

# Óptica



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

# Aula passada

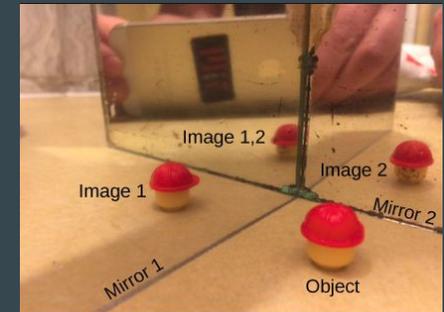
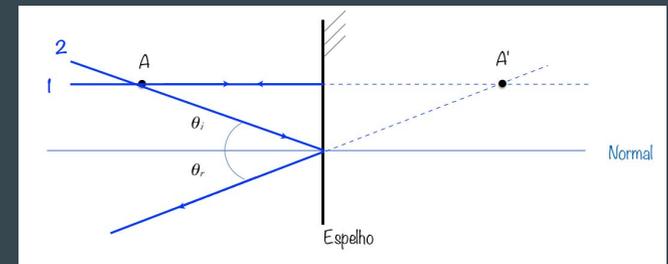
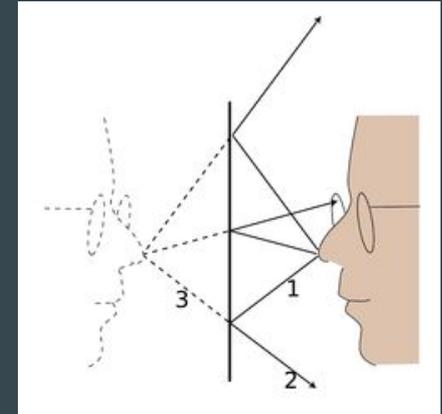
Reflexão especular

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?

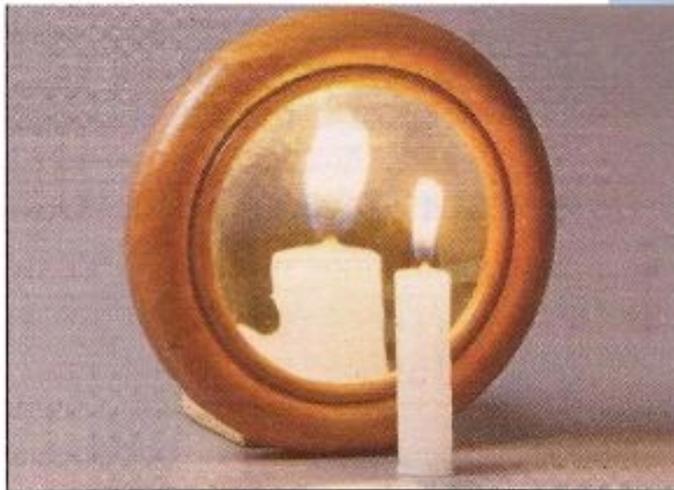
Importância histórico e atual, e em instrumentos óticos. O que aprenderemos vale para lentes também.

## Terminologia

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

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

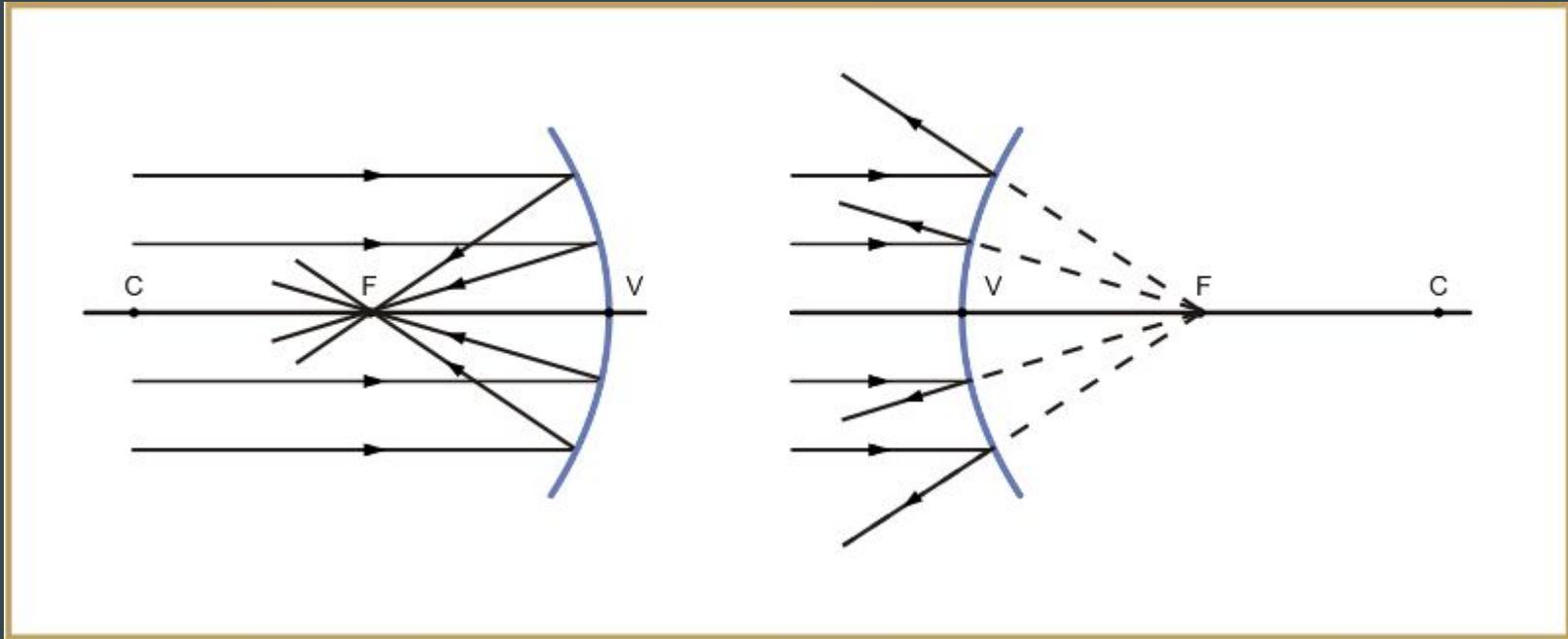
**Perguntas** sobre um sistema ótica: **onde fica** a imagem? É **direito ou invertida**? Quanto é **ampliada**?



# 2 tipos de espelhos

convergente (côncavo)

divergente (convexo)



Consideração pedagógica: usar ou não côncavo / convexo?

