

# Óptica



Aula 6 - Lentes e Instrumentos Ópticos  
ewout@usp.br

# Aula passada

Luz que passa de um meio transparente para outro é observada de ser

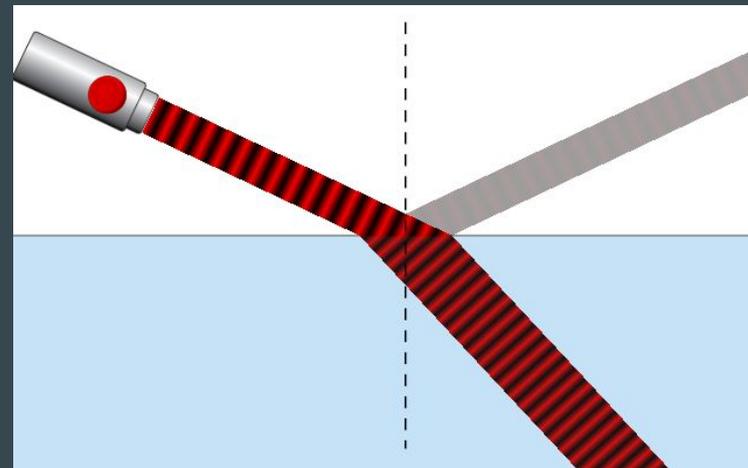
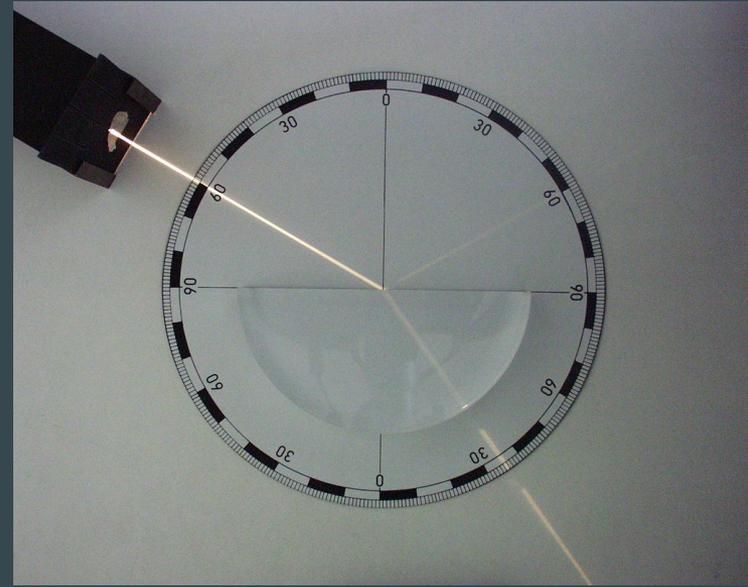
1. refletida na interface entre os meios
2. refratada (muda de direção)

Dedução da Lei de Snell

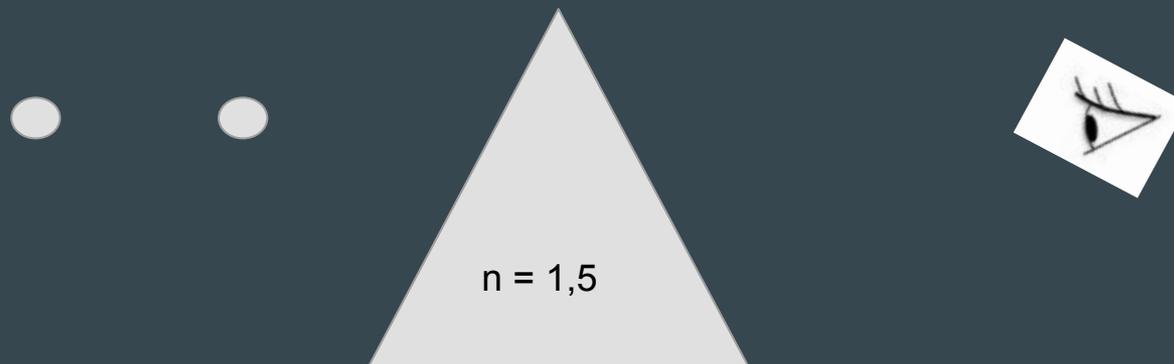
Usa: luz é uma onda que se propaga com

$v_{\text{onda}} = \lambda f$  e  $v_{\text{onda}}$  depende do meio ( $n = c/v$ )

$$n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2$$



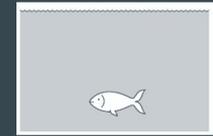
# Questão



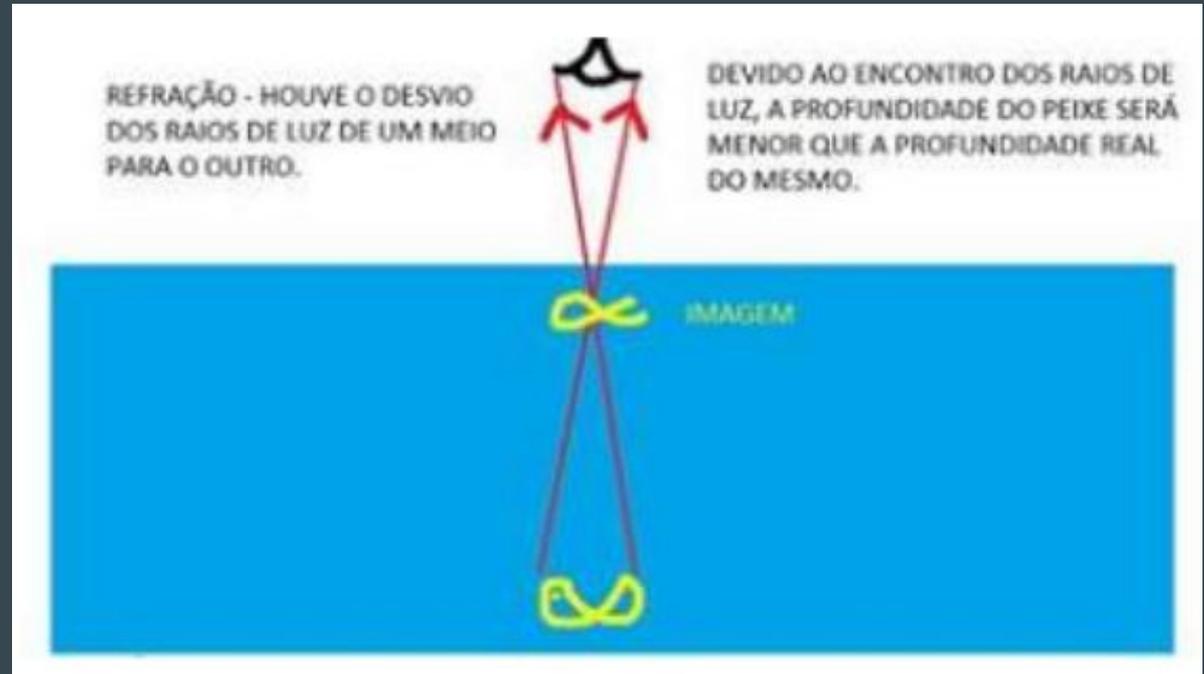
Onde o observador precisa estar para ver as duas agulhas “ em linha”?

