

# Física Experimental IV

[www.dfn.if.usp.br/curso/LabFlex](http://www.dfn.if.usp.br/curso/LabFlex)

[www.fap.if.usp.br/~hbarbosa](http://www.fap.if.usp.br/~hbarbosa)

## Aula 6 – Computador Óptico

## Processamento de Imagens

Profa. Eloisa Szanto  
[eloisa@dfn.if.usp.br](mailto:eloisa@dfn.if.usp.br)

Ramal: 7111

Pelletron

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

Ramal: 6647

Basílio, sala 100

Prof. Nelson Carlin  
[nelson.carlin@dfn.if.usp.br](mailto:nelson.carlin@dfn.if.usp.br)

Ramal: 6820

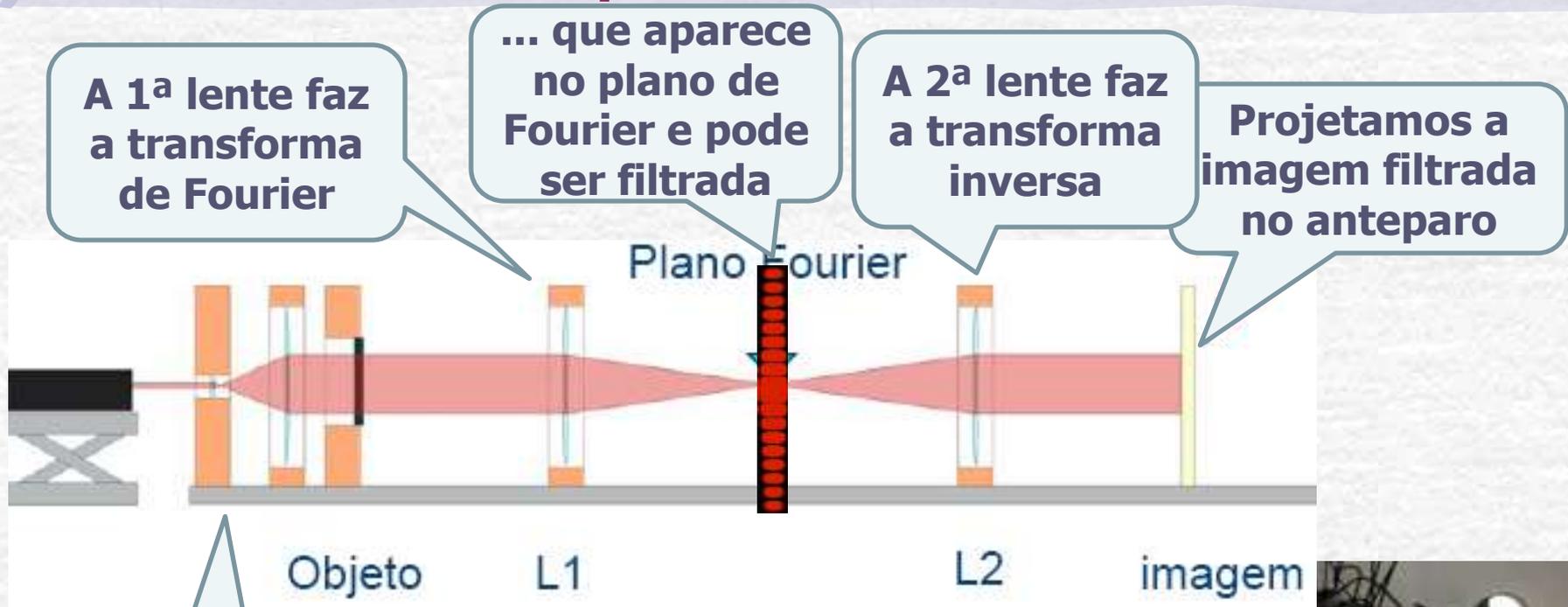
Pelletron

Prof. Paulo Artaxo  
[artaxo@if.usp.br](mailto:artaxo@if.usp.br)

Ramal: 7016

Basílio, sala 101

# Computador Ótico



o laser ilumina o objeto

**COMPUTADOR ÓTICO**



# Programação da Exp. 2

- Aula 1: óptica geométrica
  - Medidas com lentes convergente e divergente
- Aula 2: laser
  - Associação de lentes e aumento do diâmetro do laser
- Aula 3: difração
  - Figuras de difração e espectrofotômetro
- Aula 4: transformada de fourier
  - Estudo no plano de fourier
- Aula 5: computador ótico
  - Filtro na transformada de Fourier e recompor a imagem filtrada
- Aula 6: ImageJ
  - Tratamento de imagem no computador

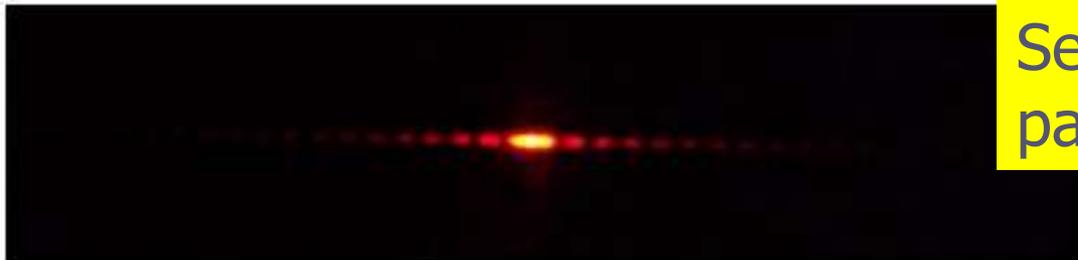
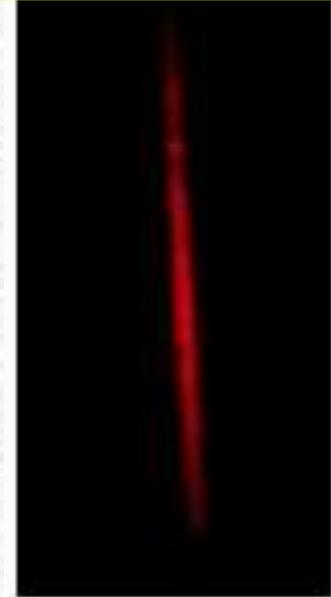
# Comp. Óptico com a Fenda



Objeto



Fenda  
reconstituída



Semana  
passada

Figura 3: Figura de difração de uma fenda simples obtida na terceira semana da experiência.



TF da  
fenda

Figura 4: Foto da transformada de Fourier da fenda simples gerada após o feixe do laser atravessar o arranjo mostrado na [figura 2](#). O anteparo onde se observou a figura de difração está posicionado na distância focal à esquerda da lente L1, ou seja, no plano de Fourier do sistema.

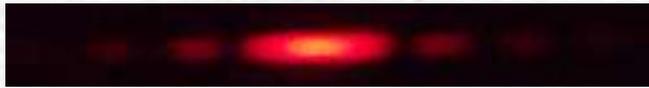
Figura 5: Imagem re-composta da fenda num anteparo distante.

# Problemas com a Fenda

TF



Não dá pra ver os mínimos



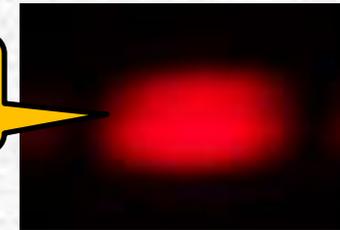
Fora de foco



Reconstruída



Fora de foco



Parece a TF



- Era precisa aumentar o laser em 5x e iluminar todo o objeto
- Posicionar as lentes tais que as imagens estivessem em foco (não usar o foco nominal)

# Com a grade de plástico

Objeto



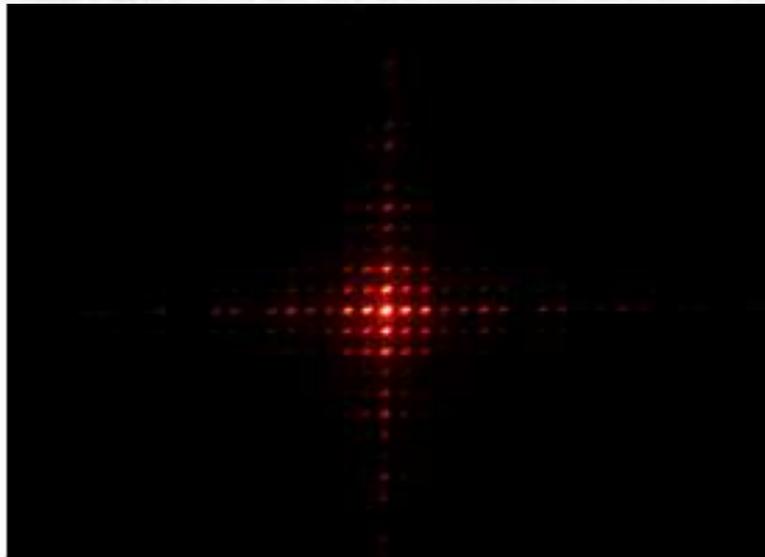
Alguns esqueceram de fotografar o objeto...

Cada posição no plano de Fourier corresponde a uma frequência e vcs tinham que aplicar um filtro.

