



Experimento 3

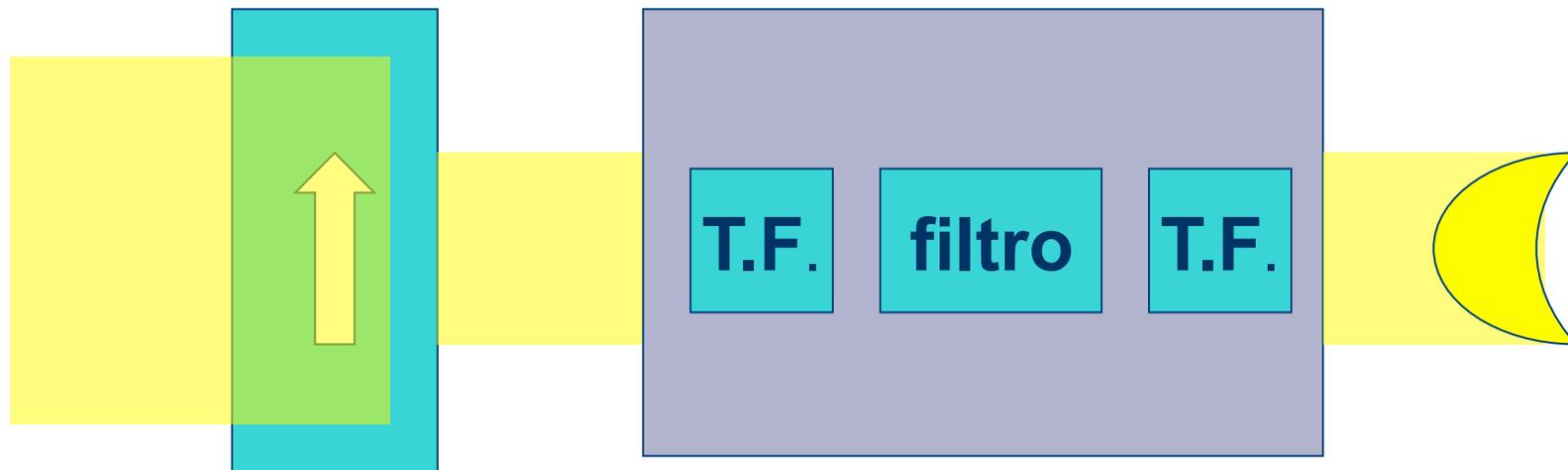
Ótica ondulatória

Experiência IV

Computador óptico

- Objetivos – Estudar processamento de imagens em ótica
 - Análise de Fourier bi-dimensional
 - Processamento de imagens

Computador óptico



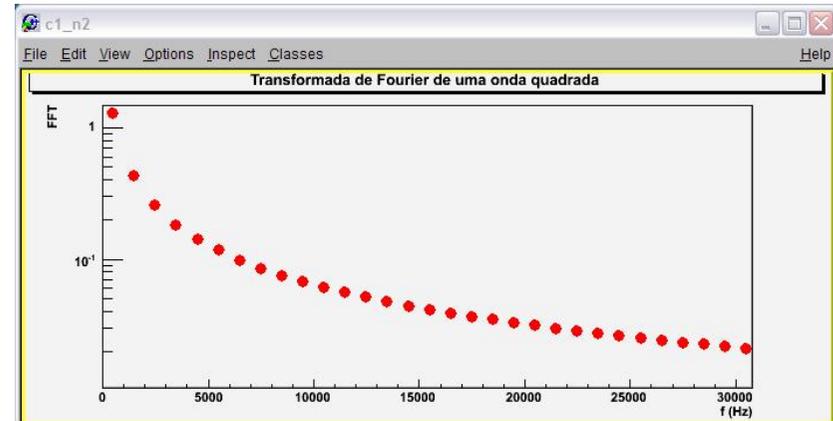
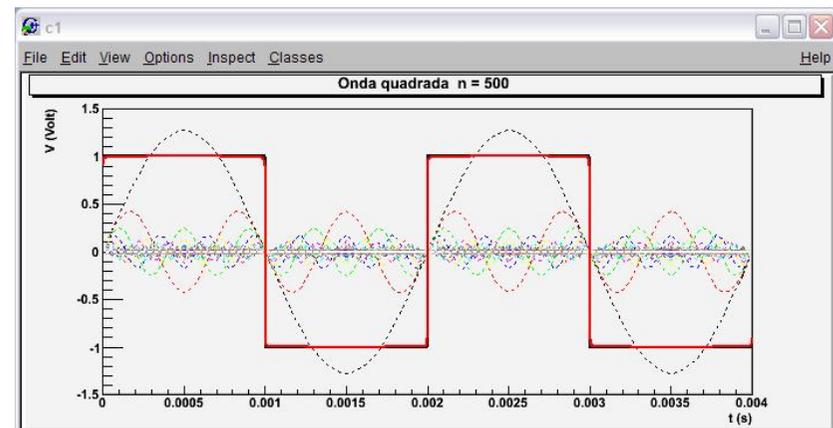
O Que precisamos fazer para contruir este sistema?

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

- No caso unidimensional, a transformada de Fourier de uma função é:

$$y(\omega) = \int_{-\infty}^{+\infty} x(t)e^{-j\omega t} dt$$

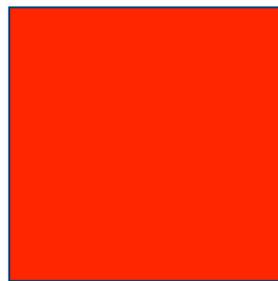
- O gráfico de transformada de Fourier mostra a amplitude (y) para cada frequência que compõe o sinal unidimensional



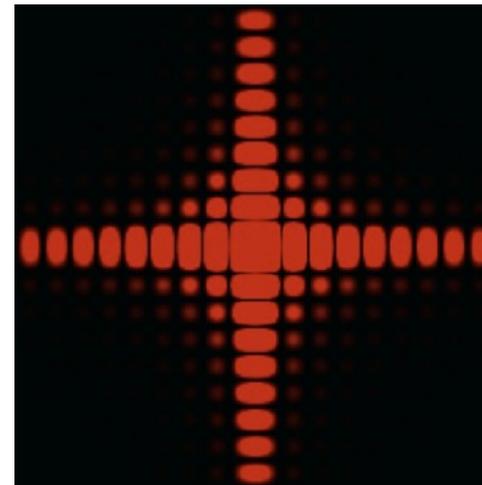
Difração e transformada de Fourier

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

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

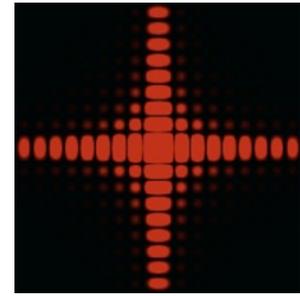
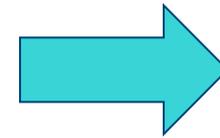
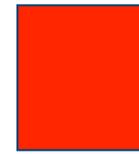


Objeto



Difração

Freqüências espaciais



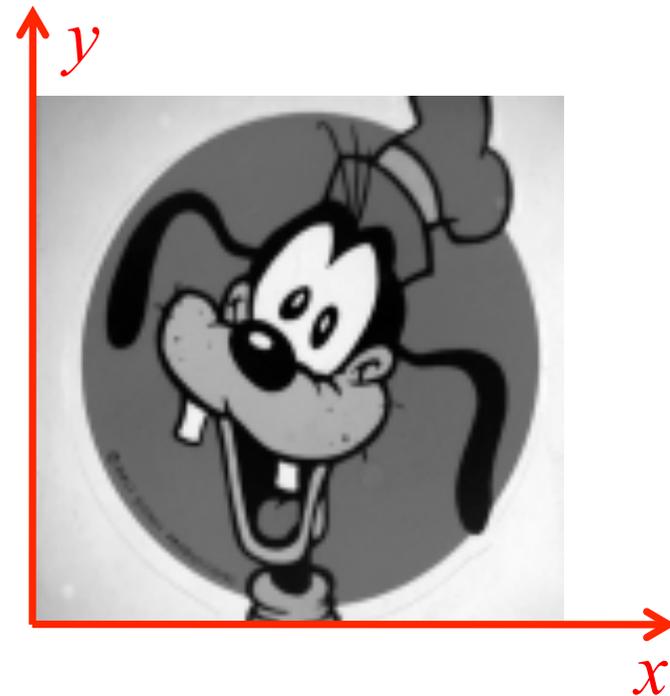
- A intensidade luminosa em uma dada posição está relacionada às intensidades para cada freqüência espacial