# Q4 P2 2016

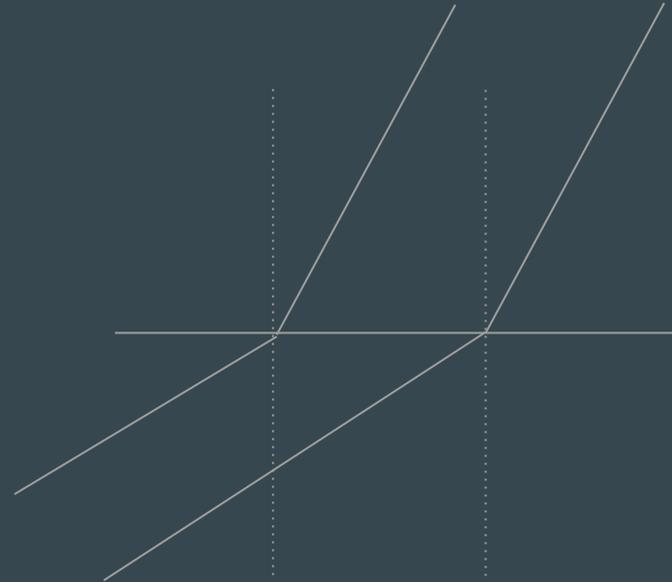
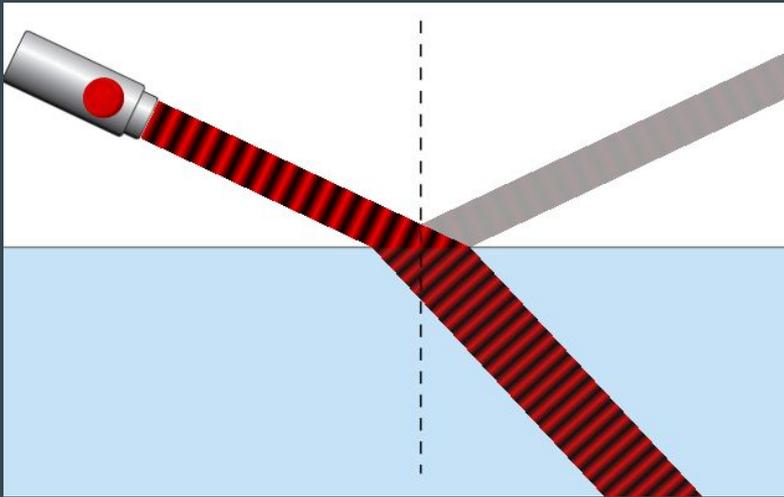
**Enunciado:** Um peixe nada logo abaixo da superfície de um lago. Um observador olha para o lago, acima da superfície. Para este observador, a profundidade do peixe é maior, igual ou menor do que a sua profundidade real? Explique sua resposta fazendo um diagrama de raios que localize a posição da imagem do peixe.



**Resposta de um aluno:**



# Dedução da Lei de Snell

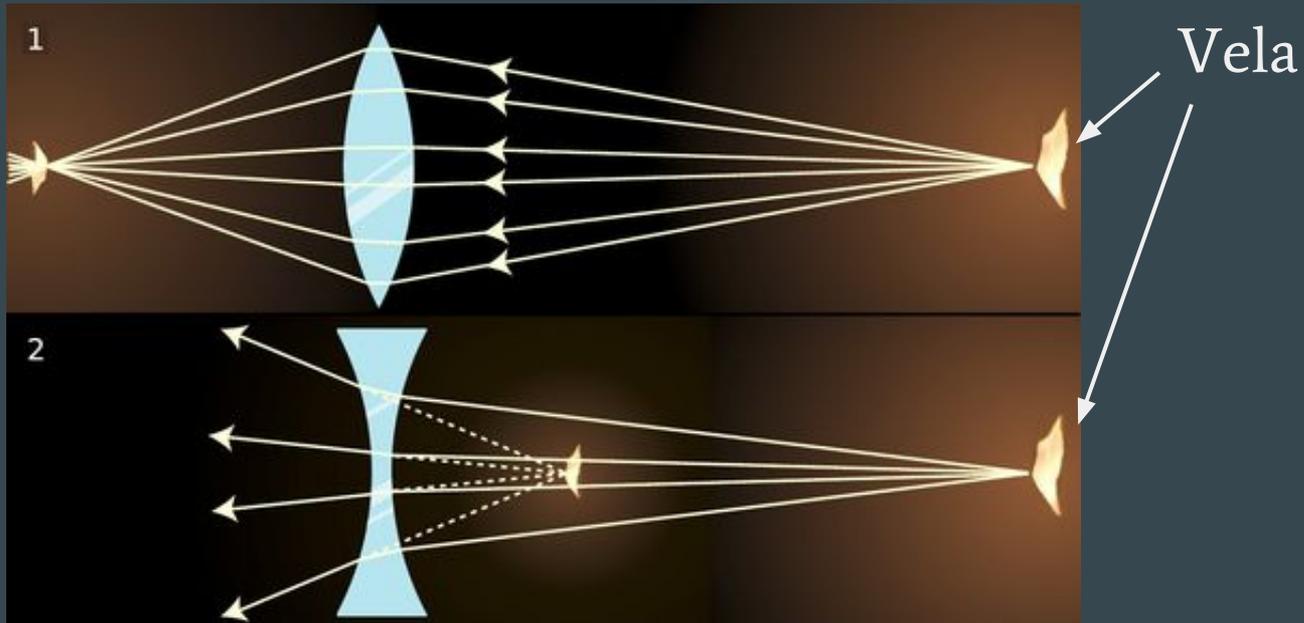


Dado: dois meios onde uma onda de luz se propaga com velocidades  $v_1$  e  $v_2$

1.  $v = \lambda * \text{freq}$  ( $v = dx/dt = \lambda / T = \lambda * f$ )
2.  $n = c / v$
3. construção geométrica

Para “caber” sem descontinuidades, as frentes de onda e os raios de luz devem mudar de direção de tal modo que  $n_1 \text{sen} \theta_1 = n_2 \text{sen} \theta_2$

# Lentes



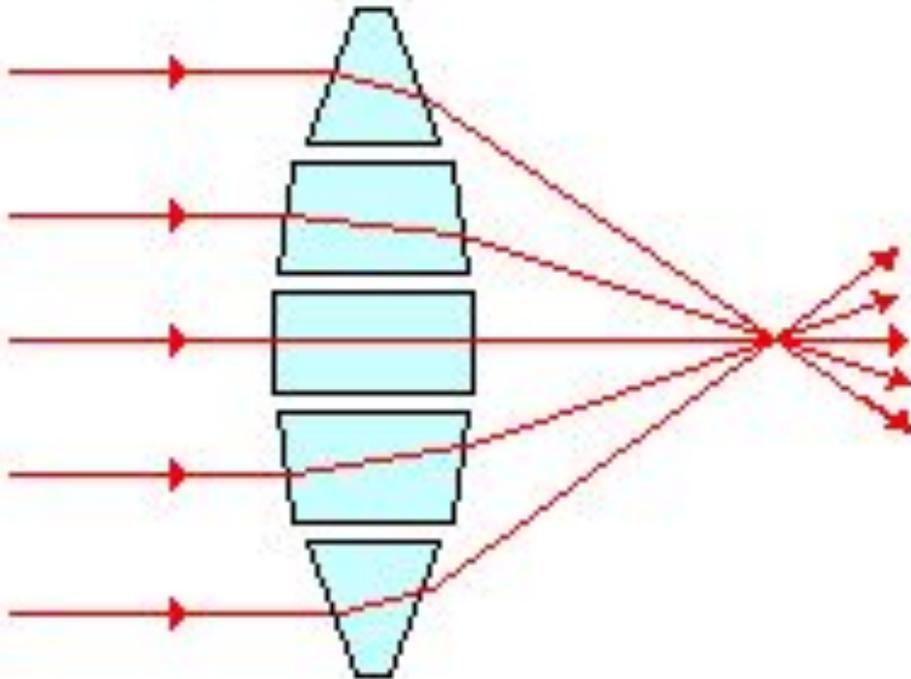
Classifique as imagens em 1 e 2: virtuais ou reais?

