Física Experimental IV - 10ª aula

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

Alexandre Suaide

Ed. Oscar Sala

sala 246

ramal 7072

Experiência II
Óptica Geométrica e Física

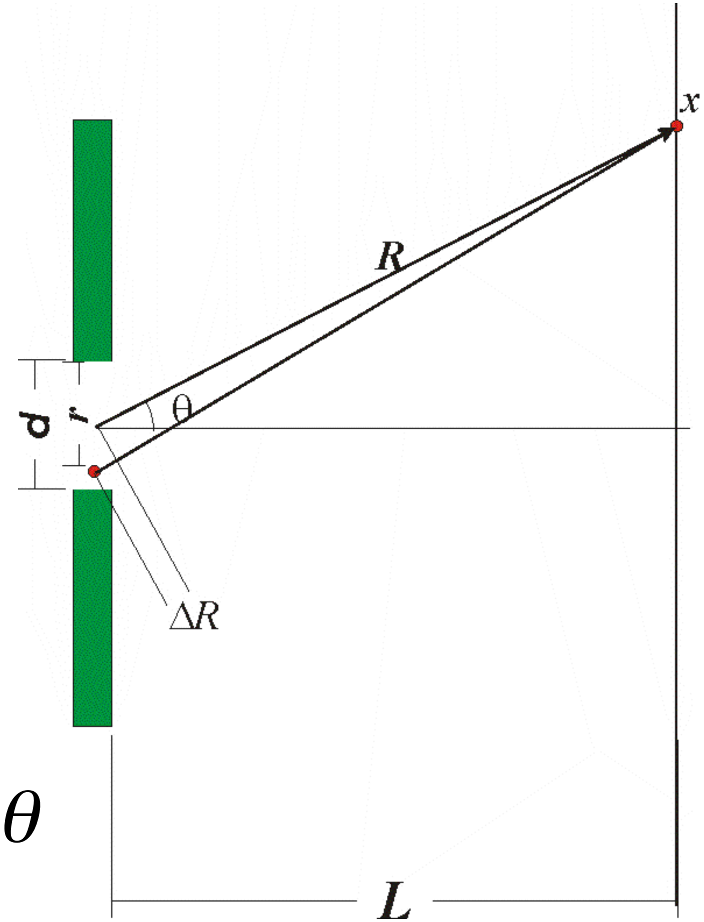
- Objetivos – Estudar alguns fenômenos de óptica física e geométrica
  - Estudo de lentes simples, sistemas de lentes e construção de imagens
  - Interferência e difração
  - Computador óptico
    - Análise de Fourier bi-dimensional
    - Processamento de imagens

O estudo de uma fenda simples

- O campo elétrico total é, neste caso

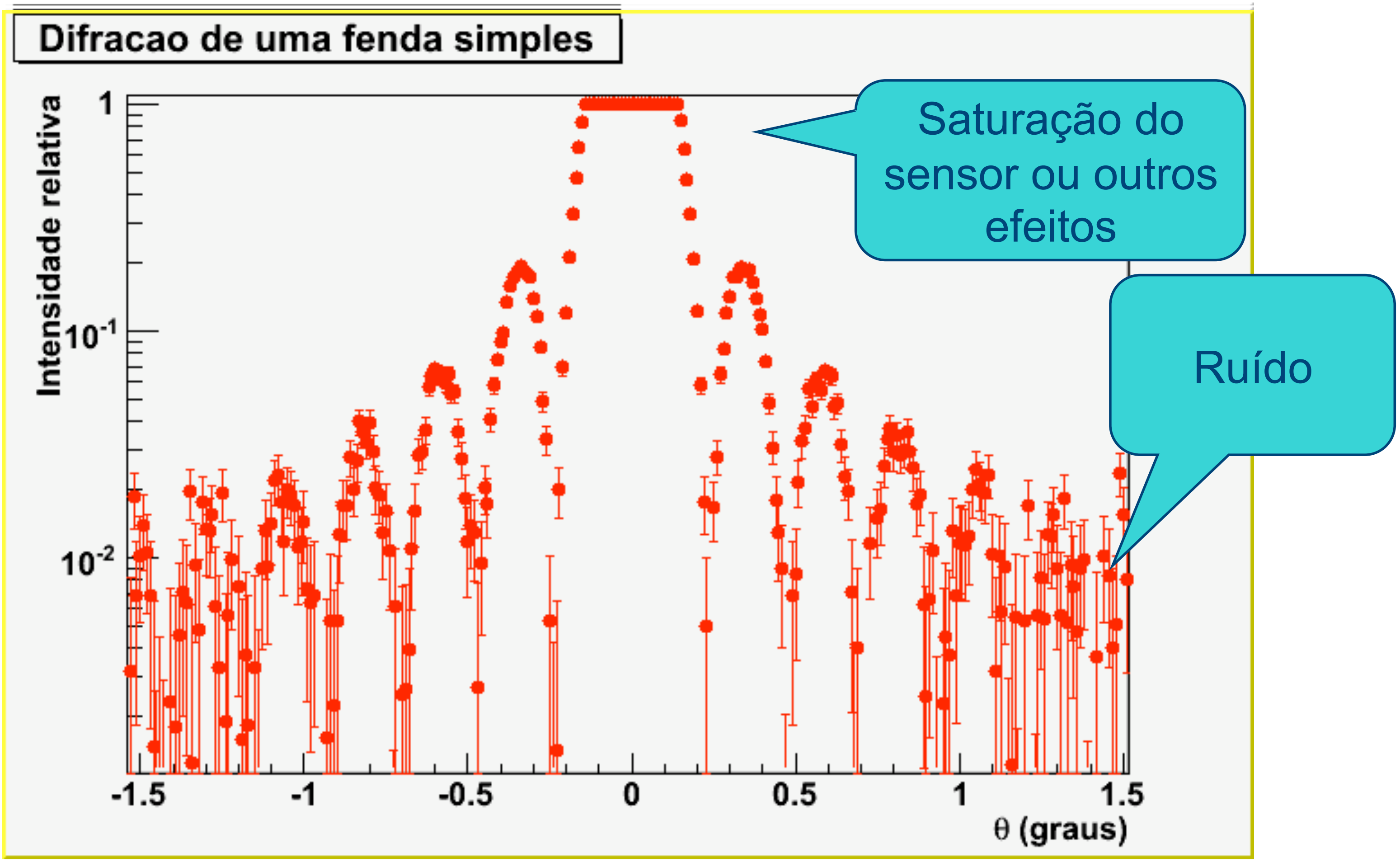
$$\vec{E}(x) = \int_{-d/2}^{d/2} \vec{E}(r)dr$$

- A intensidade luminosa é proporcional ao campo elétrico ao quadrado. Assim, podemos escrever que, para grandes distâncias (L>>d)
  - Região de Fraunhofer

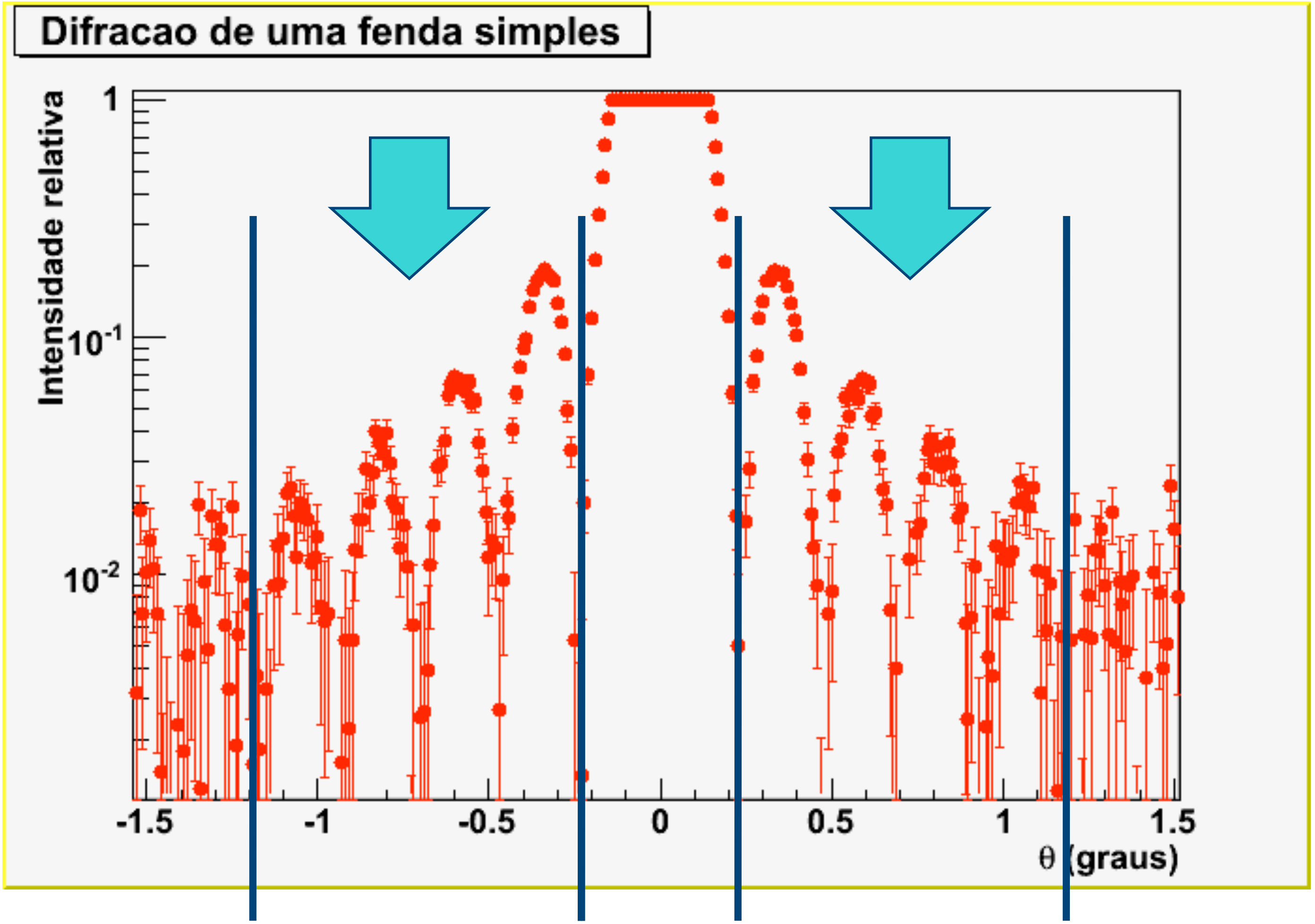


$$I = I_0 \left(\frac{\sin \beta}{\beta} \right)^2 \quad \text{com} \quad \beta = \pi \frac{d}{\lambda} \sin \theta$$

Dados? O que fazer com eles?



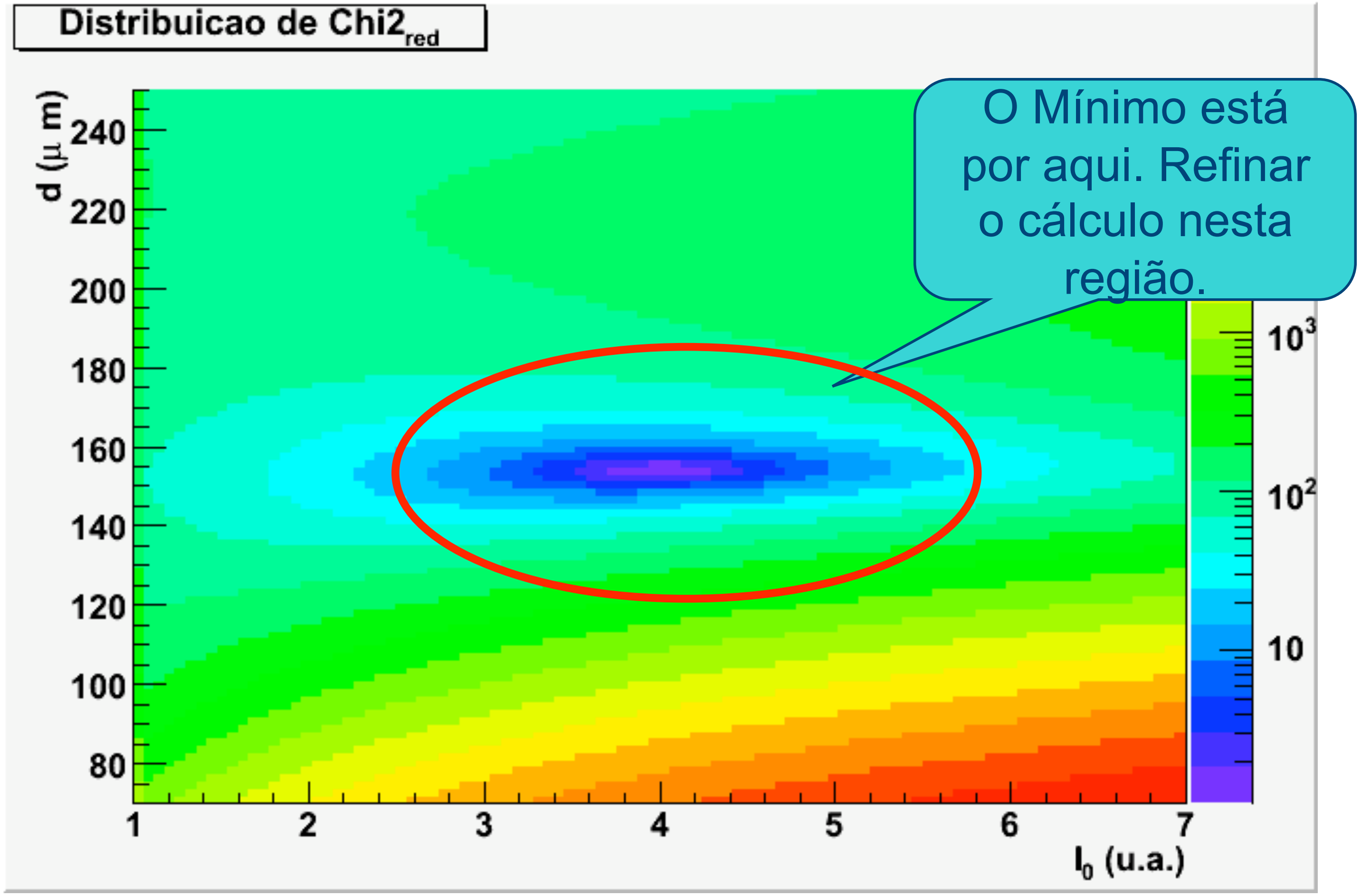
Dados? Definir região boa.



