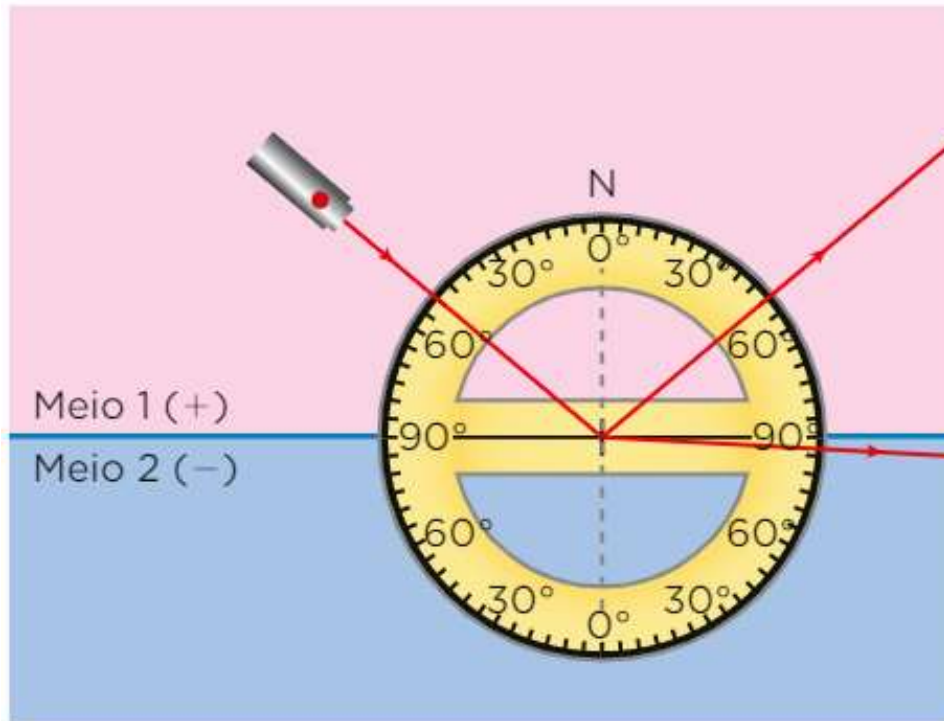
- **ÓPTICA GEOMÉTRICA**
- **CAPÍTULO 4 – REFRAÇÃO DA LUZ**
- Relembrando a refração
- Refringência e índice de refração
- Leis da refração
- **Ângulo-limite e reflexão total**
- Dioptro plano
- Prismas
- Lâminas de faces paralelas
- Lentes esféricas
 - Nomenclatura;
 - Comportamento óptico;
 - Lentes gaussianas;
 - Raios notáveis para lentes esféricas;
 - Formação da imagem nas lentes convergentes;
 - Formação da imagem nas lentes divergentes;
 - Estudo analítico das lentes esféricas;
 - Equação do fabricante de lentes e associação de lentes.

Capítulo 4 – Refração da luz

4.4 – Ângulo-limite e reflexão total

▪ Ângulo-limite

Na situação adiante temos um Dioptro plano composto pelos meios 1 (mais refringente) e 2 (menos refringente).



À medida que o ângulo de incidência aumenta, crescem os ângulos de reflexão e de refração

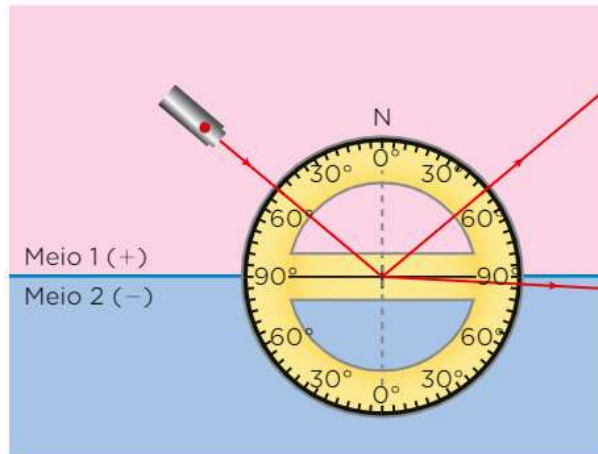
- **ÓPTICA GEOMÉTRICA**
- **CAPÍTULO 4 – REFRAÇÃO DA LUZ**
- Relembrando a refração
- Refringência e índice de refração
- Leis da refração
- **Ângulo-limite e reflexão total**
- Dioptro plano
- Prismas
- Lâminas de faces paralelas
- Lentes esféricas
 - Nomenclatura;
 - Comportamento óptico;
 - Lentes gaussianas;
 - Raios notáveis para lentes esféricas;
 - Formação da imagem nas lentes convergentes;
 - Formação da imagem nas lentes divergentes;
 - Estudo analítico das lentes esféricas;
 - Equação do fabricante de lentes e associação de lentes.

Capítulo 4 – Refração da luz

4.4 – Ângulo-limite e reflexão total

▪ Ângulo-limite

- Observando a sequência de ilustrações é possível concluir que, à medida que o ângulo de incidência aumenta, crescem também os ângulos de reflexão e de refração.
- À medida que o ângulo de incidência aumenta, o ângulo de refração tende ao valor máximo muito próximo de 90° .
- Nesse caso, o ângulo de incidência assume também o máximo valor possível, denominado **ângulo-limite (L)**, sob o qual ainda ocorre o fenômeno da refração.



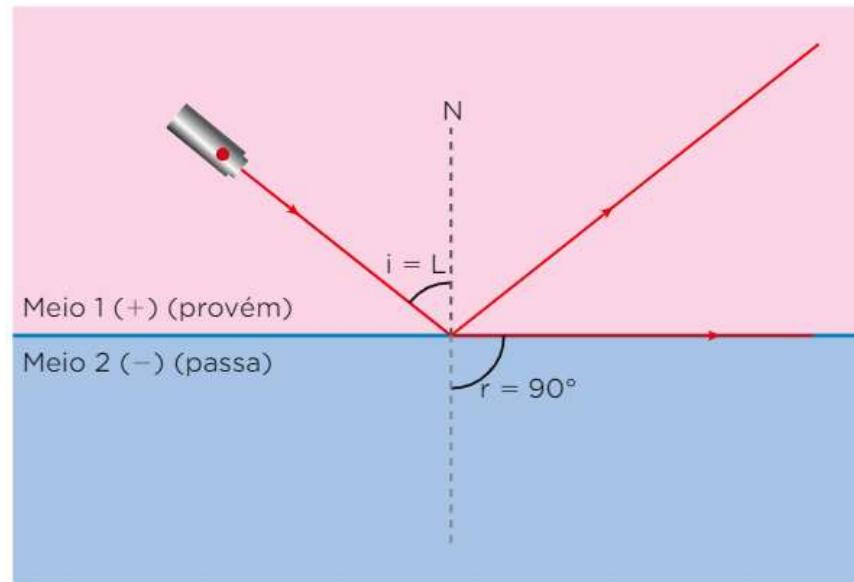
- **ÓPTICA GEOMÉTRICA**
- **CAPÍTULO 4 – REFRAÇÃO DA LUZ**
- Relembrando a refração
- Refringência e índice de refração
- Leis da refração
- **Ângulo-limite e reflexão total**
- Dioptra plano
- Prismas
- Lâminas de faces paralelas
- Lentes esféricas
 - Nomenclatura;
 - Comportamento óptico;
 - Lentes gaussianas;
 - Raios notáveis para lentes esféricas;
 - Formação da imagem nas lentes convergentes;
 - Formação da imagem nas lentes divergentes;
 - Estudo analítico das lentes esféricas;
 - Equação do fabricante de lentes e associação de lentes.

Capítulo 4 – Refração da luz

4.4 – Ângulo-limite e reflexão total

▪ Ângulo-limite

- Observando a sequência de ilustrações é possível concluir que, à medida que o ângulo de incidência aumenta, crescem também os ângulos de reflexão e de refração.
- À medida que o ângulo de incidência aumenta, o ângulo de refração tende ao valor máximo muito próximo de 90° .
- Nesse caso, o ângulo de incidência assume também o máximo valor possível, denominado **ângulo-limite (L)**, sob o qual ainda ocorre o fenômeno da refração.



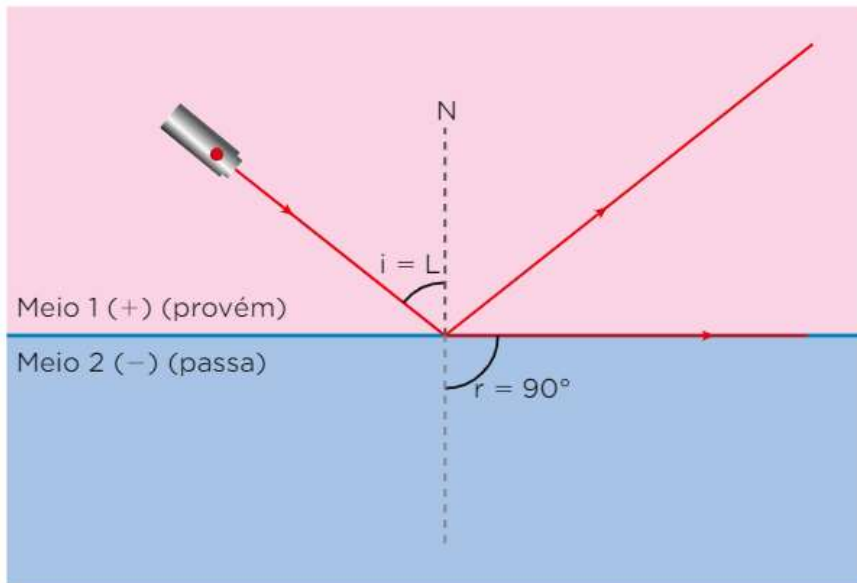
Na condição limite ($i = L$ e $r = 90^\circ$), o raio de luz se propaga junto à superfície de separação dos meios.

- **ÓPTICA GEOMÉTRICA**
- **CAPÍTULO 4 – REFRAÇÃO DA LUZ**
- Relembrando a refração
- Refringência e índice de refração
- Leis da refração
- **Ângulo-limite e reflexão total**
- Diopetro plano
- Prismas
- Lâminas de faces paralelas
- Lentes esféricas
 - Nomenclatura;
 - Comportamento óptico;
 - Lentes gaussianas;
 - Raios notáveis para lentes esféricas;
 - Formação da imagem nas lentes convergentes;
 - Formação da imagem nas lentes divergentes;
 - Estudo analítico das lentes esféricas;
 - Equação do fabricante de lentes e associação de lentes.

Capítulo 4 – Refração da luz

4.4 – Ângulo-limite e reflexão total

▪ Ângulo-limite



Na condição limite ($i = L$ e $r = 90^\circ$), o raio de luz se propaga junto à superfície de separação dos meios.

$$\text{sen } L = \frac{n_{\text{menor}}}{n_{\text{maior}}}$$

ou

$$\text{sen } L = \frac{n_{\text{passa}}}{n_{\text{provém}}}$$

ou

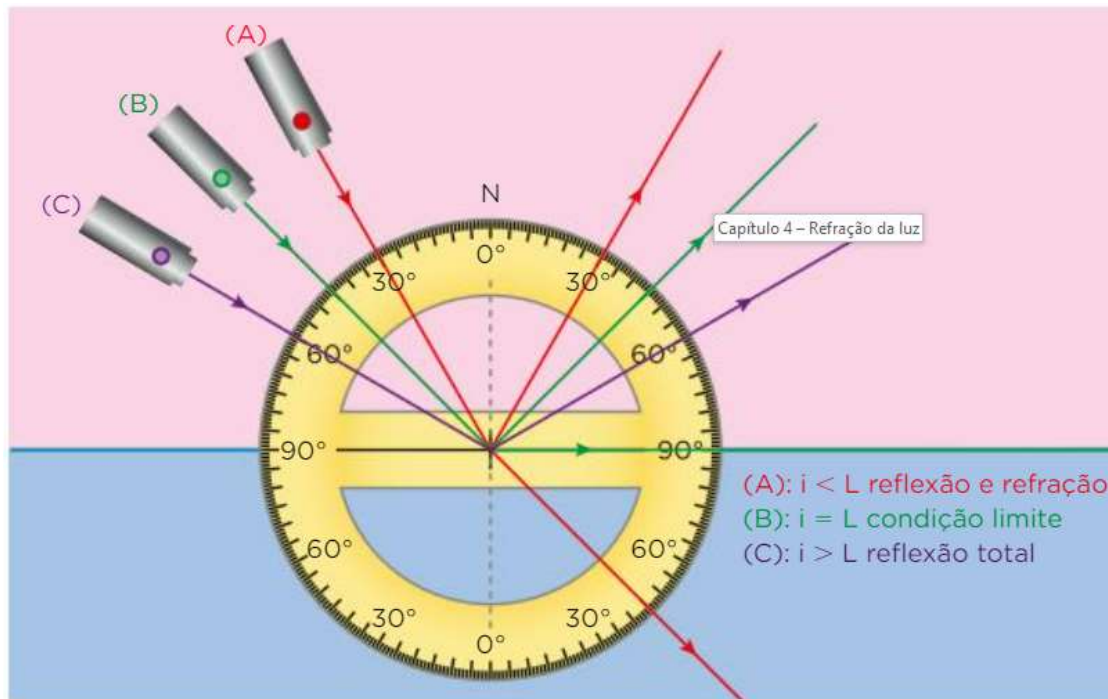
$$\text{sen } L = \frac{n_2}{n_1}$$

- **ÓPTICA GEOMÉTRICA**
- **CAPÍTULO 4 – REFRAÇÃO DA LUZ**
- Relembrando a refração
- Refringência e índice de refração
- Leis da refração
- **Ângulo-limite e reflexão total**
- Dioptra plano
- Prismas
- Lâminas de faces paralelas
- Lentes esféricas
 - Nomenclatura;
 - Comportamento óptico;
 - Lentes gaussianas;
 - Raios notáveis para lentes esféricas;
 - Formação da imagem nas lentes convergentes;
 - Formação da imagem nas lentes divergentes;
 - Estudo analítico das lentes esféricas;
 - Equação do fabricante de lentes e associação de lentes.

Capítulo 4 – Refração da luz

4.4 – Ângulo-limite e reflexão total

▪ Ângulo-limite



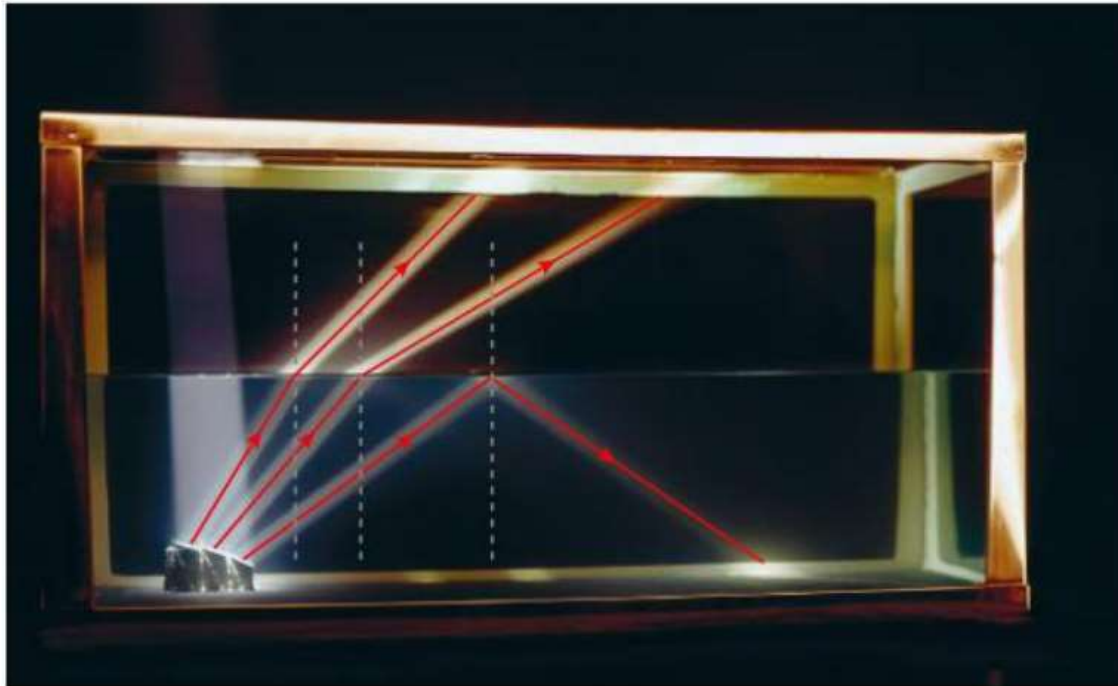
À medida que o ângulo de incidência aumenta, crescem os ângulos de reflexão e refração. Quando $i > L$, não há refração, isto é, ocorre reflexão total.

- ÓPTICA GEOMÉTRICA
- CAPÍTULO 4 – REFRAÇÃO DA LUZ
- Relembrando a refração
- Refringência e índice de refração
- Leis da refração
- Ângulo-limite e reflexão total
- Dioptra plano
- Prismas
- Lâminas de faces paralelas
- Lentes esféricas
 - Nomenclatura;
 - Comportamento óptico;
 - Lentes gaussianas;
 - Raios notáveis para lentes esféricas;
 - Formação da imagem nas lentes convergentes;
 - Formação da imagem nas lentes divergentes;
 - Estudo analítico das lentes esféricas;
 - Equação do fabricante de lentes e associação de lentes.

Capítulo 4 – Refração da luz

4.4 – Ângulo-limite e reflexão total

- Ângulo-limite



Ken Kay/Fundamental Photographs

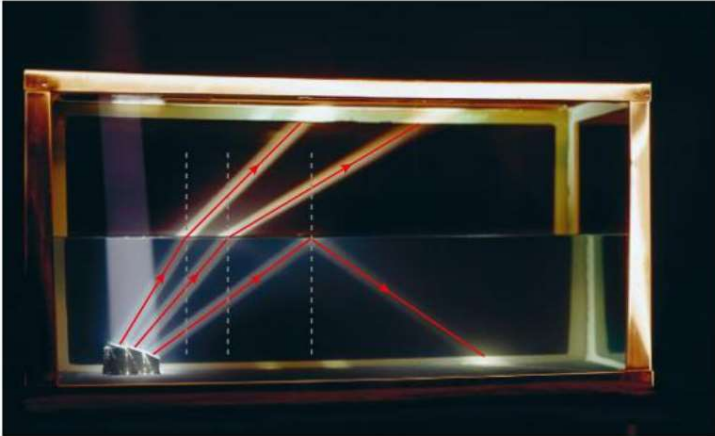
Quando o ângulo de incidência é maior que o limite, a luz sofre reflexão total.

- **ÓPTICA GEOMÉTRICA**
- **CAPÍTULO 4 – REFRAÇÃO DA LUZ**
- Relembrando a refração
- Refringência e índice de refração
- Leis da refração
- **Ângulo-limite e reflexão total**
- Dioptra plano
- Prismas
- Lâminas de faces paralelas
- Lentes esféricas
 - Nomenclatura;
 - Comportamento óptico;
 - Lentes gaussianas;
 - Raios notáveis para lentes esféricas;
 - Formação da imagem nas lentes convergentes;
 - Formação da imagem nas lentes divergentes;
 - Estudo analítico das lentes esféricas;
 - Equação do fabricante de lentes e associação de lentes.

Capítulo 4 – Refração da luz

4.4 – Ângulo-limite e reflexão total

▪ Ângulo-limite



- $i < L$, ocorre refração e reflexão parcial;
- $i = L$, o raio se propaga junto à superfície de separação dos meios (situação não relevante para a óptica geométrica);
- $i > L$, ocorre o fenômeno da reflexão total.

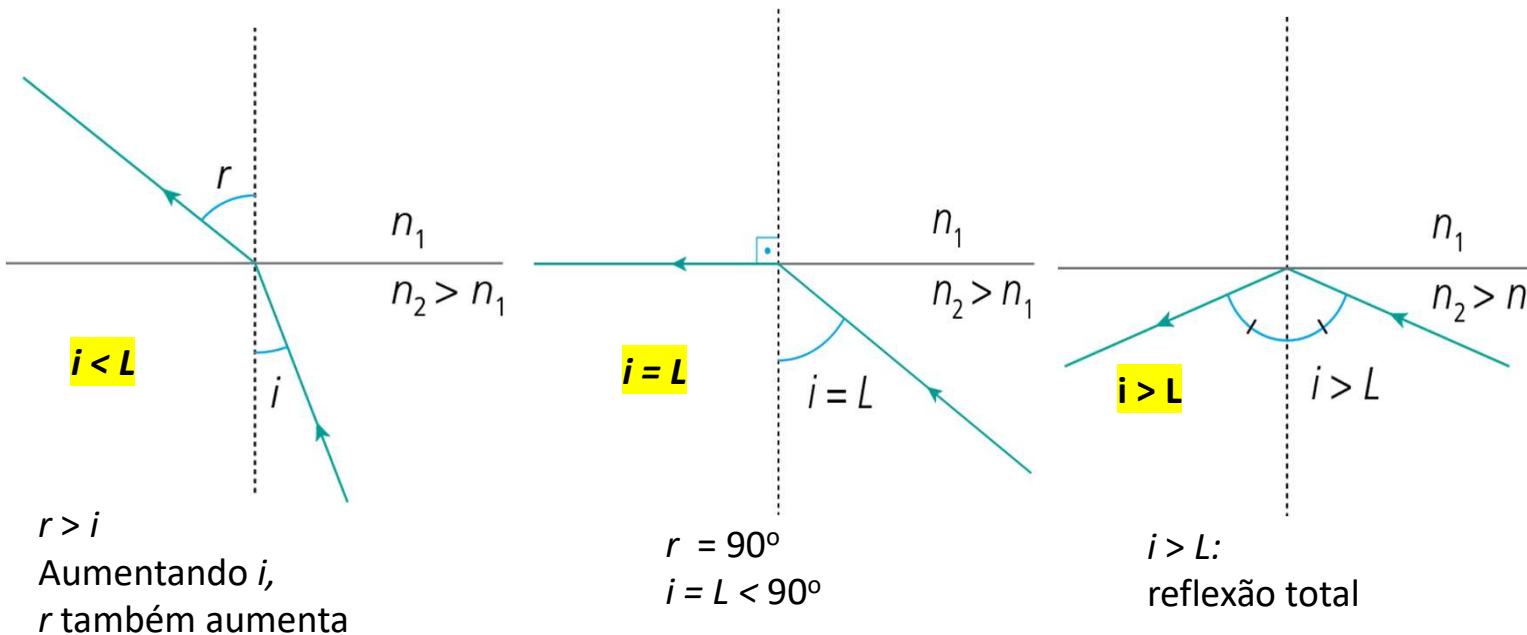
- **ÓPTICA GEOMÉTRICA**
- **CAPÍTULO 4 – REFRAÇÃO DA LUZ**
- Lembrando a refração
- Refringência e índice de refração
- Leis da refração
- **Ângulo-limite e reflexão total**
- Dioptro plano
- Prismas
- Lâminas de faces paralelas
- Lentes esféricas
 - Nomenclatura;
 - Comportamento óptico;
 - Lentes gaussianas;
 - Raios notáveis para lentes esféricas;
 - Formação da imagem nas lentes convergentes;
 - Formação da imagem nas lentes divergentes;
 - Estudo analítico das lentes esféricas;
 - Equação do fabricante de lentes e associação de lentes.

Capítulo 4 – Refração da luz

4.4 – Ângulo-limite e reflexão total

▪ Ângulo-limite

- A luz deve propagar-se no sentido do meio mais refringente para o meio menos refringente.
- O ângulo de incidência deve superar o ângulo limite: $i > L$.



ADILSON SECCO

- ÓPTICA GEOMÉTRICA
- CAPÍTULO 4 – REFRAÇÃO DA LUZ
- Relembrando a refração
- Refringência e índice de refração
- Leis da refração
- Ângulo-limite e reflexão total
- Dioptro plano
- Prismas
- Lâminas de faces paralelas
- Lentes esféricas
 - Nomenclatura;
 - Comportamento óptico;
 - Lentes gaussianas;
 - Raios notáveis para lentes esféricas;
 - Formação da imagem nas lentes convergentes;
 - Formação da imagem nas lentes divergentes;
 - Estudo analítico das lentes esféricas;
 - Equação do fabricante de lentes e associação de lentes.

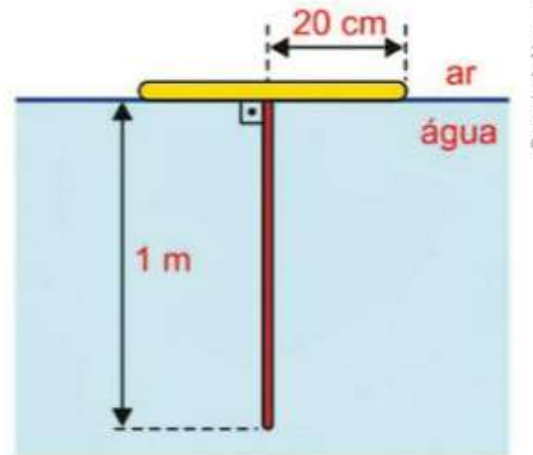
Capítulo 4 – Refração da luz

4.4 – Ângulo-limite e reflexão total

(Unesp) Dentro de uma piscina, um tubo retilíneo luminescente, com 1 m de comprimento, pende, verticalmente, a partir do centro de uma boia circular opaca, de 20 cm de raio. A boia flutua, em equilíbrio, na superfície da água da piscina, como representa a figura.

Sabendo que o índice de refração absoluto do ar é 1,00 e que o índice de refração absoluto da água da piscina é 1,25 a parte visível desse tubo, para as pessoas que estiverem fora da piscina, terá comprimento máximo igual a

- a) 45 cm.
- b) 85 cm.
- c) 15 cm.
- d) 35 cm.
- e) 65 cm.



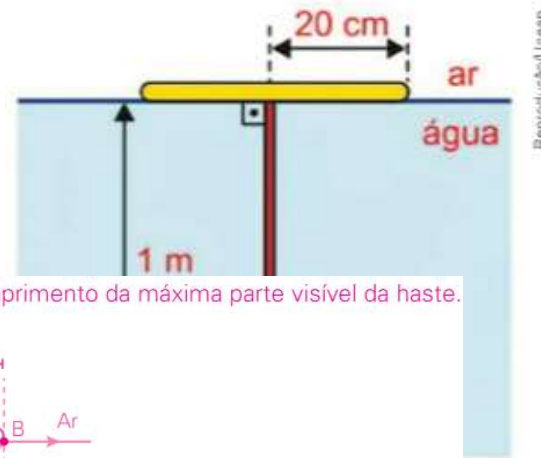
- **ÓPTICA GEOMÉTRICA**
- **CAPÍTULO 4 – REFRAÇÃO DA LUZ**
- Relembrando a refração
- Refringência e índice de refração
- Leis da refração
- **Ângulo-limite e reflexão total**
- Dioptro plano
- Prismas
- Lâminas de faces paralelas
- Lentes esféricas
 - Nomenclatura;
 - Comportamento óptico;
 - Lentes gaussianas;
 - Raios notáveis para lentes esféricas;
 - Formação da imagem nas lentes convergentes;
 - Formação da imagem nas lentes divergentes;
 - Estudo analítico das lentes esféricas;
 - Equação do fabricante de lentes e associação de lentes.