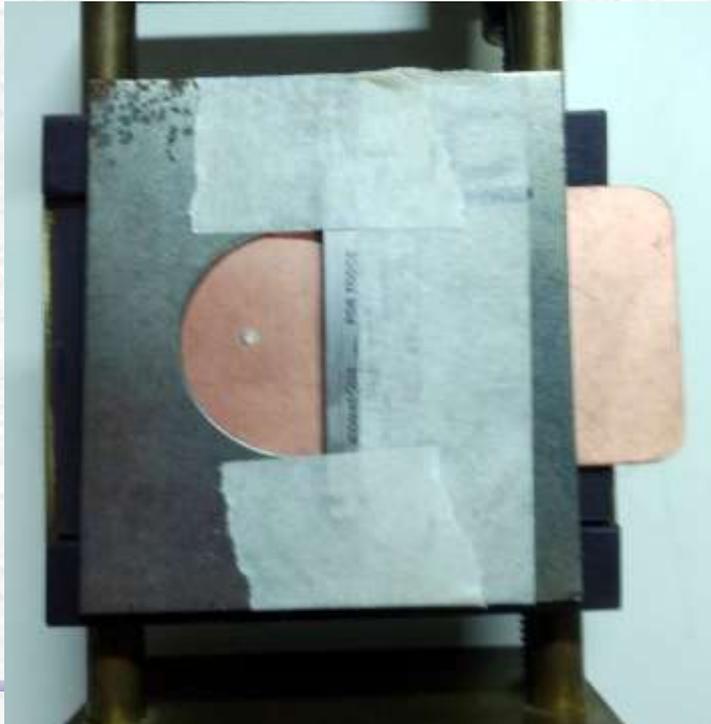
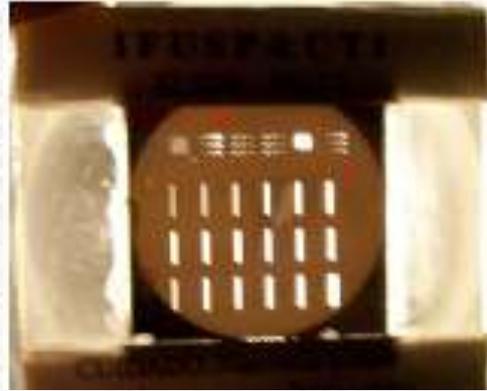


reconstituída

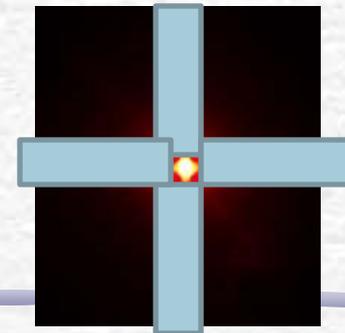
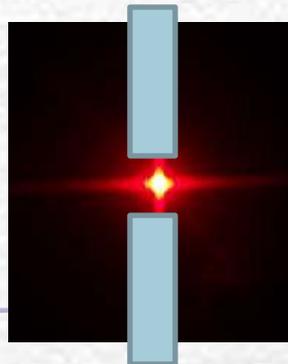
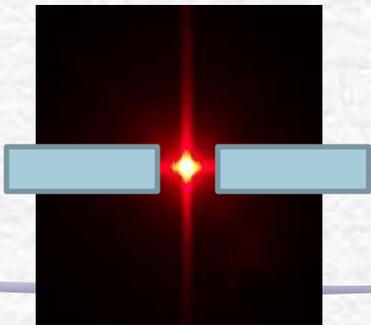
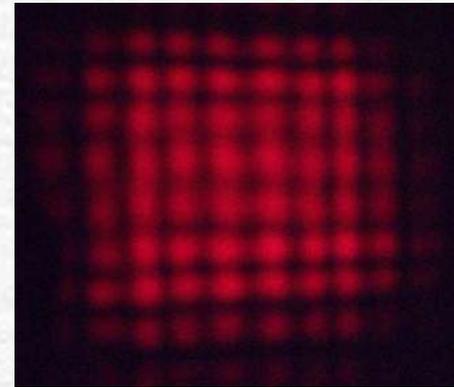
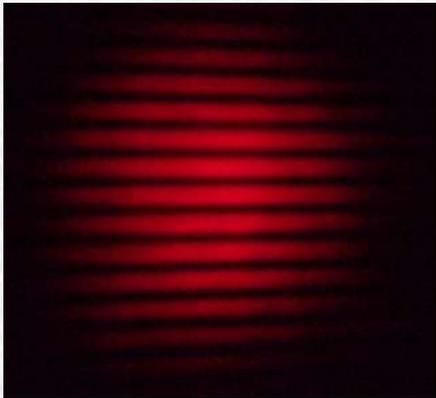
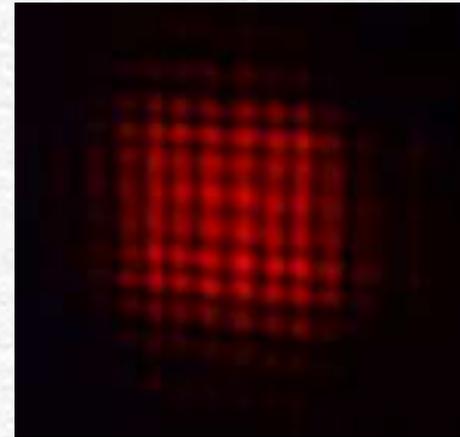
TF



# Os Filtros



# Imagem Filtrada



# Problemas

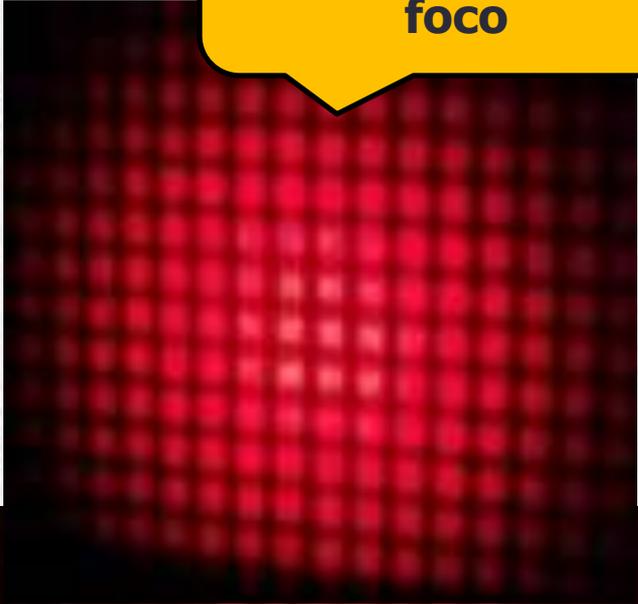
- O alinhamento e a distância correta entre as lentes eram fundamentais!



**Imagem muito boa.  
Tudo vermelho  
exceto pelas linhas  
pretas**



**As linhas da grade  
estão mais grossas do  
que a parte vazia.**



**Imagem com  
problema, fora de  
foco**

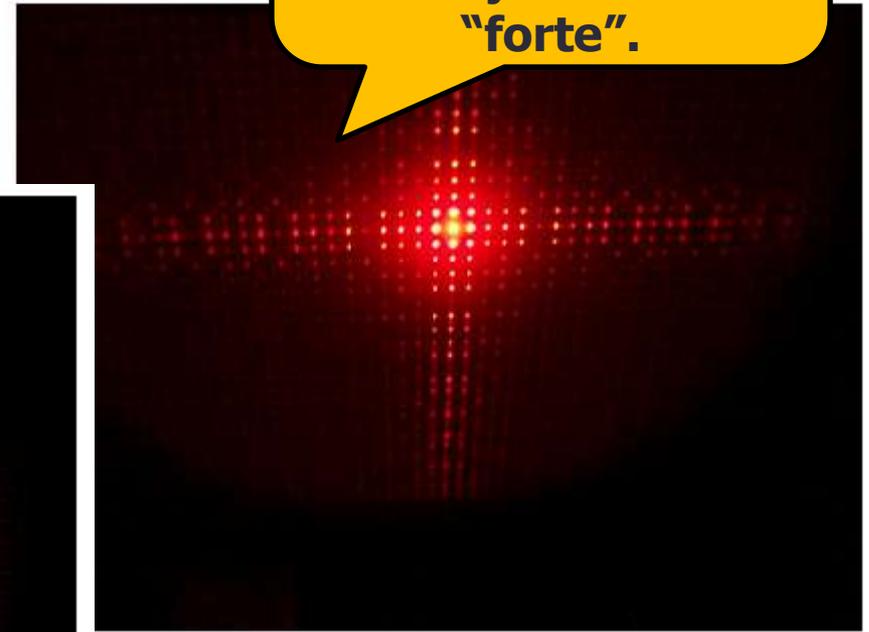
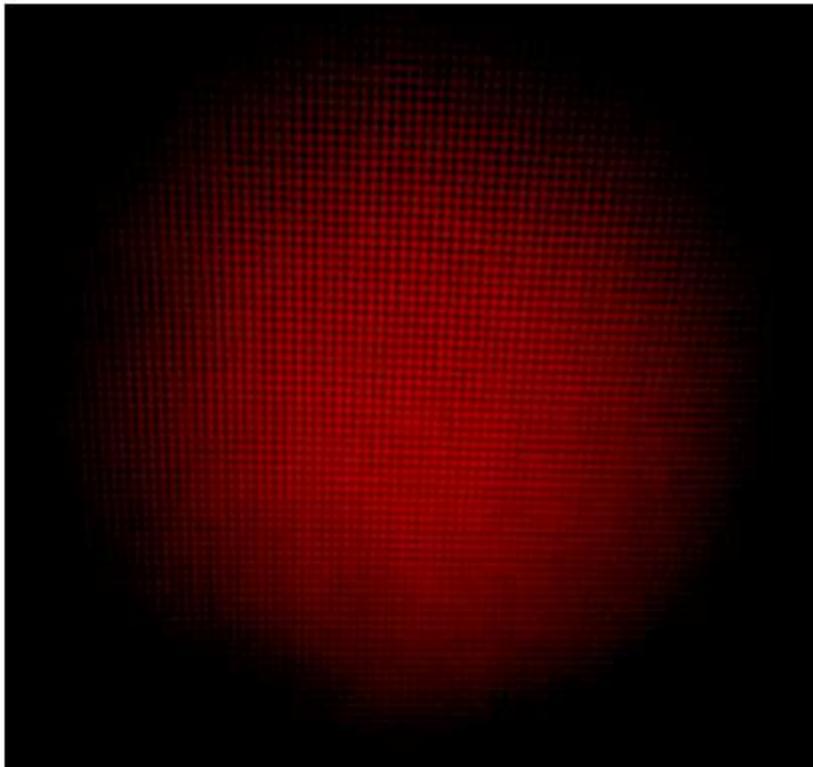
# O tecido

Objeto



Como as linhas do tecido estão muito próximas, a difração é mais "forte".

