

# Óptica



Aula 4 - Reflexão e Formação de Imagens II: espelhos curvos e esféricos  
ewout@usp.br

# Aula passada

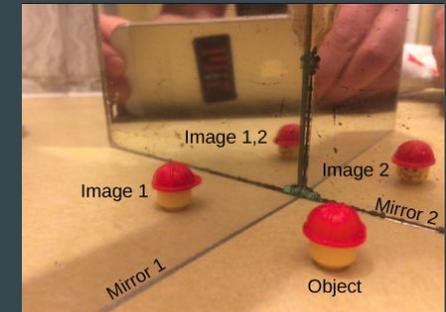
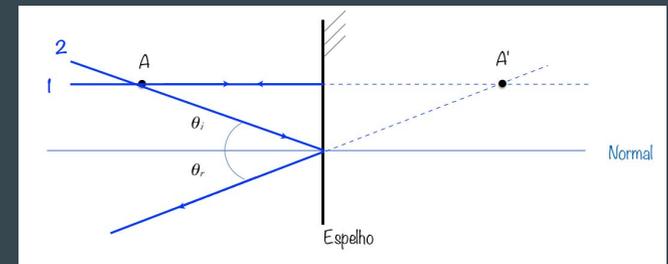
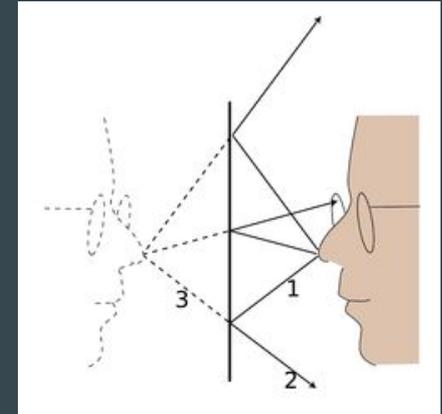
Reflexão especular

Formação de imagens

Determinar posições de imagens  
com diagramas de raios:  
extrapolar os raios refletidos

Campo visual

Imagens de imagens



# Espelhos curvos (esféricos, em particular)

## Porque?

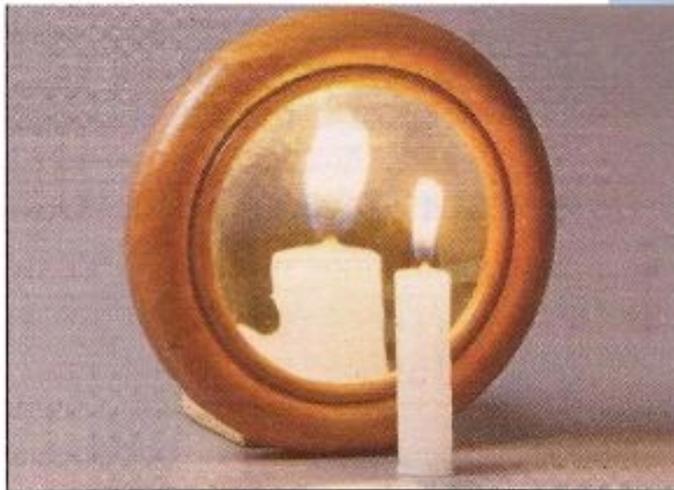
Importância histórico e atual, e em instrumentos óticos. O que aprenderemos vale para lentes também.

## Terminologia

2 tipos de espelhos: **convergente** (côncavo) e **divergente** (convexo)

2 tipos de imagens: **virtual** e **real**

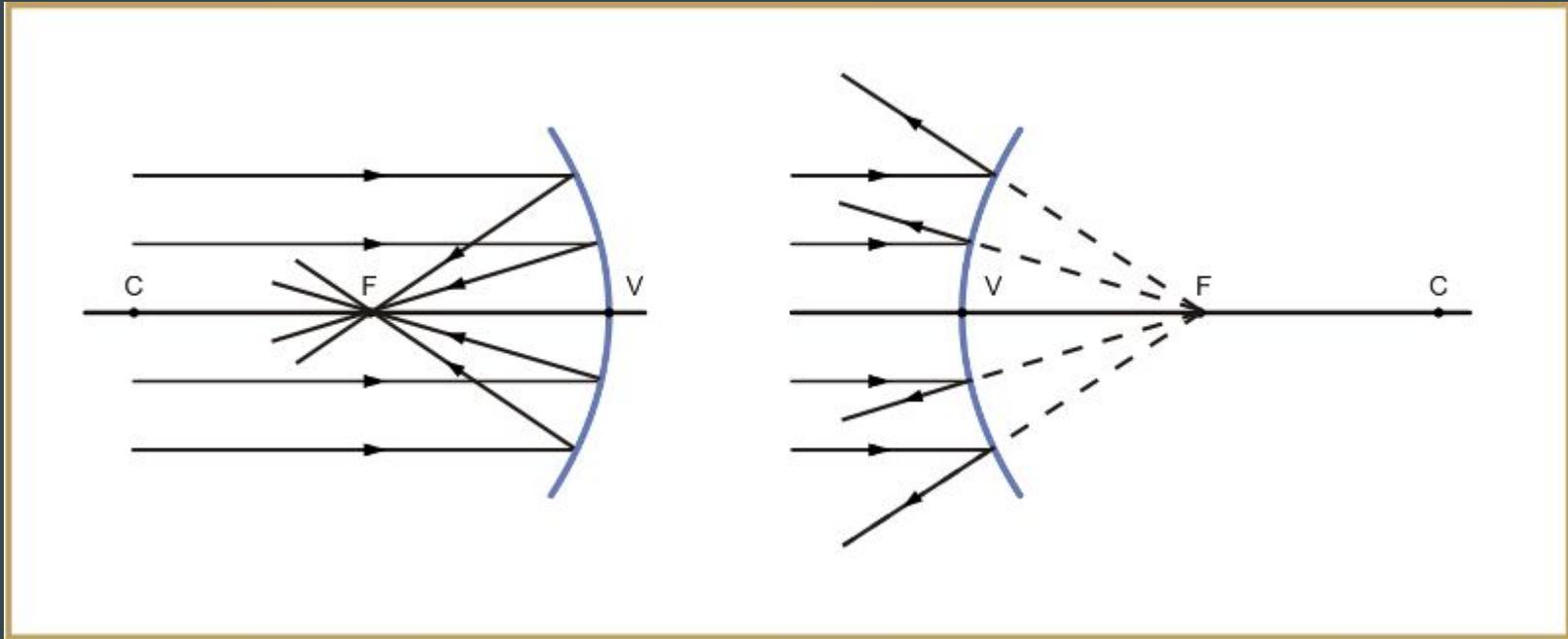
**Perguntas** sobre um sistema ótica: onde fica a imagem? É direito ou invertida? Quanto é ampliada?