$n_{\text{vidro}} = 1.5$ . Explique, lembrando o que acontece com prismas, porque em 1 a luz é refratada **na direção do eixo óptico**. E em 2?

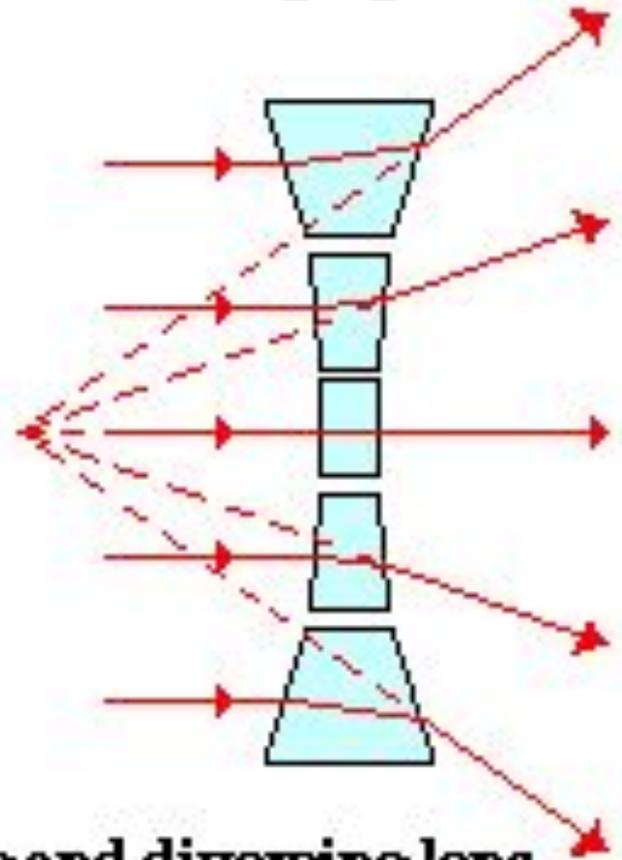
Ao aproximar a vela das lentes, o que acontece com as imagens?

[simulador](#)

## Converging Prisms



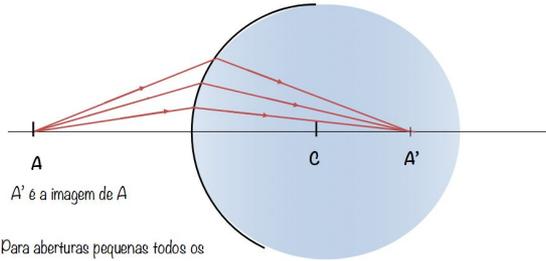
## Diverging Prisms



**A set of prisms acting as a converging and diverging lens.**

# [diopetro simples: não vamos fazer]

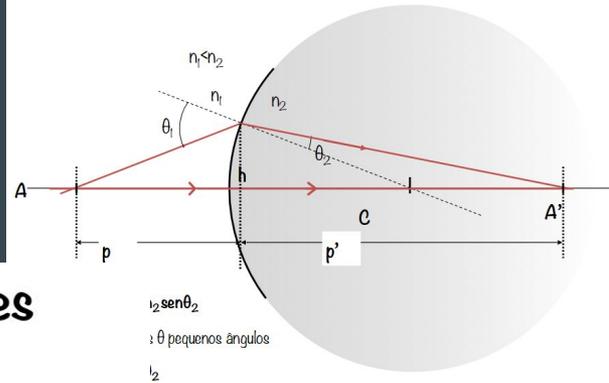
## Formação de imagem – superfície esférica



$A'$  é a imagem de  $A$

Para aberturas pequenas todos os raios que partem de  $A$ , se cruzam em  $A'$ .

## Aproximação para pequenas aberturas



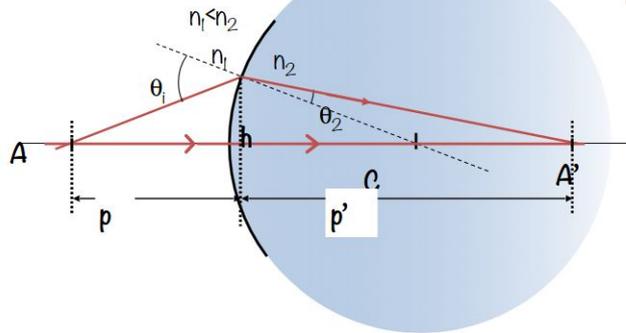
$h \approx p \sin \theta_1$   
 $h \approx p' \sin \theta_2$   
 :  $\theta$  pequenos ângulos

## Equação de um diopetro simples

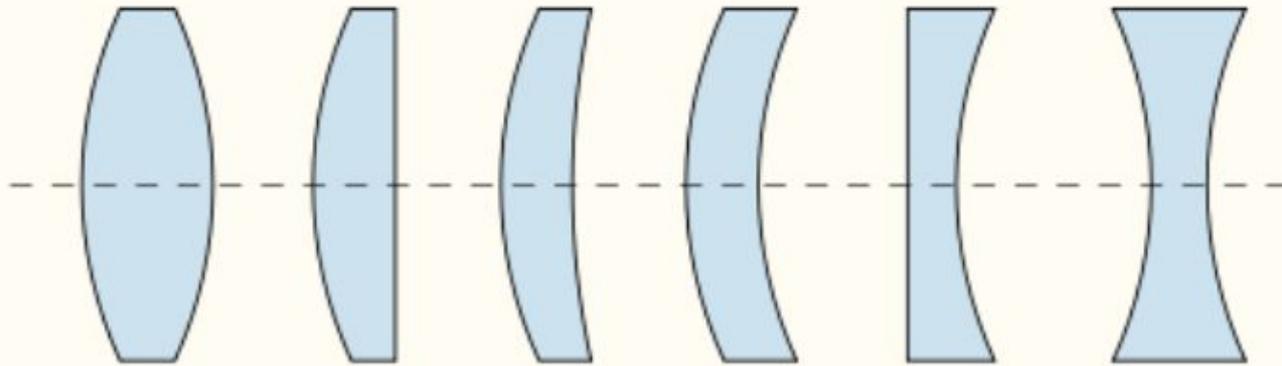
$$\frac{n_1}{p} + \frac{n_2}{p'} = \frac{n_2 - n_1}{R}$$

Aumento transversal:

$$M = -\frac{n_1 p'}{n_2 p}$$



# Tipos de lentes



1

2

3

4

5

6

**Convergentes**

1- biconvexa

2- plano convexa

3- menisco

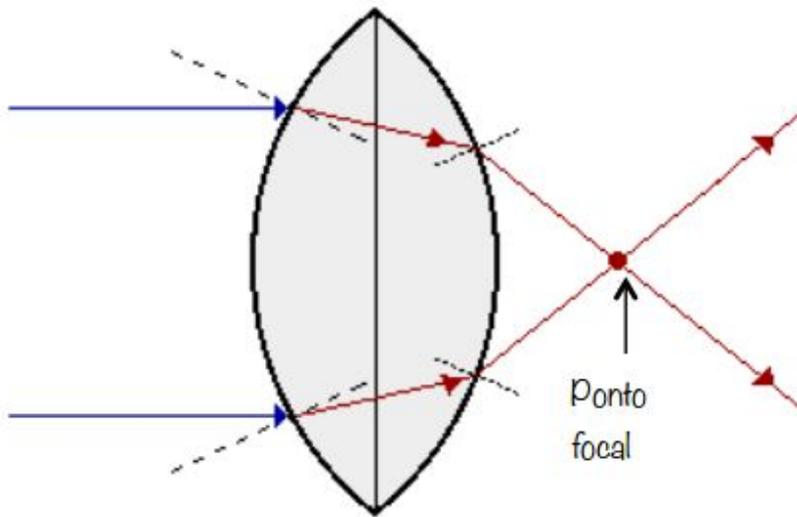
**Divergentes**

4- menisco

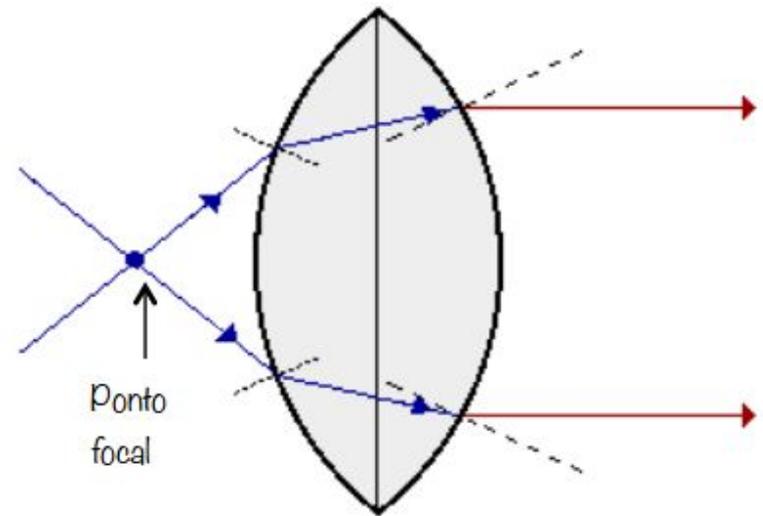
5- plano concava

6- bicôncava

# Refração em uma lente convergente

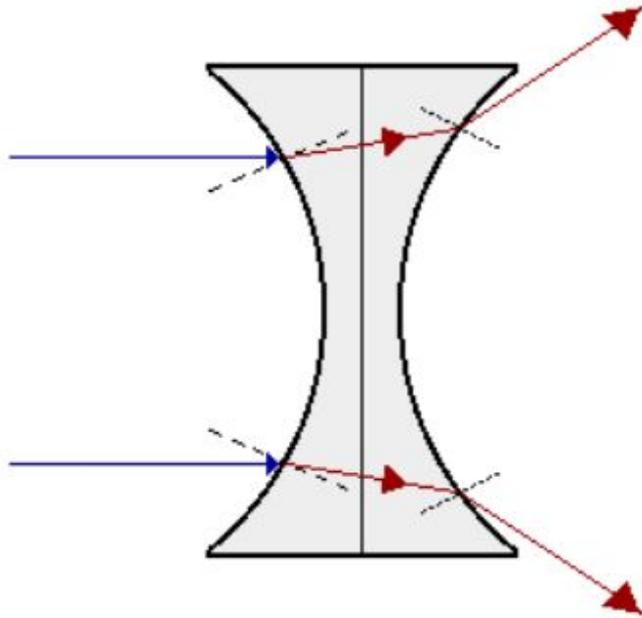


Os raios que se propagam paralelos ao eixo principal, são refratados pela lente e convergem para o ponto focal

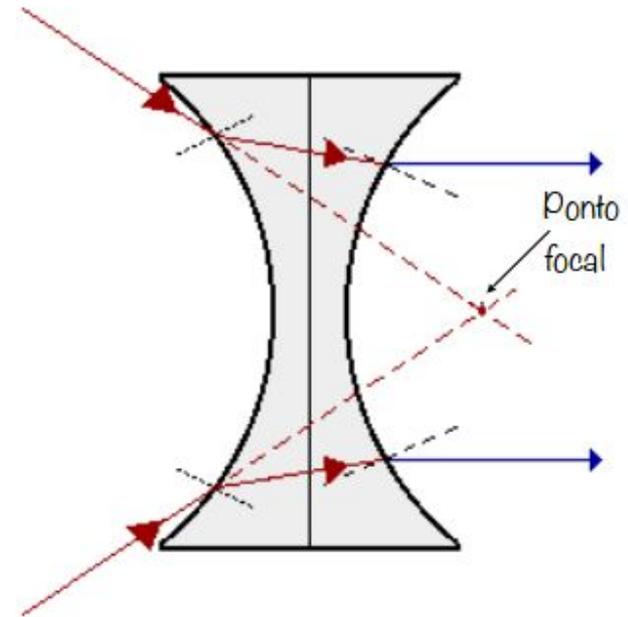


Os raios que passam pelo ponto focal, são refratados pela lente e passam a se propagar paralelos ao eixo principal

# Refração em uma lente divergente

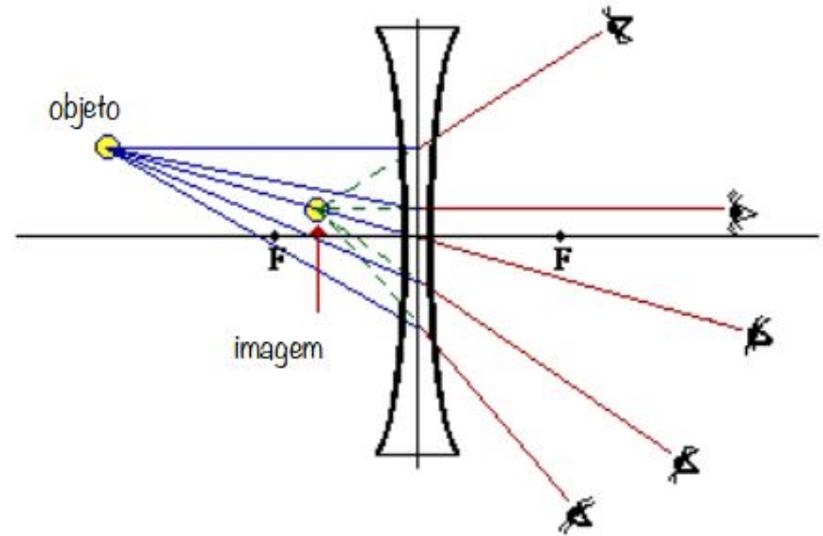
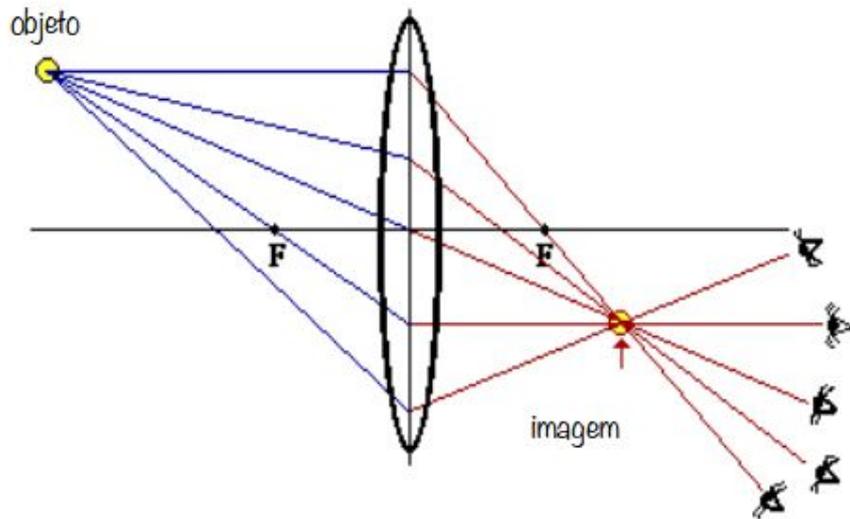