Alexandre Suaide, LabFlex (2008)

Fazer ajuste

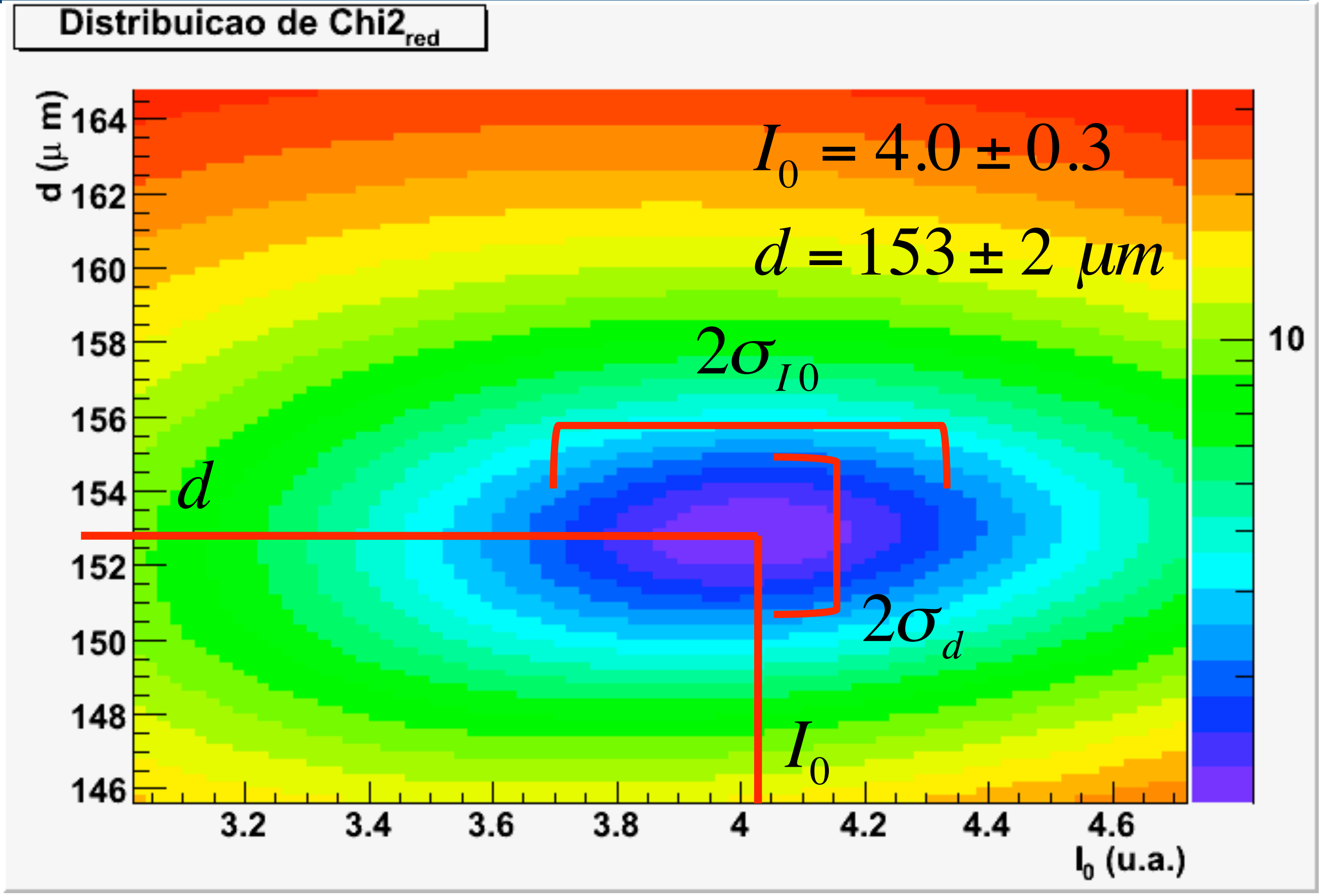
Dois parâmetros (I0 e d). Variar estes parâmetros em limites razoáveis e calcular o $Chi2_{red}$ para cada um deles. Fazer um mapa (Excel) ou gráfico e localizar o mínimo



Alexandre Suaide, LabFlex (2008)

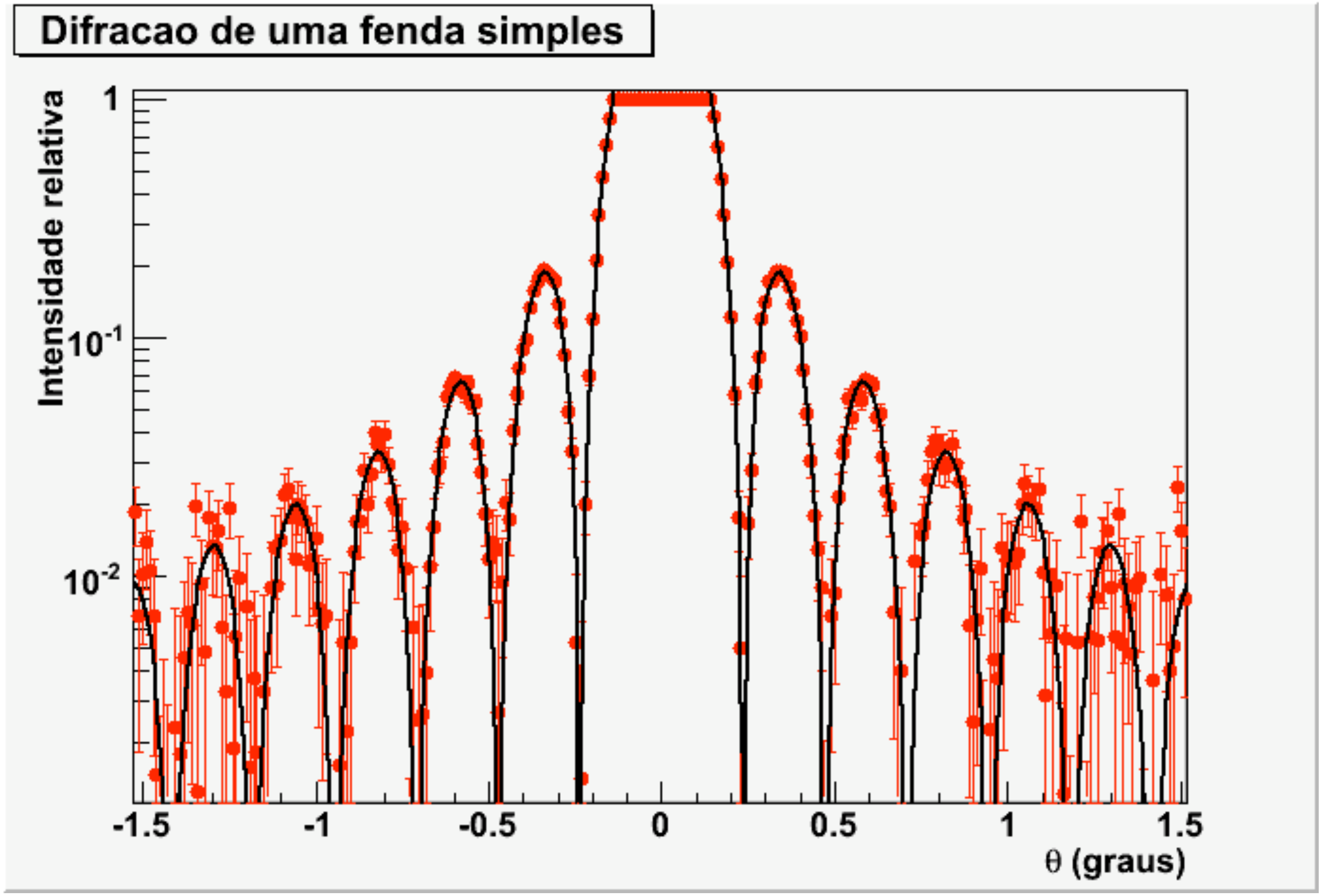
Fazer ajuste

Dois parâmetros (I0 e d). Variar estes parâmetros em limites razoáveis e calcular o $Chi2_{red}$ para cada um deles. Fazer um mapa (Excel) ou gráfico e localizar o mínimo



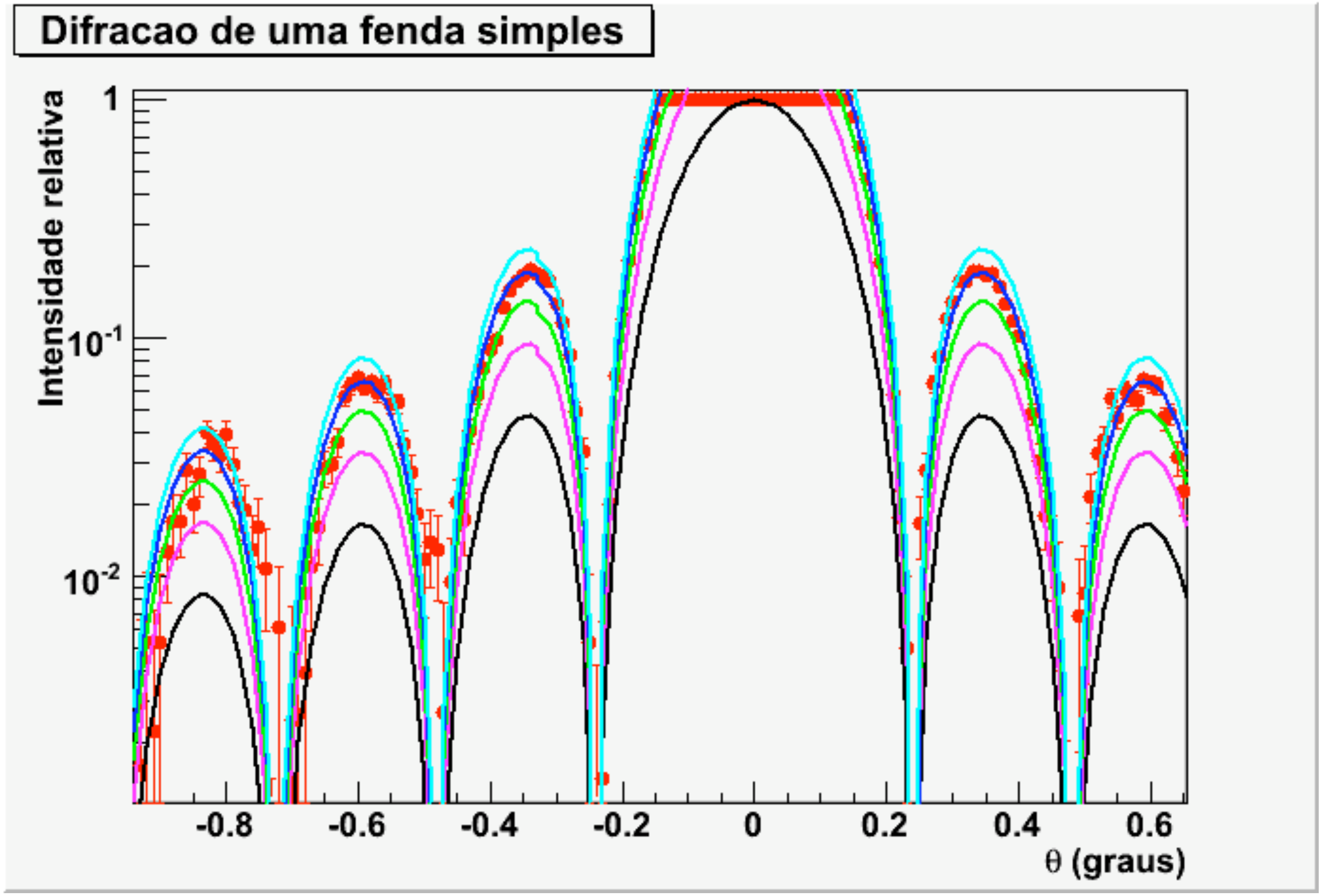
Alexandre Suaide, LabFlex (2008)

Curva ajustada



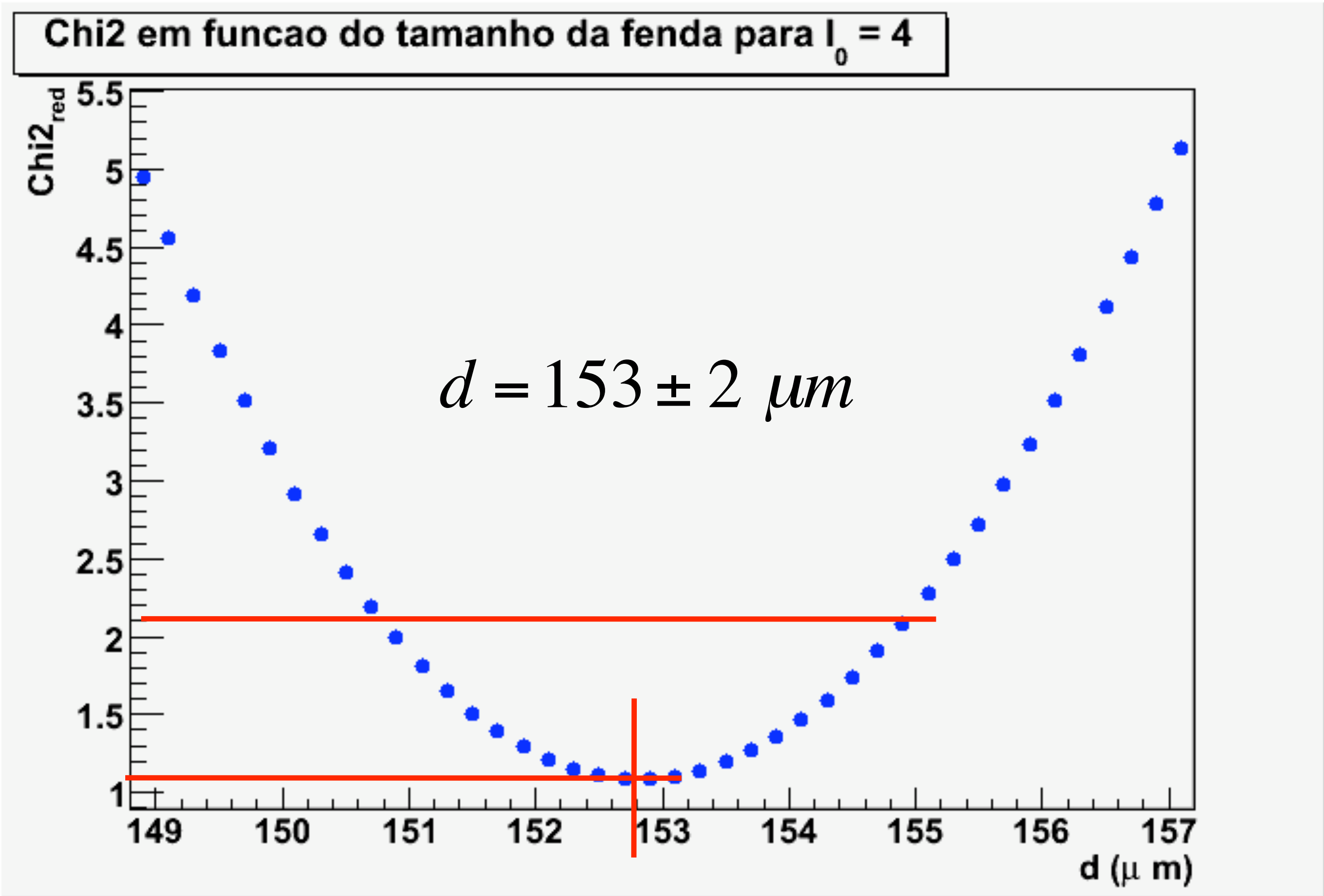
Com o tamanho nominal da fenda (150 μm) eu testo várias intensidades e vejo a que melhor se ajusta ao tamanho dos picos. Fixo este valor

Uma alternativa mais simples

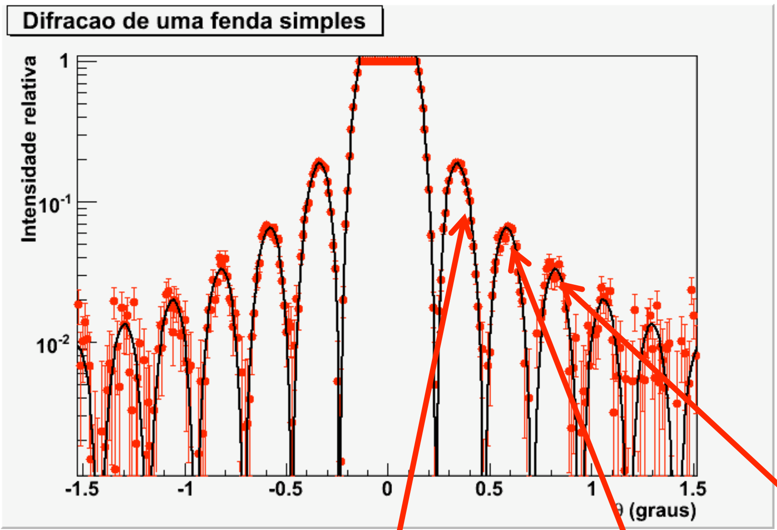


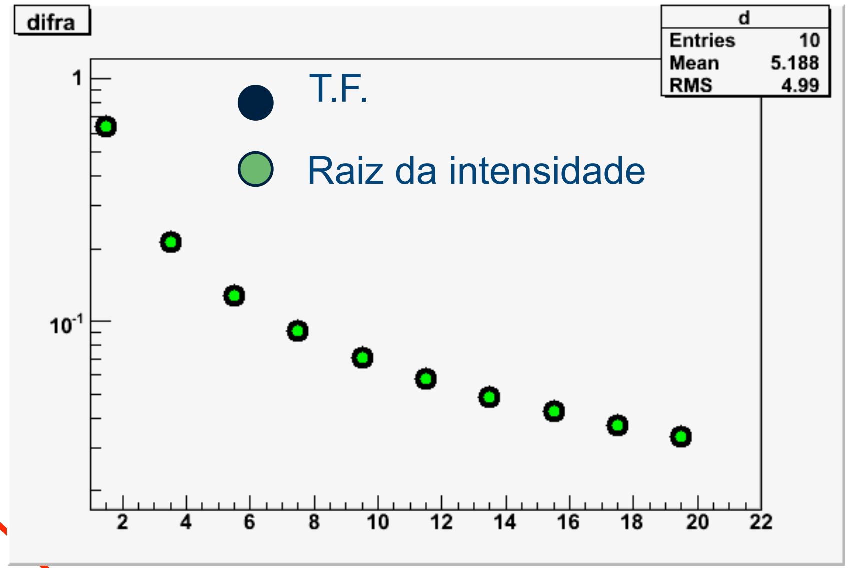
Faço o estudo do X^2_{red} mantendo I_0 fixo. Determino o valor de d a partir do gráfico de X^2_{red}.

