

Hi, Dr. Elizabeth?  
Yeah, uh... I accidentally took  
the Fourier transform of my cat...



Grupo A14

# Experiência II

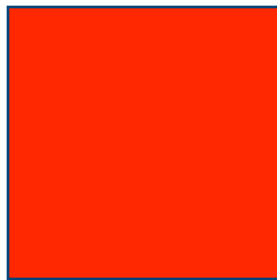
## Óptica Geométrica e Física

- 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

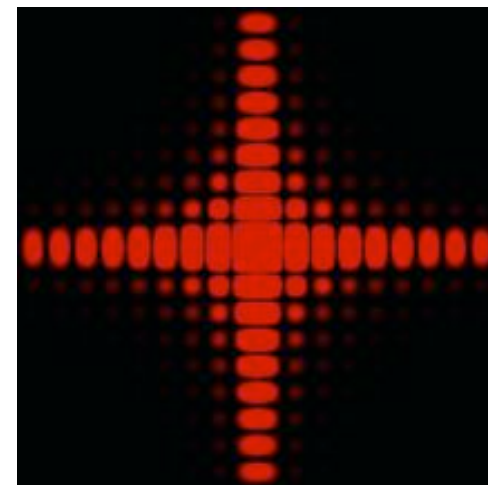
# Difração e transformada de Fourier

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

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



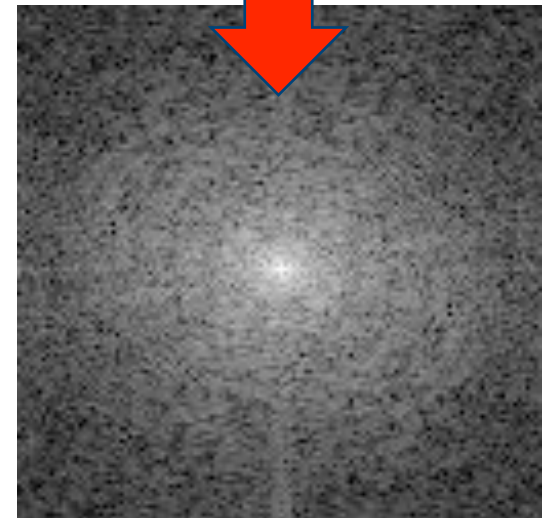
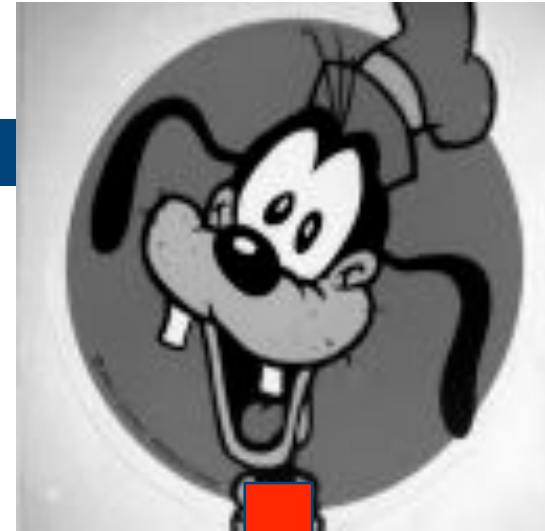
Objeto



Difração

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

- No caso bi-dimensional, basta decompor em duas freqüências, uma para cada dimensão da imagem
- Neste caso, ao invés de fazer

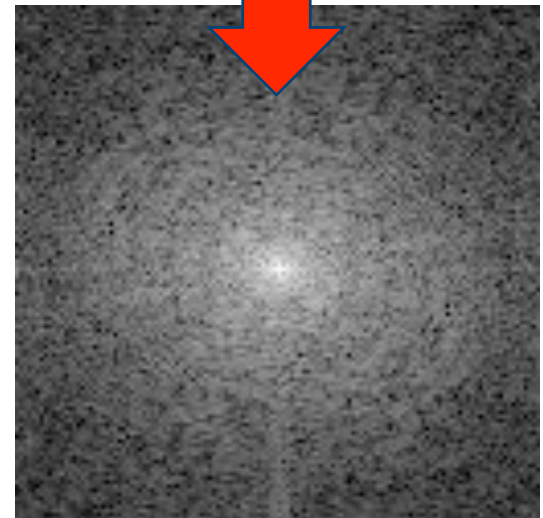


# Transformada de Fourier (F.T.) de uma imagem

- 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

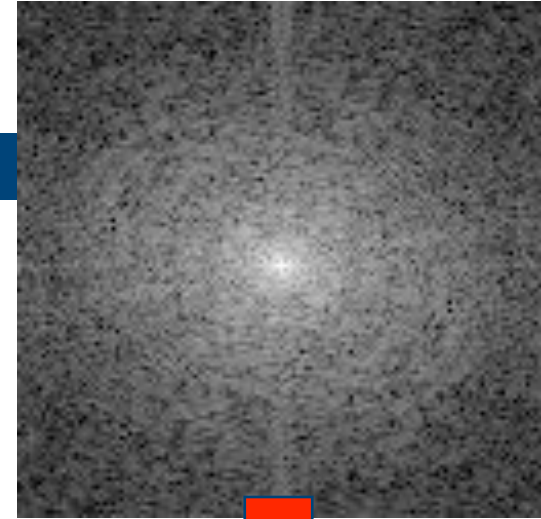


# Transformada inversa de Fourier

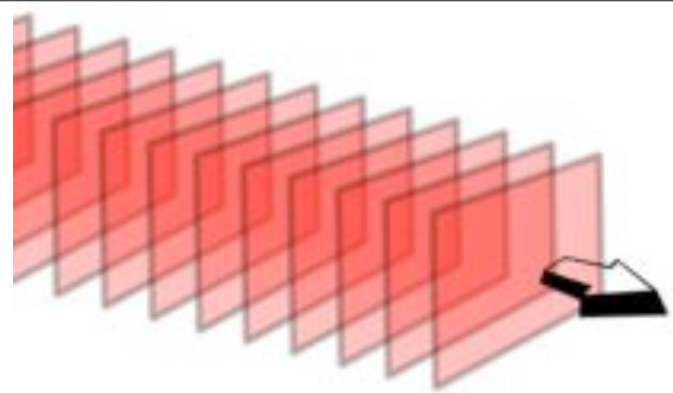
- Se eu conheço  $c_{nm}$  eu posso recuperar a informação de intensidade espacial através de

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

- Isto é chamado transformada inversa de Fourier e nada mais é que a transformada da



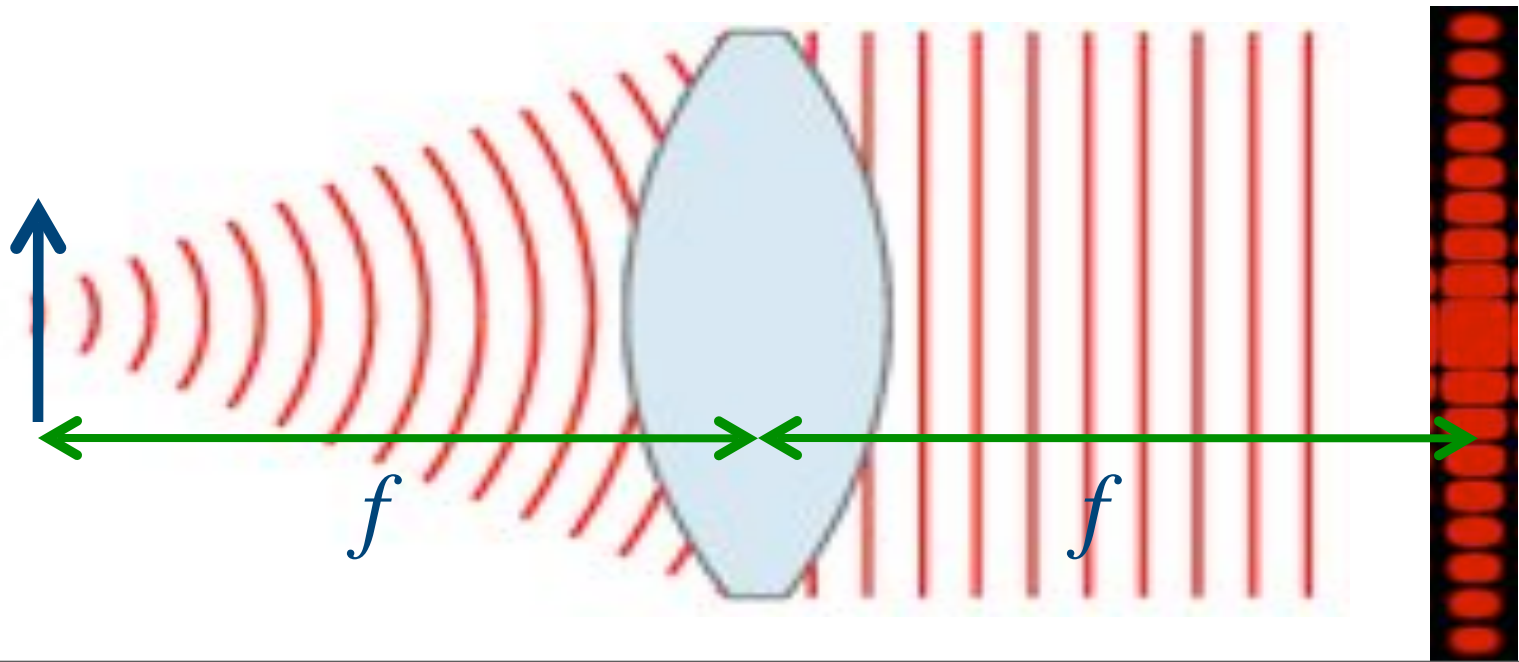
# Óptica de Fourier



- 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.

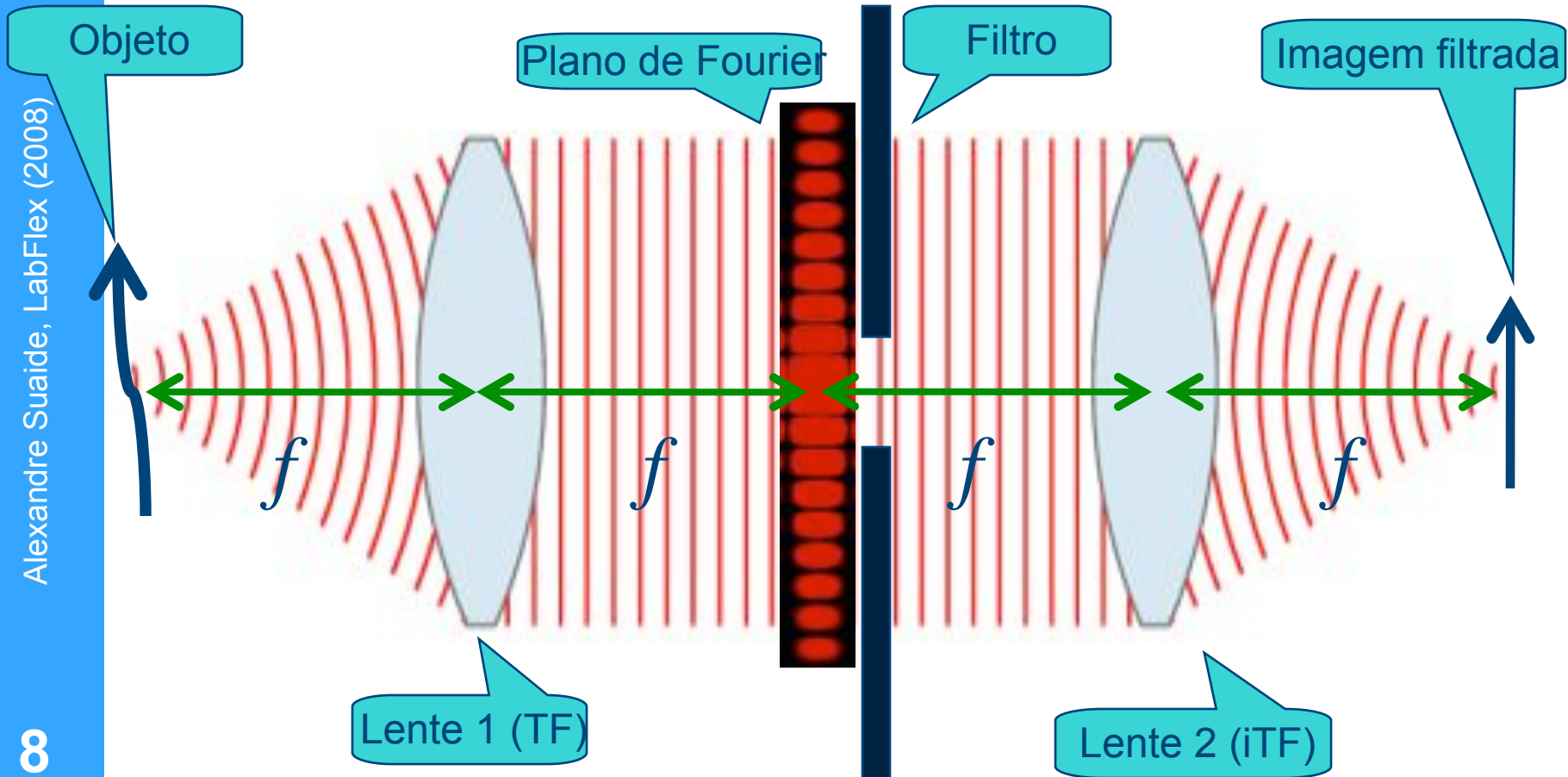
# Lente no formalismo de Fourier

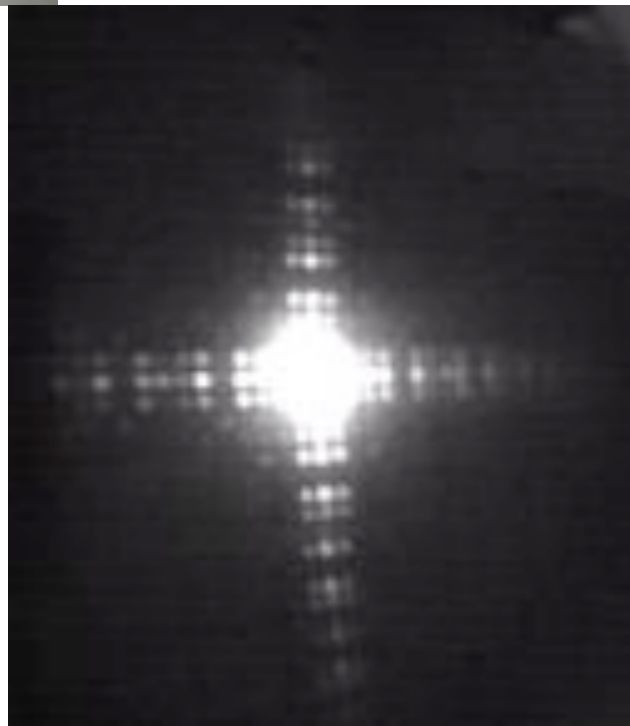
- No formalismo de Fourier, pode-se demonstrar (ver Hecht, cap. 10) que, colocando um objeto no plano focal de uma lente, a figura no plano focal corresponde à transformada de Fourier (figura de difração) do objeto.





