Física Experimental IV - 6ª aula

http://www.dfn.if.usp.br/~suaide/

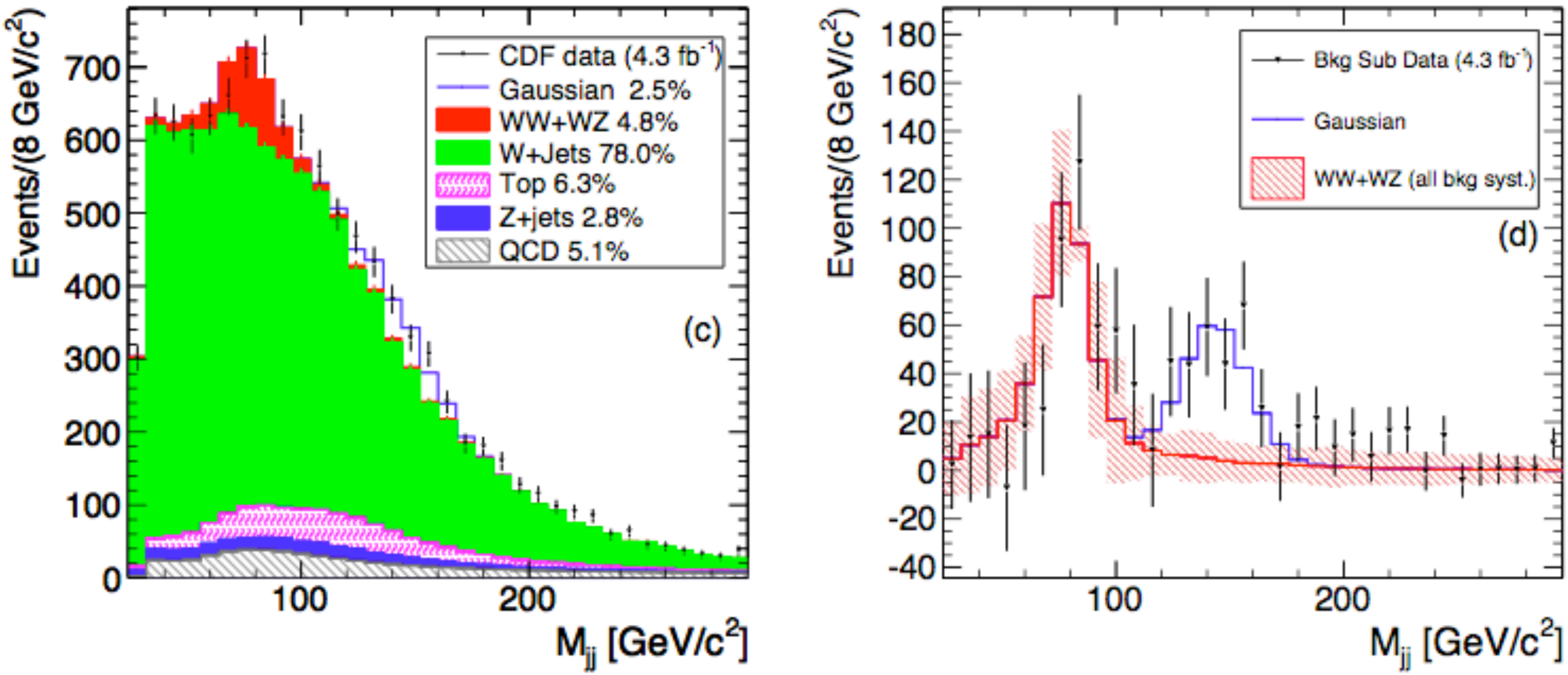
Alexandre Suaide

Ed. Oscar Sala

sala 246

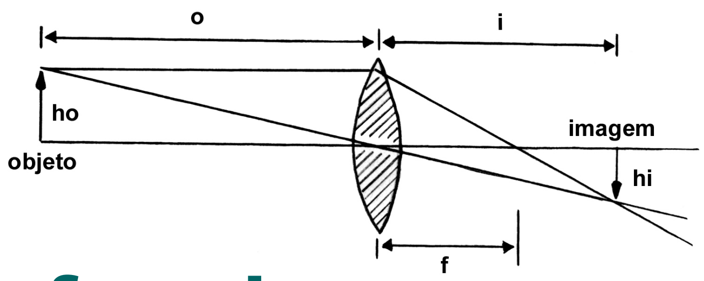
ramal 7072

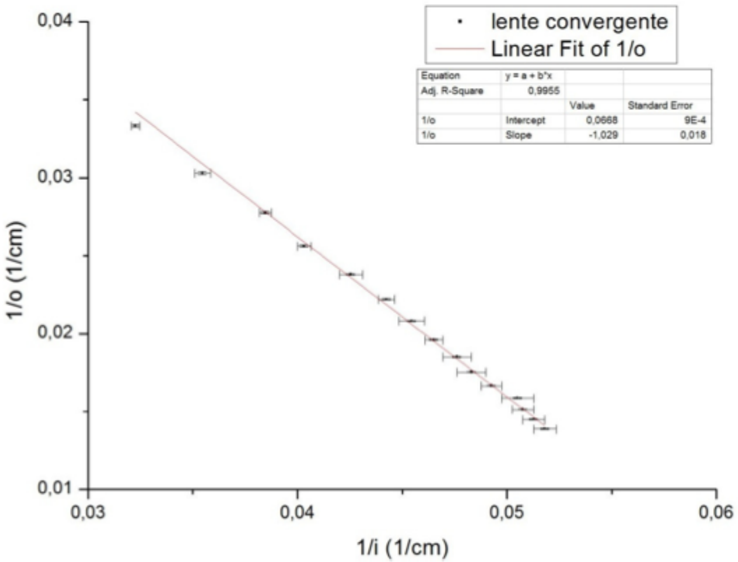
A importância da análise de dados Fermilab, 2011

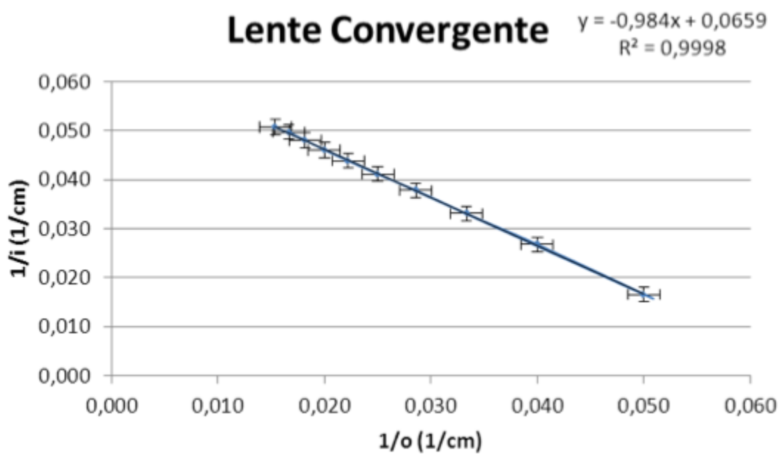


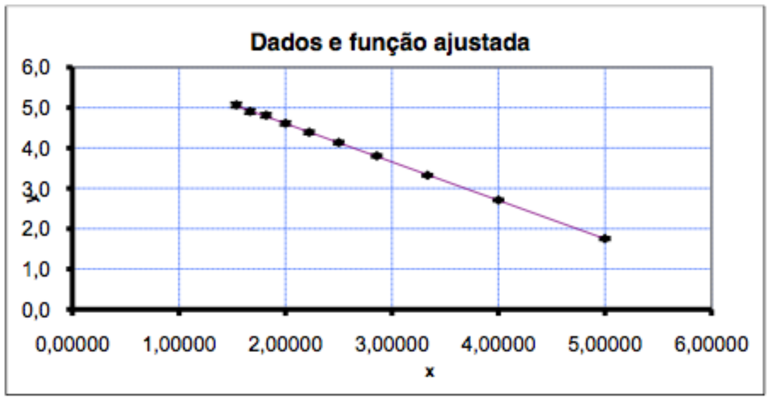
(arXiv:1104.0699v1)