# Superfícies parabólicas

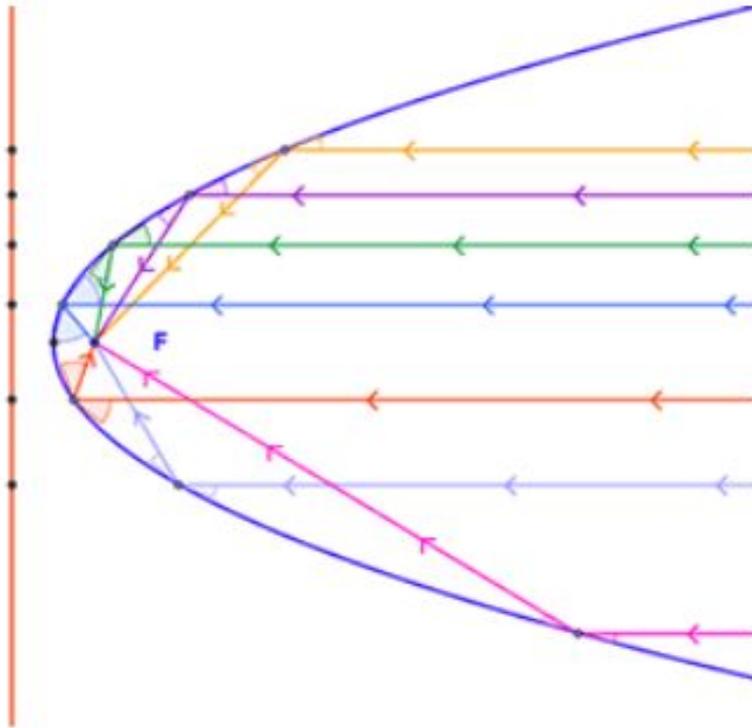


antenas parabólicas para  
ondas de rádio e TV

Radio telescópio



# Superfícies parabólicas



Espelho Parabólico

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

# Frentes de onda versus raios

4300160 - Óptica - IME - 2016  
Prova 1

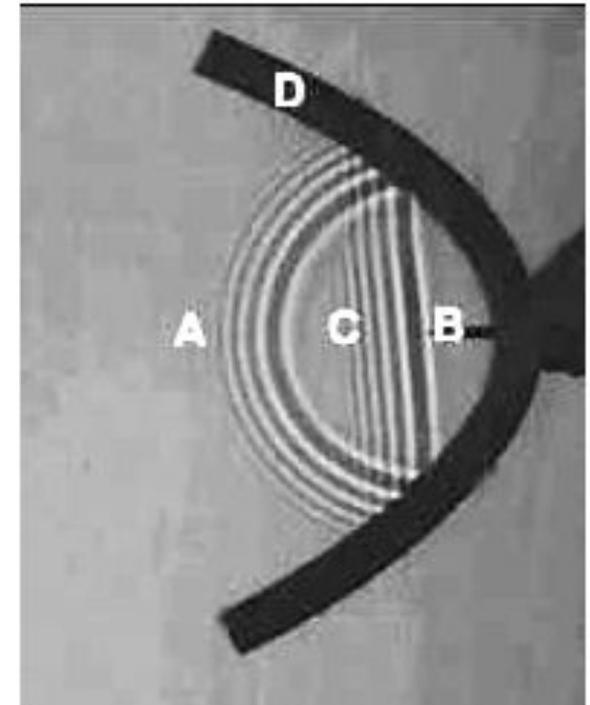
Nome:

Número USP:

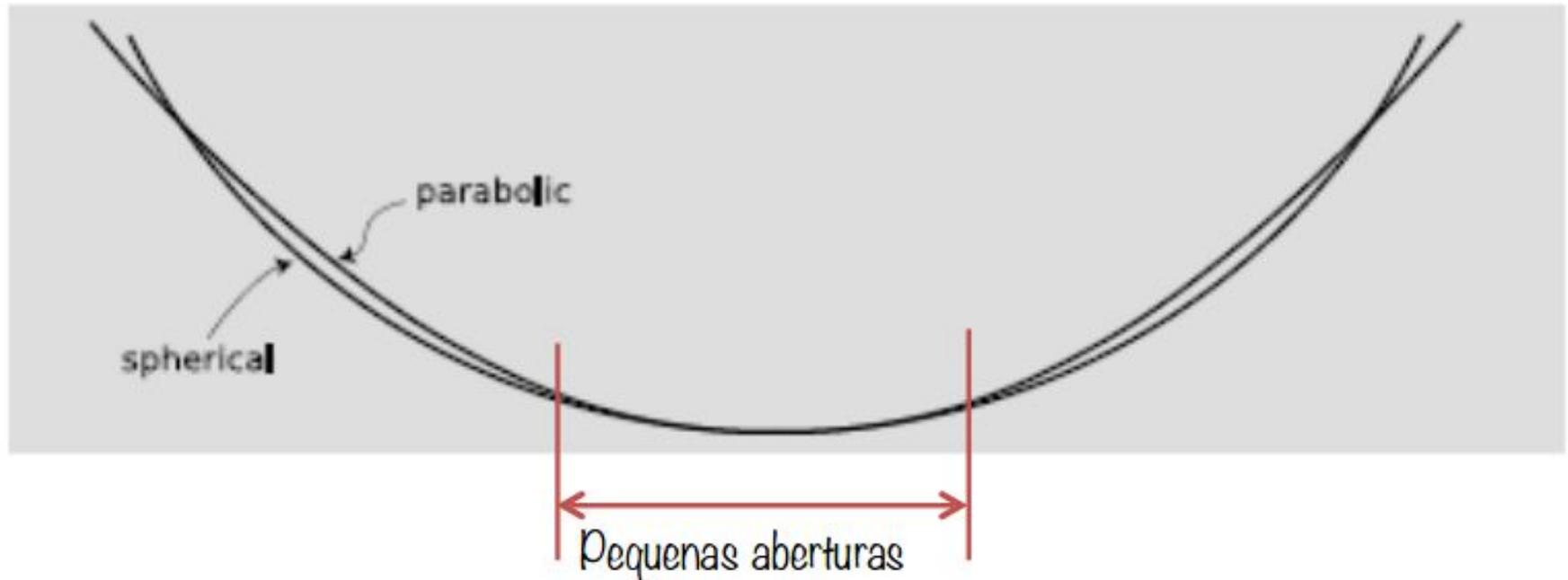
Turma:

Q1 (1 ponto). Veja uma onda gerada num tanque de ondas com uma barreira parabólica. A onda esférica foi gerada no ponto focal C e a foto foi tomada alguns instantes depois.