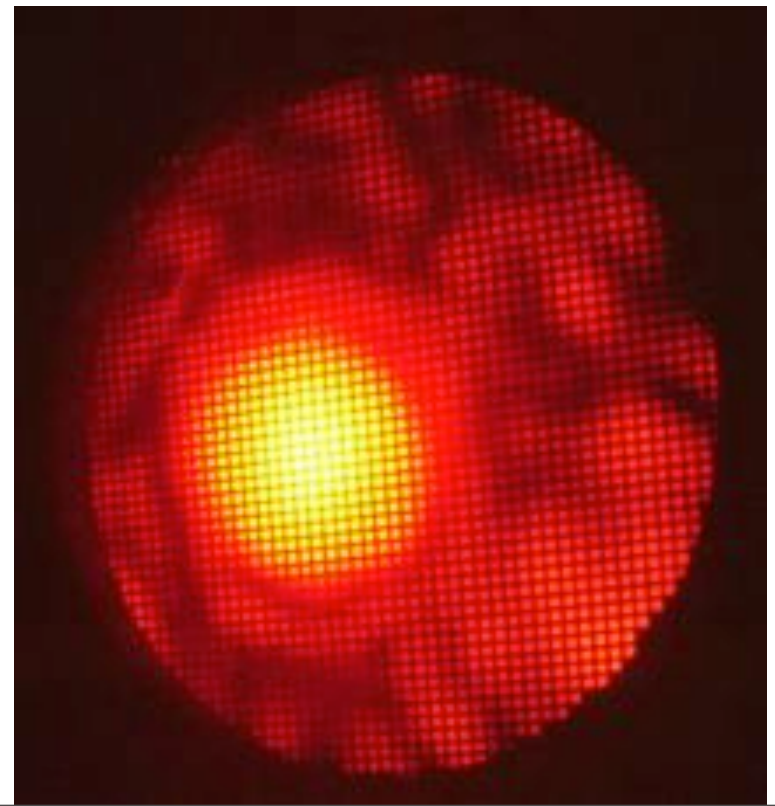
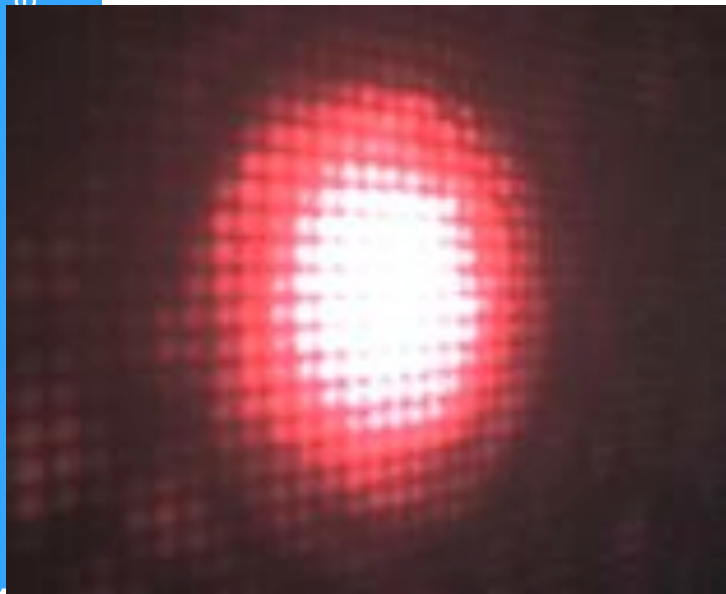
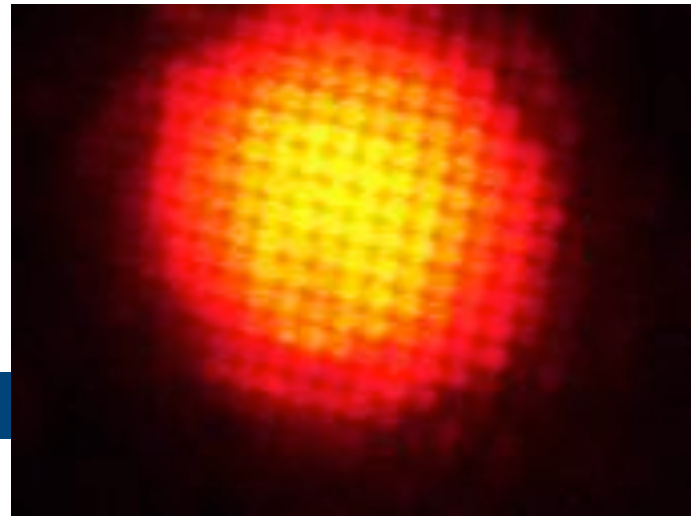
# Computador óptico





2

9



ex (2



Dados



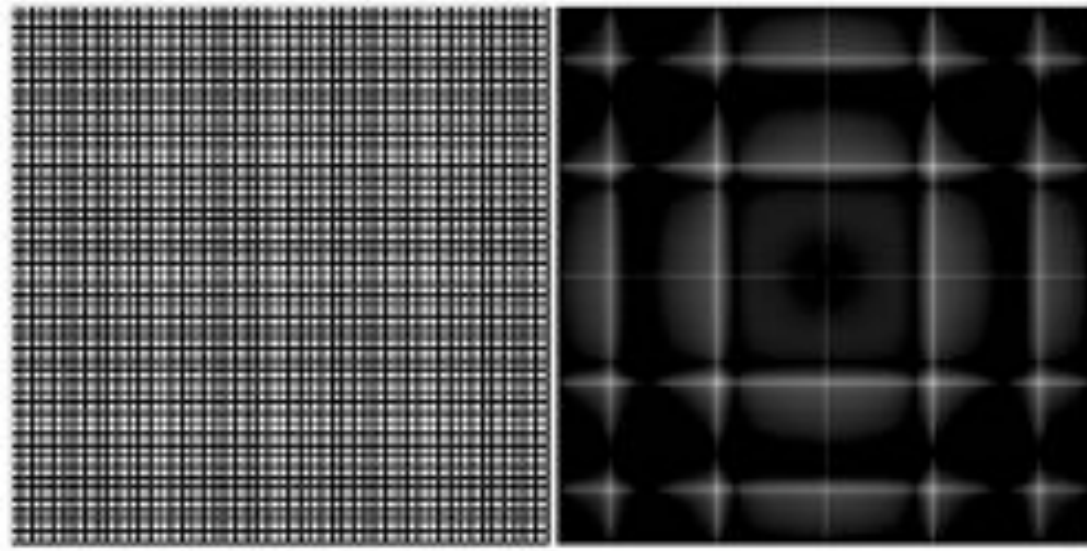
Algumas simulações:

Alexandre Suaide, LabFlex (2008)

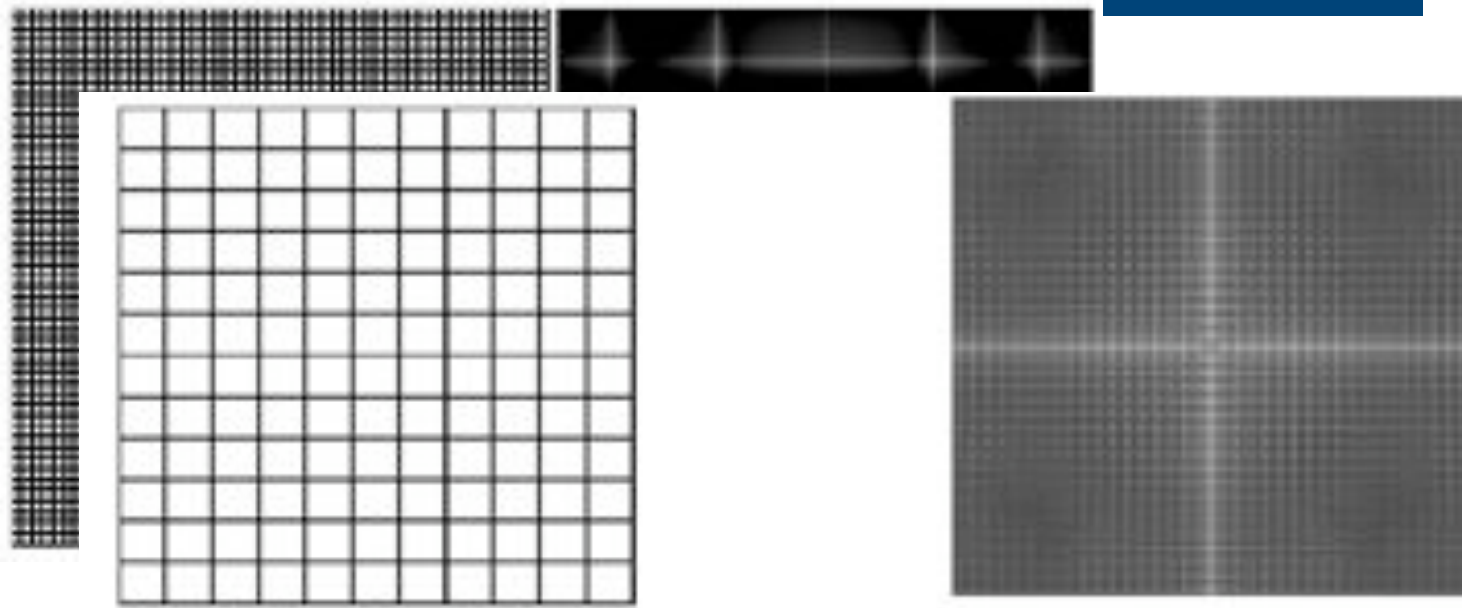
Dados



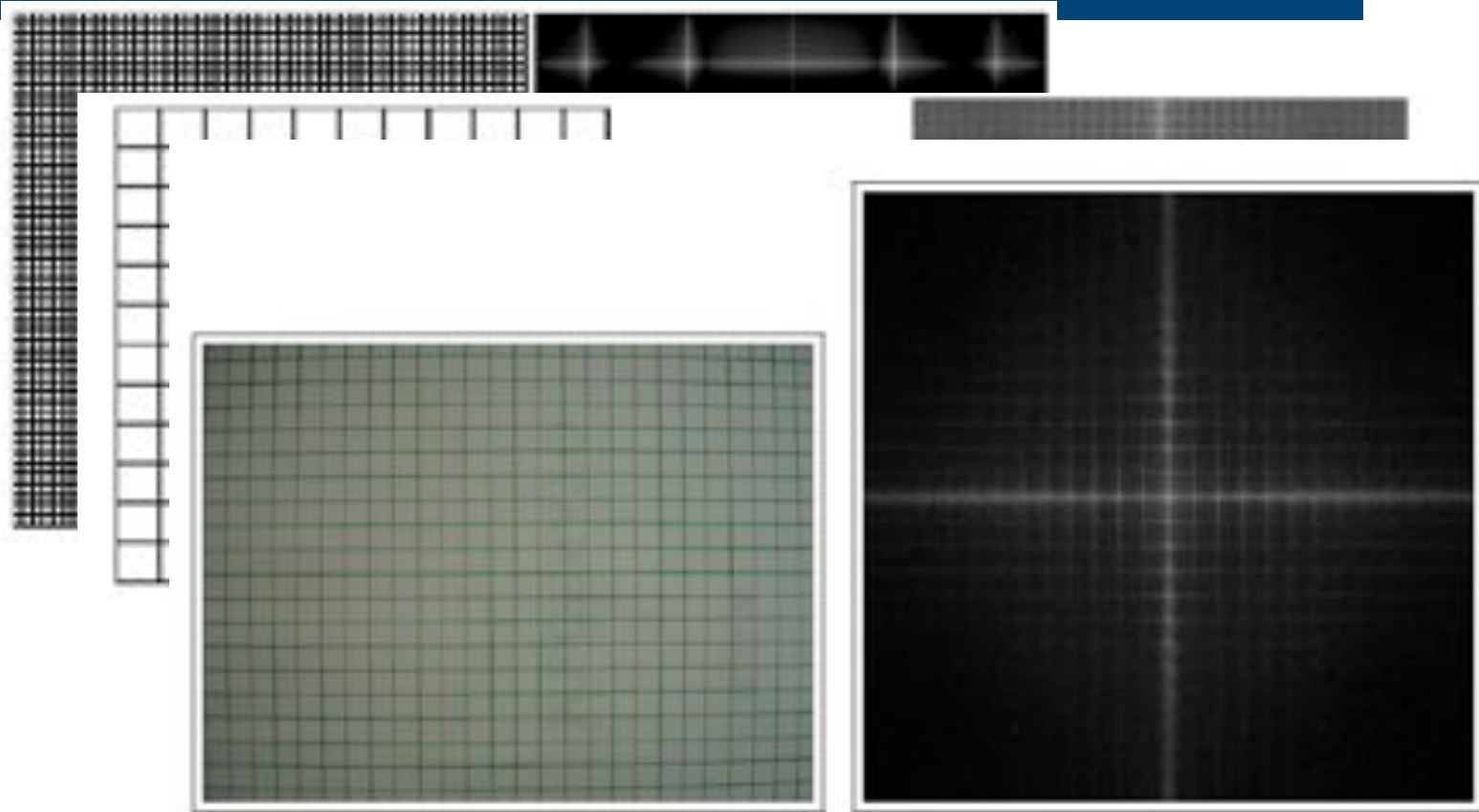
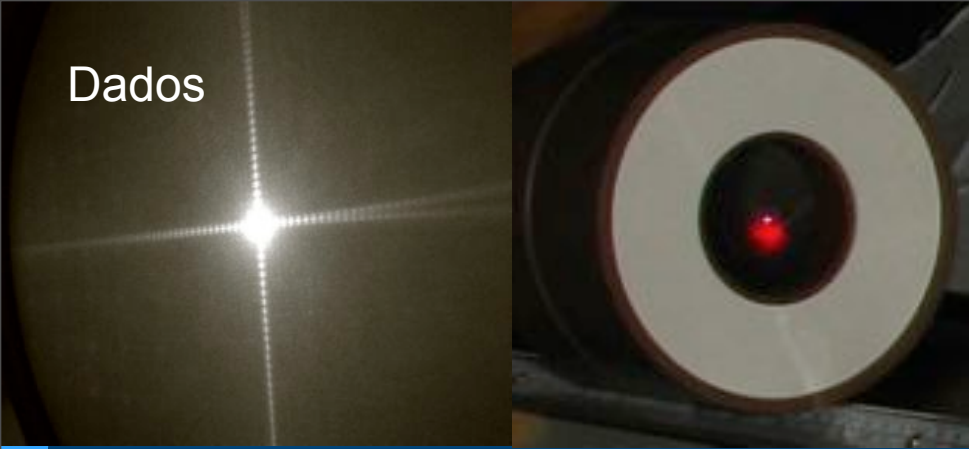
Alexandre Suaide, LabFlex (2008)