Métodos para medida de distâncias focais

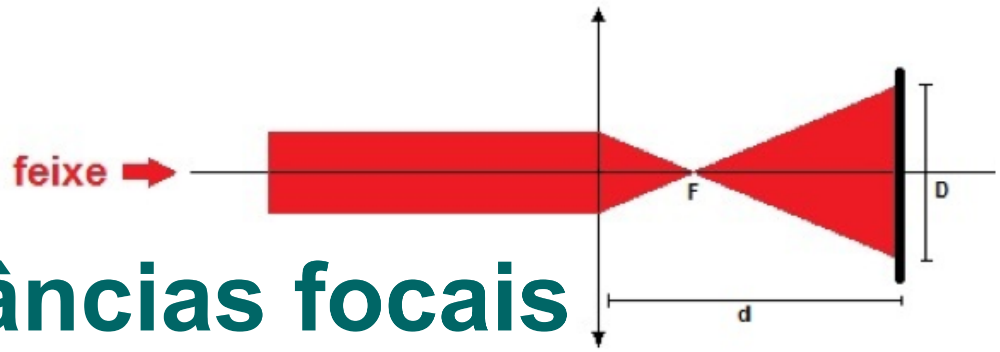


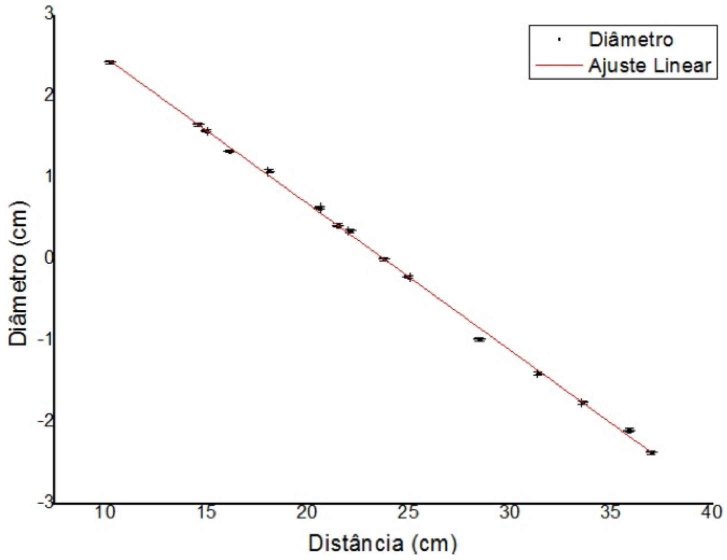


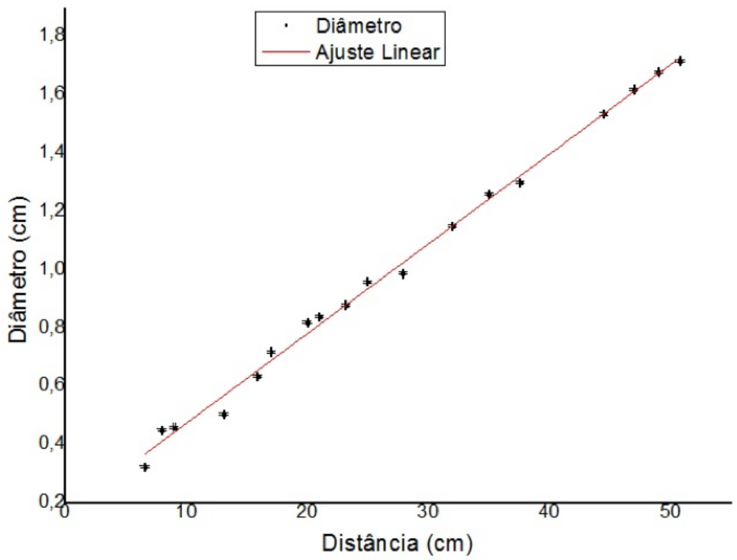




Métodos para medida de distâncias focais





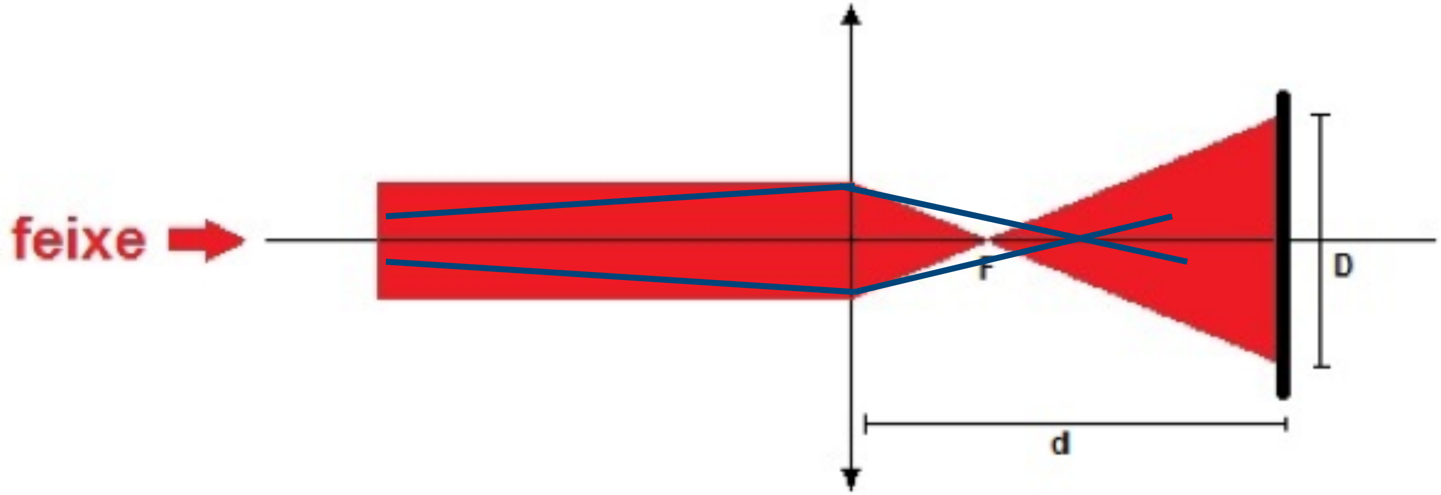


A equação de reta obtida foi: y = ax + b, onde a = -0,1847 ± 0,0017 e b=4,15 ± 0,05 cm. Sendo assim, extrapolando a reta para y = 0, obtemos o x correspondente à distancia focal:

$$f = \frac{-b}{a} = 22,47 \pm 0,05cm \qquad (1)$$

Métodos para medida de distâncias focais

Método muito sujeito a incertezas sistemáticas



A equação de reta obtida foi: y = ax + b, onde a = -0,1847 ± 0,0017 e b=4,15 ± 0,05 cm. Sendo assim, extrapolando a reta para y = 0, obtemos o x correspondente à distancia focal:

$$f = \frac{-b}{a} = 22,47 \pm 0,05cm \qquad (1)$$

Métodos para medida de distâncias focais

A determinação da distância focal foi feita medindo vários pontos de distância (x) por altura (y) ajustando assim uma reta $y = ax + b$ onde a distância focal (f) é o valor de x quando $y = 0$.

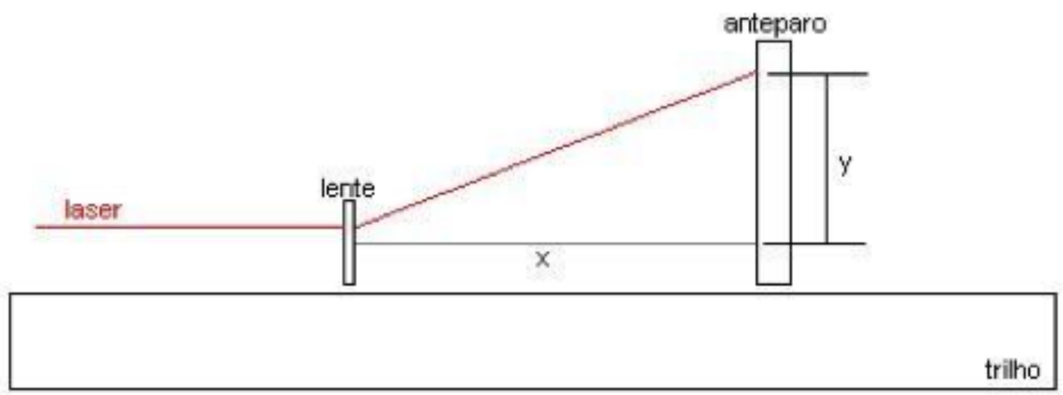
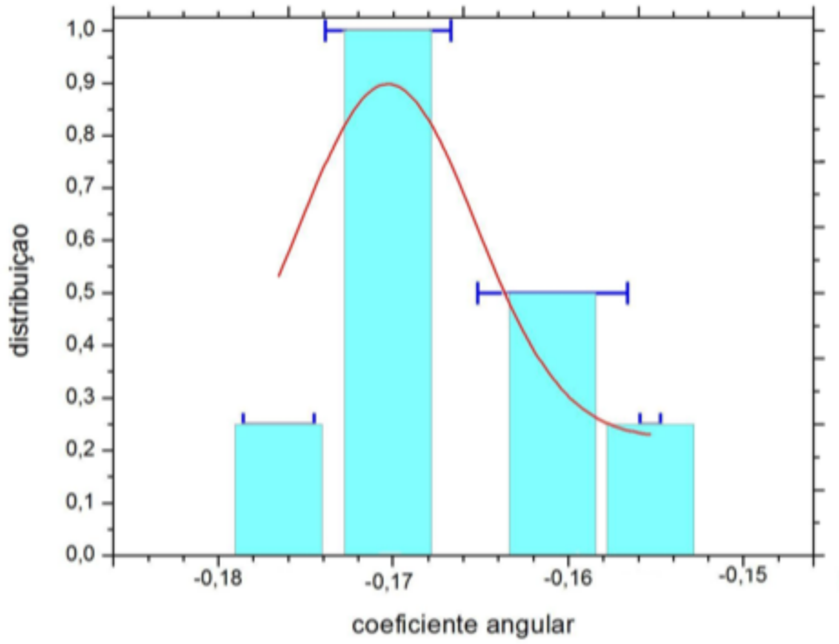


Figura 1: ilustração da montagem experimental

Métodos para medida de distâncias focais



$$f = 1,78 + 0,07.exp\frac{(x+0,17)^2}{0,01^2}$$

FDP da dist. focal

CUIDADO!!!

Esse termo faz a FDP não ter integral finita

Medidas de distâncias focais

Convergente [cm]	Divergente [cm]
22.47 $\pm$ 0.05	-6.201 $\pm$ 0.016
14.1 $\pm$ 3.2	-8.65 $\pm$ 0.51
14.97 $\pm$ 0.06	-5.56 $\pm$ 0.43
14 $\pm$ 15 (*)	-9.52 $\pm$ 0.12
15.17 $\pm$ 0.05	-8.57 $\pm$ 0.05
15.06 $\pm$ 0.09	-7.78 $\pm$ 0.11 (**)
15.9 $\pm$ 3.2	-7.7 $\pm$ 1.5
14.6 $\pm$ 0.6 (***)	-7.7 $\pm$ 1.7 (****)

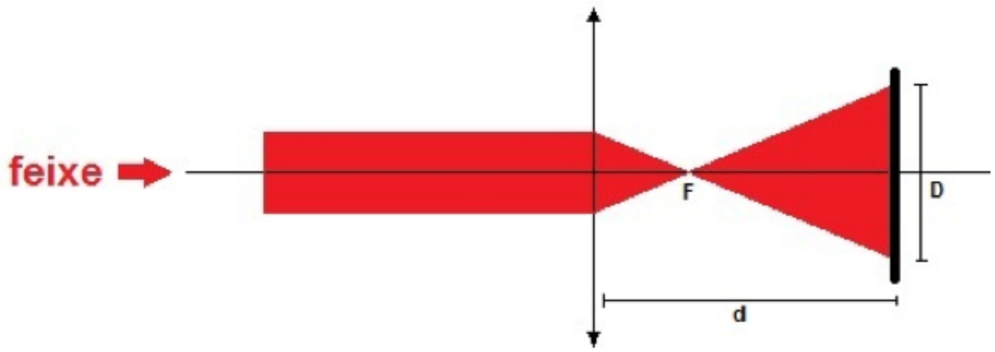
Em vermelho estão os valores
Médios com seus respectivos
Desvios padrão