Uma alternativa mais simples

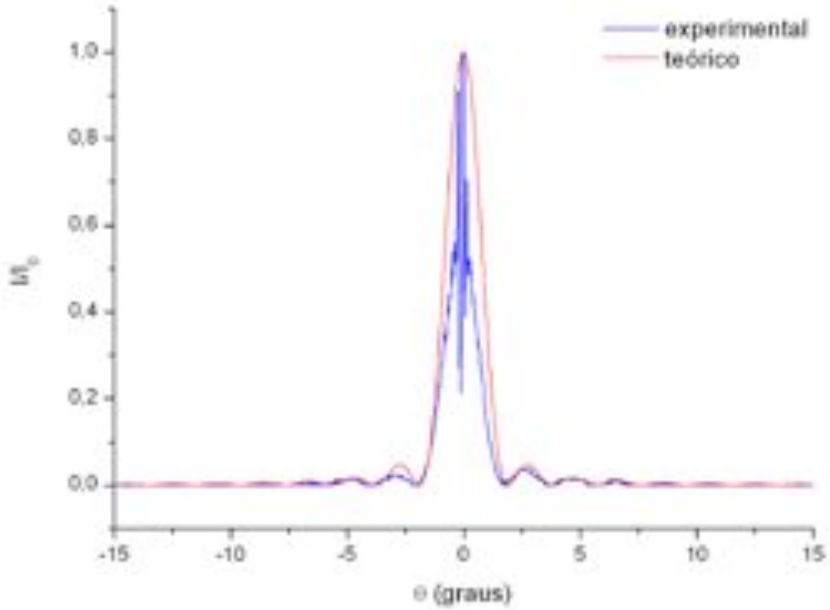


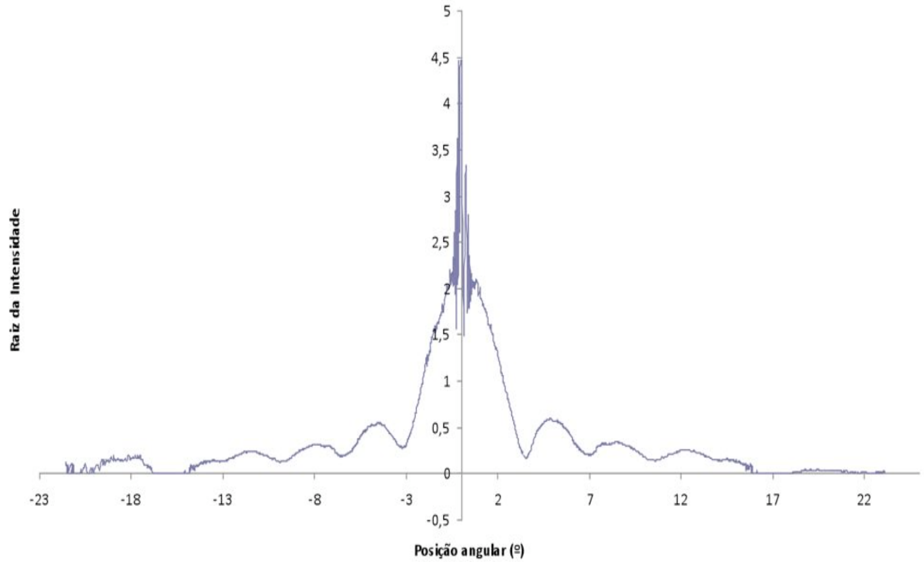
Transformada de fourier

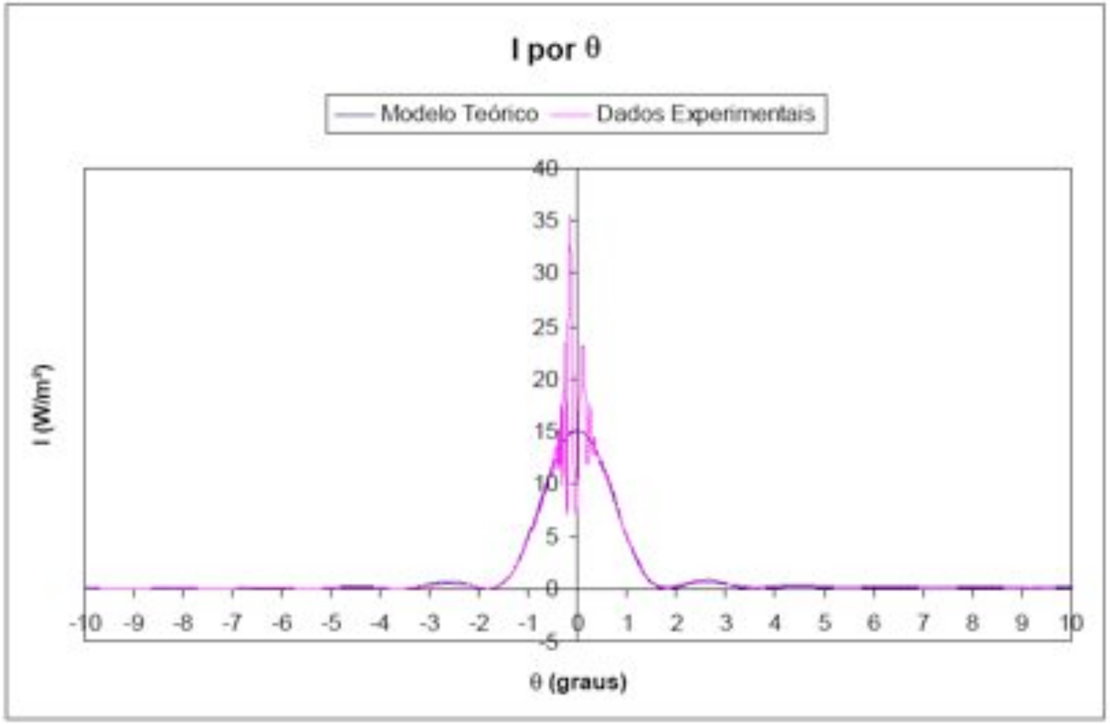


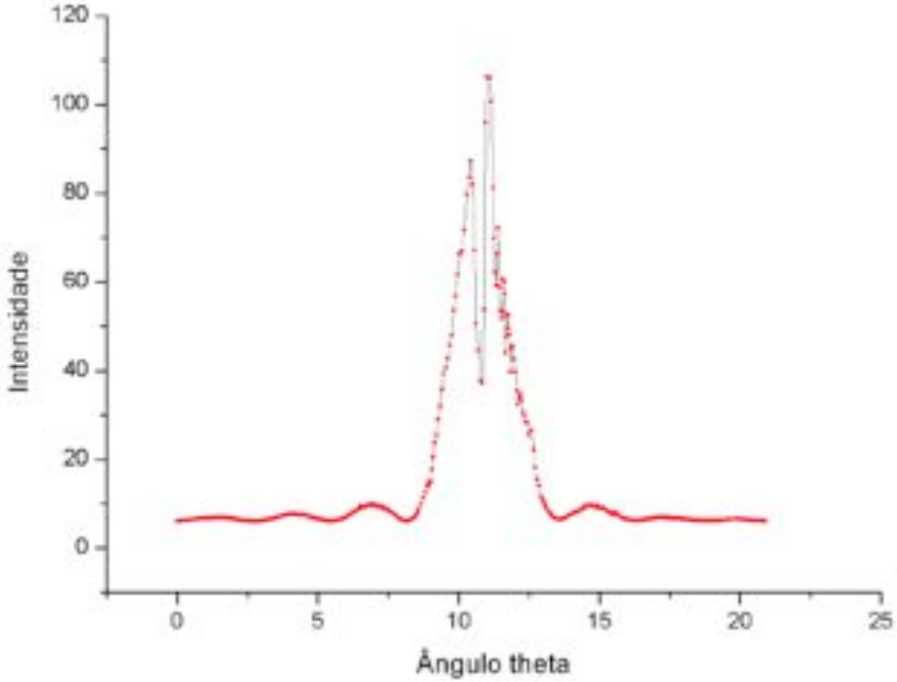


$$V(t) = V_0\left[\frac{4}{\pi}\sin(\omega t) + \frac{4}{3\pi}\sin(3\omega t) + \frac{4}{5\pi}\sin(5\omega t) + \ldots\right]$$

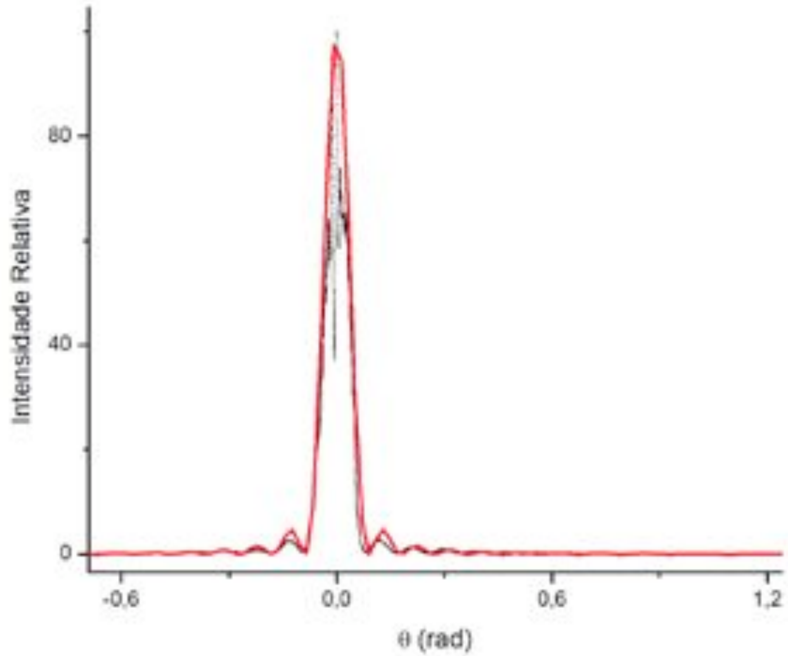

experimental
teórico
I/I_0
θ (graus)


Raiz da Intensidade
Posição angular (º)


I por θ
Modelo Teórico
Dados Experimentais
I (W/m²)
θ (graus)

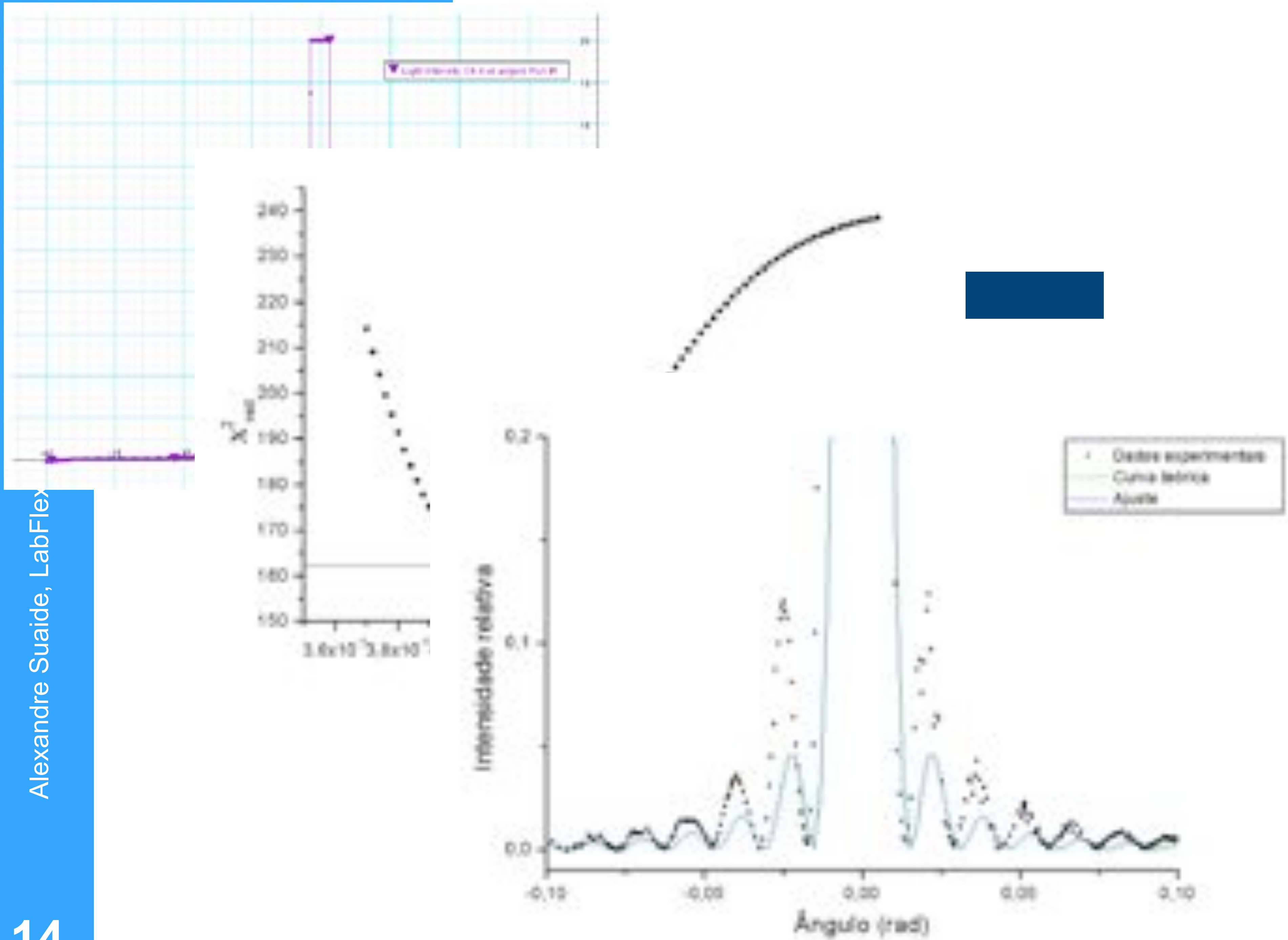


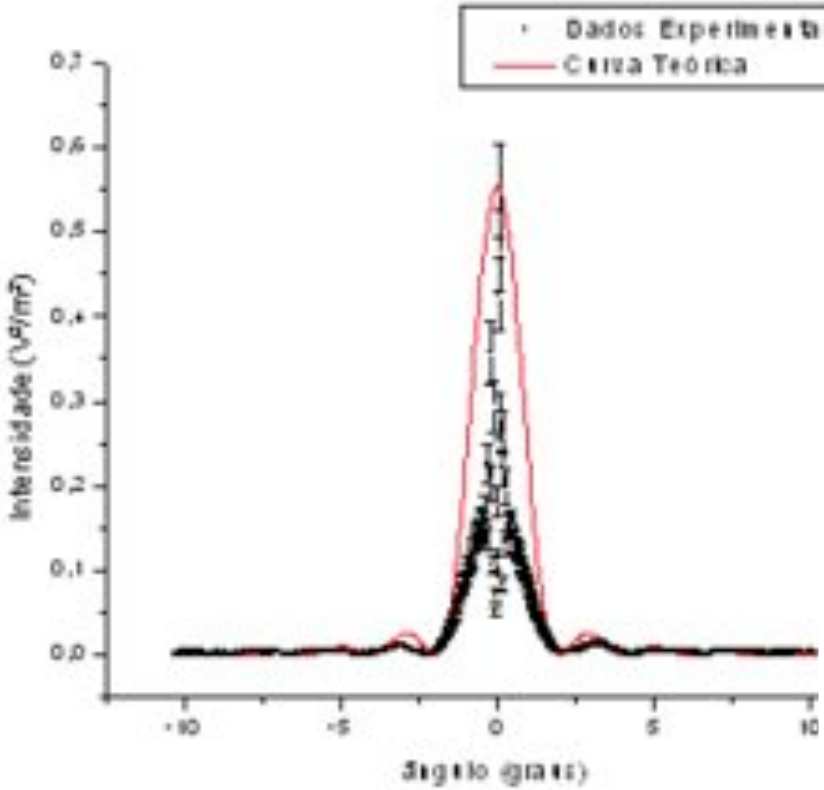
Intensidade
120
100
80
60
40
20
0
0
5
10
15
20
25
Ângulo theta



Intensidade Relativa
80
40
0
-0,6
0,0
0,6
1,2
θ (rad)

Alexandre Suaide, LabFlex





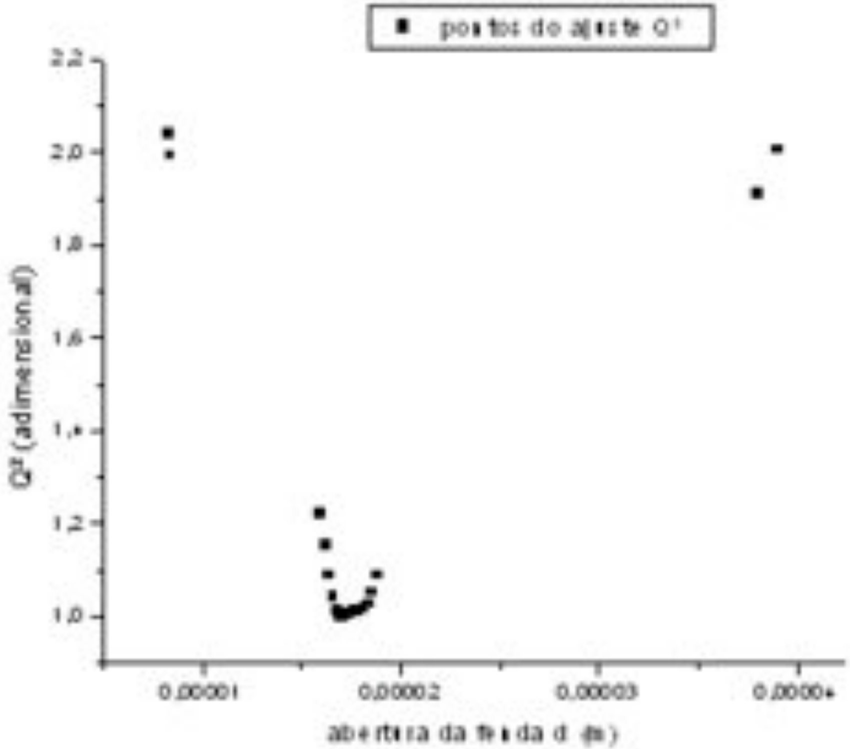


Gráfico 4 – Gráfico de Q^2 por d.

