

# Física Experimental IV

<https://edisciplinas.usp.br/course/view.php?id=90535>

2º Semestre 2021

Exp. 2 – Computador Óptico

Atividade 5 – Aplicação do Computador Óptico

**Semana 8 - 21/Outubro**

Prof. Henrique Barbosa

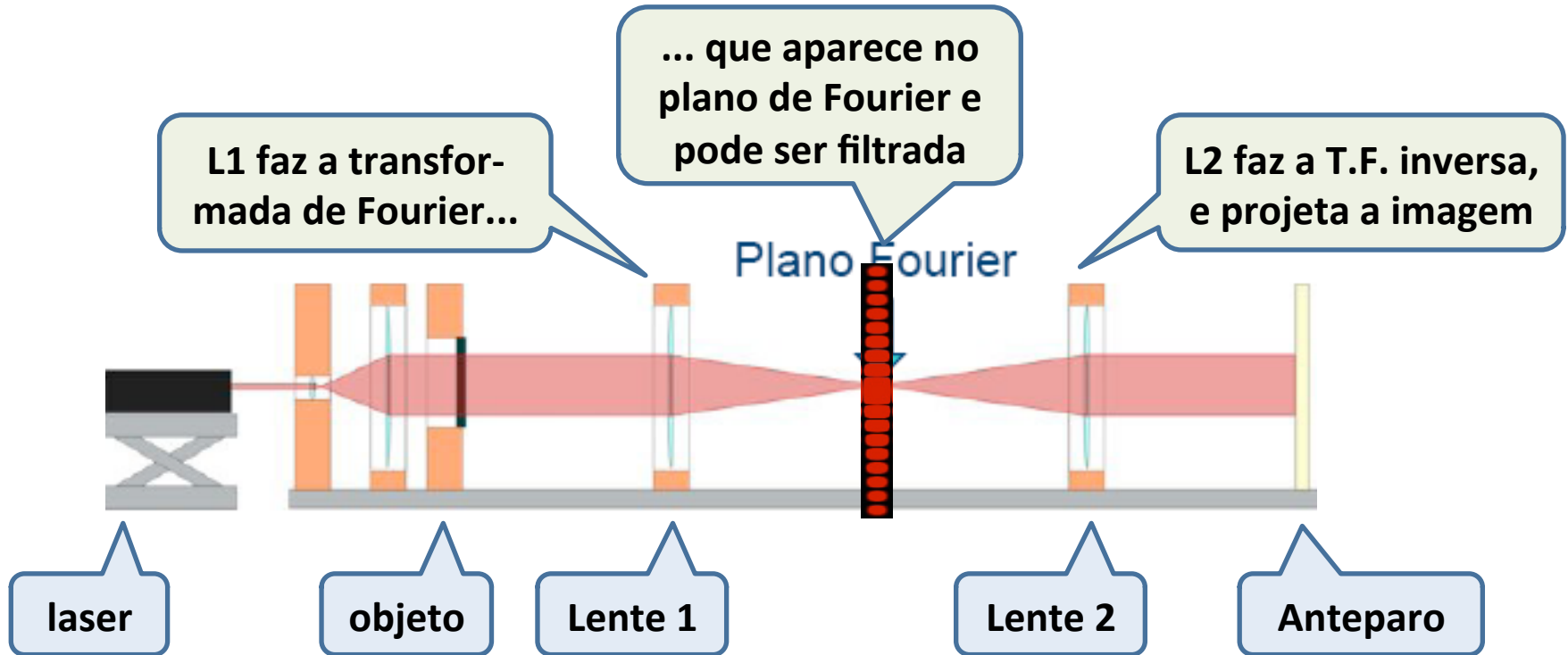
[hbarbosa@if.usp.br](mailto:hbarbosa@if.usp.br)