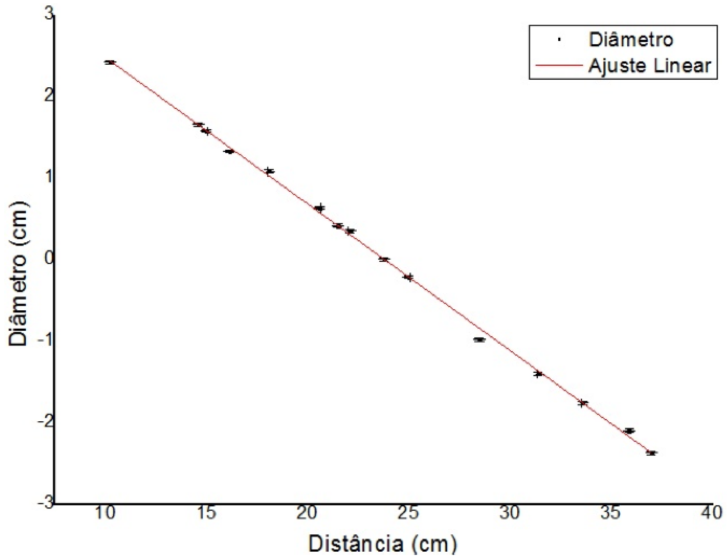
Os valores nominais esperados
Eram:

f_c = 15 cm
f_d = -9.4 cm

(*) provavelmente houve um erro de digitação na incerteza
(**) calculou o fD com fórmula de fabricante de lentes
(***) sem considerar o primeiro grupo
(****) sem considerar o último grupo

Vamos voltar a esse método





Qual é a incerteza na Distância focal?

Como obter?

A equação de reta obtida foi: y = ax + b, onde a = -0,1847 ± 0,0017 e b=4,15 ± 0,05 cm. Sendo assim, extrapolando a reta para y = 0, obtemos o x correspondente à distancia focal:

$$f = \frac{-b}{a} = 22,47 \pm 0,05cm \quad (1)$$

Propagação de incertezas

- Fórmula geral de propagação de incertezas

$$\sigma_f^2 = D^T \cdot COV \cdot D$$

- Com:

$$D = \begin{pmatrix} \dfrac{\partial f}{\partial x_1} \\ \dfrac{\partial f}{\partial x_2} \\ \vdots \\ \dfrac{\partial f}{\partial x_n} \end{pmatrix} \quad \text{e} \quad COV = \begin{pmatrix} \sigma_1^2 & \mathrm{cov}_{21} & \cdots & \mathrm{cov}_{n1} \\ \mathrm{cov}_{12} & \sigma_2^2 & \cdots & \mathrm{cov}_{n2} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \mathrm{cov}_{1n} & \mathrm{cov}_{2n} & \cdots & \sigma_n^2 \end{pmatrix}$$

Propagação de incertezas

- No caso de uma função de duas variáveis

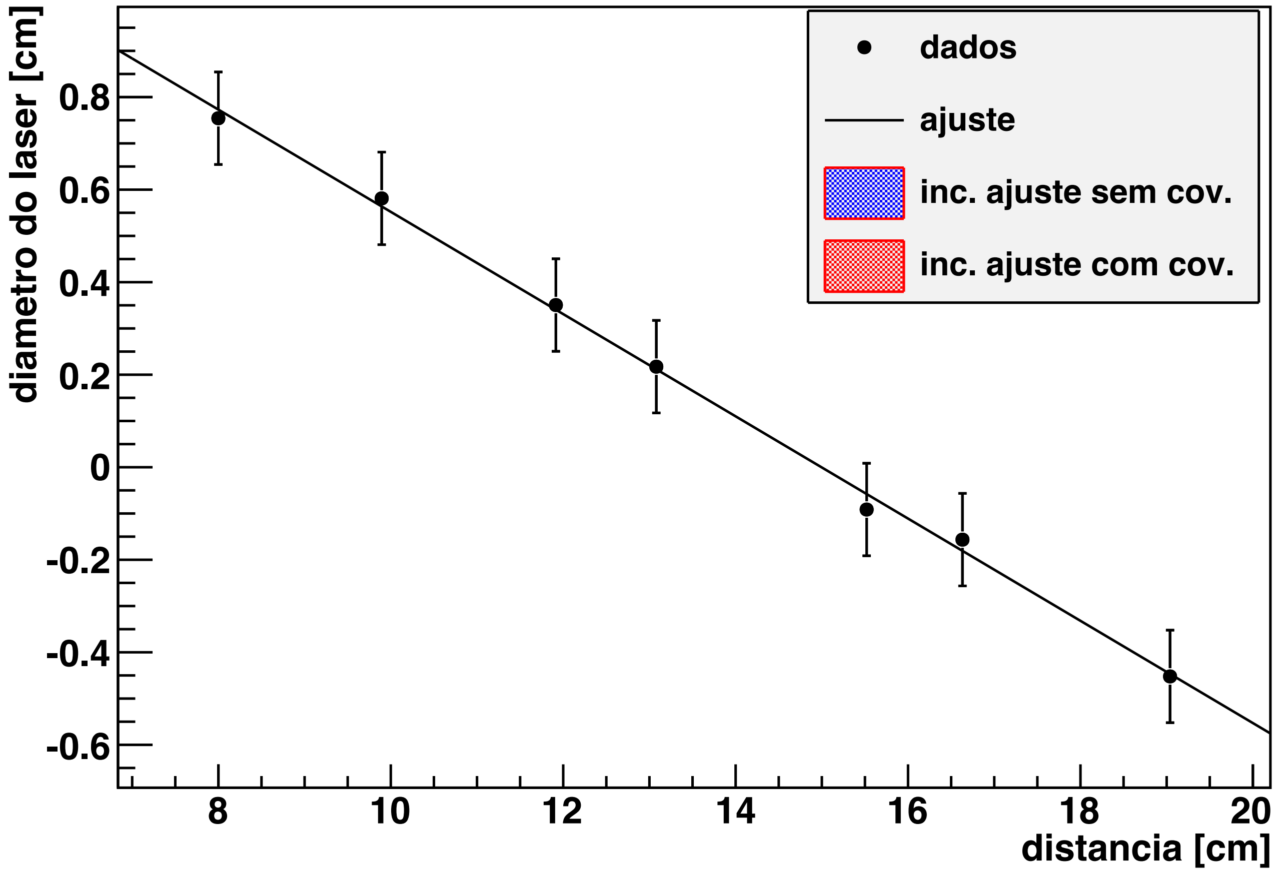
$$f = -\frac{b}{a}$$

- Com:

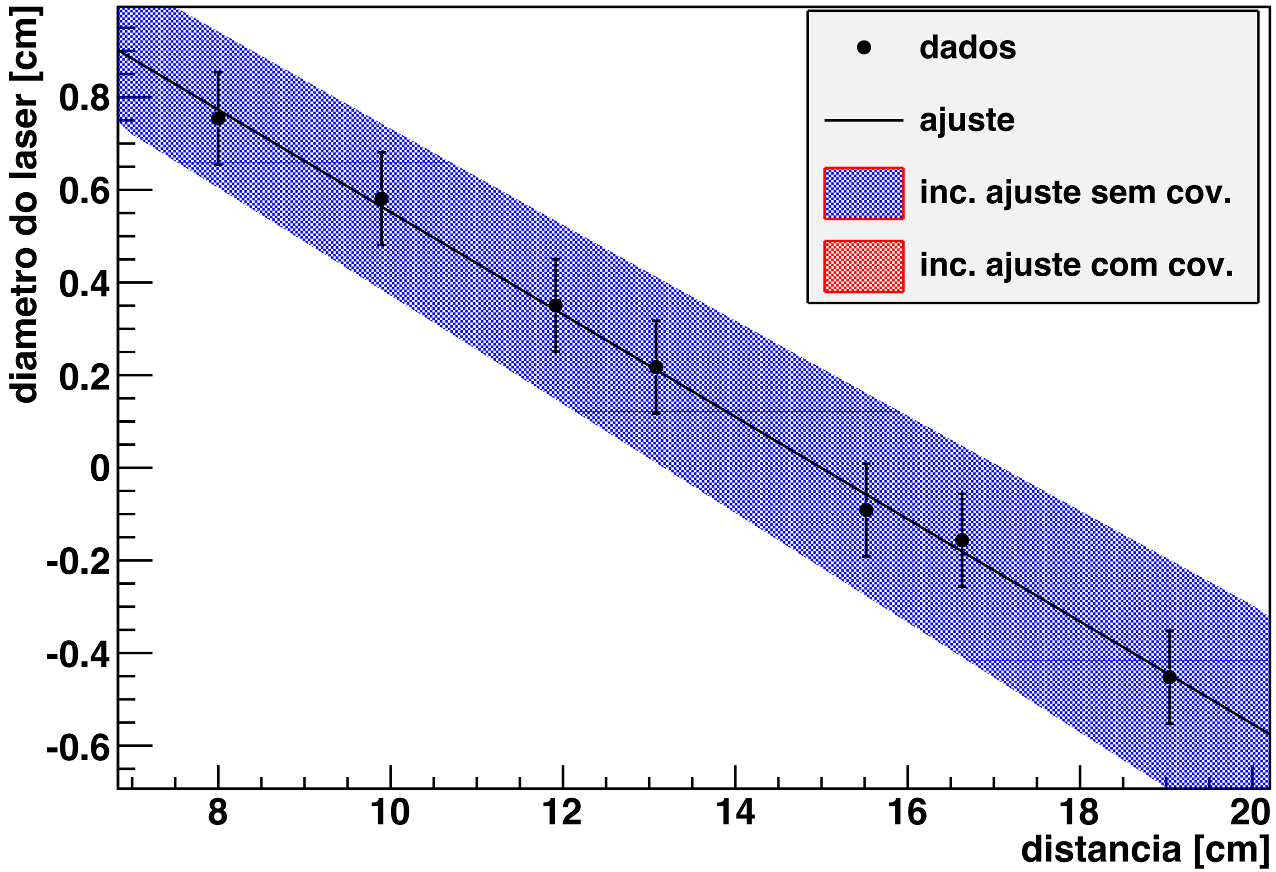
$$\sigma_f^2 = \left(\frac{\partial f}{\partial a}\right)^2 \sigma_a^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial b}\right)^2 \sigma_b^2 + 2\frac{\partial f}{\partial a}\frac{\partial f}{\partial b}\mathrm{cov}_{ab}$$

Será que esse termo é importante?