# 2 tipos de espelhos

convergente (côncavo)

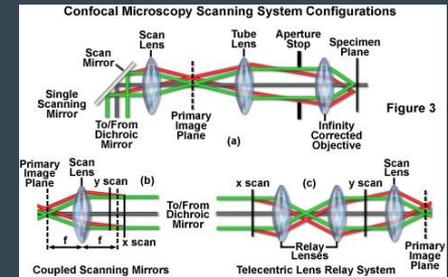
divergente (convexo)



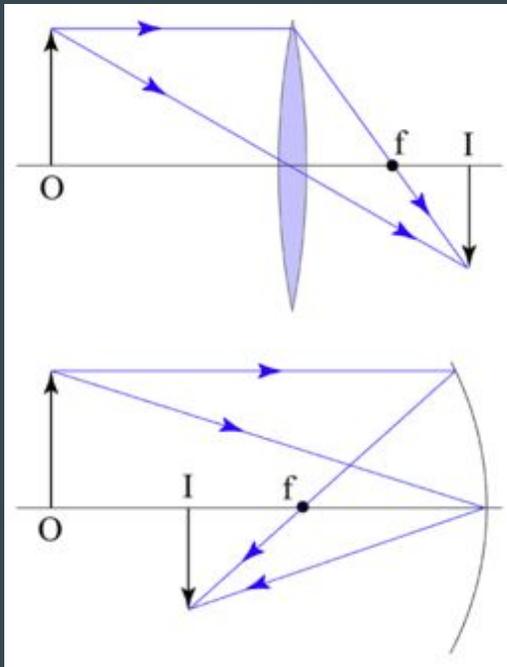
Consideração pedagógica: usar ou não côncavo / convexo?

# 2 tipos de imagens

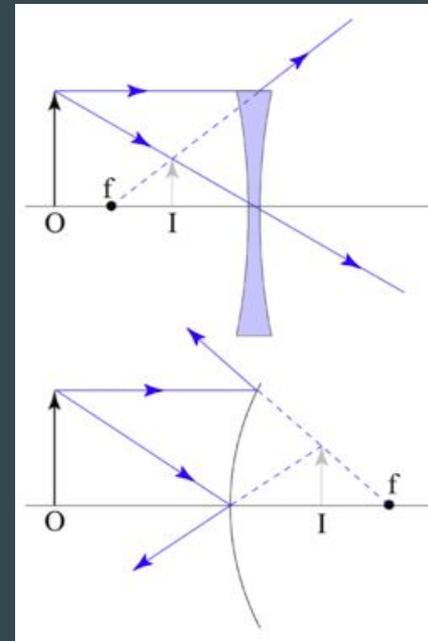
Imagem: “aparente reprodução de um objeto após passar por um sistema óptico”



Reais: raios convergem



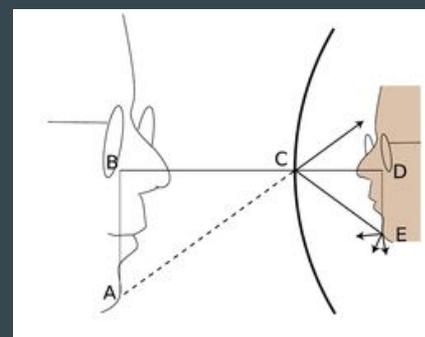
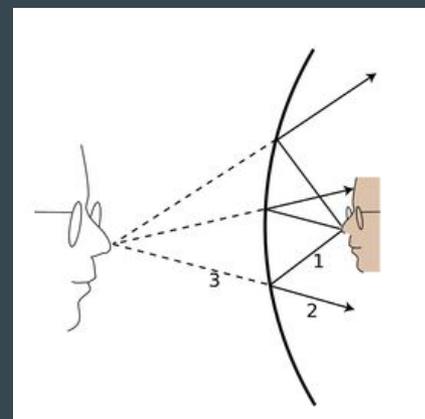
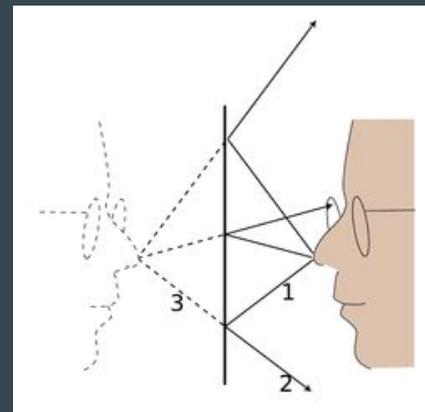
Virtuais: raios divergem



Consideração pedagógica: não definir em termos de “em frente” e “atrás” do espelho

Demonstração focar luz.