Capítulo 4 – Refração da luz

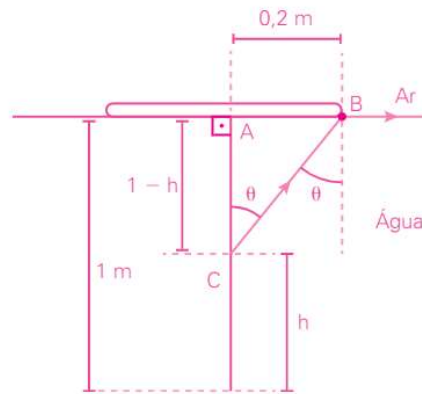
4.4 – Ângulo-limite e reflexão total

Sabendo que o índice de refração absoluto do ar é 1,00 e que o índice de refração absoluto da água da piscina é 1,25 a parte visível desse tubo, para as pessoas que estiverem fora da piscina, terá comprimento máximo igual a

- a) 45 cm.
- b) 85 cm.**
- c) 15 cm.
- d) 35 cm.
- e) 65 cm.



De acordo com a figura, o ângulo θ é o ângulo limite e h é o comprimento da máxima parte visível da haste.



Usando a lei de Snell-Descartes, temos, considerando $i = \theta$:

$$\frac{\text{sen } \theta}{\text{sen } r} = \frac{n_{\text{ar}}}{n_{\text{água}}} \Rightarrow \frac{\text{sen } \theta}{\text{sen } 90^\circ} = \frac{1}{1,25} \Rightarrow \text{sen } \theta = 0,8$$

De acordo com a relação fundamental da Trigonometria, $\cos \theta = 0,6$.

No triângulo retângulo ABC:

$$\text{tg } \theta = \frac{0,2}{1 - h} \Rightarrow \frac{\text{sen } \theta}{\cos \theta} = \frac{0,2}{1 - h} \Rightarrow \frac{0,8}{0,6} = \frac{0,2}{1 - h} \therefore h = 0,85 \text{ m} = 85 \text{ cm}$$

- **ÓPTICA GEOMÉTRICA**
- **CAPÍTULO 4 – REFRAÇÃO DA LUZ**
- Lembrando a refração
- Refringência e índice de refração
- Leis da refração
- **Ângulo-limite e reflexão total**
- Dioptro plano
- Prismas
- Lâminas de faces paralelas
- Lentes esféricas
 - Nomenclatura;
 - Comportamento óptico;
 - Lentes gaussianas;
 - Raios notáveis para lentes esféricas;
 - Formação da imagem nas lentes convergentes;
 - Formação da imagem nas lentes divergentes;
 - Estudo analítico das lentes esféricas;
 - Equação do fabricante de lentes e associação de lentes.

Capítulo 4 – Refração da luz

4.4 – Ângulo-limite e reflexão total

- Aplicações da reflexão total - Miragem

Kim Christensen/Shutterstock



A superfície do asfalto, situada longe do observador, parece molhada devido ao fenômeno da miragem.

- **ÓPTICA GEOMÉTRICA**
- **CAPÍTULO 4 – REFRAÇÃO DA LUZ**
- Relembrando a refração
- Refringência e índice de refração
- Leis da refração
- **Ângulo-limite e reflexão total**
- Dioptra plano
- Prismas
- Lâminas de faces paralelas
- Lentes esféricas
 - Nomenclatura;
 - Comportamento óptico;
 - Lentes gaussianas;
 - Raios notáveis para lentes esféricas;
 - Formação da imagem nas lentes convergentes;
 - Formação da imagem nas lentes divergentes;
 - Estudo analítico das lentes esféricas;
 - Equação do fabricante de lentes e associação de lentes.

Capítulo 4 – Refração da luz

4.4 – Ângulo-limite e reflexão total

- Aplicações da reflexão total - Miragem
- Nas rodovias asfaltadas é possível observar o fenômeno óptico da miragem. A luz reflete na superfície como se houvesse água sobre o asfalto, como mostra a imagem ao lado.
- Quando a temperatura do asfalto é alta, o ar próximo a ele também está aquecido.
- Quanto maior a temperatura do ar, menor é o seu índice de refração. Dessa forma, quando a luz incide sobre a interface entre o “ar frio” e o “ar quente”, ela provém de um meio mais refringente para outro meio menos refringente.
- Se o ângulo de incidência for maior que o limite, ocorre reflexão total.



A superfície do asfalto, situada longe do observador, parece molhada devido ao fenômeno da miragem.

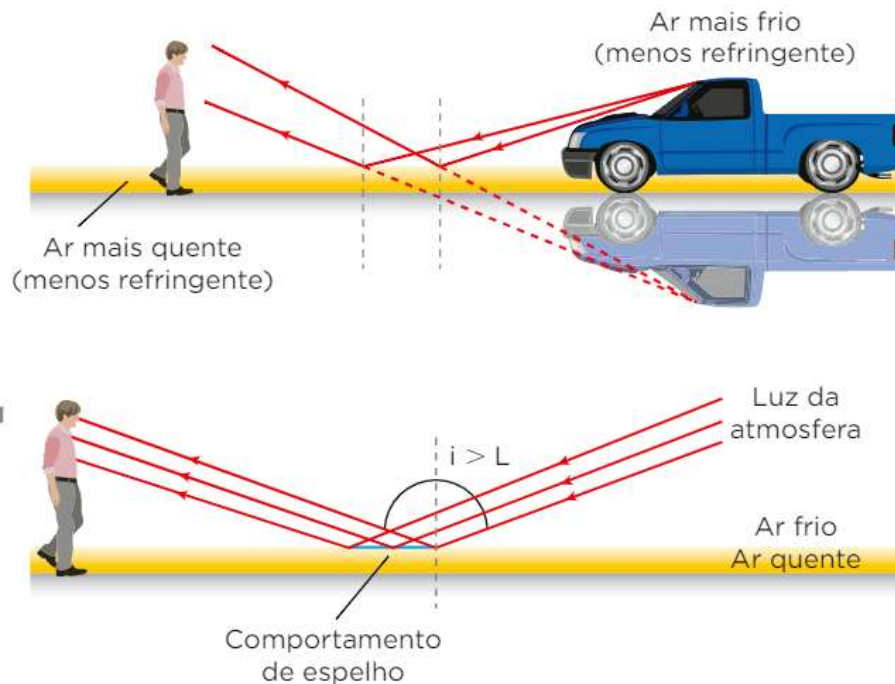
- **ÓPTICA GEOMÉTRICA**
- **CAPÍTULO 4 – REFRAÇÃO DA LUZ**
- Relembrando a refração
- Refringência e índice de refração
- Leis da refração
- **Ângulo-limite e reflexão total**
- Diopetro plano
- Prismas
- Lâminas de faces paralelas
- Lentes esféricas
 - Nomenclatura;
 - Comportamento óptico;
 - Lentes gaussianas;
 - Raios notáveis para lentes esféricas;
 - Formação da imagem nas lentes convergentes;
 - Formação da imagem nas lentes divergentes;
 - Estudo analítico das lentes esféricas;
 - Equação do fabricante de lentes e associação de lentes.

Capítulo 4 – Refração da luz

4.4 – Ângulo-limite e reflexão total

▪ Aplicações da reflexão total - Miragem

A figura a seguir ilustra a posição do observador, os raios luminosos que partem do carro e experimentam a reflexão total na interface entre o “ar frio e o ar quente”.



Ocorre reflexão total na interface entre o ar mais frio e o ar mais quente, ocasionando a sensação de espelhamento.

- **ÓPTICA GEOMÉTRICA**
- **CAPÍTULO 4 – REFRAÇÃO DA LUZ**
- Relembrando a refração
- Refringência e índice de refração
- Leis da refração
- **Ângulo-limite e reflexão total**
- Dioptro plano
- Prismas
- Lâminas de faces paralelas
- Lentes esféricas
 - Nomenclatura;
 - Comportamento óptico;
 - Lentes gaussianas;
 - Raios notáveis para lentes esféricas;
 - Formação da imagem nas lentes convergentes;
 - Formação da imagem nas lentes divergentes;
 - Estudo analítico das lentes esféricas;
 - Equação do fabricante de lentes e associação de lentes.

Capítulo 4 – Refração da luz

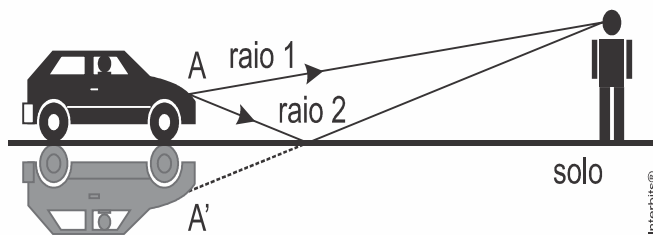
4.4 – Ângulo-limite e reflexão total

(Enem PPL 2014) As miragens existem e podem induzir à percepção de que há água onde não existe. Elas são a manifestação de um fenômeno óptico que ocorre na atmosfera.

Disponível em: www.invivo.fiocruz.br. Acesso em: 29 fev. 2012.

Esse fenômeno óptico é consequência da

- a) refração da luz nas camadas de ar próximas do chão quente.
- b) reflexão da luz ao incidir no solo quente.
- c) reflexão difusa da luz na superfície rugosa.
- d) dispersão da luz nas camadas de ar próximas do chão quente.
- e) difração da luz nas camadas de ar próximas do chão quente.



A figura ilustra a situação mostrando dois raios de luz recebidos pelo observador. O raio 1 por incidência direta e o raio 2, após **reflexão total** nas camadas de ar próximas do chão quente.

- **ÓPTICA GEOMÉTRICA**
- **CAPÍTULO 4 – REFRAÇÃO DA LUZ**
- Relembrando a refração
- Refringência e índice de refração
- Leis da refração
- **Ângulo-limite e reflexão total**
- Diopetro plano
- Prismas
- Lâminas de faces paralelas
- Lentes esféricas
 - Nomenclatura;
 - Comportamento óptico;
 - Lentes gaussianas;
 - Raios notáveis para lentes esféricas;
 - Formação da imagem nas lentes convergentes;
 - Formação da imagem nas lentes divergentes;
 - Estudo analítico das lentes esféricas;
 - Equação do fabricante de lentes e associação de lentes.

Capítulo 4 – Refração da luz

4.4 – Ângulo-limite e reflexão total

(Enem 2015) Será que uma miragem ajudou a afundar o Titanic? O fenômeno ótico conhecido como Fata Morgana pode fazer com que uma falsa parede de água apareça sobre o horizonte molhado. Quando as condições são favoráveis, a luz refletida pela água fria pode ser desviada por uma camada incomum de ar quente acima, chegando até o observador, vinda de muitos ângulos diferentes. De acordo com estudos de pesquisadores da Universidade de San Diego, uma Fata Morgana pode ter obscurecido os *icebergs* da visão da tripulação que estava a bordo do Titanic. Dessa forma, a certa distância, o horizonte verdadeiro fica encoberto por uma névoa escurecida, que se parece muito com águas calmas no escuro.

Disponível em: <http://apod.nasa.gov>. Acesso em: 6 set. 2012 (adaptado).

O fenômeno ótico que, segundo os pesquisadores, provoca a Fata Morgana é a

- a) ressonância.
- b) refração.
- c) difração.
- d) reflexão.
- e) difusão.

- **ÓPTICA GEOMÉTRICA**
- **CAPÍTULO 4 – REFRAÇÃO DA LUZ**
- Relembrando a refração
- Refringência e índice de refração
- Leis da refração
- **Ângulo-limite e reflexão total**
- Diopetro plano
- Prismas
- Lâminas de faces paralelas
- Lentes esféricas
 - Nomenclatura;
 - Comportamento óptico;
 - Lentes gaussianas;
 - Raios notáveis para lentes esféricas;
 - Formação da imagem nas lentes convergentes;
 - Formação da imagem nas lentes divergentes;
 - Estudo analítico das lentes esféricas;
 - Equação do fabricante de lentes e associação de lentes.

Capítulo 4 – Refração da luz

4.4 – Ângulo-limite e reflexão total

(Enem 2015)

O fenômeno óptico que, segundo os pesquisadores, provoca a Fata Morgana é a

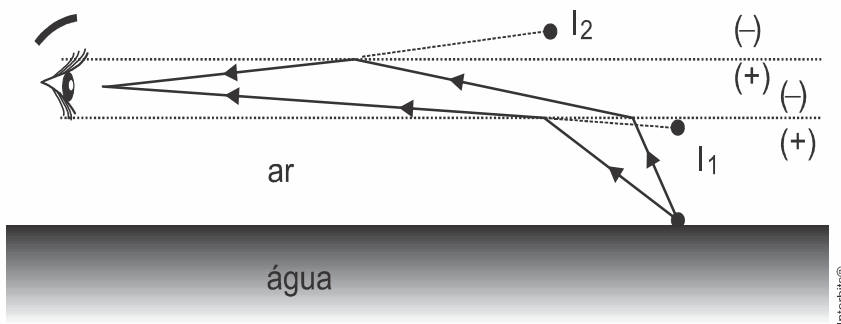
a) ressonância.

b) refração.

c) difração.

d) reflexão.

e) difusão.



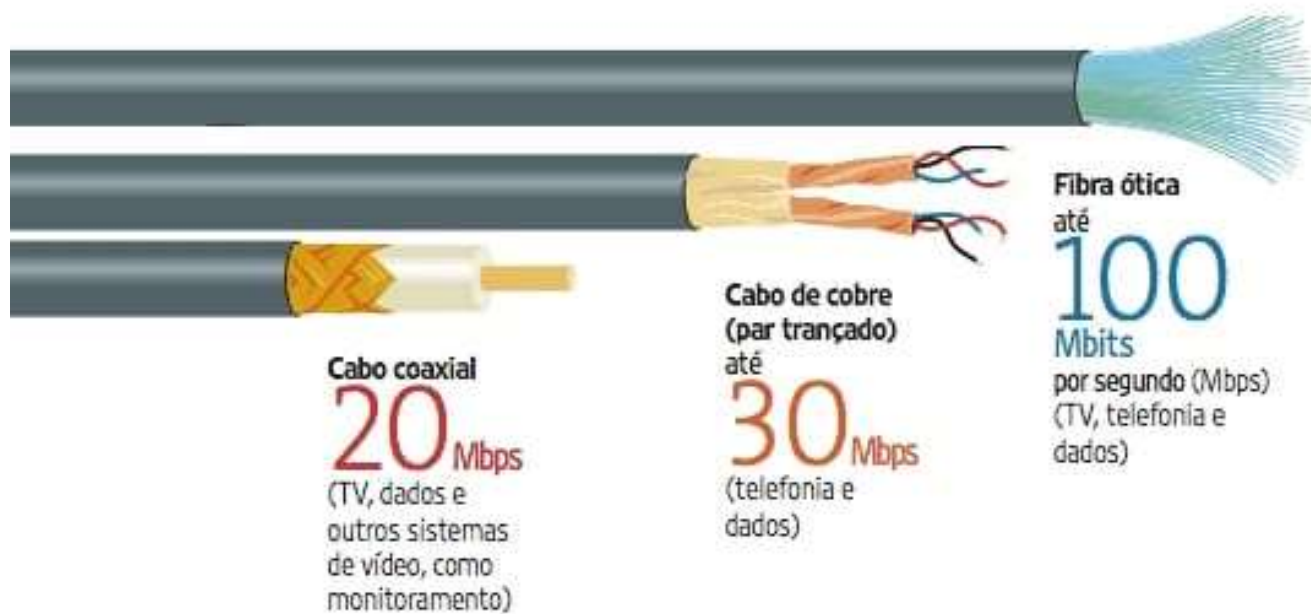
A figura ilustra dois raios que atingem o olho do observador vindos de diferentes direções, provocando duas imagens em diferentes posições, mostrando que o fenômeno óptico da Fata Morgana pode ocorrer por refração e por reflexão (total), dando margem a duas respostas.

- ÓPTICA GEOMÉTRICA
- CAPÍTULO 4 – REFRAÇÃO DA LUZ
- Relembrando a refração
- Refringência e índice de refração
- Leis da refração
- Ângulo-limite e reflexão total
- Diopetro plano
- Prismas
- Lâminas de faces paralelas
- Lentes esféricas
 - Nomenclatura;
 - Comportamento óptico;
 - Lentes gaussianas;
 - Raios notáveis para lentes esféricas;
 - Formação da imagem nas lentes convergentes;
 - Formação da imagem nas lentes divergentes;
 - Estudo analítico das lentes esféricas;
 - Equação do fabricante de lentes e associação de lentes.

Capítulo 4 – Refração da luz

4.4 – Ângulo-limite e reflexão total

- Aplicações da reflexão total – Fibra óptica

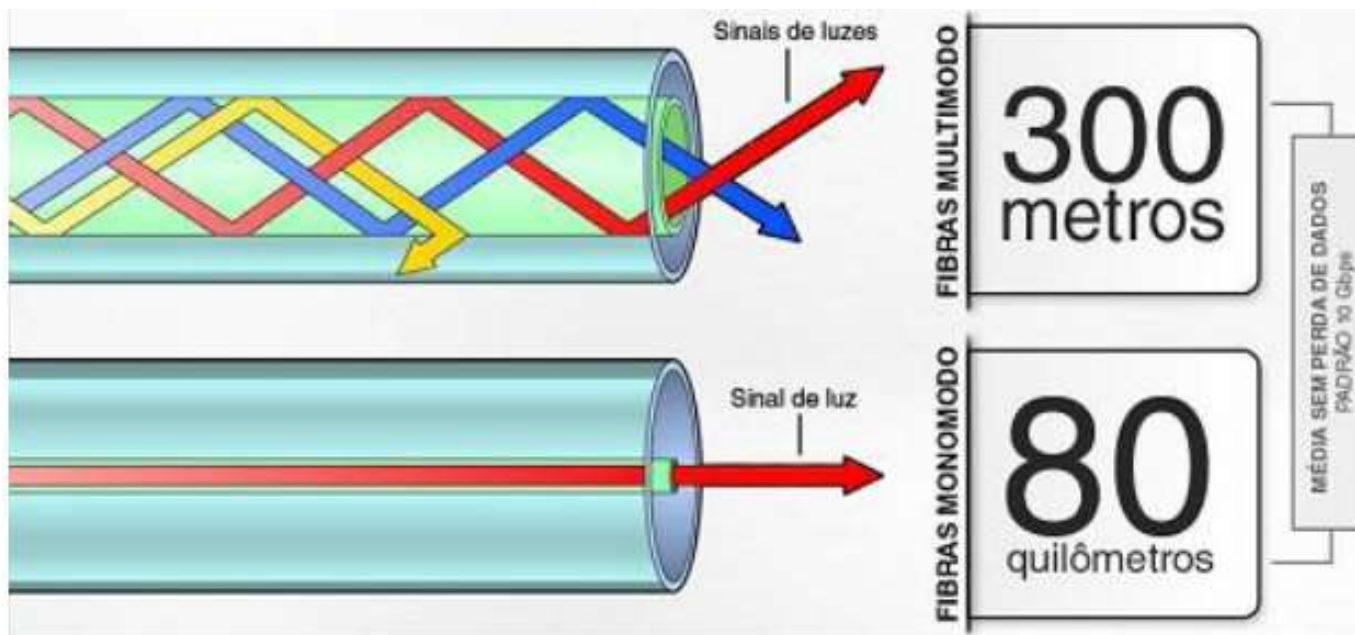


- **ÓPTICA GEOMÉTRICA**
- **CAPÍTULO 4 – REFRAÇÃO DA LUZ**
- Relembrando a refração
- Refringência e índice de refração
- Leis da refração
- **Ângulo-limite e reflexão total**
- Diopetro plano
- Prismas
- Lâminas de faces paralelas
- Lentes esféricas
 - Nomenclatura;
 - Comportamento óptico;
 - Lentes gaussianas;
 - Raios notáveis para lentes esféricas;
 - Formação da imagem nas lentes convergentes;
 - Formação da imagem nas lentes divergentes;
 - Estudo analítico das lentes esféricas;
 - Equação do fabricante de lentes e associação de lentes.

Capítulo 4 – Refração da luz

4.4 – Ângulo-limite e reflexão total

- Aplicações da reflexão total – Fibra óptica

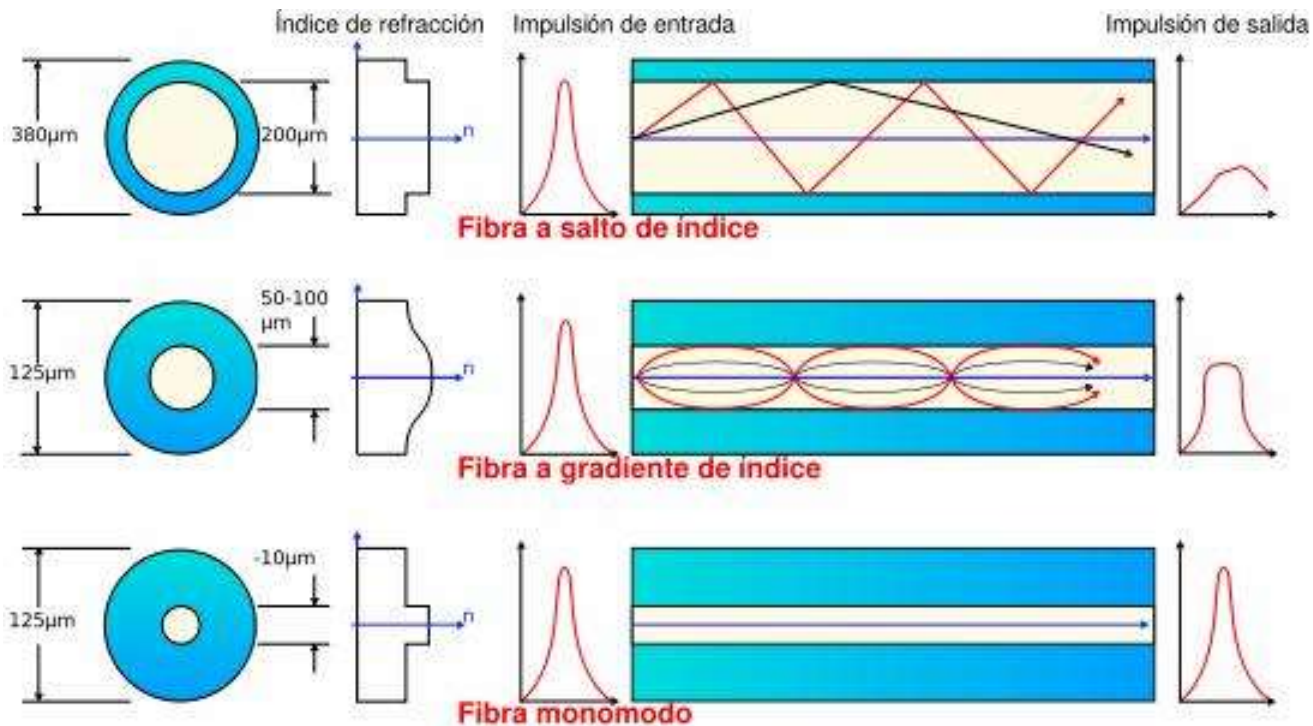


- **ÓPTICA GEOMÉTRICA**
- **CAPÍTULO 4 – REFRAÇÃO DA LUZ**
- Relembrando a refração
- Refringência e índice de refração
- Leis da refração
- **Ângulo-limite e reflexão total**
- Dioptra plano
- Prismas
- Lâminas de faces paralelas
- Lentes esféricas
 - Nomenclatura;
 - Comportamento óptico;
 - Lentes gaussianas;
 - Raios notáveis para lentes esféricas;
 - Formação da imagem nas lentes convergentes;
 - Formação da imagem nas lentes divergentes;
 - Estudo analítico das lentes esféricas;
 - Equação do fabricante de lentes e associação de lentes.

Capítulo 4 – Refração da luz

4.4 – Ângulo-limite e reflexão total

▪ Aplicações da reflexão total – Fibra óptica



- **ÓPTICA GEOMÉTRICA**
- **CAPÍTULO 4 – REFRAÇÃO DA LUZ**
- Relembrando a refração
- Refringência e índice de refração
- Leis da refração
- **Ângulo-limite e reflexão total**
- Diopetro plano
- Prismas
- Lâminas de faces paralelas
- Lentes esféricas
 - Nomenclatura;
 - Comportamento óptico;
 - Lentes gaussianas;
 - Raios notáveis para lentes esféricas;
 - Formação da imagem nas lentes convergentes;
 - Formação da imagem nas lentes divergentes;
 - Estudo analítico das lentes esféricas;
 - Equação do fabricante de lentes e associação de lentes.

Capítulo 4 – Refração da luz

4.4 – Ângulo-limite e reflexão total

- Aplicações da reflexão total – Fibra óptica



Emenda de fibra óptica

- **ÓPTICA GEOMÉTRICA**
- **CAPÍTULO 4 – REFRAÇÃO DA LUZ**
- Relembrando a refração
- Refringência e índice de refração
- Leis da refração
- **Ângulo-limite e reflexão total**
- Diopetro plano
- Prismas
- Lâminas de faces paralelas
- Lentes esféricas
 - Nomenclatura;
 - Comportamento óptico;
 - Lentes gaussianas;
 - Raios notáveis para lentes esféricas;
 - Formação da imagem nas lentes convergentes;
 - Formação da imagem nas lentes divergentes;
 - Estudo analítico das lentes esféricas;
 - Equação do fabricante de lentes e associação de lentes.

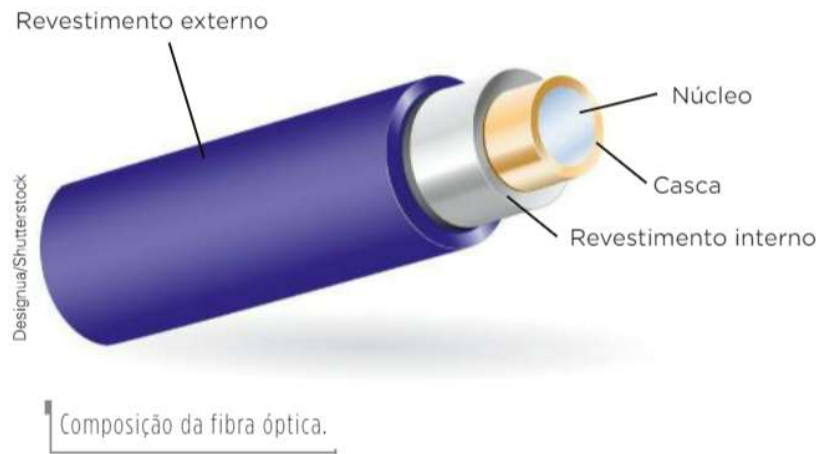
Capítulo 4 – Refração da luz

4.4 – Ângulo-limite e reflexão total

▪ Aplicações da reflexão total – Fibra óptica

A fibra óptica é um exemplo importante da aplicação prática do fenômeno da reflexão total. De grande utilidade na transmissão de informações por meio de ondas eletromagnéticas, a fibra óptica é constituída por um finíssimo filamento de vidro, de náilon ou de silicone que compõe o núcleo da fibra.