Para se obter o diâmetro da fenda simples utilizou o Método dos Mínimos Quadrados. Primeiramente, foi estimado um I_0 para a posição 0°, com base no valor da posição 0,1°. Como essa

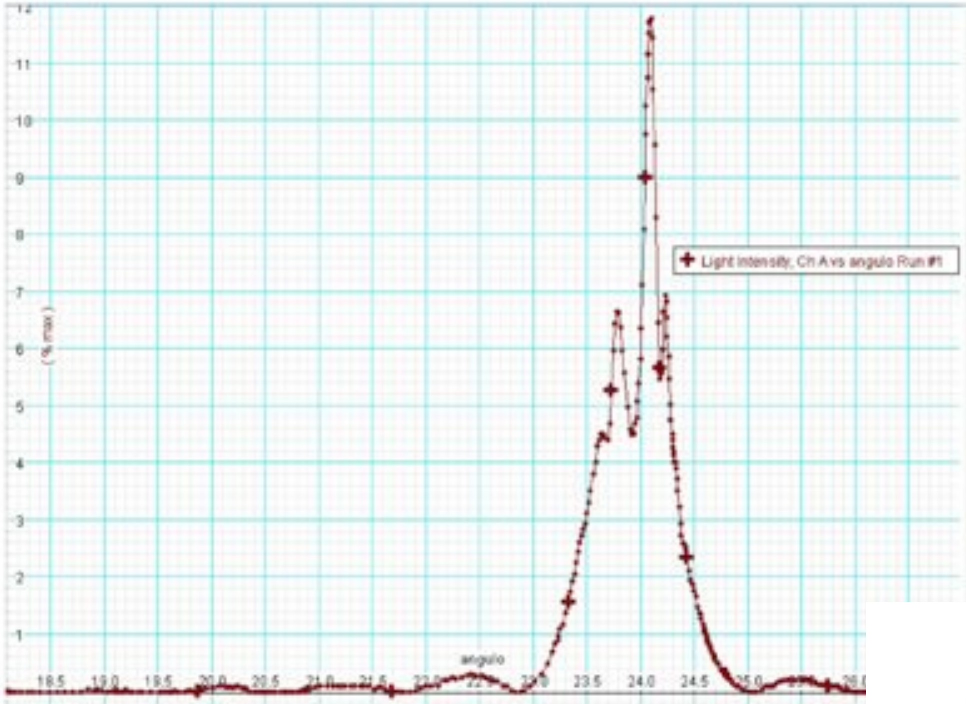
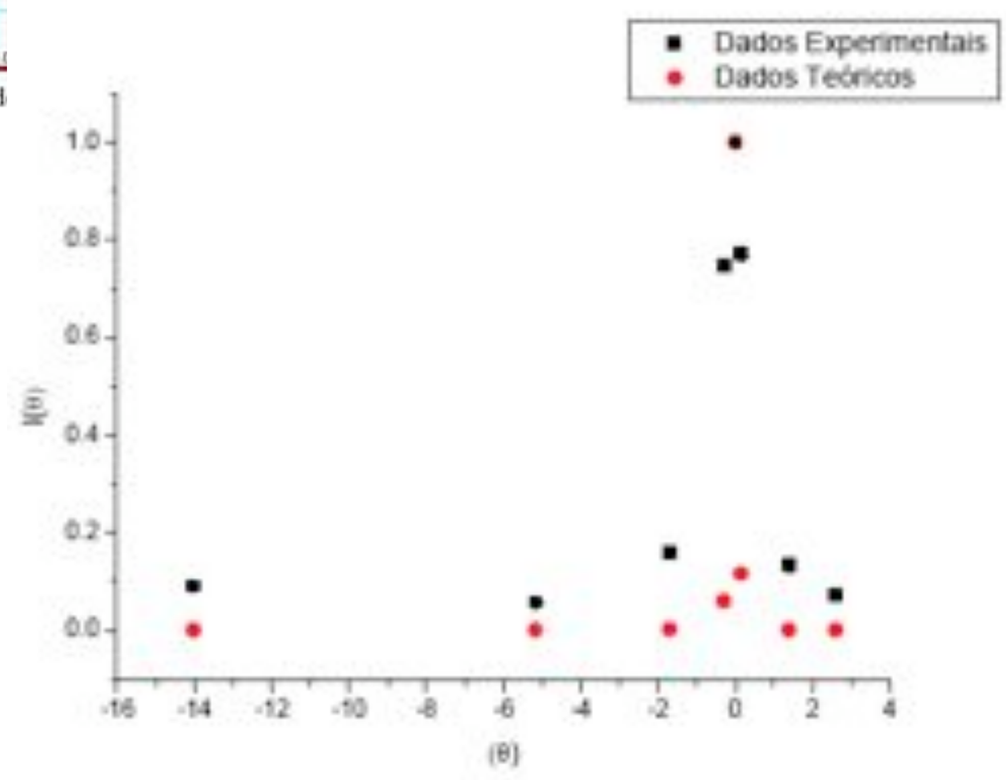
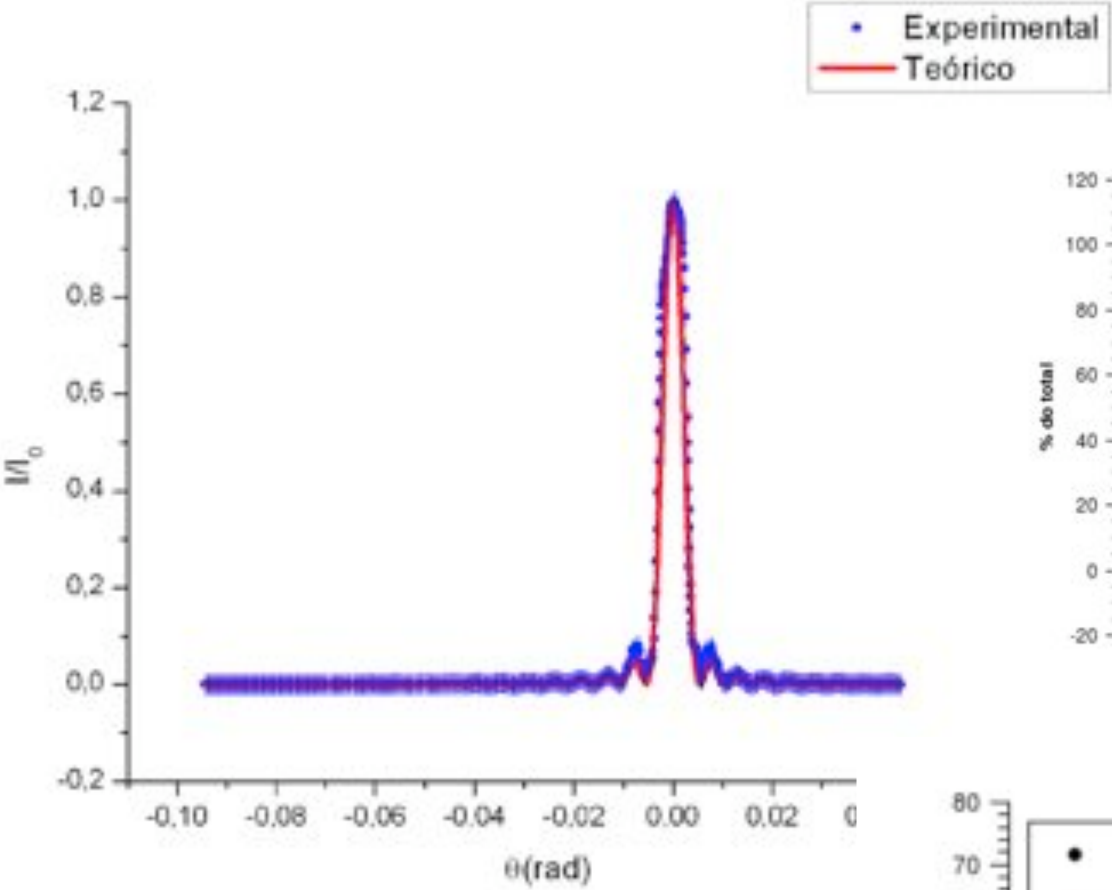


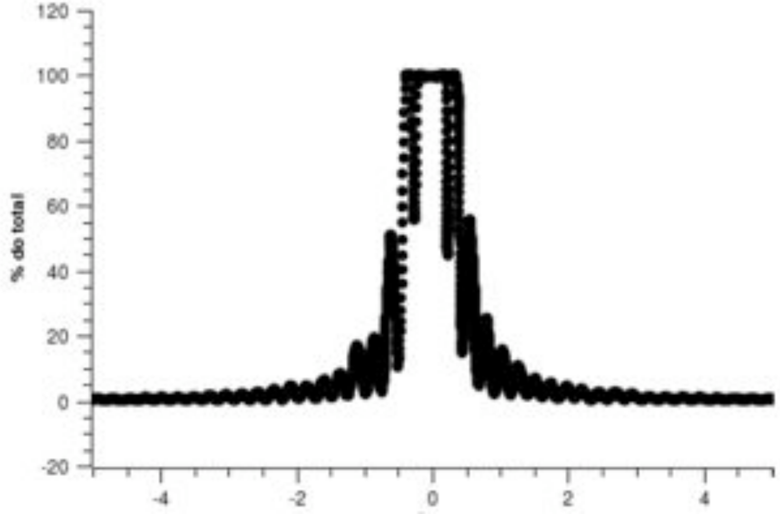
Figura 2: gráfico obtido no Data Studio mostrando os picos de intensidad

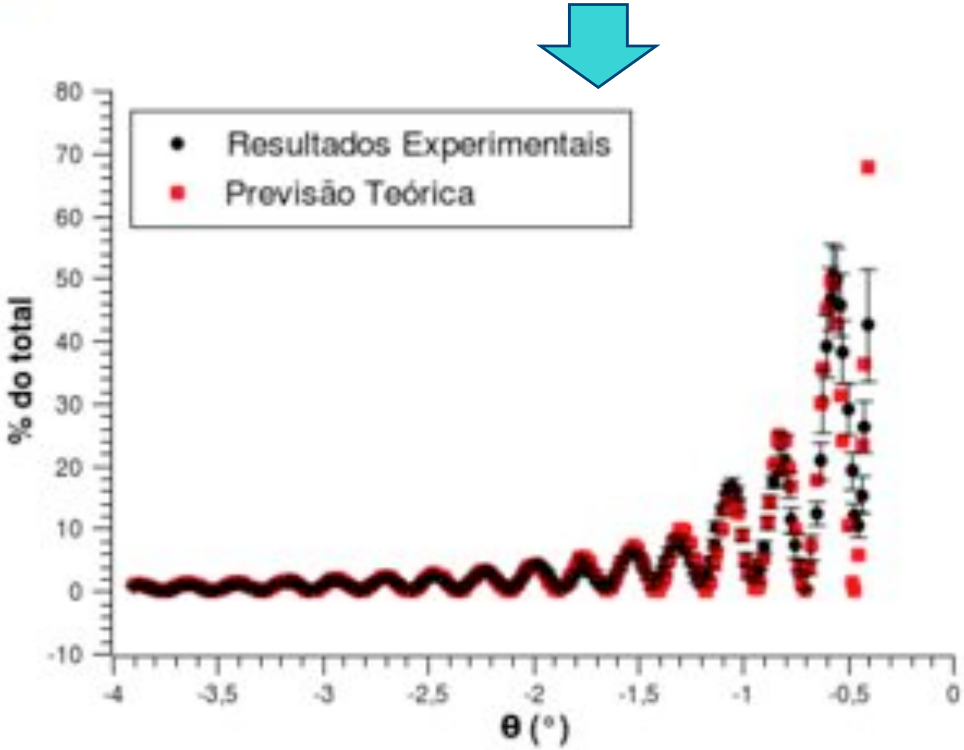
Só estudou os máximos.
Neste caso, a análise fica menos Sensível

Mas tem algum problema.

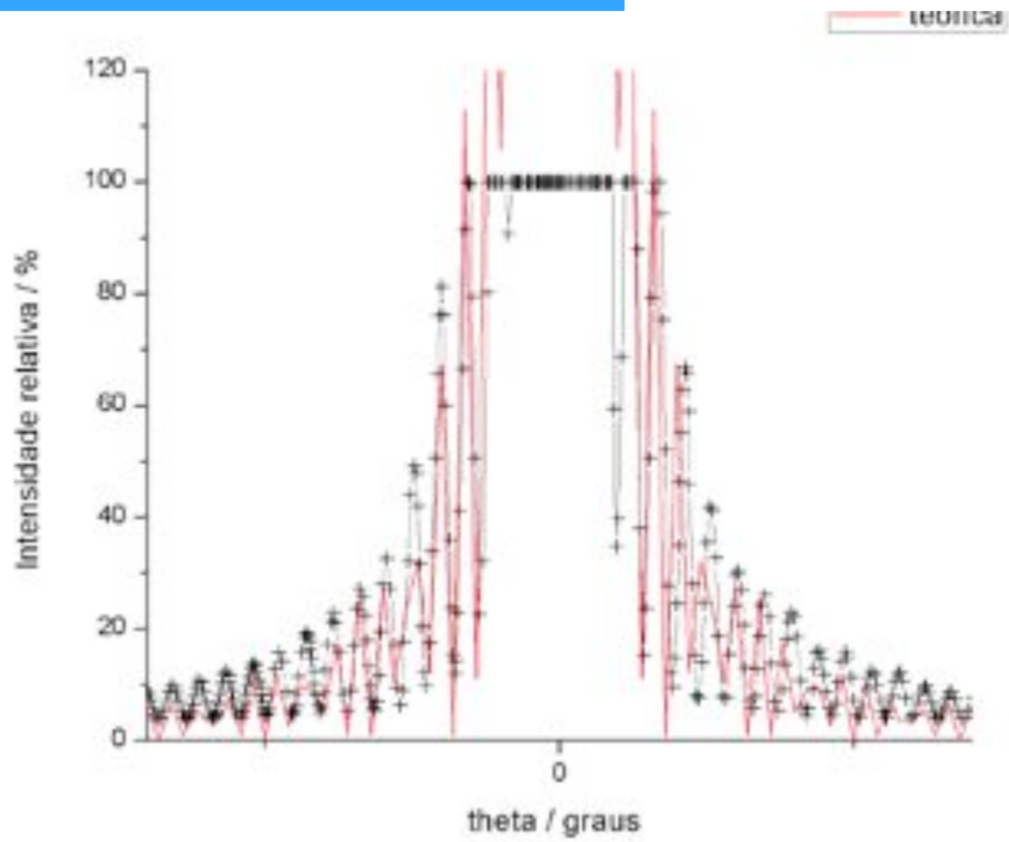




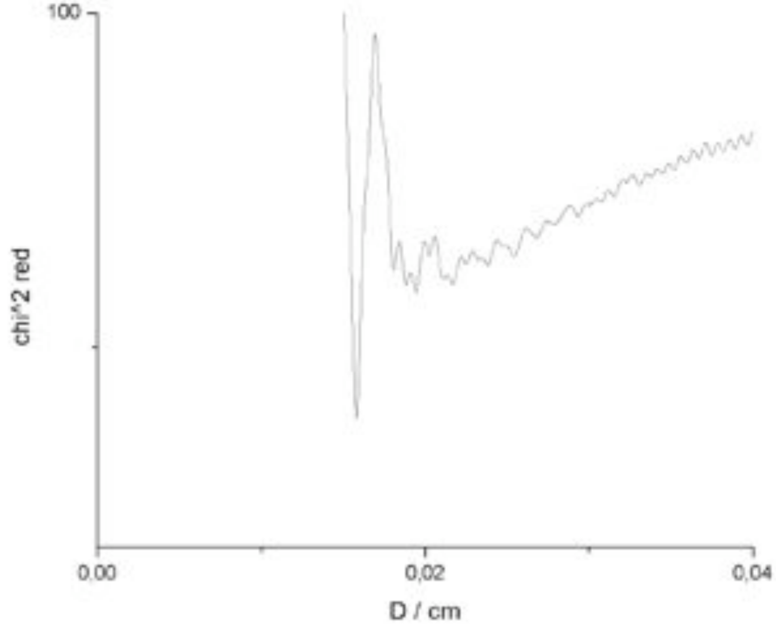




Ajustes bem feitos



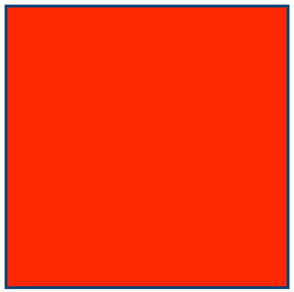
Calcular o X2red em coincidência
Com os dados para evitar oscilações