<http://www.fap.if.usp.br/~hbarbosa>

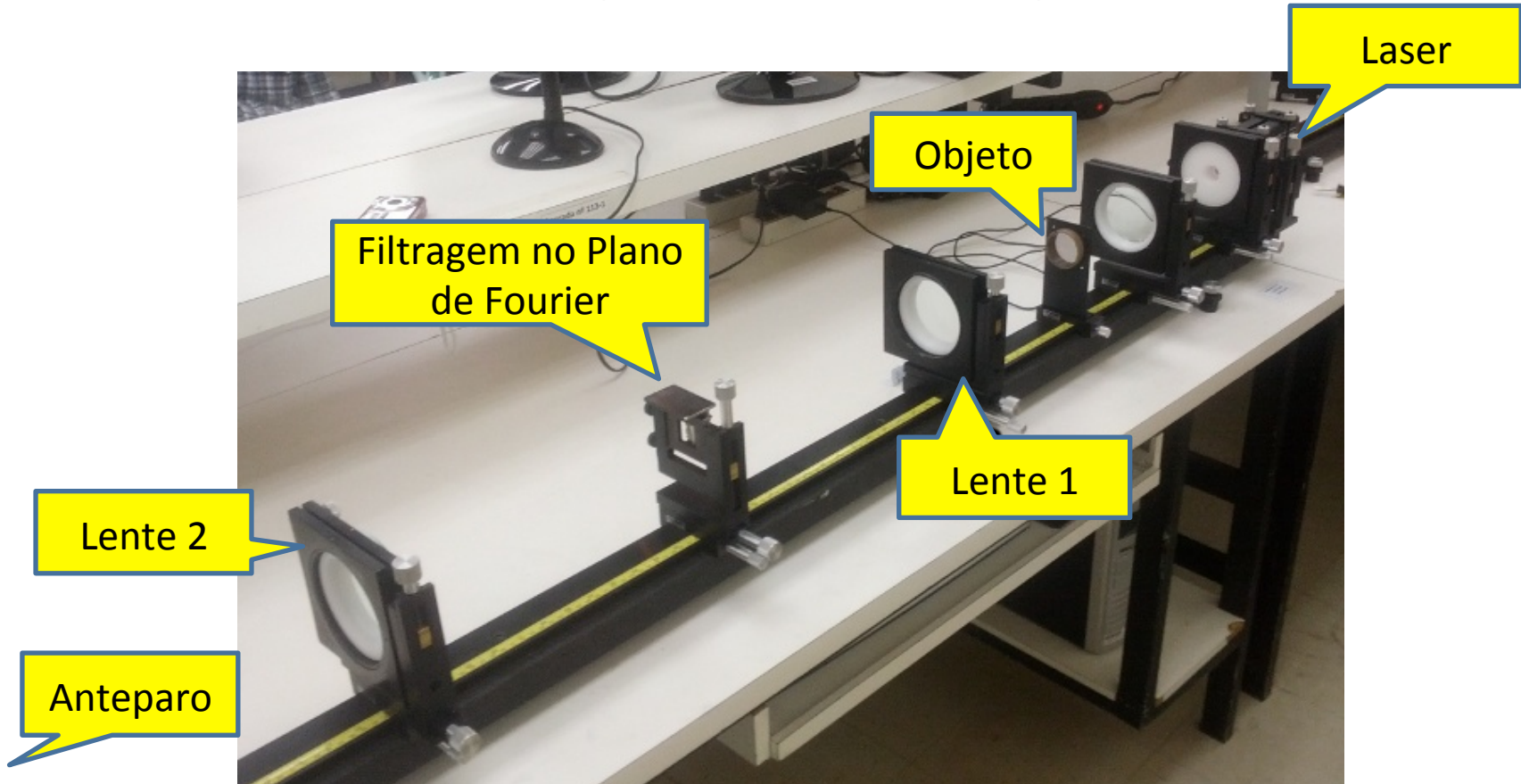
# Cronograma

- 5 atividades:
  - **Atividade 1:** Estudo qualitativo de difração e interferência
  - **Atividade 2:** Estudo quantitativo de difração em fendas simples
  - **Atividade 3:** Processamento de imagens (ImageJ)
  - **Atividade 4:** Simulação do computador óptico, Plano de Fourier
  - **Atividade 5:** Aplicação do computador óptico, objeto vs. sua T.F.

# Computador Óptico



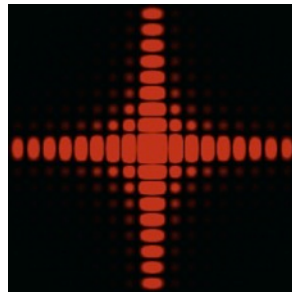
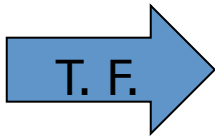
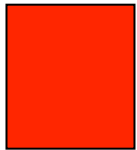
# Computador Óptico



# Difração e transformada de Fourier

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

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



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

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

# Computador ótico

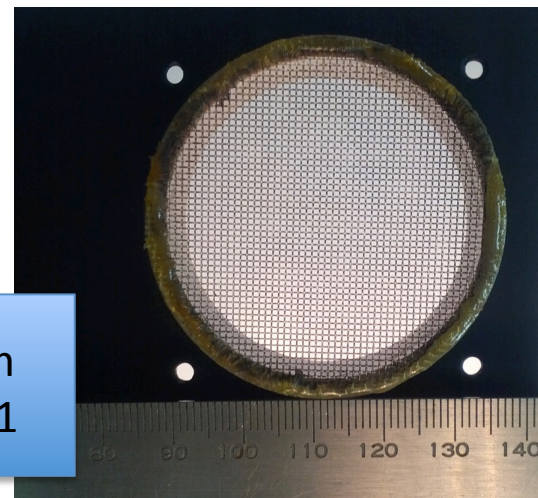
- Condição de Fraunhofer é  $F = d^2/\lambda L. \ll 1$ .
- Fendas da Aula 1:

$$F = \frac{d^2}{\lambda L} = \frac{(72 \times 10^{-6})^2}{633 \times 10^{-9} \cdot 1.194} = 0.007$$

- Tela de mosquito (1mm):

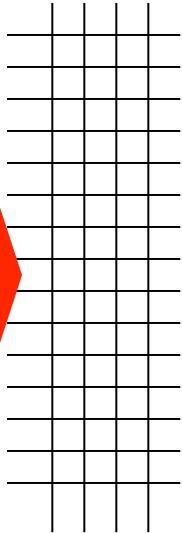
$$F = \frac{(1 \times 10^{-3})^2}{633 \times 10^{-9} \cdot 2} = 0.8$$