A transformada



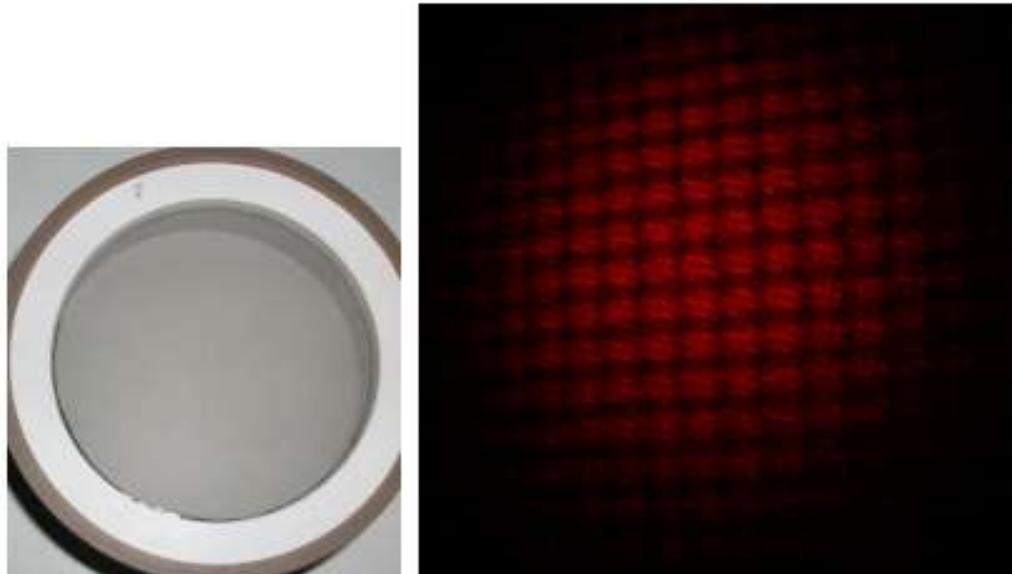
no plano de Fourier da tela.

O tecido reconstituído

Figura 14: Imagem ampliada da tela, obtida no foco da segunda lente.

# Problema Filtro

- Um dos grupos usou o tecido fino para filtrar os cantos vivos... Mas quais frequências seriam eliminadas ??



**Figura 9:** Grade fina que serviu de filtro e imagem recomposta resultante de sua presença.

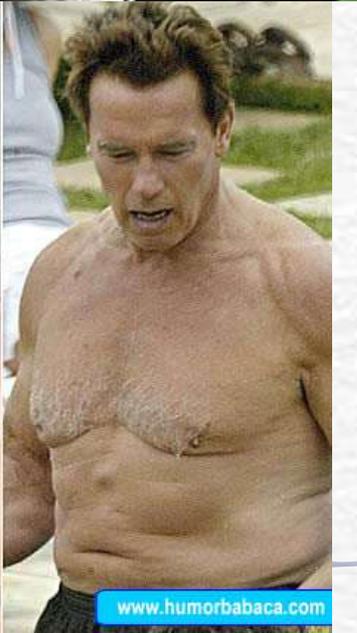
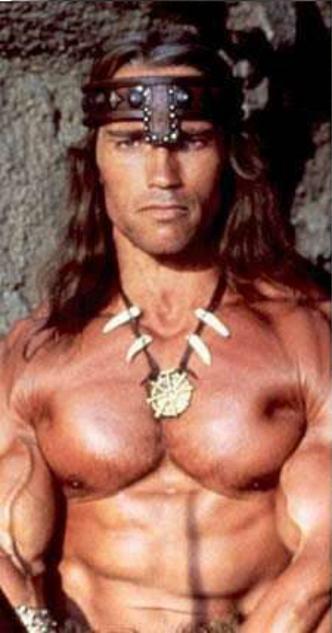
# Programação da Exp. 2

- Aula 1: óptica geométrica
  - Medidas com lentes convergente e divergente
- Aula 2: laser
  - Associação de lentes e aumento do diâmetro do laser
- Aula 3: difração
  - Figuras de difração e espectrofotômetro
- Aula 4: transformada de fourier
  - Estudo no plano de fourier
- Aula 5: computador ótico
  - Filtro na transformada de Fourier e recompor a imagem filtrada
- Aula 6: ImageJ
  - Tratamento de imagem no computador

# HOJE: Processamento de Imagem



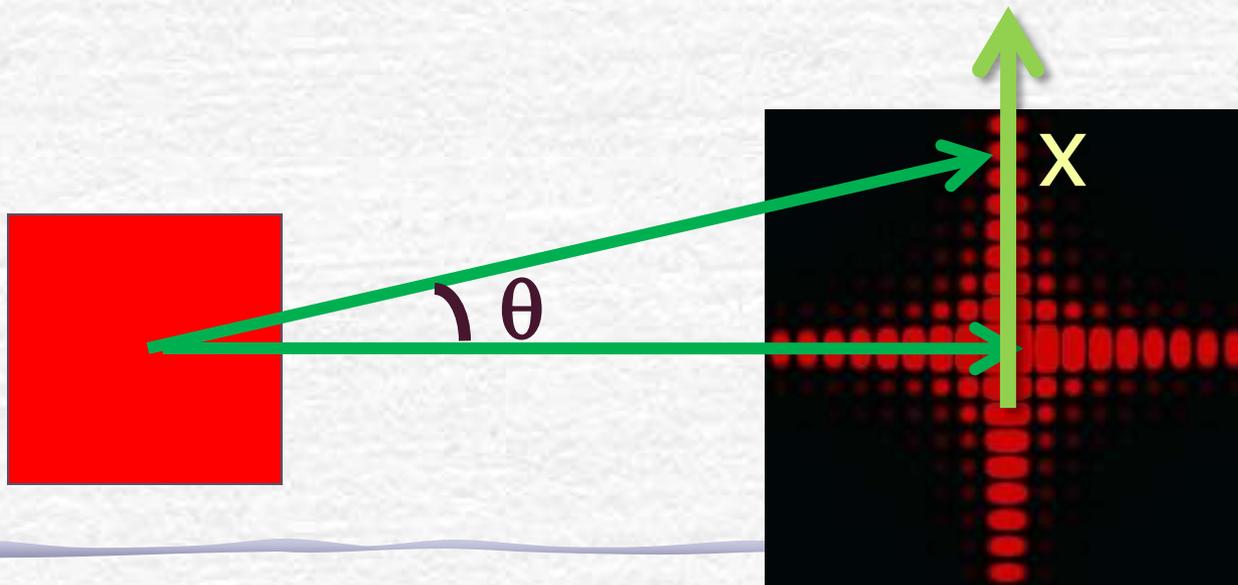
WEBMKS.COM



# Difração e transformada de Fourier

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

$$\hat{E}(k_x) = \iint \varepsilon(x) e^{-j(k_x x)} dx \quad k_x = \frac{2\pi}{\lambda} \sin \theta = \frac{2\pi}{\lambda} \frac{x}{\sqrt{x^2 + L^2}}$$



# TF como método de edição de imagens

- Em algumas circunstâncias, o uso da T.F. 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 T.F.
  - 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

# Tratamento de imagem

- Hoje:
  - tratamento de imagem se faz por intermédio de software
  - há inúmeros programas, alguns vêm em chips, de modo a não serem copiados
- Neste laboratório vamos utilizar o software **ImageJ** que é bastante amigável e versátil e de utilização livre.
  - Baixem para seus computadores

**<http://rsbweb.nih.gov/ij/>**

# Reconhecendo Padrões

- Vamos usar o ImageJ para consolidar os conhecimentos sobre difração e transformada de Fourier.
- Isto será feito através de vários exercícios em sala, no lab e em casa com o ImageJ
  - Elementos simples (orifícios, fendas, ...)
  - Figura da placa do TRC
  - Reproduzindo os resultados do comp. ótico.
- Aplicações com imagens de pesquisa reais:
  - Hemácias, nano-wires, etc...