Dados



Dados

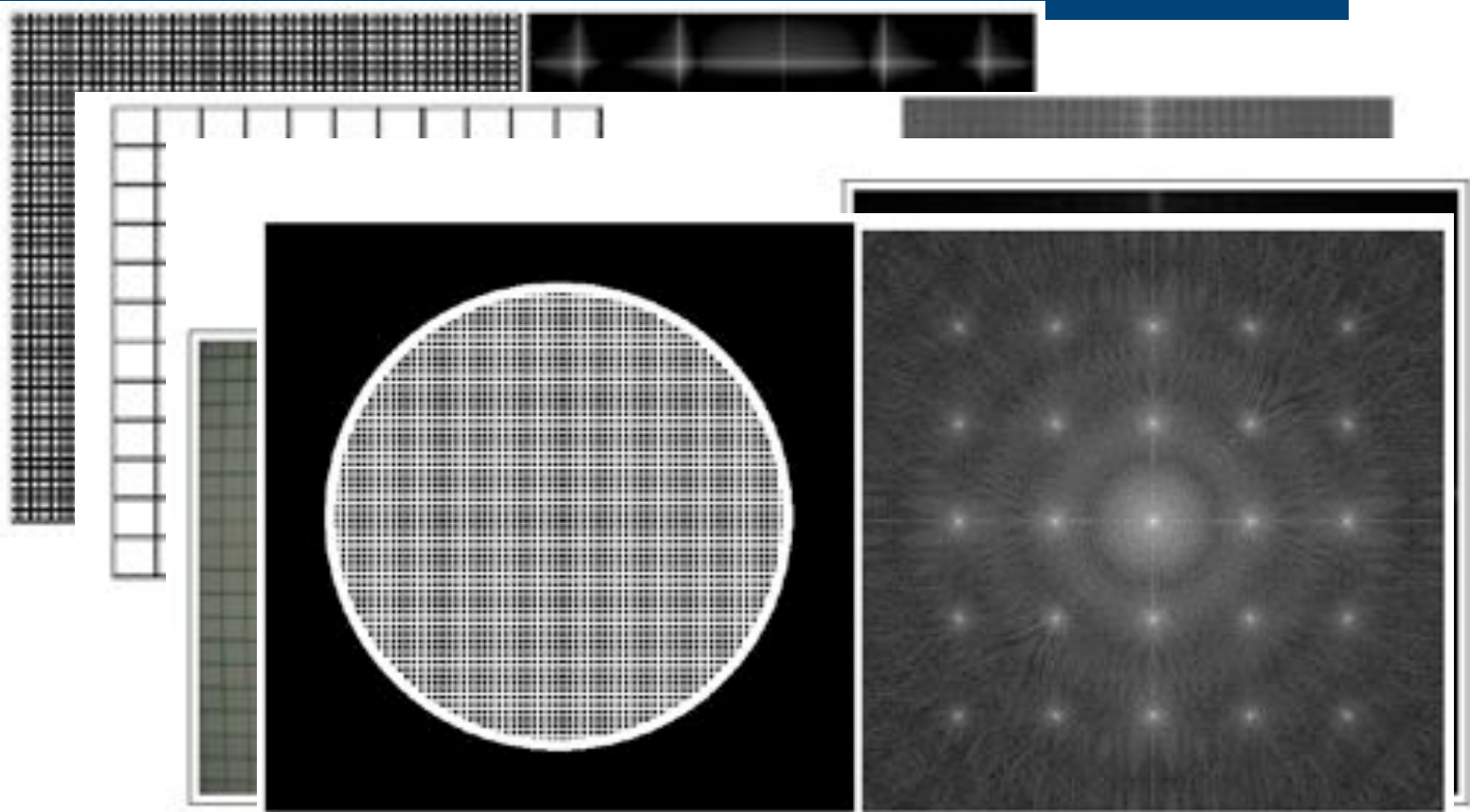




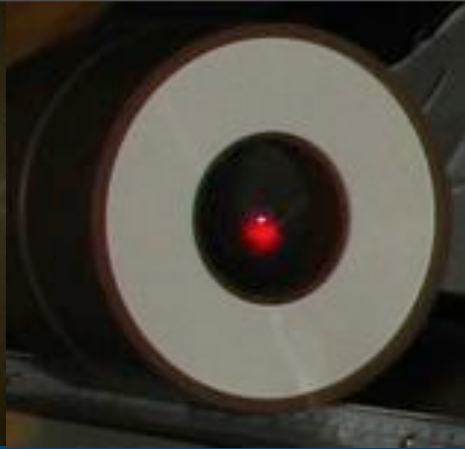
Dados



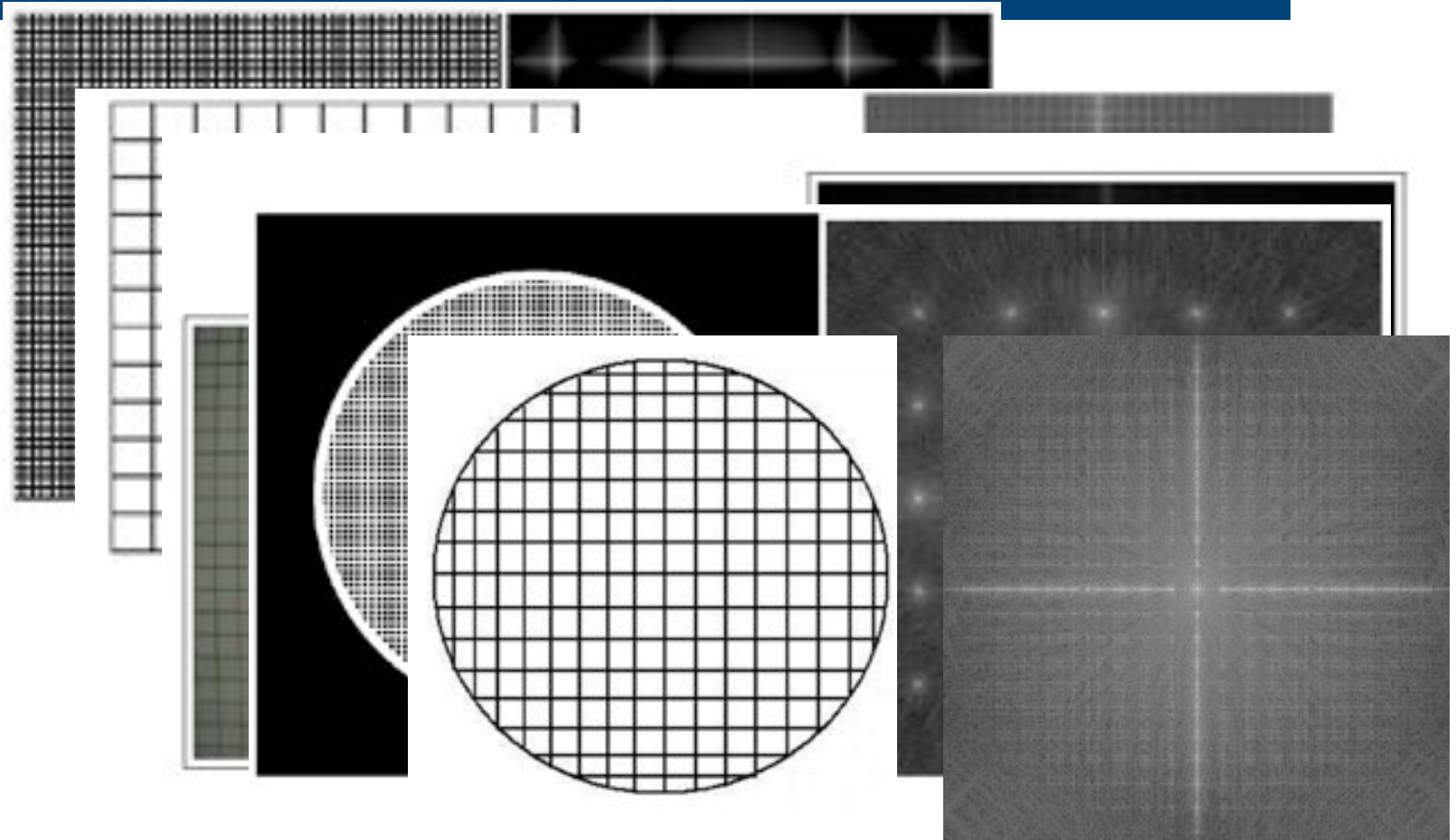
Algumas simulações:



Dados



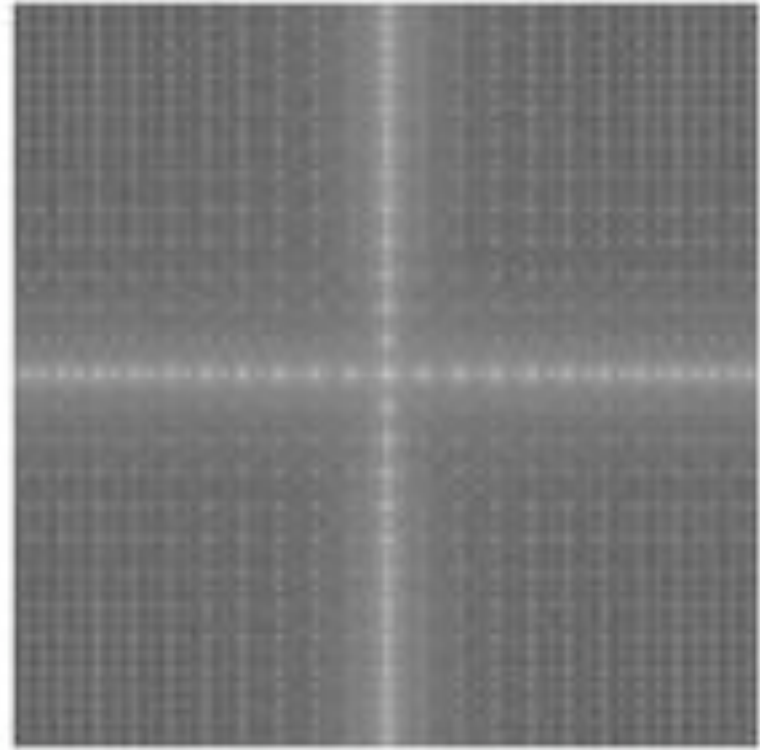
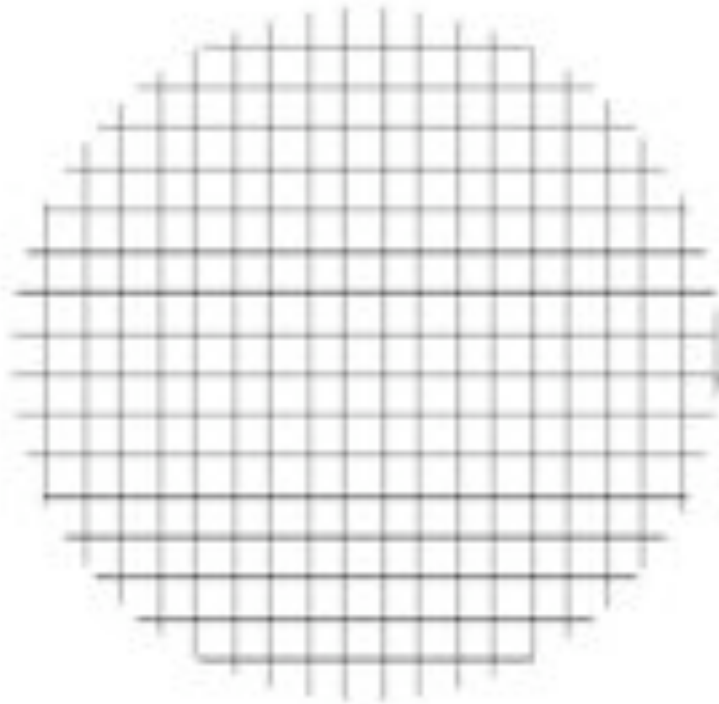
Algumas simulações:



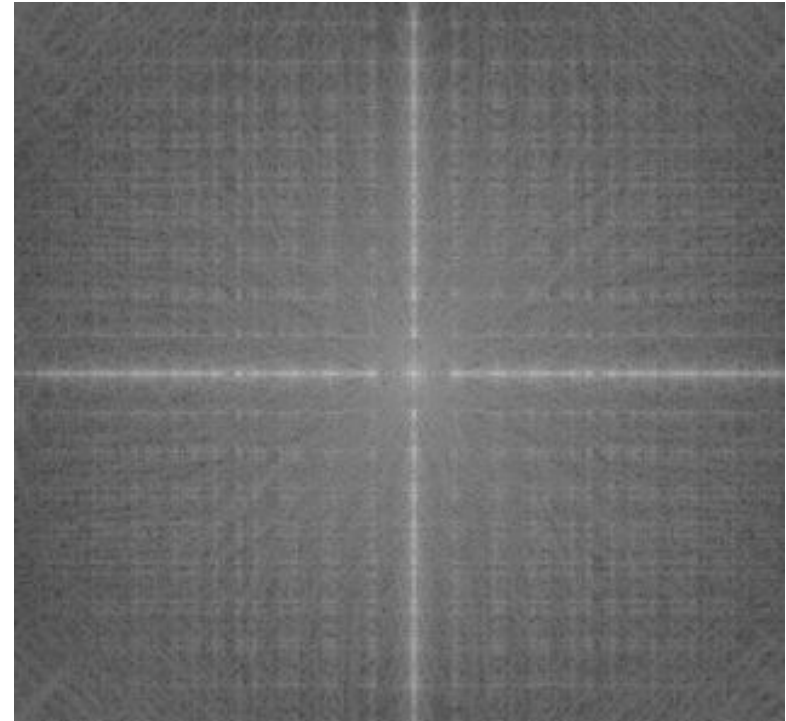
Dados



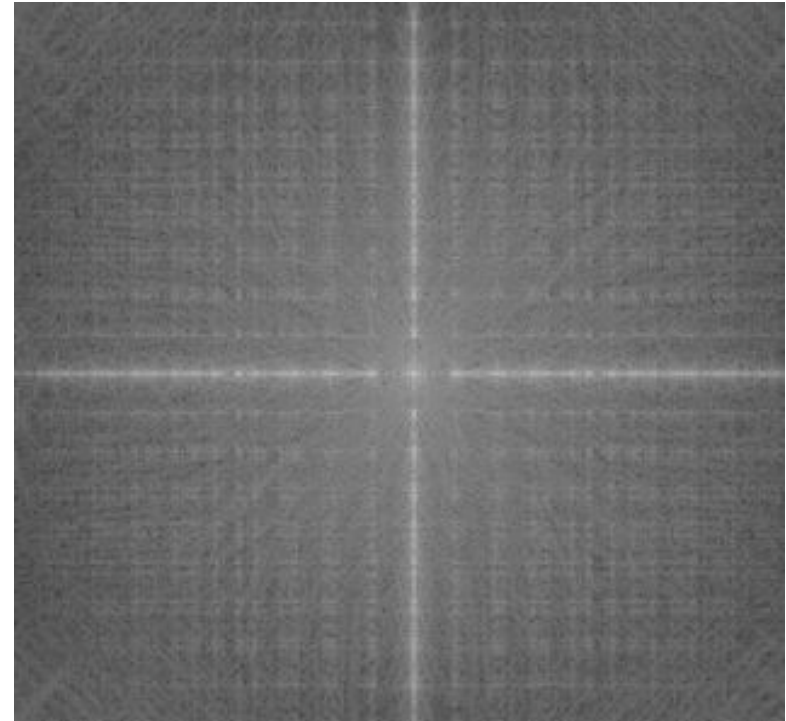
Algumas simulações:

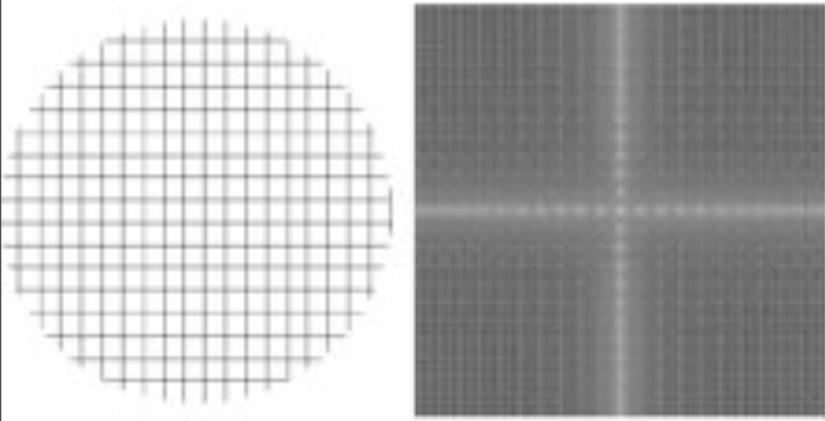


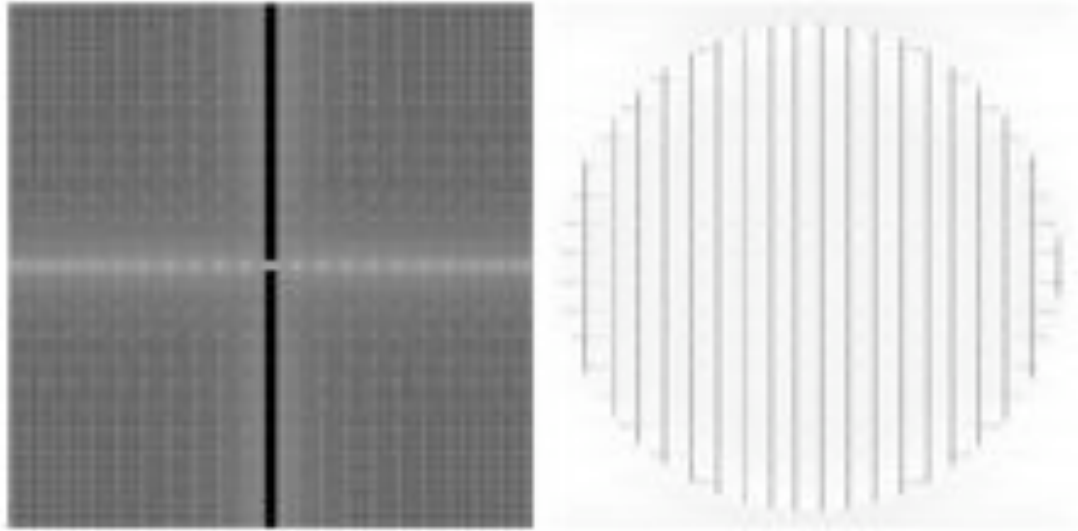
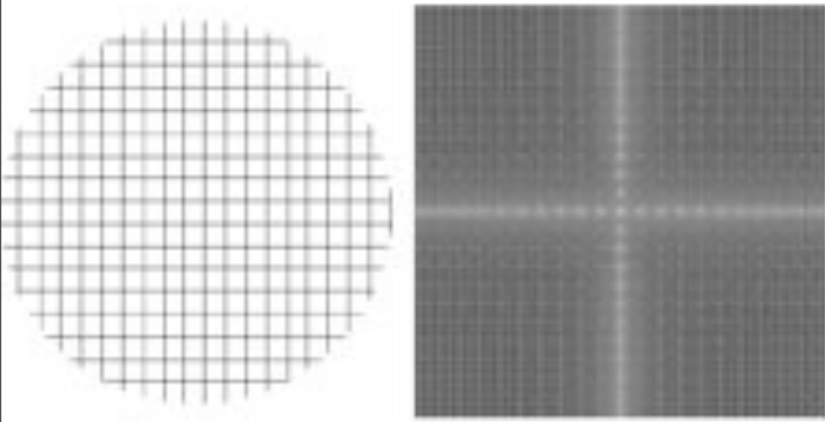
quadriculadas mais fracas espalhadas pelo resto da imagem. A diferença principal entre as duas figuras é a intensidade do ponto central, bem maior para o caso do arranjo experimental, o que possivelmente é consequência da concentração do laser iluminado uma porção limitada do objeto (mesmo com o diâmetro do feixe sendo aumentado). Outro fator de influência pode ser que a

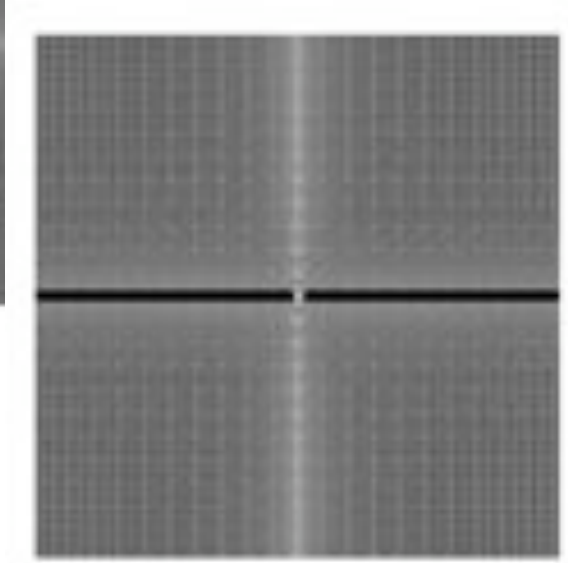
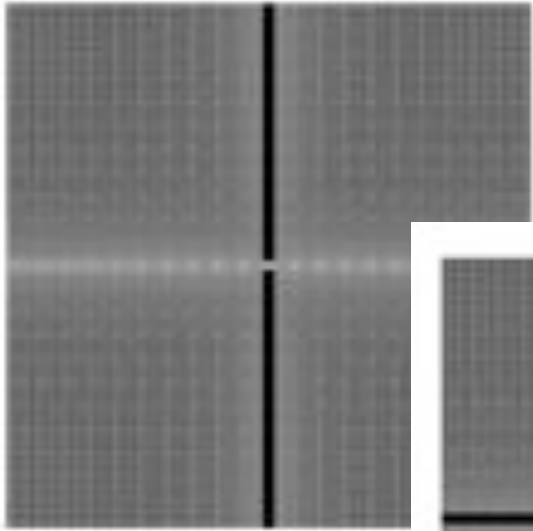
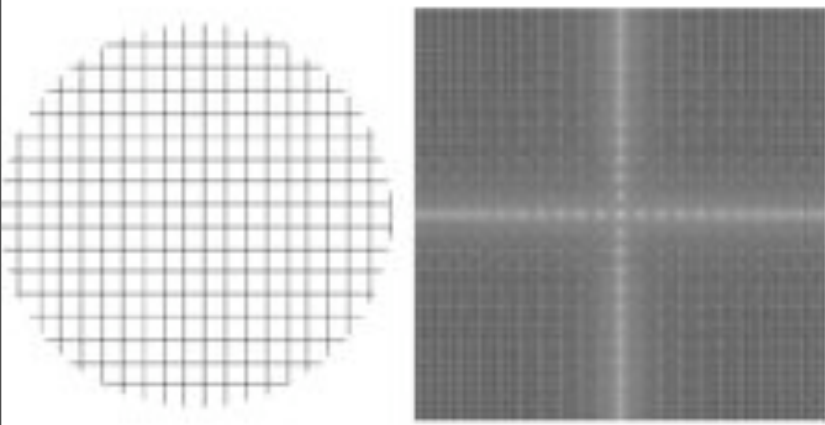


quadriculadas mais fracas espalhadas pelo resto da imagem. A diferença principal entre as duas figuras é a intensidade do ponto central, bem maior para o caso do arranjo experimental, o que possivelmente é consequência da concentração do laser iluminado uma porção limitada do objeto (mesmo com o diâmetro do feixe sendo aumentado). Outro fator de influência pode ser que a