Simulador



# Superfícies parabólicas

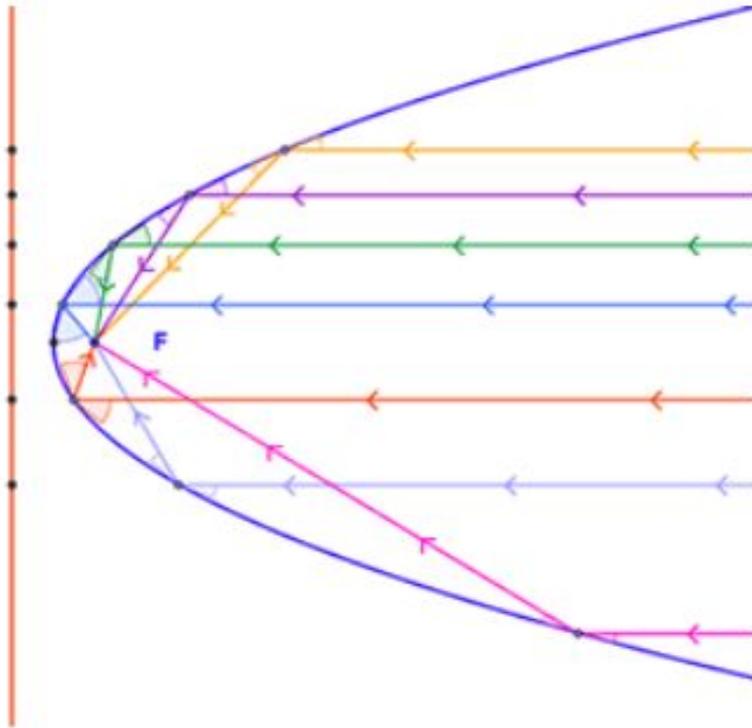


antenas parabólicas para  
ondas de rádio e TV

Radio telescópio



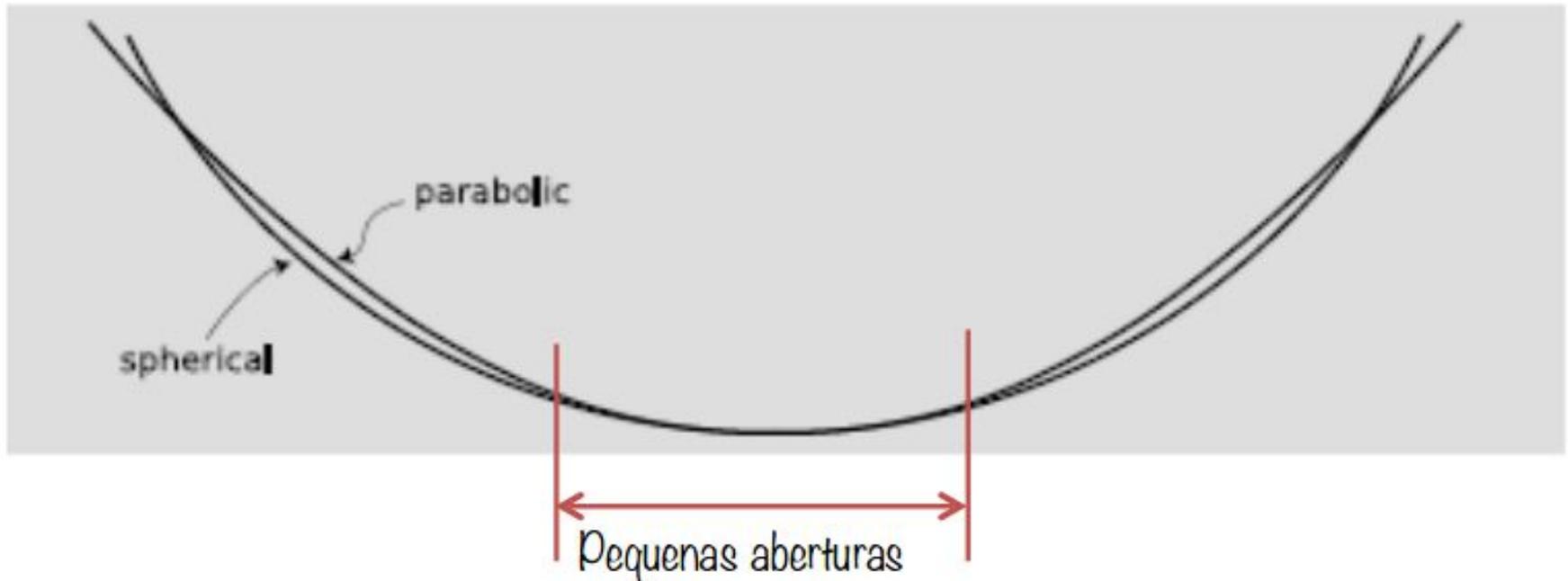
# Superfícies parabólicas



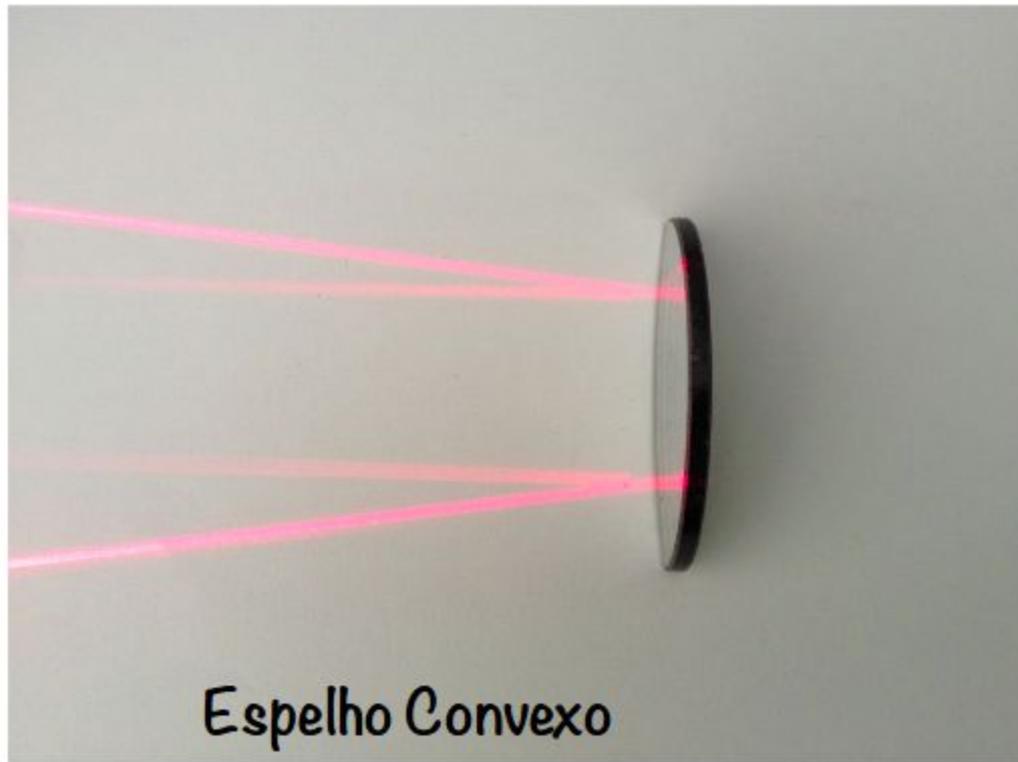
Espelho Parabólico