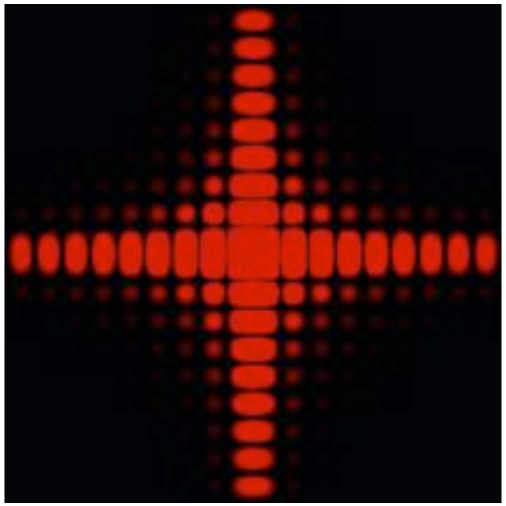
Difração e transformada de Fourier

- A figura de difração está relacionada à transformada de Fourier do objeto iluminado

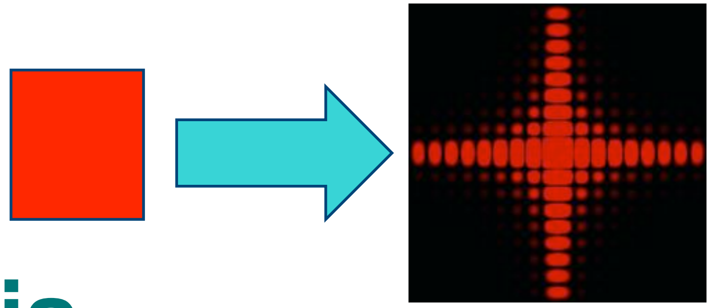
$$\hat{E}(\vec{R}) = \frac{e^{jkR}}{R} \int E_0(x,y) e^{-j(k_x x + k_y y)} dx dy$$



Objeto



Difração



Freqüências espaciais

- A intensidade luminosa em uma dada posição está relacionada às intensidades para cada freqüência espacial

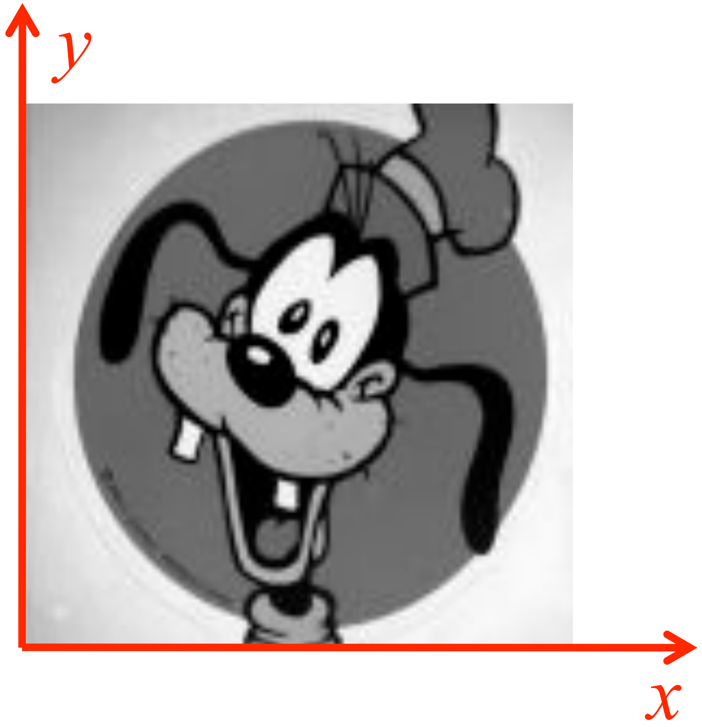
$$\hat{E}(\vec{R}) \rightarrow E(R_y, R_y) \rightarrow E(k_x, k_y)$$

$$k = \frac{2\pi}{\lambda} \qquad \begin{cases} k_x = k \sin\theta \cos\phi \\ k_y = k \sin\theta \sin\phi \end{cases}$$

Alexandre Suaide, LabFlex (2008)

Transformada de Fourier (F.T.) de uma imagem

- Seja uma imagem bi-dimensional qualquer. Para simplificar, vamos pensar em uma imagem monocromática
- Podemos representar qualquer ponto na imagem por uma intensidade luminosa $I(x,y)$



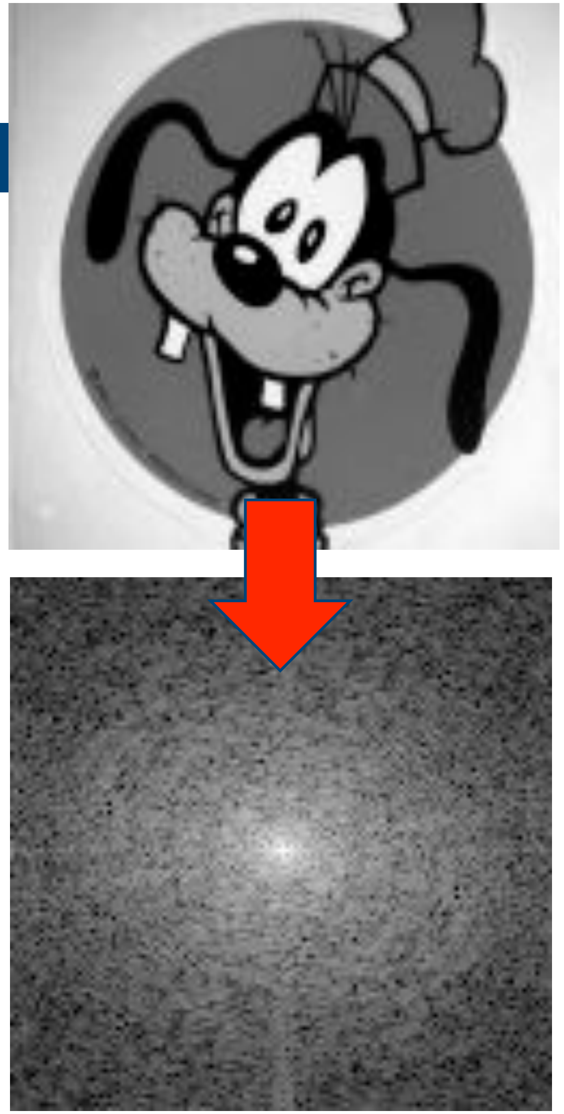
Transformada de Fourier (F.T.) de uma imagem

Alexandre Suaide, LabFlex (2008)

- No caso bi-dimensional, basta decompor em duas freqüências, uma para cada dimensão da imagem

$$c_{nm} = \frac{1}{2\pi}\int_{-\pi}^{\pi} I(x,y)e^{-j(nx+my)}dxdy$$

- Neste caso, ao invés de fazer um gráfico unidimensional, a transformada de Fourier corresponde a um gráfico bi-dimensional cujo valor no 3º eixo corresponde a y.

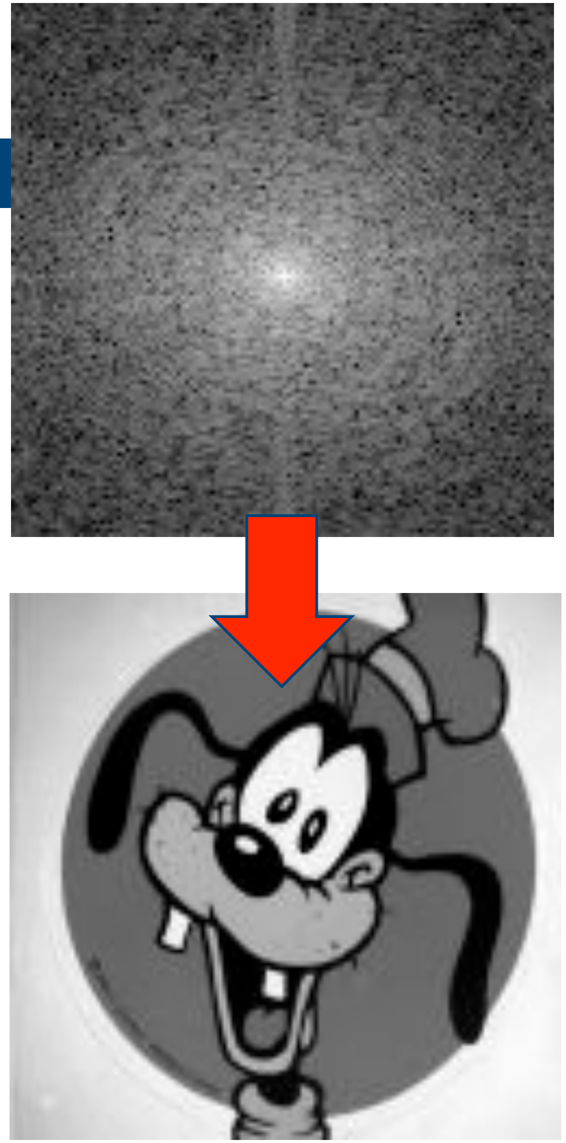


Transformada inversa

- Se eu conheço c_{nm} eu posso recuperar a informação de intensidade espacial através de

$$I(x,y) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} \sum_{m=-\infty}^{\infty} c_{nm} e^{j(nx+my)}$$

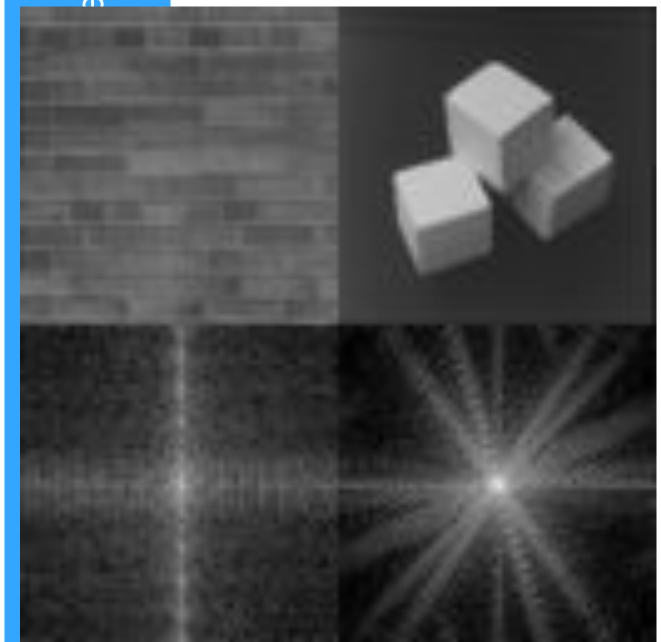
- Isto é chamado transformada inversa de Fourier e nada mais é que a transformada da transformada de Fourier (mas note o sinal trocado na exponencial).



Alexandre Suaide, LabFlex (2008)

Algumas transformadas de Fourier

- Imagens do site: http://www.cs.unm.edu/~brayer/vision/fourier.html



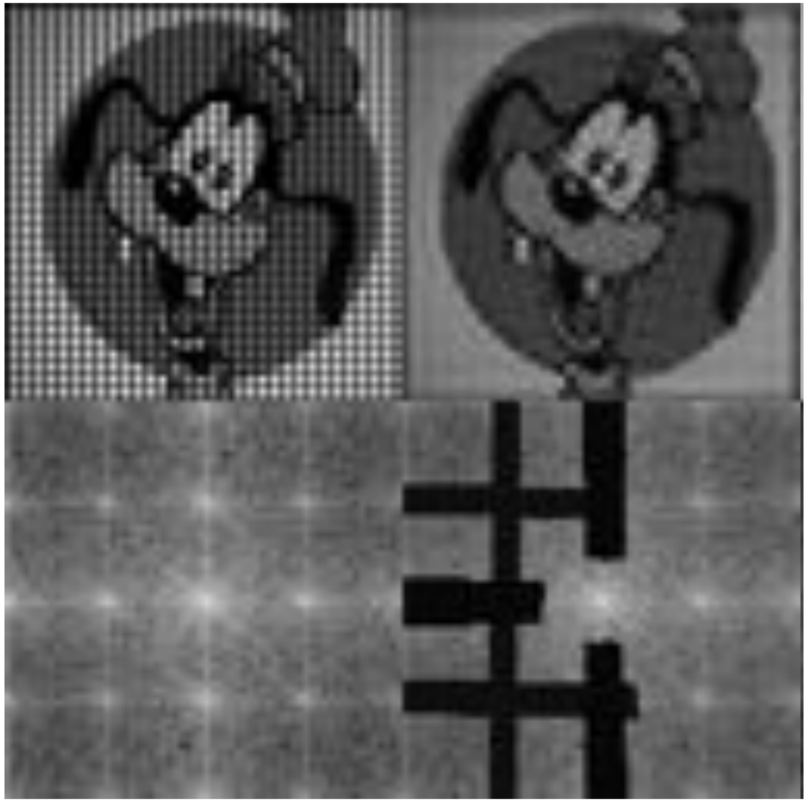
O uso de transformadas de Fourier como método de edição de imagens

Alexandre Suaide, LabFlex (2008)

- Em algumas circunstâncias, o uso da F.T. pode ser bastante útil na edição de imagens
- Por exemplo:
  - Remoção de ruídos e artefatos
    - Quando estes possuem freqüência muito bem definida, sendo bem localizada na F.T.
  - Remoção de padrões
    - Por exemplo, uma cerca pode ter um padrão de freqüências bem definidas.
  - Filtros de efeitos especiais
    - A remoção de algumas freqüências pode criar efeitos interessantes

Alguns exemplos:

- Filtro para fazer contorno
  - Neste caso, remove-se as baixas freqüências
- Aumento de contraste
  - Neste caso, amplia-se as altas freqüências, que amplificam as bordas
- Remoção de sombras
  - Neste caso, a sombra possui estrutura muito característica em freqüência
- Outros métodos
  - Por exemplo, remoção de uma estrutura espúria

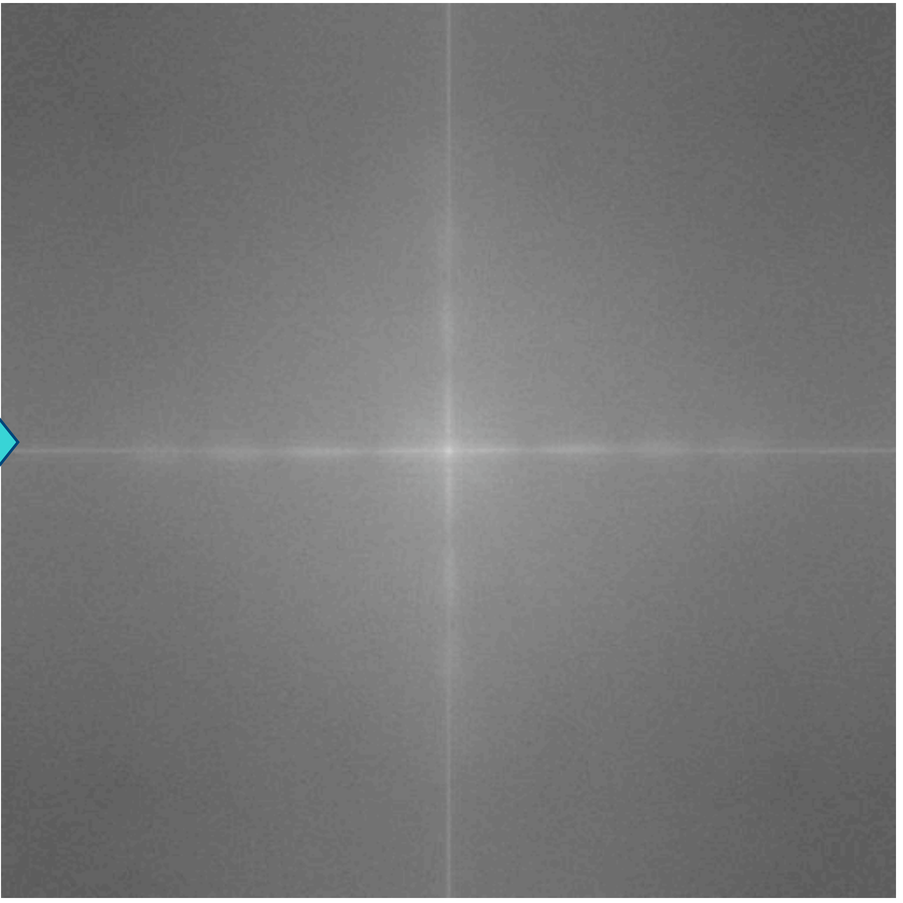


Alexandre Suaide, LabFlex (2008)