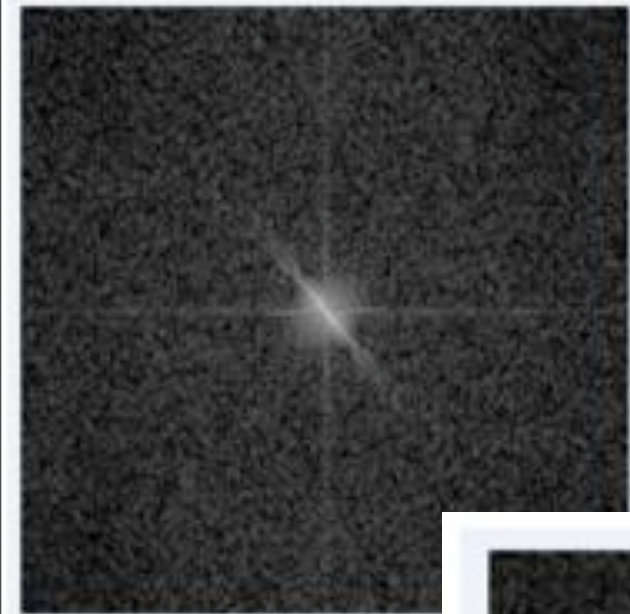




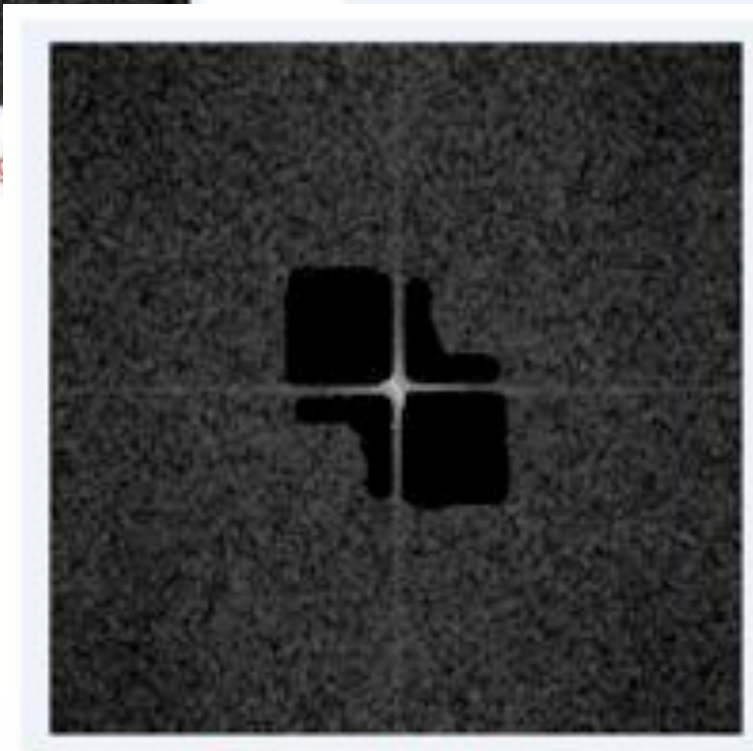








FFT original da imagem



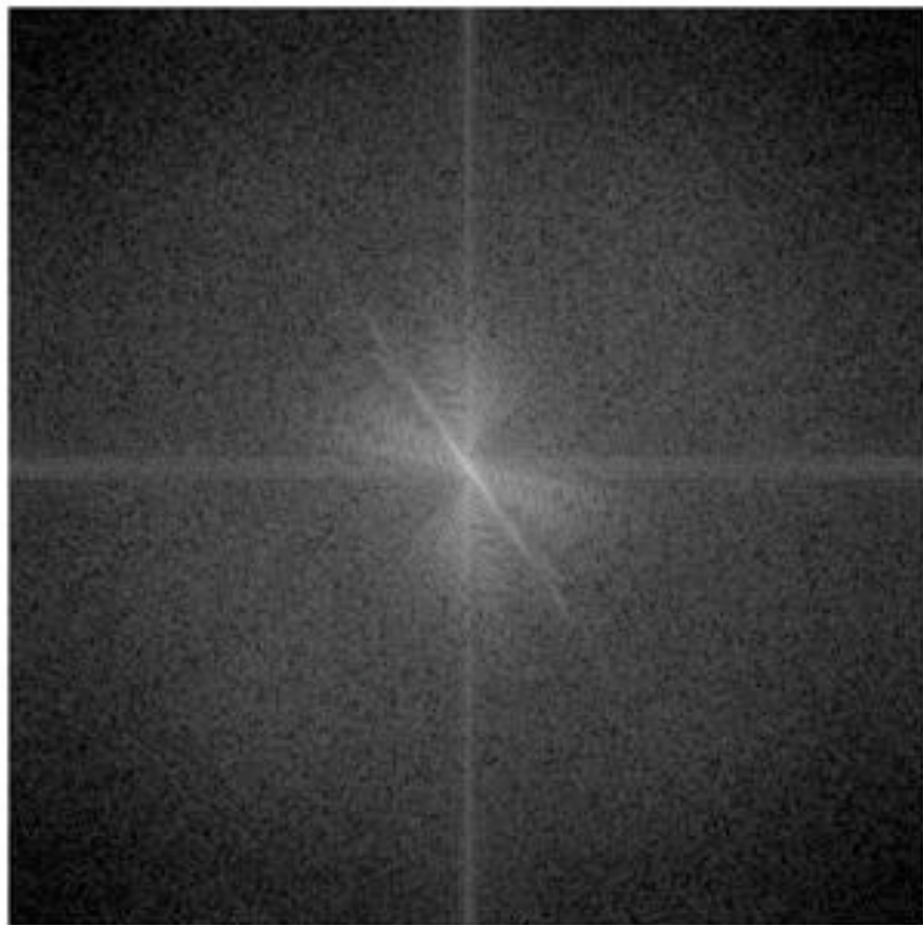
2ª alteração na FFT



2ª FFT inversa

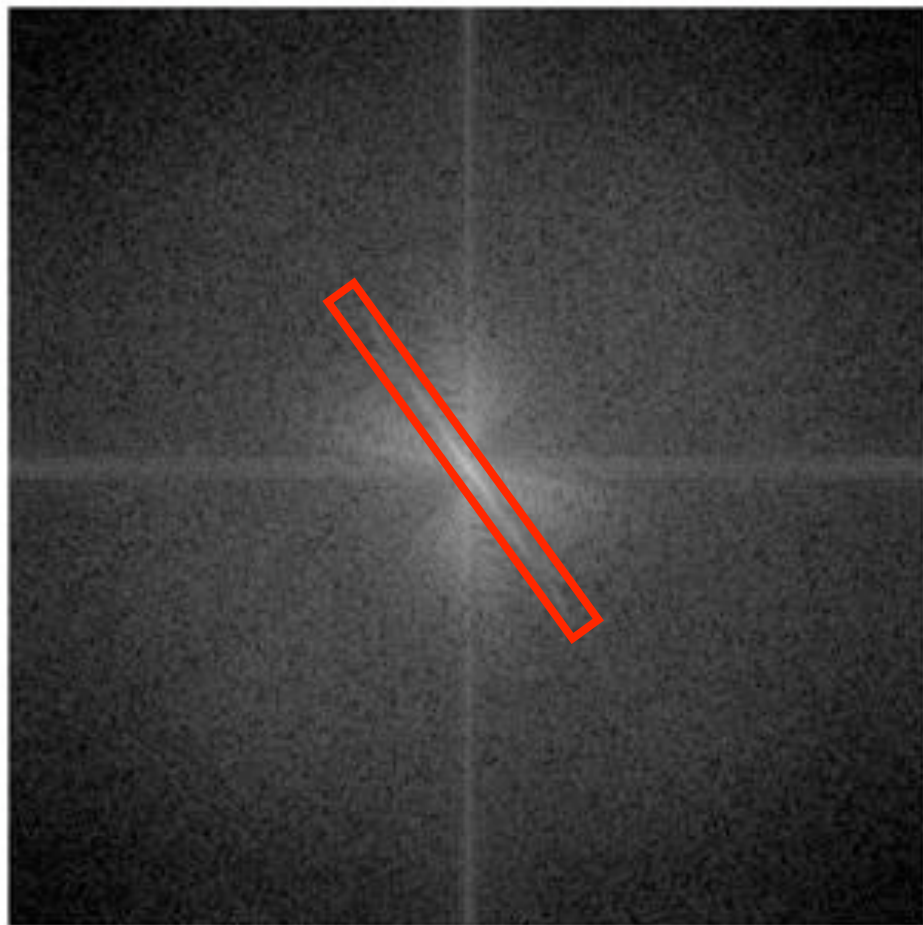


Filtragem de imagens:  
Fotos

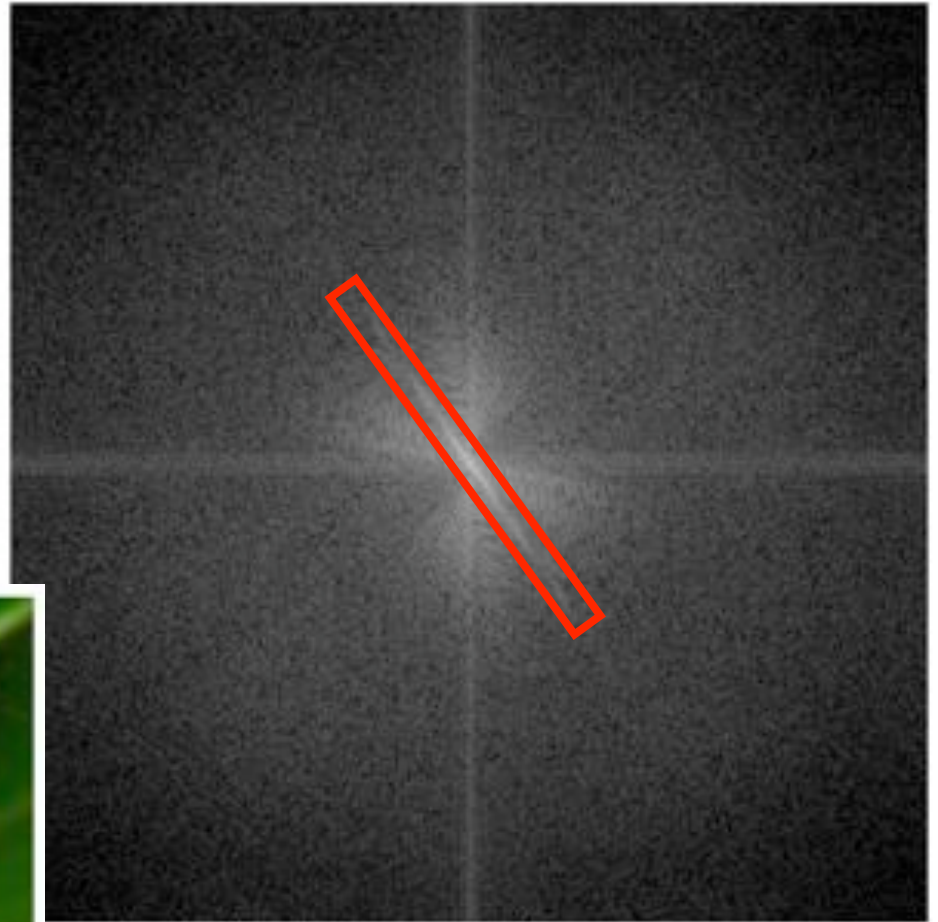




Filtragem de imagens:  
Fotos



Filtragem de imagens:  
Fotos



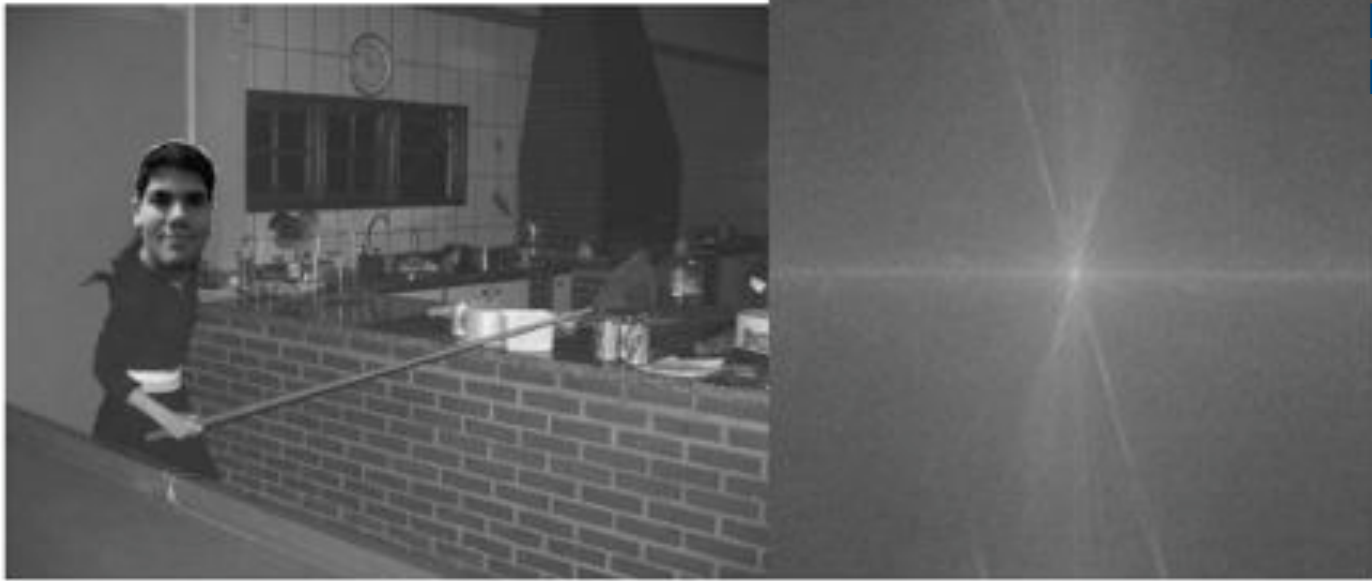
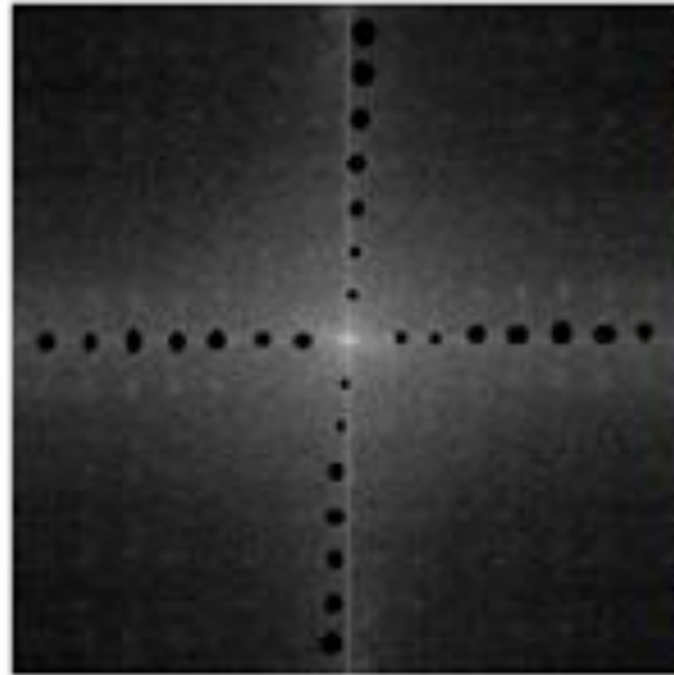
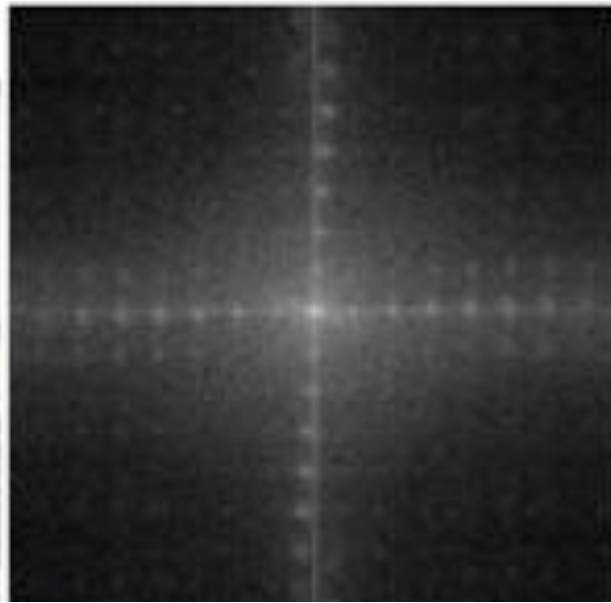


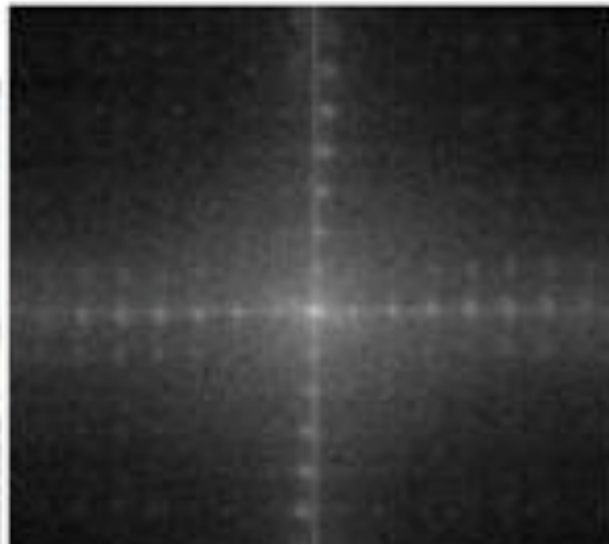
Figure 6: Filtro e o resultado: Thaeenan não está mais jogando sinuca!

# Filtragem de imagens: Fotos

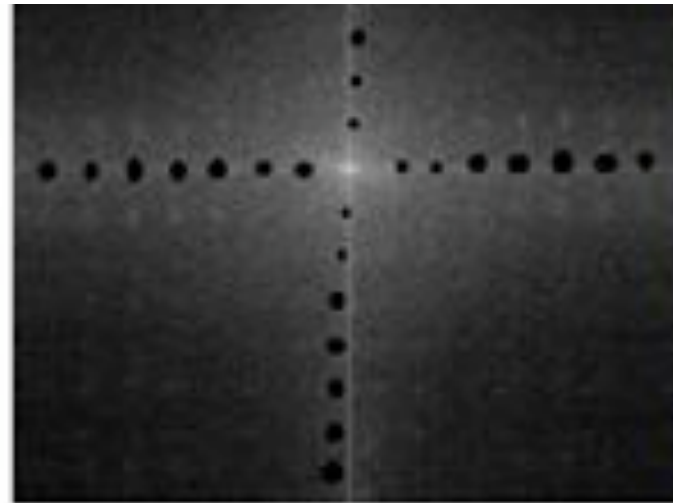


(a) Trans. de Fourier

(b) Trans. Inversa



da rede quadriculada presente na 3(a). É interessante observarmos também que os padrões na transformada não estão exatamente na vertical e na horizontal. Isso é devido à posição da rede na fotografia, que está ligeiramente inclinada em relação a essas direções. Assim, concluímos



(a) Trans. de Fourier



(b) Trans. Inversa



Filtragem de imagens:  
Fotos

Fig. 7. Imagem da Hello Kitty e sua transformada de Fourier.





Fig. 7. Imagem da Hello Kitty e sua transformada de Fourier.