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

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

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 $I(x,y)$

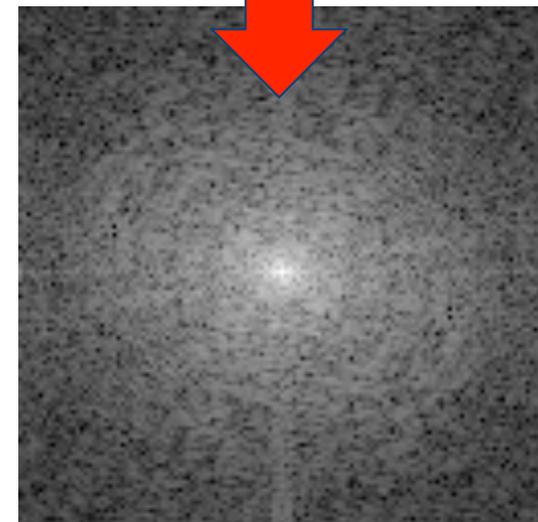
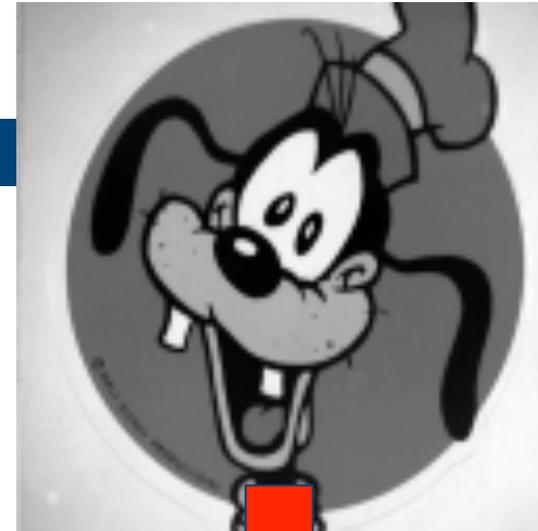


Transformada de Fourier (F.T.) de uma imagem

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

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

- 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 c_{nm} .

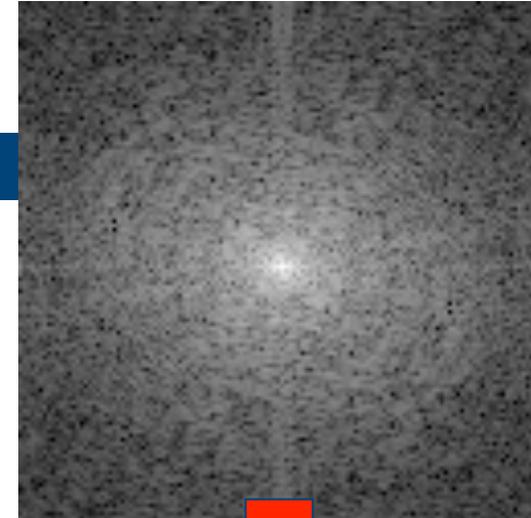


Transformada inversa de Fourier

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

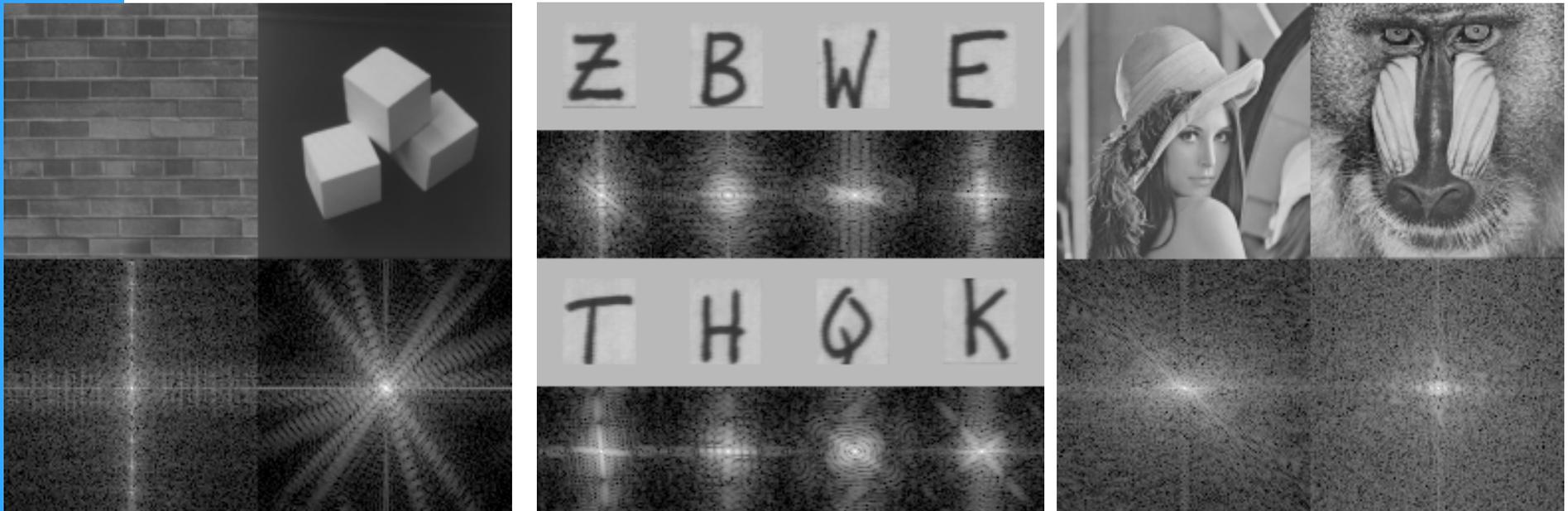
$$I(x, y) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} \sum_{m=-\infty}^{\infty} c_{nm} e^{j(nx+my)}$$

- 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).



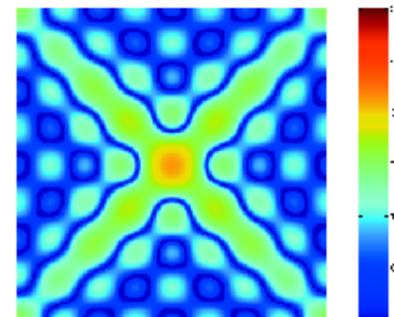
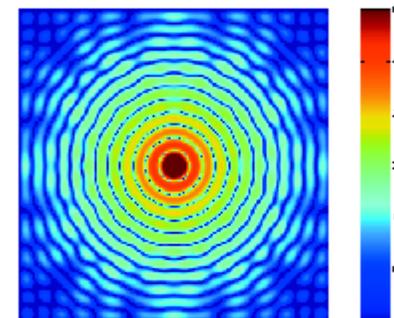
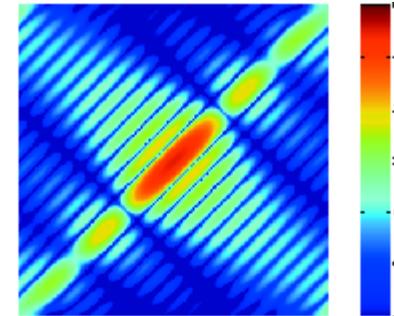
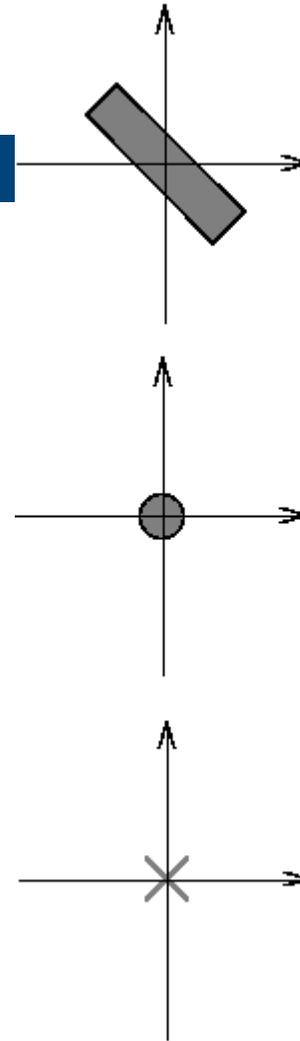
Algumas transformadas de Fourier

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



Padrões possuem estruturas evidentes

- Em uma foto, em geral, há padrões bem definidos que aparecem de forma clara na T.F.
- Dependendo da imagem, é mais fácil remover o padrão da T.F. do que da própria foto.