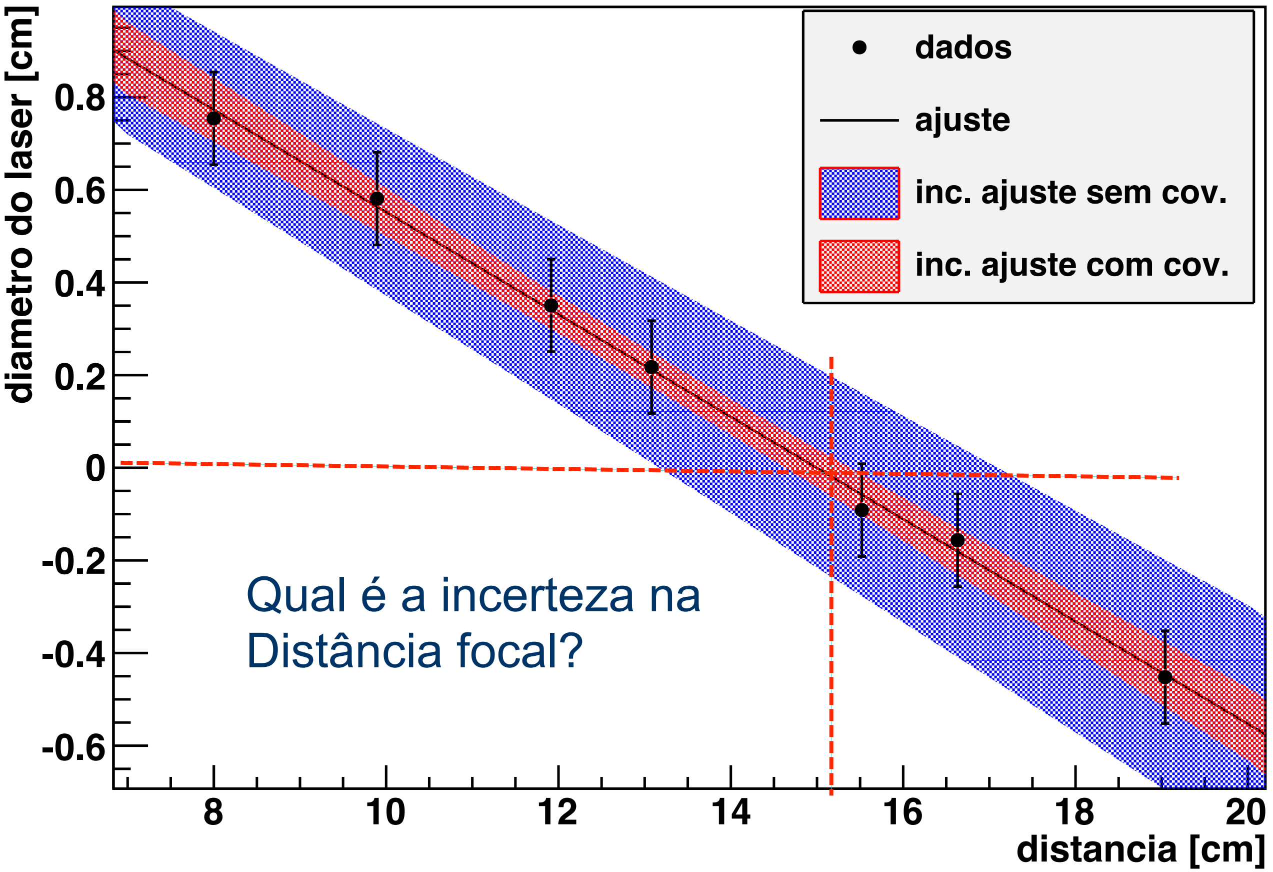
Vamos fazer um teste com mesma técnica realizada pelo grupo



Vamos fazer um teste com mesma técnica realizada pelo grupo



Vamos fazer um teste com mesma técnica realizada pelo grupo



Vamos fazer um teste com mesma técnica realizada pelo grupo

- Calculando a distância focal e incerteza

$$f = -\frac{b}{a} = 14.9 \pm \begin{cases} 1.9 \text{ sem covariância} \\ 0.4 \text{ com covariância} \end{cases} cm$$

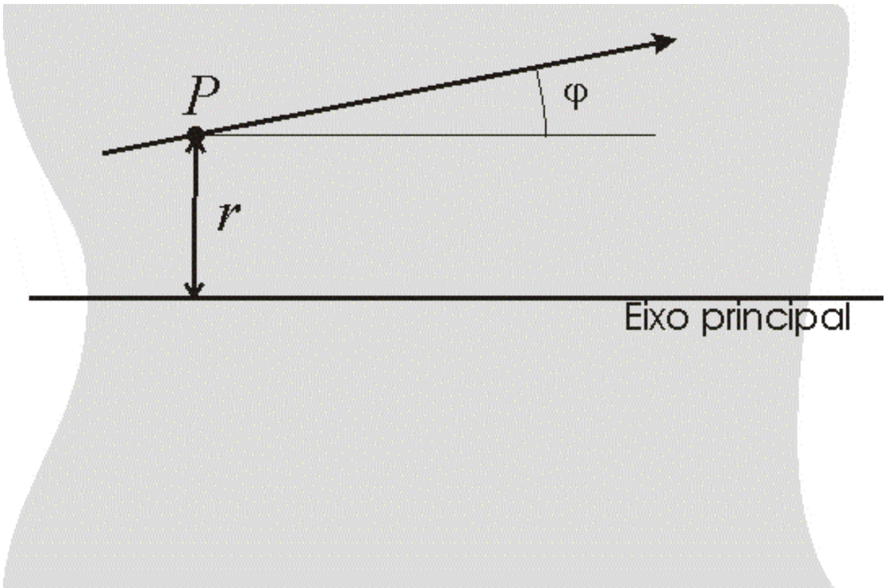
- Ou seja, quando se faz propagação de incertezas, precisamos saber se as grandezas são correlacionadas ou não

Objetivos da aula de hoje

- Continuar os estudos de lentes
- Iniciar os preparativos para o computador óptico

O método matricial

- Os pontos P_1 e P_2 dependem da distância (r_1 e r_2) e dos ângulos (φ_1 e φ_2) através de:

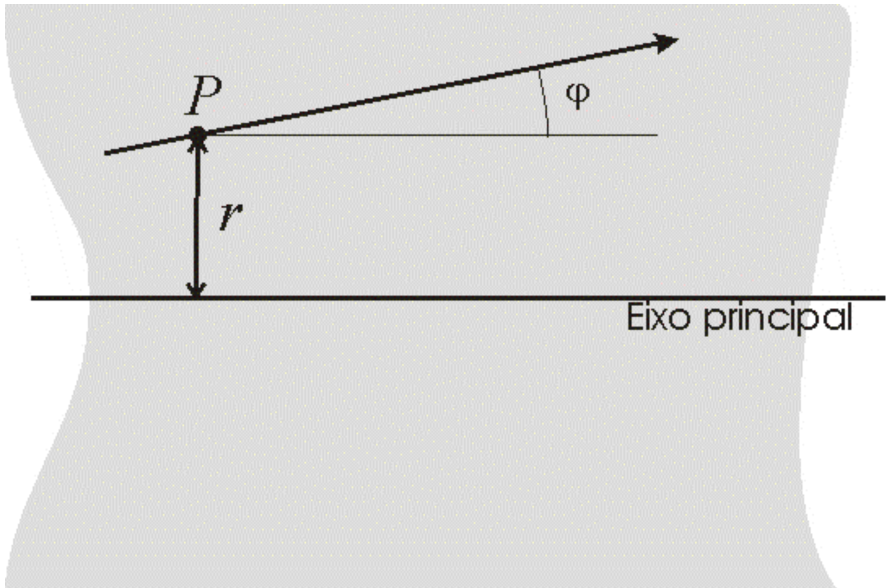


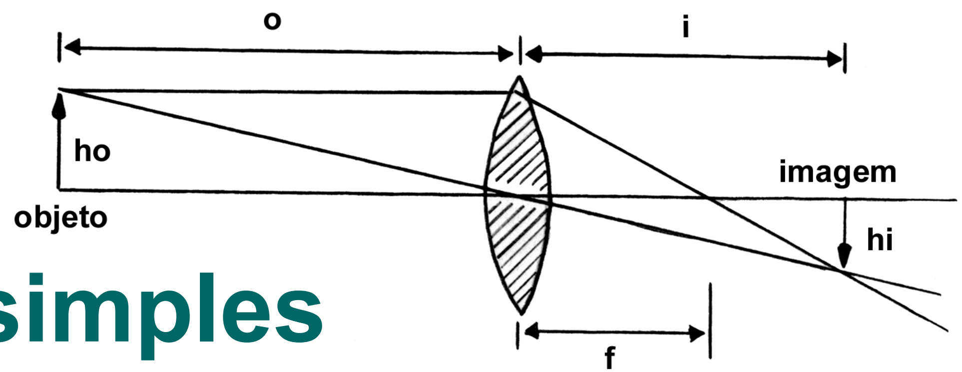
$$P_i = \begin{pmatrix} r_i \\ \varphi_i \end{pmatrix}$$

O método matricial

- A matriz de transformação é dada por:

$$M = \begin{pmatrix} A & B \\ C & D \end{pmatrix}$$





Exemplo: lente simples

- Assim, a transformação completa para uma lente simples, delgada vale:

$$\begin{pmatrix} r_2 \\ \varphi_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & i \\ 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ -1/f & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 & o \\ 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} r_1 \\ \varphi_1 \end{pmatrix}$$