Externamente ao núcleo, uma casca circunda um núcleo cilíndrico. Ambos são protegidos por revestimentos, como mostra a figura.



- **ÓPTICA GEOMÉTRICA**
- **CAPÍTULO 4 – REFRAÇÃO DA LUZ**
- Relembrando a refração
- Refringência e índice de refração
- Leis da refração
- **Ângulo-limite e reflexão total**
- Diopetro-plano
- Prismas
- Lâminas de faces paralelas
- Lentes esféricas
 - Nomenclatura;
 - Comportamento óptico;
 - Lentes gaussianas;
 - Raios notáveis para lentes esféricas;
 - Formação da imagem nas lentes convergentes;
 - Formação da imagem nas lentes divergentes;
 - Estudo analítico das lentes esféricas;
 - Equação do fabricante de lentes e associação de lentes.

Capítulo 4 – Refração da luz

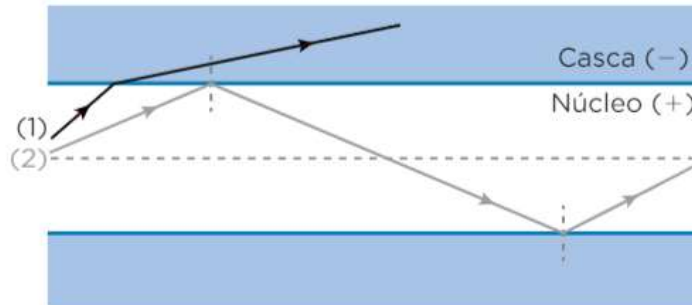
4.4 – Ângulo-limite e reflexão total

▪ Aplicações da reflexão total – Fibra óptica

Na fibra óptica, núcleo e casca são transparentes e flexíveis. Seus índices de refração são, respectivamente, $n_{\text{núcleo}}$ e n_{casca} , sendo que:

$$n_{\text{núcleo}} > n_{\text{casca}}$$

A luz inicia sua propagação pelo interior do núcleo e incide sobre a superfície de separação entre ele e a casca. Se o ângulo de incidência for maior que o ângulo-limite, não ocorre a refração, isto é, ocorre apenas a reflexão da luz, ou seja, a reflexão total.



Fibras ópticas de alta qualidade têm elevado índice de refração do núcleo. Isso determina um pequeno valor para o ângulo-limite, tornando a transmissão mais eficiente.

- ÓPTICA GEOMÉTRICA
- CAPÍTULO 4 – REFRAÇÃO DA LUZ
- Relembrando a refração
- Refringência e índice de refração
- Leis da refração
- Ângulo-limite e reflexão total
- Dioptro-plano
- Prismas
- Lâminas de faces paralelas
- Lentes esféricas
 - Nomenclatura;
 - Comportamento óptico;
 - Lentes gaussianas;
 - Raios notáveis para lentes esféricas;
 - Formação da imagem nas lentes convergentes;
 - Formação da imagem nas lentes divergentes;
 - Estudo analítico das lentes esféricas;
 - Equação do fabricante de lentes e associação de lentes.

Capítulo 4 – Refração da luz

4.5 – Dioptro plano

▪ Definição

É o sistema constituído por dois meios homogêneos e transparentes separados por uma superfície plana.



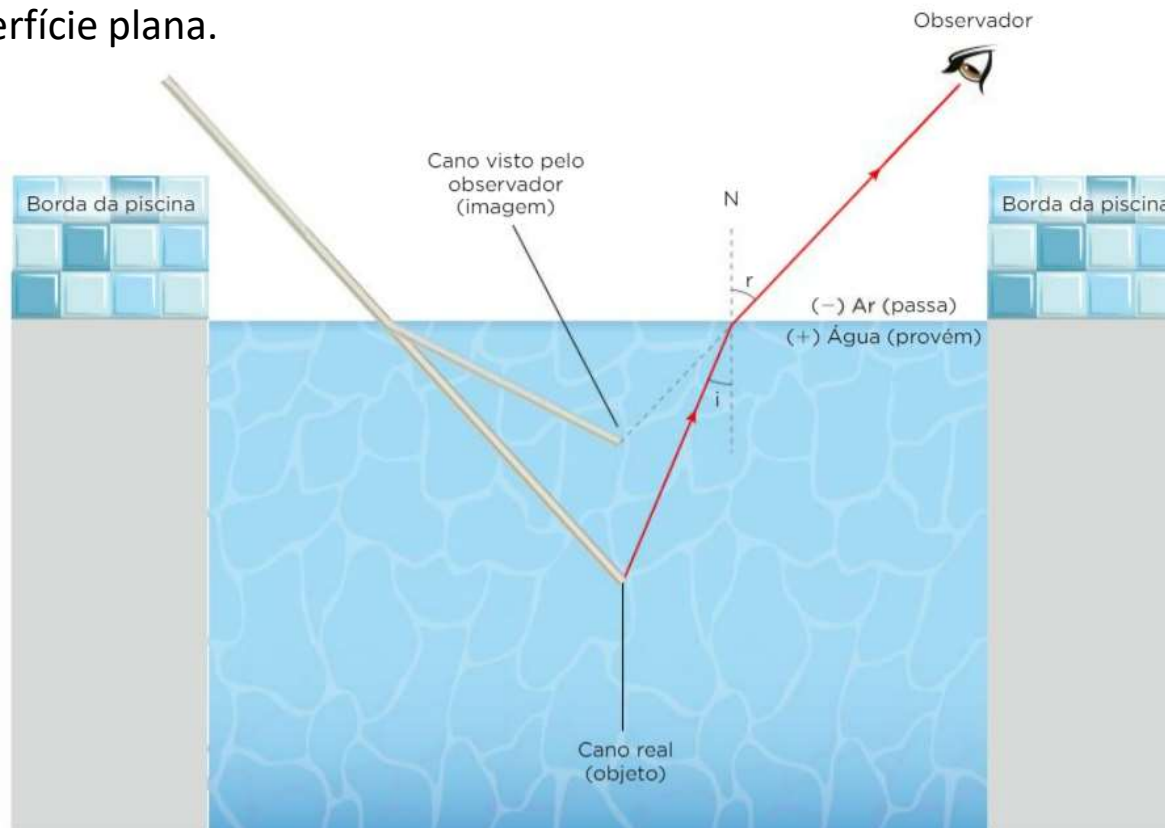
- **ÓPTICA GEOMÉTRICA**
- **CAPÍTULO 4 – REFRAÇÃO DA LUZ**
- Relembrando a refração
- Refringência e índice de refração
- Leis da refração
- Ângulo-limite e reflexão total
- **Dioptro plano**
- Prismas
- Lâminas de faces paralelas
- Lentes esféricas
 - Nomenclatura;
 - Comportamento óptico;
 - Lentes gaussianas;
 - Raios notáveis para lentes esféricas;
 - Formação da imagem nas lentes convergentes;
 - Formação da imagem nas lentes divergentes;
 - Estudo analítico das lentes esféricas;
 - Equação do fabricante de lentes e associação de lentes.

Capítulo 4 – Refração da luz

4.5 – Dioptro plano

▪ Definição

É o sistema constituído por dois meios homogêneos e transparentes separados por uma superfície plana.

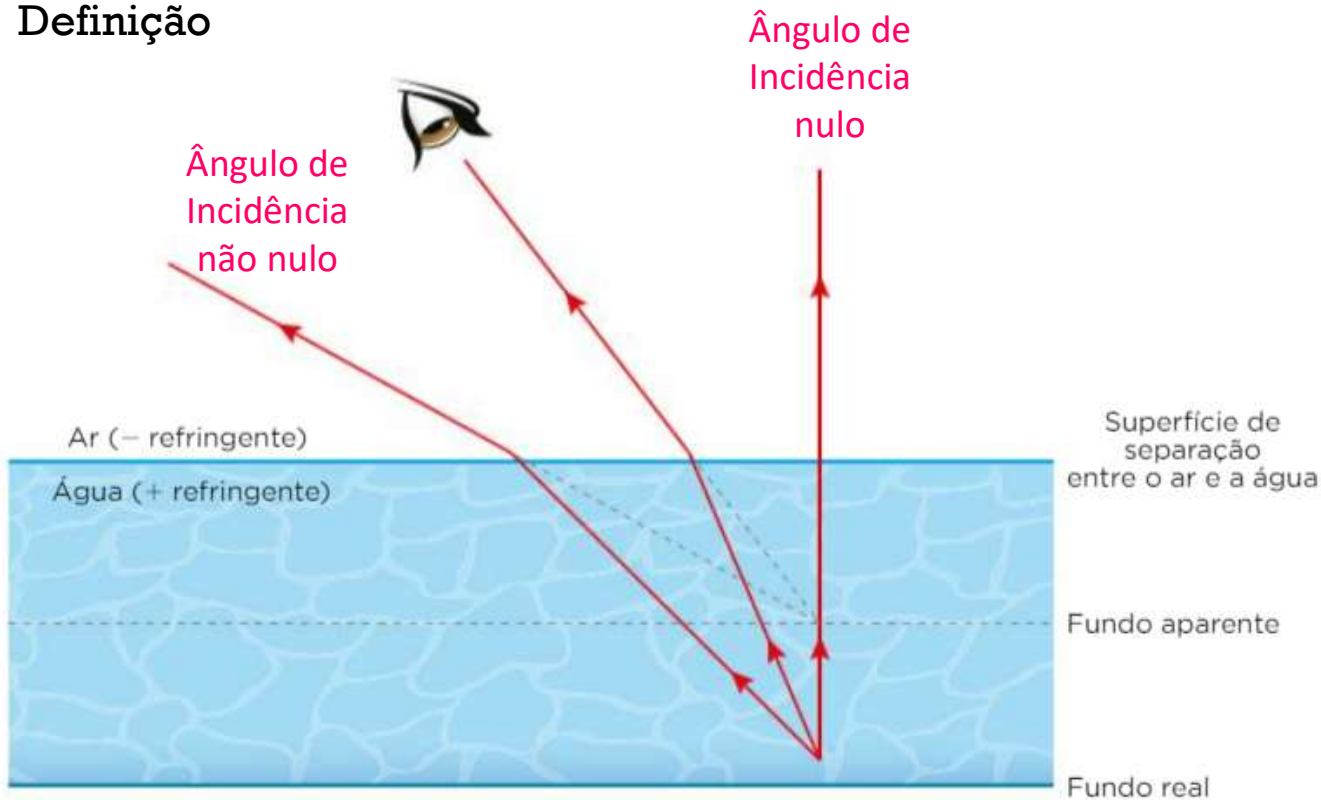


- **ÓPTICA GEOMÉTRICA**
- **CAPÍTULO 4 – REFRAÇÃO DA LUZ**
- Relembrando a refração
- Refringência e índice de refração
- Leis da refração
- Ângulo-limite e reflexão total
- **Dioptro plano**
- Prismas
- Lâminas de faces paralelas
- Lentes esféricas
 - Nomenclatura;
 - Comportamento óptico;
 - Lentes gaussianas;
 - Raios notáveis para lentes esféricas;
 - Formação da imagem nas lentes convergentes;
 - Formação da imagem nas lentes divergentes;
 - Estudo analítico das lentes esféricas;
 - Equação do fabricante de lentes e associação de lentes.

Capítulo 4 – Refração da luz

4.5 – Dioptro plano

▪ Definição



O fundo parece mais próximo do observador, dando a impressão de que a piscina é mais rasa, pois a luz desvia, ao refratar da água para o ar.

- **ÓPTICA GEOMÉTRICA**
- **CAPÍTULO 4 – REFRAÇÃO DA LUZ**
- Relembrando a refração
- Refringência e índice de refração
- Leis da refração
- Ângulo-limite e reflexão total
- **Dioptro plano**
- Prismas
- Lâminas de faces paralelas
- Lentes esféricas
 - Nomenclatura;
 - Comportamento óptico;
 - Lentes gaussianas;
 - Raios notáveis para lentes esféricas;
 - Formação da imagem nas lentes convergentes;
 - Formação da imagem nas lentes divergentes;
 - Estudo analítico das lentes esféricas;
 - Equação do fabricante de lentes e associação de lentes.

Capítulo 4 – Refração da luz

4.5 – Dioptro plano

▪ Definição

- É o sistema constituído por dois meios homogêneos e transparentes separados por uma superfície plana.
- A relação entre as profundidades real e aparente depende do índice de refração relativo dos meios que compõem o dioptro plano.

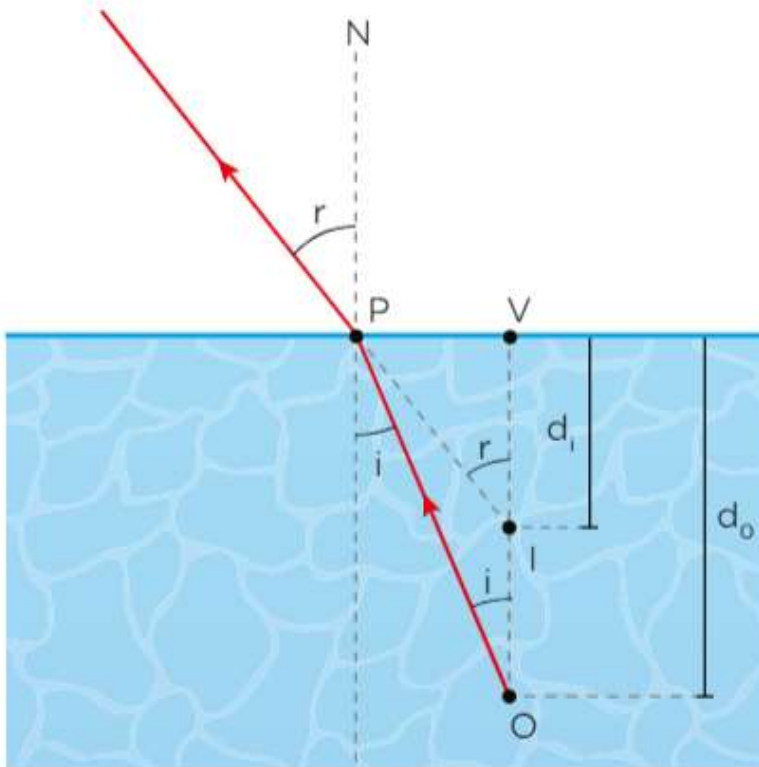


- **ÓPTICA GEOMÉTRICA**
- **CAPÍTULO 4 – REFRAÇÃO DA LUZ**
- Relembrando a refração
- Refringência e índice de refração
- Leis da refração
- Ângulo-limite e reflexão total
- **Dioptro plano**
- Prismas
- Lâminas de faces paralelas
- Lentes esféricas
 - Nomenclatura;
 - Comportamento óptico;
 - Lentes gaussianas;
 - Raios notáveis para lentes esféricas;
 - Formação da imagem nas lentes convergentes;
 - Formação da imagem nas lentes divergentes;
 - Estudo analítico das lentes esféricas;
 - Equação do fabricante de lentes e associação de lentes.

Capítulo 4 – Refração da luz

4.5 – Dioptra plano

- Aplicações das leis da refração

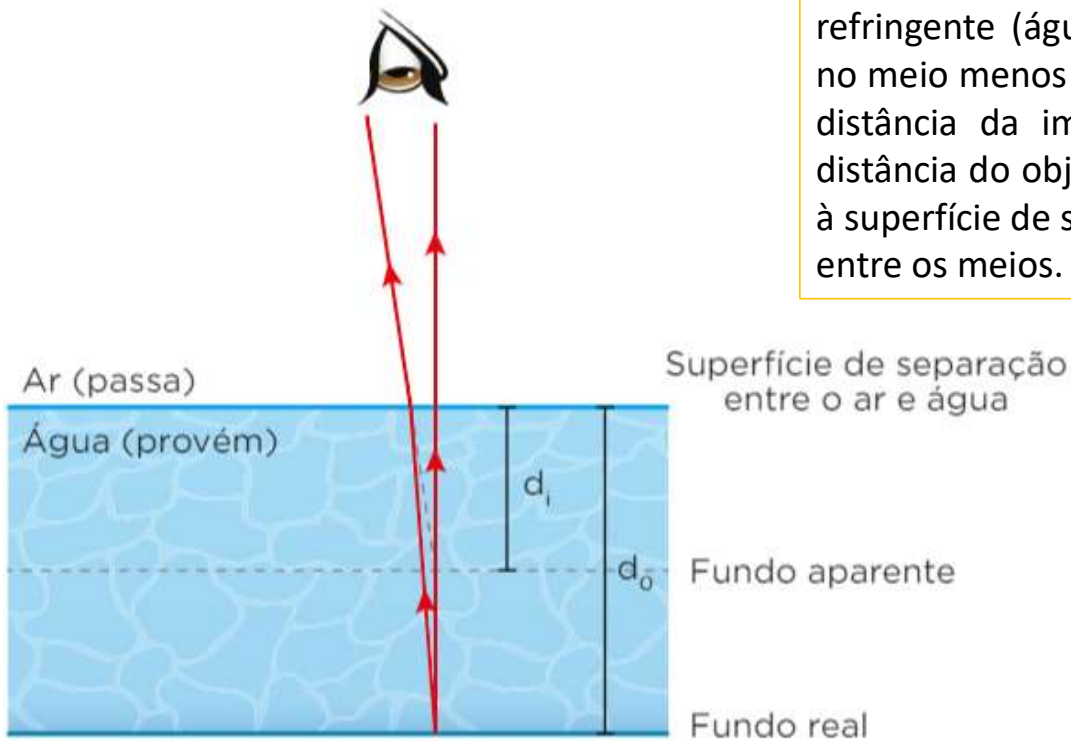


- **ÓPTICA GEOMÉTRICA**
- **CAPÍTULO 4 – REFRAÇÃO DA LUZ**
- Relembrando a refração
- Refringência e índice de refração
- Leis da refração
- Ângulo-limite e reflexão total
- **Dioptra plano**
- Prismas
- Lâminas de faces paralelas
- Lentes esféricas
 - Nomenclatura;
 - Comportamento óptico;
 - Lentes gaussianas;
 - Raios notáveis para lentes esféricas;
 - Formação da imagem nas lentes convergentes;
 - Formação da imagem nas lentes divergentes;
 - Estudo analítico das lentes esféricas;
 - Equação do fabricante de lentes e associação de lentes.

Capítulo 4 – Refração da luz

4.5 – Dioptro plano

- Aplicações das leis da refração



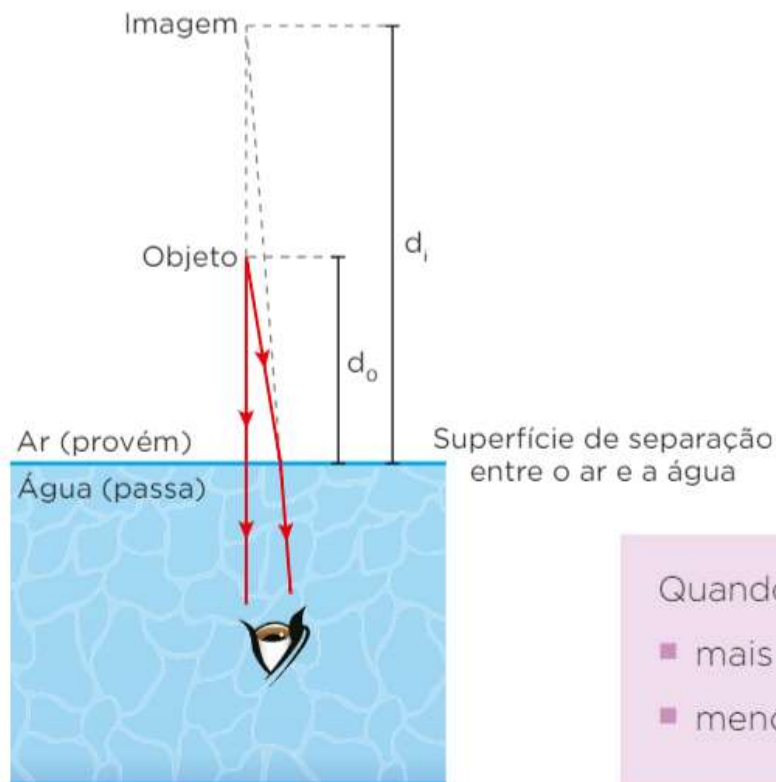
Quando o objeto está no meio mais refringente (água) e o observador está no meio menos refringente (ar), então a distância da imagem é menor que a distância do objeto ($d_i < d_o$), em relação à superfície de separação entre os meios.

- **ÓPTICA GEOMÉTRICA**
- **CAPÍTULO 4 – REFRAÇÃO DA LUZ**
- Relembrando a refração
- Refringência e índice de refração
- Leis da refração
- Ângulo-limite e reflexão total
- **Dioptro plano**
- Prismas
- Lâminas de faces paralelas
- Lentes esféricas
 - Nomenclatura;
 - Comportamento óptico;
 - Lentes gaussianas;
 - Raios notáveis para lentes esféricas;
 - Formação da imagem nas lentes convergentes;
 - Formação da imagem nas lentes divergentes;
 - Estudo analítico das lentes esféricas;
 - Equação do fabricante de lentes e associação de lentes.

Capítulo 4 – Refração da luz

4.5 – Diopetro plano

■ Aplicações das leis da refração



Quando o objeto está no meio menos refringente (ar) e o observador está no meio mais refringente (água), então a distância da imagem é maior que a distância do objeto ($d_i > d_o$), em relação à superfície de separação entre os meios

$$\frac{n_1}{d_i} = \frac{n_2}{d_o}$$

Quando o objeto estiver localizado no meio:

- mais refringente: $n_{\text{passa}} < n_{\text{provém}} \Rightarrow d_i < d_o$
- menos refringente: $n_{\text{passa}} > n_{\text{provém}} \Rightarrow d_i > d_o$

- **ÓPTICA GEOMÉTRICA**
- **CAPÍTULO 4 – REFRAÇÃO DA LUZ**
- Relembrando a refração
- Refringência e índice de refração
- Leis da refração
- Ângulo-limite e reflexão total
- **Diopetro plano**
- Prismas
- Lâminas de faces paralelas
- Lentes esféricas
 - Nomenclatura;
 - Comportamento óptico;
 - Lentes gaussianas;
 - Raios notáveis para lentes esféricas;
 - Formação da imagem nas lentes convergentes;
 - Formação da imagem nas lentes divergentes;
 - Estudo analítico das lentes esféricas;
 - Equação do fabricante de lentes e associação de lentes.

Capítulo 4 – Refração da luz

4.6 – Prismas

▪ Definição

Um prisma, do ponto de vista geométrico, é um poliedro limitado lateralmente por paralelogramos e por dois polígonos iguais e paralelos nas extremidades. Em função disso, ele pode assumir vários modelos, classificados a partir da figura geométrica formada pela base, isto é, triangular, pentagonal, hexagonal e quadrangular,



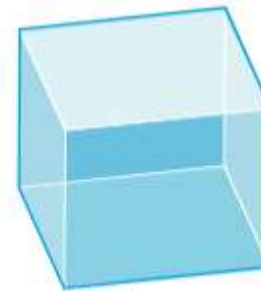
Prisma triangular



Prisma pentagonal



Prisma hexagonal



Prisma quadrangular

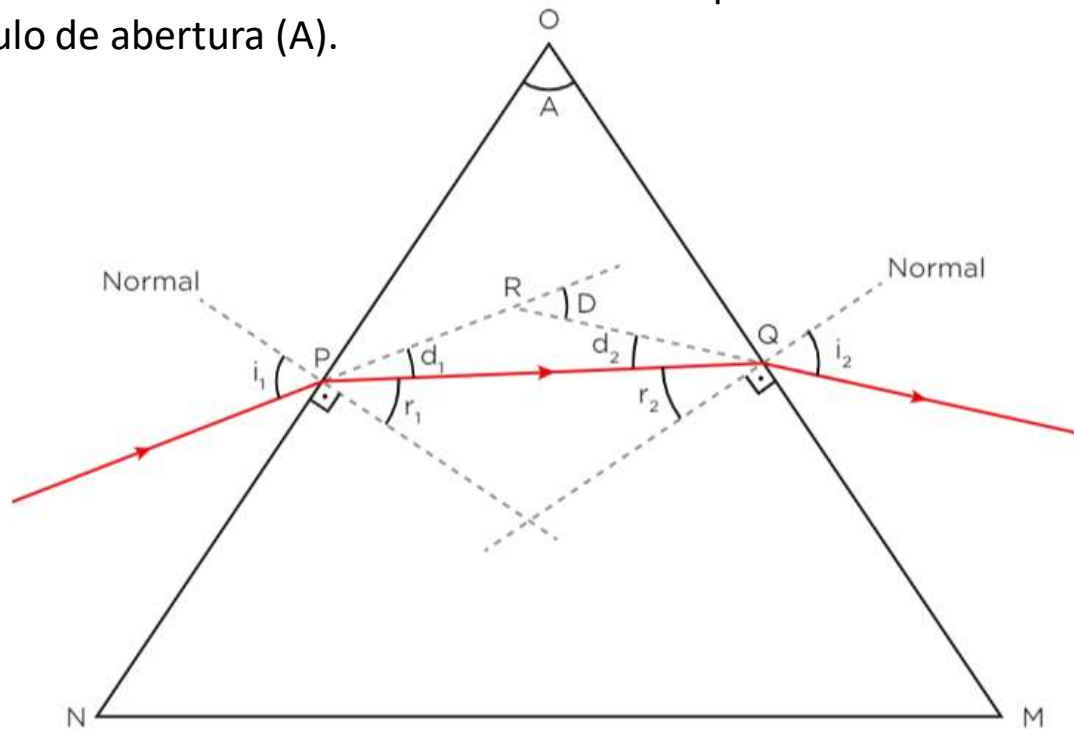
- **ÓPTICA GEOMÉTRICA**
- **CAPÍTULO 4 – REFRAÇÃO DA LUZ**
- Relembrando a refração
- Refringência e índice de refração
- Leis da refração
- Ângulo-limite e reflexão total
- Dioptro plano
- **Prismas**
- Lâminas de faces paralelas
- Lentes esféricas
 - Nomenclatura;
 - Comportamento óptico;
 - Lentes gaussianas;
 - Raios notáveis para lentes esféricas;
 - Formação da imagem nas lentes convergentes;
 - Formação da imagem nas lentes divergentes;
 - Estudo analítico das lentes esféricas;
 - Equação do fabricante de lentes e associação de lentes.