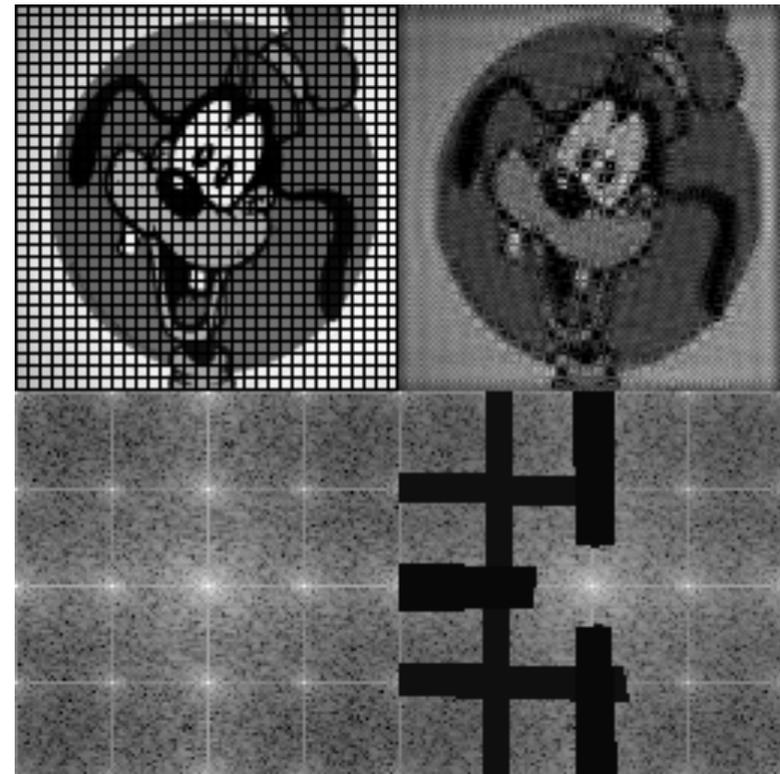


O uso de transformadas de Fourier como método de edição de imagens

- 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 frequência muito bem definida, sendo bem localizada na F.T.
 - Remoção de padrões
 - Por exemplo, uma cerca pode ter um padrão de frequências bem definidas.
 - Filtros de efeitos especiais
 - A remoção de algumas frequências pode criar efeitos interessantes

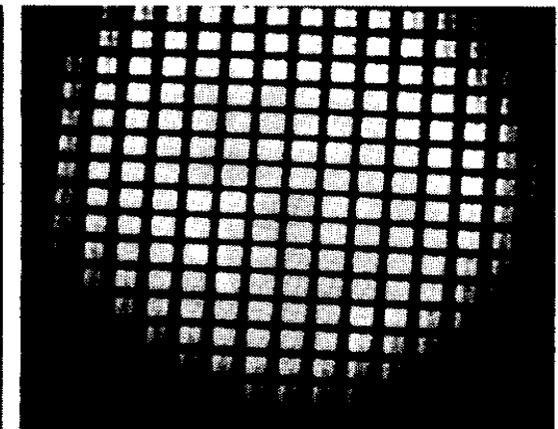
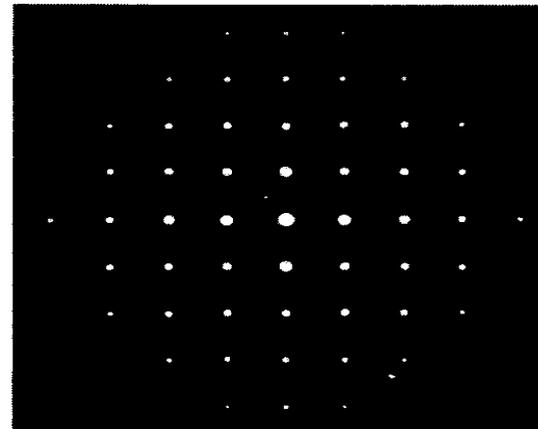
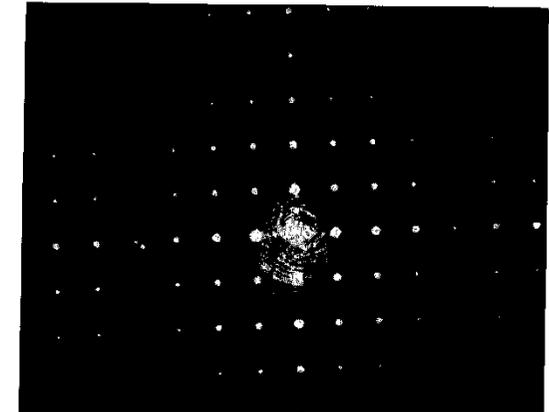
Alguns exemplos:

- 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



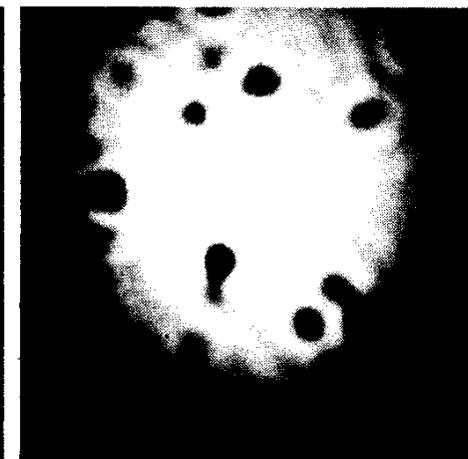
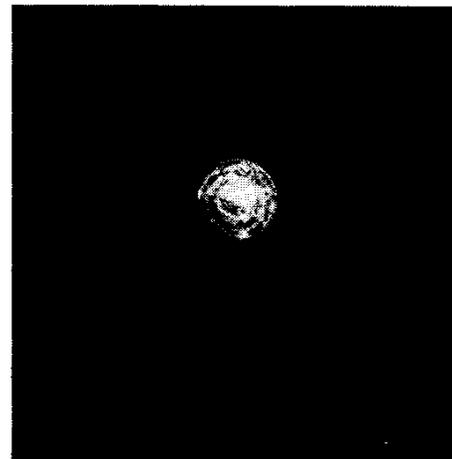
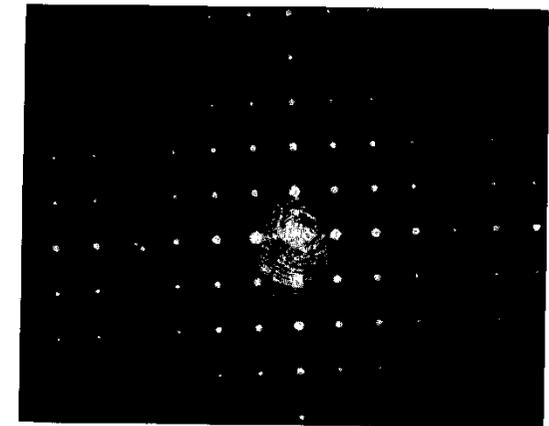
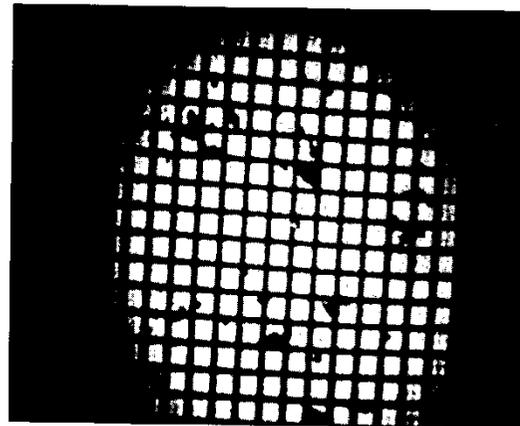
Um outro exemplo: impurezas em uma grade

- Grade com sujeiras
- Filtro para observar somente a grade



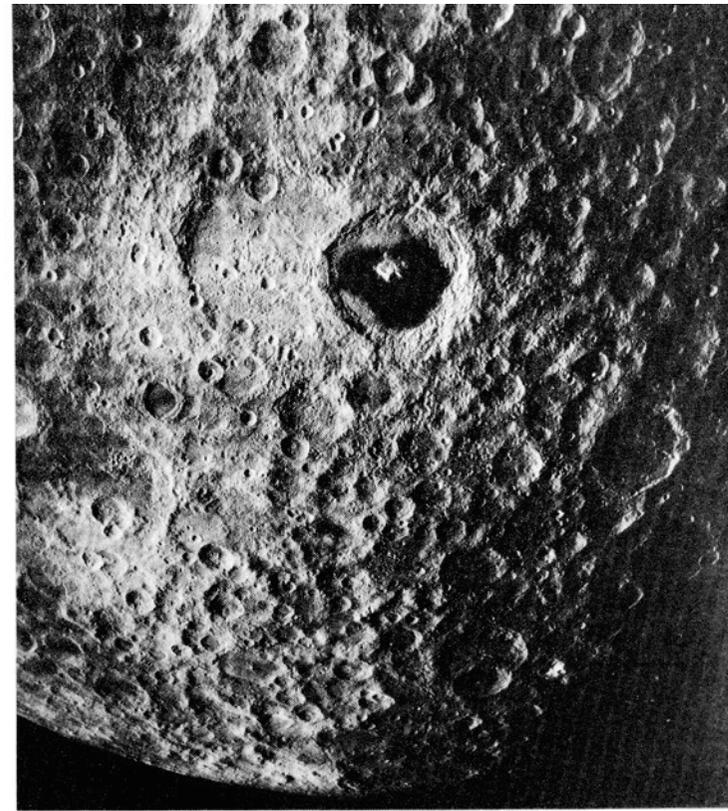
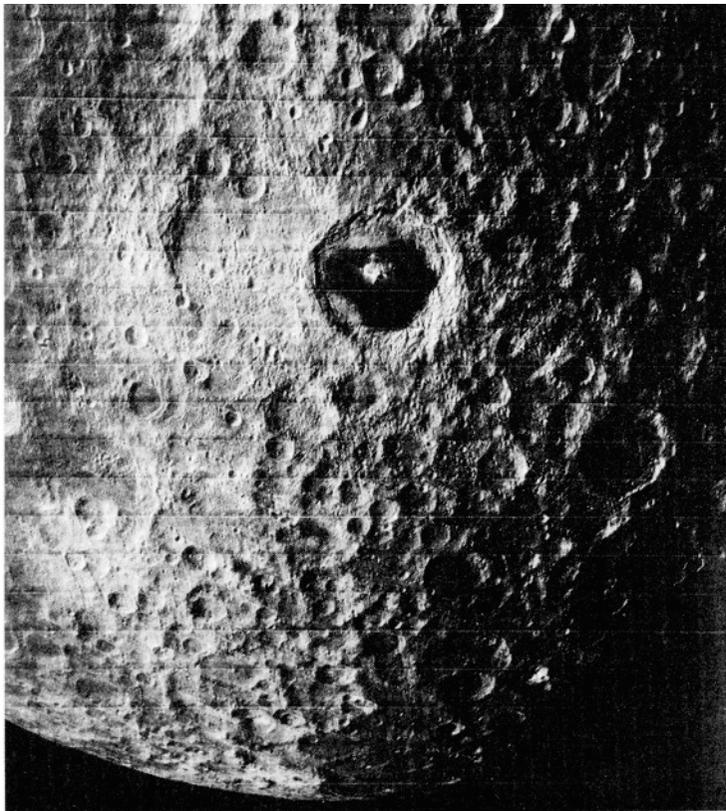
Um outro exemplo: impurezas em uma grade