Os raios que se propagam paralelos ao eixo principal, são refratados pela lente e divergem de um ponto atrás da lente, que é o ponto focal



Os raios que apontam para o ponto focal são refratados pela lente e passam a se propagar na direção paralela ao eixo principal

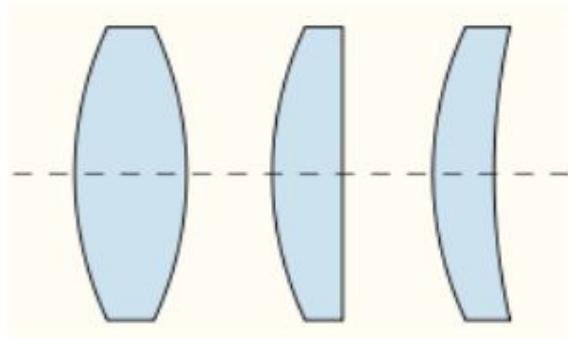
# Formação da imagem



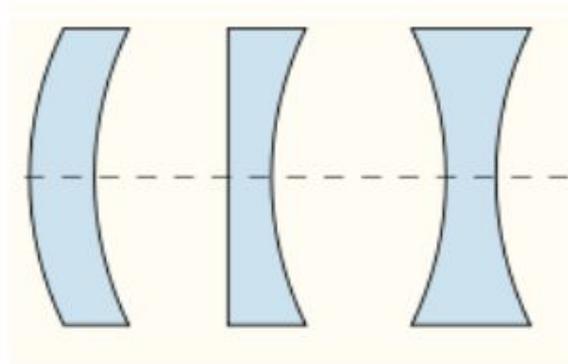
Para visualizar a imagem de um objeto através da lente, é preciso que existam raios partindo do objeto, e atingindo o olho do observador. Na figura, existem diferentes posições em que o observador poderá visualizar a imagem.

Os raios de luz partem do objeto e são refratados pela lente, o ponto onde esses raios se interceptam é onde se forma a imagem.