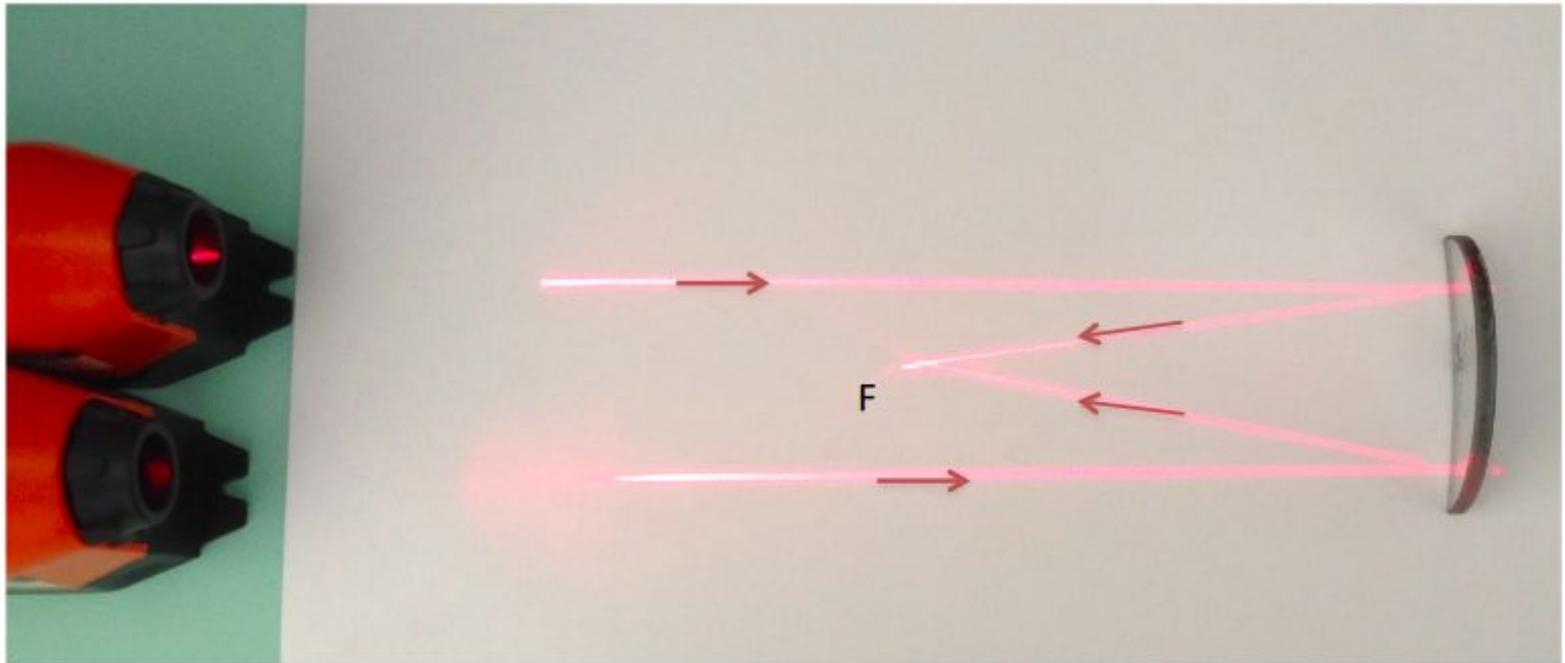
Os raios de luz que incidem no espelho paralelo ao eixo óptico convergem para o ponto focal,  $F$

# Aproximação paraxial



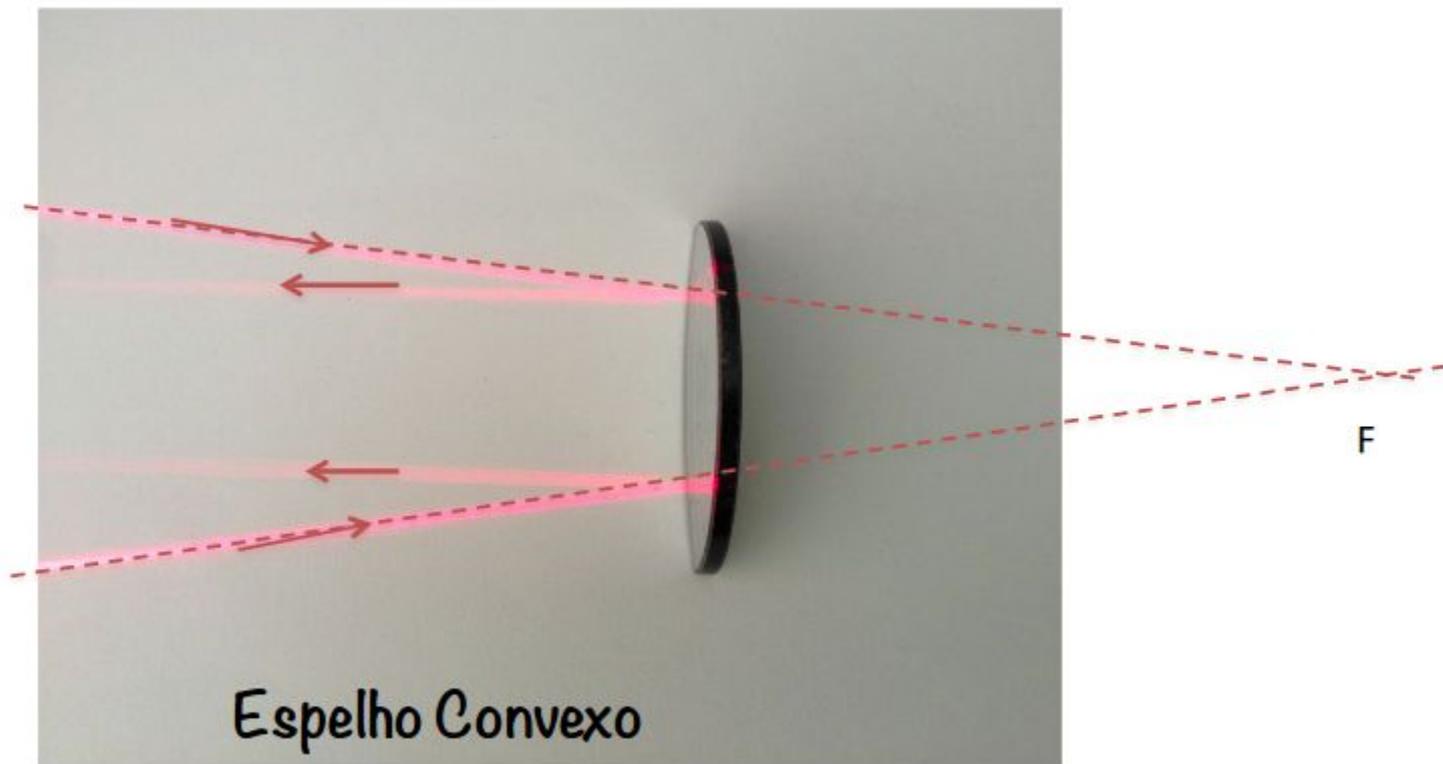
A superfície esférica é uma boa aproximação de uma superfície parabólica se a abertura da esfera é pequena.