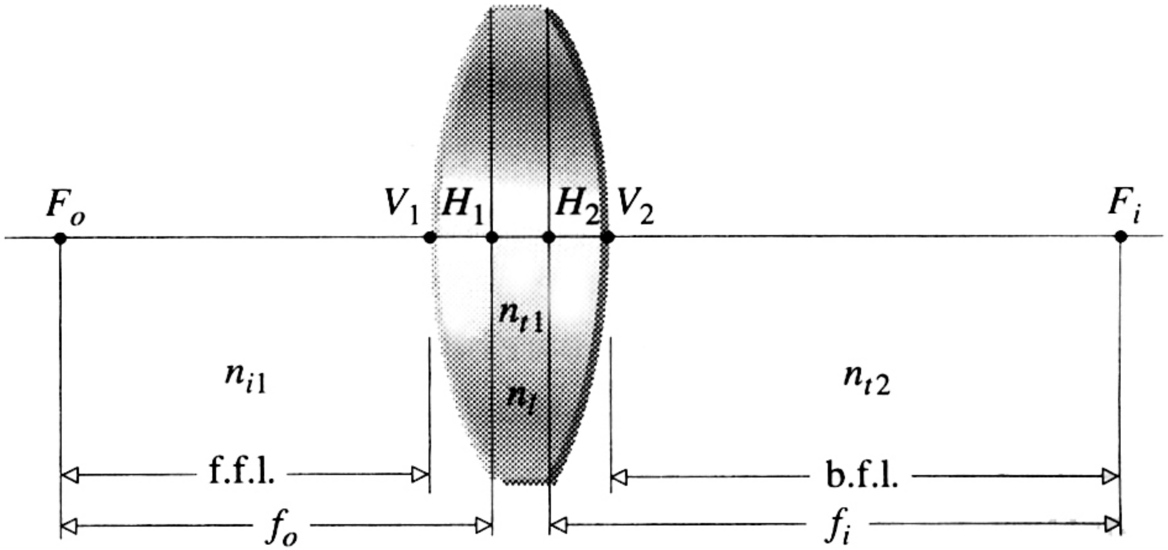
Transformação
Saída da lente (B) até
O ponto imagem (i)

Transformação
Dentro da lente

Transformação
Ponto objeto (o) até a
lente (A)

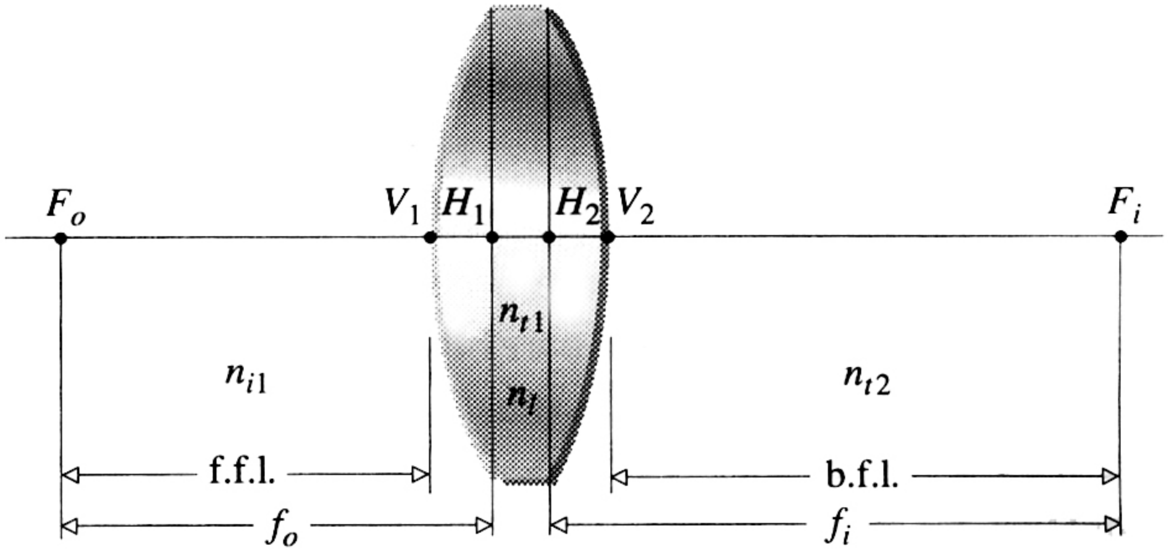
Lentes espessas: algumas definições

- Na lente espessa muitas aproximações adotadas para lente delgada não são validas. Neste caso, tanto a espessura como a forma da superfície da lente são importantes para estabelecer as relações entre objeto e imagem.



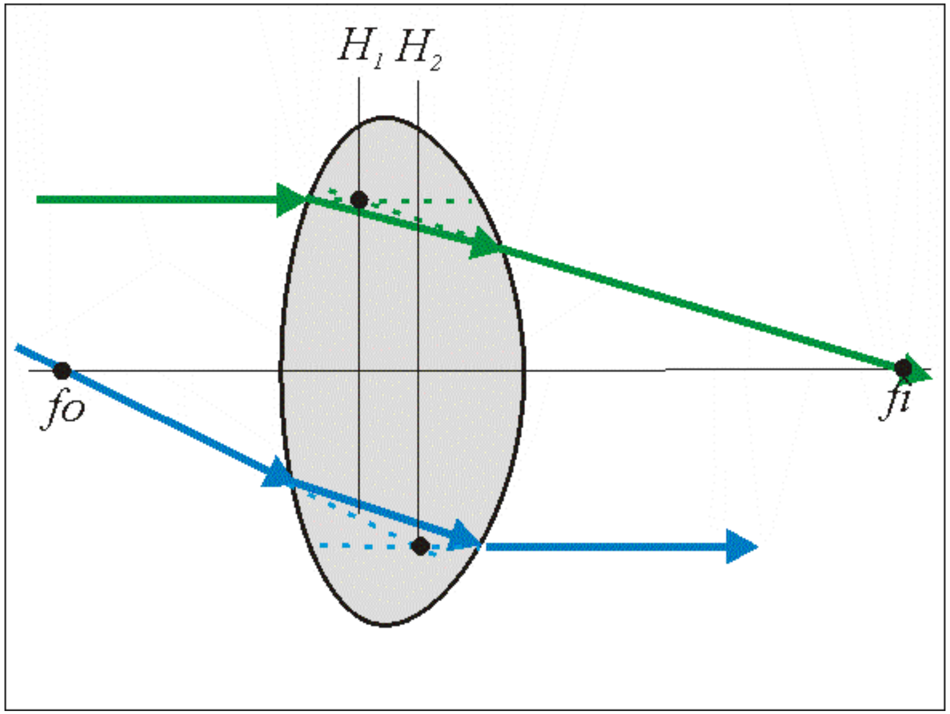
Lentes espessas: algumas definições

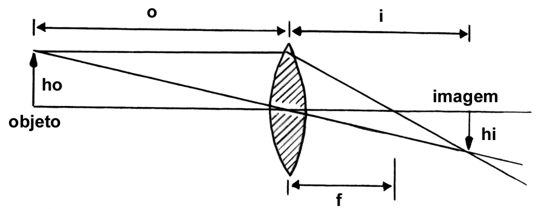
- As distâncias focais dependem do lado da lente. Costuma-se ter duas distâncias focais, fo, ou foco objeto; e fi, ou foco imagem.
- Estas distâncias são obtidas a partir dos planos principais da lente (H_1 e H_2)



Lentes espessas: planos principais

- A determinação dos planos principais corresponde ao cruzamento das extrapolações dos raios paralelos que convergem para o foco da lente. Isso é feito para os dois focos da lente (*fo* e *fi*)





$$M_{\text{delgada}} = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ -1/f & 1 \end{pmatrix}$$

...so da lente espessa...

P_i é a potência da superfície i,

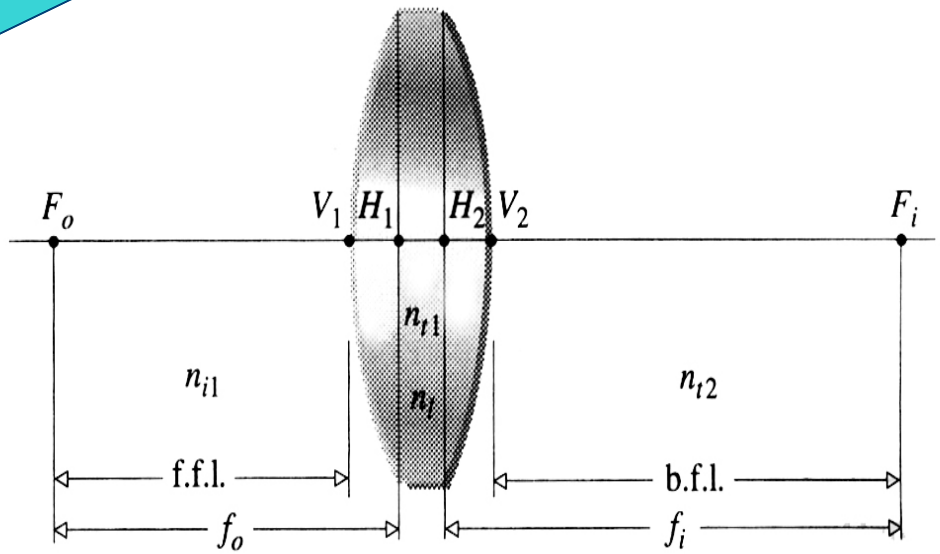
$$P_i = \frac{n-1}{R_i}$$

... caso, a matriz de propagação é mais ...exa, porém pode ser demonstrada (ver a...stila de 2007) e...

t é a espessura da lente

$$M = \begin{pmatrix} 1 - \dfrac{tP_1}{n} & \dfrac{t}{n} \\ \dfrac{t}{n} P_1 P_2 - P_1 - P_2 & 1 - \dfrac{tP_2}{n} \end{pmatrix}$$

-1/f fornece o foco médio da lente



No caso da lente espessa...