# Tratamento de imagem



Filtro de baixa freq

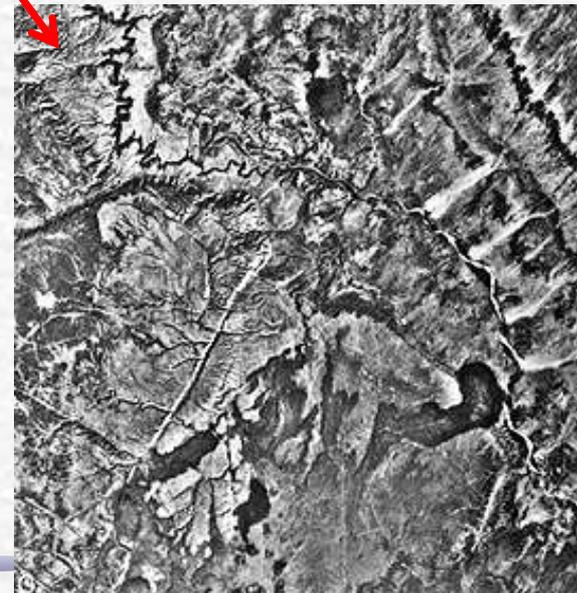
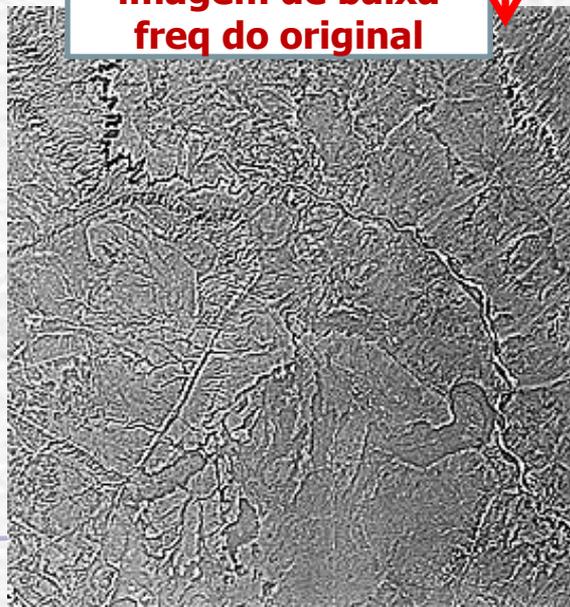


Aumentando o n<sup>o</sup> de pixels na matriz de convolução as altas freq ficam mais bem definidas

Filtro direcional com gradiente



Subtraindo a imagem de baixa freq do original



# Bactérias

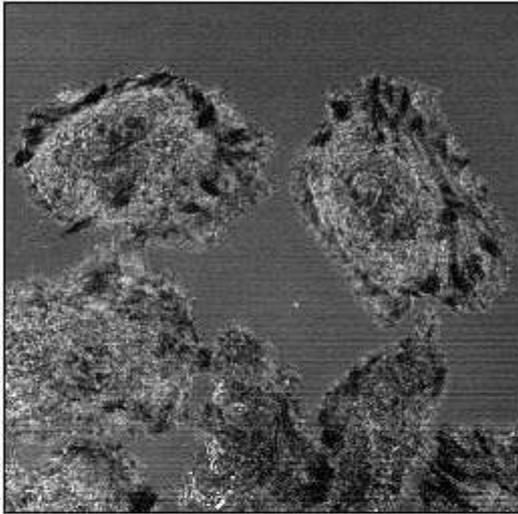
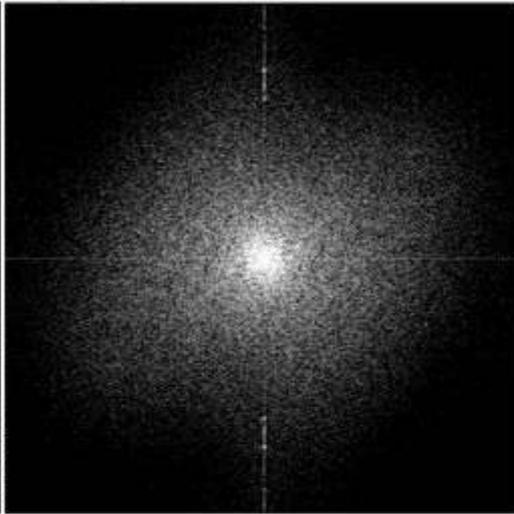
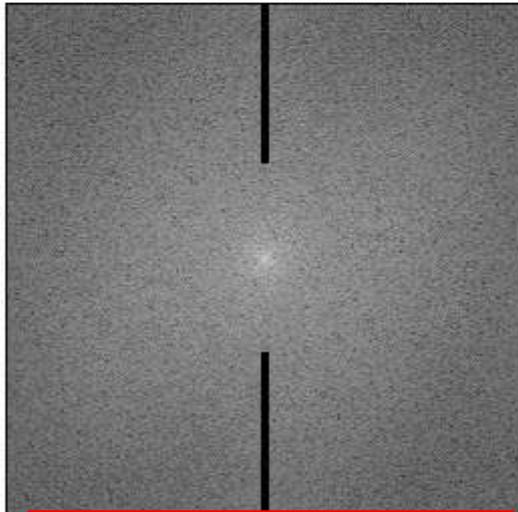


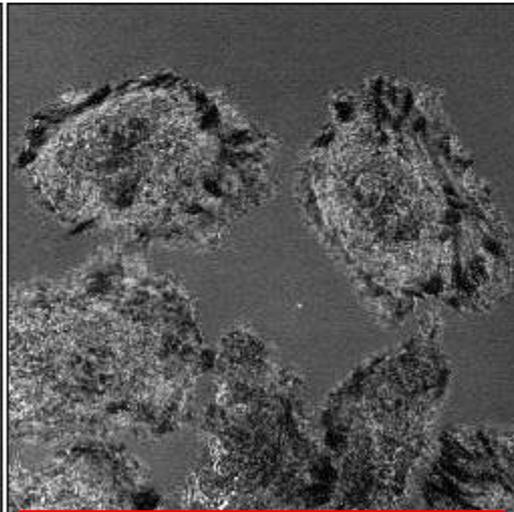
Imagem original:  
microscópio, bactérias



Transformada de Fourier  
calculada pelo ImageJ



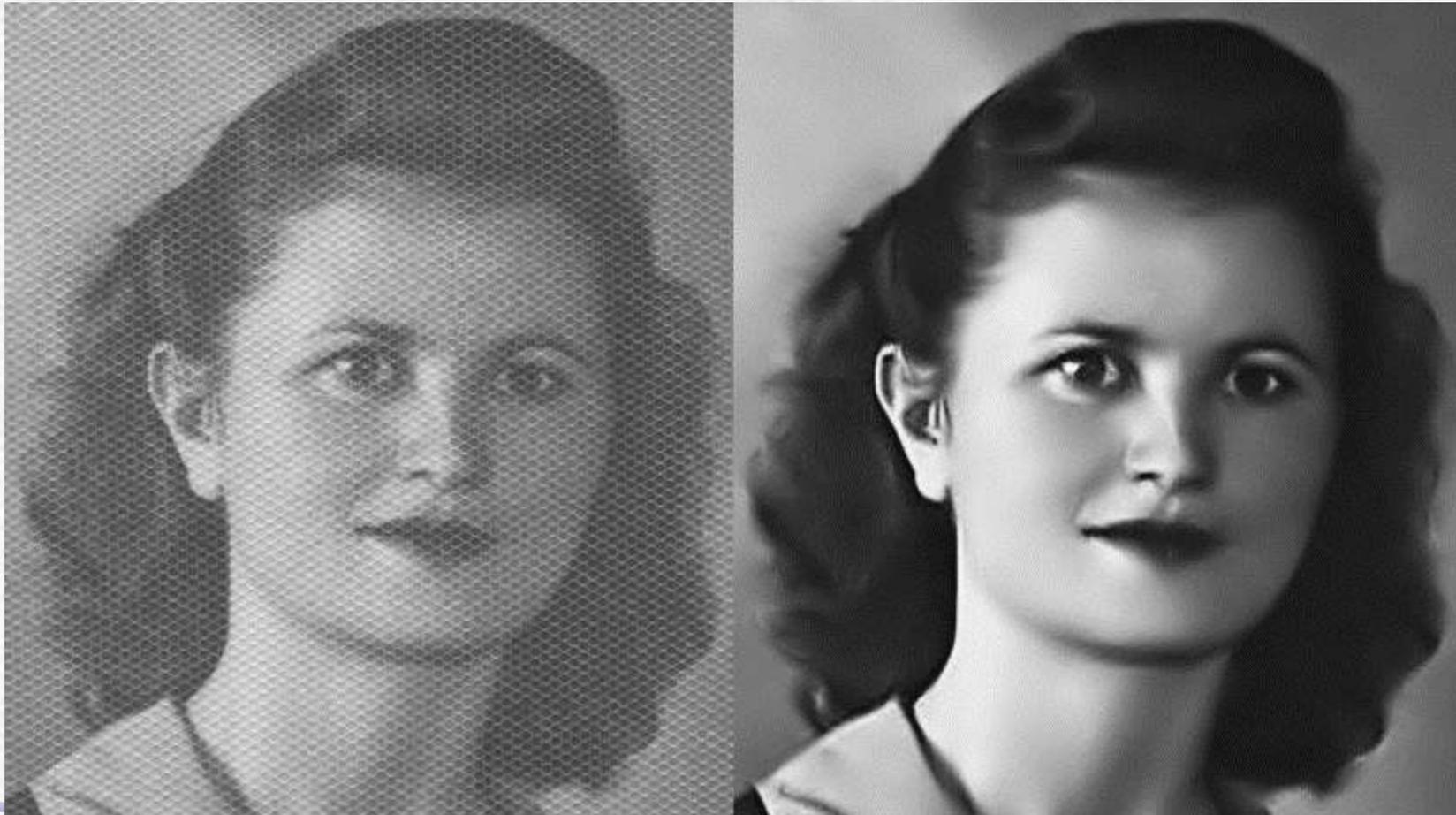
Filtro aplicado na  
transformada



A transformada inversa  
depois do filtro

# Limpendo uma Fotografia

- Neste caso, além do filtro para retirar a grade foi aplicado um filtro de baixas frequências que perde definição mas aumenta o contraste.



# Fibroblastos

Unprocessed image of fibroblasts on a coverslip taken with a laser scanning microscope in transmission mode. A square was scratched into the coverslip to locate the cells. Strong shading.