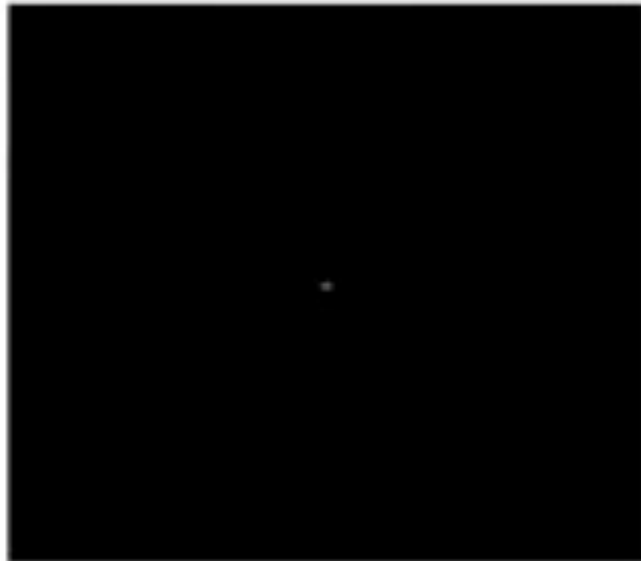
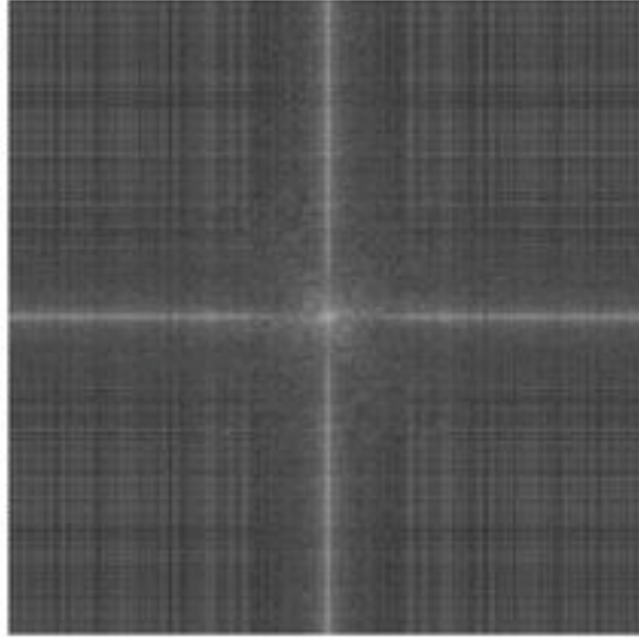
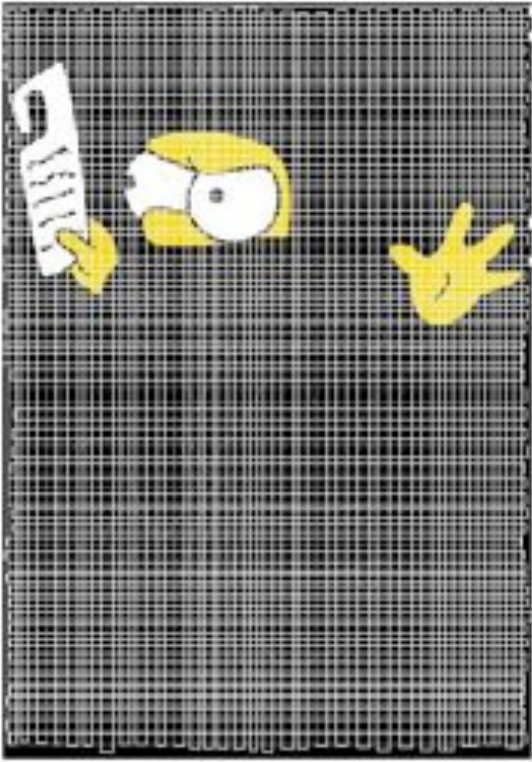
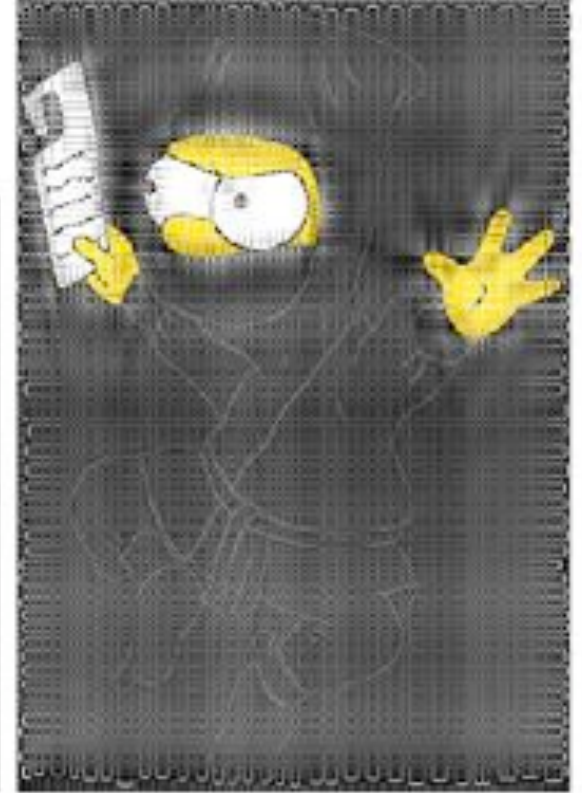
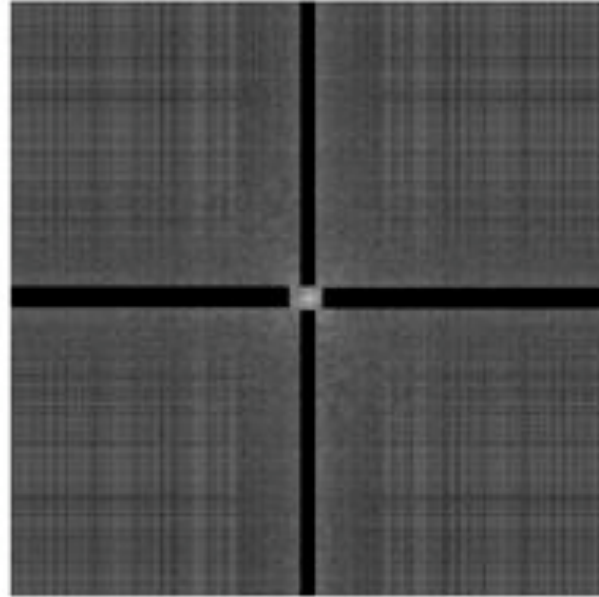
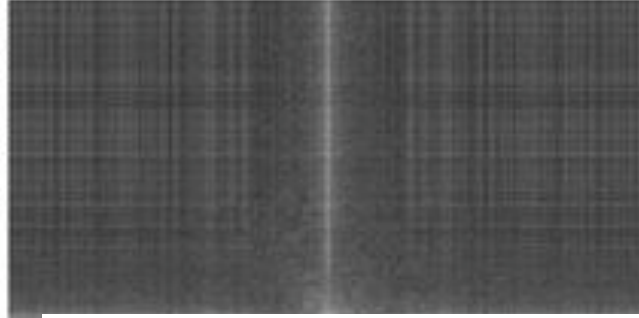
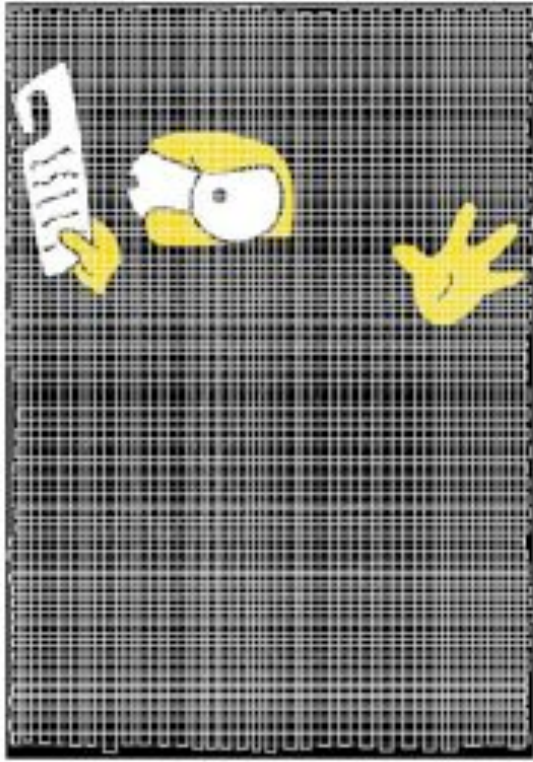


Fig. 8. Freqüências retiradas e transformada inversa.

# Filtragem de imagens: Fotos

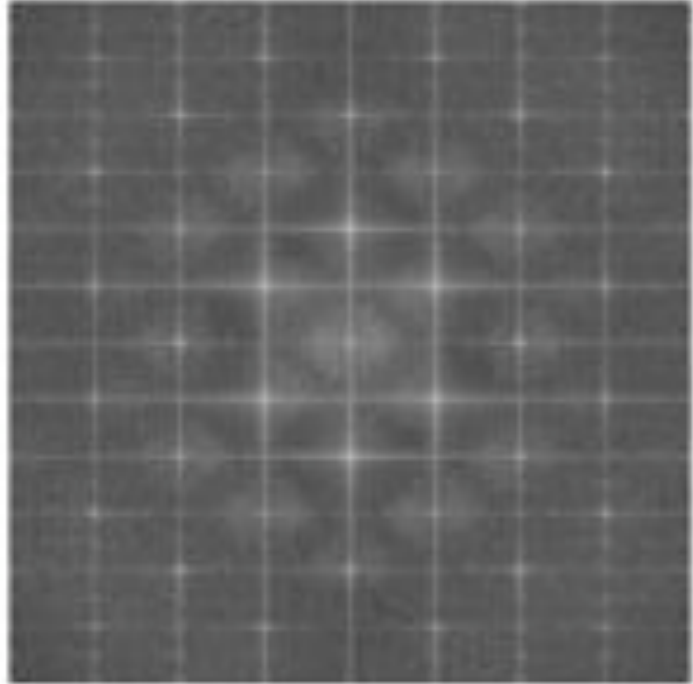


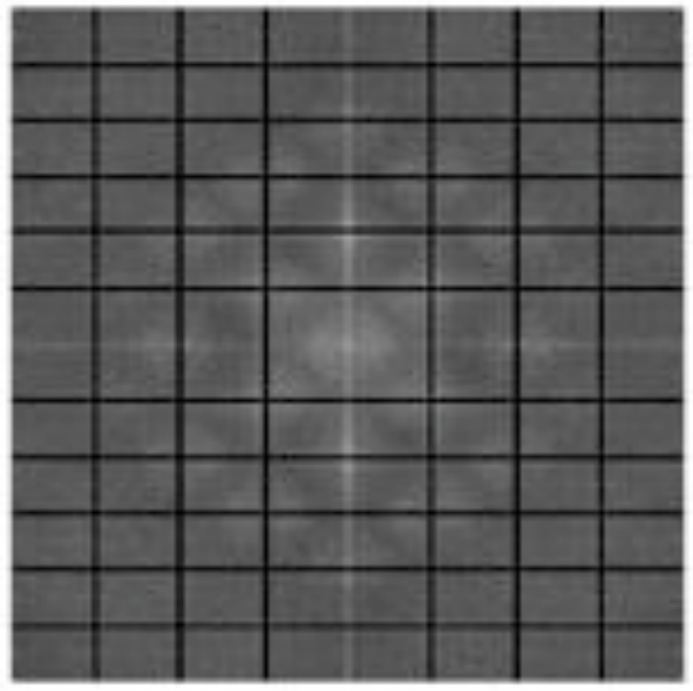
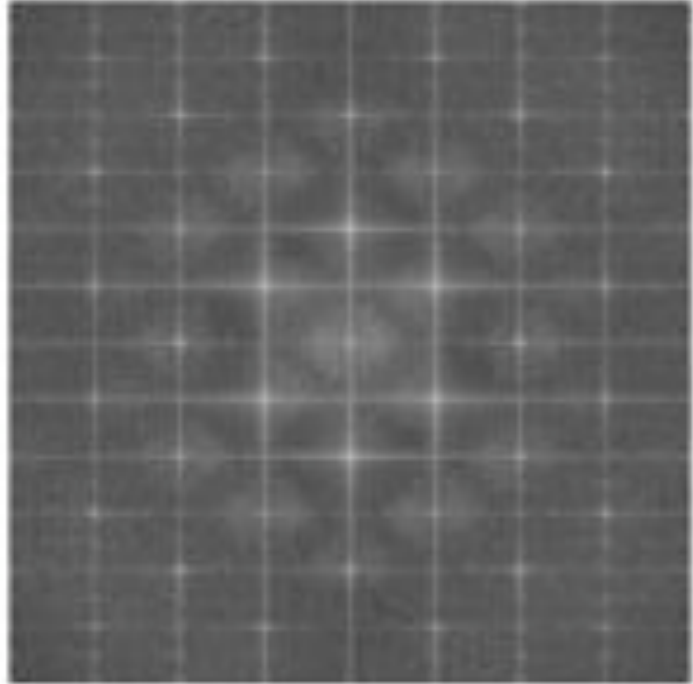
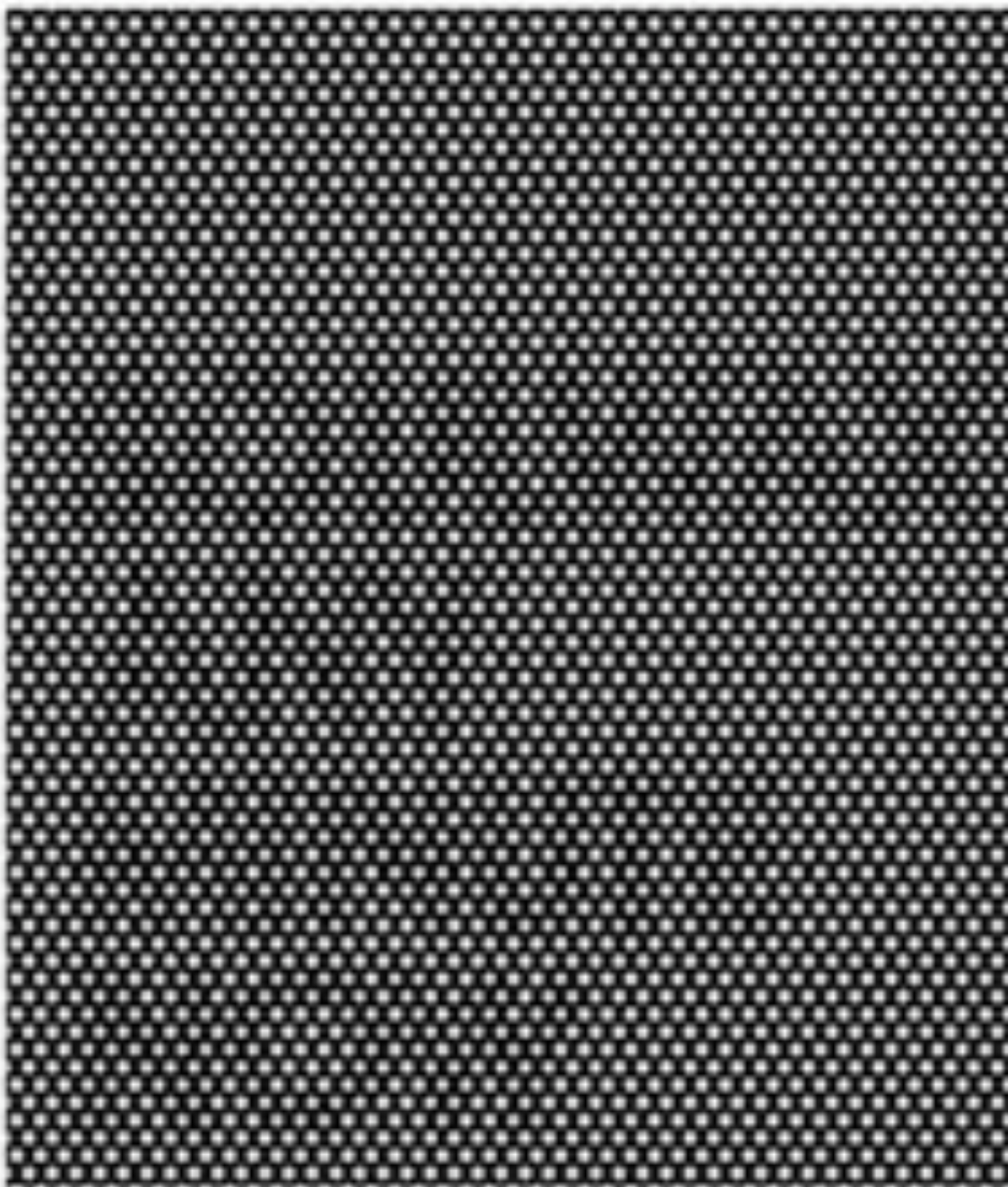
# Filtragem de imagens: Fotos