- Grade com sujeiras
- Filtro para observar somente a grade
- Filtro para observar somente a sujeira



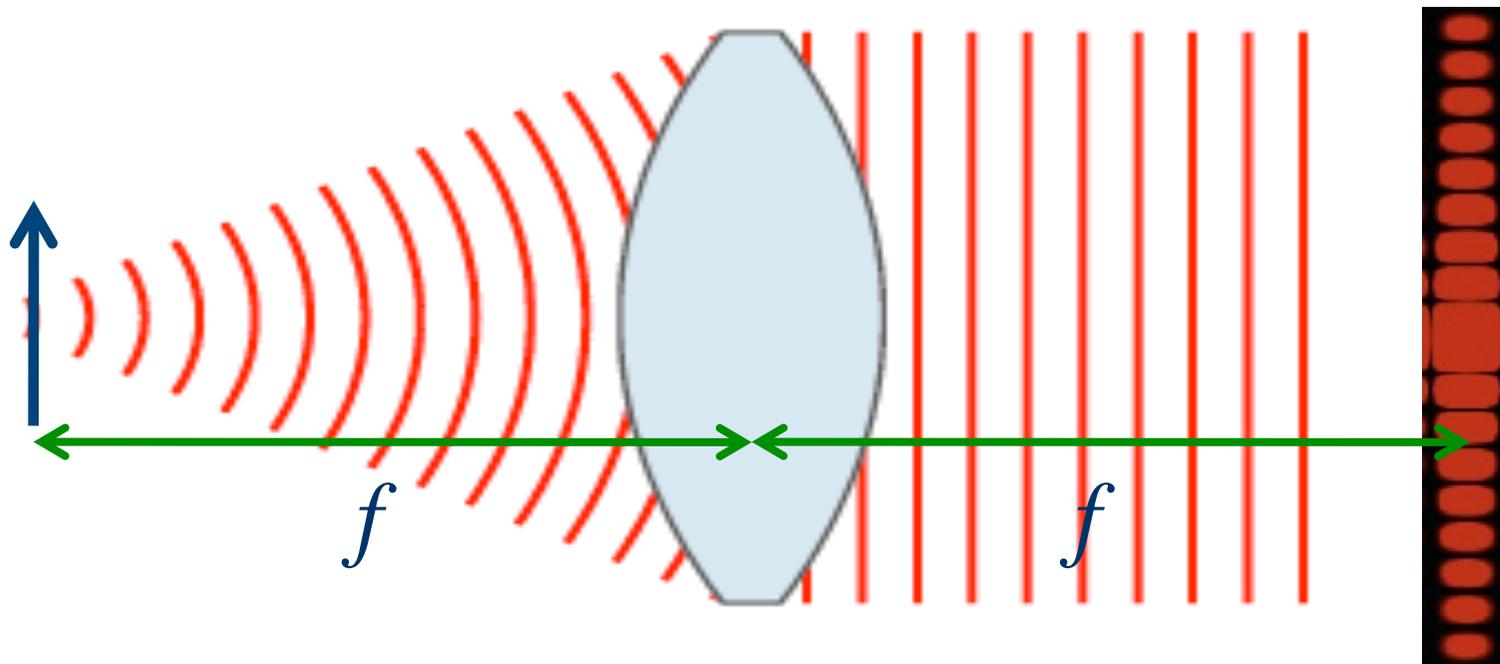
Aperfeiçoamento de imagens

- Foto da lua antes e depois de filtragem



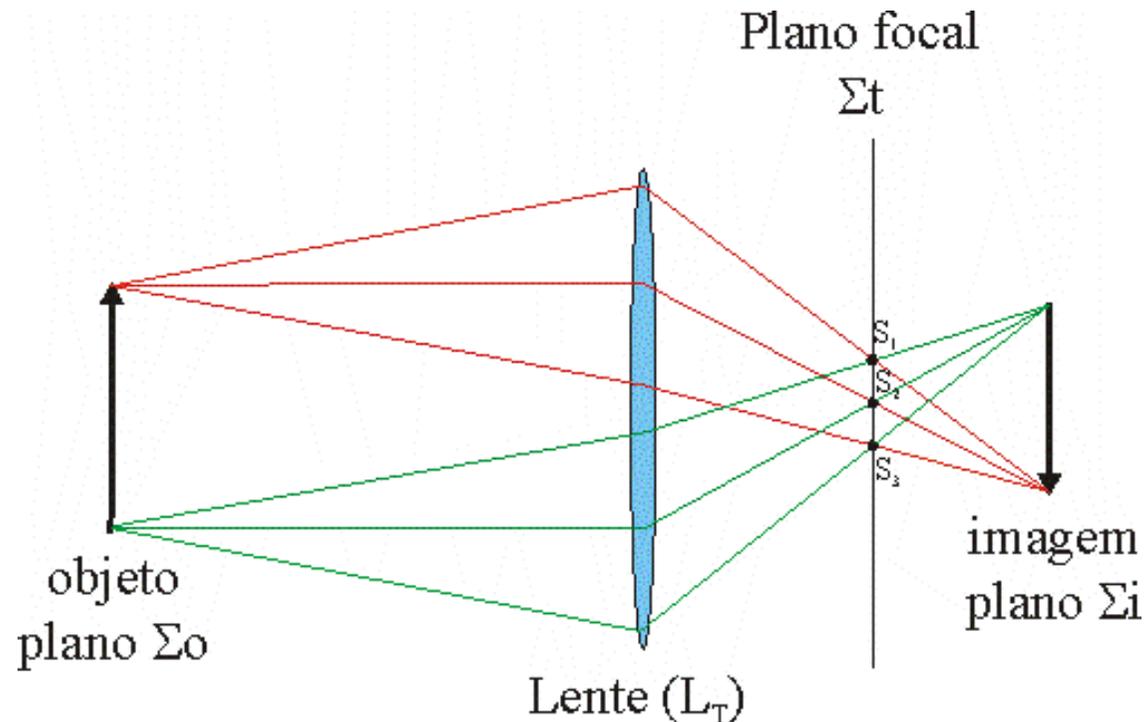
Lente no formalismo de Fourier

- No formalismo de Fourier, estudamos 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.



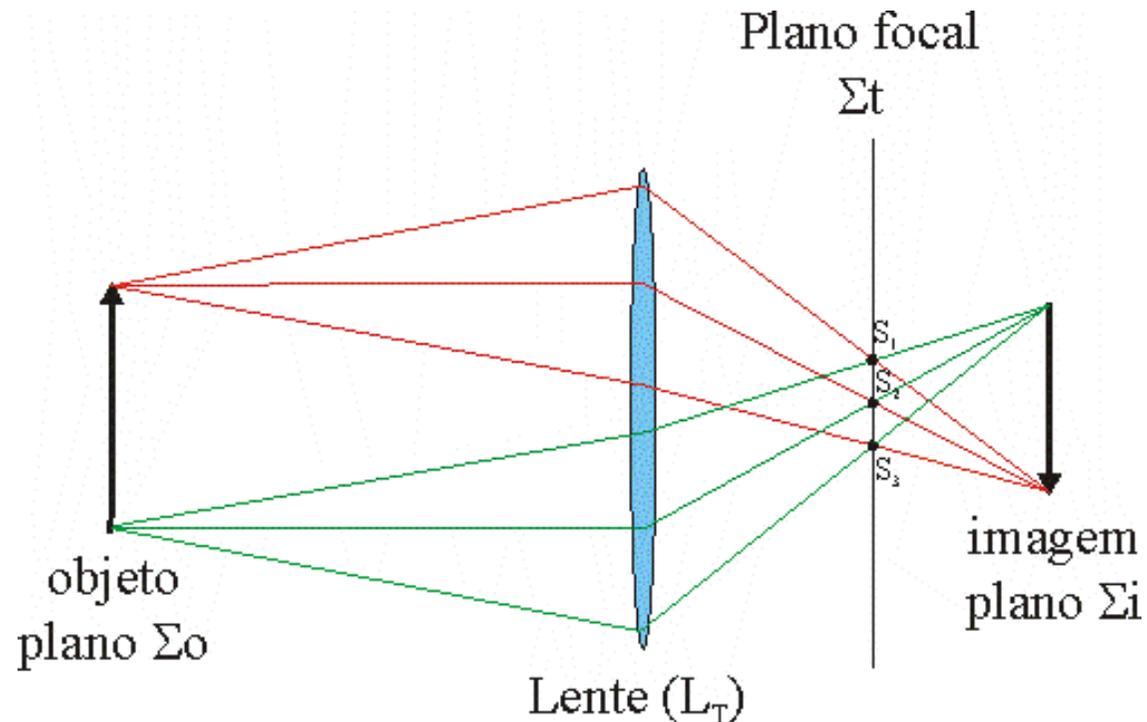
Princípios do computador óptico: Formação da imagem de uma lente