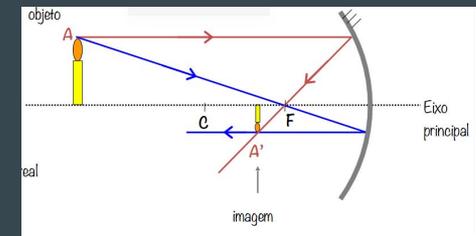


Espelho Côncavo





# Formalização matemático do modelo



Espelhos (e lentes) são caracterizados por uma **distância focal**  $f$ . A **distância objeto-espelho**  $p$ , a **distância imagem-espelho**  $p'$  e a distância focal são relacionados por

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

Convenção de sinais:  $f > 0$  convergentes,  $f < 0$  divergentes. Objeto sempre  $p > 0$ .  $p' < 0$  para imagens virtuais.

Aumento transversal  $M$  é dado por

( $h$  é altura do objeto e imagem)

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

# Espelho convergente - $f > 0$

$p$  = distância do objeto ao centro do espelho

$p > 0$  e  $p > f$

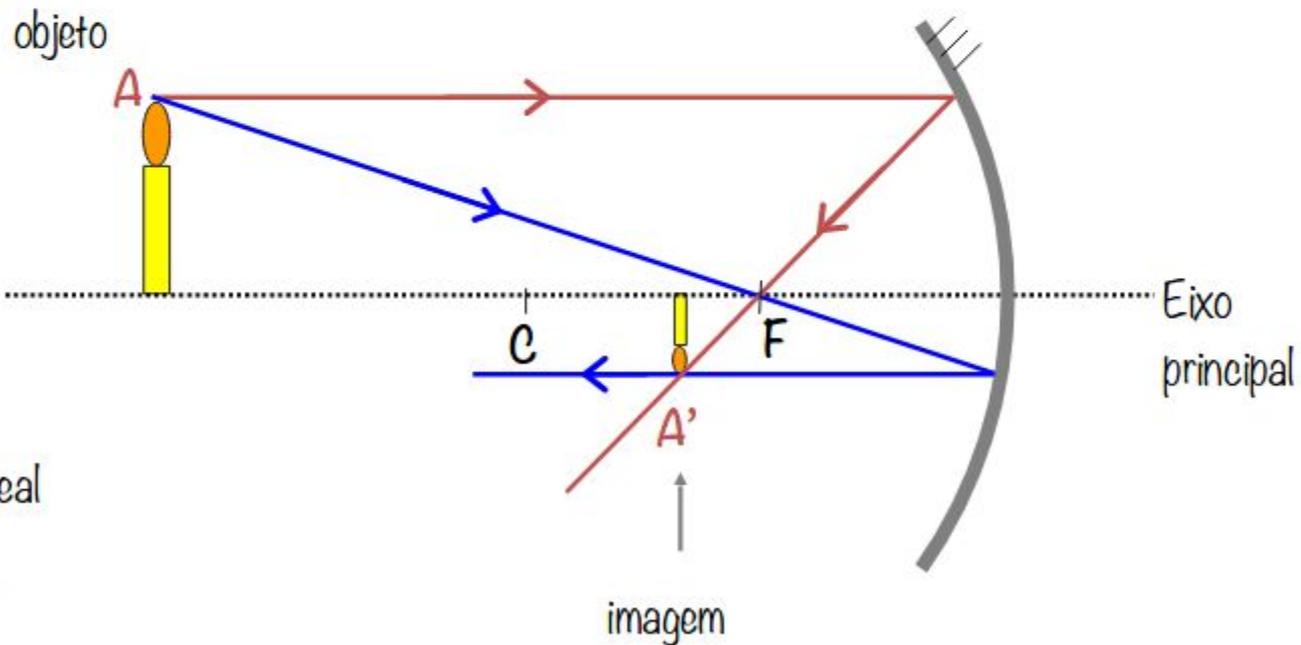


Imagem real

Invertida

menor

# Espelho convergente - $f > 0$

$p$  = distância do objeto ao centro do espelho

$p > 0$  e  $p < f$

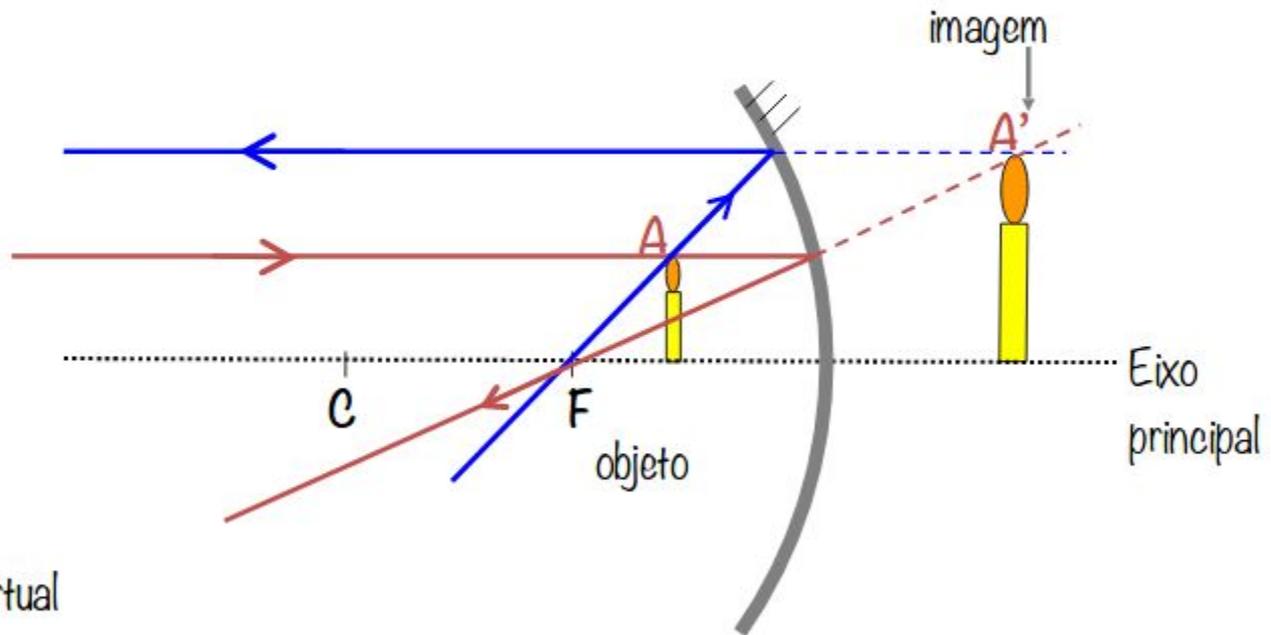


Imagem virtual

Direita

maior

# Espelho divergente - $f < 0$

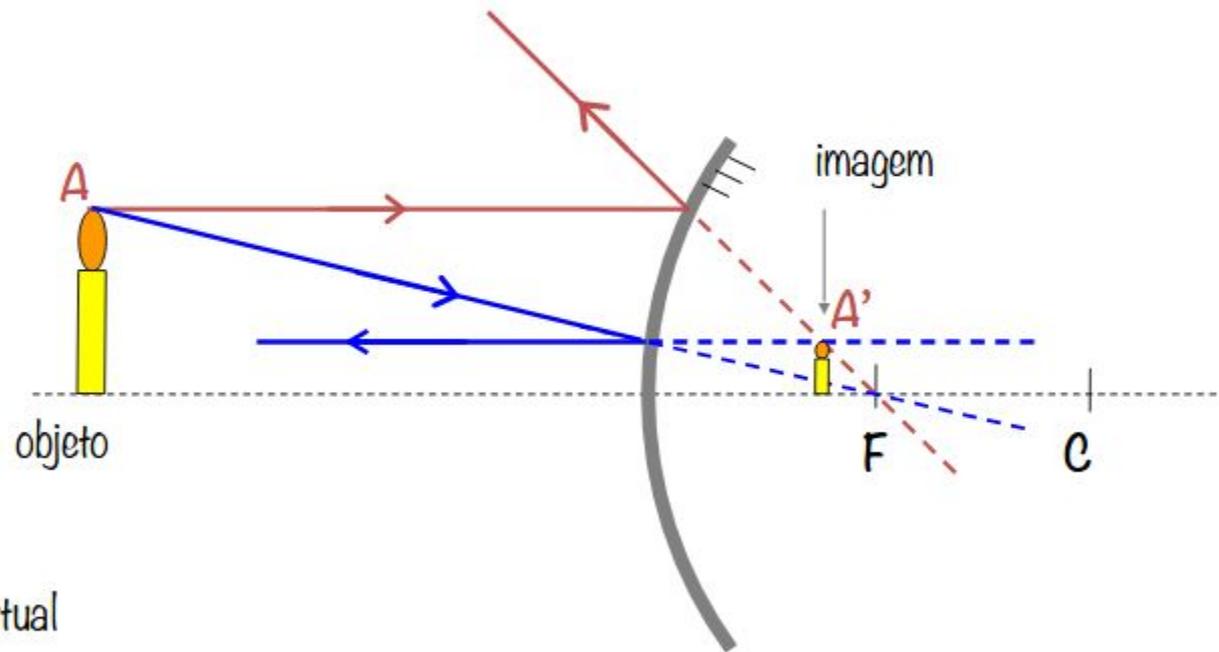