Capítulo 4 – Refração da luz

4.6 – Prismas

▪ Definição

Do ponto de vista físico, um prisma é um sistema óptico (semelhante ao prisma descrito matematicamente), de seção triangular, feito geralmente de vidro ou de cristal, utilizado para desviar a luz. Ele é caracterizado pelo índice de refração (n_{prisma}) e seu ângulo de abertura (A).

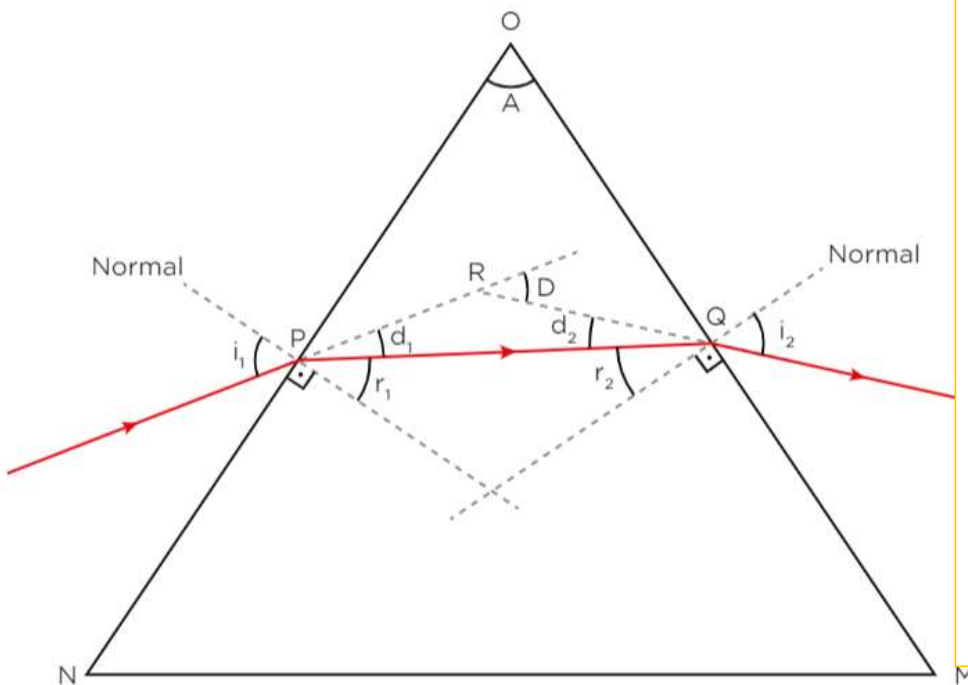


- **ÓPTICA GEOMÉTRICA**
- **CAPÍTULO 4 – REFRAÇÃO DA LUZ**
- Relembrando a refração
- Refringência e índice de refração
- Leis da refração
- Ângulo-limite e reflexão total
- Dioptro plano
- **Prismas**
- Lâminas de faces paralelas
- Lentes esféricas
 - Nomenclatura;
 - Comportamento óptico;
 - Lentes gaussianas;
 - Raios notáveis para lentes esféricas;
 - Formação da imagem nas lentes convergentes;
 - Formação da imagem nas lentes divergentes;
 - Estudo analítico das lentes esféricas;
 - Equação do fabricante de lentes e associação de lentes.

Capítulo 4 – Refração da luz

4.6 – Prismas

▪ Definição



Representação de um prisma triangular de ângulo de abertura **A**.

O raio incidente em **P** refrata propagando-se no interior do prisma experimentando um desvio **d_1** .

Ao incidir em **Q**, na outra face, refrata para o ar, experimentando um novo desvio **d_2** .

O desvio total **D** será:

$$D = d_1 + d_2$$

- **ÓPTICA GEOMÉTRICA**
- **CAPÍTULO 4 – REFRAÇÃO DA LUZ**
- Relembrando a refração
- Refringência e índice de refração
- Leis da refração
- Ângulo-limite e reflexão total
- Dioptro plano
- **Prismas**
- Lâminas de faces paralelas
- Lentes esféricas
 - Nomenclatura;
 - Comportamento óptico;
 - Lentes gaussianas;
 - Raios notáveis para lentes esféricas;
 - Formação da imagem nas lentes convergentes;
 - Formação da imagem nas lentes divergentes;
 - Estudo analítico das lentes esféricas;
 - Equação do fabricante de lentes e associação de lentes.

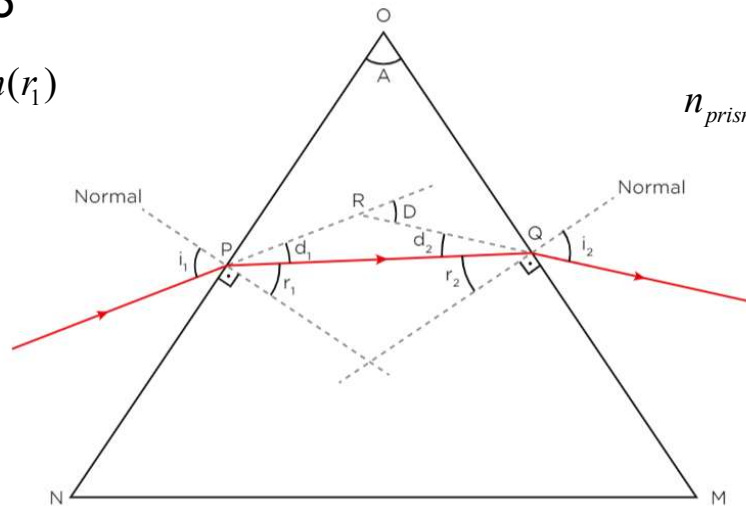
Capítulo 4 – Refração da luz

4.6 – Prismas

▪ Demonstração

$$n_{ar} \cdot \text{sen}(i_1) = n_{prisma} \cdot \text{sen}(r_1)$$

$$d_1 = i_1 - r_1$$



$$n_{prisma} \cdot \text{sen}(r_2) = n_{ar} \cdot \text{sen}(i_2)$$

$$d_2 = i_2 - r_2$$

No triângulo POQ

$$A + (90 - r_1) + (90 - r_2) = 180$$

$$A = r_1 + r_2$$

$$D = (i_1 - r_1) + (i_2 - r_2)$$

$$D = i_1 + i_2 - (r_1 + r_2)$$

$$D = i_1 + i_2 - A$$

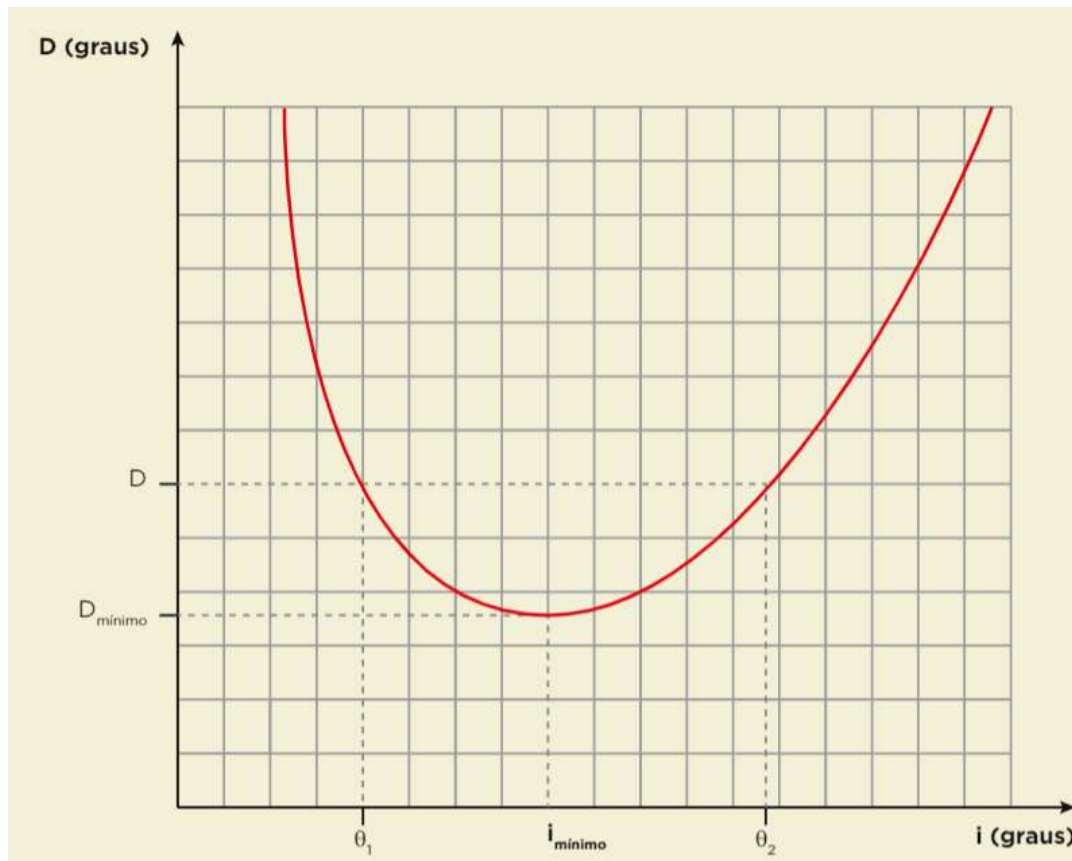
$$D = d_1 + d_2$$

- **ÓPTICA GEOMÉTRICA**
- **CAPÍTULO 4 – REFRAÇÃO DA LUZ**
- Relembrando a refração
- Refringência e índice de refração
- Leis da refração
- Ângulo-limite e reflexão total
- Dioptro plano
- **Prismas**
- Lâminas de faces paralelas
- Lentes esféricas
 - Nomenclatura;
 - Comportamento óptico;
 - Lentes gaussianas;
 - Raios notáveis para lentes esféricas;
 - Formação da imagem nas lentes convergentes;
 - Formação da imagem nas lentes divergentes;
 - Estudo analítico das lentes esféricas;
 - Equação do fabricante de lentes e associação de lentes.

Capítulo 4 – Refração da luz

4.6 – Prismas

- Desvio mínimo de um prisma

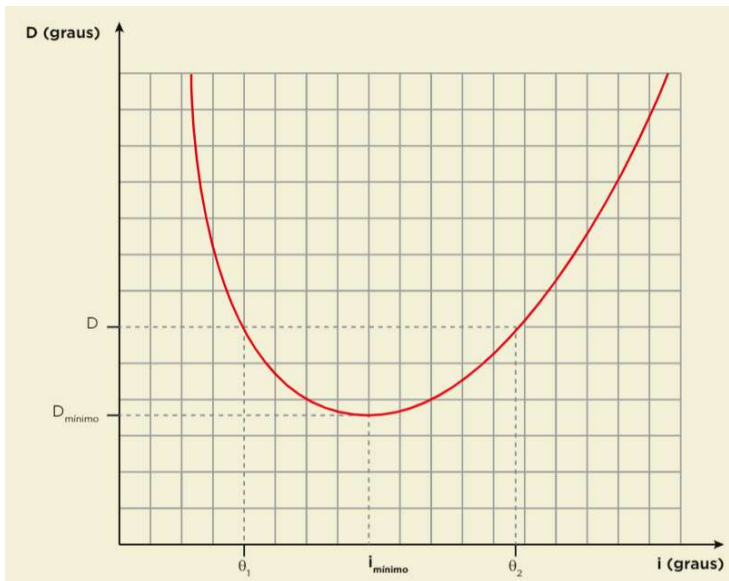


- **ÓPTICA GEOMÉTRICA**
- **CAPÍTULO 4 – REFRAÇÃO DA LUZ**
- Relembrando a refração
- Refringência e índice de refração
- Leis da refração
- Ângulo-limite e reflexão total
- Dioptro plano
- **Prismas**
- Lâminas de faces paralelas
- Lentes esféricas
 - Nomenclatura;
 - Comportamento óptico;
 - Lentes gaussianas;
 - Raios notáveis para lentes esféricas;
 - Formação da imagem nas lentes convergentes;
 - Formação da imagem nas lentes divergentes;
 - Estudo analítico das lentes esféricas;
 - Equação do fabricante de lentes e associação de lentes.

Capítulo 4 – Refração da luz

4.6 – Prismas

- Desvio mínimo de um prisma



$$D = i_1 + i_2 - A$$
$$D_{\text{mínimo}} = 2i_{\text{mínimo}} - A$$

$$A = 2r_{\text{mínimo}}$$

$$n_{\text{ar}} \cdot \text{sen}(i_{\text{mínimo}}) = n_{\text{prisma}} \cdot \text{sen}(r_{\text{mínimo}})$$

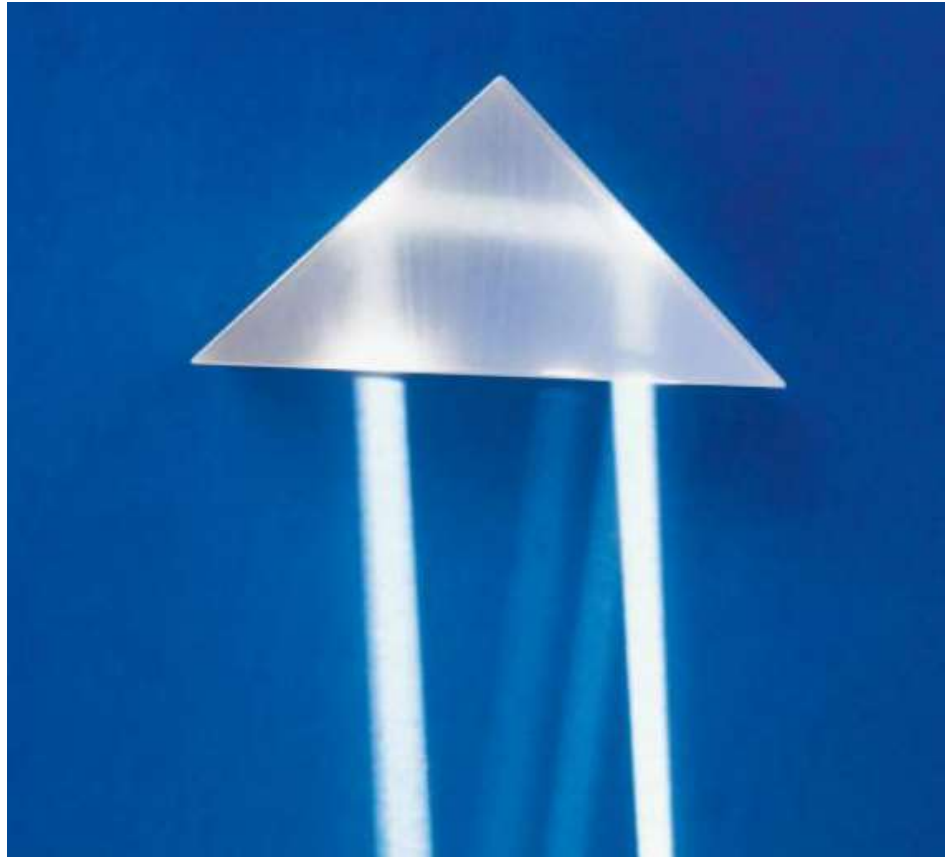
$$n_{\text{prisma}} = \frac{\text{sen}\left(\frac{D_{\text{mínimo}} + A}{2}\right)}{\text{sen}\left(\frac{A}{2}\right)}$$

- **ÓPTICA GEOMÉTRICA**
- **CAPÍTULO 4 – REFRAÇÃO DA LUZ**
- Relembrando a refração
- Refringência e índice de refração
- Leis da refração
- Ângulo-limite e reflexão total
- Dioptro plano
- **Prismas**
- Lâminas de faces paralelas
- Lentes esféricas
 - Nomenclatura;
 - Comportamento óptico;
 - Lentes gaussianas;
 - Raios notáveis para lentes esféricas;
 - Formação da imagem nas lentes convergentes;
 - Formação da imagem nas lentes divergentes;
 - Estudo analítico das lentes esféricas;
 - Equação do fabricante de lentes e associação de lentes.

Capítulo 4 – Refração da luz

4.6 – Prismas

- Prismas de reflexão total

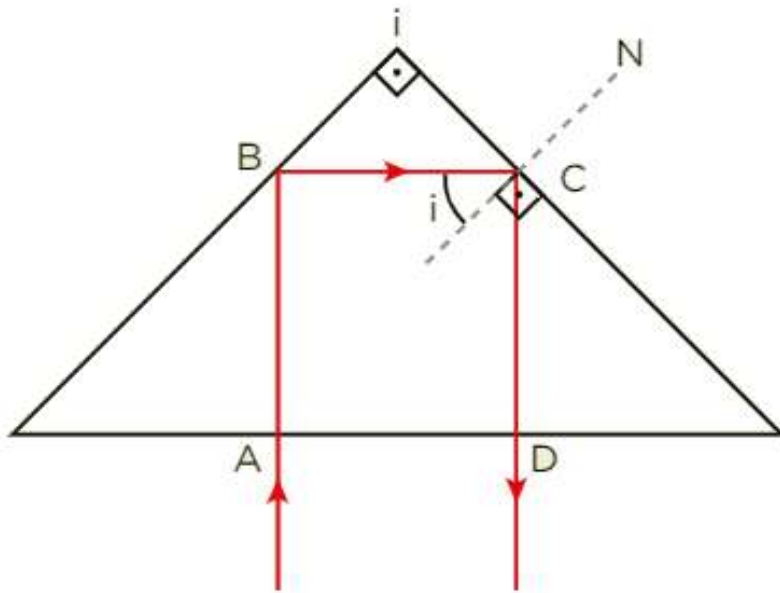


- **ÓPTICA GEOMÉTRICA**
- **CAPÍTULO 4 – REFRAÇÃO DA LUZ**
- Relembrando a refração
- Refringência e índice de refração
- Leis da refração
- Ângulo-limite e reflexão total
- Diopetro plano
- **Prismas**
- Lâminas de faces paralelas
- Lentes esféricas
 - Nomenclatura;
 - Comportamento óptico;
 - Lentes gaussianas;
 - Raios notáveis para lentes esféricas;
 - Formação da imagem nas lentes convergentes;
 - Formação da imagem nas lentes divergentes;
 - Estudo analítico das lentes esféricas;
 - Equação do fabricante de lentes e associação de lentes.

Capítulo 4 – Refração da luz

4.6 – Prismas

- Prismas de reflexão total



$$\text{sen}L = \frac{n_{\text{menor}}}{n_{\text{maior}}} = \frac{n_{\text{meio}}}{n_{\text{prisma}}}$$

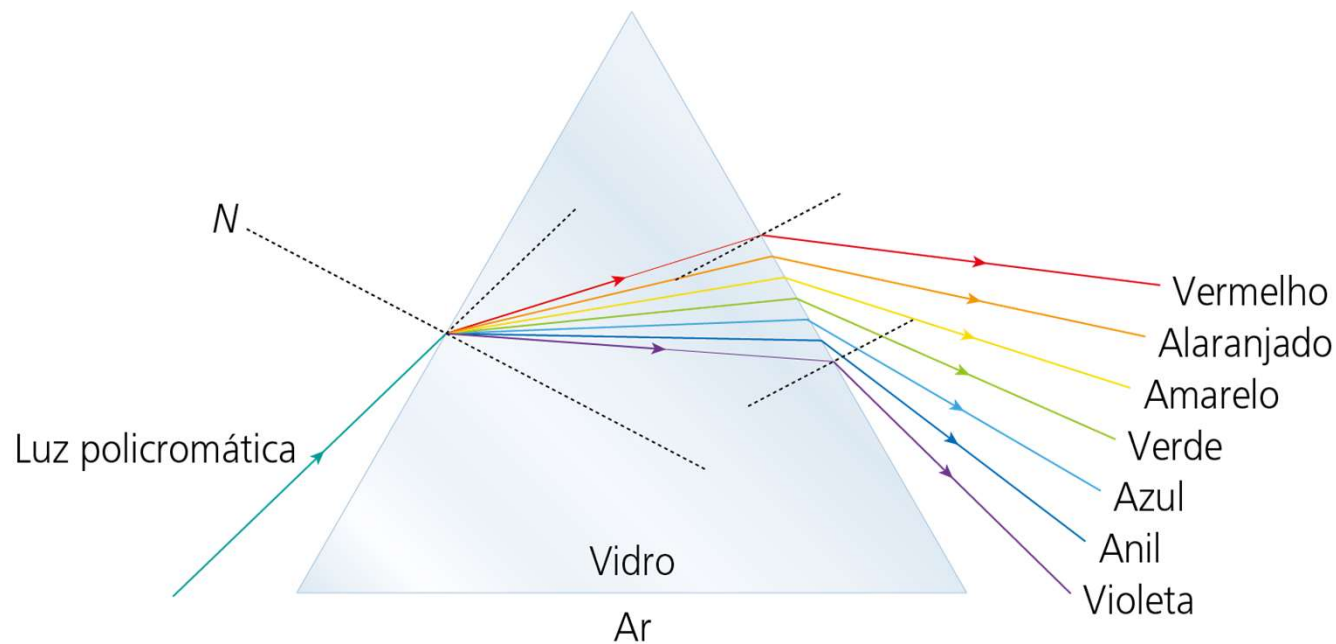
Dessa forma, nos pontos B e C, no interior do prisma, ocorre reflexão total quando $i > L$.

- **ÓPTICA GEOMÉTRICA**
- **CAPÍTULO 4 – REFRAÇÃO DA LUZ**
- Relembrando a refração
- Refringência e índice de refração
- Leis da refração
- Ângulo-limite e reflexão total
- Dioptro plano
- **Prismas**
- Lâminas de faces paralelas
- Lentes esféricas
 - Nomenclatura;
 - Comportamento óptico;
 - Lentes gaussianas;
 - Raios notáveis para lentes esféricas;
 - Formação da imagem nas lentes convergentes;
 - Formação da imagem nas lentes divergentes;
 - Estudo analítico das lentes esféricas;
 - Equação do fabricante de lentes e associação de lentes.

Capítulo 4 – Refração da luz

4.6 – Prismas

- Decomposição da luz solar



$$n_{\text{vermelho}} < n_{\text{alaranjado}} < n_{\text{amarelo}} < n_{\text{verde}} < n_{\text{azul}} < n_{\text{anil}} < n_{\text{violeta}}$$

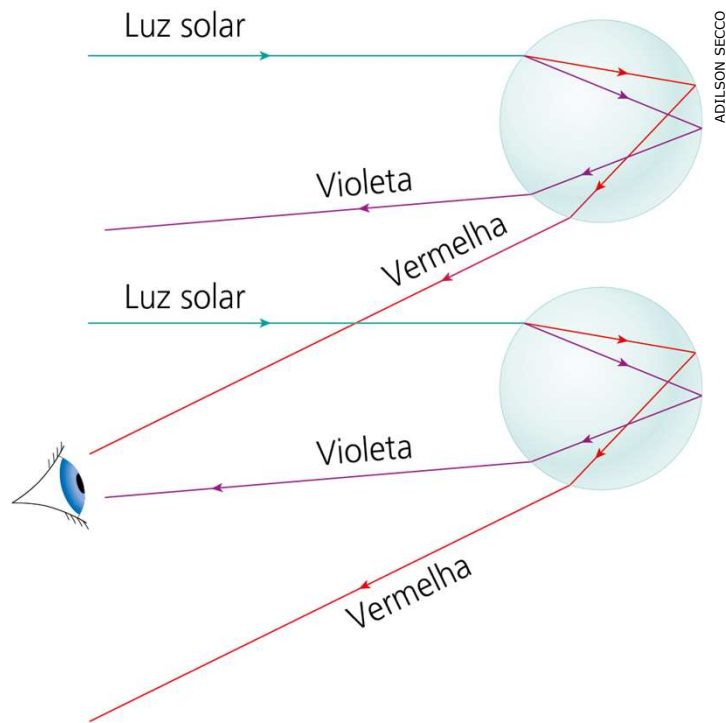
ADILSON SECCO

- **ÓPTICA GEOMÉTRICA**
- **CAPÍTULO 4 – REFRAÇÃO DA LUZ**
- Relembrando a refração
- Refringência e índice de refração
- Leis da refração
- Ângulo-limite e reflexão total
- Dioptro plano
- **Prismas**
- Lâminas de faces paralelas
- Lentes esféricas
 - Nomenclatura;
 - Comportamento óptico;
 - Lentes gaussianas;
 - Raios notáveis para lentes esféricas;
 - Formação da imagem nas lentes convergentes;
 - Formação da imagem nas lentes divergentes;
 - Estudo analítico das lentes esféricas;
 - Equação do fabricante de lentes e associação de lentes.

Capítulo 4 – Refração da luz

4.6 – Prismas

▪ O arco-íris



Das gotas superiores, o observador recebe a luz vermelha.

Das gotas inferiores, o observador recebe a luz violeta.

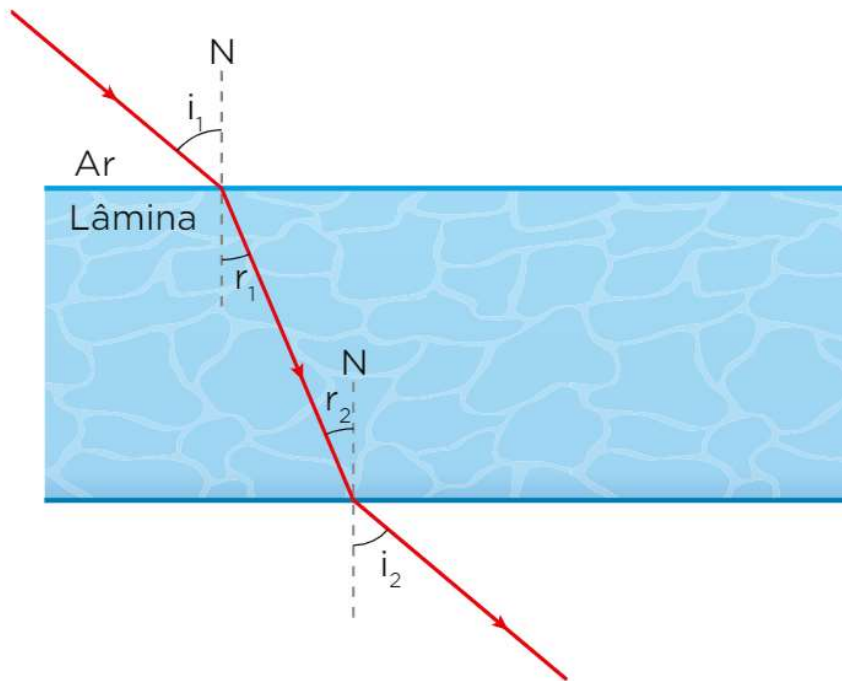
Por isso, o arco externo do arco-íris é vermelho e o interno, violeta.