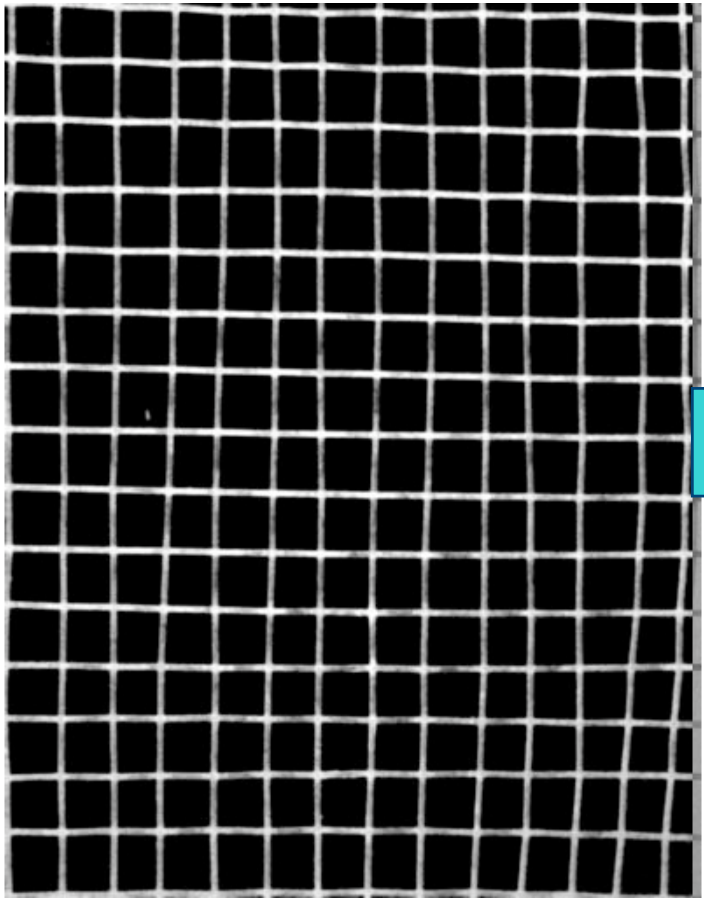
Outro exemplo
O Fabinho e a raquete de tênis

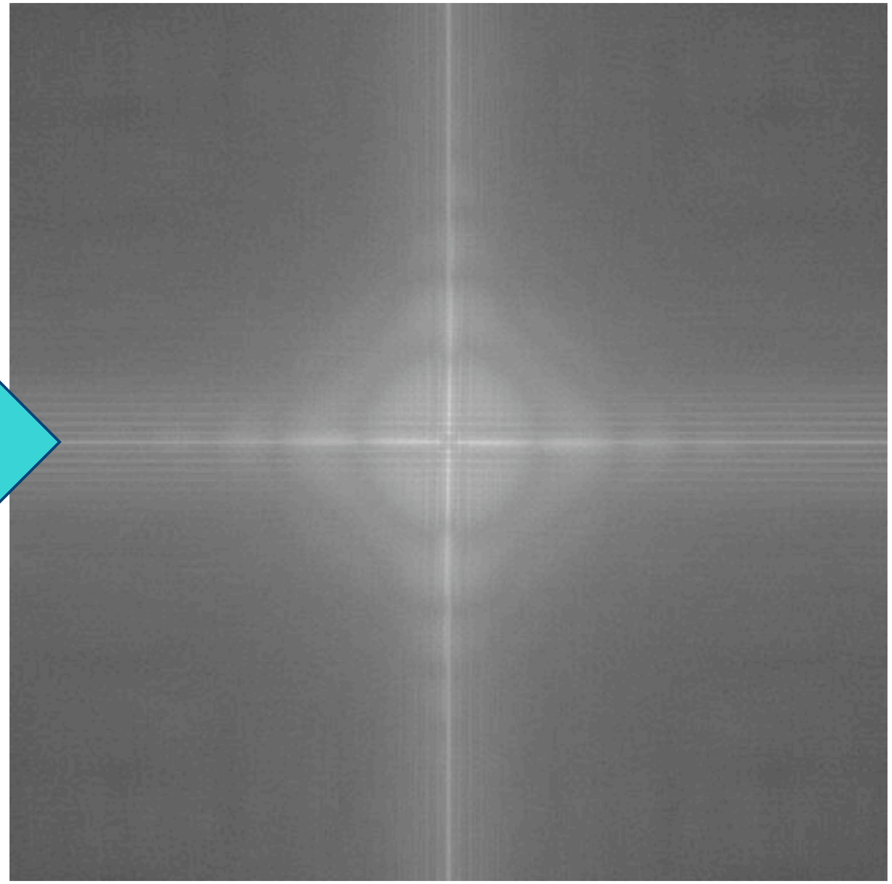
Alexandre Suaide, LabFlex (2008)