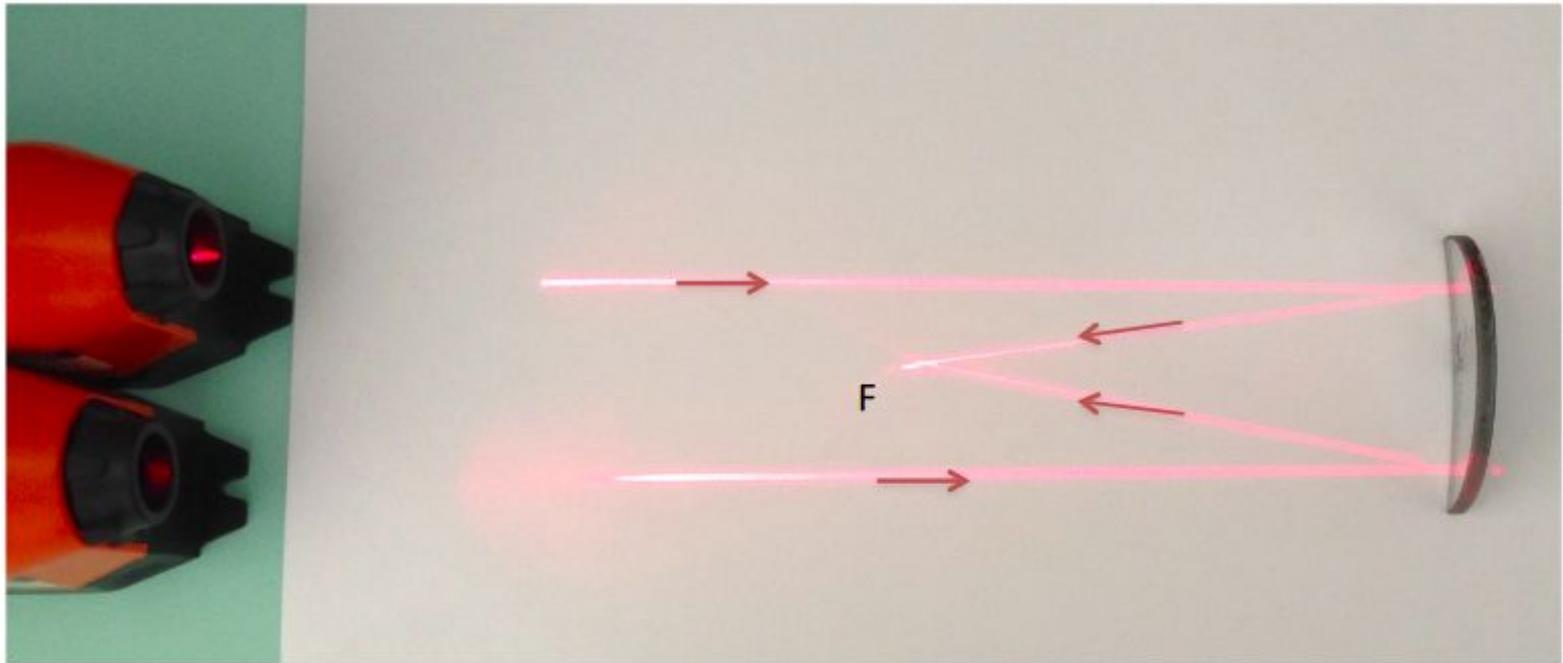
- Desenha na figura três "raios" (dois na parte curva e um na parte plano da onda) e indique a direção.
- Qual é o nome do conceito físico sendo ilustrado aqui? Escolhe um de "dispersão", "difração", "reflexão", "refração" ou "radiação"



# Aproximação paraxial

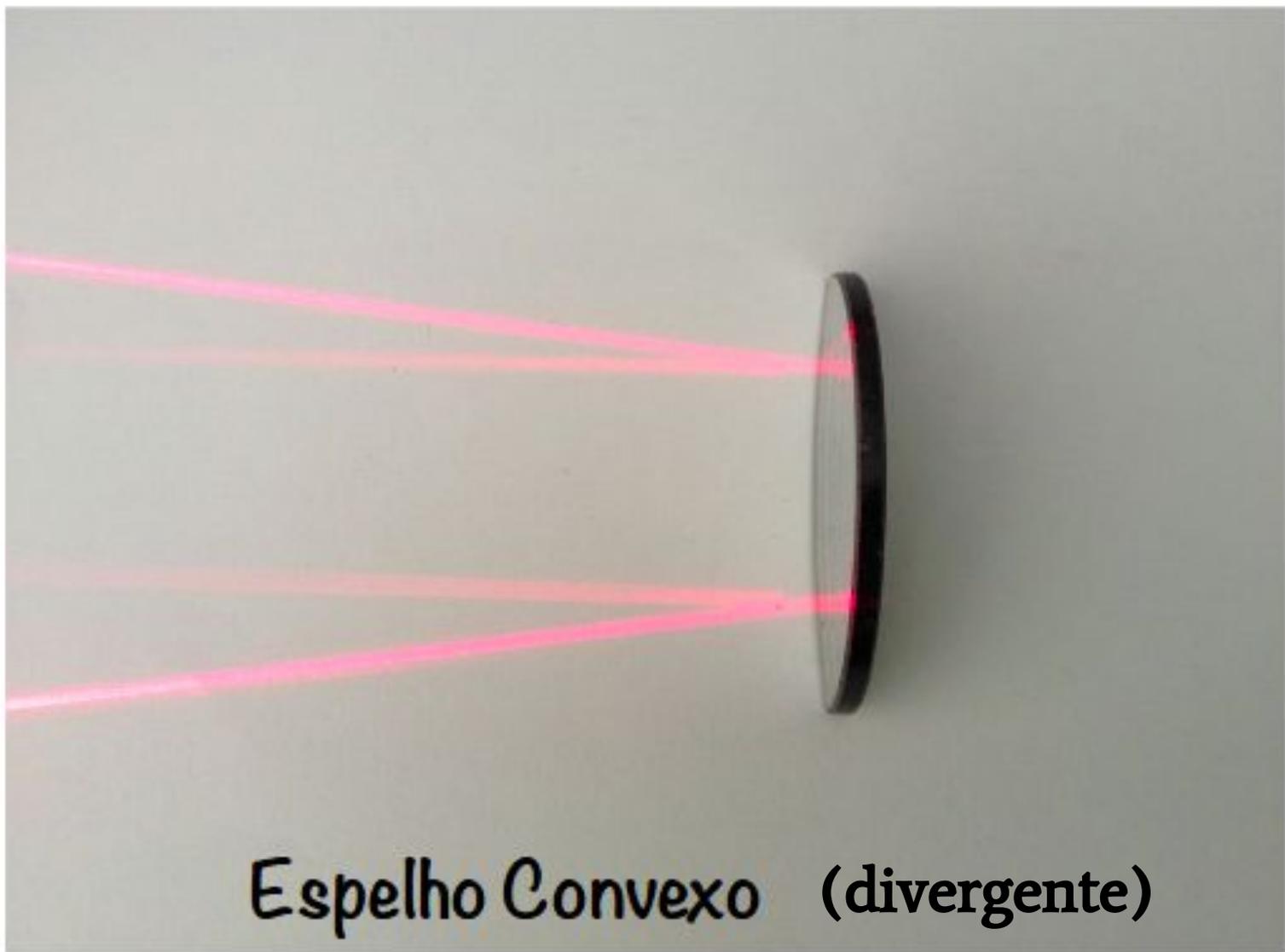


A superfície esférica é uma boa aproximação de uma superfície parabólica se a abertura da esfera é pequena.