- **ÓPTICA GEOMÉTRICA**
- **CAPÍTULO 4 – REFRAÇÃO DA LUZ**
- Relembrando a refração
- Refringência e índice de refração
- Leis da refração
- Ângulo-limite e reflexão total
- Dioptro plano
- **Prismas**
- Lâminas de faces paralelas
- Lentes esféricas
 - Nomenclatura;
 - Comportamento óptico;
 - Lentes gaussianas;
 - Raios notáveis para lentes esféricas;
 - Formação da imagem nas lentes convergentes;
 - Formação da imagem nas lentes divergentes;
 - Estudo analítico das lentes esféricas;
 - Equação do fabricante de lentes e associação de lentes.

Capítulo 4 – Refração da luz

4.7 – Lâminas de faces paralelas

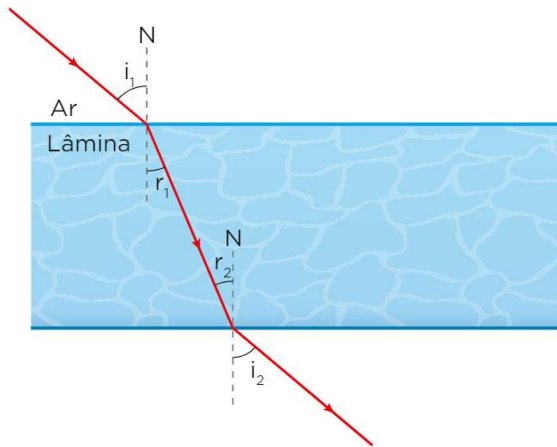
Um bloco de vidro, transparente e homogêneo, composto por faces opostas paralelas entre si, é uma lâmina de faces paralelas.



- **ÓPTICA GEOMÉTRICA**
- **CAPÍTULO 4 – REFRAÇÃO DA LUZ**
- Relembrando a refração
- Refringência e índice de refração
- Leis da refração
- Ângulo-limite e reflexão total
- Diopetro plano
- Prismas
- **Lâminas de faces paralelas**
- Lentes esféricas
 - Nomenclatura;
 - Comportamento óptico;
 - Lentes gaussianas;
 - Raios notáveis para lentes esféricas;
 - Formação da imagem nas lentes convergentes;
 - Formação da imagem nas lentes divergentes;
 - Estudo analítico das lentes esféricas;
 - Equação do fabricante de lentes e associação de lentes.

Capítulo 4 – Refração da luz

4.7 – Lâminas de faces paralelas



$$n_{ar} \cdot \text{sen}(i_1) = n_{l\grave{a}min a} \cdot \text{sen}(r_1)$$

$$n_{l\grave{a}min a} \cdot \text{sen}(r_2) = n_{ar} \cdot \text{sen}(i_2)$$

$$r_1 = r_2$$

$$n_{l\grave{a}min a} \cdot \text{sen}(r_1) = n_{ar} \cdot \text{sen}(i_2)$$

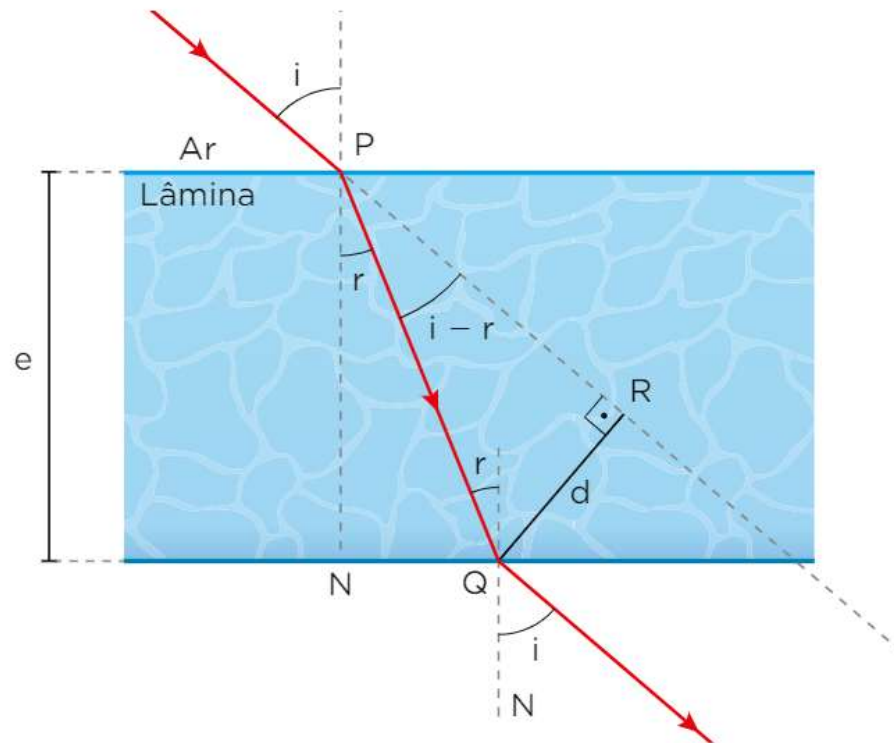
- **ÓPTICA GEOMÉTRICA**
- **CAPÍTULO 4 – REFRAÇÃO DA LUZ**
- Relembrando a refração
- Refringência e índice de refração
- Leis da refração
- Ângulo-limite e reflexão total
- Diopetro plano
- Prismas
- **Lâminas de faces paralelas**
- Lentes esféricas
 - Nomenclatura;
 - Comportamento óptico;
 - Lentes gaussianas;
 - Raios notáveis para lentes esféricas;
 - Formação da imagem nas lentes convergentes;
 - Formação da imagem nas lentes divergentes;
 - Estudo analítico das lentes esféricas;
 - Equação do fabricante de lentes e associação de lentes.

Capítulo 4 – Refração da luz

4.7 – Lâminas de faces paralelas

$$r_1 = r_2$$

$$n_{\text{lâmina}} \cdot \text{sen}(r_1) = n_{\text{ar}} \cdot \text{sen}(i_2)$$



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

- **ÓPTICA GEOMÉTRICA**
- **CAPÍTULO 4 – REFRAÇÃO DA LUZ**
- Relembrando a refração
- Refringência e índice de refração
- Leis da refração
- Ângulo-limite e reflexão total
- Diopetro plano
- Prismas
- **Lâminas de faces paralelas**
- Lentes esféricas
 - Nomenclatura;
 - Comportamento óptico;
 - Lentes gaussianas;
 - Raios notáveis para lentes esféricas;
 - Formação da imagem nas lentes convergentes;
 - Formação da imagem nas lentes divergentes;
 - Estudo analítico das lentes esféricas;
 - Equação do fabricante de lentes e associação de lentes.

Capítulo 4 – Refração da luz

4.8 – Lentes esféricas

▪ Definição

As lentes são dispositivos refratores, que são componentes fundamentais de diversos dispositivos que conhecemos, como câmaras fotográficas, óculos, projetores, lunetas, binóculo e microscópios.

As lentes são corpos transparentes com duas faces esféricas ou uma esférica e outra plana.



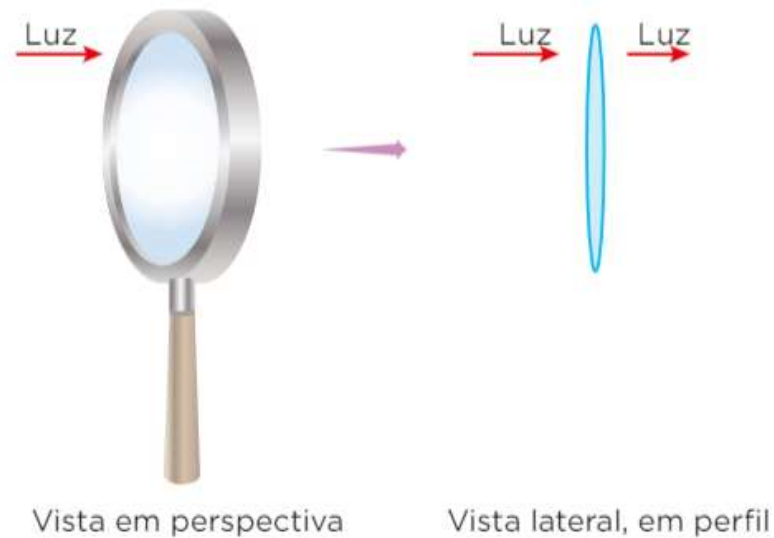
- **ÓPTICA GEOMÉTRICA**
- **CAPÍTULO 4 – REFRAÇÃO DA LUZ**
- Relembrando a refração
- Refringência e índice de refração
- Leis da refração
- Ângulo-limite e reflexão total
- Diopetro plano
- Prismas
- Lâminas de faces paralelas
- **Lentes esféricas**
 - Nomenclatura;
 - Comportamento óptico;
 - Lentes gaussianas;
 - Raios notáveis para lentes esféricas;
 - Formação da imagem nas lentes convergentes;
 - Formação da imagem nas lentes divergentes;
 - Estudo analítico das lentes esféricas;
 - Equação do fabricante de lentes e associação de lentes.

Capítulo 4 – Refração da luz

4.8 – Lentes esféricas

▪ Definição

As lentes serão representadas em perfil (vista lateral)



- **ÓPTICA GEOMÉTRICA**
- **CAPÍTULO 4 – REFRAÇÃO DA LUZ**
- Relembrando a refração
- Refringência e índice de refração
- Leis da refração
- Ângulo-limite e reflexão total
- Diopetro plano
- Prismas
- Lâminas de faces paralelas
- **Lentes esféricas**
 - Nomenclatura;
 - Comportamento óptico;
 - Lentes gaussianas;
 - Raios notáveis para lentes esféricas;
 - Formação da imagem nas lentes convergentes;
 - Formação da imagem nas lentes divergentes;
 - Estudo analítico das lentes esféricas;
 - Equação do fabricante de lentes e associação de lentes.

Capítulo 4 – Refração da luz

4.8 – Lentes esféricas

▪ Definição

A nomenclatura associada à lente está relacionada com suas faces: convexa, côncava ou plana



- **ÓPTICA GEOMÉTRICA**
- **CAPÍTULO 4 – REFRAÇÃO DA LUZ**
- Relembrando a refração
- Refringência e índice de refração
- Leis da refração
- Ângulo-limite e reflexão total
- Diopetro plano
- Prismas
- Lâminas de faces paralelas
- **Lentes esféricas**
 - **Nomenclatura;**
 - **Comportamento óptico;**
 - **Lentes gaussianas;**
 - **Raios notáveis para lentes esféricas;**
 - **Formação da imagem nas lentes convergentes;**
 - **Formação da imagem nas lentes divergentes;**
 - **Estudo analítico das lentes esféricas;**
 - **Equação do fabricante de lentes e associação de lentes.**

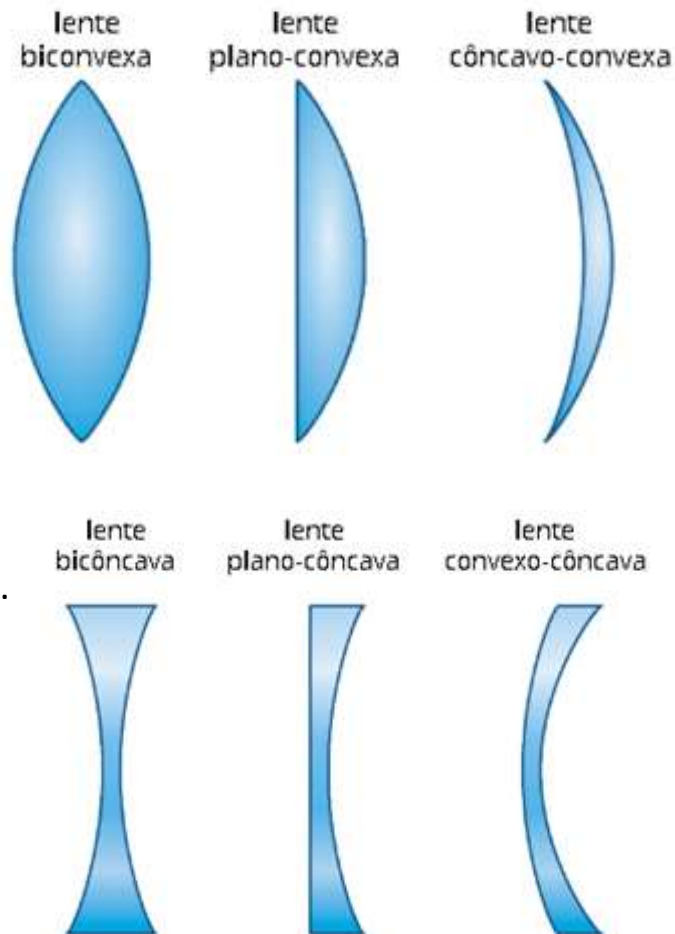
Capítulo 4 – Refração da luz

4.8 – Lentes esféricas

▪ Nomenclatura

Há seis lentes esféricas possíveis:

- três são denominadas lentes de bordas finas;



- as outras três, lentes de bordas espessas.

- **ÓPTICA GEOMÉTRICA**
- **CAPÍTULO 4 – REFRAÇÃO DA LUZ**
- Relembrando a refração
- Refringência e índice de refração
- Leis da refração
- Ângulo-limite e reflexão total
- Diopetro plano
- Prismas
- Lâminas de faces paralelas
- **Lentes esféricas**
 - **Nomenclatura;**
 - Comportamento óptico;
 - Lentes gaussianas;
 - Raios notáveis para lentes esféricas;
 - Formação da imagem nas lentes convergentes;
 - Formação da imagem nas lentes divergentes;
 - Estudo analítico das lentes esféricas;
 - Equação do fabricante de lentes e associação de lentes.

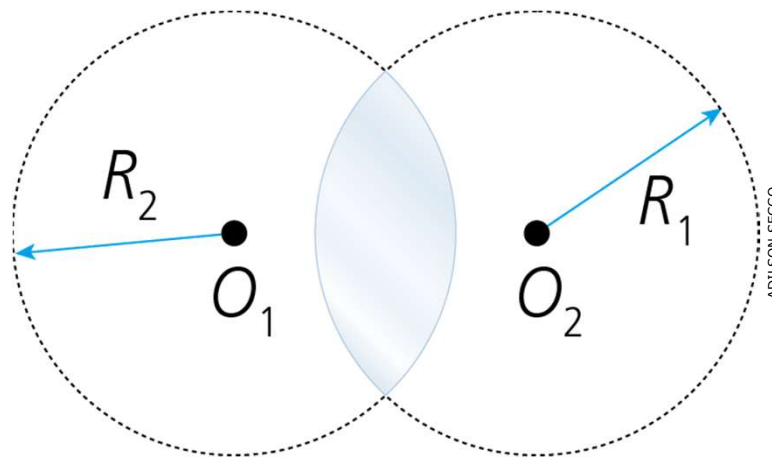
Capítulo 4 – Refração da luz

4.8 – Lentes esféricas

▪ Nomenclatura

Há seis lentes esféricas possíveis:

- três são denominadas lentes de **bordas finas**;



Biconvexa

ADILSON SECCO

- **ÓPTICA GEOMÉTRICA**
- **CAPÍTULO 4 – REFRAÇÃO DA LUZ**
- Relembrando a refração
- Refringência e índice de refração
- Leis da refração
- Ângulo-limite e reflexão total
- Diopetro plano
- Prismas
- Lâminas de faces paralelas
- **Lentes esféricas**
 - **Nomenclatura**;
 - Comportamento óptico;
 - Lentes gaussianas;
 - Raios notáveis para lentes esféricas;
 - Formação da imagem nas lentes convergentes;
 - Formação da imagem nas lentes divergentes;
 - Estudo analítico das lentes esféricas;
 - Equação do fabricante de lentes e associação de lentes.

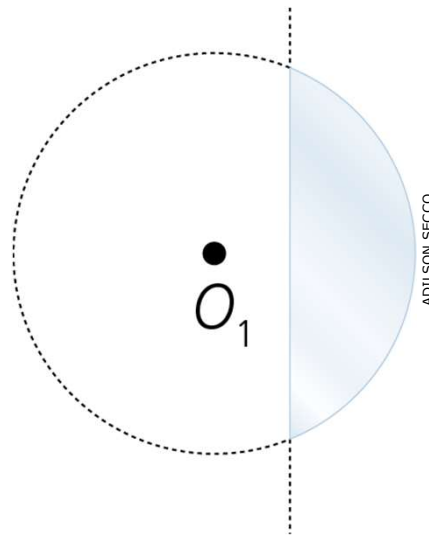
Capítulo 4 – Refração da luz

4.8 – Lentes esféricas

- **Nomenclatura**

Há seis lentes esféricas possíveis:

- três são denominadas lentes de **bordas finas**;



Plano-convexa

- **ÓPTICA GEOMÉTRICA**
- **CAPÍTULO 4 – REFRAÇÃO DA LUZ**
- Relembrando a refração
- Refringência e índice de refração
- Leis da refração
- Ângulo-limite e reflexão total
- Diopetro plano
- Prismas
- Lâminas de faces paralelas
- **Lentes esféricas**
 - **Nomenclatura**;
 - Comportamento óptico;
 - Lentes gaussianas;
 - Raios notáveis para lentes esféricas;
 - Formação da imagem nas lentes convergentes;
 - Formação da imagem nas lentes divergentes;
 - Estudo analítico das lentes esféricas;
 - Equação do fabricante de lentes e associação de lentes.

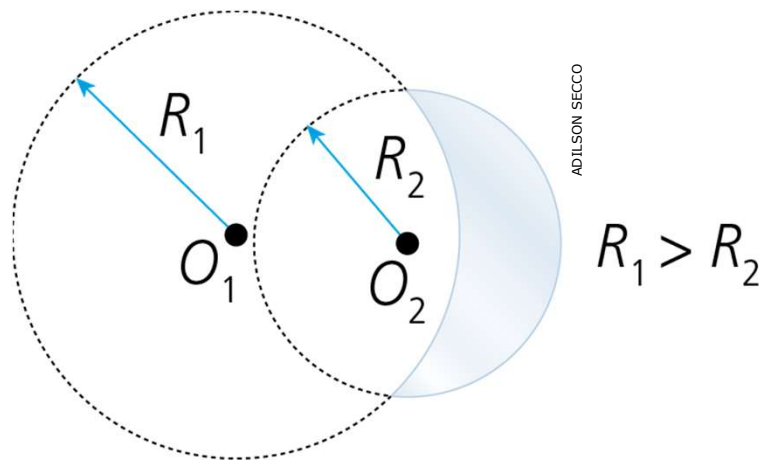
Capítulo 4 – Refração da luz

4.8 – Lentes esféricas

▪ Nomenclatura

Há seis lentes esféricas possíveis:

- três são denominadas lentes de **bordas finas**;



Côncavo-convexa

- **ÓPTICA GEOMÉTRICA**
- **CAPÍTULO 4 – REFRAÇÃO DA LUZ**
- Relembrando a refração
- Refringência e índice de refração
- Leis da refração
- Ângulo-limite e reflexão total
- Diopetro plano
- Prismas
- Lâminas de faces paralelas
- **Lentes esféricas**
 - **Nomenclatura**;
 - Comportamento óptico;
 - Lentes gaussianas;
 - Raios notáveis para lentes esféricas;
 - Formação da imagem nas lentes convergentes;
 - Formação da imagem nas lentes divergentes;
 - Estudo analítico das lentes esféricas;
 - Equação do fabricante de lentes e associação de lentes.

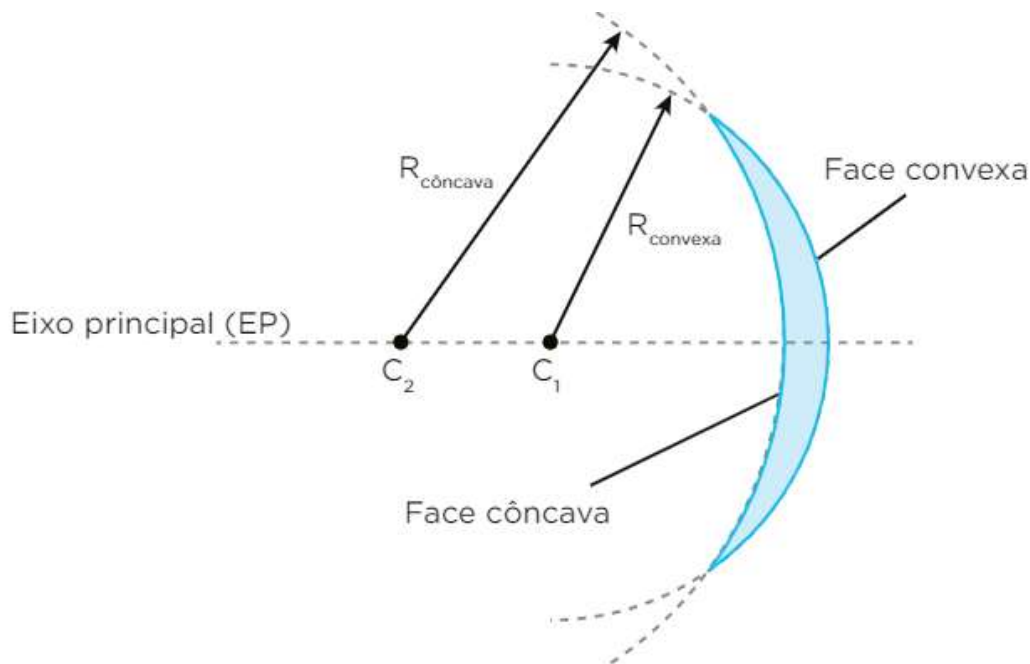
Capítulo 4 – Refração da luz

4.8 – Lentes esféricas

▪ Nomenclatura

Para dar a nomenclatura correta das lentes...

Quando uma lente possui tanto uma face côncava como uma face convexa, dá-se o primeiro nome à face de maior raio de curvatura.



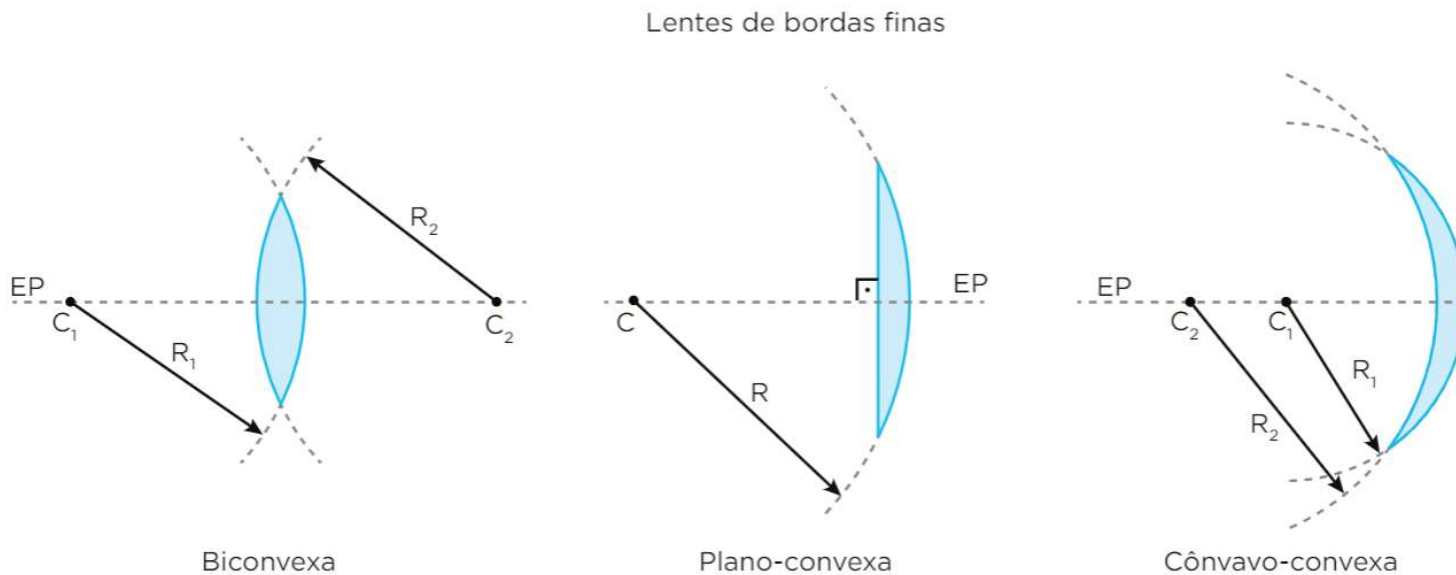
Como o raio de curvatura da face côncava é maior que o raio de curvatura da face convexa, essa lente é chamada de **côncavo-convexa**.

- **ÓPTICA GEOMÉTRICA**
- **CAPÍTULO 4 – REFRAÇÃO DA LUZ**
- Relembrando a refração
- Refringência e índice de refração
- Leis da refração
- Ângulo-limite e reflexão total
- Diopetro plano
- Prismas
- Lâminas de faces paralelas
- **Lentes esféricas**
 - **Nomenclatura;**
 - Comportamento óptico;
 - Lentes gaussianas;
 - Raios notáveis para lentes esféricas;
 - Formação da imagem nas lentes convergentes;
 - Formação da imagem nas lentes divergentes;
 - Estudo analítico das lentes esféricas;
 - Equação do fabricante de lentes e associação de lentes.

Capítulo 4 – Refração da luz

4.8 – Lentes esféricas

▪ Nomenclatura



- **ÓPTICA GEOMÉTRICA**
- **CAPÍTULO 4 – REFRAÇÃO DA LUZ**
- Relembrando a refração
- Refringência e índice de refração
- Leis da refração
- Ângulo-limite e reflexão total
- Diopetro plano
- Prismas
- Lâminas de faces paralelas
- **Lentes esféricas**
 - **Nomenclatura;**
 - Comportamento óptico;
 - Lentes gaussianas;
 - Raios notáveis para lentes esféricas;
 - Formação da imagem nas lentes convergentes;
 - Formação da imagem nas lentes divergentes;
 - Estudo analítico das lentes esféricas;
 - Equação do fabricante de lentes e associação de lentes.

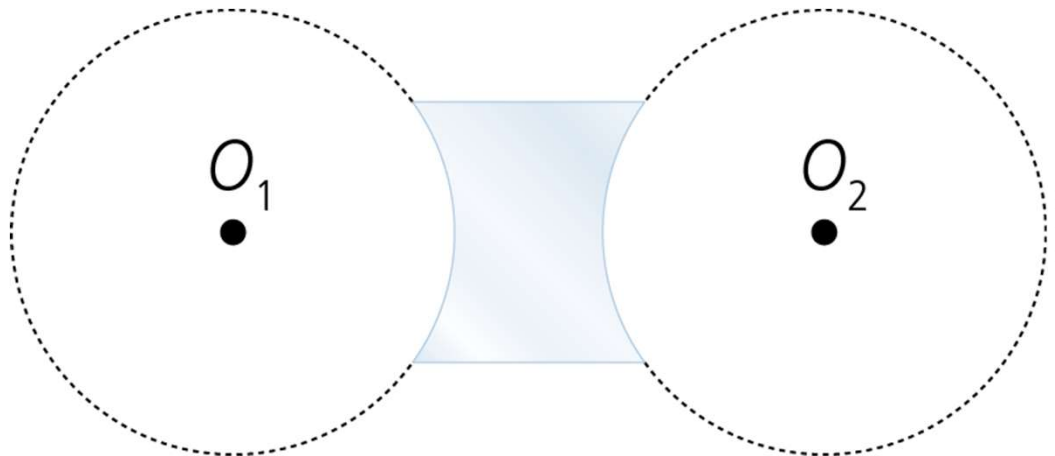
Capítulo 4 – Refração da luz

4.8 – Lentes esféricas

- **Nomenclatura**

Há seis lentes esféricas possíveis:

- as outras três, lentes de bordas **espessas**.