- Seja a imagem formada por uma lente simples. Definimos três planos, conforme a figura abaixo:



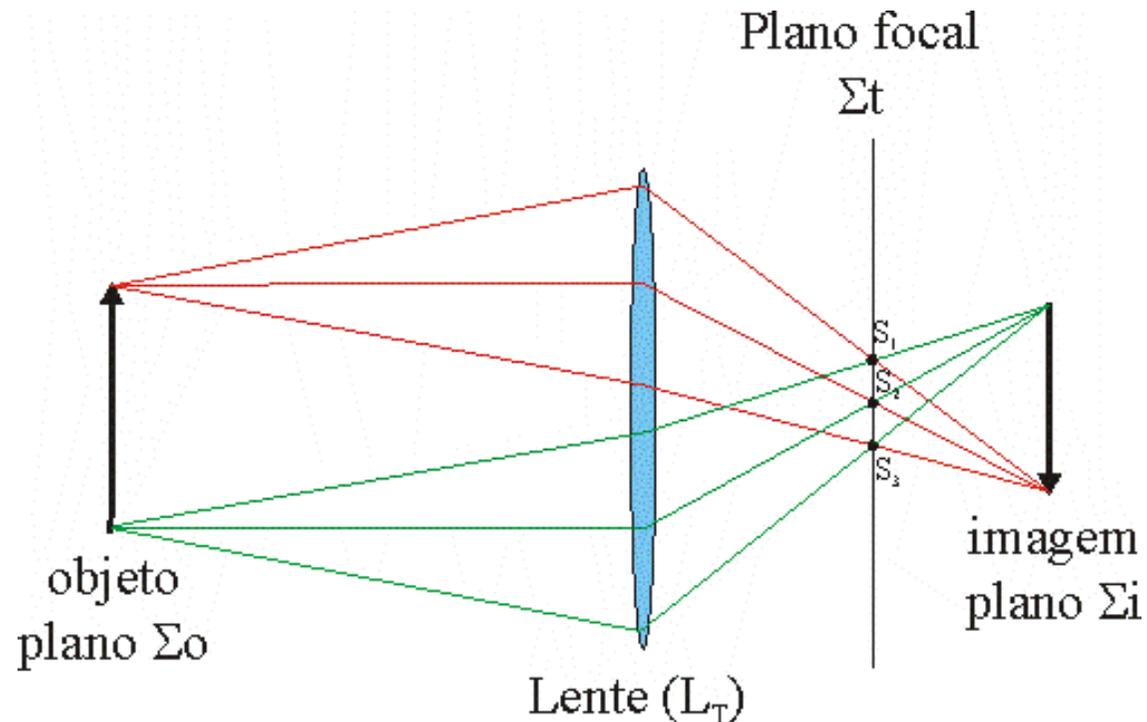
Princípios do computador óptico: Formação da imagem de uma lente

- Se imaginarmos cada ponto (S_i) como uma fonte esférica pontual, então a imagem formada no plano Σ_i corresponde à interferência de todas as fontes S_i .



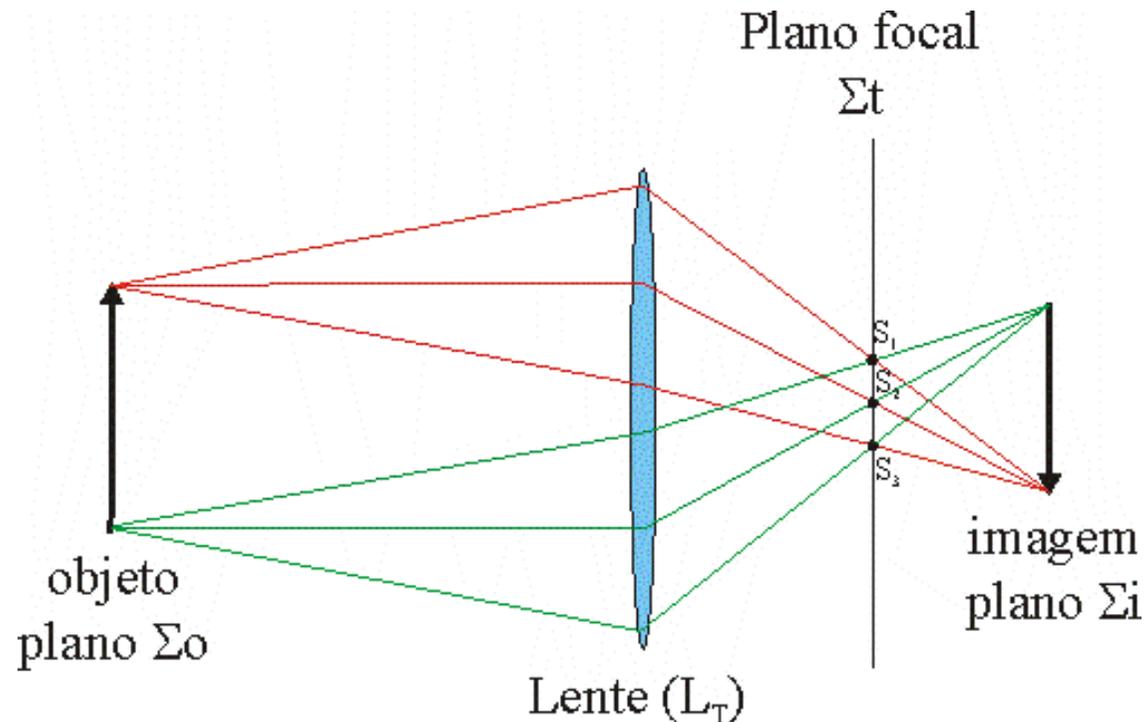
Princípios do computador óptico: Formação da imagem de uma lente

- Como a figura de interferência corresponde à F.T. então a imagem no plano Σ_i corresponde à F.T. da figura no plano focal Σ_t .



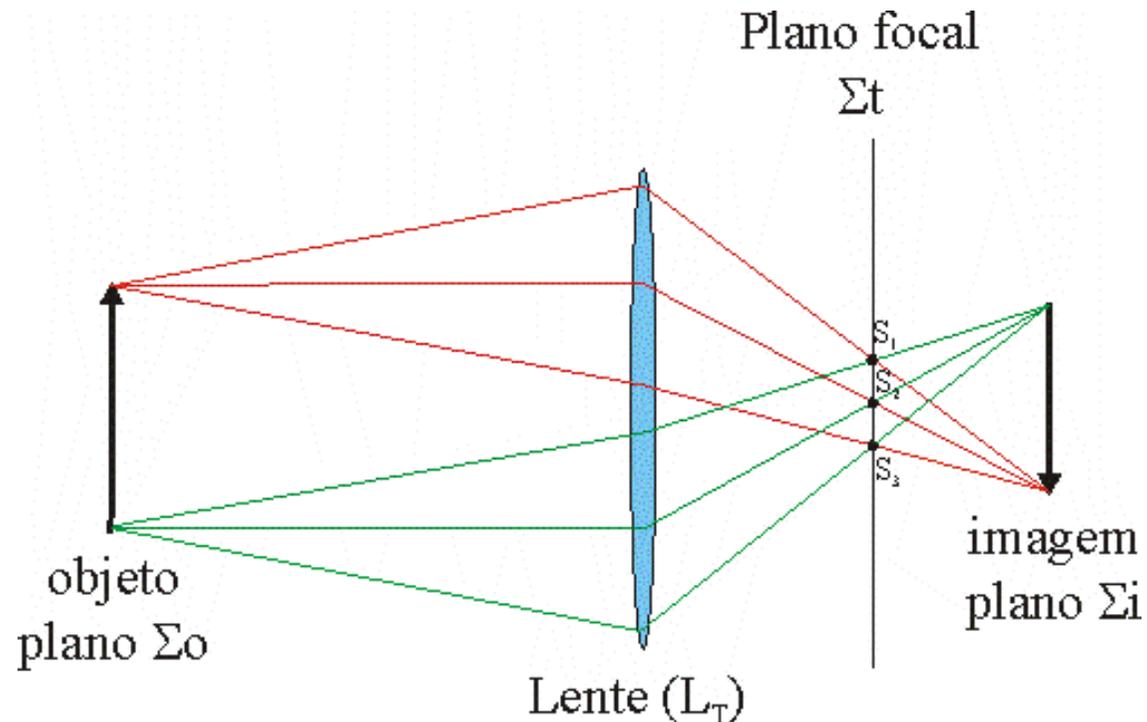
Princípios do computador óptico: Formação da imagem de uma lente

- Como a imagem no plano Σ_i tem a mesma forma do objeto no plano Σ_o , então a figura no plano Σ_t tem que ser a F.T. do objeto no plano Σ_o .