Imagem virtual

Direita

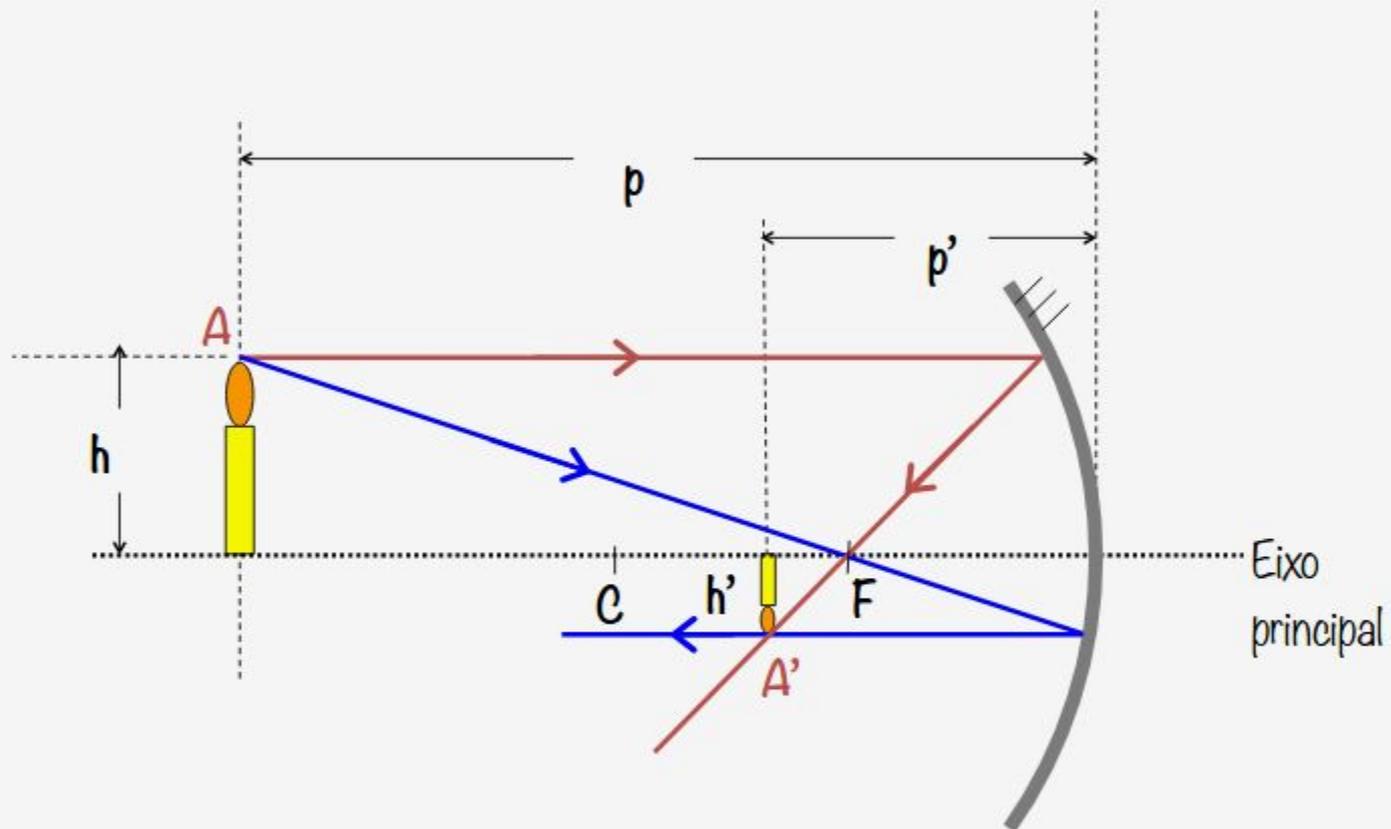
Menor

# Exercício

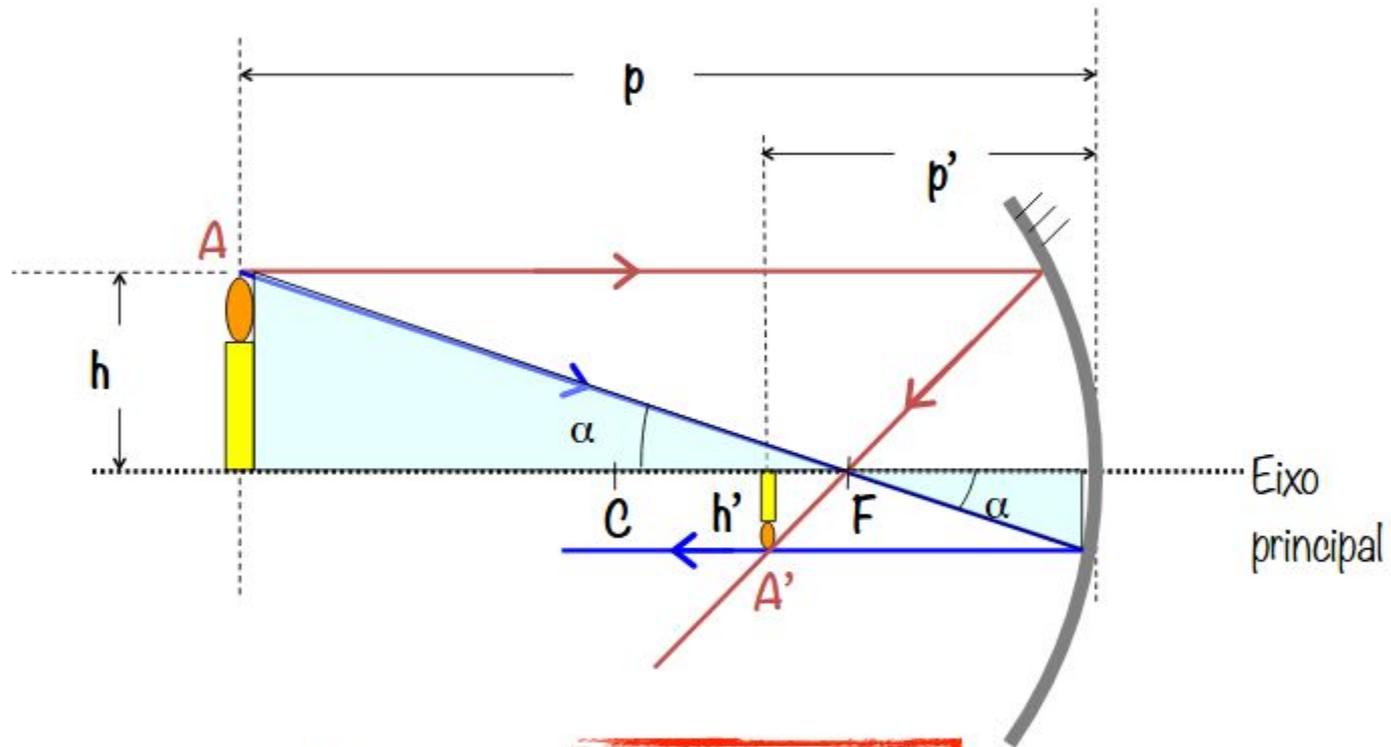
Determinar posições da imagem

- graficamente
- pela equação de Gauss

A seguir: dedução da equação de Gauss



ESPELHOS ESFÉRICOS

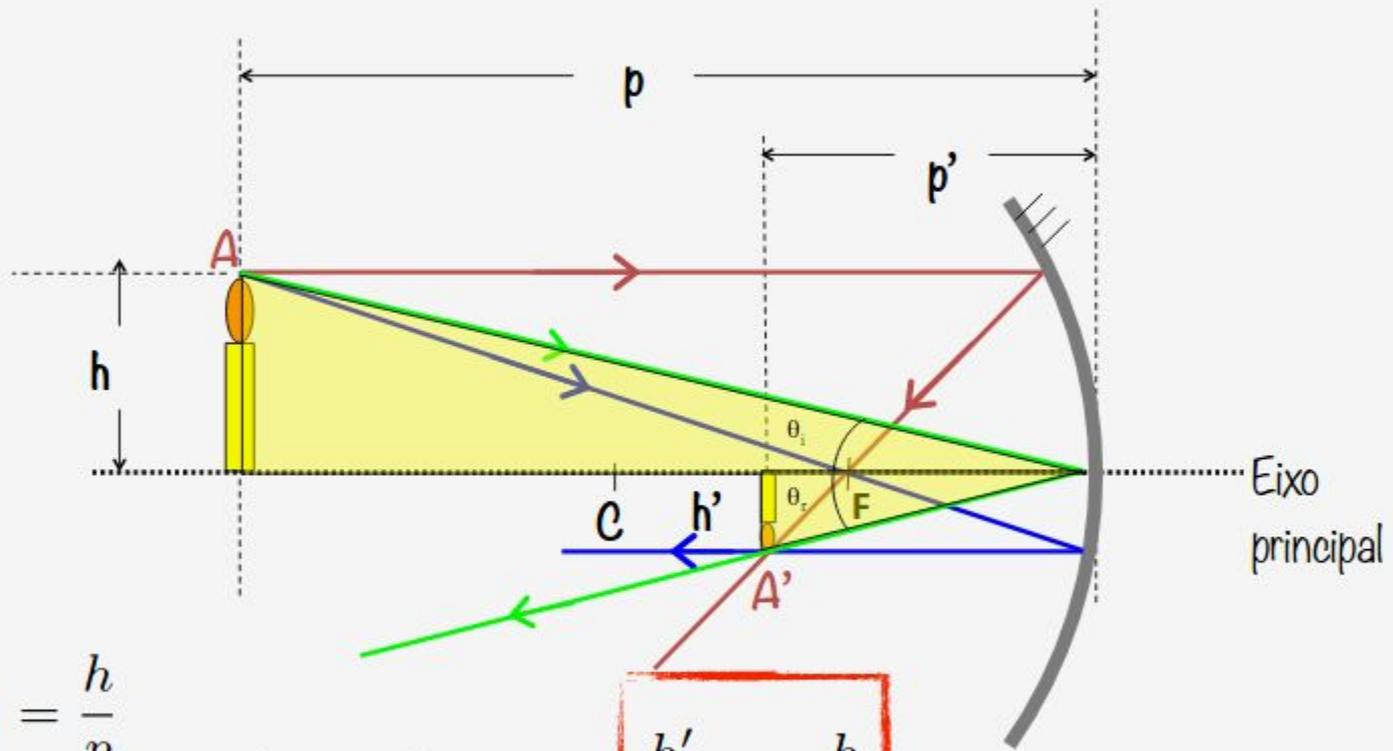


$$\tan \alpha = \frac{h}{p - f} = \frac{-h'}{f}$$



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

ESPELHOS ESFÉRICOS



$$\tan\theta_i = \frac{h}{p}$$

$$\tan\theta_r = \frac{h'}{p'}$$

$$\theta_i = -\theta_r \Rightarrow \frac{h'}{p'} = -\frac{h}{p}$$

ESPELHOS ESFÉRICOS

$$\left. \begin{array}{l} \frac{h'}{p'} = -\frac{h}{p} \Rightarrow -\frac{h'}{h} = \frac{p'}{p} \\ -\frac{h'}{h} = \frac{f}{p-f} \end{array} \right\} \frac{p'}{p} = \frac{f}{p-f}$$

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

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

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

**Equação dos  
espelhos**