Precisamos usar um lente para ter  $F \ll 1$



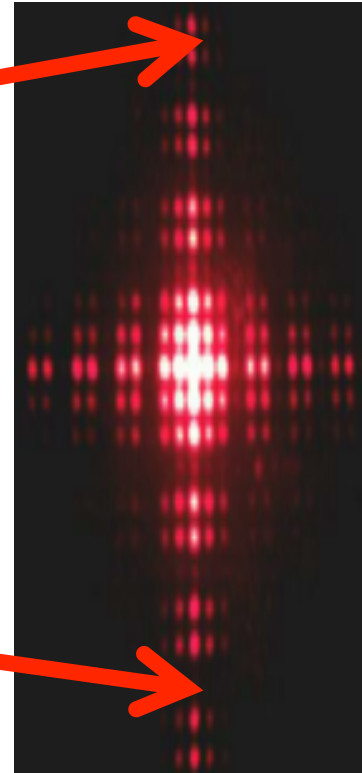
# Entendendo...

ONDA  
MONOCRO.  
PLANA

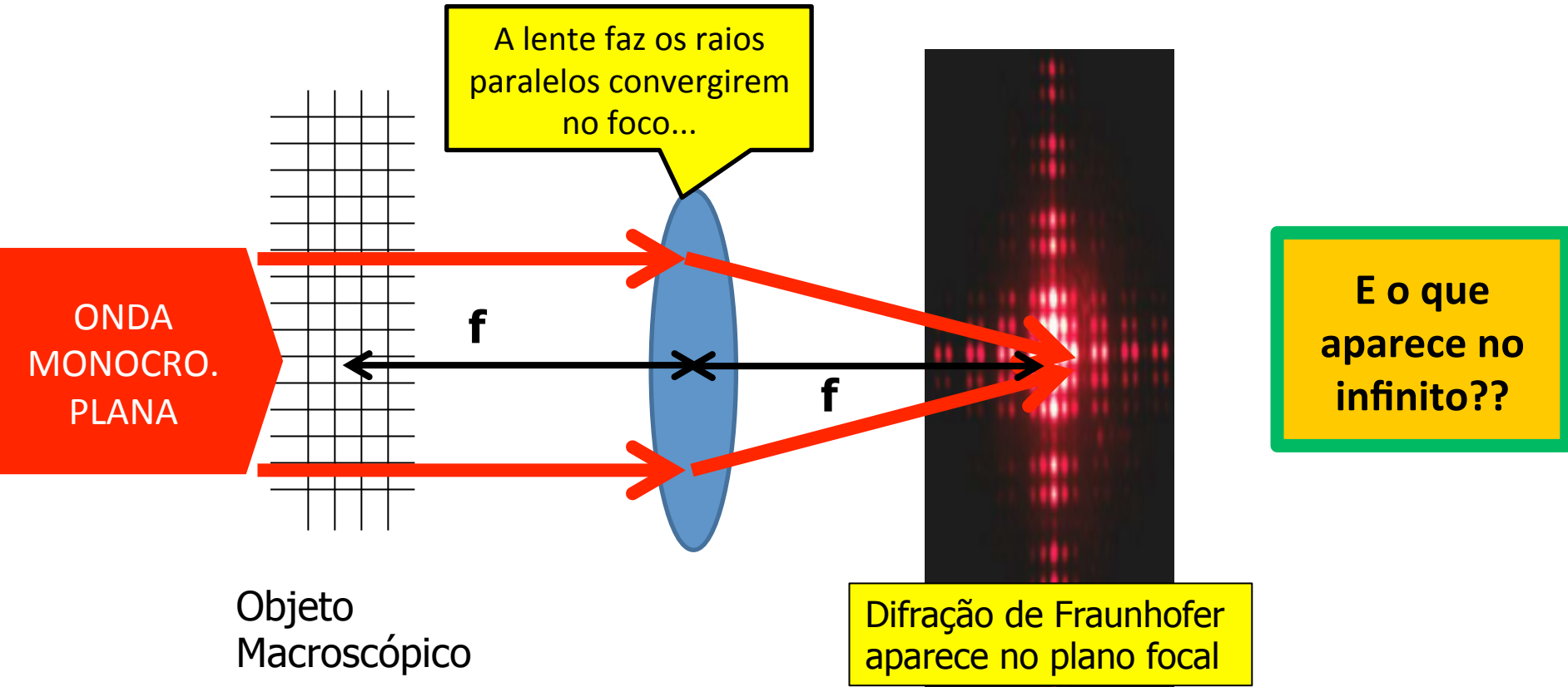


Objeto  
Macroscópico

Pela condição de Fraunhofer,  
como o objeto é macroscópico,  
precisamos estar **MUITO** longe  
para observar a difração!!