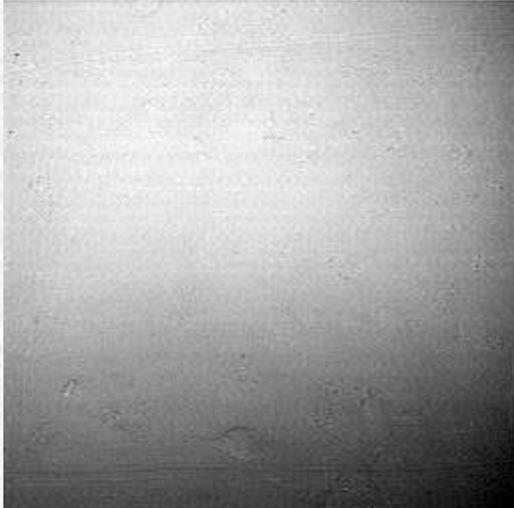


Fig. 2: Same image after filtering of large structures down to 40 pixels small structures up to 3 pixels. One clearly sees that stripes, which in this case are due to laser/detector variations or background light from fluorescent tubes, are not suppressed.



**All images were scaled down from 1024x1024 to 256x256, but FFT Filtering was done at the original resolution.**

Fig. 3: The same as Fig. 2 plus suppression of horizontal stripes. Tolerance: 5%

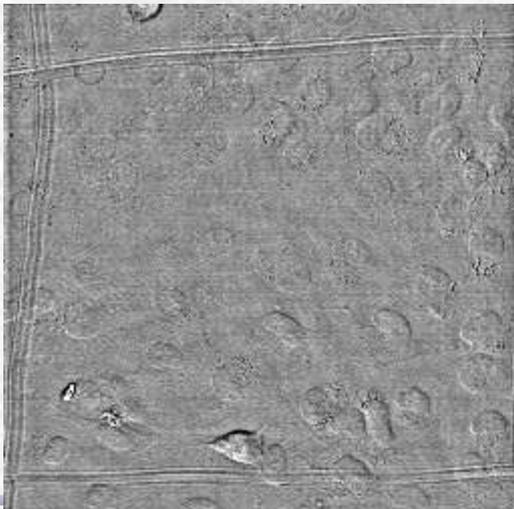


Fig. 4: A similar image with some high intensity dirt after filtering with the same parameters as in Fig. 3. Generally all stripes are removed, but stripe artifacts around the dirt are created

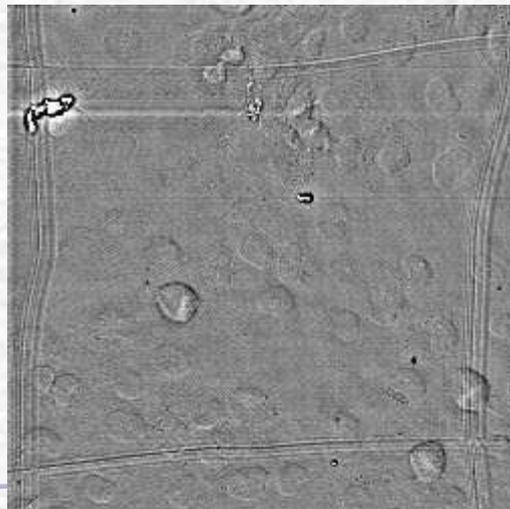
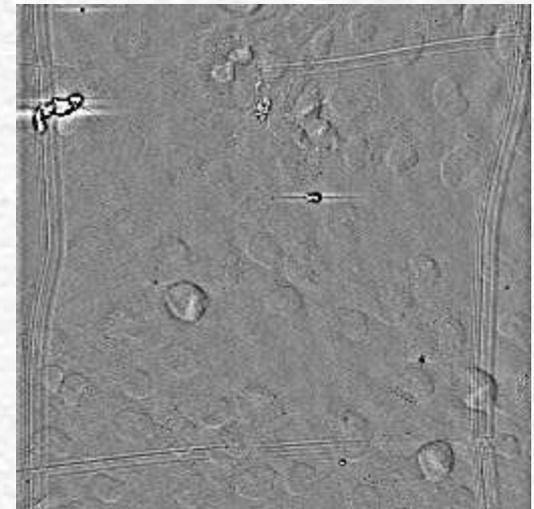
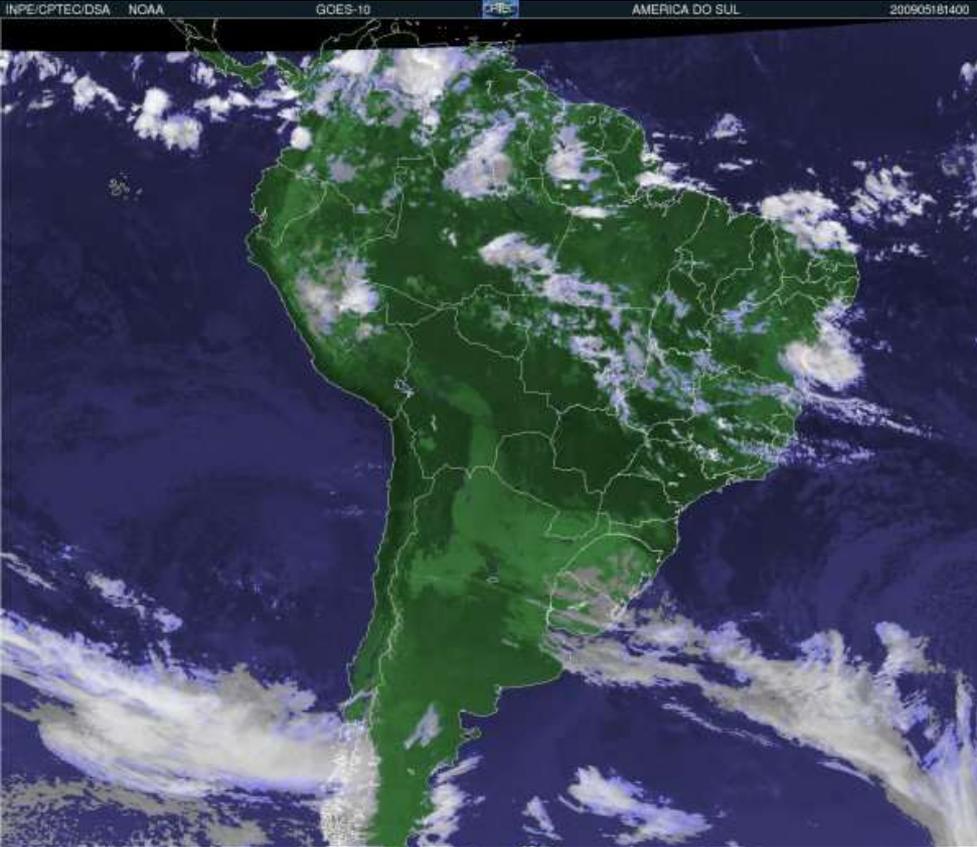


Fig. 5: Like fig.4, but with a tolerance of 90% instead of 5%. The stripe artifacts have become shorter. However the upper scratch has vanished in the left corner, where it was almost horizontal, and the stripe artifacts around the small dirt have become a bit stronger.

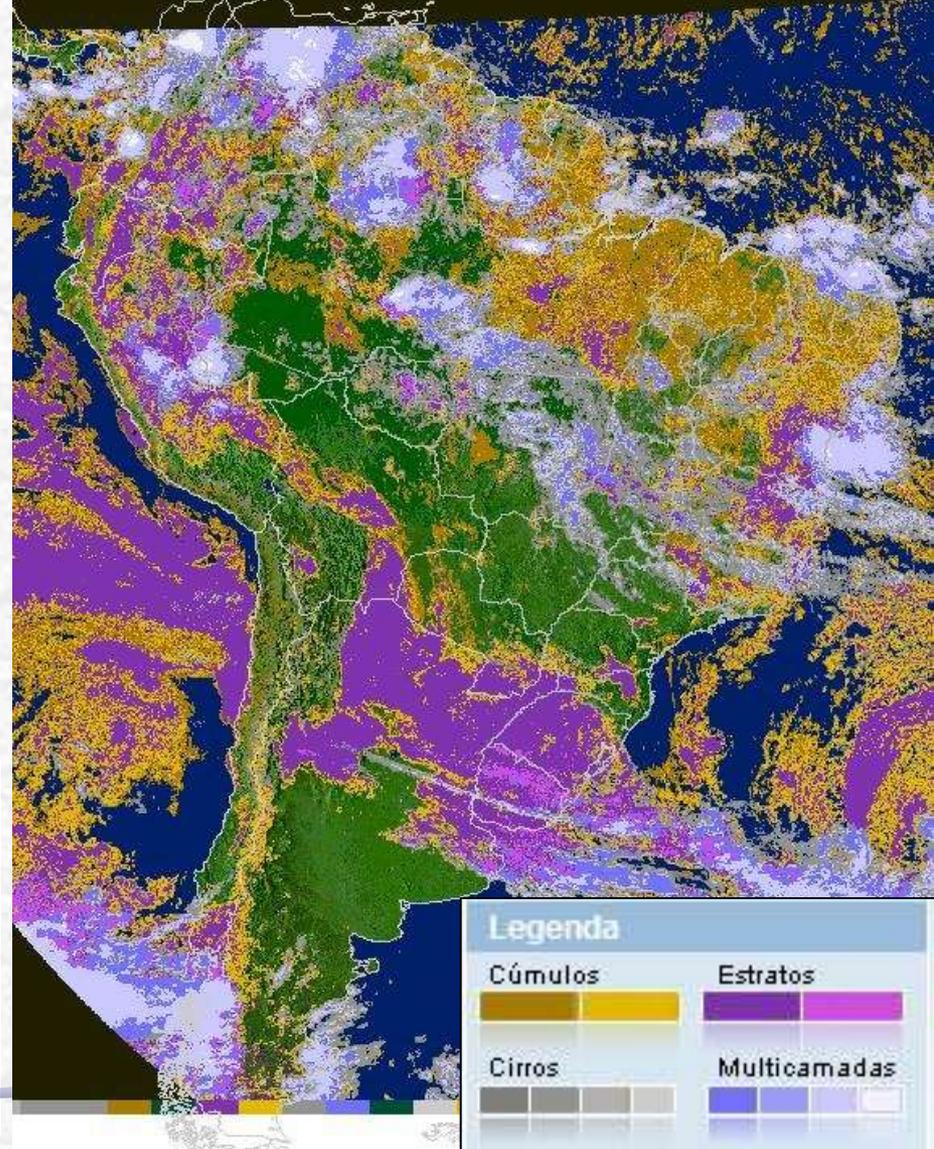


# Classificação de Nuvens



"O GOES é um dispositivo de 5 canais espectrais sendo um Visível ( $0,55-0,75 \mu\text{m}$ ), três canais Infravermelhos ( $3,8-4,0 \mu\text{m}$ ,  $10,2-11,2 \mu\text{m}$ ,  $11,5-12,5 \mu\text{m}$ ) e o canal de Vapor d'Água ( $6,5-7,0 \mu\text{m}$ ). No canal Visível, a resolução é 1 km. Nos canais Infravermelhos, a resolução é de 4km. No canal Vapor d'água, a resolução é de 8 km."