# Resumo e Vocabulário 1

Vários dispositivos ópticos, incluindo lentes, espelhos planos ou espelhos esféricos, funcionam curvando os raios de luz, formando imagens. Para formar uma imagem **real** os raios convergem e a imagem pode ser projetada numa tela ou anteparo. Para uma imagem **virtual** os raios divergem e parecem vir de um ponto (mas não vieram!).

Imagem real e virtual, Eixo Óptico, Raios convergindo e divergindo, Espelhos côncavos e convexos.

## Resumo 2

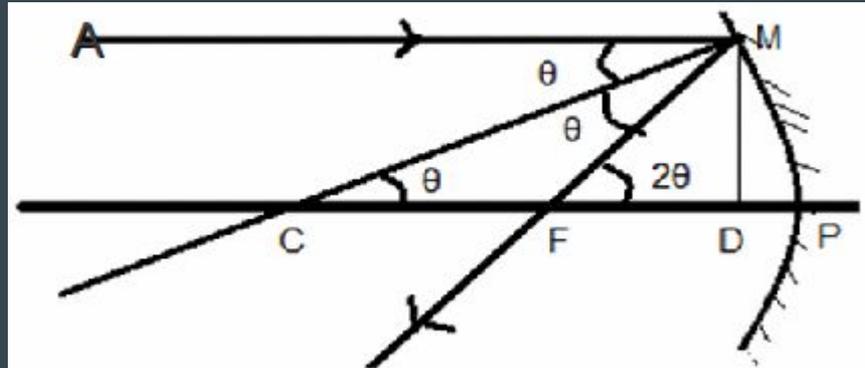
Espelhos (e lentes) são caracterizados por uma distância focal. Luz que incide do infinito é focalizado no ponto focal. A distância entre o objeto, a imagem e a distância focal são relacionados por

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

Aumento transversal  $M$  é dado por  
( $h$  é altura do objeto e imagem)

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

Provar que a distância focal de uma lente esférica é  $R/2$  (raio de curvatura, distância C - espelho)