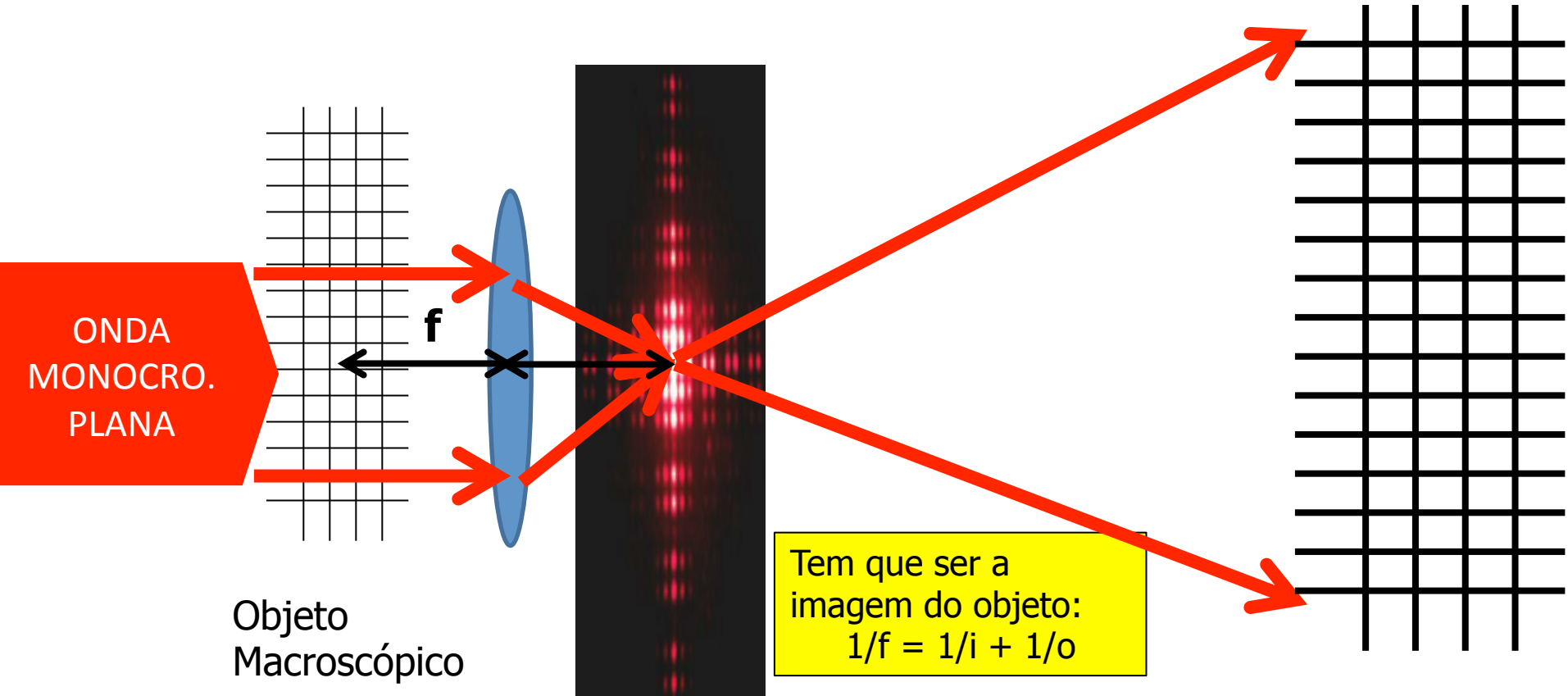


# Entendendo...

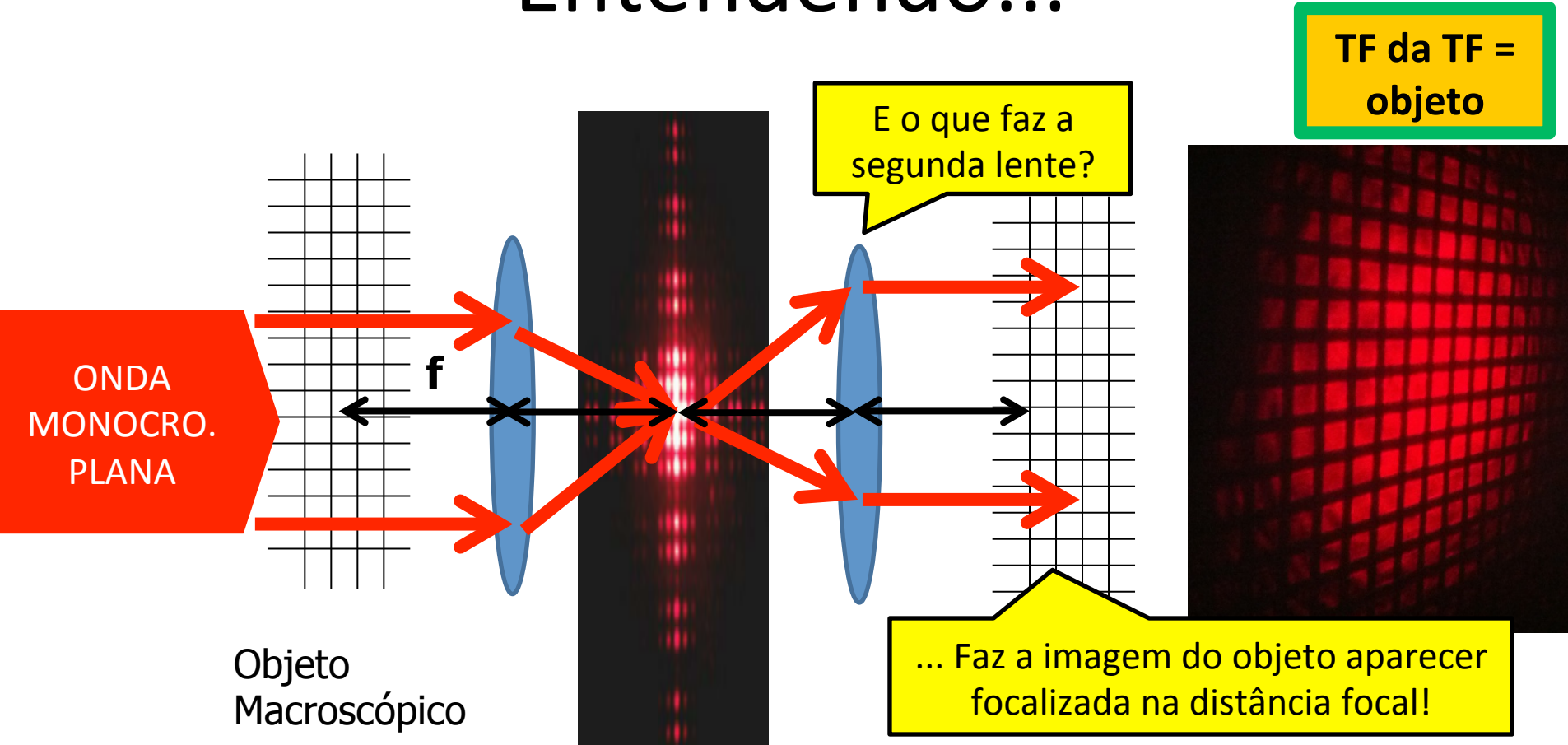