- Uma conseqüência desta matriz de transformação é que:

$$\frac{1}{f} = (n-1)\left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2}\right) + \frac{(n-1)^2}{n}\frac{t}{R_1 R_2}$$

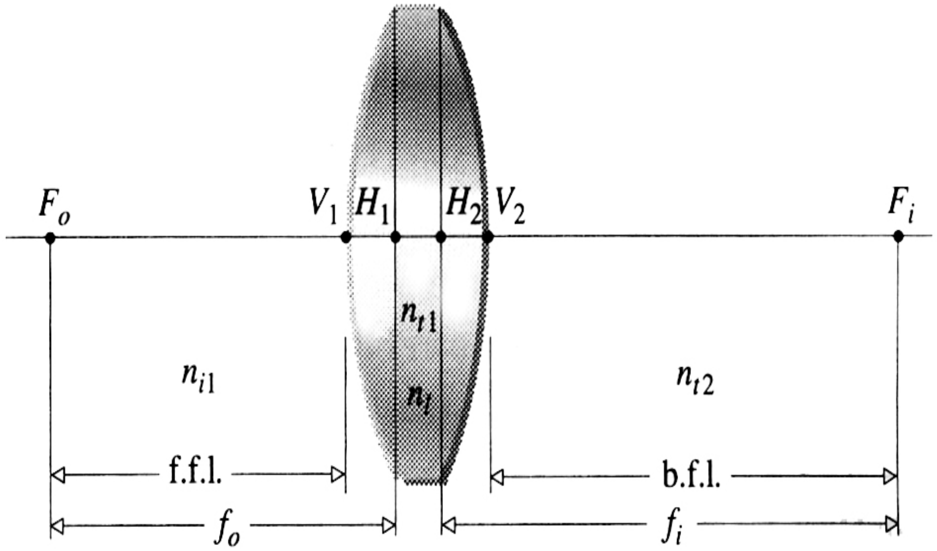
- Denominada equação do fabricante de lentes

No caso da lente espessa...

- E que os planos principais da lente são dados por:

$$H_1 = \frac{t}{n\left(1 + \frac{P_1}{P_2} - t\frac{P_1}{n}\right)}$$

$$H_2 = \frac{t}{n\left(1 + \frac{P_2}{P_1} - t\frac{P_2}{n}\right)}$$

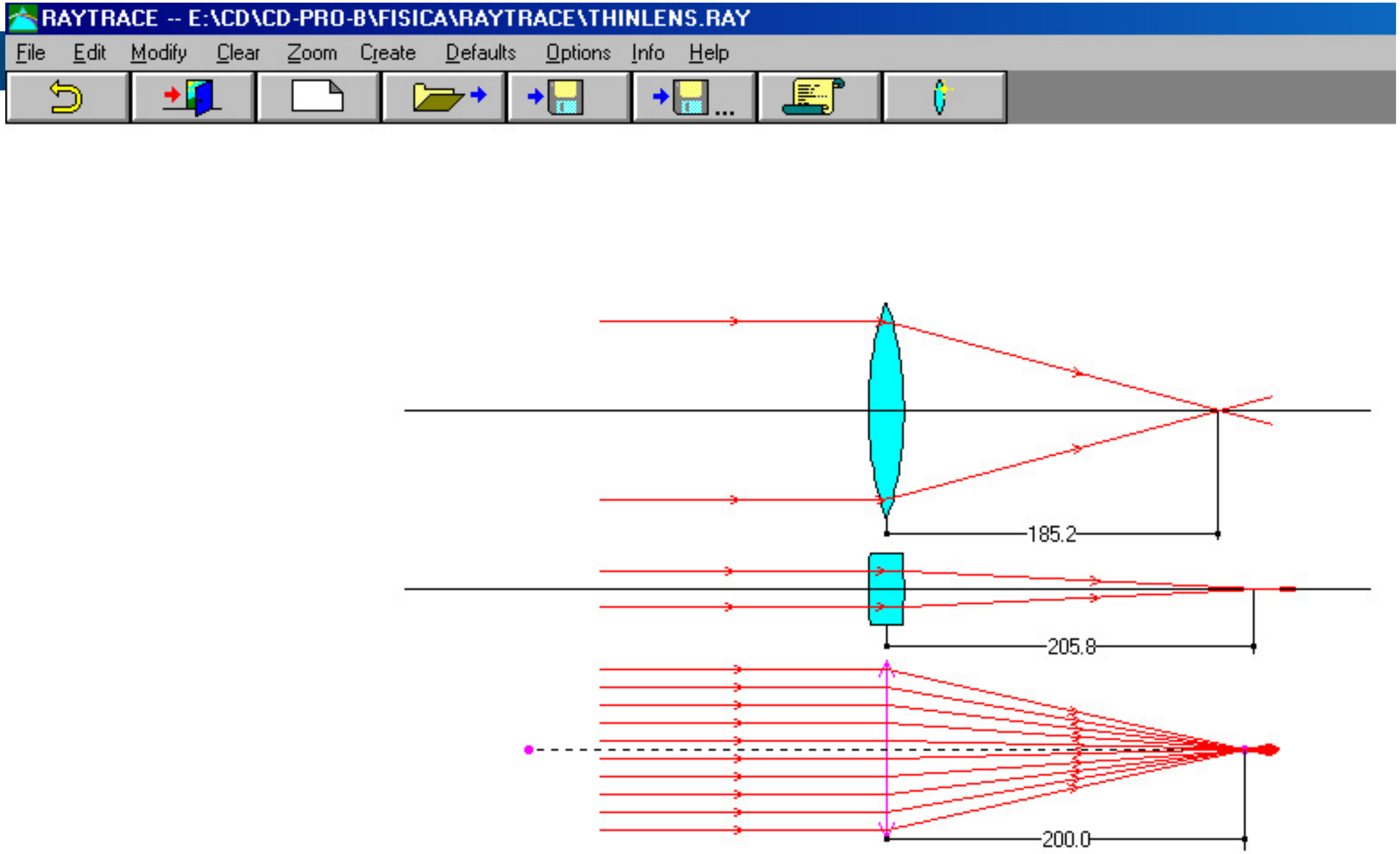


Objetivos da semana (parte I)

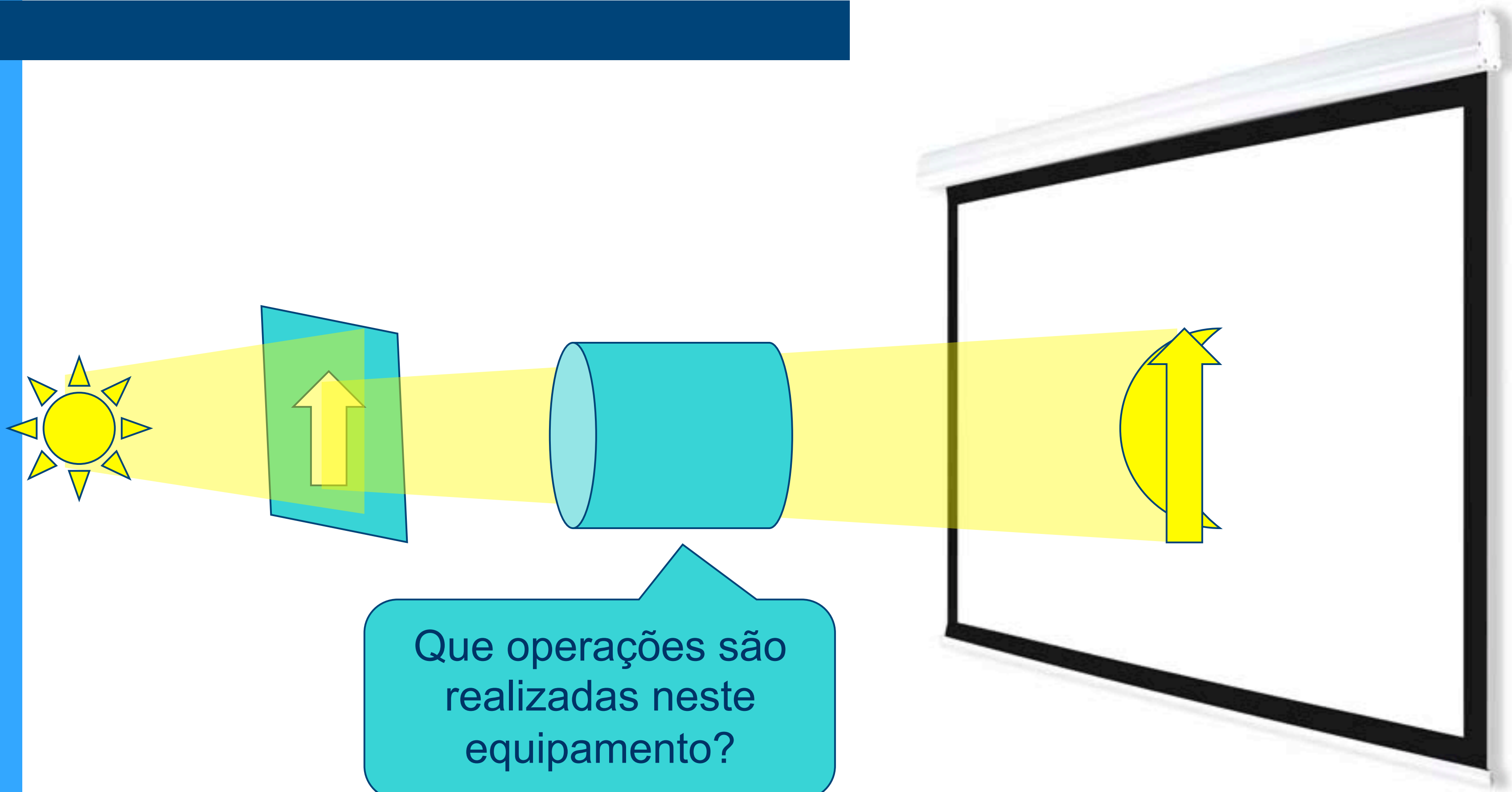
- A partir dos dados da semana anterior para as lentes estudadas:
  - Você pode garantir que a aproximação de lente delgada é válida para esta lente? Quais os critérios utilizados?
    - DICA: observe as matrizes de transformação para lentes espessas e delgadas e as incertezas envolvidas.
- Simule as lente reais (lente espessa) no RayTrace e compare ao experimento realizado na semana passada.