<http://sigma.cptec.inpe.br/nuvens/>

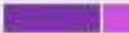


## Legenda

Cúmulos



Estratos



Cirros



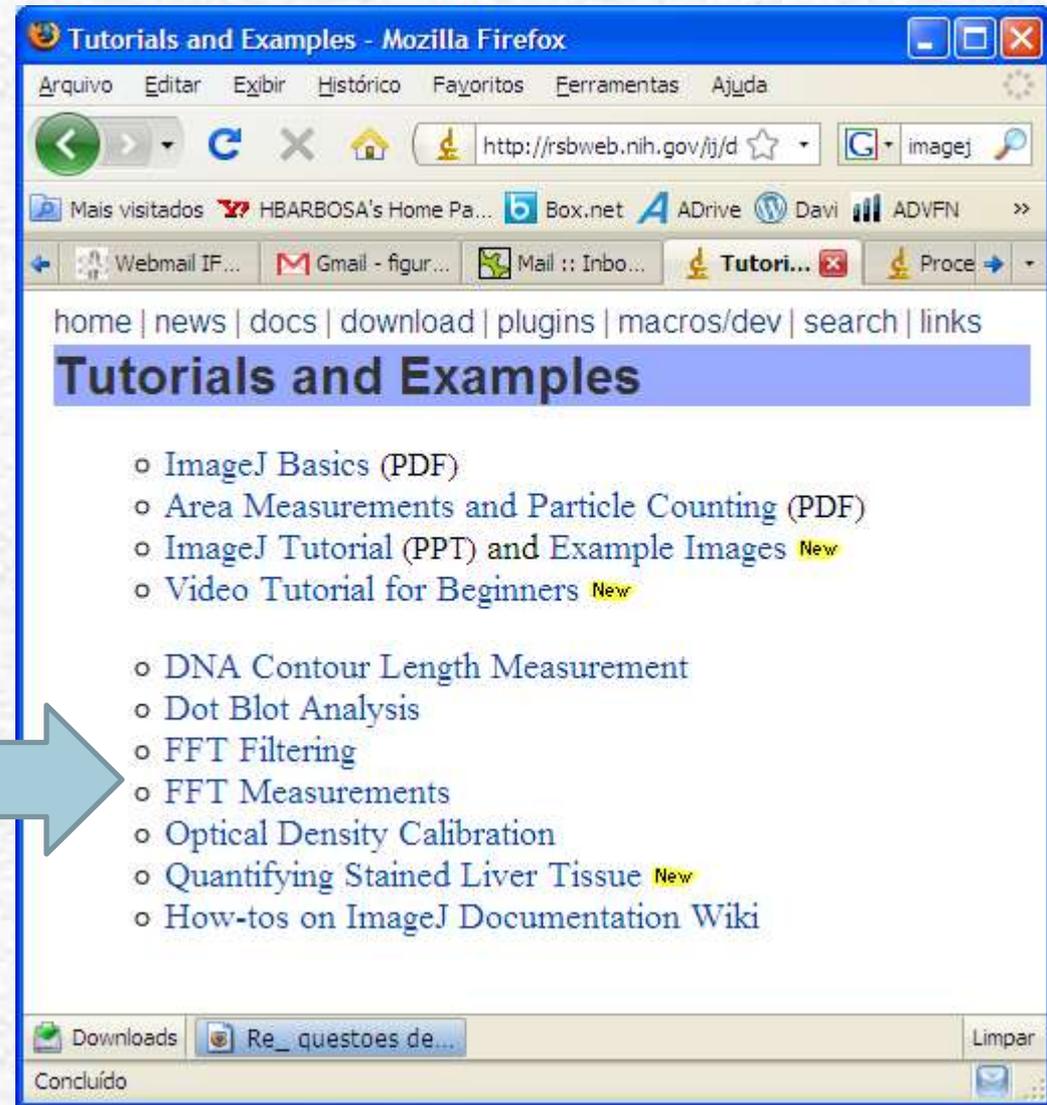
Multicamadas



# Usando o ImageJ

- No site do ImageJ há vários tutoriais e exemplos.
  - É a maneira mais fácil de aprender a usar o programa!

Vejam principalmente aqueles sobre FFT



É possível exportar uma imagem como texto, para abrir no origin, por exemplo:  
File -> SaveAs -> Text Image

# Usando o ImageJ: exemplo

Vamos fazer a transformada de uma linha (i.e. a difração por uma fenda).

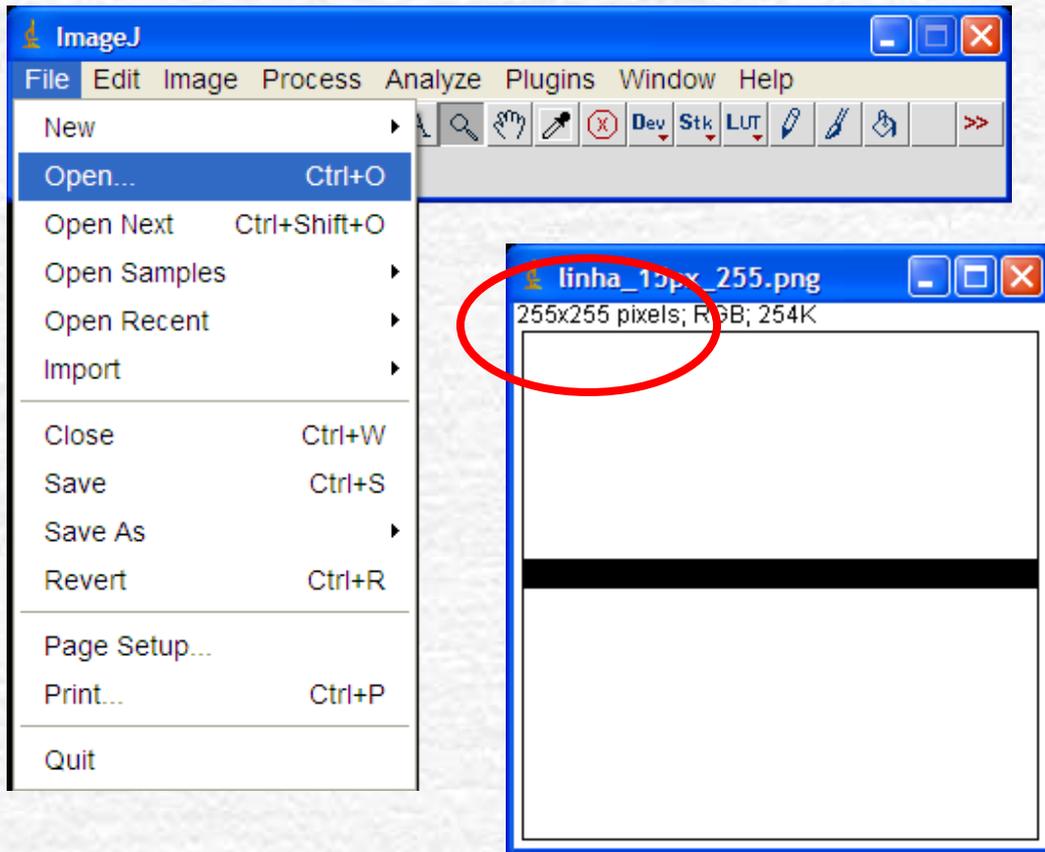
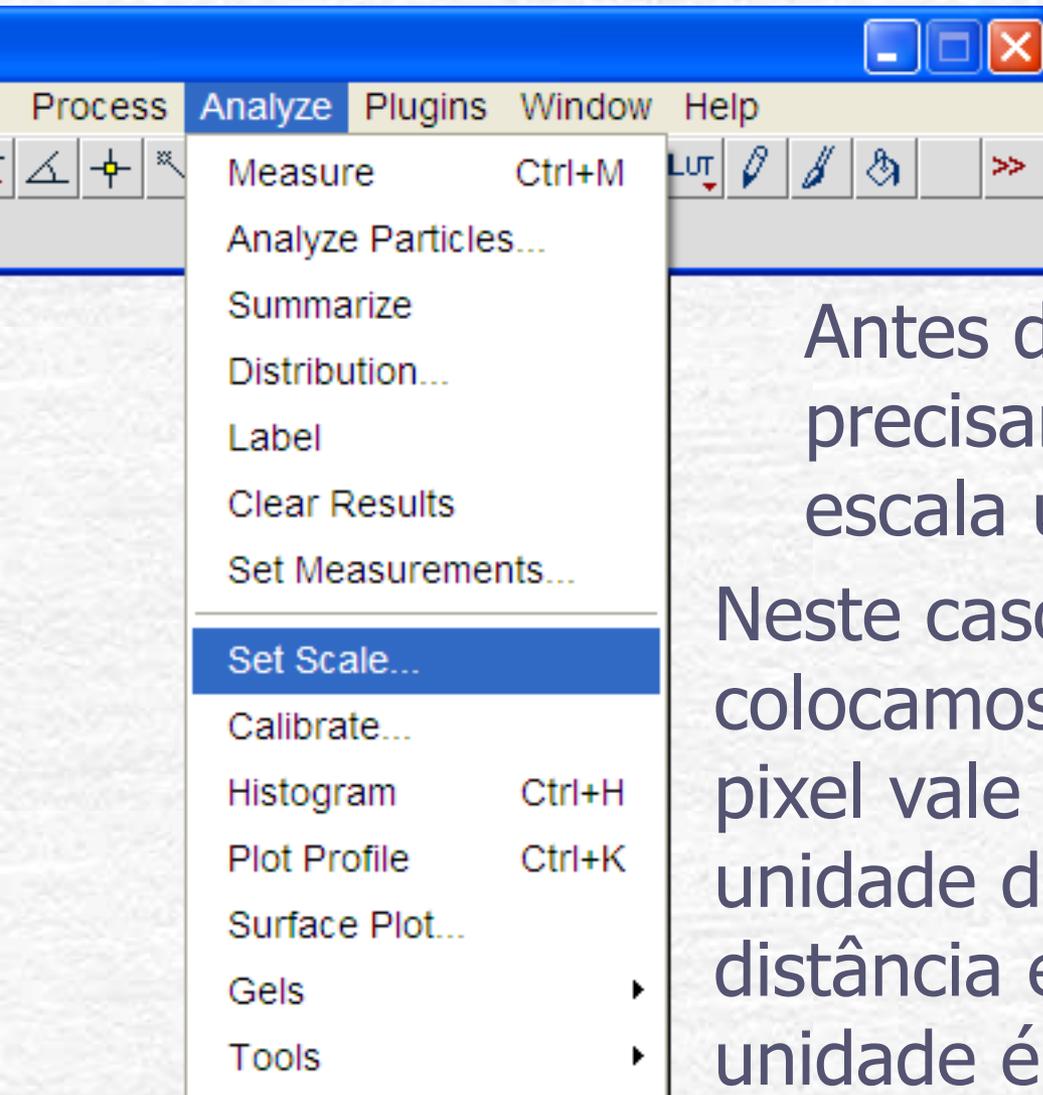