# Aproximação de lentes finas



Convergentes



Divergentes

Representação simplificada



# Lente convergente objeto distante da lente

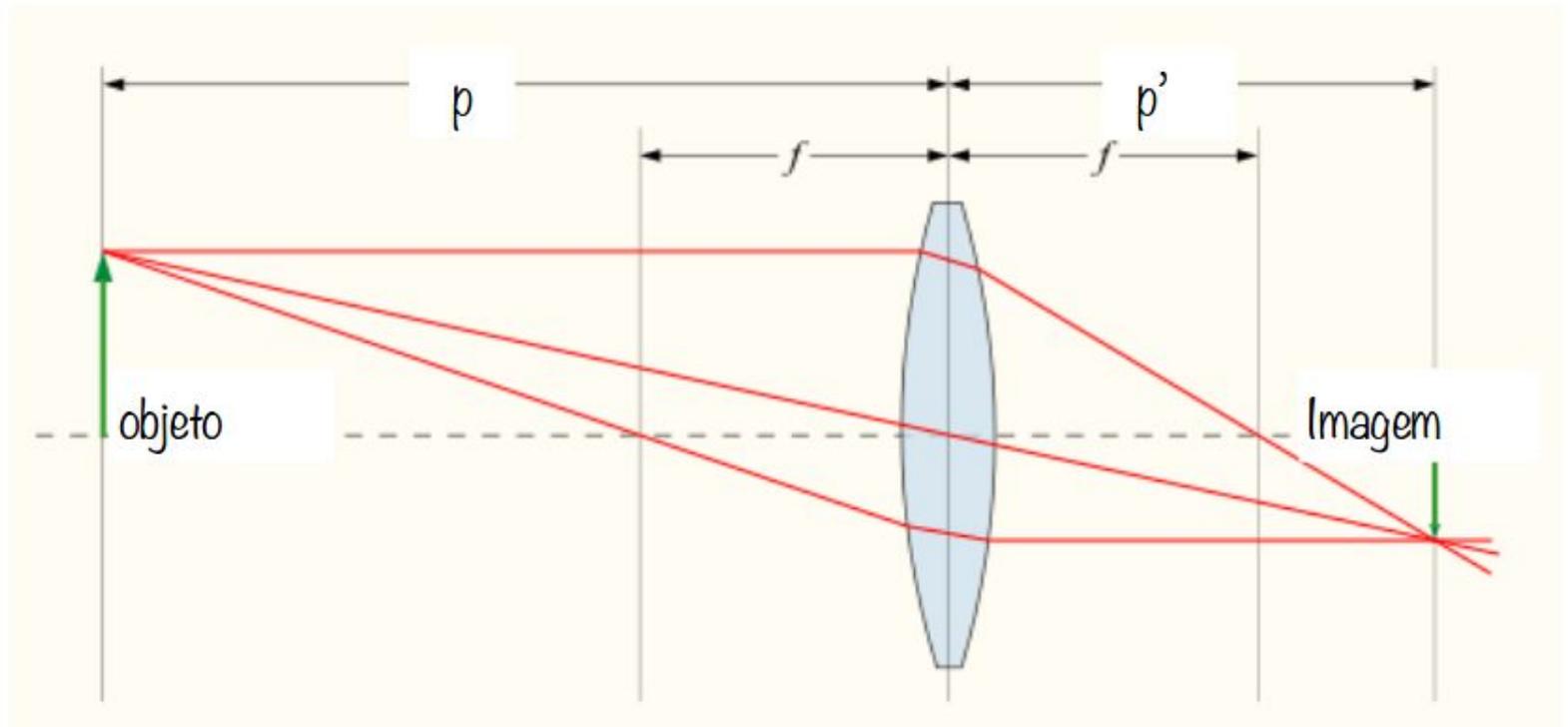


Imagem real, invertida

# Lente convergente

## objeto entre o foco e a lente

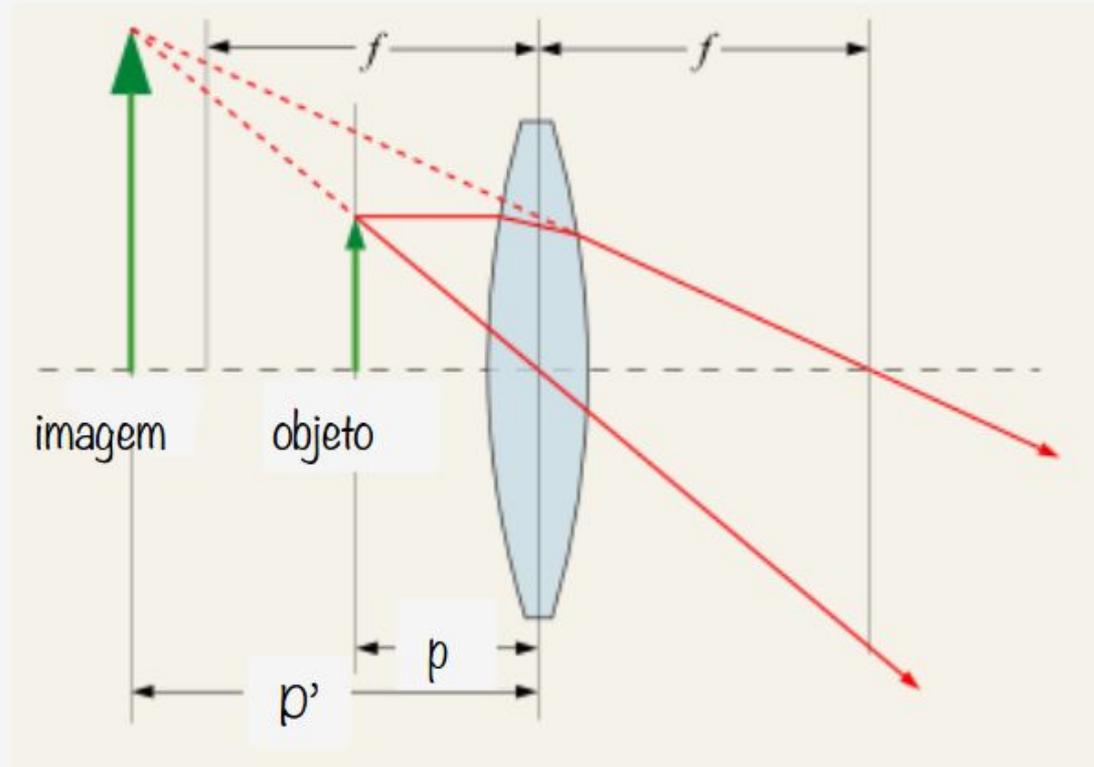


Imagem virtual, direita

# Lente divergente

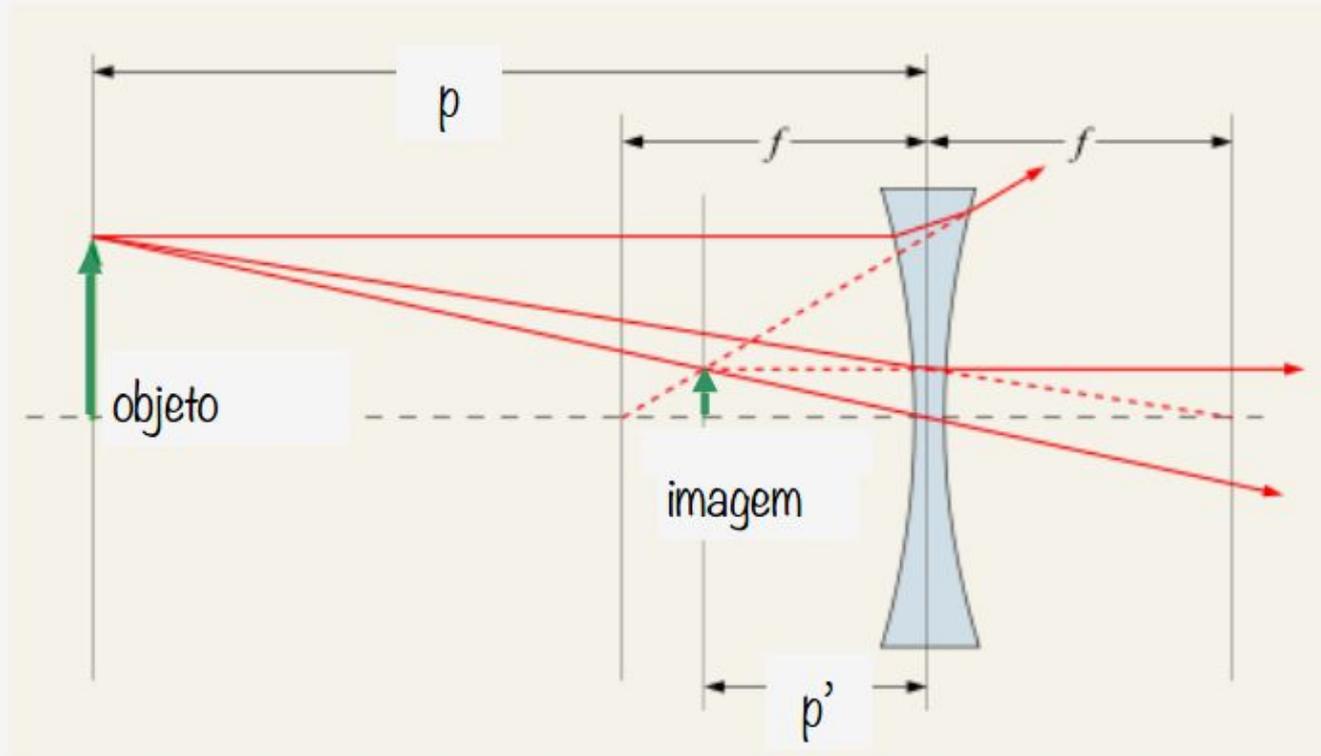
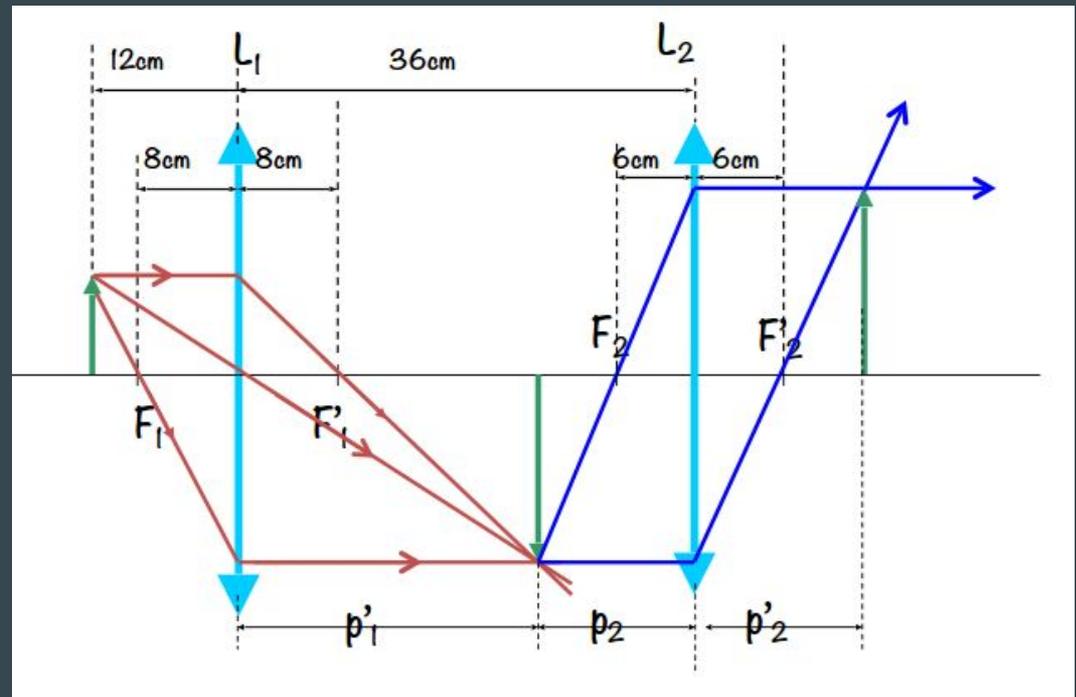
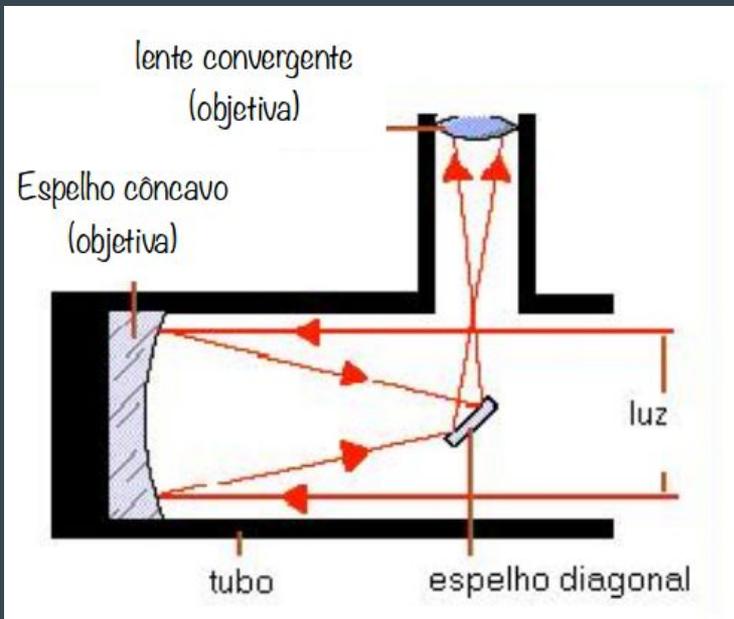


Imagem virtual e direita

# Associação de lentes

A ideia que a imagem do 1o elemento óptico pode ser considerada objeto do 2o elemento.