Bicôncava

- **ÓPTICA GEOMÉTRICA**
- **CAPÍTULO 4 – REFRAÇÃO DA LUZ**
- Relembrando a refração
- Refringência e índice de refração
- Leis da refração
- Ângulo-limite e reflexão total
- Diopetro plano
- Prismas
- Lâminas de faces paralelas
- **Lentes esféricas**
 - **Nomenclatura;**
 - Comportamento óptico;
 - Lentes gaussianas;
 - Raios notáveis para lentes esféricas;
 - Formação da imagem nas lentes convergentes;
 - Formação da imagem nas lentes divergentes;
 - Estudo analítico das lentes esféricas;
 - Equação do fabricante de lentes e associação de lentes.

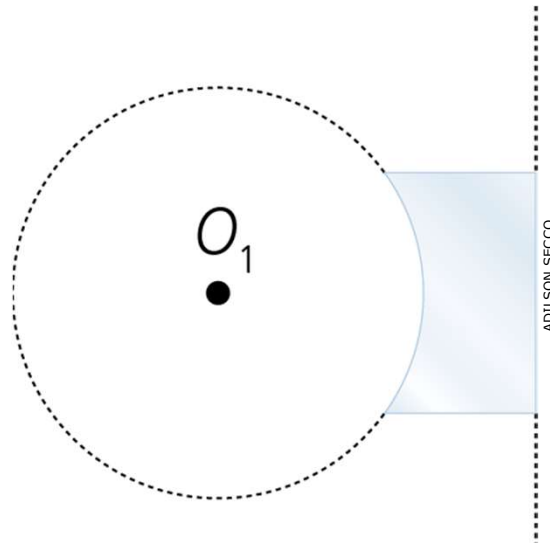
Capítulo 4 – Refração da luz

4.8 – Lentes esféricas

- **Nomenclatura**

Há seis lentes esféricas possíveis:

- as outras três, lentes de bordas **espessas**.



Plano-côncava

- **ÓPTICA GEOMÉTRICA**
- **CAPÍTULO 4 – REFRAÇÃO DA LUZ**
- Relembrando a refração
- Refringência e índice de refração
- Leis da refração
- Ângulo-limite e reflexão total
- Diopetro plano
- Prismas
- Lâminas de faces paralelas
- **Lentes esféricas**
 - **Nomenclatura;**
 - Comportamento óptico;
 - Lentes gaussianas;
 - Raios notáveis para lentes esféricas;
 - Formação da imagem nas lentes convergentes;
 - Formação da imagem nas lentes divergentes;
 - Estudo analítico das lentes esféricas;
 - Equação do fabricante de lentes e associação de lentes.

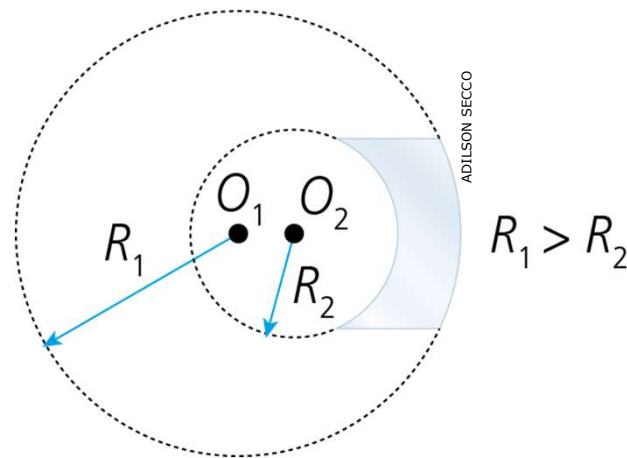
Capítulo 4 – Refração da luz

4.8 – Lentes esféricas

▪ Nomenclatura

Há seis lentes esféricas possíveis:

- as outras três, lentes de bordas **espessas**.



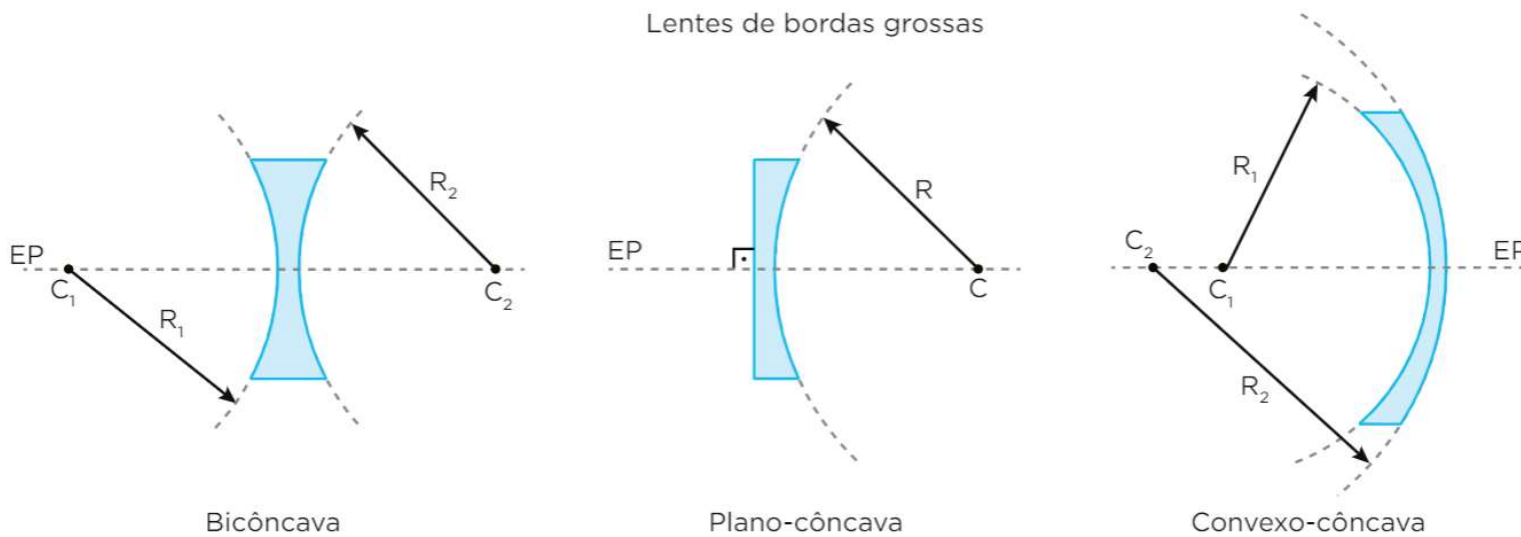
Convexo-côncava

- **ÓPTICA GEOMÉTRICA**
- **CAPÍTULO 4 – REFRAÇÃO DA LUZ**
- Relembrando a refração
- Refringência e índice de refração
- Leis da refração
- Ângulo-limite e reflexão total
- Diopetro plano
- Prismas
- Lâminas de faces paralelas
- **Lentes esféricas**
 - **Nomenclatura;**
 - Comportamento óptico;
 - Lentes gaussianas;
 - Raios notáveis para lentes esféricas;
 - Formação da imagem nas lentes convergentes;
 - Formação da imagem nas lentes divergentes;
 - Estudo analítico das lentes esféricas;
 - Equação do fabricante de lentes e associação de lentes.

Capítulo 4 – Refração da luz

4.8 – Lentes esféricas

▪ Nomenclatura

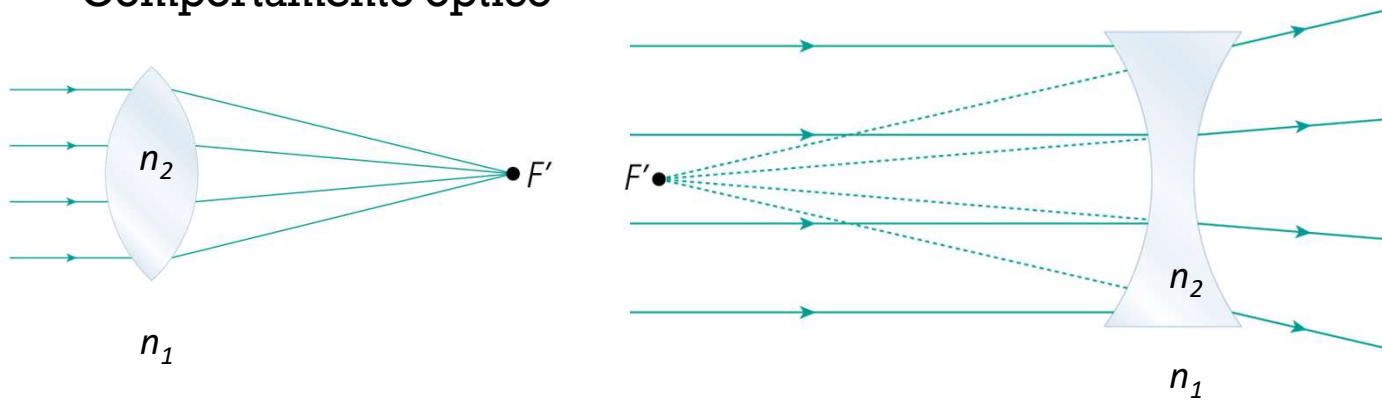


- **ÓPTICA GEOMÉTRICA**
- **CAPÍTULO 4 – REFRAÇÃO DA LUZ**
- Relembrando a refração
- Refringência e índice de refração
- Leis da refração
- Ângulo-limite e reflexão total
- Diopetro plano
- Prismas
- Lâminas de faces paralelas
- **Lentes esféricas**
 - **Nomenclatura;**
 - Comportamento óptico;
 - Lentes gaussianas;
 - Raios notáveis para lentes esféricas;
 - Formação da imagem nas lentes convergentes;
 - Formação da imagem nas lentes divergentes;
 - Estudo analítico das lentes esféricas;
 - Equação do fabricante de lentes e associação de lentes.

Capítulo 4 – Refração da luz

4.8 – Lentes esféricas

Comportamento óptico



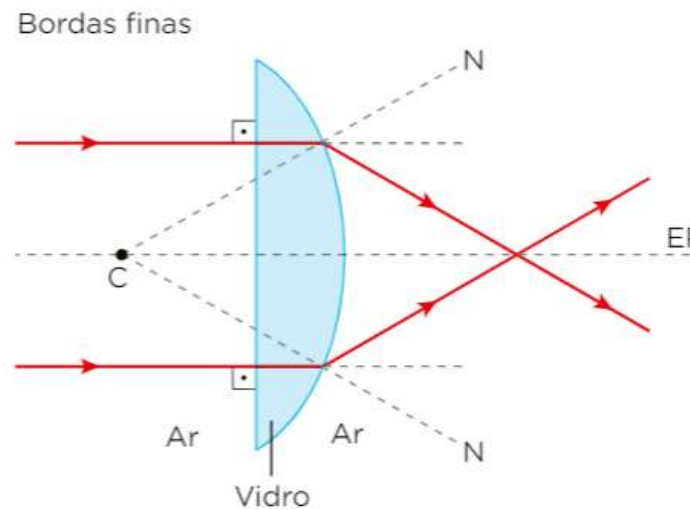
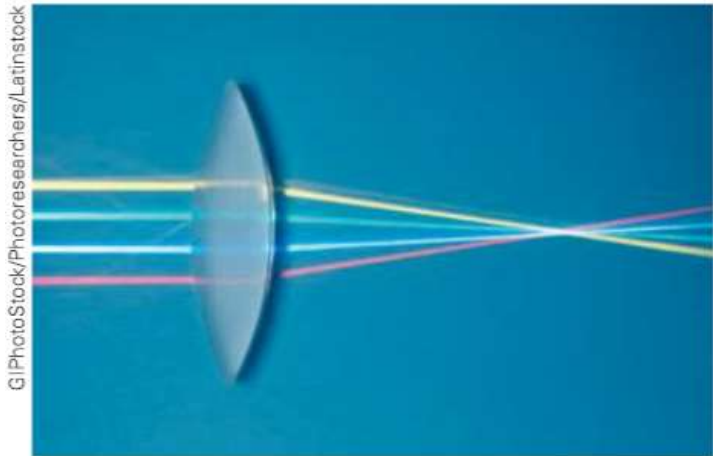
Lentes	$n_2 > n_1$	$n_2 < n_1$
Bordas finas	convergentes	divergentes
Bordas espessas	divergentes	convergentes

- **ÓPTICA GEOMÉTRICA**
- **CAPÍTULO 4 – REFRAÇÃO DA LUZ**
- Relembrando a refração
- Refringência e índice de refração
- Leis da refração
- Ângulo-limite e reflexão total
- Diopetro plano
- Prismas
- Lâminas de faces paralelas
- **Lentes esféricas**
 - Nomenclatura;
 - **Comportamento óptico;**
 - Lentes gaussianas;
 - Raios notáveis para lentes esféricas;
 - Formação da imagem nas lentes convergentes;
 - Formação da imagem nas lentes divergentes;
 - Estudo analítico das lentes esféricas;
 - Equação do fabricante de lentes e associação de lentes.

Capítulo 4 – Refração da luz

4.8 – Lentes esféricas

▪ Comportamento óptico



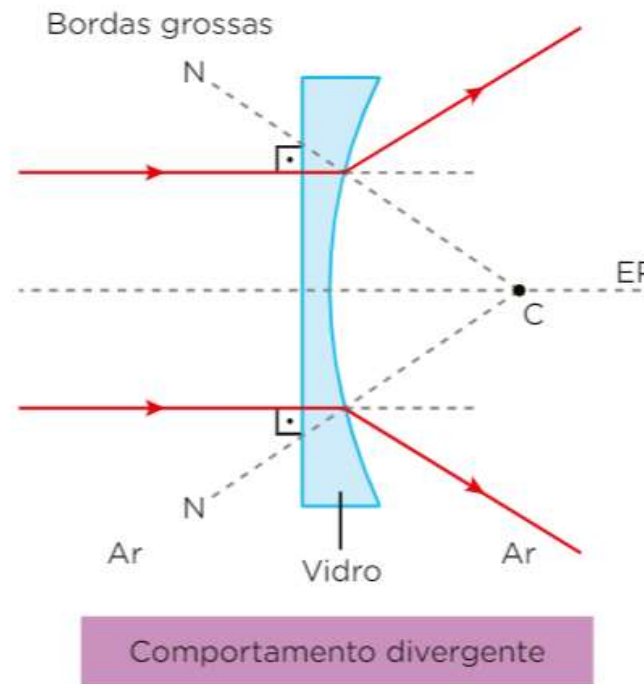
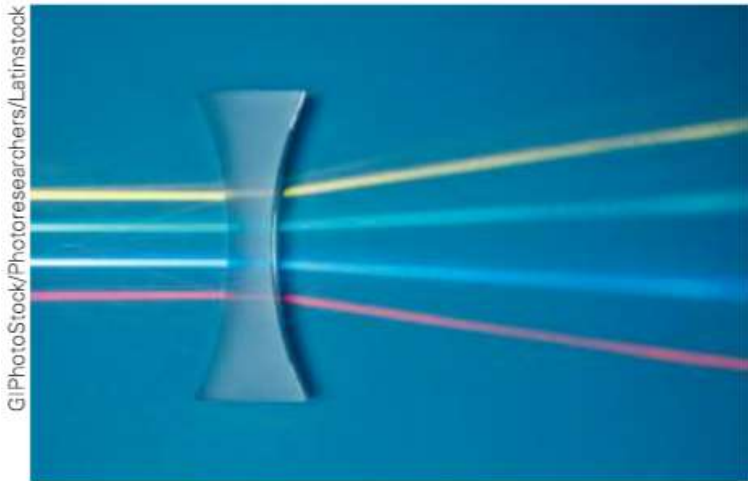
Comportamento convergente

- **ÓPTICA GEOMÉTRICA**
- **CAPÍTULO 4 – REFRAÇÃO DA LUZ**
- Relembrando a refração
- Refringência e índice de refração
- Leis da refração
- Ângulo-limite e reflexão total
- Dioptra plano
- Prismas
- Lâminas de faces paralelas
- **Lentes esféricas**
 - Nomenclatura;
 - **Comportamento óptico;**
 - Lentes gaussianas;
 - Raios notáveis para lentes esféricas;
 - Formação da imagem nas lentes convergentes;
 - Formação da imagem nas lentes divergentes;
 - Estudo analítico das lentes esféricas;
 - Equação do fabricante de lentes e associação de lentes.

Capítulo 4 – Refração da luz

4.8 – Lentes esféricas

▪ Comportamento óptico



- **ÓPTICA GEOMÉTRICA**
- **CAPÍTULO 4 – REFRAÇÃO DA LUZ**
- Relembrando a refração
- Refringência e índice de refração
- Leis da refração
- Ângulo-limite e reflexão total
- Dioptra plano
- Prismas
- Lâminas de faces paralelas
- **Lentes esféricas**
 - Nomenclatura;
 - **Comportamento óptico;**
 - Lentes gaussianas;
 - Raios notáveis para lentes esféricas;
 - Formação da imagem nas lentes convergentes;
 - Formação da imagem nas lentes divergentes;
 - Estudo analítico das lentes esféricas;
 - Equação do fabricante de lentes e associação de lentes.

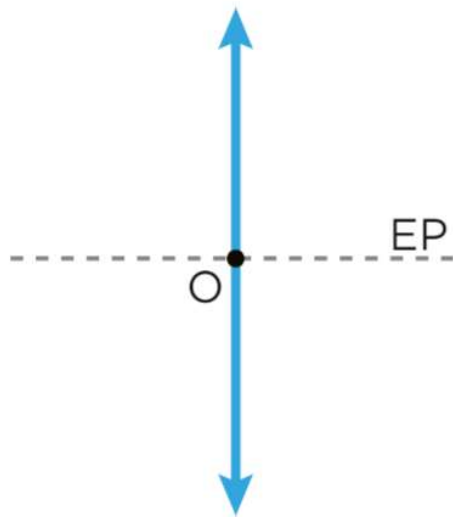
Capítulo 4 – Refração da luz

4.8 – Lentes esféricas

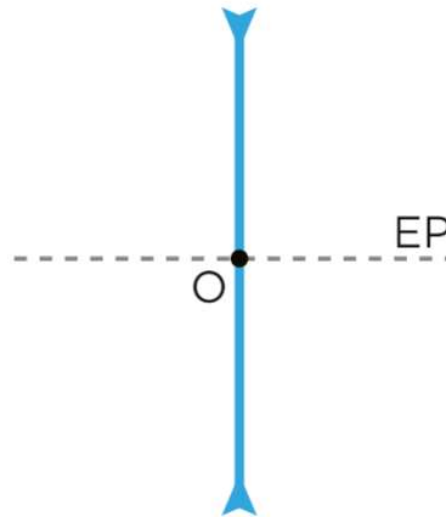
▪ Lentes gaussianas

Chamamos de **lentes delgadas** as lentes que apresentam espessuras desprezíveis comparativamente aos seus raios de curvatura. Nesse caso, nota-se que as imagens formadas por essas lentes apresentam nitidez bastante satisfatória.

Lentes de bordas finas



Lentes de bordas grossas



O eixo principal (EP) intercepta a lente em um ponto **O**, denominado **centro óptico** da lente.

- **ÓPTICA GEOMÉTRICA**
- **CAPÍTULO 4 – REFRAÇÃO DA LUZ**
- Relembrando a refração
- Refringência e índice de refração
- Leis da refração
- Ângulo-limite e reflexão total
- Diopetro plano
- Prismas
- Lâminas de faces paralelas
- **Lentes esféricas**
 - Nomenclatura;
 - Comportamento óptico;
 - **Lentes gaussianas**;
 - Raios notáveis para lentes esféricas;
 - Formação da imagem nas lentes convergentes;
 - Formação da imagem nas lentes divergentes;
 - Estudo analítico das lentes esféricas;
 - Equação do fabricante de lentes e associação de lentes.

Capítulo 4 – Refração da luz

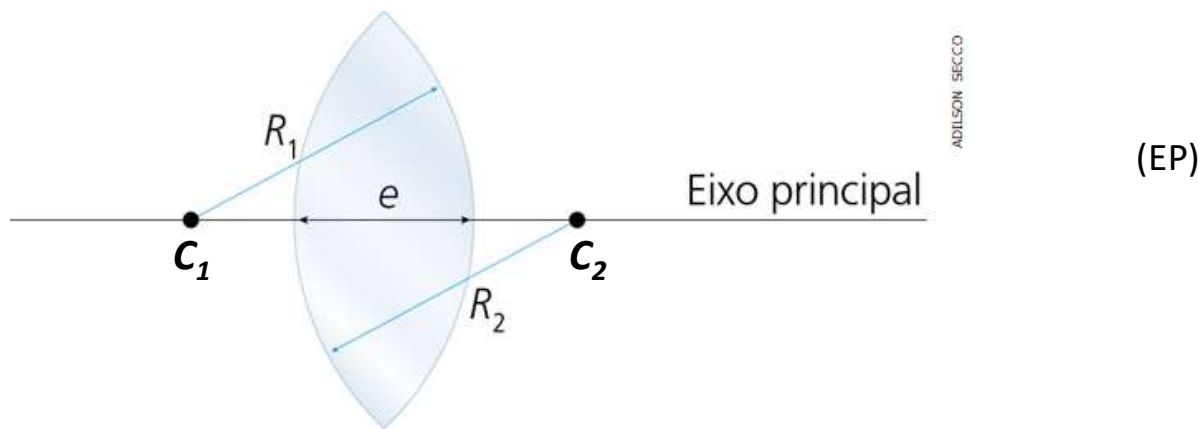
4.8 – Lentes esféricas

▪ Lentes gaussianas

Os **elementos ópticos** de uma lente são os índices de refração n_2 do corpo transparente (vidro ou acrílico, por exemplo) e n_1 do meio onde ela está imersa (ar, água, por exemplo).

Os **elementos geométricos** de uma lente esférica são:

- os **centros de curvatura** C_1 e C_2 das faces das lentes, cujos raios são R_1 e R_2 ;
- a **espessura** e , que é a distância entre os vértices das faces;
- o **eixo principal (EP)**, que é a reta definida pelos centros de curvatura C_1 e C_2 .

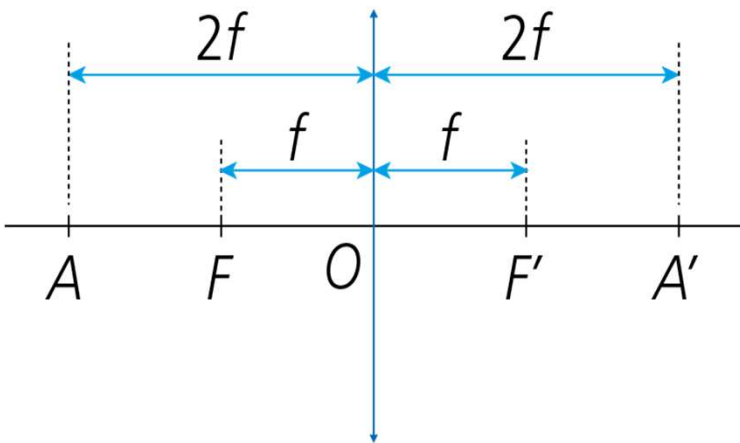


- **ÓPTICA GEOMÉTRICA**
- **CAPÍTULO 4 – REFRAÇÃO DA LUZ**
- Relembrando a refração
- Refringência e índice de refração
- Leis da refração
- Ângulo-limite e reflexão total
- Diopetro plano
- Prismas
- Lâminas de faces paralelas
- **Lentes esféricas**
 - Nomenclatura;
 - Comportamento óptico;
 - **Lentes gaussianas**;
 - Raios notáveis para lentes esféricas;
 - Formação da imagem nas lentes convergentes;
 - Formação da imagem nas lentes divergentes;
 - Estudo analítico das lentes esféricas;
 - Equação do fabricante de lentes e associação de lentes.

Capítulo 4 – Refração da luz

4.8 – Lentes esféricas

▪ Lentes gaussianas



Lente convergente

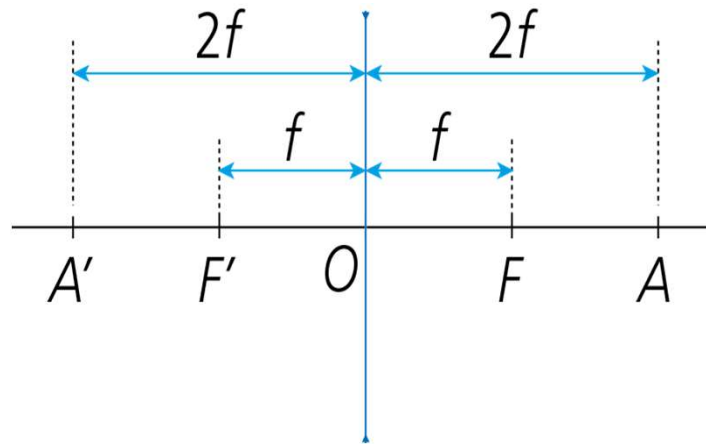
A – ponto antiprincipal objeto

F – Foco Objeto

O – Centro óptico

A' – ponto antiprincipal imagem

F' – Foco imagem



Lente divergente

A' – ponto antiprincipal imagem

F' – Foco imagem

O – Centro óptico

A – ponto antiprincipal objeto

F – Foco objeto

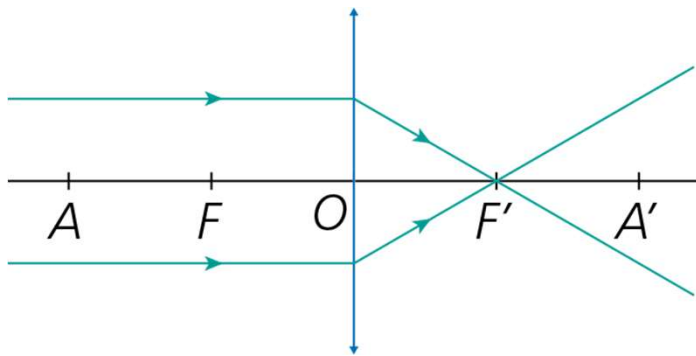
- **ÓPTICA GEOMÉTRICA**
- **CAPÍTULO 4 – REFRAÇÃO DA LUZ**
- Relembrando a refração
- Refringência e índice de refração
- Leis da refração
- Ângulo-limite e reflexão total
- Diopetro plano
- Prismas
- Lâminas de faces paralelas
- **Lentes esféricas**
 - Nomenclatura;
 - Comportamento óptico;
 - Lentes gaussianas;
 - Raios notáveis para lentes esféricas;
 - Formação da imagem nas lentes convergentes;
 - Formação da imagem nas lentes divergentes;
 - Estudo analítico das lentes esféricas;
 - Equação do fabricante de lentes e associação de lentes.