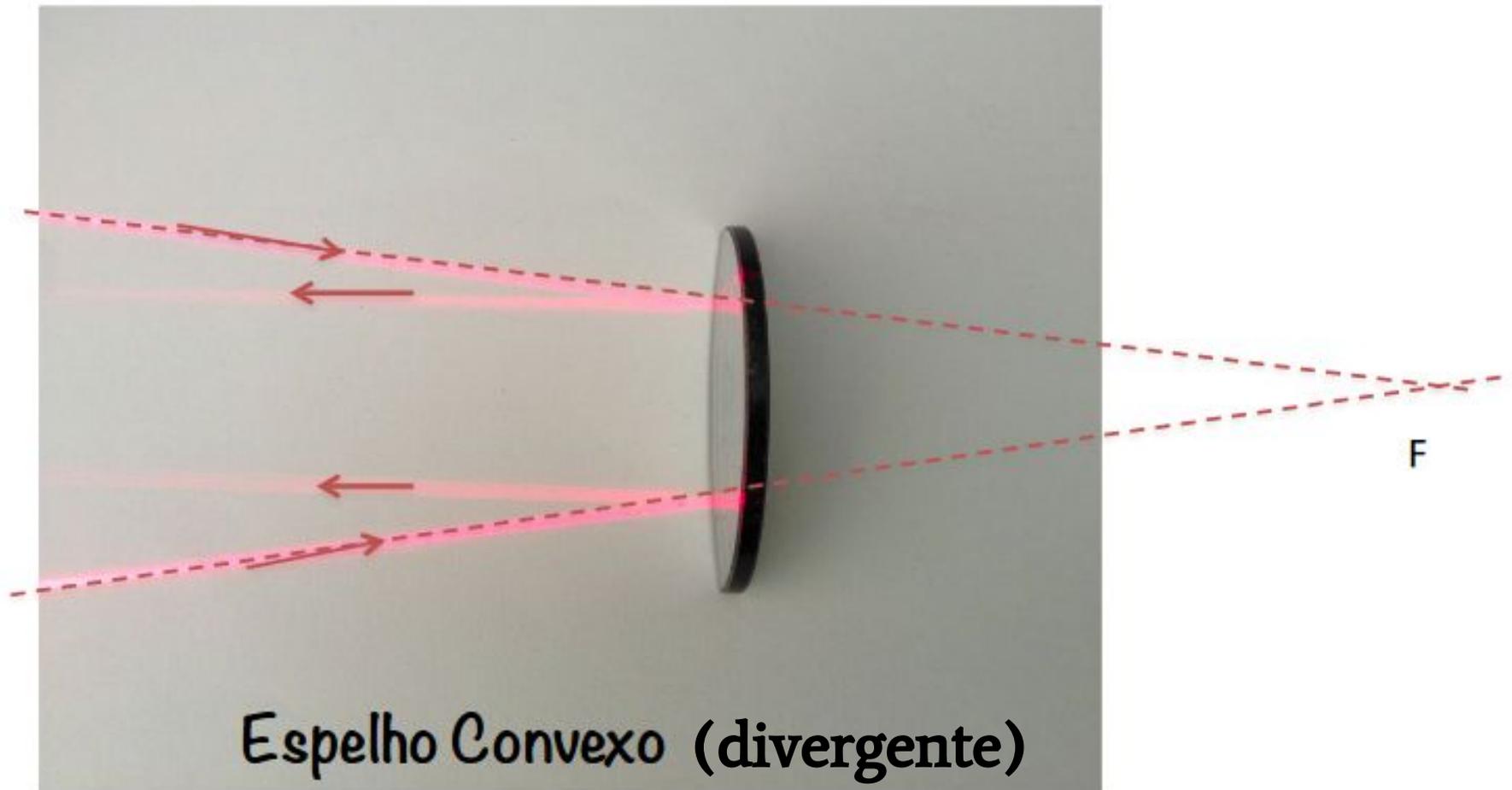


**Espelho Côncavo**  
**(Convergente)**





**Espelho Convexo (divergente)**

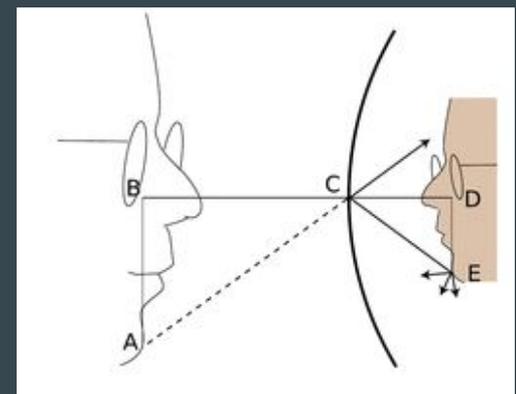
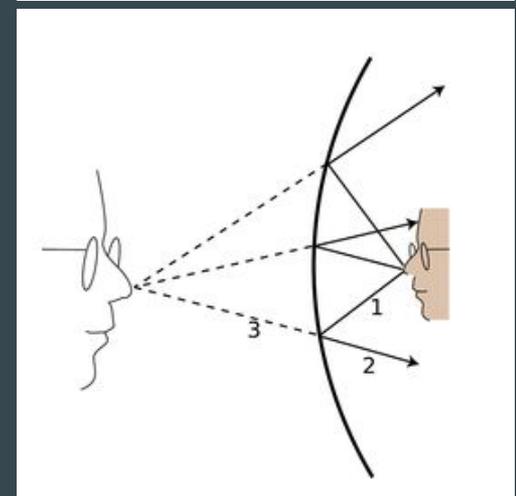
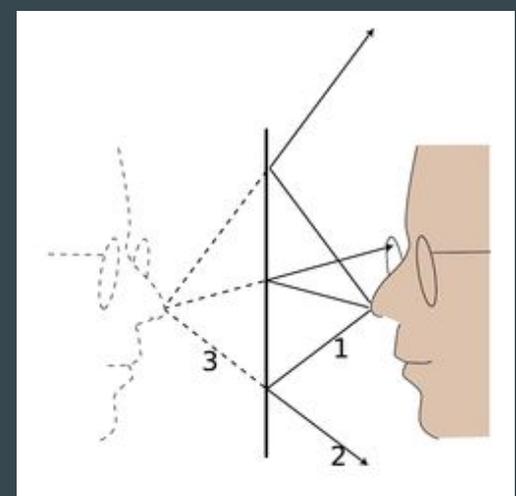


## Demonstração focar luz | Simulador

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

Respostas:

1. qualitativamente
2. graficamente (traçar raios)
3. pela equação de Gauss ( $1/f = 1/p + 1/p'$ )