Outro exemplo
O Fabinho e a raquete de tênis

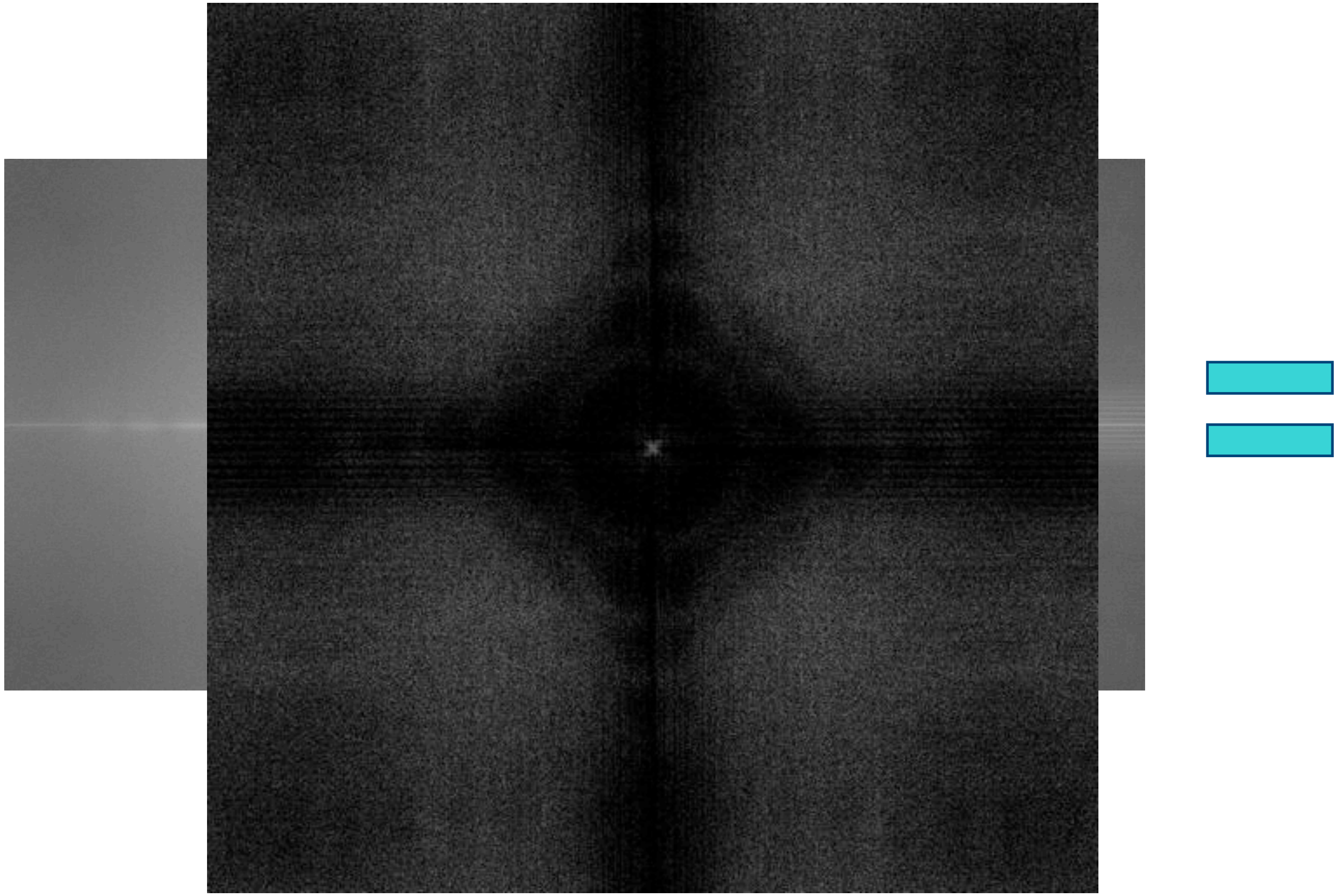


Outro exemplo
O Fabinho e a raquete de tênis

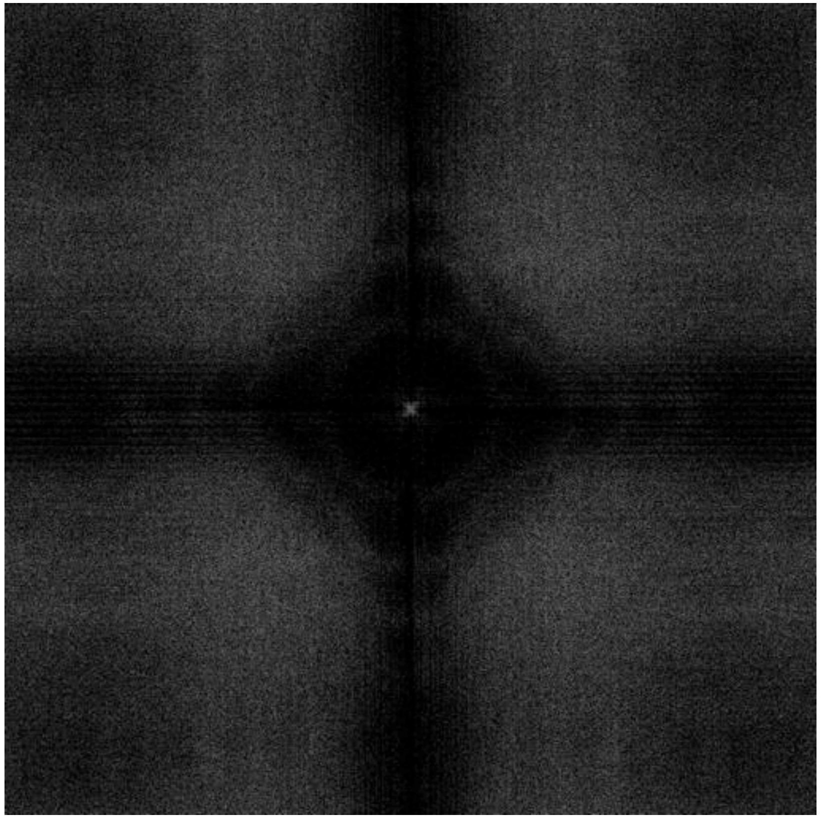


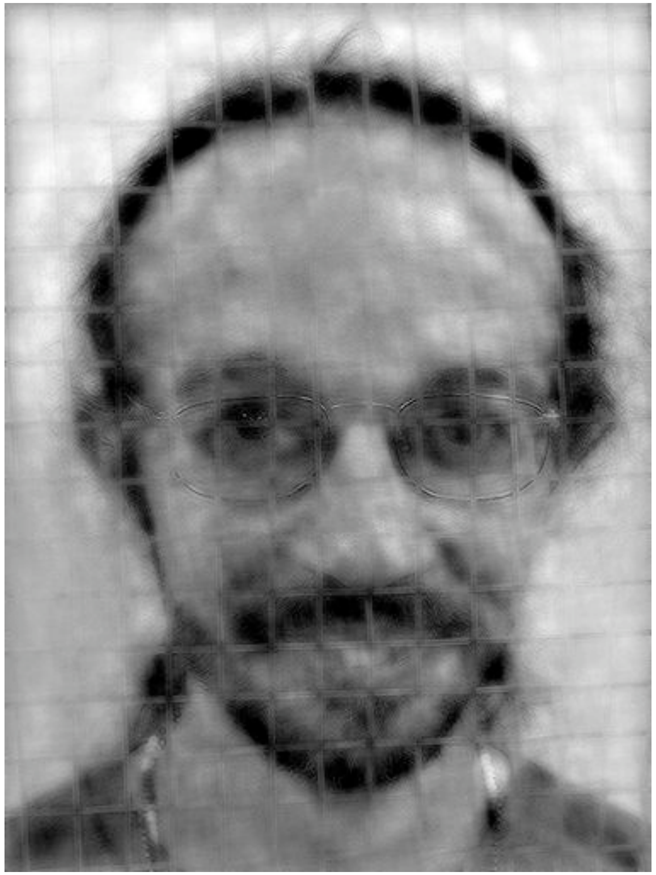


Outro exemplo
O Fabinho e a raquete de tênis

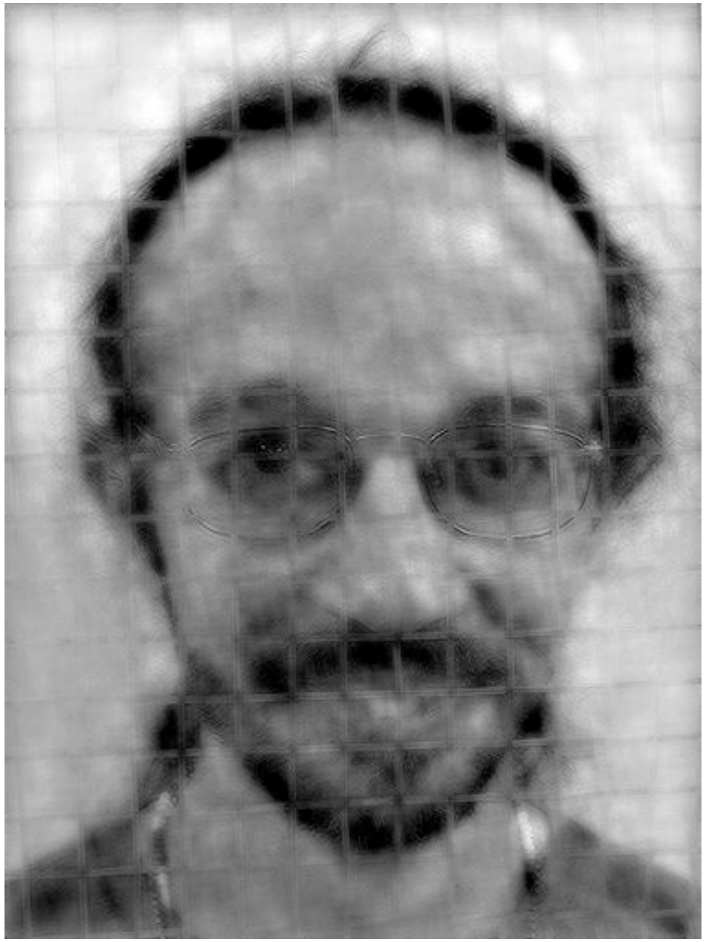


Outro exemplo
O Fabinho e a raquete de tênis

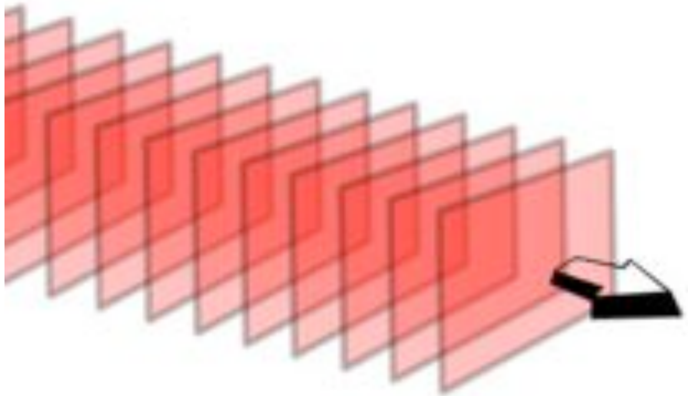




Outro exemplo
O Fabinho e a raquete de tênis



Óptica de Fourier

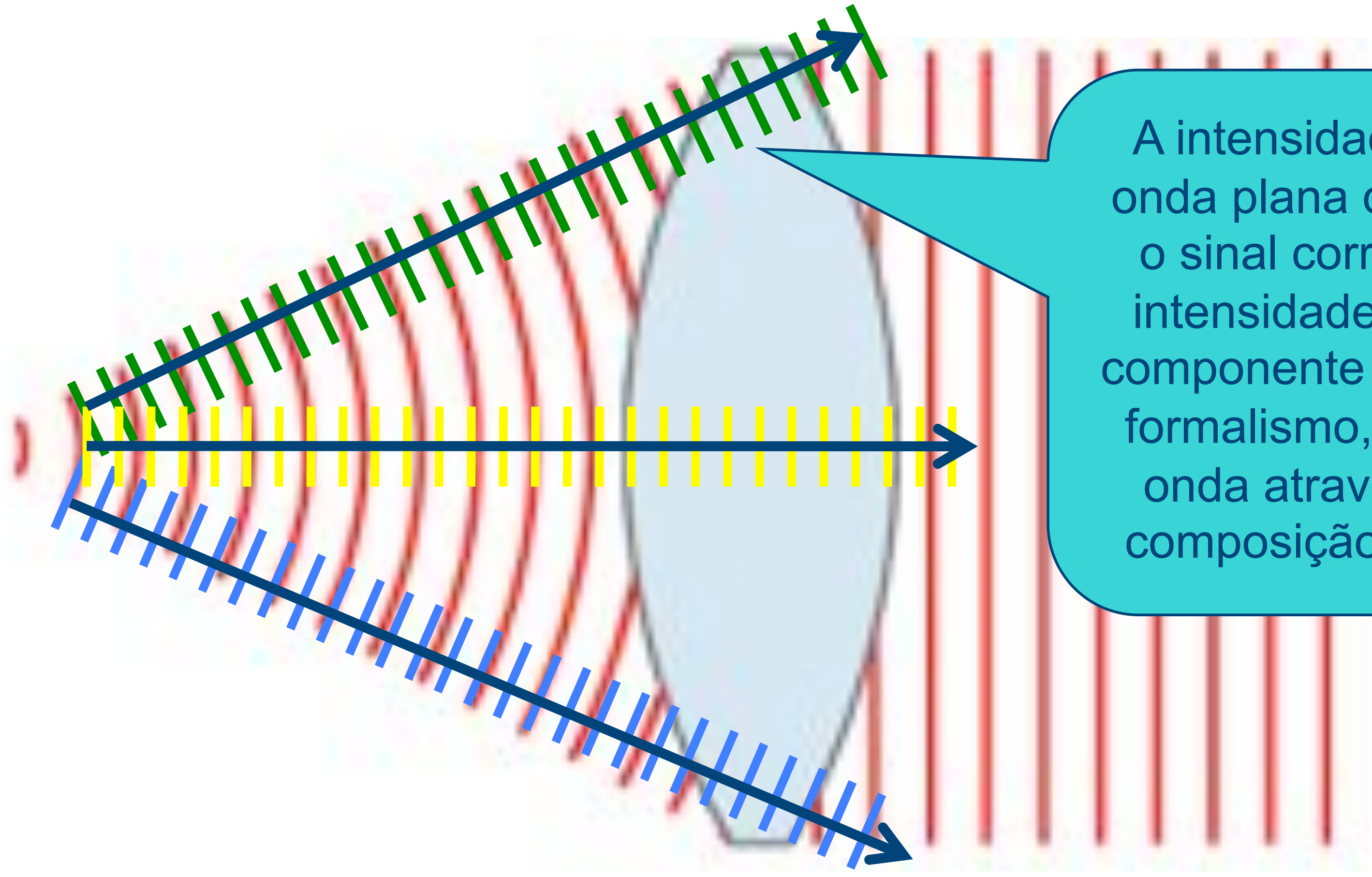


- Três formalismos para óptica
  - Óptica geométrica
    - Luz pode ser tratada como raios
  - Óptica física ou óptica difrativa
    - Podemos tratar cada frente de onda como uma superposição de ondas esféricas
      - Princípio de Huygens-Fresnel
  - Óptica de Fourier
    - Podemos tratar a propagação de luz como uma série de ondas planas. Para cada ponto de uma frente de onda há uma onda plana cuja propagação é normal àquele ponto.

Óptica de Fourier

$$k = \frac{2\pi}{\lambda} \quad \begin{cases} k_x = k\sin\theta\cos\phi \\ k_y = k\sin\theta\sin\phi \end{cases}$$

$$\hat{E}(x,y) = \sum_{kx,ky} c_{kx,ky} \cdot e^{-j(k_x x + k_y y)}$$



A intensidade de cada onda plana que compõe o sinal corresponde à intensidade para cada componente k_x, k_y. Neste formalismo, tratamos a onda através de uma composição de Fourier

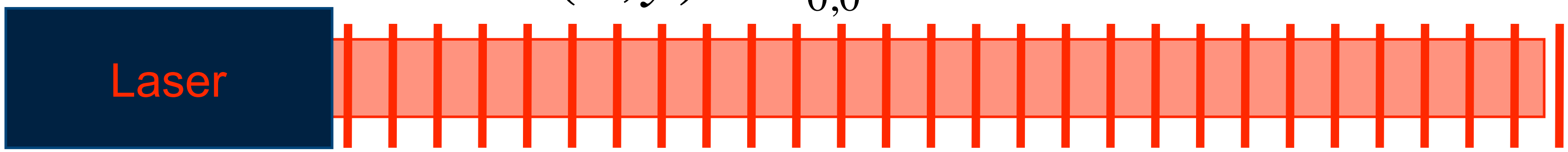
Alexandre Suaide, LabFlex (2008)

Óptica de Fourier

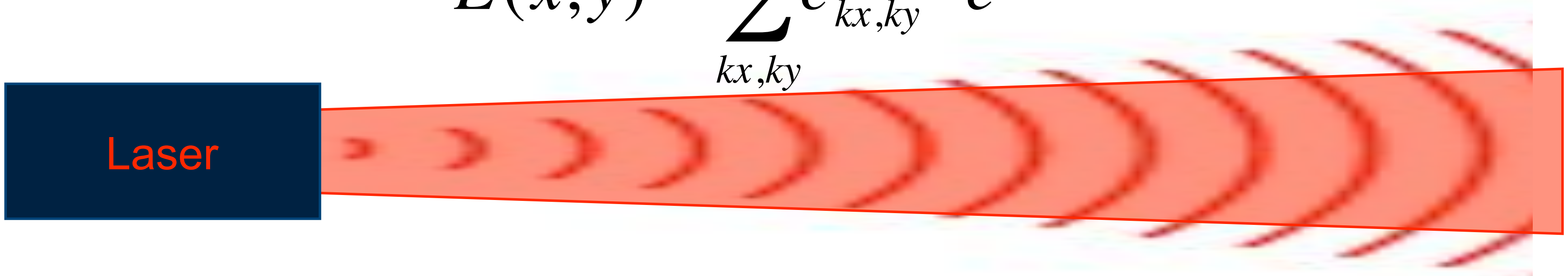
$$k = \frac{2\pi}{\lambda} \qquad \begin{cases} k_x = k\sin\theta\cos\phi \\ k_y = k\sin\theta\sin\phi \end{cases}$$

$$\hat{E}(x,y) = \sum_{kx,ky} c_{kx,ky} \cdot e^{-j(k_x x + k_y y)}$$

$$\hat{E}(x,y) = c_{0,0} \cdot e^{-j(k_0 x + k_0 y)}$$

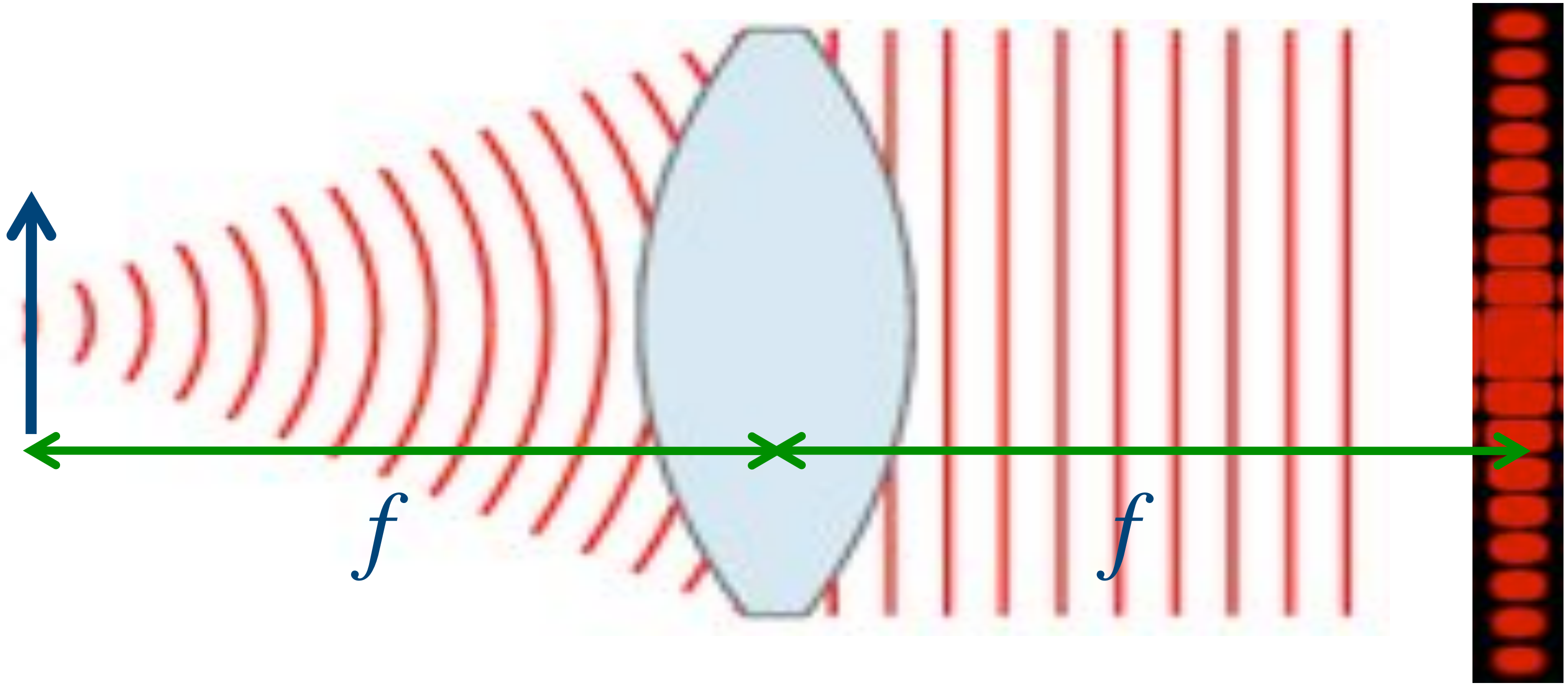


$$\hat{E}(x,y) = \sum_{kx,ky} c_{kx,ky} \cdot e^{-j(k_x x + k_y y)}$$



Lente no formalismo de Fourier

- No formalismo de Fourier, pode-se demonstrar (ver Hecht, cap. 10) que, colocando um objeto no plano focal de uma lente, a figura no plano focal corresponde à transformada de Fourier (figura de difração) do objeto.

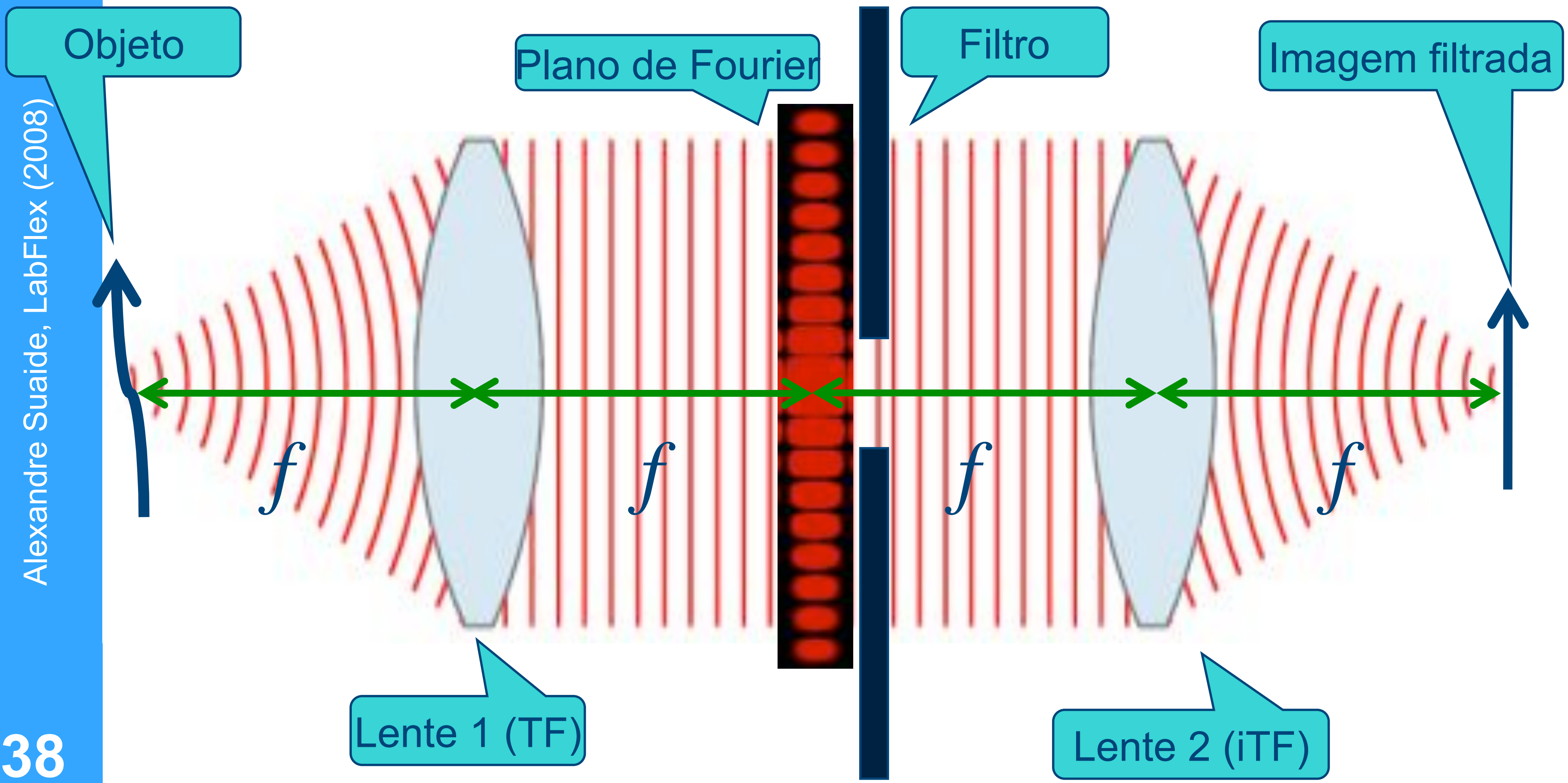


Lente no formalismo de Fourier

- No formalismo de Fourier, pode-se demonstrar (ver Hecht, cap. 10) que, colocando um objeto no plano focal de uma lente, a figura no plano focal corresponde à transformada de Fourier (figura de difração) do objeto.