Capítulo 4 – Refração da luz

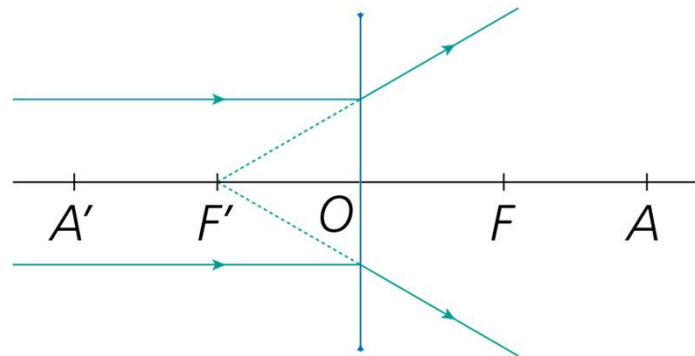
4.8 – Lentes esféricas

▪ Raios notáveis para lentes esféricas

Os raios de luz que incidem numa lente delgada, paralelamente ao eixo principal, emergem passando efetivamente pelo foco principal imagem F' (nas lentes convergentes) e através de seus prolongamentos (nas lentes divergentes).



Lente delgada convergente



Lente delgada divergente

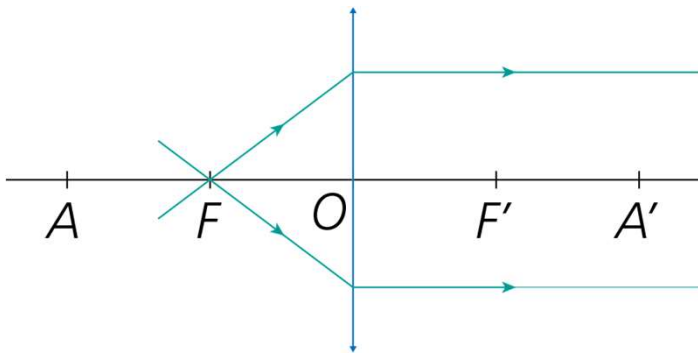
- **ÓPTICA GEOMÉTRICA**
- **CAPÍTULO 4 – REFRAÇÃO DA LUZ**
- Relembrando a refração
- Refringência e índice de refração
- Leis da refração
- Ângulo-limite e reflexão total
- Diopetro plano
- Prismas
- Lâminas de faces paralelas
- **Lentes esféricas**
 - Nomenclatura;
 - Comportamento óptico;
 - Lentes gaussianas;
 - **Raios notáveis para lentes esféricas;**
 - Formação da imagem nas lentes convergentes;
 - Formação da imagem nas lentes divergentes;
 - Estudo analítico das lentes esféricas;
 - Equação do fabricante de lentes e associação de lentes.

Capítulo 4 – Refração da luz

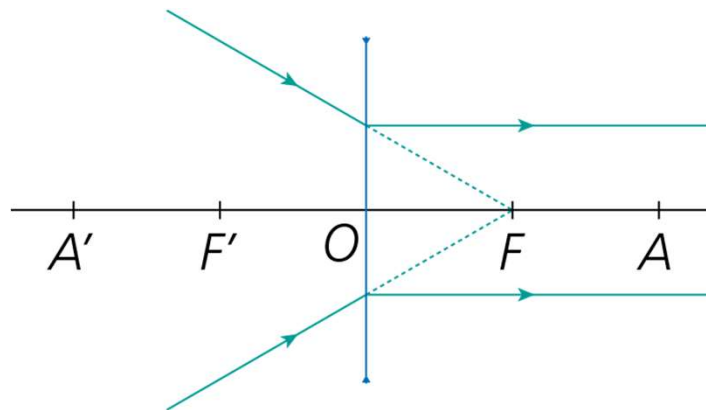
4.8 – Lentes esféricas

▪ Raios notáveis para lentes esféricas

Os raios de luz que incidem numa lente delgada passando pelo foco principal objeto F efetivamente (na lente convergente) ou através de prolongamentos (na lente divergente) terão os correspondentes raios emergentes paralelos ao eixo principal.



Lente delgada convergente



Lente delgada divergente

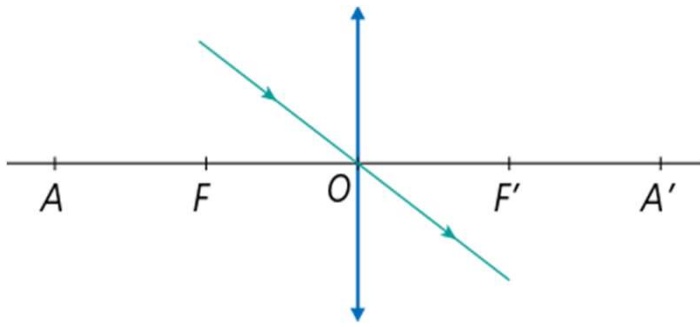
- **ÓPTICA GEOMÉTRICA**
- **CAPÍTULO 4 – REFRAÇÃO DA LUZ**
- Relembrando a refração
- Refringência e índice de refração
- Leis da refração
- Ângulo-limite e reflexão total
- Diopetro plano
- Prismas
- Lâminas de faces paralelas
- **Lentes esféricas**
 - Nomenclatura;
 - Comportamento óptico;
 - Lentes gaussianas;
 - **Raios notáveis para lentes esféricas;**
 - Formação da imagem nas lentes convergentes;
 - Formação da imagem nas lentes divergentes;
 - Estudo analítico das lentes esféricas;
 - Equação do fabricante de lentes e associação de lentes.

Capítulo 4 – Refração da luz

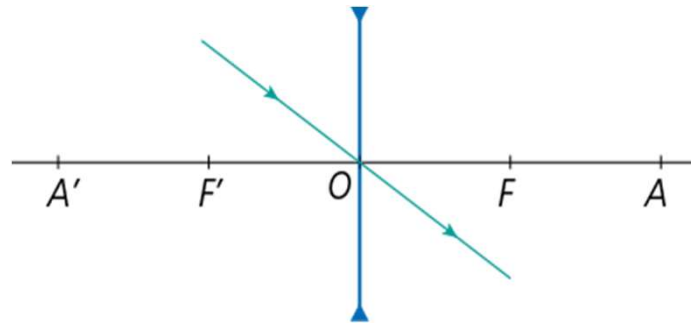
4.8 – Lentes esféricas

▪ Raios notáveis para lentes esféricas

Todo raio de luz que incide passando pelo centro óptico O atravessa a lente delgada sem sofrer desvio.



Lente delgada convergente



Lente delgada divergente

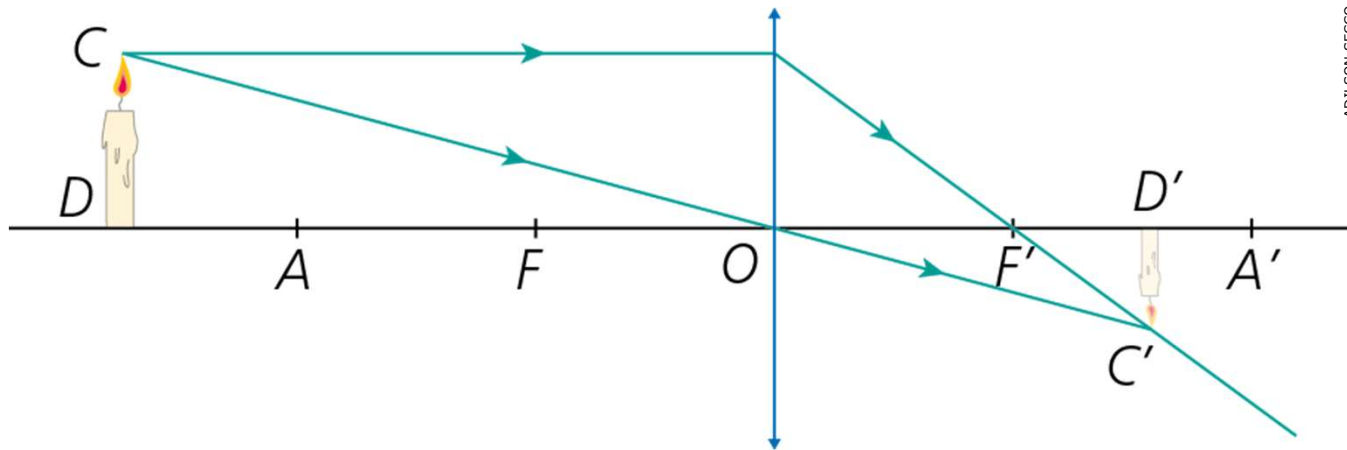
- **ÓPTICA GEOMÉTRICA**
- **CAPÍTULO 4 – REFRAÇÃO DA LUZ**
- Relembrando a refração
- Refringência e índice de refração
- Leis da refração
- Ângulo-limite e reflexão total
- Diopetro plano
- Prismas
- Lâminas de faces paralelas
- **Lentes esféricas**
 - Nomenclatura;
 - Comportamento óptico;
 - Lentes gaussianas;
 - **Raios notáveis para lentes esféricas;**
 - Formação da imagem nas lentes convergentes;
 - Formação da imagem nas lentes divergentes;
 - Estudo analítico das lentes esféricas;
 - Equação do fabricante de lentes e associação de lentes.

Capítulo 4 – Refração da luz

4.8 – Lentes esféricas

- Formação da imagem nas lentes convergentes – caso 01

Objeto situado antes do ponto antiprincipal objeto A:
Imagem **real, invertida e menor** do que o objeto.



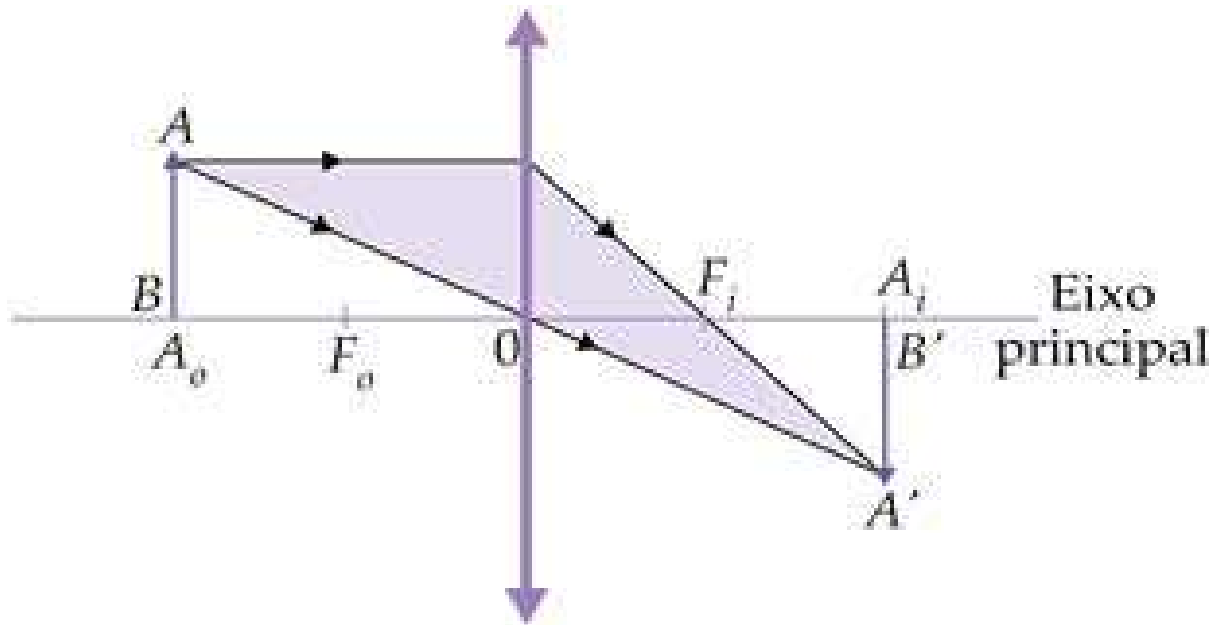
- **ÓPTICA GEOMÉTRICA**
- **CAPÍTULO 4 – REFRAÇÃO DA LUZ**
- Relembrando a refração
- Refringência e índice de refração
- Leis da refração
- Ângulo-limite e reflexão total
- Dioptra plano
- Prismas
- Lâminas de faces paralelas
- **Lentes esféricas**
 - Nomenclatura;
 - Comportamento óptico;
 - Lentes gaussianas;
 - Raios notáveis para lentes esféricas;
 - **Formação da imagem nas lentes convergentes;**
 - Formação da imagem nas lentes divergentes;
 - Estudo analítico das lentes esféricas;
 - Equação do fabricante de lentes e associação de lentes.

Capítulo 4 – Refração da luz

4.8 – Lentes esféricas

- Formação da imagem nas lentes convergentes – caso 02

Objeto situado sobre o ponto antiprincipal objeto A:
Imagem **real, invertida e igual** do que o objeto.



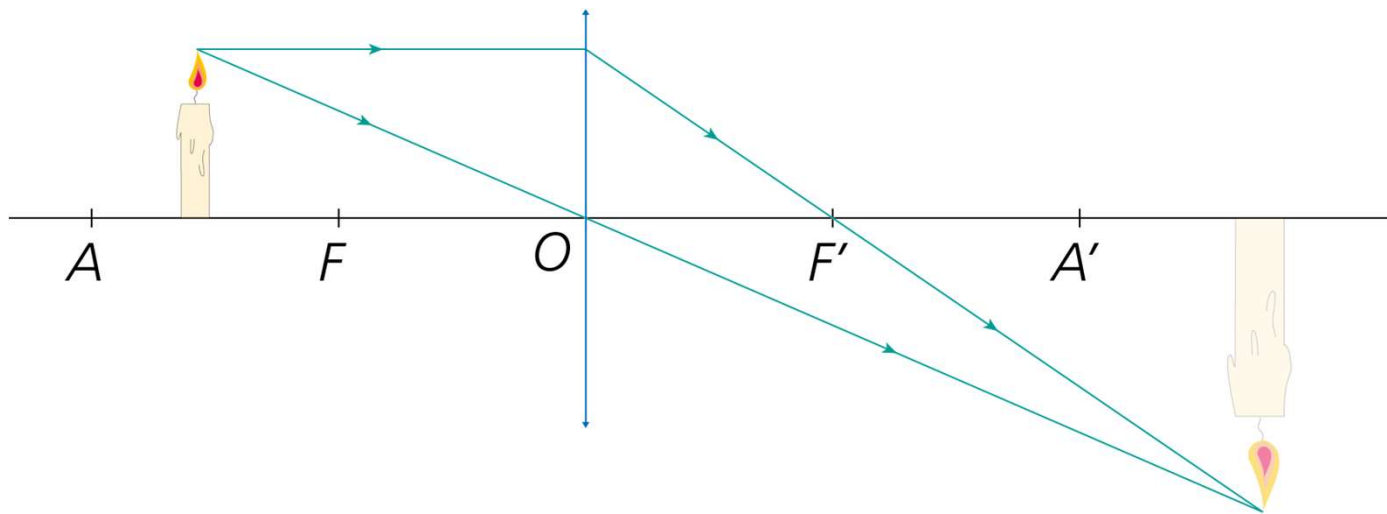
- **ÓPTICA GEOMÉTRICA**
- **CAPÍTULO 4 – REFRAÇÃO DA LUZ**
- Relembrando a refração
- Refringência e índice de refração
- Leis da refração
- Ângulo-limite e reflexão total
- Diopetro plano
- Prismas
- Lâminas de faces paralelas
- **Lentes esféricas**
 - Nomenclatura;
 - Comportamento óptico;
 - Lentes gaussianas;
 - Raios notáveis para lentes esféricas;
 - **Formação da imagem nas lentes convergentes;**
 - Formação da imagem nas lentes divergentes;
 - Estudo analítico das lentes esféricas;
 - Equação do fabricante de lentes e associação de lentes.

Capítulo 4 – Refração da luz

4.8 – Lentes esféricas

- Formação da imagem nas lentes convergentes – caso 03

Objeto situado entre o ponto antiprincipal objeto A e o foco objeto F:
Imagem **real, invertida e maior** do que o objeto.



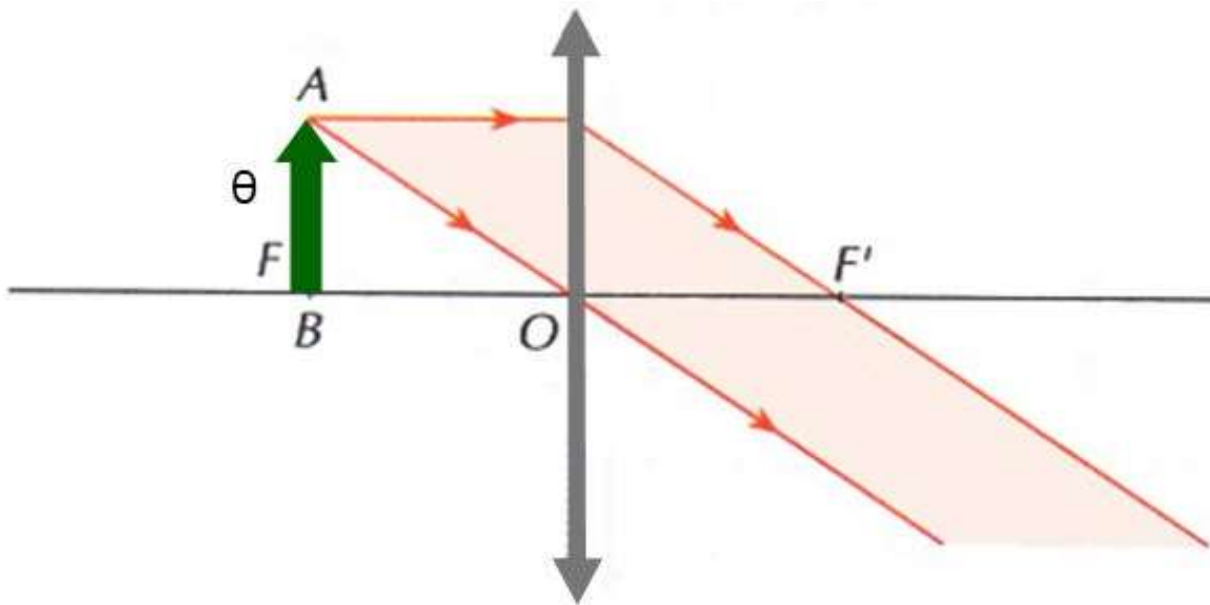
- **ÓPTICA GEOMÉTRICA**
- **CAPÍTULO 4 – REFRAÇÃO DA LUZ**
- Relembrando a refração
- Refringência e índice de refração
- Leis da refração
- Ângulo-limite e reflexão total
- Diopetro plano
- Prismas
- Lâminas de faces paralelas
- **Lentes esféricas**
 - Nomenclatura;
 - Comportamento óptico;
 - Lentes gaussianas;
 - Raios notáveis para lentes esféricas;
 - **Formação da imagem nas lentes convergentes;**
 - Formação da imagem nas lentes divergentes;
 - Estudo analítico das lentes esféricas;
 - Equação do fabricante de lentes e associação de lentes.

Capítulo 4 – Refração da luz

4.8 – Lentes esféricas

- Formação da imagem nas lentes convergentes – caso 04

Objeto situado sobre o ponto foco objeto F :
Imagem **imprópria**.



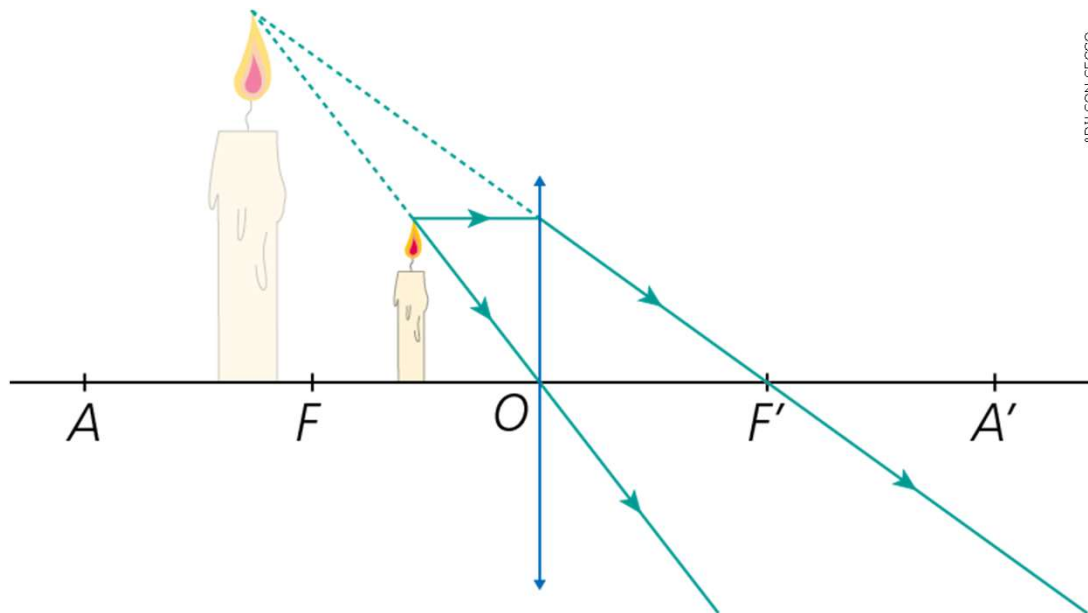
- **ÓPTICA GEOMÉTRICA**
- **CAPÍTULO 4 – REFRAÇÃO DA LUZ**
- Relembrando a refração
- Refringência e índice de refração
- Leis da refração
- Ângulo-limite e reflexão total
- Dioptra plano
- Prismas
- Lâminas de faces paralelas
- **Lentes esféricas**
 - Nomenclatura;
 - Comportamento óptico;
 - Lentes gaussianas;
 - Raios notáveis para lentes esféricas;
 - **Formação da imagem nas lentes convergentes;**
 - Formação da imagem nas lentes divergentes;
 - Estudo analítico das lentes esféricas;
 - Equação do fabricante de lentes e associação de lentes.

Capítulo 4 – Refração da luz

4.8 – Lentes esféricas

- Formação da imagem nas lentes convergentes – caso 05

Objeto situado entre o ponto foco objeto F e o centro óptico O :
Imagem **virtual, direita e maior** do que o objeto.



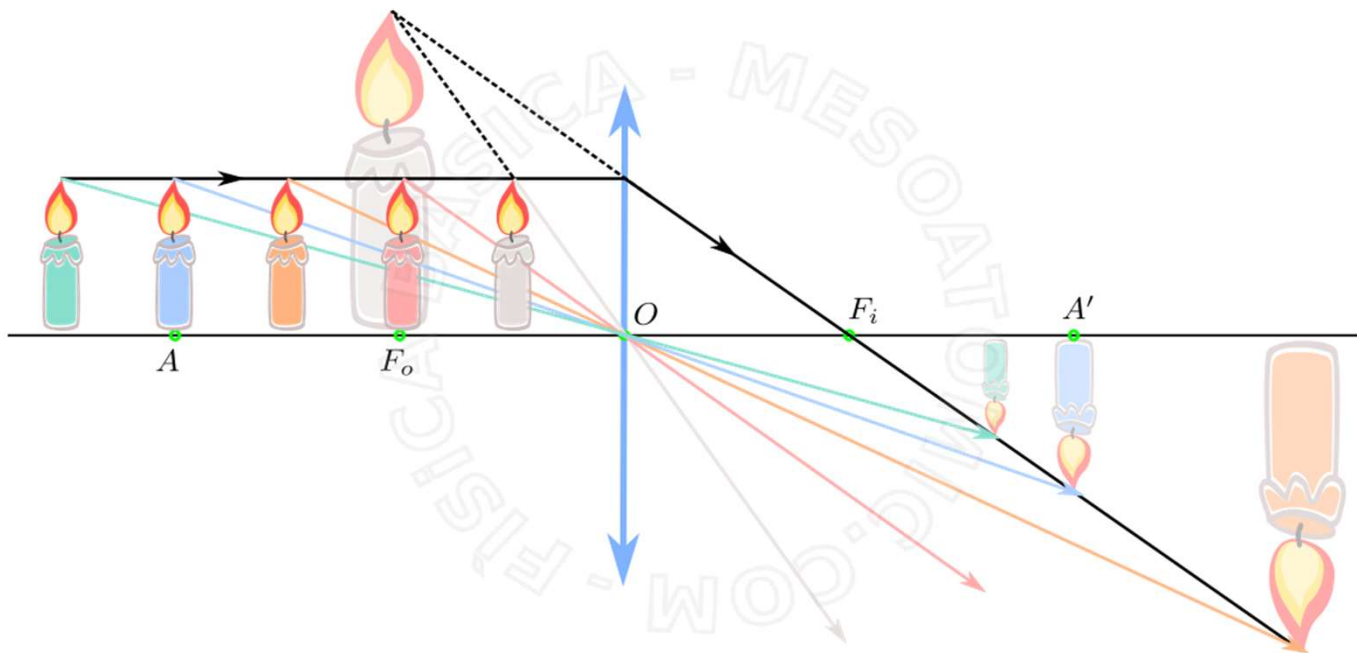
ADILSON SECCO

- **ÓPTICA GEOMÉTRICA**
- **CAPÍTULO 4 – REFRAÇÃO DA LUZ**
- Relembrando a refração
- Refringência e índice de refração
- Leis da refração
- Ângulo-limite e reflexão total
- Dioptra plano
- Prismas
- Lâminas de faces paralelas
- **Lentes esféricas**
 - Nomenclatura;
 - Comportamento óptico;
 - Lentes gaussianas;
 - Raios notáveis para lentes esféricas;
 - **Formação da imagem nas lentes convergentes;**
 - Formação da imagem nas lentes divergentes;
 - Estudo analítico das lentes esféricas;
 - Equação do fabricante de lentes e associação de lentes.