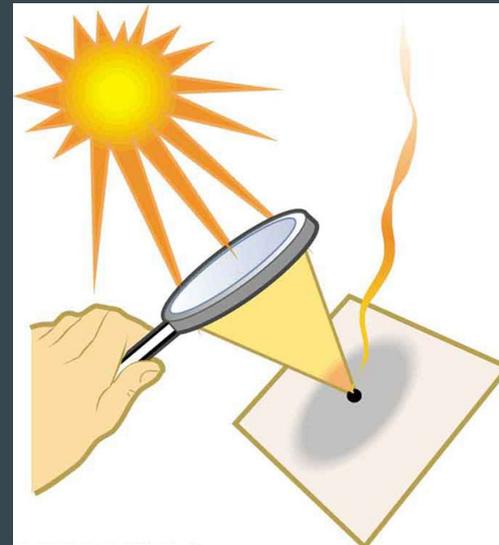


# Questão

A *vergência* de uma lente é o inverso da sua distância focal (unidade: dioptrias).

$$D = 1/f \text{ [m}^{-1}\text{]}$$

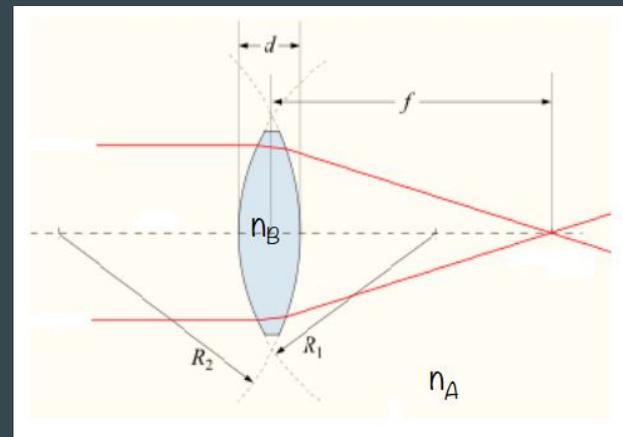
Uma outra expressão, usado no contexto de óculos e oftalmologia é "grau". Em inglês, se usa a expressão "power" (potência), como em "the power of the lens is 5 diopters". Faz sentido a expressão inglesa? Tem sentido dizer que uma lente com distância focal menor tem mais "potência"?



# Questão

Equação dos fabricantes de lentes

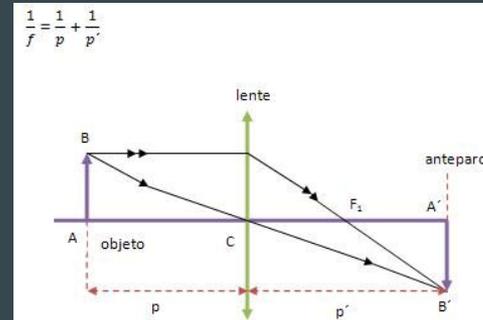
$$\frac{1}{f} = \left( \frac{n_B}{n_A} - 1 \right) \left( \frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2} \right)$$



1.  $n_b = n_a$  ?
2.  $R_1 = R_2$  (convenção de sinais)?
3. Se R fica cada vez menor, o que acontece com f?

O que acontece quando emergimos a lente em água? A distância focal  $f$  muda?

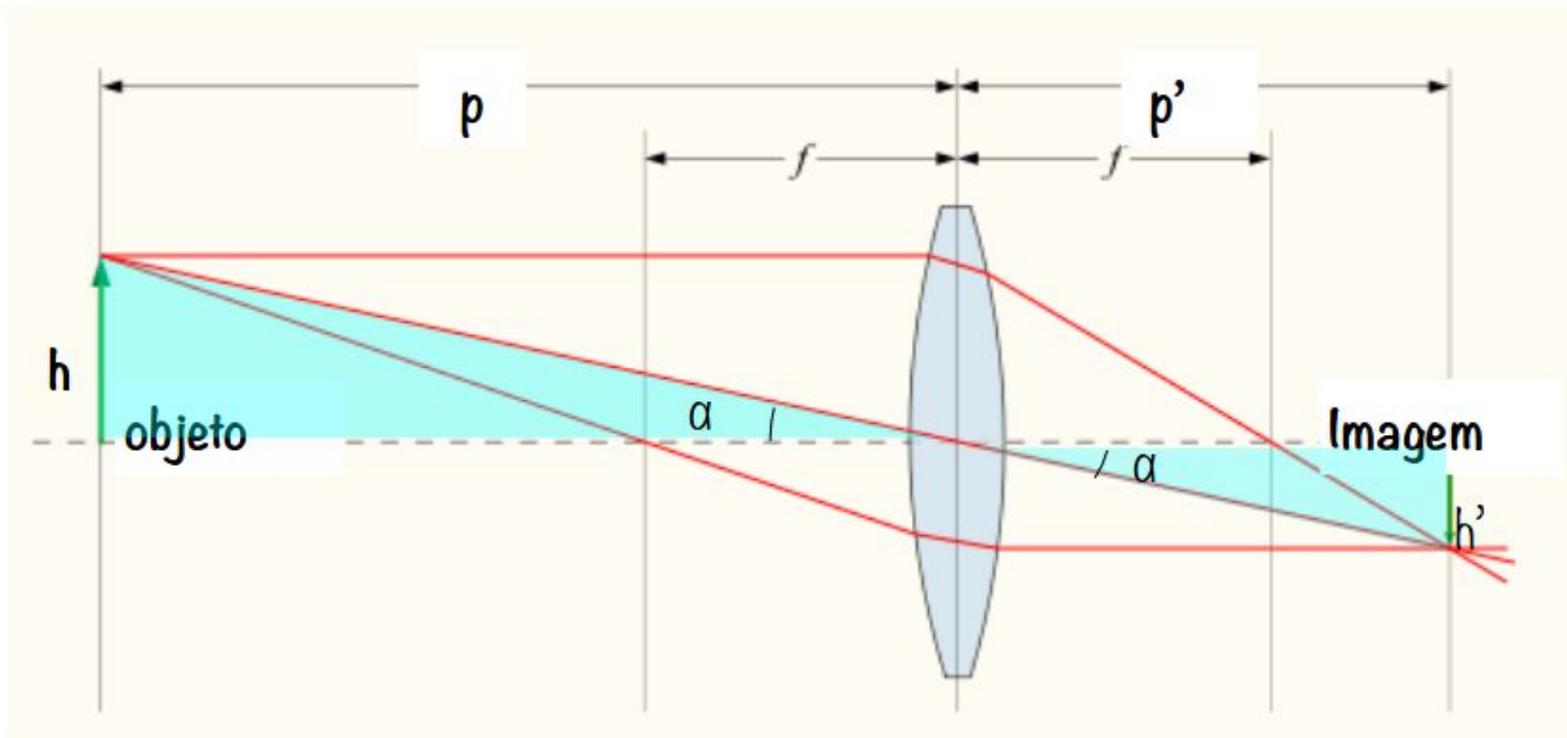
# Q3 da P1 de 2016



Q3 (3 pontos). Um objeto de 3 cm de altura fica a 10 cm de uma lente e projeta uma imagem numa tela posicionada a 20 cm no outro lado da lente.