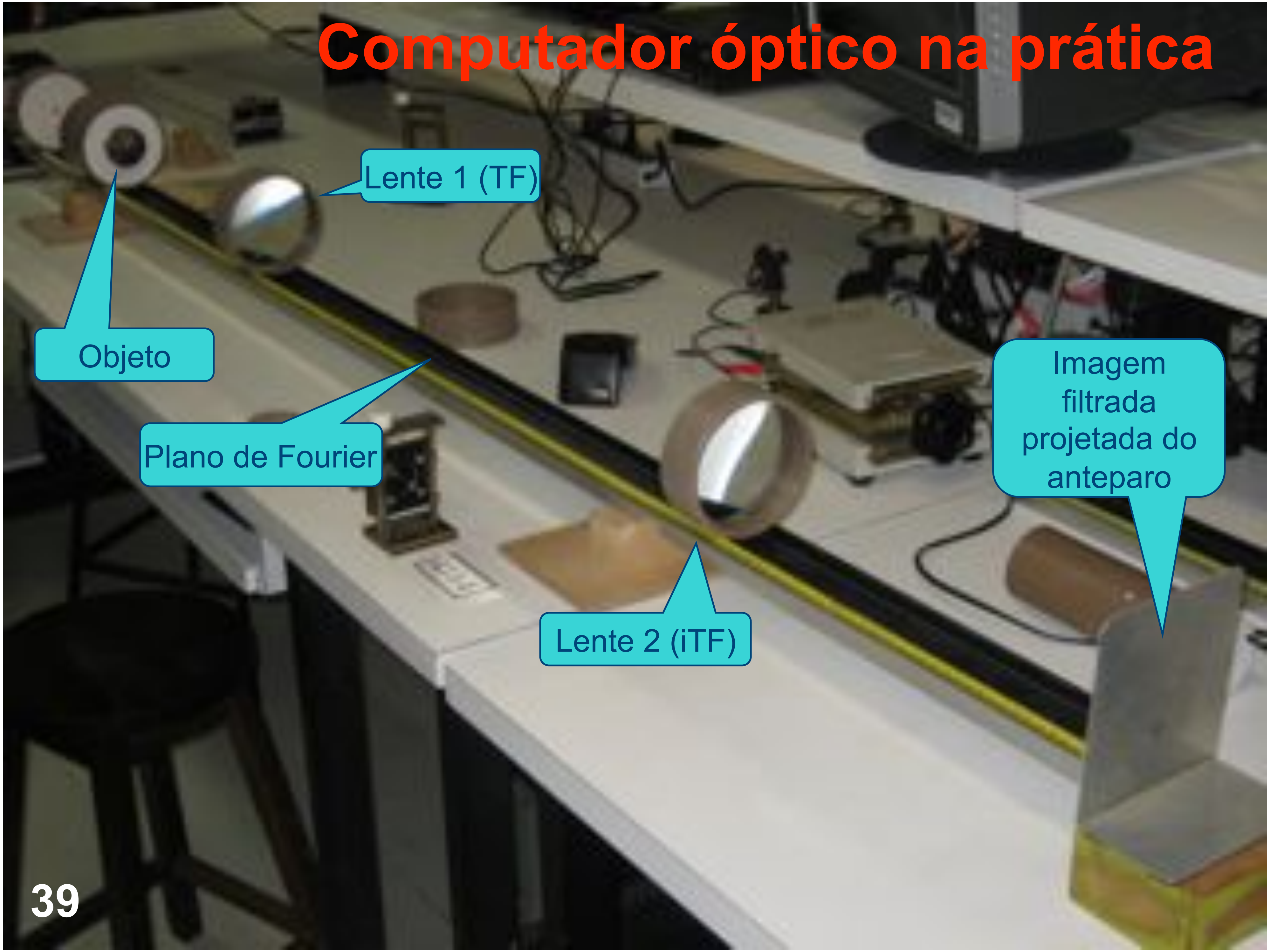
- Podemos usar este fato para construir um computador óptico
  - Colocamos um objeto no ponto focal de uma lente
  - No outro plano focal temos a transformada de Fourier do objeto
    - Podemos manipular esta transformada (por exemplo, anteparos para cortar algumas freqüências)
  - Utilizamos esta TF filtrada como objeto para outra lente
  - A imagem no plano focal da outra lente é a T.F. Da T.F. filtrada, ou seja, a imagem do objeto após filtrarmos algumas freqüências

Computador óptico

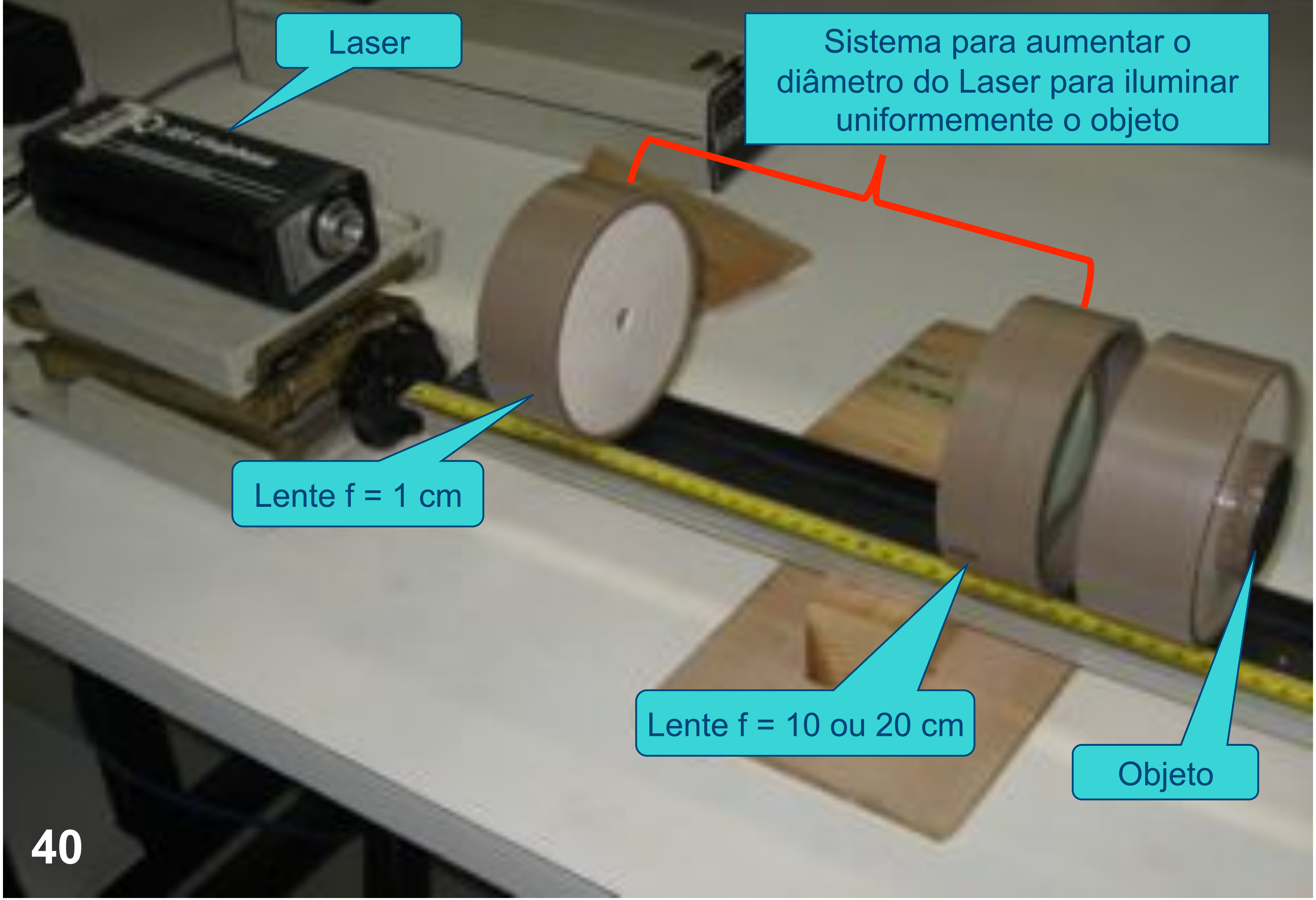


Alexandre Suaide, LabFlex (2008)

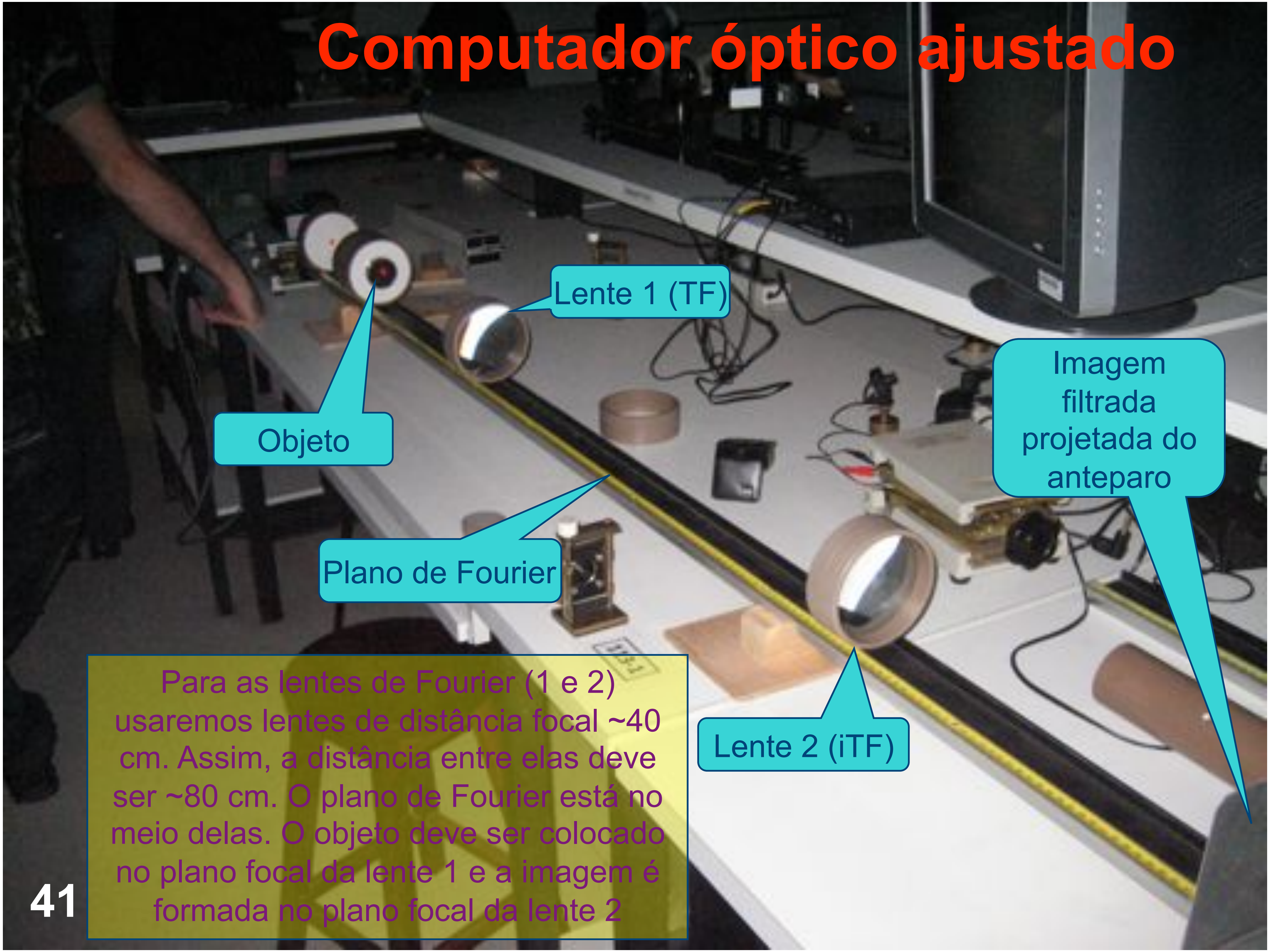
Computador óptico na prática



Criação do objeto



Computador óptico ajustado



Para as lentes de Fourier (1 e 2) usaremos lentes de distância focal ~40 cm. Assim, a distância entre elas deve ser ~80 cm. O plano de Fourier está no meio delas. O objeto deve ser colocado no plano focal da lente 1 e a imagem é formada no plano focal da lente 2

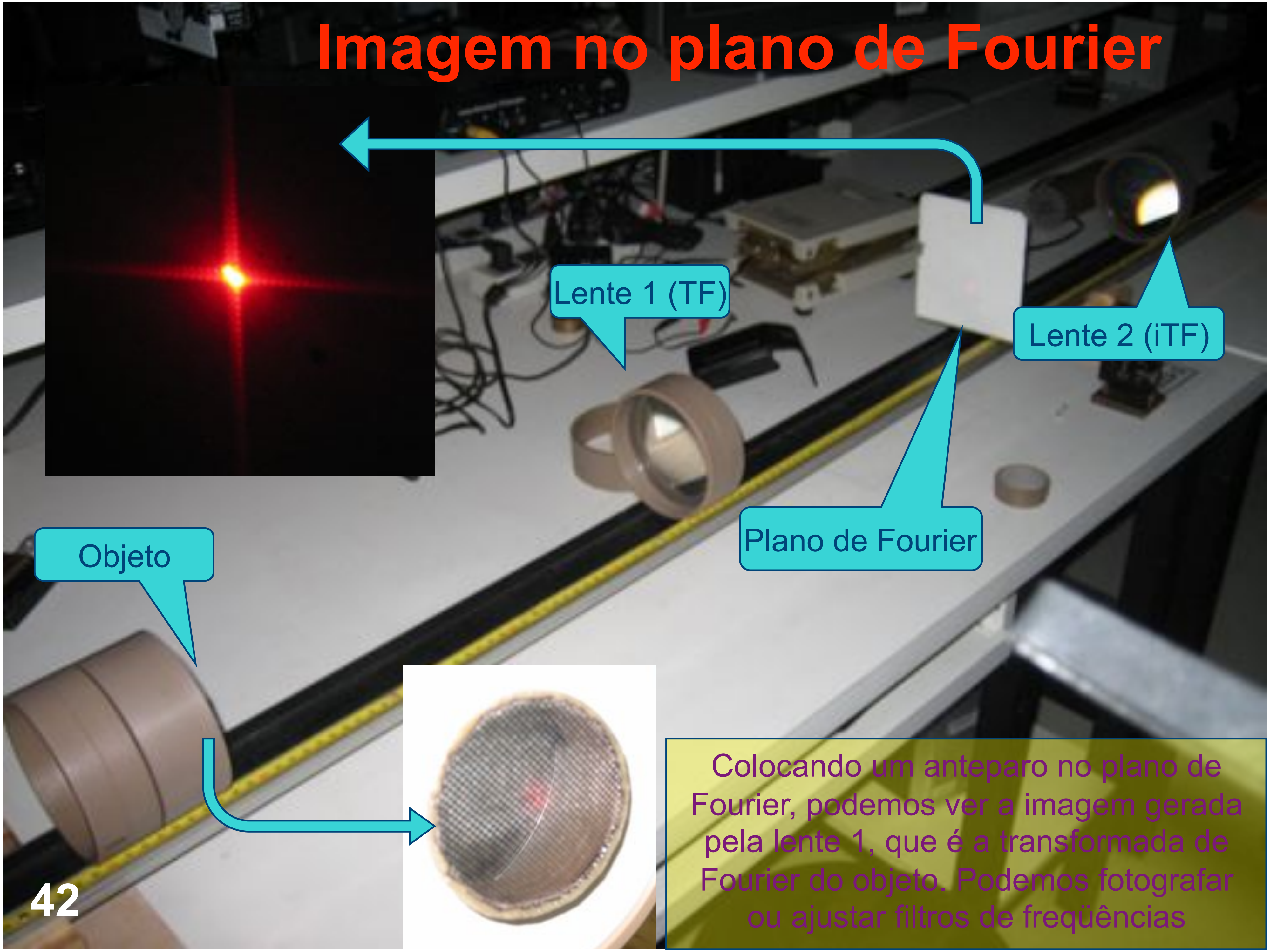


Imagem no plano de Fourier
Lente 1 (TF)
Lente 2 (iTF)
Plano de Fourier
Objeto
Colocando um anteparo no plano de Fourier, podemos ver a imagem gerada pela lente 1, que é a transformada de Fourier do objeto. Podemos fotografar ou ajustar filtros de freqüências

Atividades da semana (I)

- Montar o computador óptico
  - Objetivos: Acostumar com o uso do computador óptico, sentir as dificuldades de montagem, principalmente no alinhamento e ajuste do diâmetro do laser
- Utilizando como objeto uma grade quadriculada obter:
  - Foto do arranjo experimental funcionando
  - Foto do objeto
  - Foto da transformada de Fourier
  - Foto da imagem do computador sem filtragem nenhuma

Atividades da semana (II)

- Análise teórica da transformada de Fourier

- Utilizando o WOC ou o ImageJ
  - Desenhar um objeto similar a grade utilizada
  - Fazer a transformada de Fourier deste objeto
  - Editar a figura da TF, com o intuito de eliminar algumas componentes de freqüência
  - Obter a Transformada inversa para ver a imagem filtrada
    - Tentar filtrar a imagem de forma a transformar uma grade quadriculada em uma malha de fios paralelos. Discutir os resultados

Atividades da semana (III)

- Análise teórica da transformada de Fourier

- Utilizando o imageJ
  - Pegar uma foto qualquer sua
  - Fazer a transformada de Fourier desta foto
  - Tentar relacionar as estruturas da foto com as freqüências da T.F
    - Dica: utilize fotos que tenham padrões repetidos, fica mais fácil identificar as estruturas
    - Tentar retirar algumas destas estruturas da foto por filtragem na T.F