Ray Trace


Raytrace


RAYTRACE -- E:\CD\CD-PRO-B\FISICA\RAYTRACE\THINLENS.RAY
File Edit Modify Clear Zoom Create Defaults Options Info Help
185.2
205.8
200.0

Computador óptico

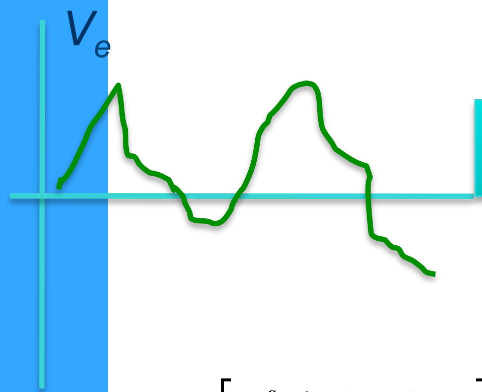


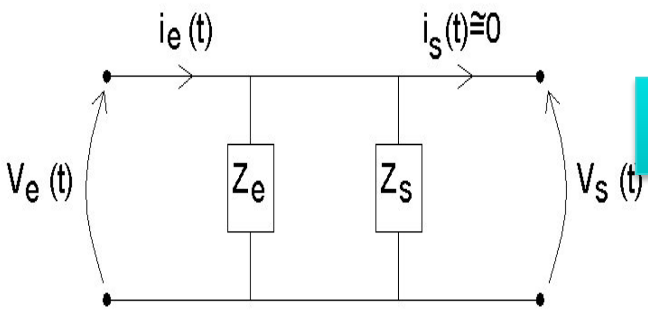
Que operações são realizadas neste equipamento?

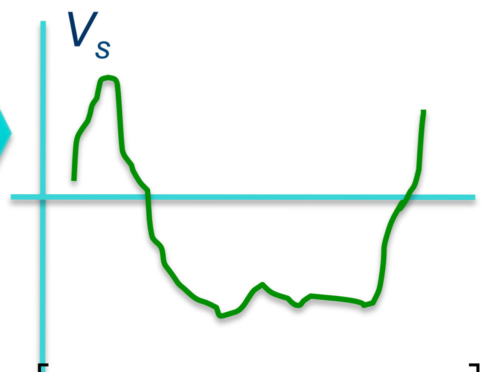
Computador óptico

- Dispositivo que permite a manipulação controlada de uma imagem qualquer sem a necessidade de realizar cálculos muito sofisticados
- É baseado na transformada de Fourier do objeto inicial, aplicação de filtros para cada frequência da transformada, e reconstrução (transformada inversa) da imagem filtrada

Isto não é estranho…







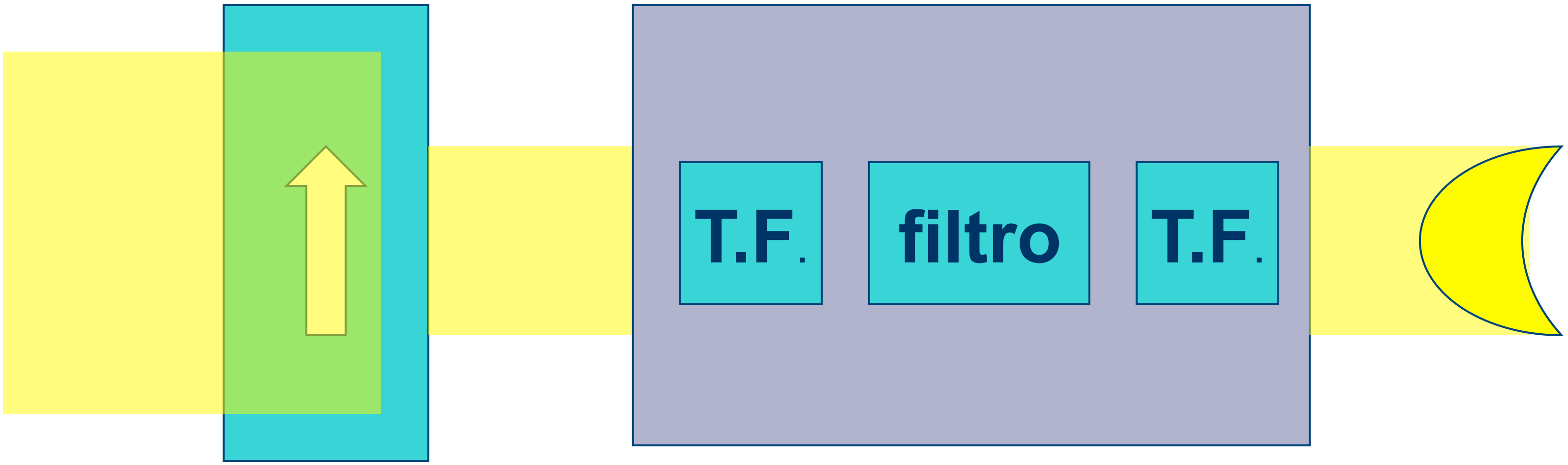
$$V_e = \begin{bmatrix} V_1^s \sin(\omega_1 t) + \\ V_1^c \cos(\omega_1 t) + \\ V_2^s \sin(\omega_2 t) + \\ V_2^c \cos(\omega_2 t) + \\ \ldots + \\ V_N^s \sin(\omega_N t) + \\ V_N^c \cos(\omega_N t) \end{bmatrix}$$

$$G_i = G(\omega_i, R, C, \ldots)$$

$$\phi_i = \phi(\omega_i, R, C, \ldots)$$

$$V_e = \begin{bmatrix} G_1 \cdot V_1^s \sin(\omega_1 t + \phi_1) + \\ G_1 \cdot V_1^c \cos(\omega_1 t + \phi_1) + \\ G_2 \cdot V_2^s \sin(\omega_2 t + \phi_2) + \\ G_2 \cdot V_2^c \cos(\omega_2 t + \phi_2) + \\ \ldots + \\ G_N \cdot V_N^s \sin(\omega_N t + \phi_N) + \\ G_N \cdot V_N^c \cos(\omega_N t + \phi_N) \end{bmatrix}$$

Computador óptico



O Que precisamos fazer para contruir este sistema?

Construção de um computador óptico

- Primeiramente precisamos iluminar o objeto de forma uniforme
  - Qualquer luz esta ok?
- Precisamos ser capazes de, experimentalmente, obter a transformada de Fourier deste objeto
- Precisamos criar filtros que atuem de forma diferente em cada componente da T.F.
- Precisamos reconstruir a imagem a partir das componentes já filtradas

Iluminação do objeto

- A luz deve ser, preferencialmente, coerente
  - Mesma frequencia em todos os pontos
  - Mesma fase para todos os pontos

- Isto simplifica a interpretação teórica, bem como a construção dos filtros.

- Solução → LASER
  - Porém o laser tem diâmetro de 1-2 mm. Como iluminar um objeto de dimensões maiores?

Objetivos da semana (parte II)

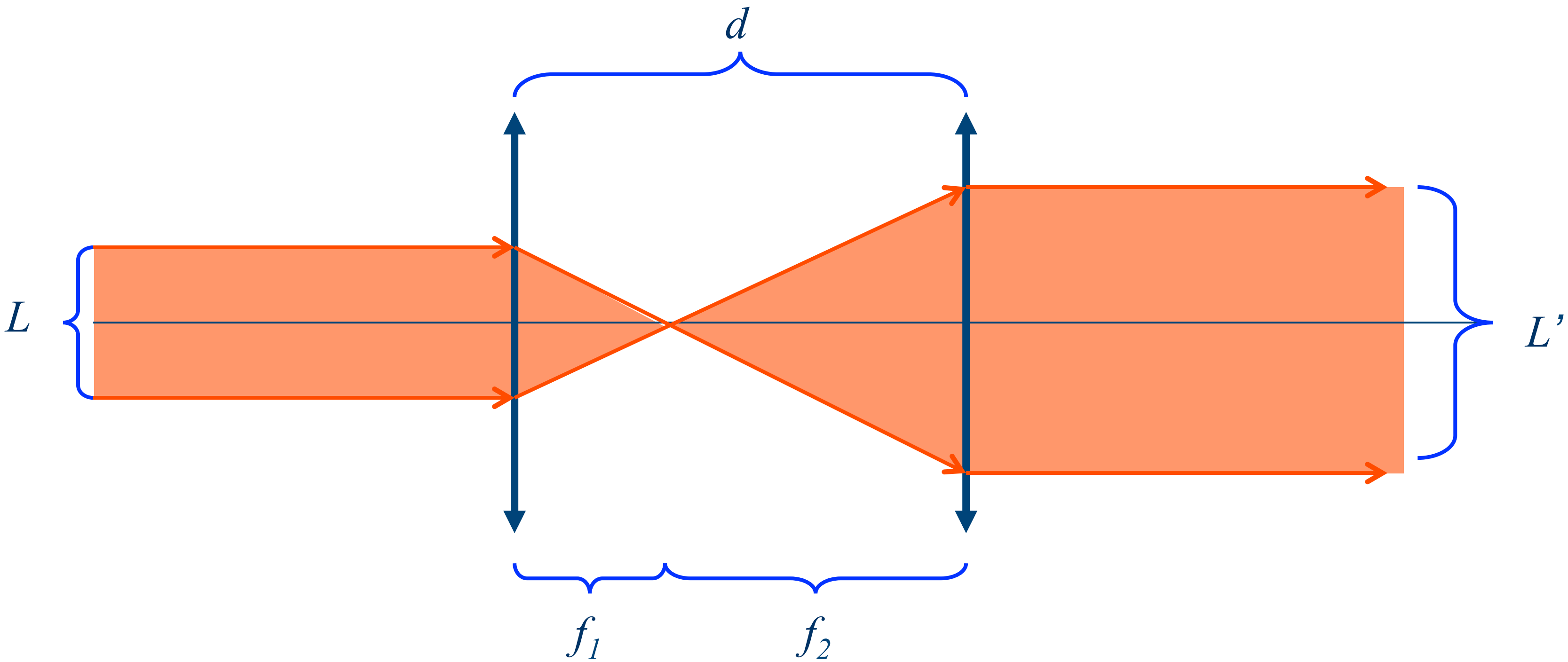
- Construir um sistema para aumentar a seção transversal de um feixe de laser
  - No caso do C.O. Precisamos de um aumento de 20 vezes do diâmetro do laser
- Medir a magnificação do sistema
  - Razão entre o diâmetro de saída e o de entrada