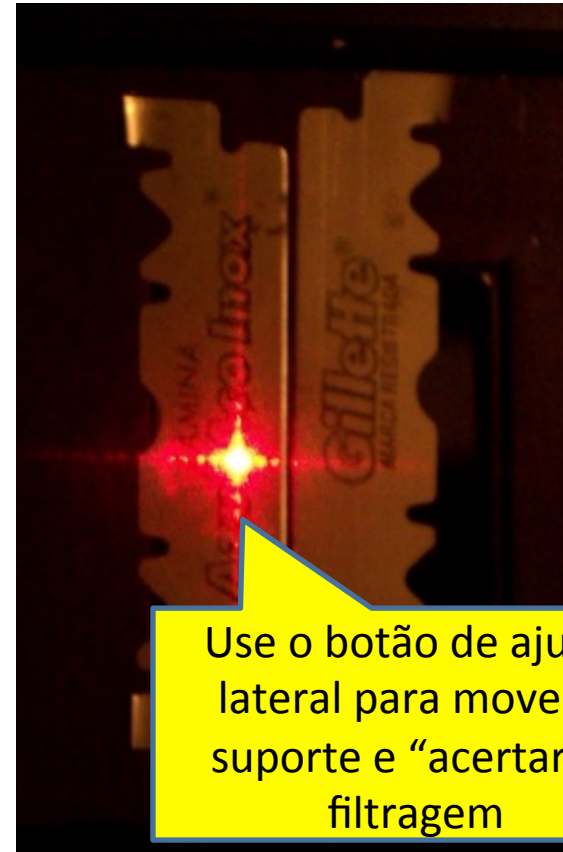
# Entendendo...



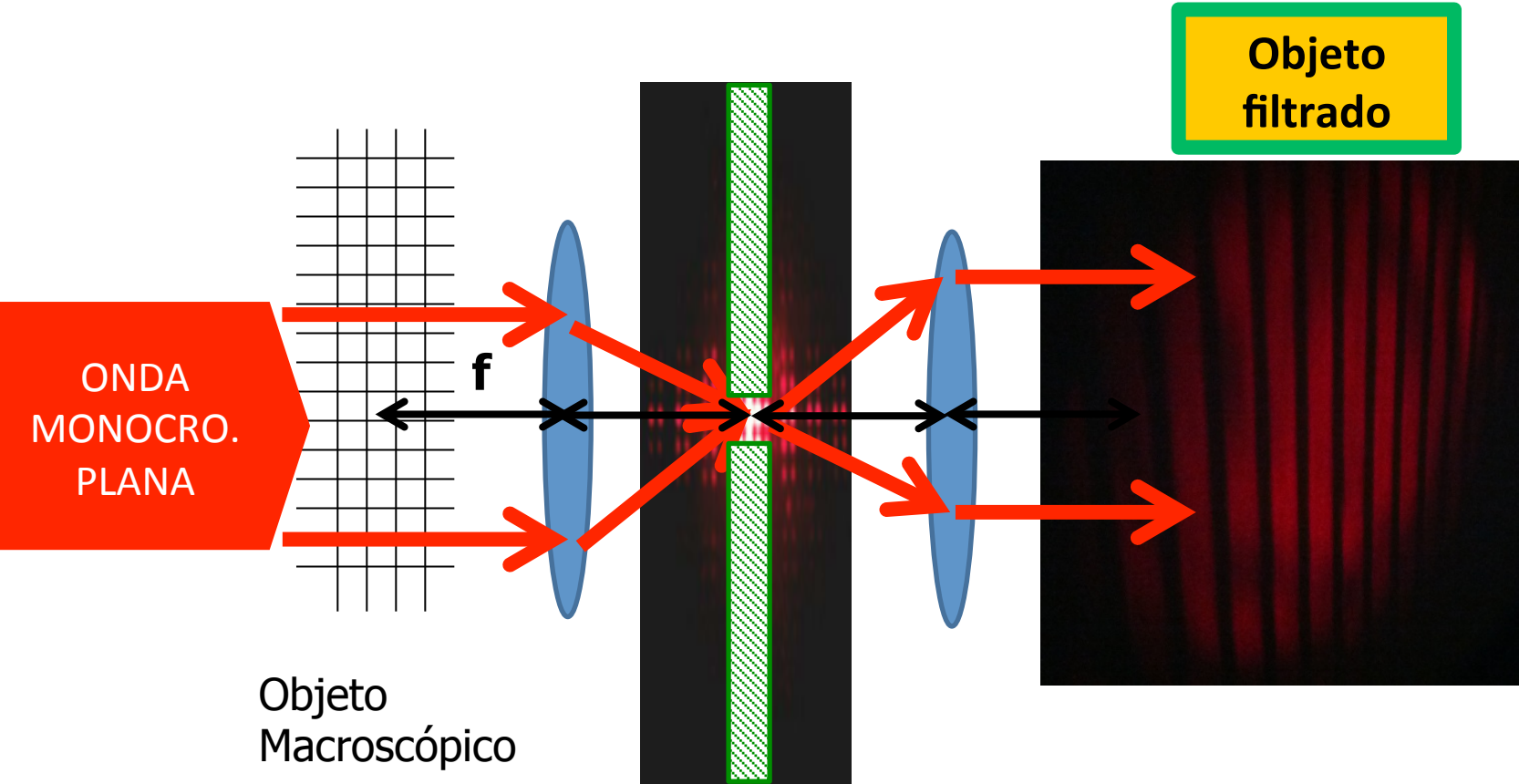
# Entendendo...