CM perpendicular espelho  $\rightarrow CMA = CMF = \theta$

$MCF = \theta \rightarrow CF = FM$

Curvatura pequena:  $FM \cong FP \rightarrow CF \cong FP$  e  $FP \cong CP/2$

# Concepções alternativas

1. “Imagens reais *sempre* precisam ser projetadas numa tela (anteparo) para poder ser visto.”

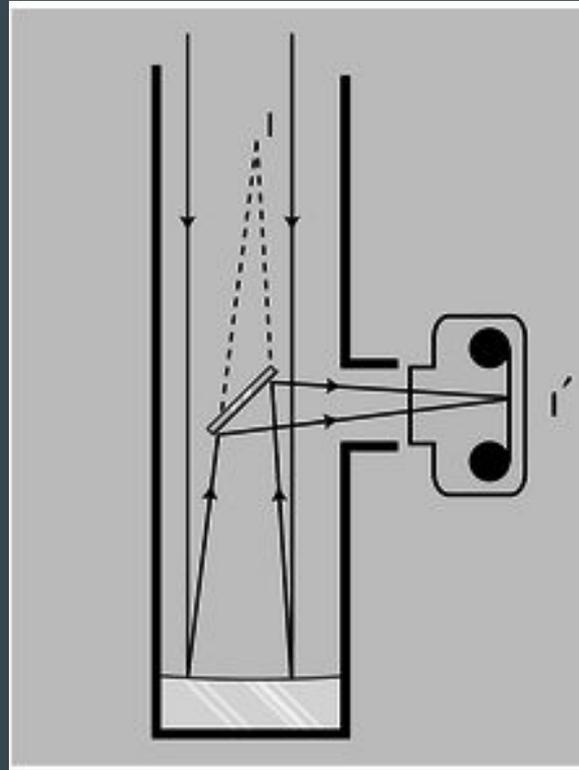
Será?

2. Damos tanto ênfase no foco, e falamos de “focar a imagem”, que existe esse risco: passar a ideia que “a imagem é formado no ponto focal”. Não!

# Mais exercícios

- Uma vela é colocada a 30 cm de uma espelho esférico e sua imagem é projetada numa tela a 120 cm. O espelho é convergente (côncavo) ou divergente (convexo)?
- Projetar um espelho de toalete convergente (côncavo) que aumente a imagem duas vezes para jovens com ponto próximo de 25 cm. Qual raio de curvatura usar? Qual é a distância ideal de uso?

# Exemplo de imagem de uma imagem: o telescópio de Newton



Uma imagem real seria formada em I. O espelho plano forma uma imagem real em I'.