Algumas ideias

$$m = \frac{L'}{L}$$

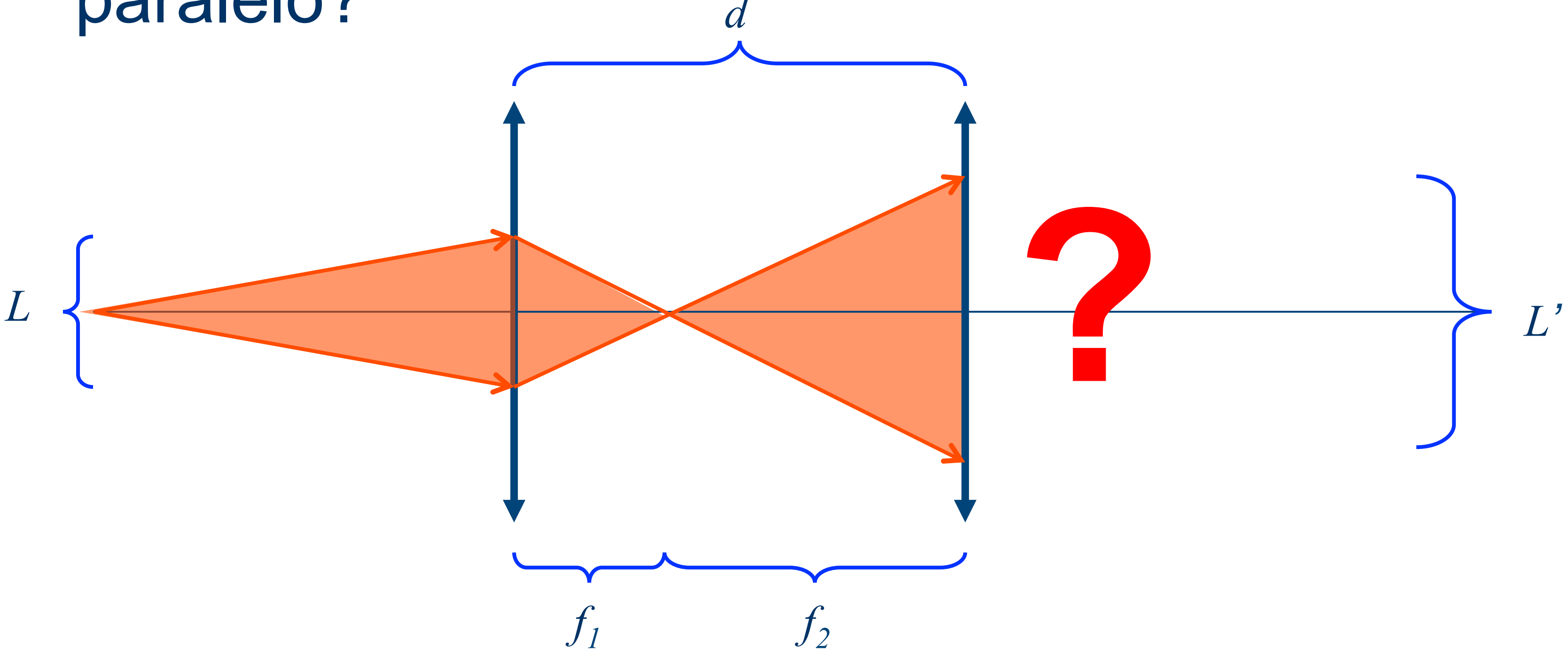
Magnificação do sistema óptico

- Sistema convergente + convergente



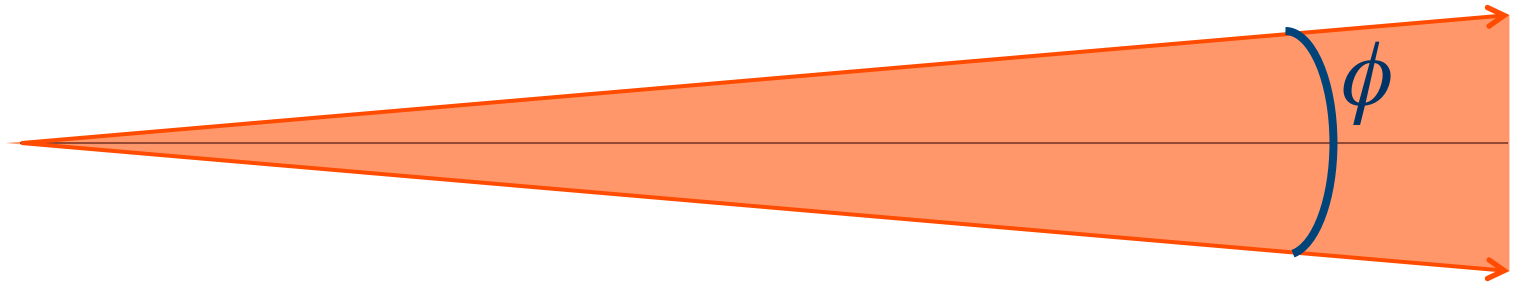
Problema 1

- O que ocorre se o feixe incidente não for paralelo?



Divergência de um feixe de laser

- Define-se a divergência como sendo o ângulo de abertura do feixe

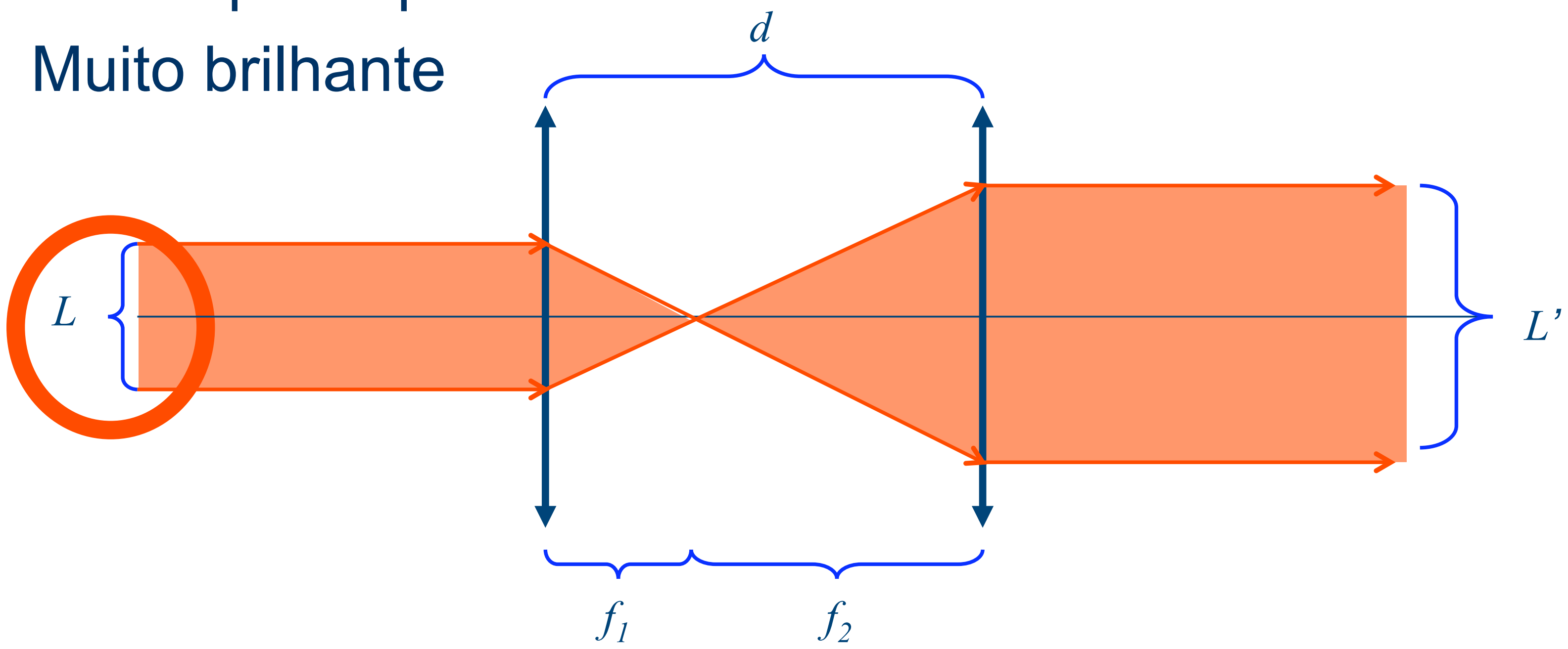


Problema 2

$$m = \frac{L'}{L}$$

Magnificação do sistema óptico

- Medir o diâmetro L' do feixe é até razoável
- Como medir o diâmetro inicial, L, do laser?
  - Laser quase pontual
  - Muito brilhante



Tarefas da semana (parte II)

- Montar um sistema que permita aumentar o diâmetro do feixe de LASER de um fator 20

- Estudar aspectos qualitativos da difração da luz.

Objetivos da semana (parte II)

- Utilizando duas lentes de foco f1 e f2 (podem ser ambas convergentes ou conv+div), separadas de uma distância d, obtenha, utilizando o método matricial:
  - Qual a distância de separação entre elas (d) para que o feixe de laser saia sem divergência?
    - Suponha que o feixe incidente seja perfeitamente paralelo.
    - O que acontece com o arranjo experimental se o feixe incidente possuir uma divergência finita?
  - Qual a magnificação obtida por este sistema?

Objetivos da semana (parte II)

- Utilizando duas lentes de foco f1 e f2:
  - Monte um sistema de duas lentes de tal forma a obter uma magnificação do feixe de laser de 20 vezes.
  - Meça a magnificação.
  - Compare a magnificação experimental com a expectativa teórica.
  - Meça a distância entre as lentes e compare com a expectativa teórica.

Objetivos da semana (parte II)

- Utilizando duas lentes de foco f1 e f2:
  - O feixe emergente do sistema tem divergência nula? Verifique experimentalmente.
  - O feixe incidente no sistema possui divergência?

Sobre incertezas

- Sempre que for fazer avaliações de incertezas, gostaria que houvesse uma breve discussão na síntese.