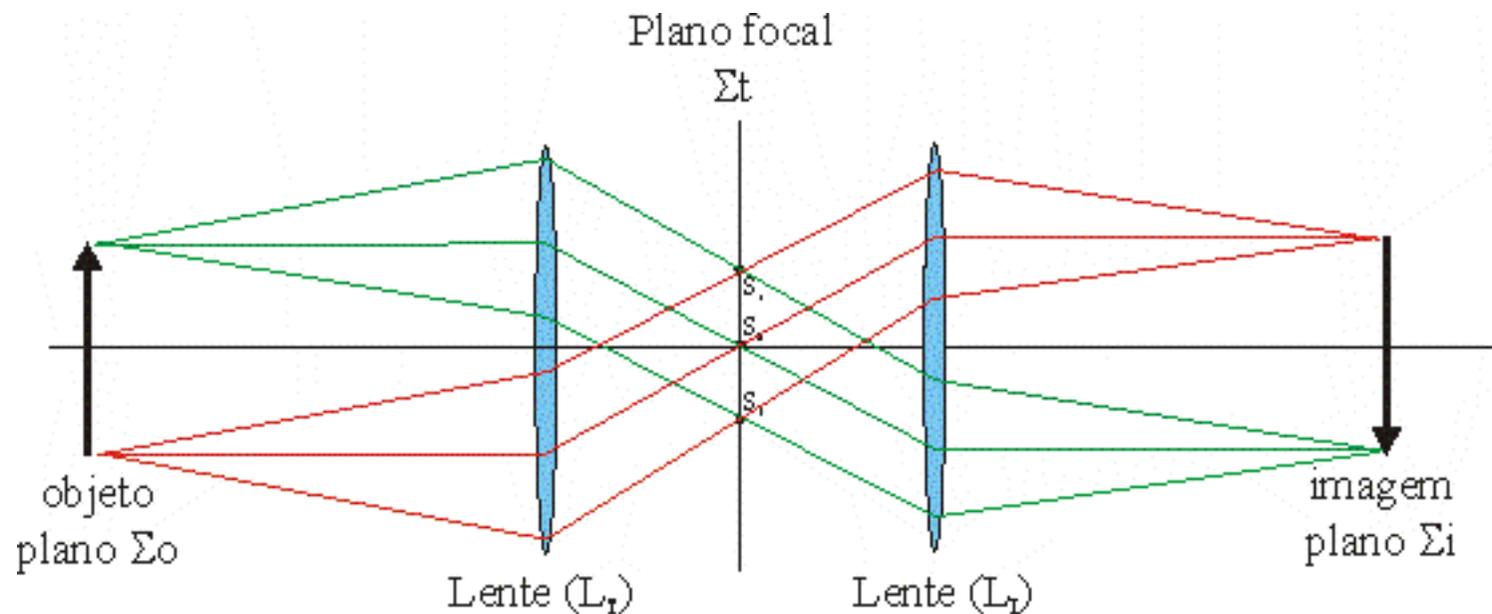
Princípios do computador óptico: Formação da imagem de uma lente

- Assim, em uma lente convergente, a figura formada no plano Σ_t é sempre a F.T. do objeto (invertida).
- Pode-se utilizar isso para construção de um computador óptico.

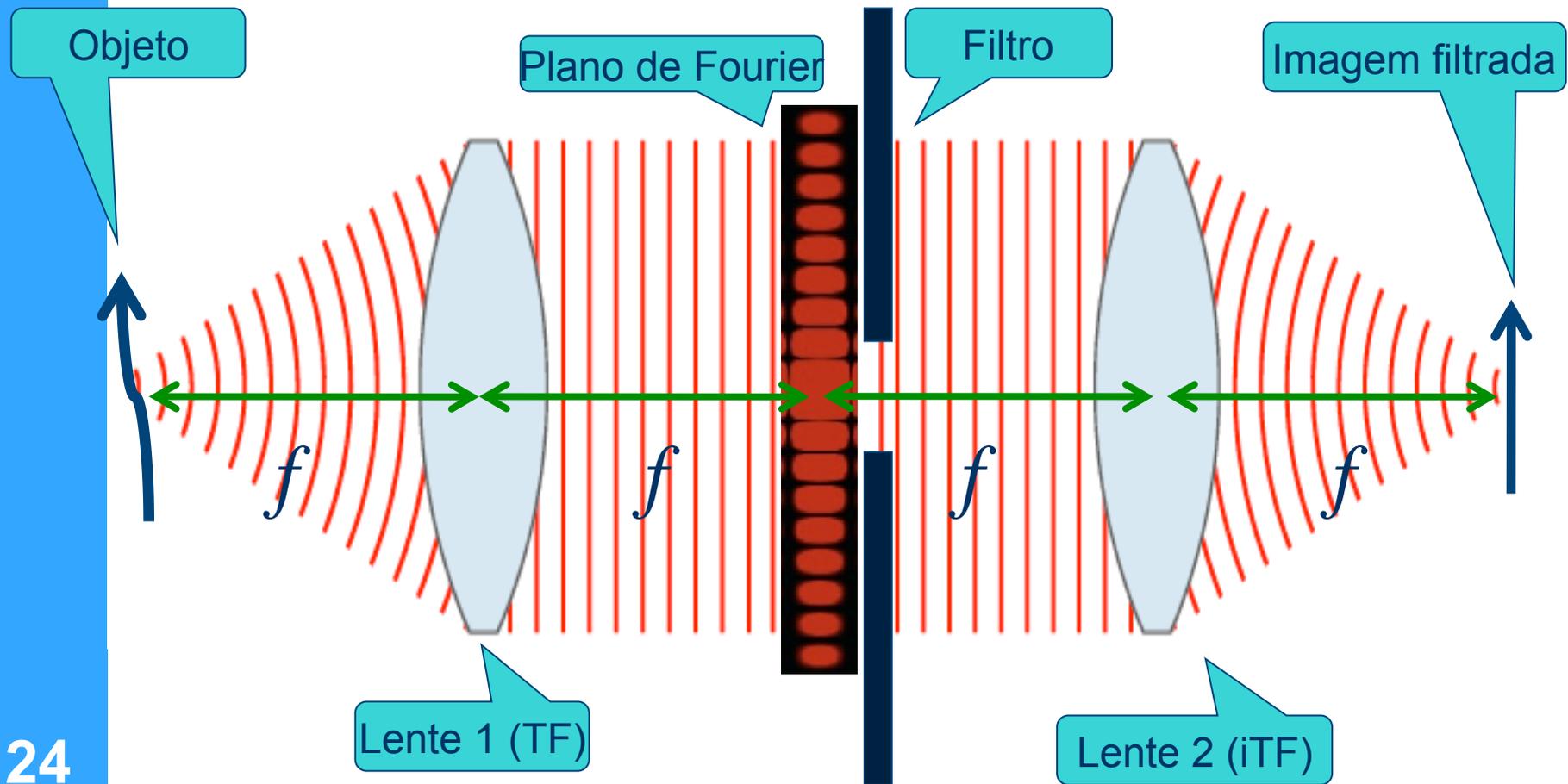


O computador óptico

- O computador óptico tradicional consiste de duas lentes posicionadas em pontos estratégicos
 - A segunda lente serve apenas para fazer uma imagem mais próxima.
 - No nosso caso, vamos fazer com somente uma lente, por simplicidade