# Espelho convergente - $f > 0$

$p$  = distância do objeto ao centro do espelho

$p > 0$  e  $p > f$

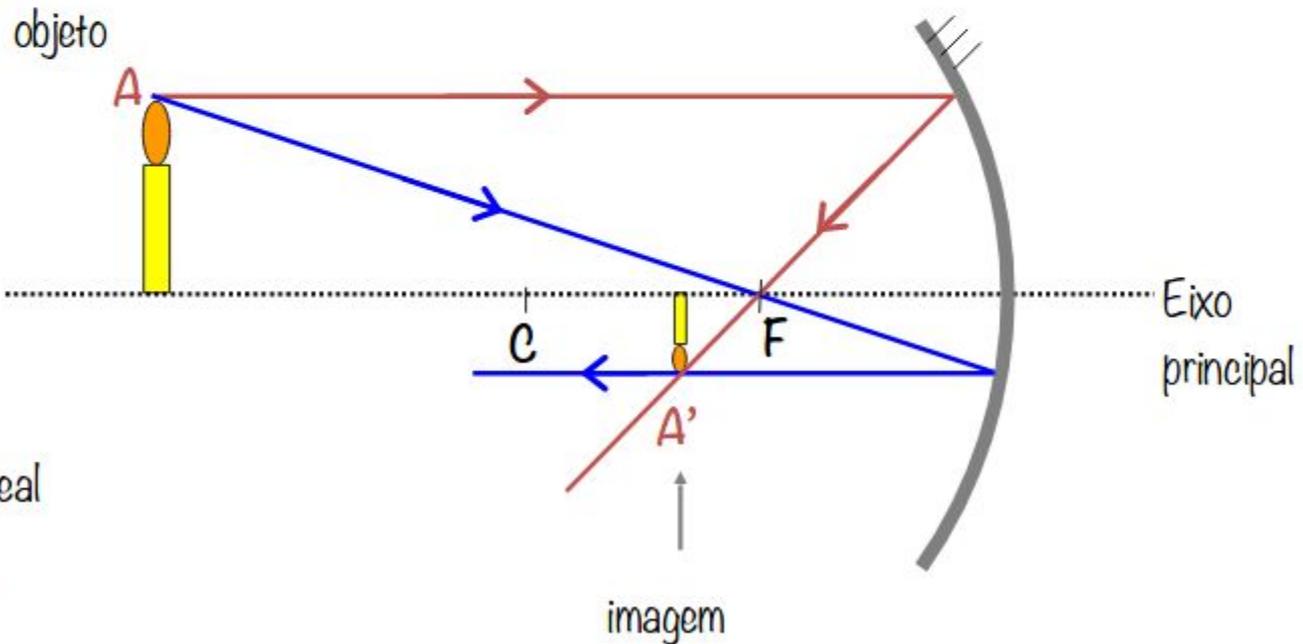


Imagem real

Invertida

menor

# Espelho convergente - $f > 0$

$p$  = distância do objeto ao centro do espelho

$p > 0$  e  $p < f$

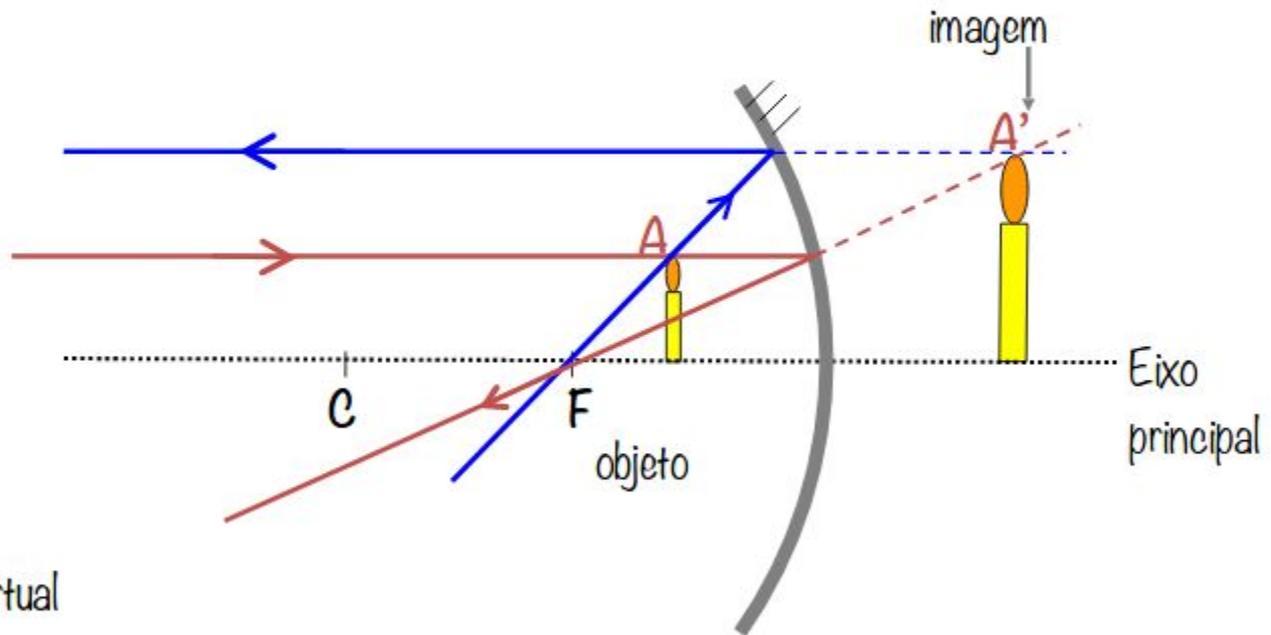


Imagem virtual

Direita

maior

Consideração pedagógica: raios não começam no objeto?