Imagem de 255x255 pixels criada no PaintBrush ou similar. A linha tem 15pixels.

Como somos os criadores da imagem, definimos a escala:

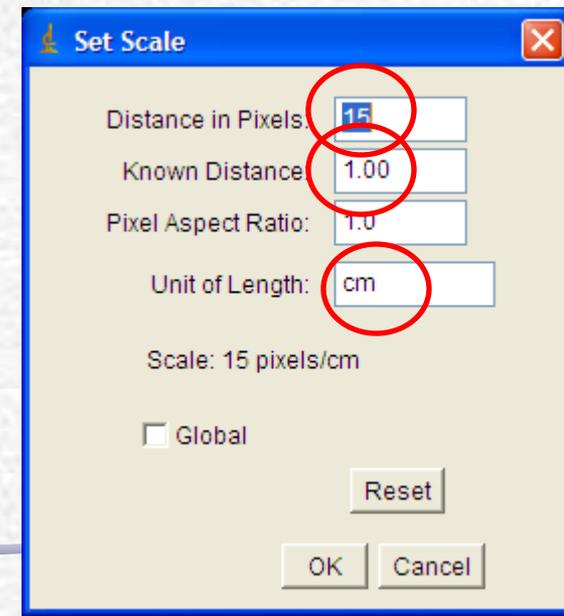
$$15 \text{ pixel} = 1\text{cm}$$

# Uando o ImageJ: 'Set Scale'

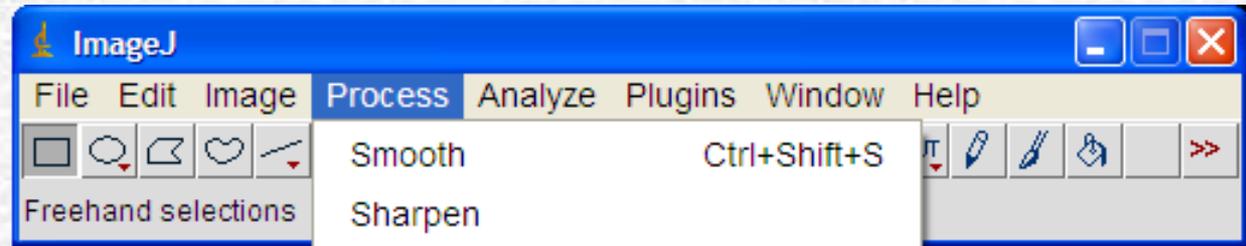


Antes de processar a imagem, precisamos informar qual a escala utilizada.

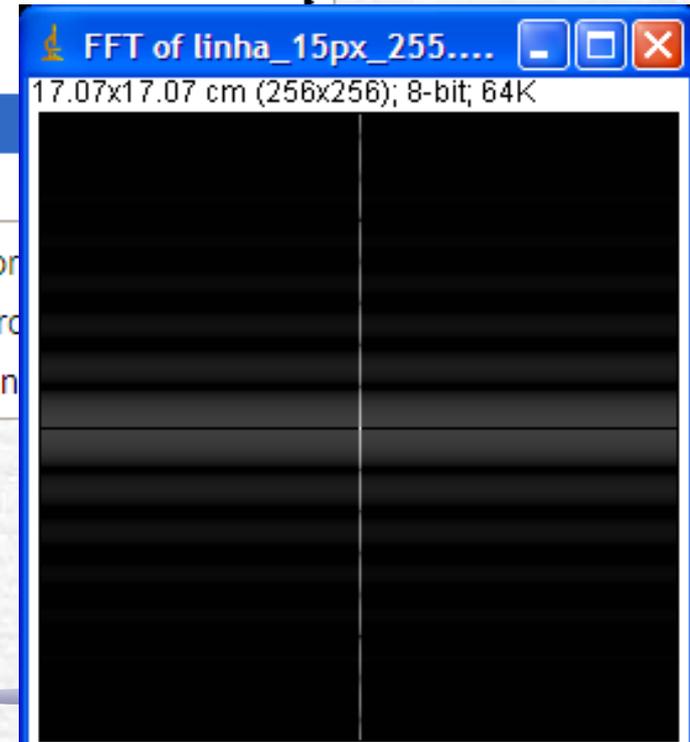
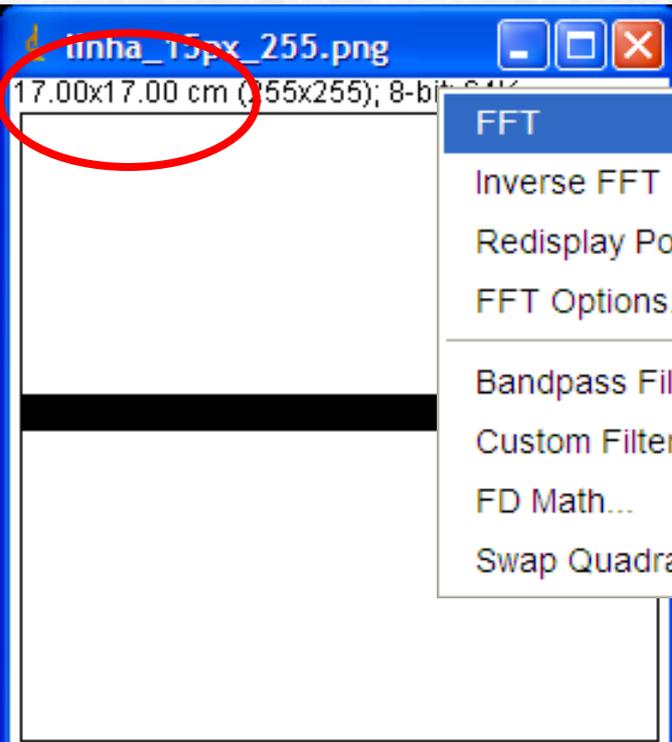
Neste caso colocamos que 15 pixel vale 1 unidade de distância e que a unidade é cm.