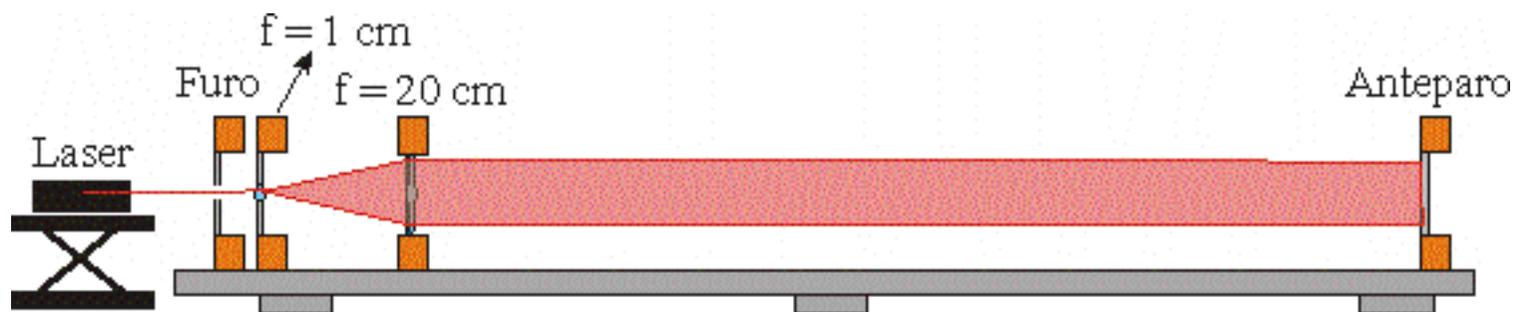


Computador óptico



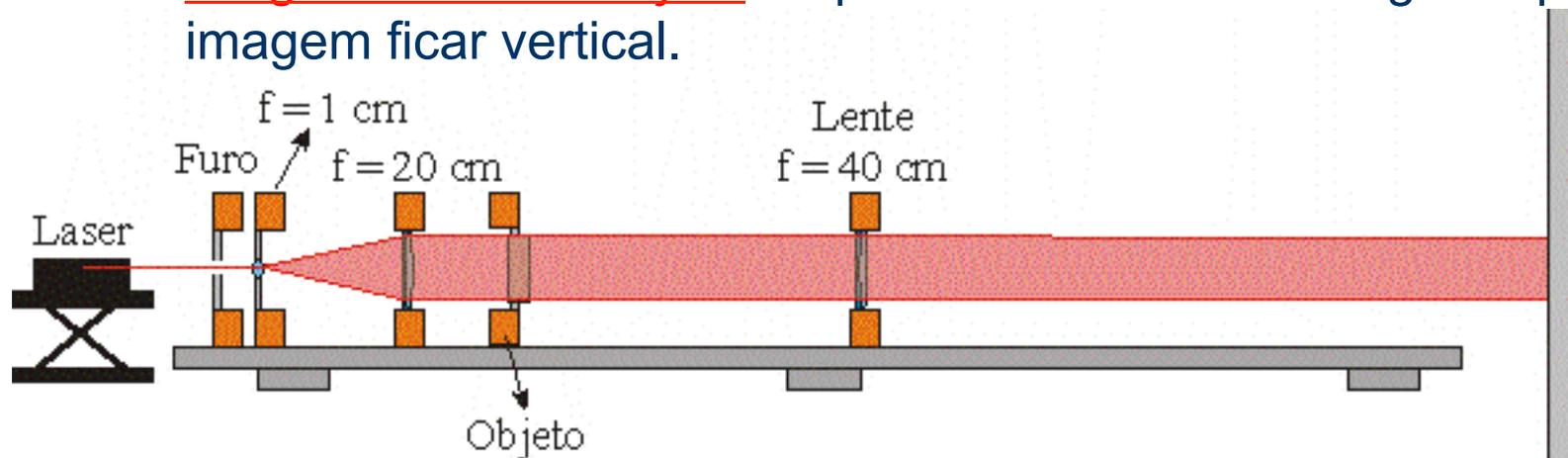
Construção de um computador óptico

- Alargar o laser para poder incidir na imagem
 - Usar a lente de $f = 1 \text{ cm}$ e $f = 20 \text{ cm}$
 - Aumento do laser = $20/1 = 20$ vezes
 - O que acontece se o laser tiver divergência? Qual deve ser a separação entre as lentes para fazer um feixe sem divergência?



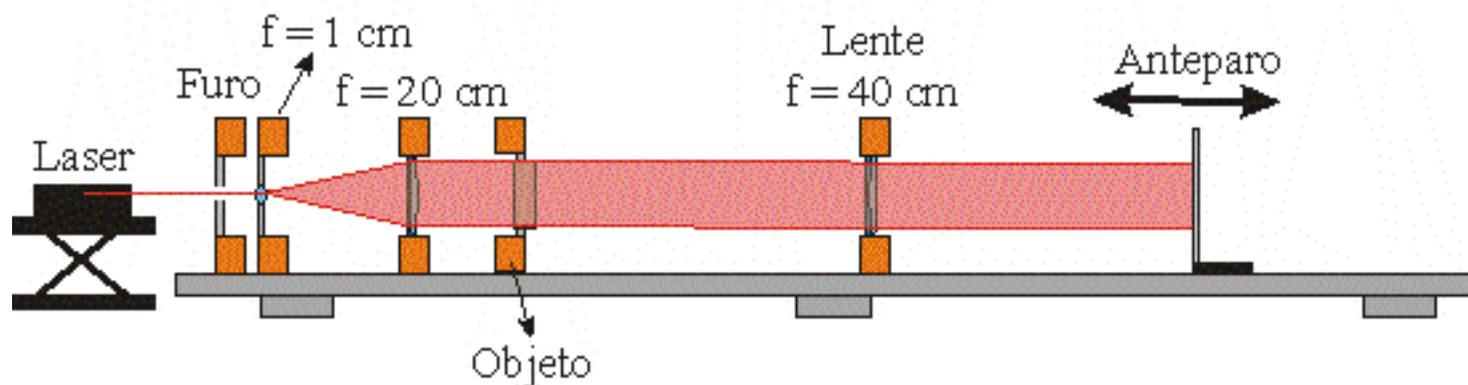
Construção de um computador óptico

- Montar o computador óptico
 - Colocar o objeto (no caso, a grade) na posição vertical.
 - Colocar a lente de $f = 40$ cm na posição correta em relação ao objeto
 - Retirar o anteparo e ajustar a posição da lente até formar uma imagem nítida do objeto na parede da sala. Girar a grade para a imagem ficar vertical.



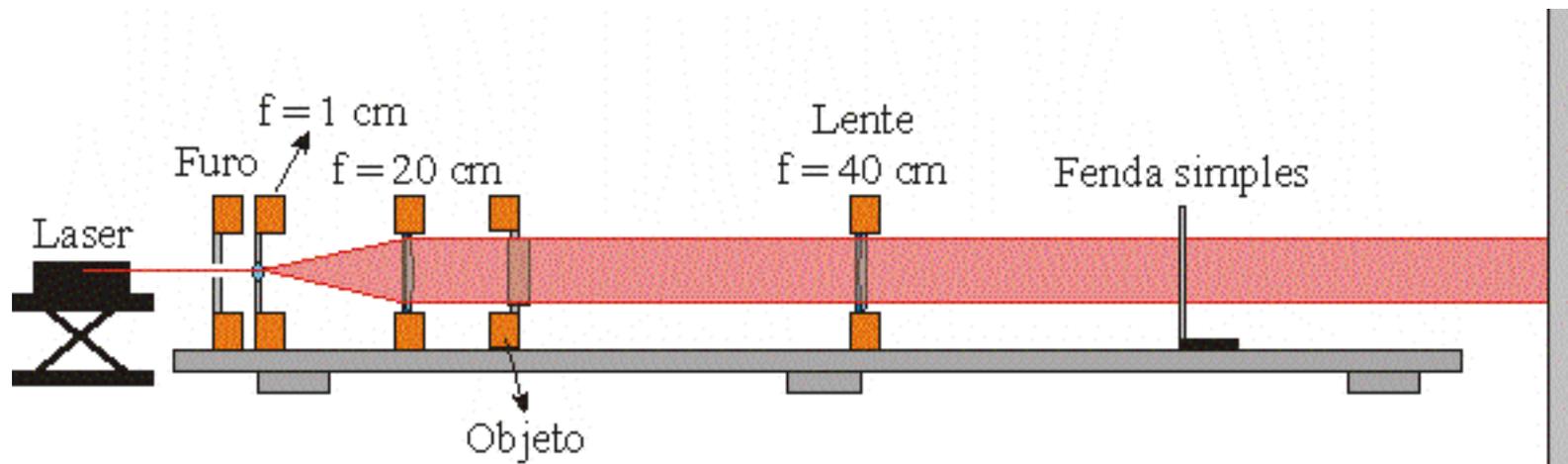
Construção de um computador óptico

- Procurar o plano da transformada de Fourier
 - Com um segundo anteparo procurar a posição da transformada de Fourier. CUIDADO com alinhamento.
 - Deve estar próxima a distância focal nominal da lente
 - Anotar a posição deste ponto.
 - Tirar uma foto da transformada de Fourier.