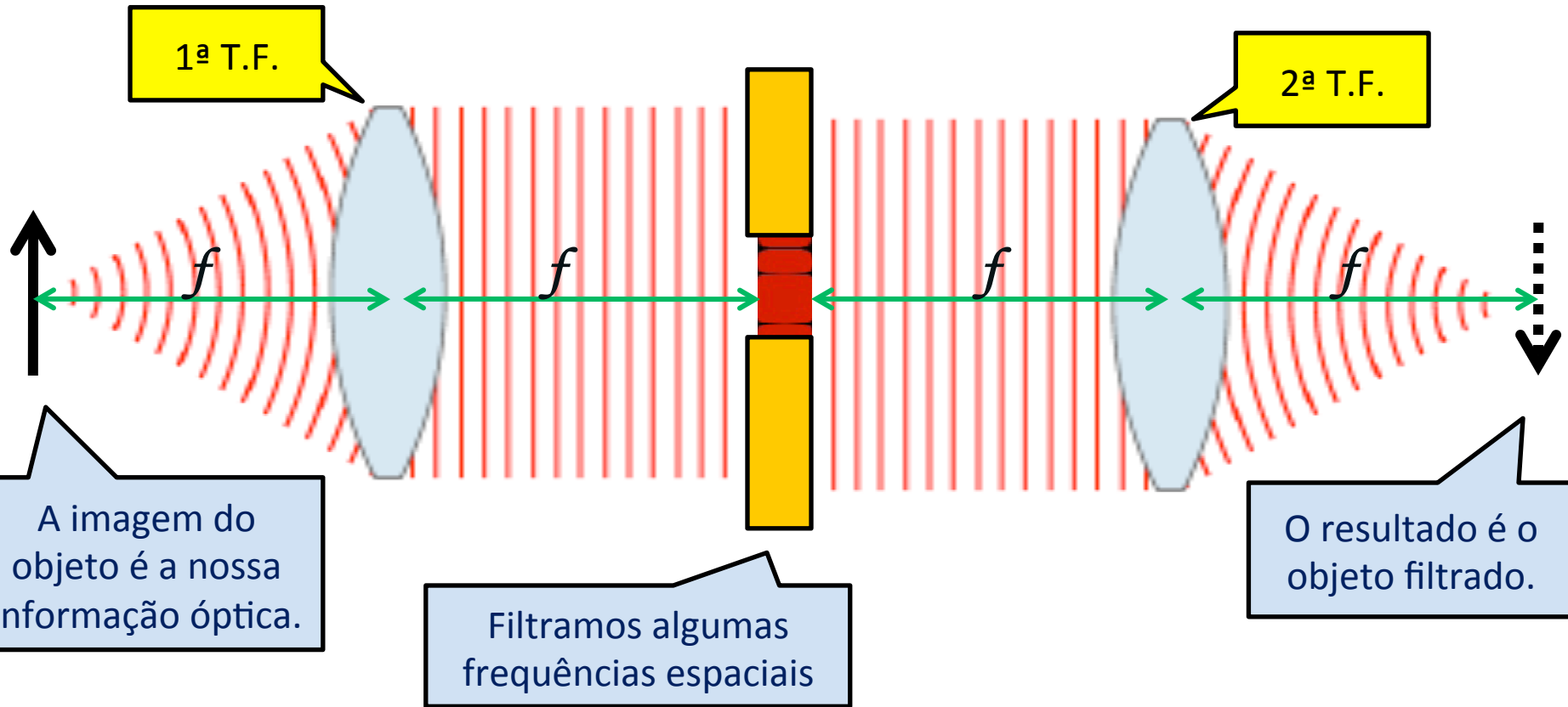
# Filtro



# Entendendo...

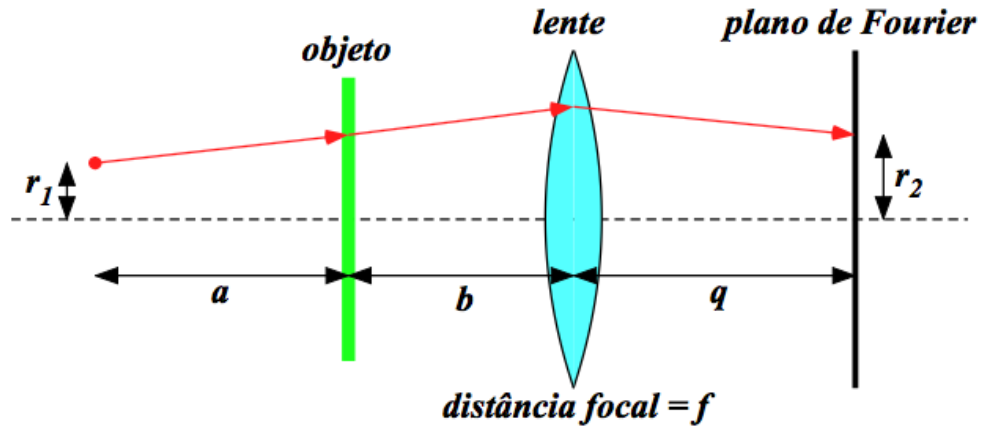


# Ótica de Fourier

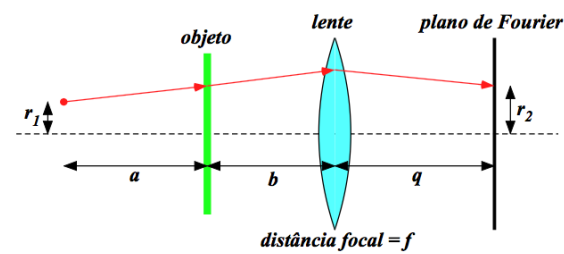


# Caso geral: ótica de Fourier

- A fonte pontual está numa distância qualquer da lente:
  - Dista  $a$  do difrator e está  $r_1$  acima do eixo óptico
- Qual a matriz de transferência desse sistema?
  - Espaço livre “ $a$ ”
  - Difrator
  - Espaço livre “ $b$ ”
  - Lente
  - Espaço livre “ $q$ ”



# Caso geral

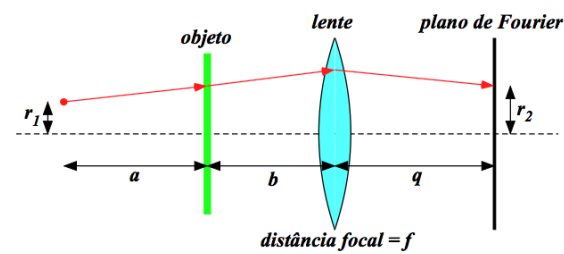


- Se calcularmos a matriz de transferência dessa situação (deduzam), vamos obter:

$$r_2 = \left(1 - \frac{q}{f}\right)r_1 + \left(a + b - \frac{aq}{f} - \frac{bq}{f} + q\right)\phi_1 + \left(b + q - \frac{bq}{f}\right)\frac{m\lambda}{d}$$

$$\phi_2 = -\frac{r_1}{f} + \left(-\frac{a}{f} - \frac{b}{f} + 1\right)\phi_1 + \left(1 - \frac{b}{f}\right)\frac{m\lambda}{d}$$

# Posição da TF



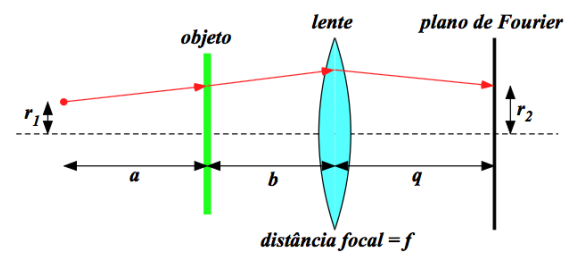
- O padrão de difração ( $r_2$ ) não pode depender da direção dos raios que são emitidos pela fonte (independente de  $\varphi_1$ ).

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{q} + \frac{1}{a+b}$$

- Lembrando  $q$  é a posição do plano da transformada, e  $a+b$  é a posição da fonte em relação à lente.
- A transformada de Fourier aparece no plano imagem conjugado à fonte e não ao objeto difrator!