# Espelho divergente - $f < 0$

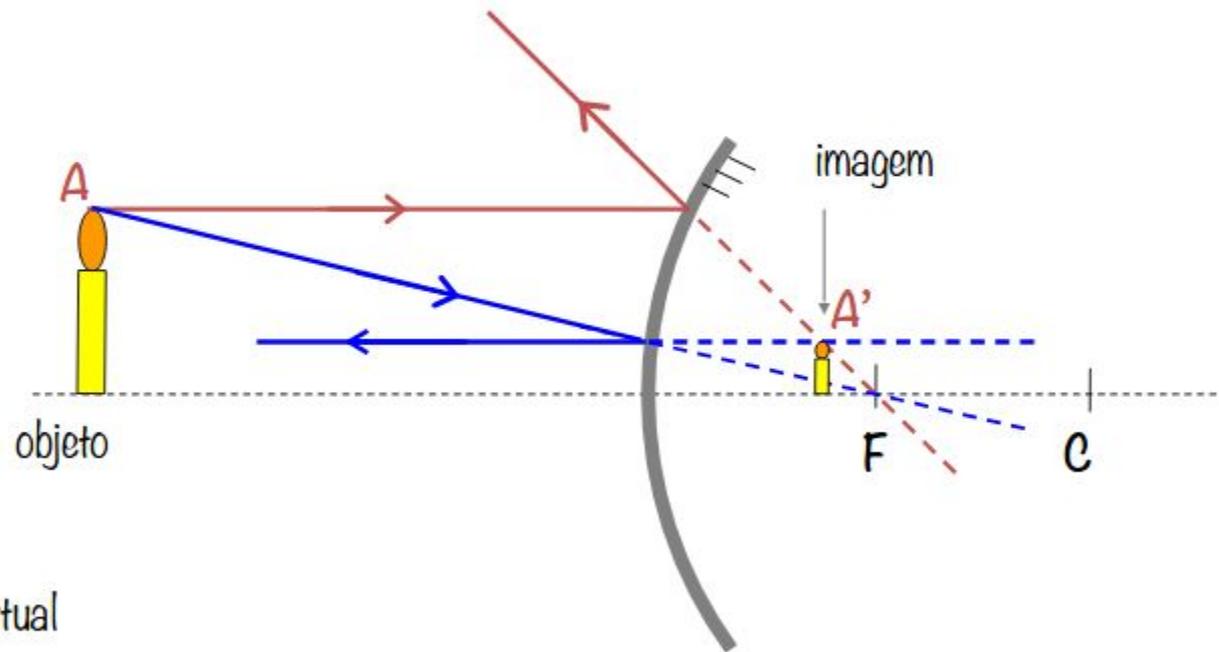


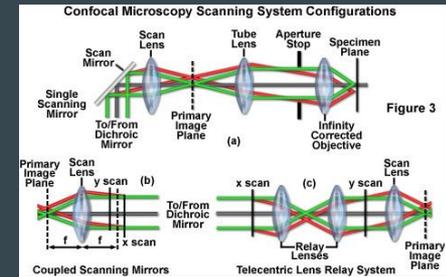
Imagem virtual

Direita

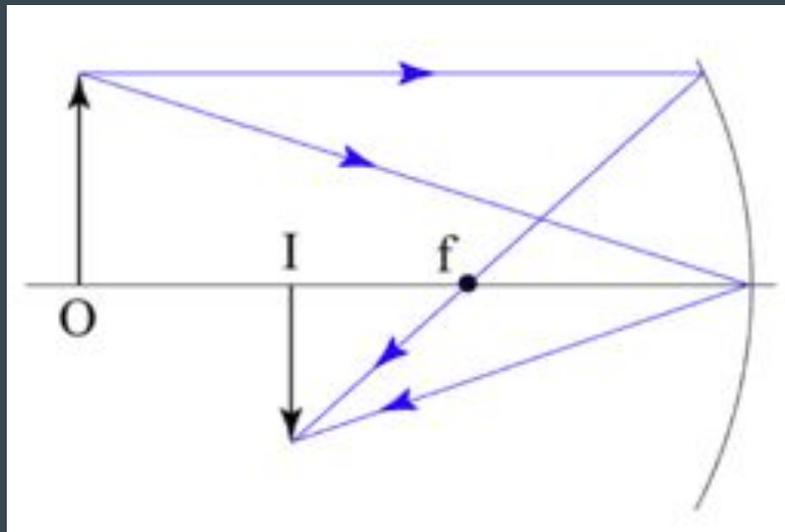
Menor

# 2 tipos de imagens

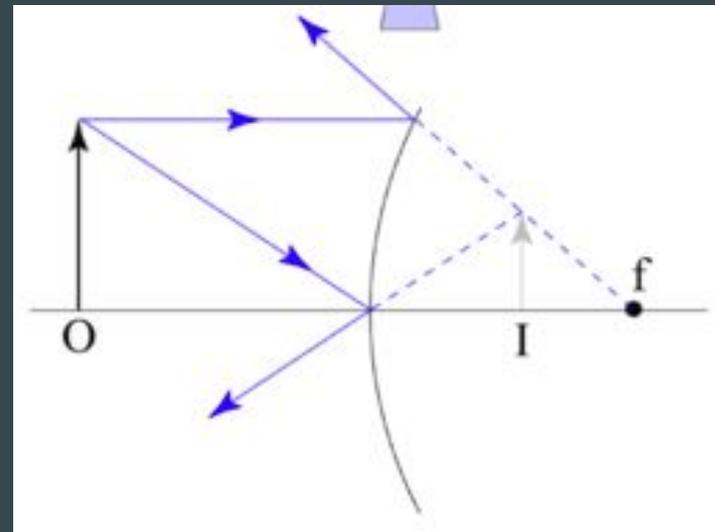
Imagem: “aparente reprodução de um objeto após passar por um sistema óptico”



Reais: raios refletidos convergem

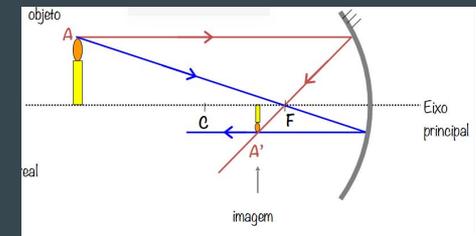


Virtuais: raios refletidos divergem



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

# 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  $p > 0$ . **Imagens virtuais:  $p' < 0$** . **Imagens reais:  $p' > 0$**

Aumento transversal  $M$  é dado por

( $h$  e  $h'$  são alturas do objeto e imagem)