Capítulo 4 – Refração da luz

4.8 – Lentes esféricas

- Formação da imagem nas lentes convergentes – todos os casos



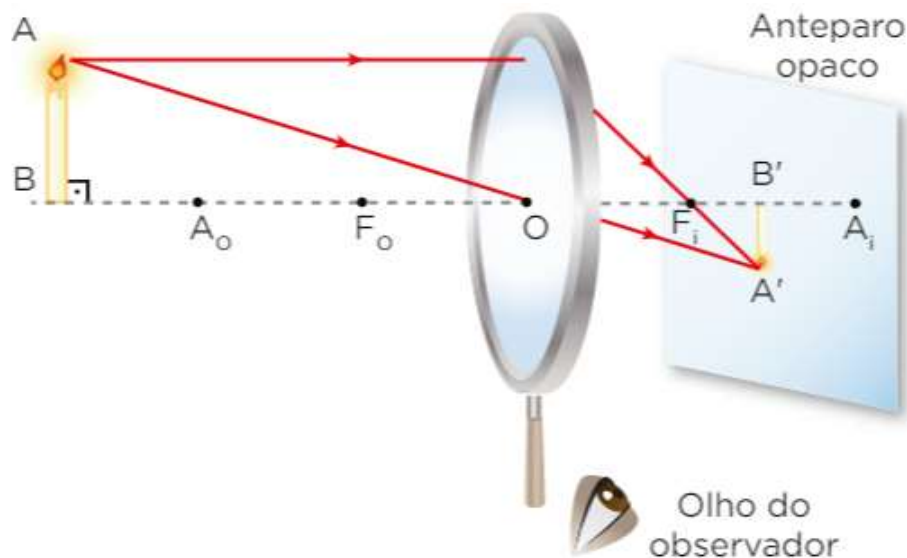
- **ÓPTICA GEOMÉTRICA**
- **CAPÍTULO 4 – REFRAÇÃO DA LUZ**
- Relembrando a refração
- Refringência e índice de refração
- Leis da refração
- Ângulo-limite e reflexão total
- Diopetro plano
- Prismas
- Lâminas de faces paralelas
- **Lentes esféricas**
 - Nomenclatura;
 - Comportamento óptico;
 - Lentes gaussianas;
 - Raios notáveis para lentes esféricas;
 - **Formação da imagem nas lentes convergentes;**
 - Formação da imagem nas lentes divergentes;
 - Estudo analítico das lentes esféricas;
 - Equação do fabricante de lentes e associação de lentes.

Capítulo 4 – Refração da luz

4.8 – Lentes esféricas

- Formação da imagem nas lentes convergentes – aplicações

Caso 01 – Objeto antes do ponto antiprincipal objeto A



Somente as imagens reais podem ser projetadas em um anteparo.

- **ÓPTICA GEOMÉTRICA**
- **CAPÍTULO 4 – REFRAÇÃO DA LUZ**
- Relembrando a refração
- Refringência e índice de refração
- Leis da refração
- Ângulo-limite e reflexão total
- Diopetro plano
- Prismas
- Lâminas de faces paralelas
- **Lentes esféricas**
 - Nomenclatura;
 - Comportamento óptico;
 - Lentes gaussianas;
 - Raios notáveis para lentes esféricas;
 - **Formação da imagem nas lentes convergentes;**
 - Formação da imagem nas lentes divergentes;
 - Estudo analítico das lentes esféricas;
 - Equação do fabricante de lentes e associação de lentes.

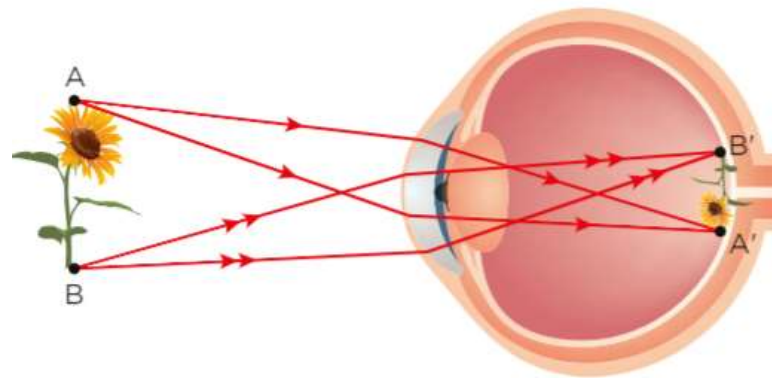
Capítulo 4 – Refração da luz

4.8 – Lentes esféricas

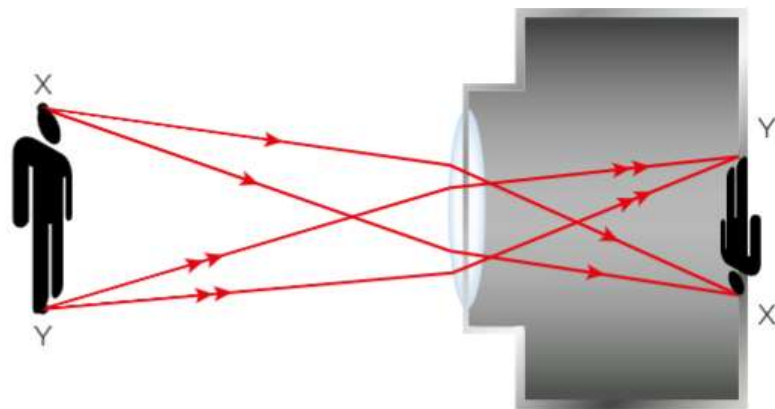
- Formação da imagem nas lentes convergentes – aplicações

Caso 01 – Objeto antes do ponto antiprincipal objeto A

Olho humano



Câmera fotográfica



- **ÓPTICA GEOMÉTRICA**
- **CAPÍTULO 4 – REFRAÇÃO DA LUZ**
- Relembrando a refração
- Refringência e índice de refração
- Leis da refração
- Ângulo-limite e reflexão total
- Dioptra plano
- Prismas
- Lâminas de faces paralelas
- **Lentes esféricas**
 - Nomenclatura;
 - Comportamento óptico;
 - Lentes gaussianas;
 - Raios notáveis para lentes esféricas;
 - **Formação da imagem nas lentes convergentes;**
 - Formação da imagem nas lentes divergentes;
 - Estudo analítico das lentes esféricas;
 - Equação do fabricante de lentes e associação de lentes.

Capítulo 4 – Refração da luz

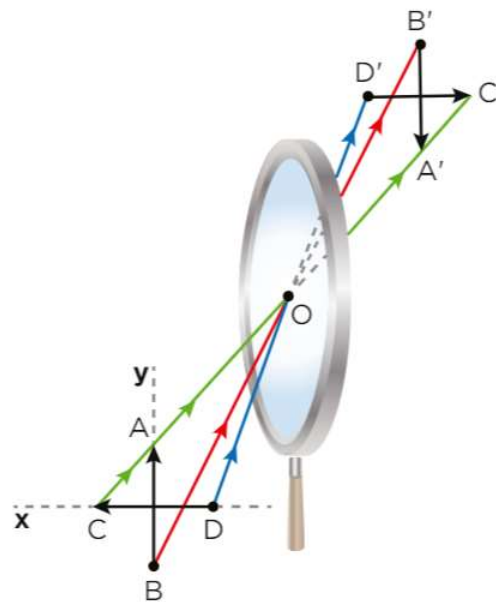
4.8 – Lentes esféricas

▪ Formação da imagem nas lentes convergentes – aplicações

Caso 01 – Objeto antes do ponto antiprincipal objeto A

Uma informação importante é que a imagem real formada por uma lente esférica convergente é invertida em todas as direções.

Por exemplo, suponha um objeto ABCD diante de uma lente convergente. Se a imagem for real, A'B'C'D', ela é invertida tanto na direção do eixo x como na direção do eixo y.



Nas lentes esféricas convergentes, quando formam imagens invertidas, a inversão ocorre nas duas direções.

VÍDEO
GLICERINA

- **ÓPTICA GEOMÉTRICA**
- **CAPÍTULO 4 – REFRAÇÃO DA LUZ**
- Relembrando a refração
- Refringência e índice de refração
- Leis da refração
- Ângulo-limite e reflexão total
- Diopetro plano
- Prismas
- Lâminas de faces paralelas
- **Lentes esféricas**
 - Nomenclatura;
 - Comportamento óptico;
 - Lentes gaussianas;
 - Raios notáveis para lentes esféricas;
 - **Formação da imagem nas lentes convergentes;**
 - Formação da imagem nas lentes divergentes;
 - Estudo analítico das lentes esféricas;
 - Equação do fabricante de lentes e associação de lentes.

Capítulo 4 – Refração da luz

4.8 – Lentes esféricas

- **Formação da imagem nas lentes convergentes – aplicações**

Caso 01 – Objeto antes do ponto antiprincipal objeto A

A observação direta de uma imagem real

Podemos observar uma imagem real projetada em um anteparo simplesmente olhando para ele. É o caso, por exemplo, do cinema.



As imagens projetadas são visualizadas quando olhamos para o anteparo.

Entretanto, a imagem real também pode ser visualizada por observação direta, sem a necessidade de projetá-la sobre um anteparo. Para isso, basta que o observador esteja convenientemente posicionado no caminho da luz, após a formação da imagem.

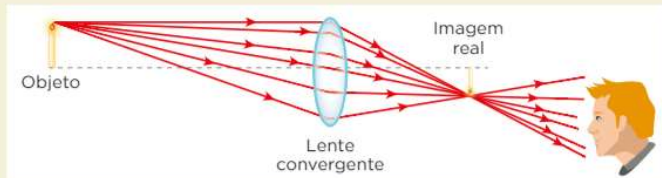
- **ÓPTICA GEOMÉTRICA**
- **CAPÍTULO 4 – REFRAÇÃO DA LUZ**
- Relembrando a refração
- Refringência e índice de refração
- Leis da refração
- Ângulo-limite e reflexão total
- Dioptro plano
- Prismas
- Lâminas de faces paralelas
- **Lentes esféricas**
 - Nomenclatura;
 - Comportamento óptico;
 - Lentes gaussianas;
 - Raios notáveis para lentes esféricas;
 - **Formação da imagem nas lentes convergentes;**
 - Formação da imagem nas lentes divergentes;
 - Estudo analítico das lentes esféricas;
 - Equação do fabricante de lentes e associação de lentes.

Capítulo 4 – Refração da luz

4.8 – Lentes esféricas

▪ Formação da imagem nas lentes convergentes – aplicações

Caso 01 – Objeto antes do ponto antiprincipal objeto A



A imagem real também pode ser visualizada por observação direta.

A fotografia a seguir mostra uma gota de água flutuando no interior da Estação Espacial Internacional (ISS, sigla em inglês para *International Space Station*) que orbita a Terra. A gota opera como uma lente convergente e o astronauta (por detrás da gota) é o objeto. A máquina fotográfica que tirou essa fotografia opera como o globo ocular do observador.



Reprodução/NASA

Essa imagem real pode ser visualizada sem a necessidade de projetá-la sobre um anteparo.

- **ÓPTICA GEOMÉTRICA**
- **CAPÍTULO 4 – REFRAÇÃO DA LUZ**
- Relembrando a refração
- Refringência e índice de refração
- Leis da refração
- Ângulo-limite e reflexão total
- Diopetro plano
- Prismas
- Lâminas de faces paralelas
- **Lentes esféricas**
 - Nomenclatura;
 - Comportamento óptico;
 - Lentes gaussianas;
 - Raios notáveis para lentes esféricas;
 - **Formação da imagem nas lentes convergentes;**
 - Formação da imagem nas lentes divergentes;
 - Estudo analítico das lentes esféricas;
 - Equação do fabricante de lentes e associação de lentes.

Capítulo 4 – Refração da luz

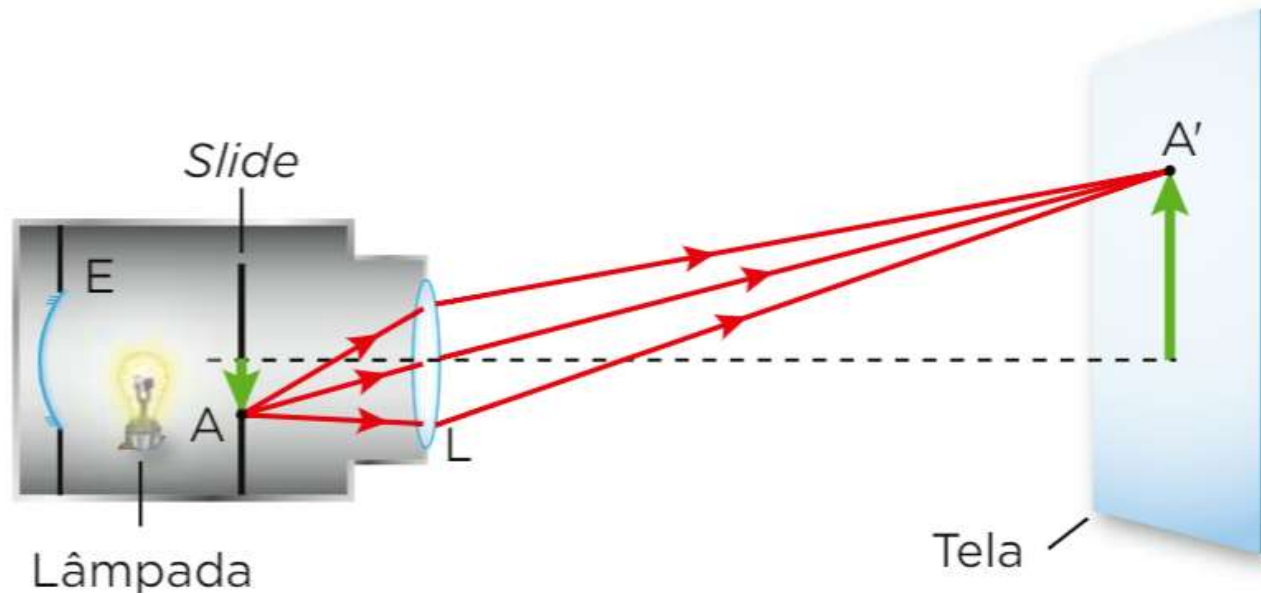
4.8 – Lentes esféricas

- Formação da imagem nas lentes convergentes – aplicações

Caso 03 – Objeto entre o ponto antiprincipal objeto A e o foco objeto F

Funcionamento dos projetores de slides ou filmes.

Uma lâmpada ilumina fortemente por trás um slide, posicionado entre **A** e **F** da lente do projetor. A tela de projeção é colocada no local onde a imagem **i** se forma.



- **ÓPTICA GEOMÉTRICA**
- **CAPÍTULO 4 – REFRAÇÃO DA LUZ**
- Relembrando a refração
- Refringência e índice de refração
- Leis da refração
- Ângulo-limite e reflexão total
- Dioptra plano
- Prismas
- Lâminas de faces paralelas
- **Lentes esféricas**
 - Nomenclatura;
 - Comportamento óptico;
 - Lentes gaussianas;
 - Raios notáveis para lentes esféricas;
 - **Formação da imagem nas lentes convergentes;**
 - Formação da imagem nas lentes divergentes;
 - Estudo analítico das lentes esféricas;
 - Equação do fabricante de lentes e associação de lentes.

Capítulo 4 – Refração da luz

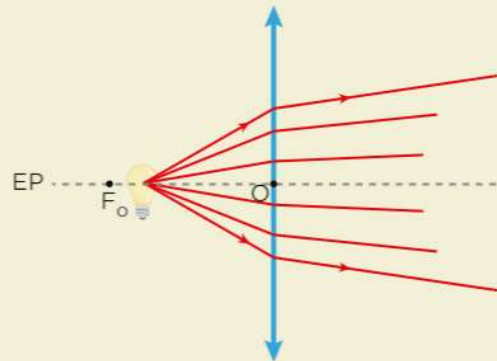
4.8 – Lentes esféricas

- Formação da imagem nas lentes convergentes – aplicações

Caso 05 – Objeto entre o foco objeto F e o centro óptico O

Holofotes

Em holofotes que se utilizam de lentes, quando é necessário obter um feixe divergente de luz, basta posicionar a lâmpada numa distância inferior à distância focal da lente.



Para que a lente convergente produza um feixe divergente, é necessário que a fonte de luz esteja localizada entre F_o e O .

- **ÓPTICA GEOMÉTRICA**
- **CAPÍTULO 4 – REFRAÇÃO DA LUZ**
- Relembrando a refração
- Refringência e índice de refração
- Leis da refração
- Ângulo-limite e reflexão total
- Diopetro plano
- Prismas
- Lâminas de faces paralelas
- **Lentes esféricas**
 - Nomenclatura;
 - Comportamento óptico;
 - Lentes gaussianas;
 - Raios notáveis para lentes esféricas;
 - **Formação da imagem nas lentes convergentes;**
 - Formação da imagem nas lentes divergentes;
 - Estudo analítico das lentes esféricas;
 - Equação do fabricante de lentes e associação de lentes.

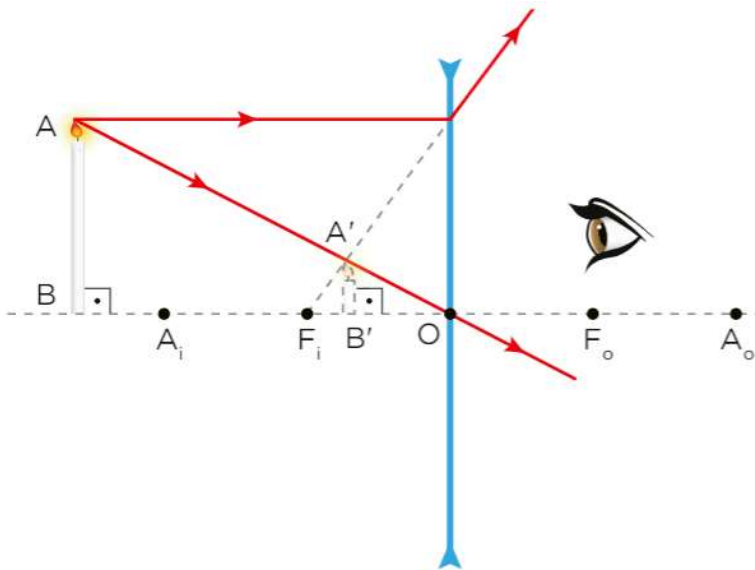
Capítulo 4 – Refração da luz

4.8 – Lentes esféricas

▪ Formação da imagem nas lentes divergentes

Vamos considerar um objeto real AB, diante de uma lente divergente, em duas posições distintas. É possível determinar, graficamente, a imagem conjugada pela lente divergente nos dois casos.

- No primeiro caso, localizado em um ponto antes do antiprincipal imagem (A') dessa lente, e,



- **ÓPTICA GEOMÉTRICA**
- **CAPÍTULO 4 – REFRAÇÃO DA LUZ**
- Relembrando a refração
- Refringência e índice de refração
- Leis da refração
- Ângulo-limite e reflexão total
- Diopetro plano
- Prismas
- Lâminas de faces paralelas
- **Lentes esféricas**
 - Nomenclatura;
 - Comportamento óptico;
 - Lentes gaussianas;
 - Raios notáveis para lentes esféricas;
 - Formação da imagem nas lentes convergentes;
 - **Formação da imagem nas lentes divergentes;**
 - Estudo analítico das lentes esféricas;
 - Equação do fabricante de lentes e associação de lentes.

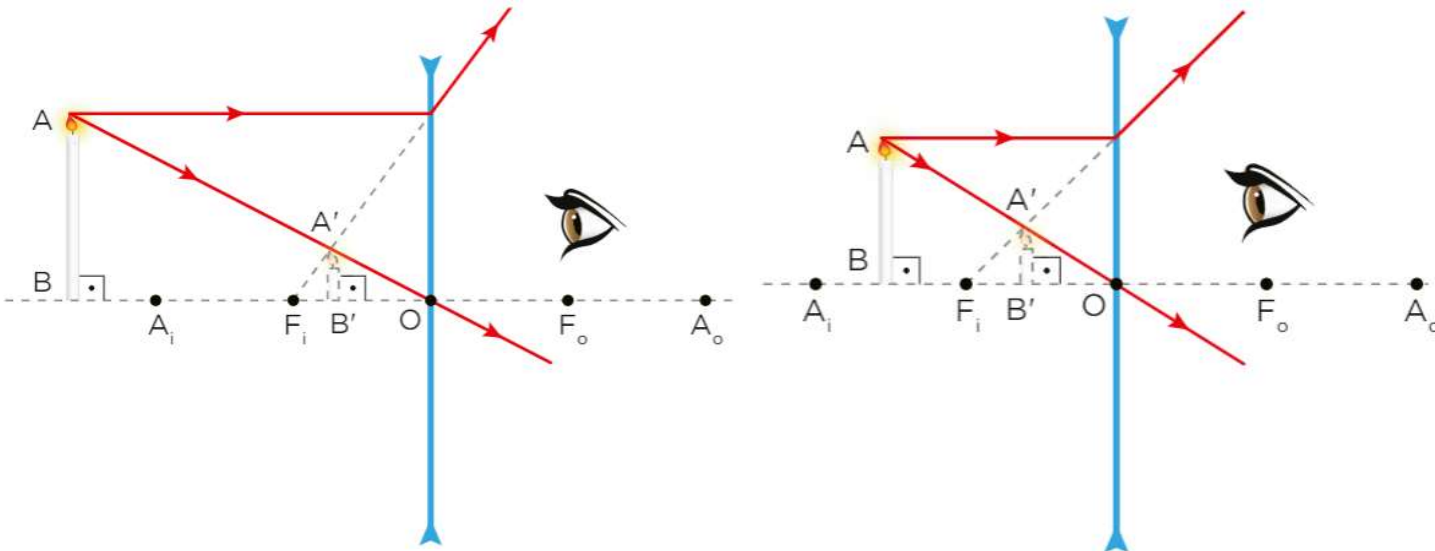
Capítulo 4 – Refração da luz

4.8 – Lentes esféricas

▪ Formação da imagem nas lentes divergentes

Vamos considerar um objeto real AB, diante de uma lente divergente, em duas posições distintas. É possível determinar, graficamente, a imagem conjugada pela lente divergente nos dois casos.

- No segundo caso, localizado em um ponto qualquer, entre o ponto antiprincipal imagem A' e o ponto focal imagem F' da lente.



- **ÓPTICA GEOMÉTRICA**
- **CAPÍTULO 4 – REFRAÇÃO DA LUZ**
- Relembrando a refração
- Refringência e índice de refração
- Leis da refração
- Ângulo-limite e reflexão total
- Diopetro plano
- Prismas
- Lâminas de faces paralelas
- **Lentes esféricas**
 - Nomenclatura;
 - Comportamento óptico;
 - Lentes gaussianas;
 - Raios notáveis para lentes esféricas;
 - Formação da imagem nas lentes convergentes;
 - **Formação da imagem nas lentes divergentes;**
 - Estudo analítico das lentes esféricas;
 - Equação do fabricante de lentes e associação de lentes.

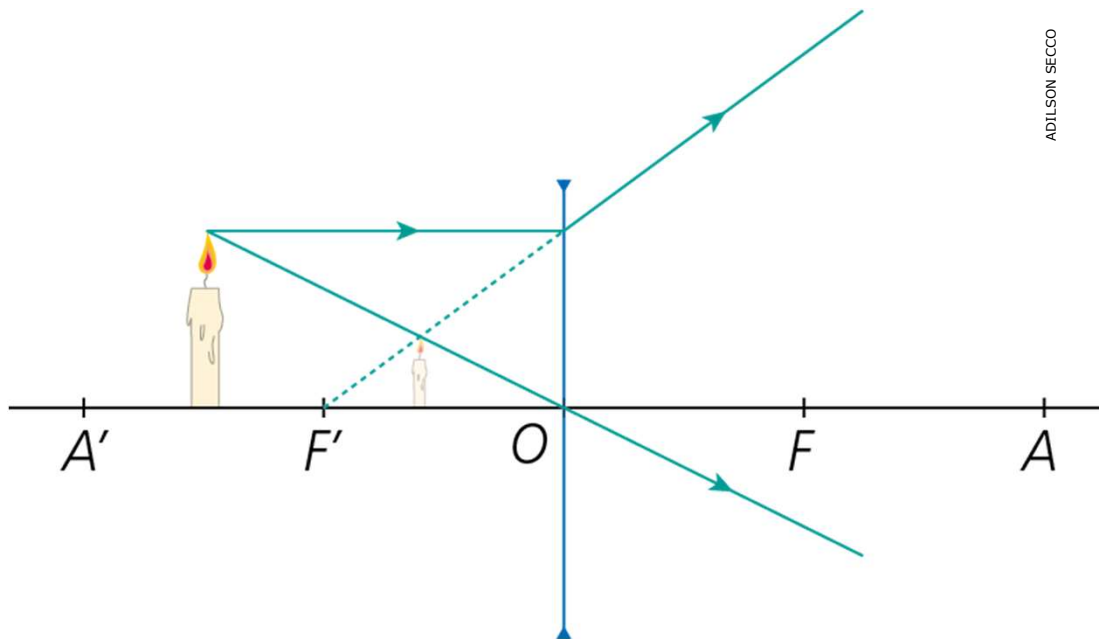
Capítulo 4 – Refração da luz

4.8 – Lentes esféricas

▪ Formação da imagem nas lentes divergentes

Para qualquer posição do objeto:

Imagem **virtual, direita e menor** do que o objeto.



ADILSON SECCO

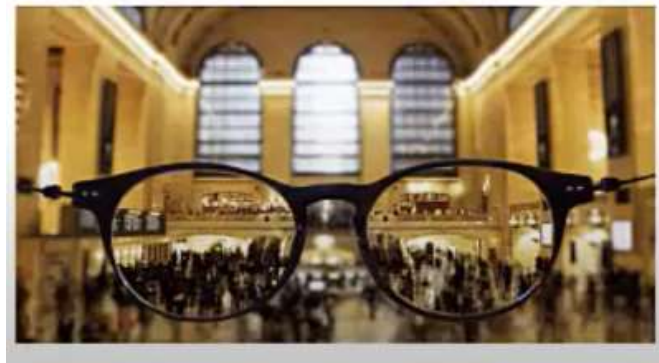
- **ÓPTICA GEOMÉTRICA**
- **CAPÍTULO 4 – REFRAÇÃO DA LUZ**
- Relembrando a refração
- Refringência e índice de refração
- Leis da refração
- Ângulo-limite e reflexão total
- Diopetro plano
- Prismas
- Lâminas de faces paralelas
- **Lentes esféricas**
 - Nomenclatura;
 - Comportamento óptico;
 - Lentes gaussianas;
 - Raios notáveis para lentes esféricas;
 - Formação da imagem nas lentes convergentes;
 - **Formação da imagem nas lentes divergentes;**
 - Estudo analítico das lentes esféricas;
 - Equação do fabricante de lentes e associação de lentes.

Capítulo 4 – Refração da luz

4.8 – Lentes esféricas

- Formação da imagem nas lentes divergentes - aplicações

Qualquer que seja a posição



- **ÓPTICA GEOMÉTRICA**
- **CAPÍTULO 4 – REFRAÇÃO DA LUZ**
- Relembrando a refração
- Refringência e índice de refração
- Leis da refração
- Ângulo-limite e reflexão total
- Diopetro plano
- Prismas
- Lâminas de faces paralelas
- **Lentes esféricas**
 - Nomenclatura;
 - Comportamento óptico;
 - Lentes gaussianas;
 - Raios notáveis para lentes esféricas;
 - Formação da imagem nas lentes convergentes;
 - **Formação da imagem nas lentes divergentes;**
 - Estudo analítico das lentes esféricas;
 - Equação do fabricante de lentes e associação de lentes.