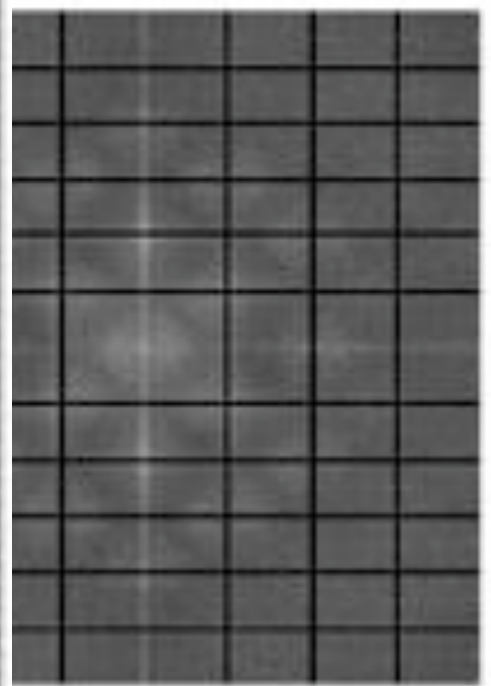
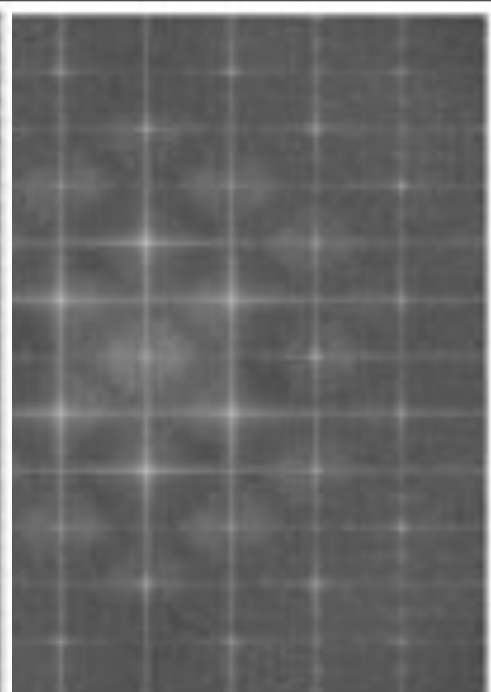
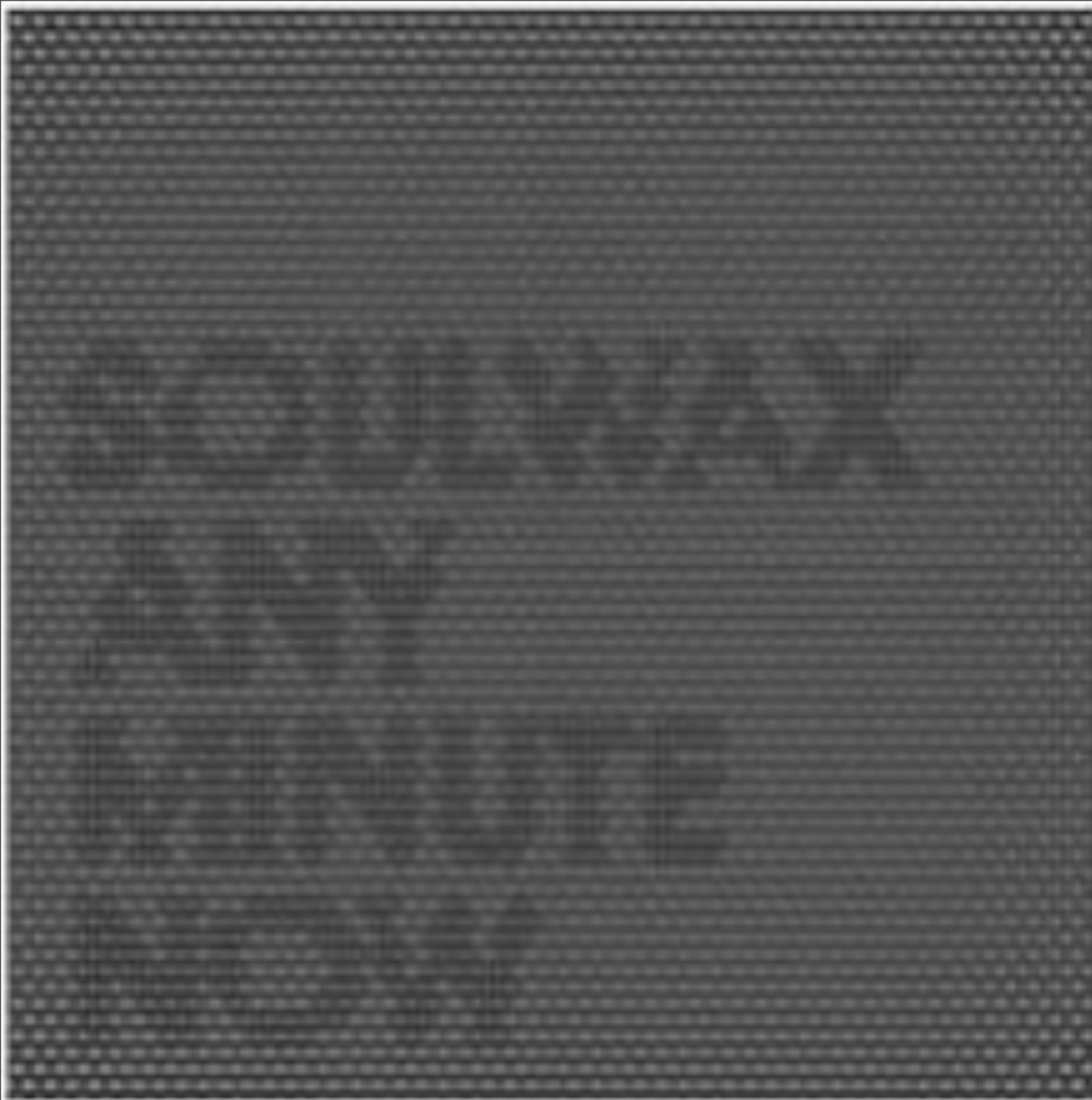


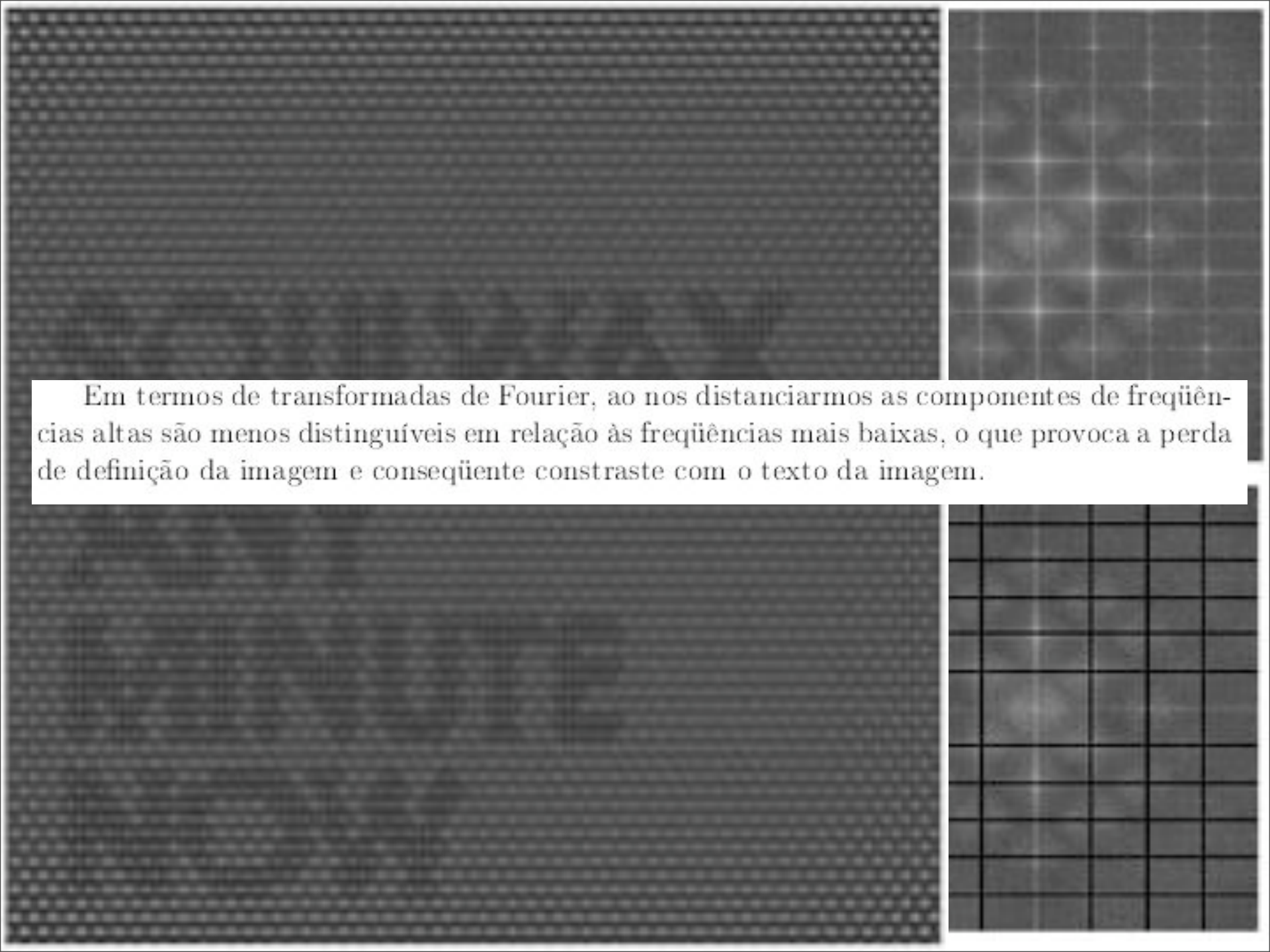
Filtragem de imagens:  
Fotos







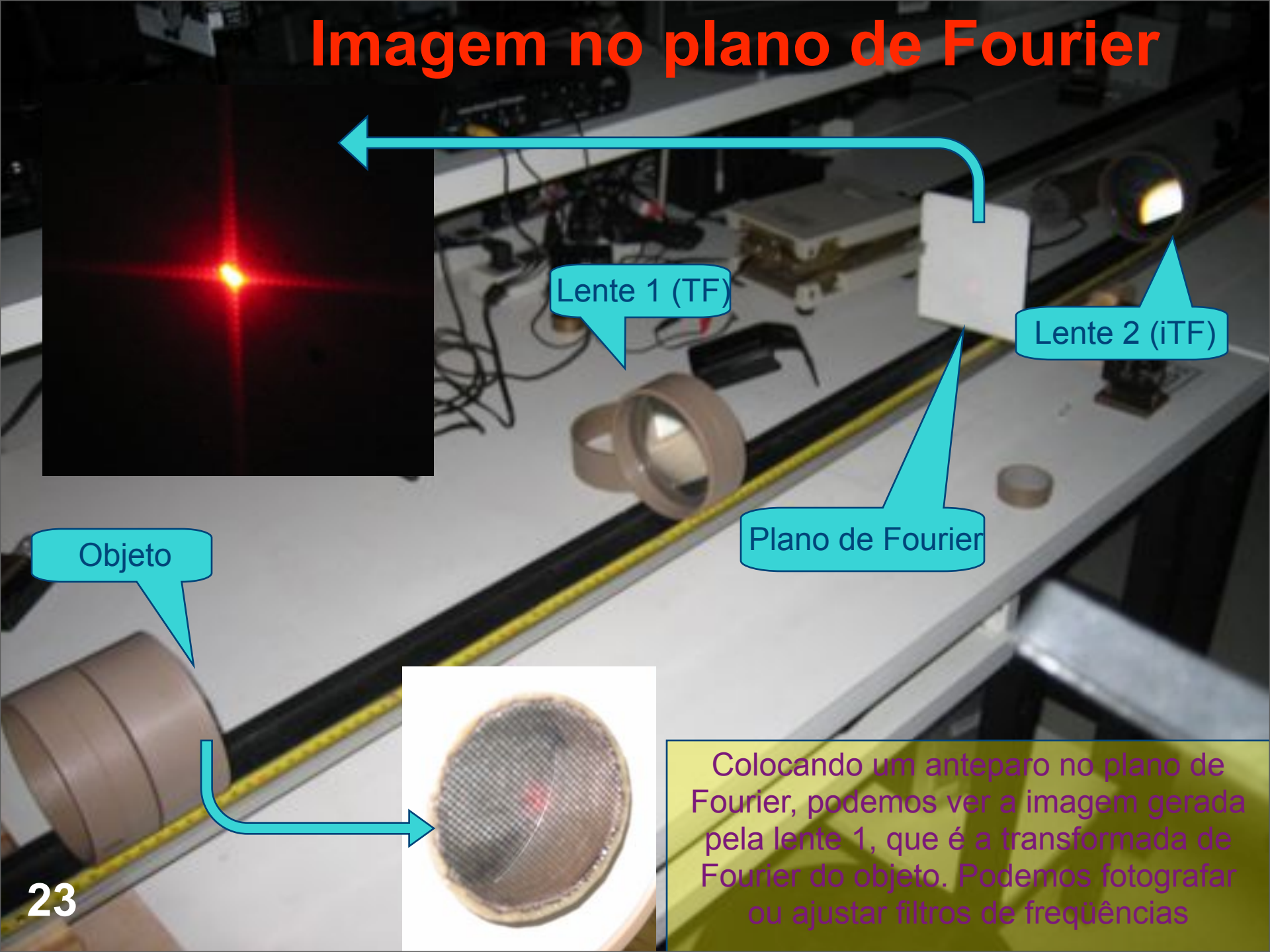




Em termos de transformadas de Fourier, ao nos distanciarmos as componentes de frequências altas são menos distinguíveis em relação às frequências mais baixas, o que provoca a perda de definição da imagem e conseqüente contraste com o texto da imagem.