Construção de um computador óptico

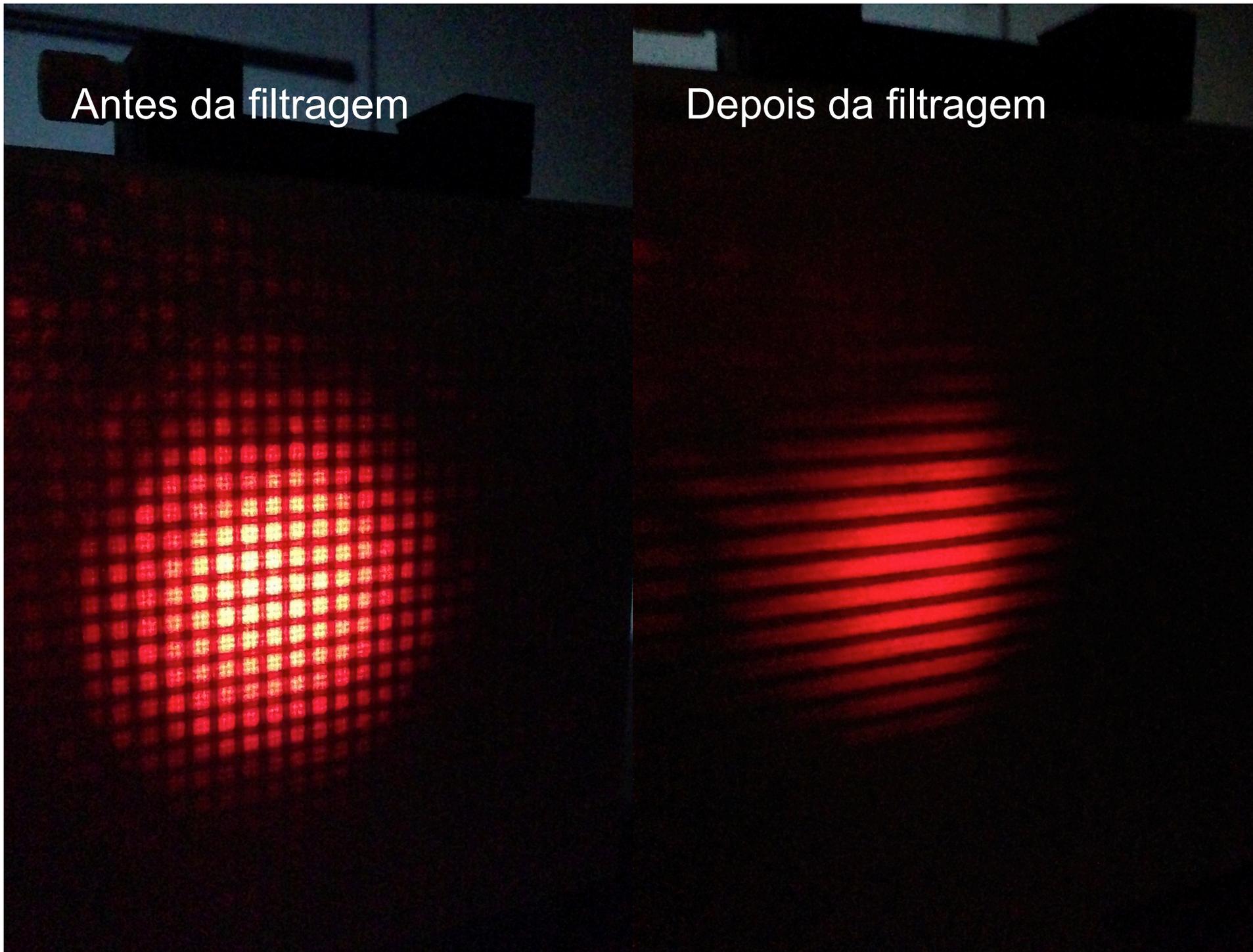
- Fazer a filtragem da imagem
 - Remover as linhas verticais da grade
 - Substituir este anteparo pela filtro escolhido.
 - Fotografar a imagem formada na parede e discutir os resultados.





Antes da filtragem

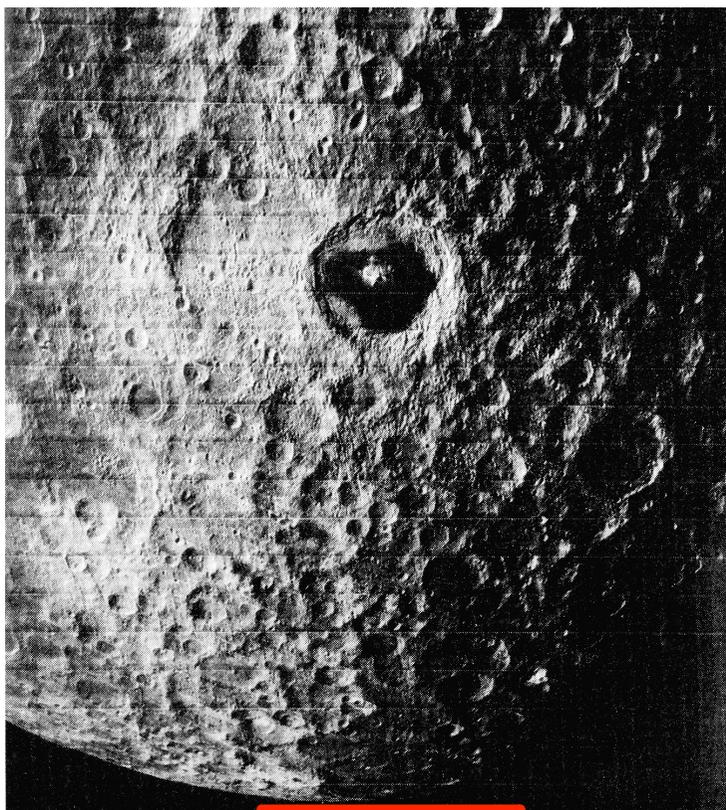
Depois da filtragem



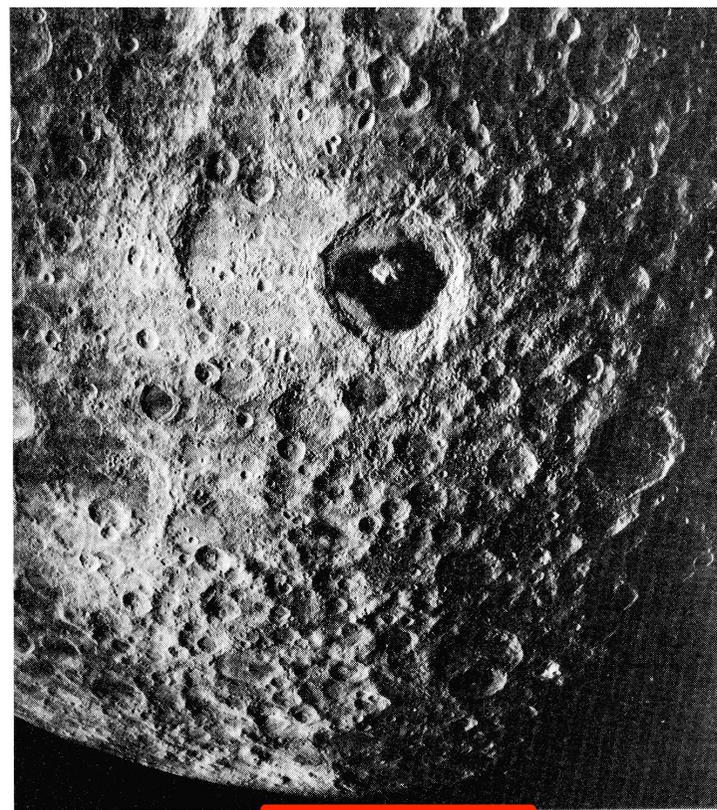
Processamento de imagens com análise de Fourier

- Processamento de imagens com imageJ
 - ImageJ pode ser baixado gratuitamente do endereço:
 - <http://rsbweb.nih.gov/ij/>
 - Olhe os tutoriais, em especial:
 - Para filtragem de imagens:
 - <http://rsbweb.nih.gov/ij/docs/examples/FFT/index.html>
 - Para medir dimensões através de uma transformada de Fourier:
 - <http://rsbweb.nih.gov/ij/docs/examples/tem/index.html>
- Todas as figuras no site da disciplina

Lua – remoção de artefatos na foto

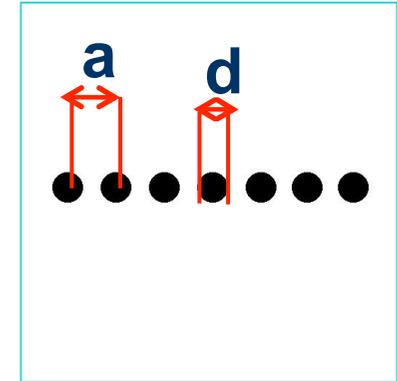


Antes



Depois

Bolinhas



- Encontre a transformada de Fourier dos vários conjuntos de bolinhas.
- Identifique essas dimensões nas respectivas transformadas de Fourier.
- Calcule os valores de a e d, através das transformadas e compare com os medidos diretamente nas figuras.
 - Lembre-se da relação entre frequências e dimensões em uma figura de difração.

A transformada DO Fourier

- Aplique filtros de forma a suavizar o quadriculado no paletó do Fourier



Avisos importantes

- Semana que vem começa o projeto
 - 9/6 a 27/6 → período para execução
- Apresentação do pôster e entrega do relatório
 - Semana de 30/6 a 4/7
 - Pôster deve ser apresentado na terça-feira desta semana, dia 1/7
 - Impressão na semana anterior
 - Detalhes serão enviados por email mais a frente