# Tamanho da TF



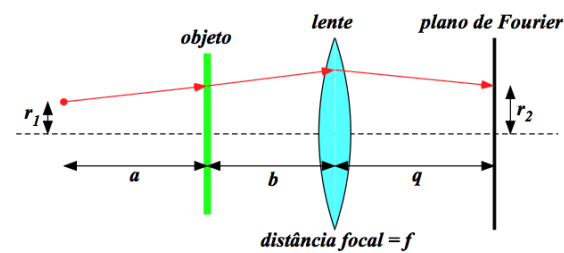
- As diversas ordens ( $m$ ) da figura de difração vão aparecer nas posições dadas por  $r_2$ :

$$r_2 = \left( b + q - \frac{bq}{f} \right) \frac{m\lambda}{d}$$

- Substituindo a expressão para  $f$ , dá:

$$r_2 = \left( \frac{qa}{a+b} \right) \frac{m\lambda}{d}$$

# Caso especial 1



- Se o objeto esta na distância focal, **b=f**

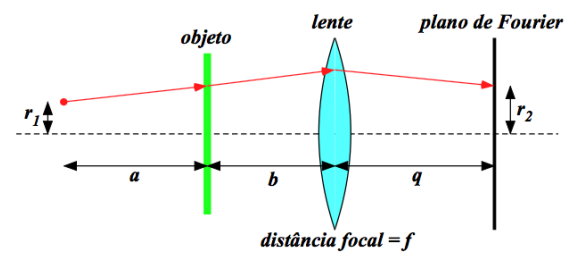
$$r_2 = \left( b + q - \frac{bq}{f} \right) \frac{m\lambda}{d}$$

$$\Rightarrow r_2 = f \frac{m\lambda}{d}$$

Ou seja a escala da figura da transformada de Fourier independe de **a**, e, portanto não muda. Mas a posição do plano ainda depende do valor de **a**, pois:

$$\frac{1}{q} = \frac{1}{f} - \frac{1}{a+f}$$

# Caso especial 2



- Caso a fonte esteja no infinito, o plano de Fourier encontra-se na distância focal da lente e **INDEPENDENTE** da posição do objeto.

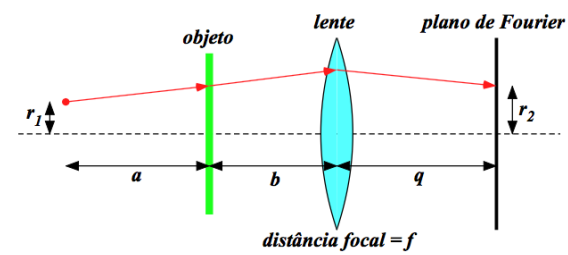
$$\frac{1}{f} = \frac{1}{q} + \frac{1}{a+b}$$

$$a \rightarrow \infty \Rightarrow q = f$$

$$\Rightarrow r_2 = f \frac{m\lambda}{d}$$

Nota: com fonte no infinito e difrator no foco da lente convergente, a transformada de Fourier que se forma no foco imagem é exata. Nos outros casos vão aparecer fases, mas a intensidade não muda.

# Atividades

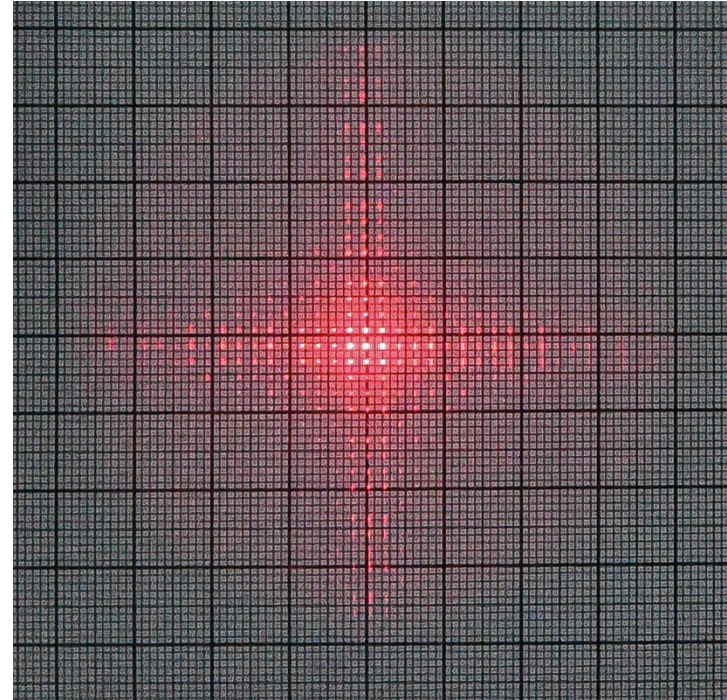


- Vamos verificar:
  - O caso em que a fonte está no infinito (**a=inf**) e o difrator está no foco (**b=q=f**), medir **r<sub>2</sub>** e comparar com a previsão teórica:

$$\Rightarrow r_2 = f \frac{m\lambda}{d}$$



# Dados:

- Esta é a figura com a da transformada de Fourier no plano focal da lente (40cm de distancia focal) obtida no experimento realizado pelo prof. Nelson. Com essa figura podem obter a dimensão da grade.



# Para a nossa AT5

---

  Atividade 5 - Determinação das dimensões de um objeto a Fourier



---

  Resumo da Atividade 5



---

  Vídeo de demonstração da Atividade 5

---

  Imagem para a Atividade 5

---


  Síntese da Atividade 5 do Experimento 2

---

---

  Atividade 3 - Simulação de filtragem como noç

---

  Slides sobre a Atividade 3

---

  Tutorial ImageJ

---

  Vídeo sobre o Computador Óptico

---

Revisão: assistam novamente ao video explicativo da AT3.