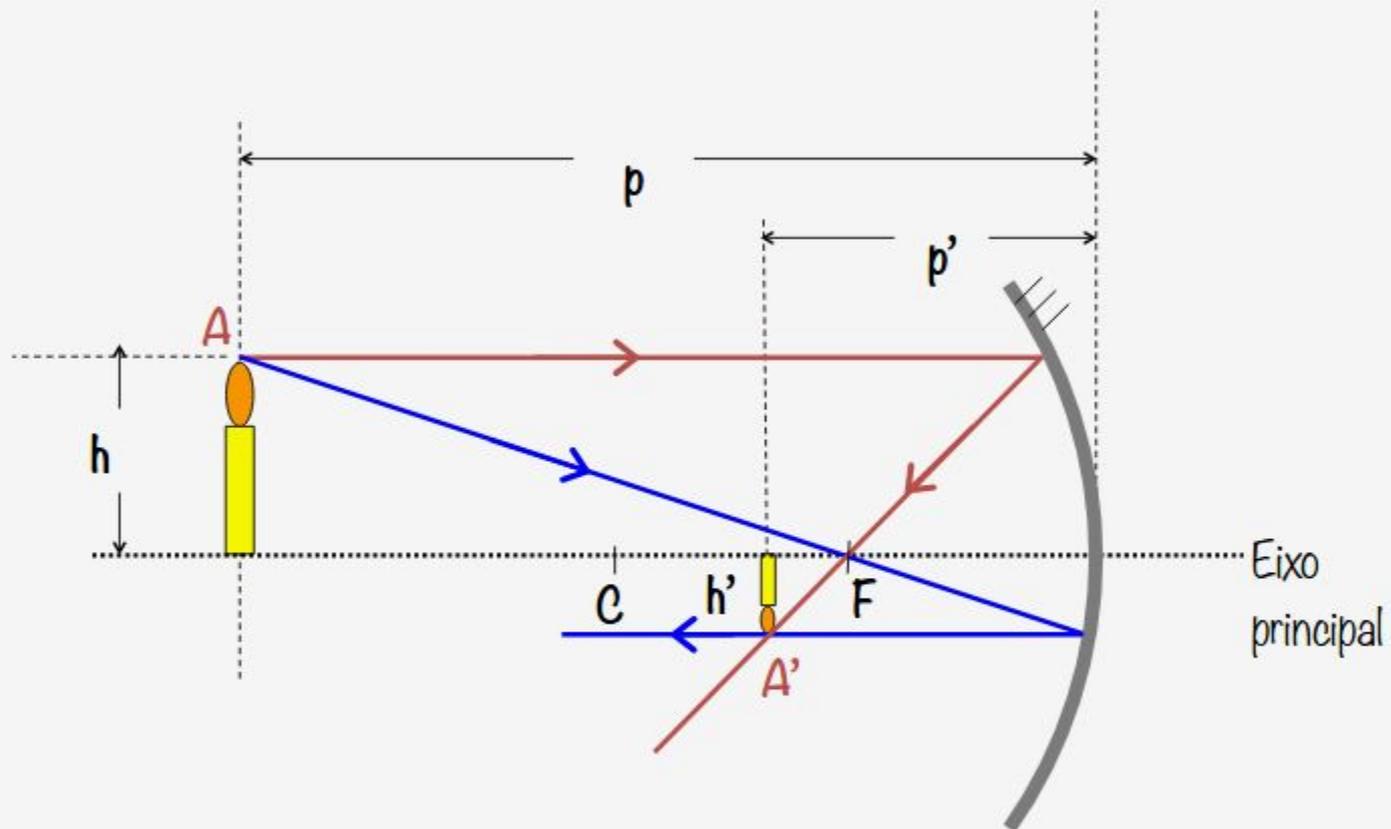
$$M = \frac{h'}{h} = -\frac{p'}{p}$$

# Exercício

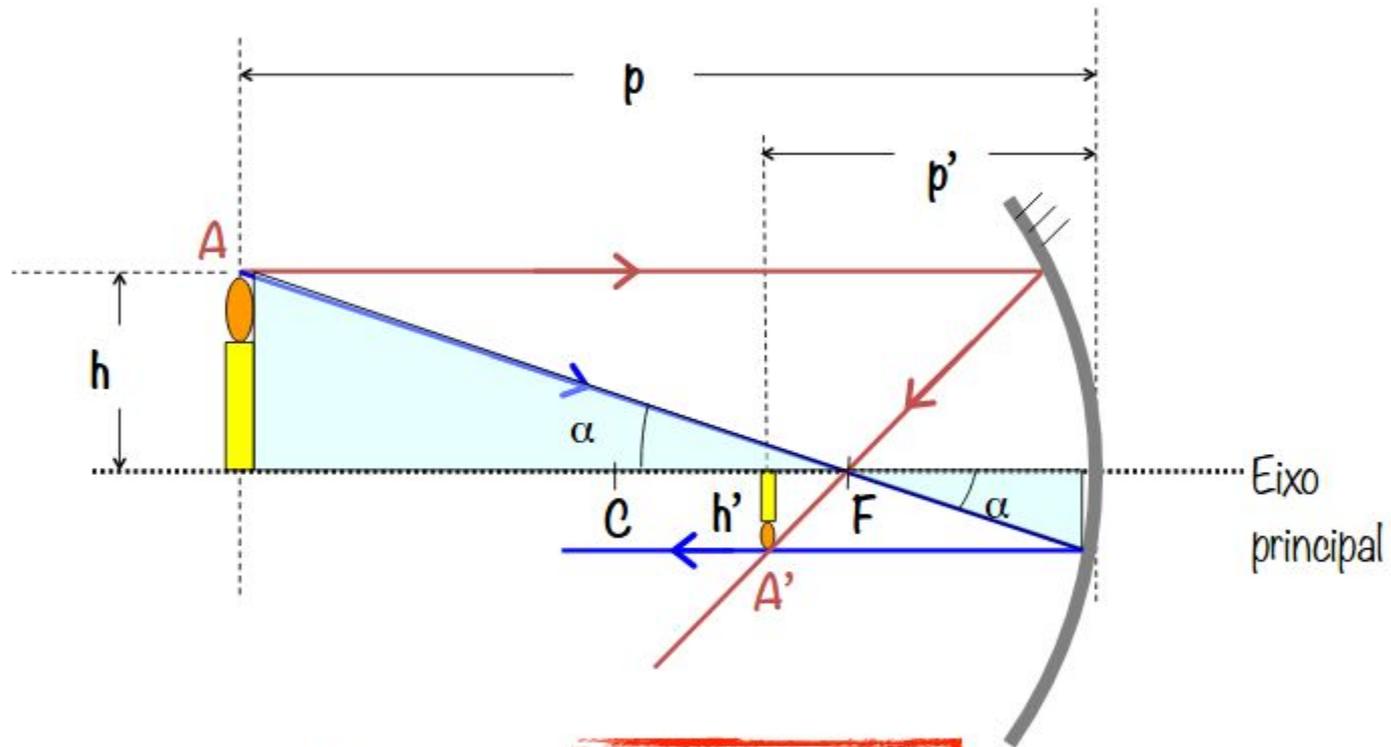
Determinar posições da imagem

- graficamente (traçar raios)
- pela equação de Gauss

A seguir: dedução da equação de Gauss



ESPELHOS ESFÉRICOS

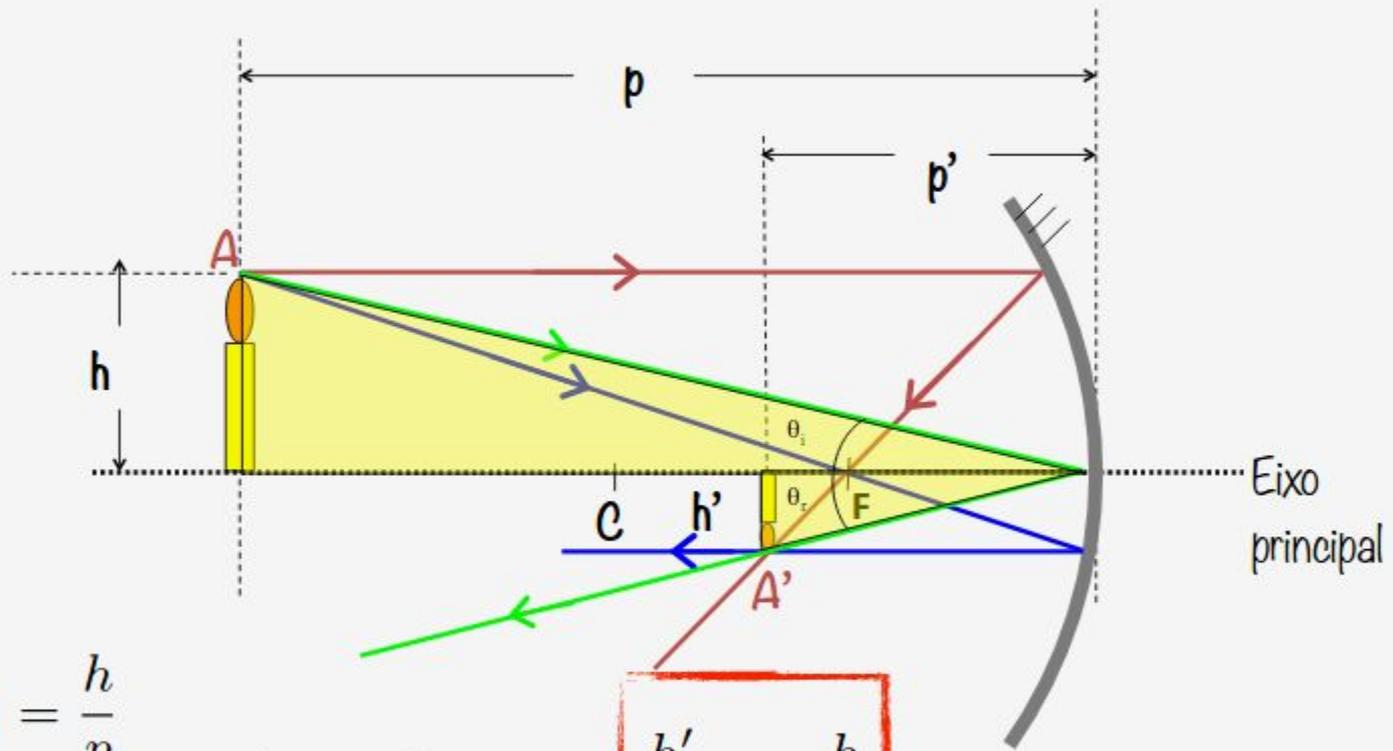


$$\tan \alpha = \frac{h}{p - f} = \frac{-h'}{f}$$



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

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 convergentes** (côncavos) e **espelhos divergentes** (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