# Imagem no plano de Fourier

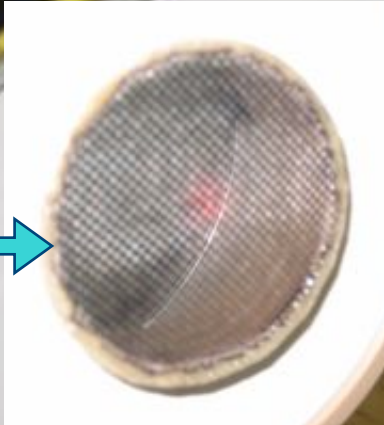


Lente 1 (TF)

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 frequências

# Imagem filtrada

Lente 1 (TF)

Objeto

Plano de Fourier

Imagem filtrada projetada do anteparo

Lente 2 (iTF)

As imagens são pequenas para serem fotografadas com qualidade

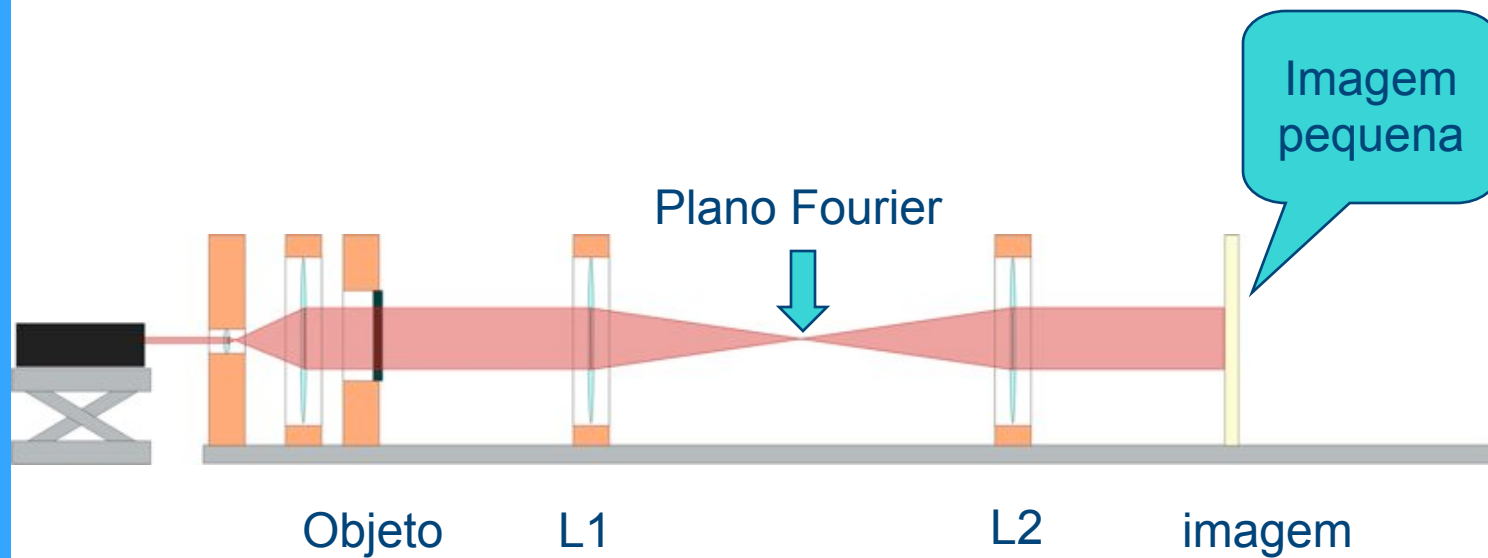


# Qualidade do computador óptico

- Se queremos aplicar filtros no plano de Fourier, precisamos observar imagens com maior qualidade
- Como melhorar a qualidade da imagem?
  - Muito pequena para ser fotografada
  - Podemos ampliá-la. Como?

# Aumentando a imagem

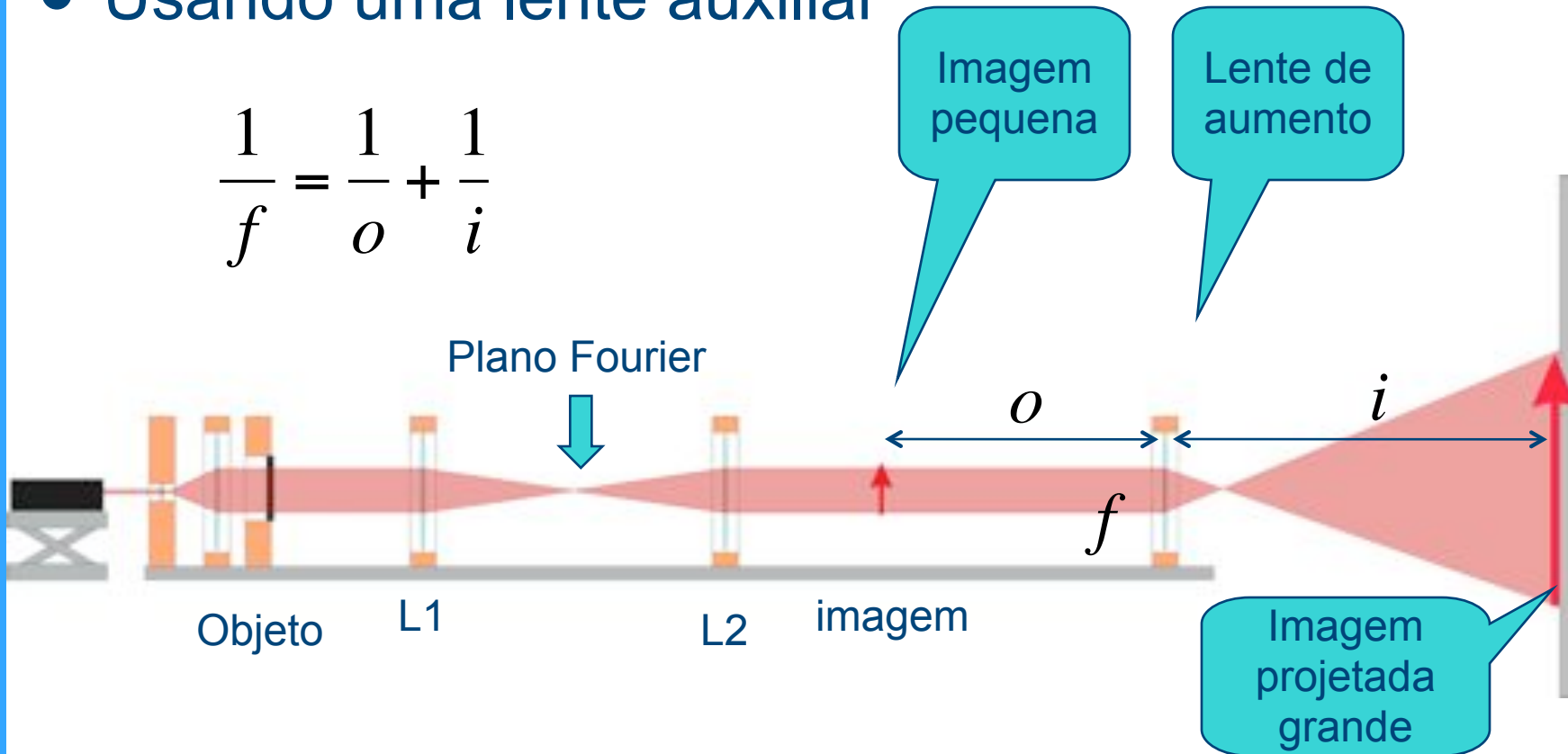
- Como aumentar a imagem observada?



# Aumentando a imagem

- Usando uma lente auxiliar

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{o} + \frac{1}{i}$$



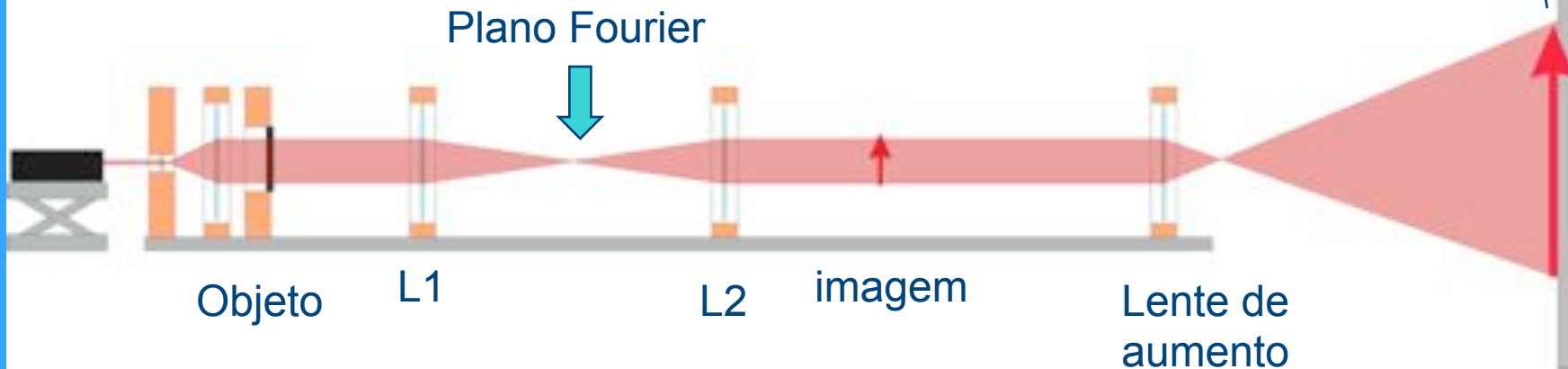
# Objetivos da semana

- Semana light → Última semana do experimento
- Usando o computador óptico, aplicar filtros no plano da T.F. E verificar o que ocorre com a imagem
  - Bastante qualitativo
- Comparar com filtros equivalentes no imageJ

Ooops!!!  
Falha no desenho!  
Deveria estar  
invertida

# Arranjo experimental

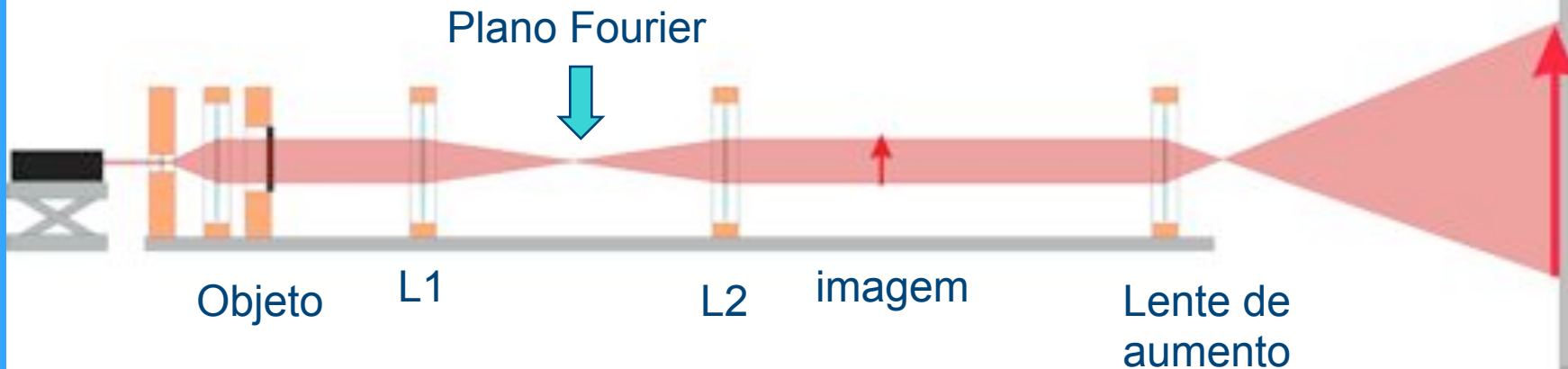
- Computador óptico + lente de aumento
  - Se o arranjo ficar muito grande, troque as lentes L1 e L2 por lentes de 20 cm ao invés de 40 cm
  - Tente ajustar a lente de aumento para projetar na parede da sala. Use lentes de comprimento focal pequeno.



# Arranjo experimental

- Filtros de imagem

- Posicionar no Plano de Fourier
- Vários filtros: Fenda ajustável, fio de cobre, orifício
- Use vários destes filtros. Quais freqüências estão sendo filtradas?





# Atividades da semana

- Última semana para esta experiência
  - Aparar as arestas das semanas anteriores
- Aplicar filtros no computador óptico
  - Utilizar a mesma grade como objeto
  - Filtros
    - Fenda regulável, fio de cobre e orifício
  - Fotografar a imagem filtrada
    - Comparar, qualitativamente, com o mesmo procedimento de filtragem no ImageJ

# Semana que vem

- Iniciaremos exp III – Espectrofotometria
  - Emissão de luz por corpo aquecido (corpo negro)
  - Percepção de cores – absorção de luz
- Algumas referências:
  - Feynman I, cáp. 35
  - Tipler 4, cáp. 35
  - Moysés 4, cáp 7