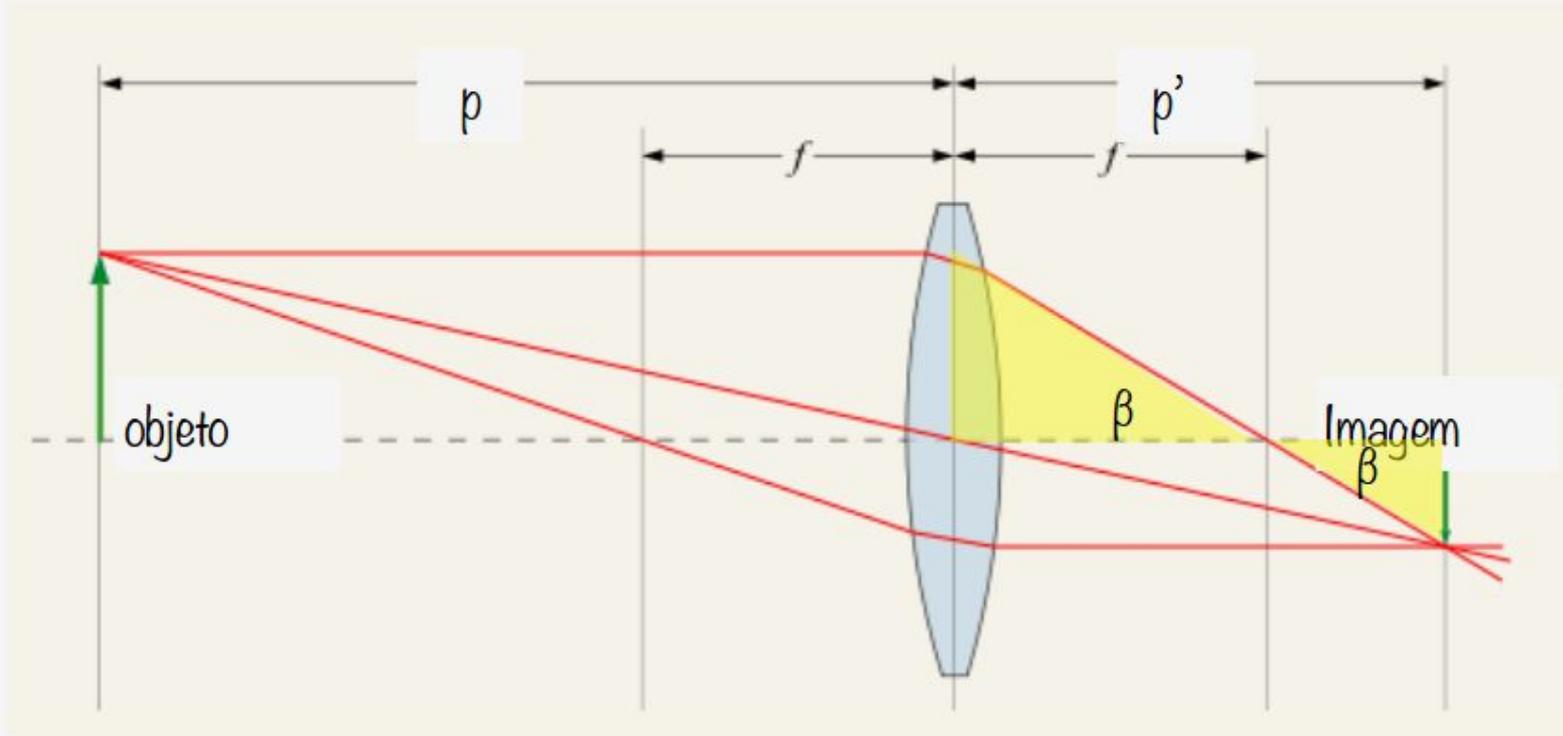
- A lente é convergente ou divergente?
- Qual é a distância focal da lente (incluindo a unidade)?
- Qual é a potência da lente (incluindo a unidade)?
- Qual é o aumento transversal da imagem?
- Qual é a altura da imagem?
- O objeto, a lente e a tela são imersos em água, o objeto continua a 10 cm da lente.
  - Se a tela continue a 20 cm, explique porque a imagem na tela não é mais nítida.
  - O que é preciso fazer com a posição da tela para que novamente uma imagem nítida seja formada na tela?

# Equação das lentes



$$\operatorname{tg}\alpha = \frac{h}{p} = \frac{h'}{p'}$$

# Equação das lentes



$$\operatorname{tg}\alpha = \frac{h}{p} = \frac{h'}{p'}$$

$$\operatorname{tg}\beta = \frac{h}{f} = \frac{h'}{p'-f}$$

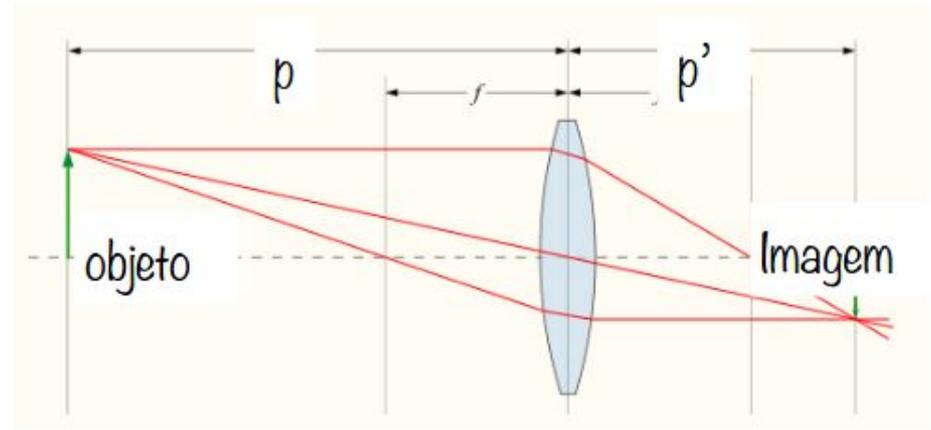
# Equação das lentes

$$\operatorname{tg}\alpha = \frac{h}{p} = \frac{h'}{p'} \quad \operatorname{tg}\beta = \frac{h}{f} = \frac{h'}{p'-f}$$

$$\frac{h}{h'} = \frac{p}{p'} = \frac{f}{p'-f}$$

$$p(p'-f) = p'f \Rightarrow pp' - pf = p'f$$

$$pp' = f(p'+p) \Rightarrow \frac{1}{f} = \frac{(p'+p)}{pp'}$$



Equação das lentes finas

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

Aumento transversal

$$M = \frac{h'}{h} = -\frac{p'}{p}$$

$p'$  positivo - imagem real

$M$  negativo - imagem invertida

$p'$  negativo - imagem virtual

$M$  positivo - imagem direita

# Resumo e Vocabulário (compare aula 4, espelhos)

Refração: o desvio da luz ao cruzar a interface de dois meios

Índice de refração: propriedade de materiais (transparentes). A velocidade da luz / velocidade da luz dentro do material,  $n = c/v$

$$n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2$$

Para lentes e espelhos, a mesma relação para as posições do objeto e imagem vale:

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

Convenção de sinais:  $f < 0$  lente / espelho divergente,  $p' < 0$  para imagens virtuais

Aumento transversal  $M$  é dado por

$$M = \frac{h'}{h} = -\frac{p'}{p}$$

# Evolução dos Olhos

Formação de imagem em olhos e instrumentos ópticos.

O fundamento é a câmara escura. Lentes permitem coletar mais luz.