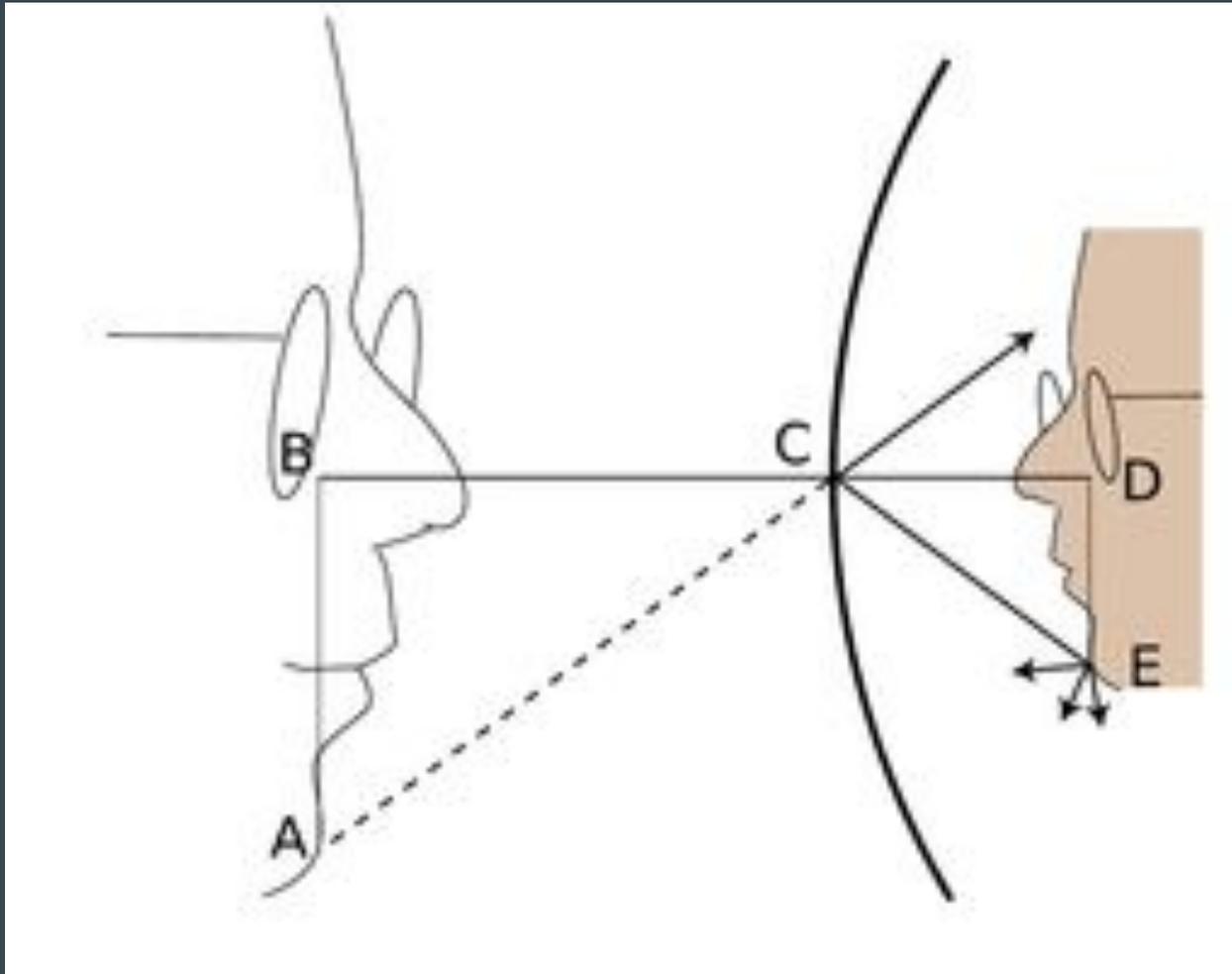
$$\frac{1}{f} = \frac{1}{p} + \frac{1}{p'}$$

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

Aumento transversal  $M$  é dado por

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

# Ampliação num espelho convergente (côncavo)



# 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

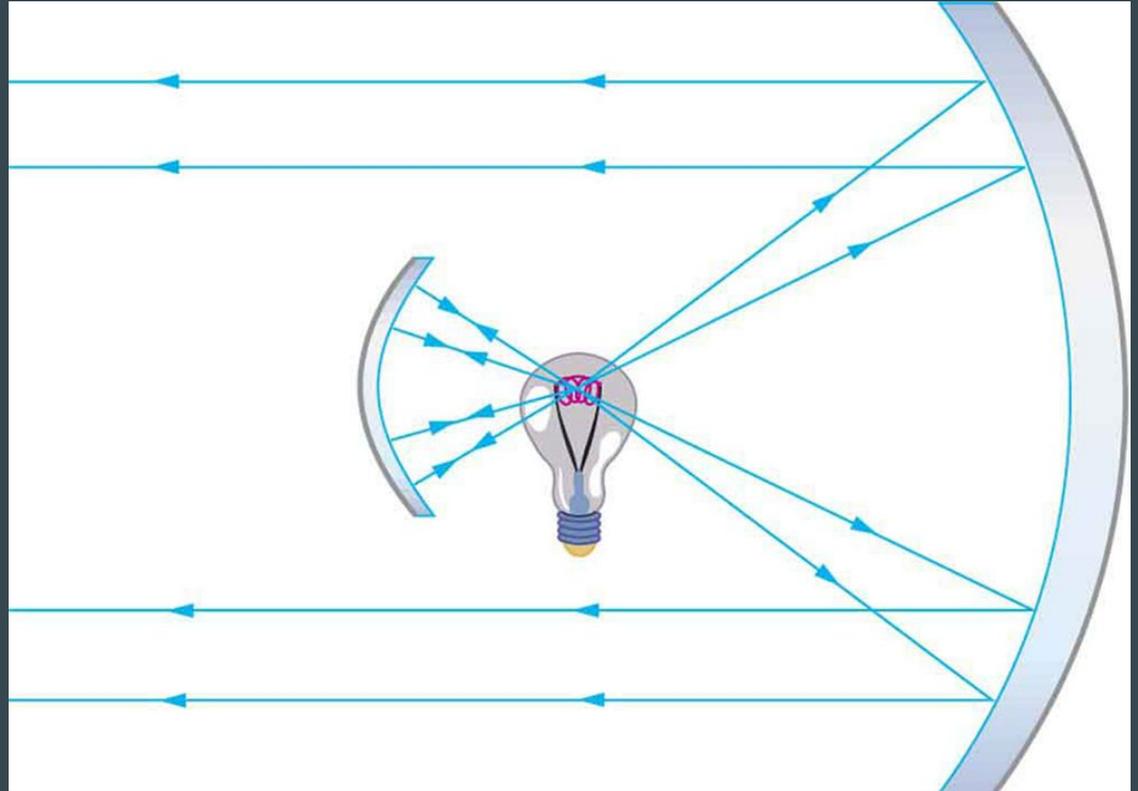
- Uma vela é colocada a 30 cm de uma espelho esférico e sua imagem é projetada numa tela a 120 cm. O espelho é convergente (côncavo) ou divergente (convexo)?
- Projetar um espelho de toailete convergente (côncavo) que aumente a imagem duas vezes para jovens com ponto próximo de 25 cm. Qual raio de curvatura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

# Holofote

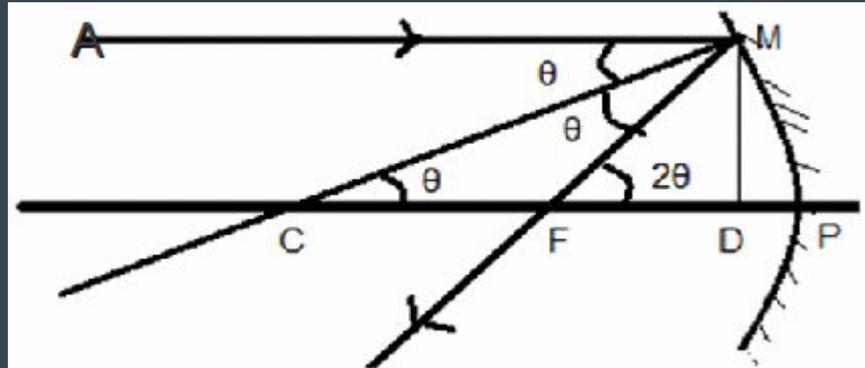
Na imagem ao lado a fonte de luz fica entre dois espelhos.

Explique o funcionamento. Onde a fonte da luz precisa estar?

As curvaturas dos dois espelhos precisam ter alguma relação?



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  $FP \cong CP/2$