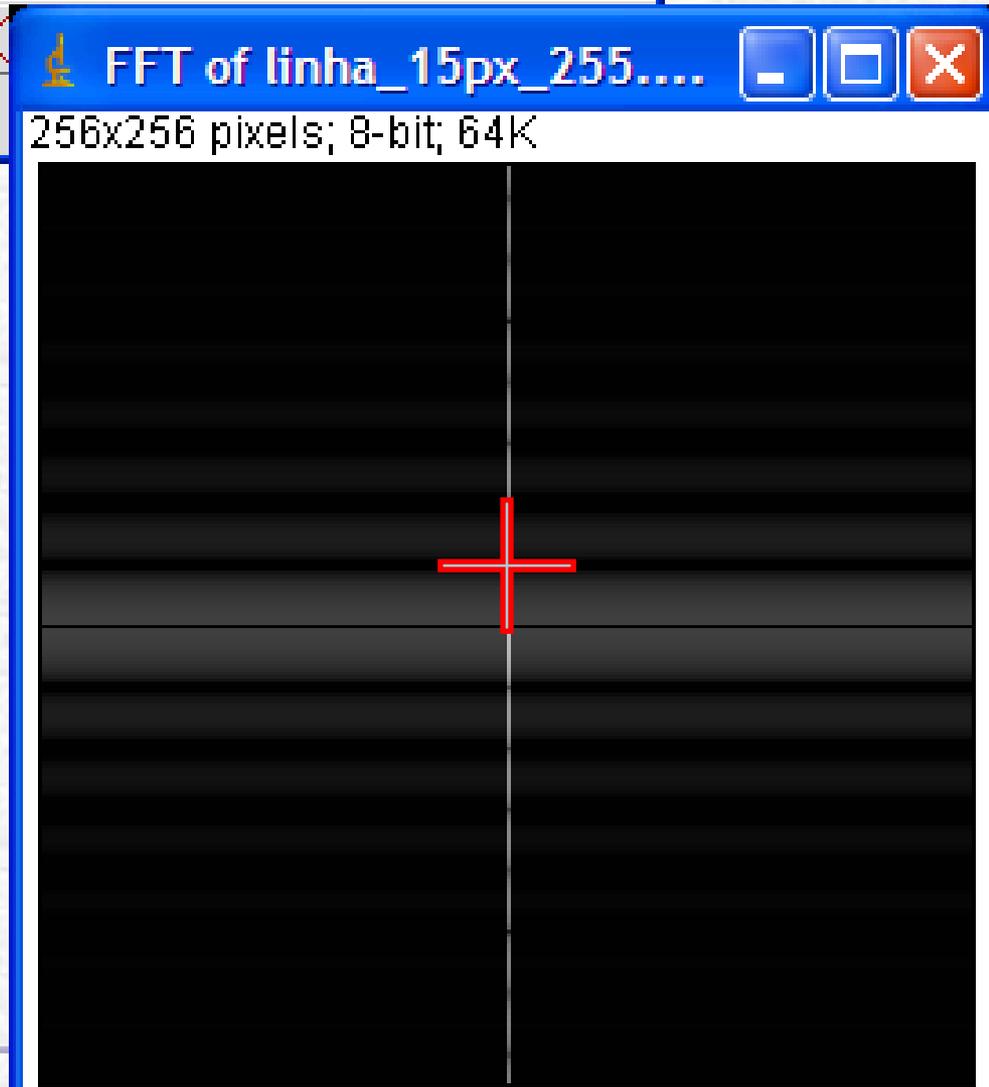
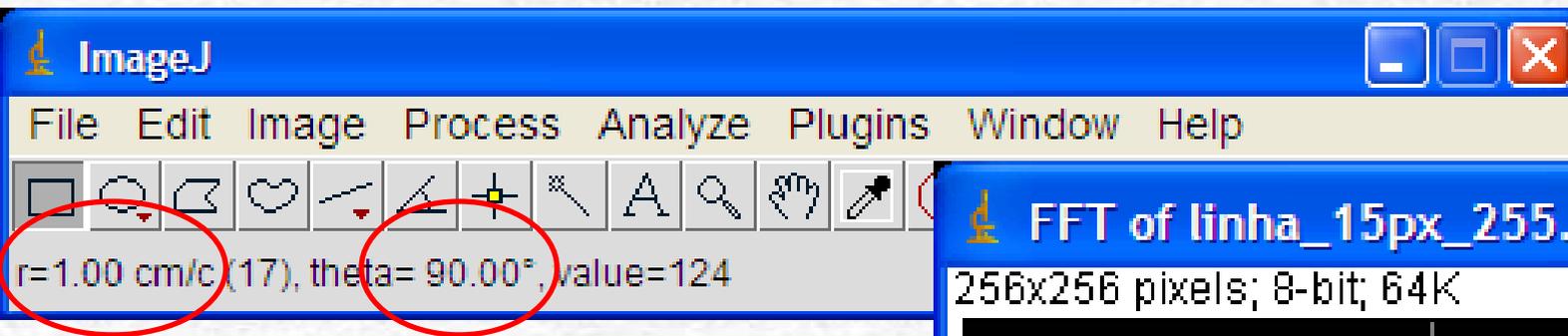
# Usando o ImageJ: 'A transformada'



Agora é só pedir para fazer a transformada direta!



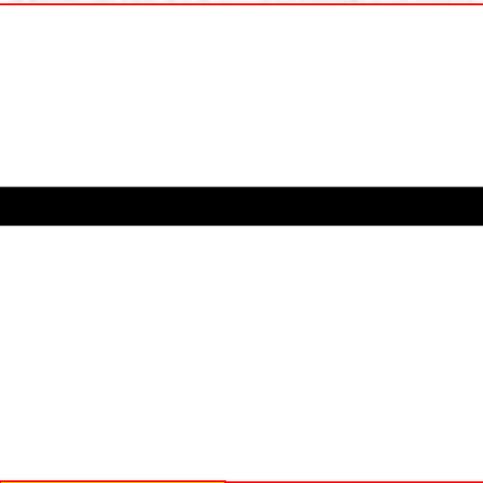
# Usando o ImageJ: Cursor



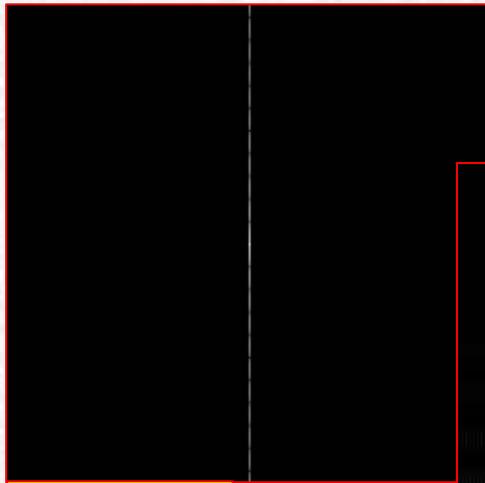
Quando movemos o curso sobre uma janela, podemos ver a posição!

- Na imagem, segue a unidade que definimos
- Na FFT, mostra o período de um ciclo (distância/ciclo) usando coordenadas polares.

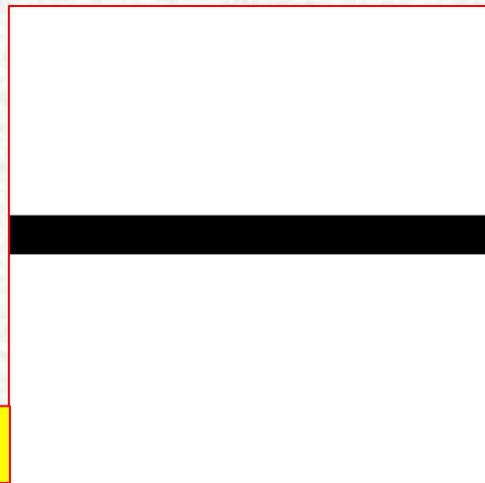
# Transformada discreta: método numérico exige $2^n$ pontos



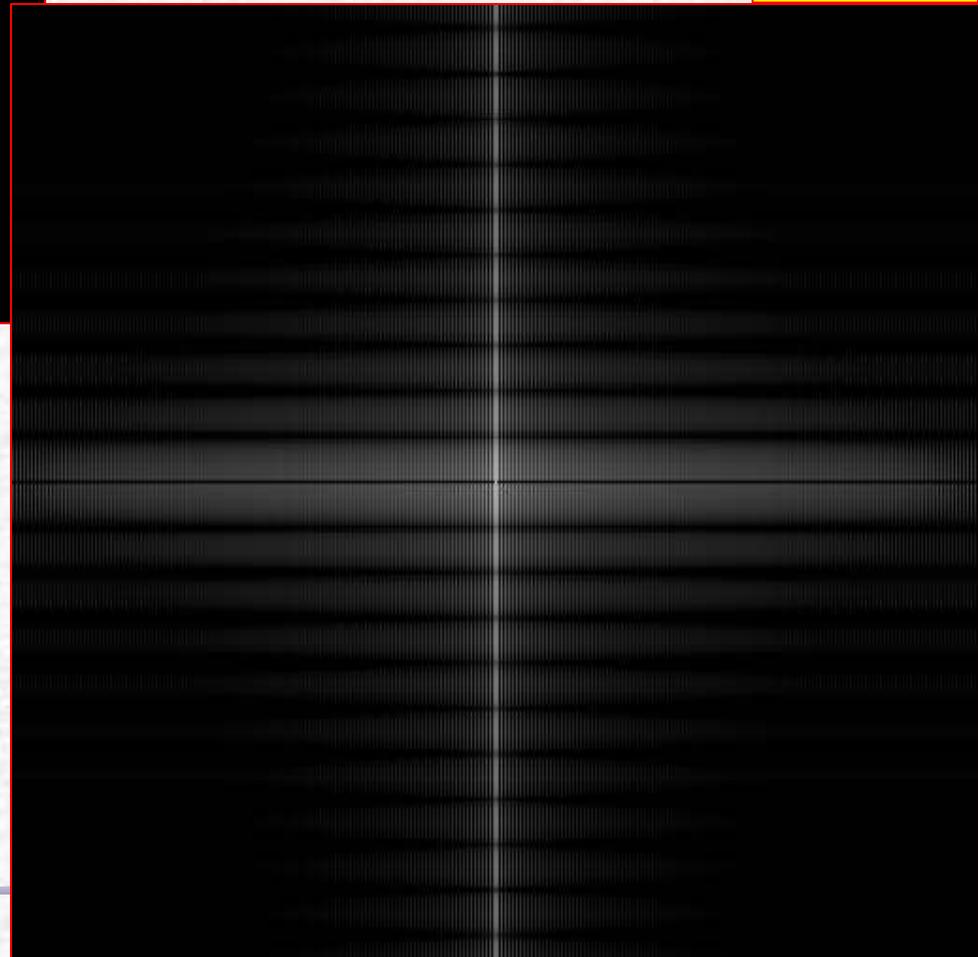
256x256



256x256



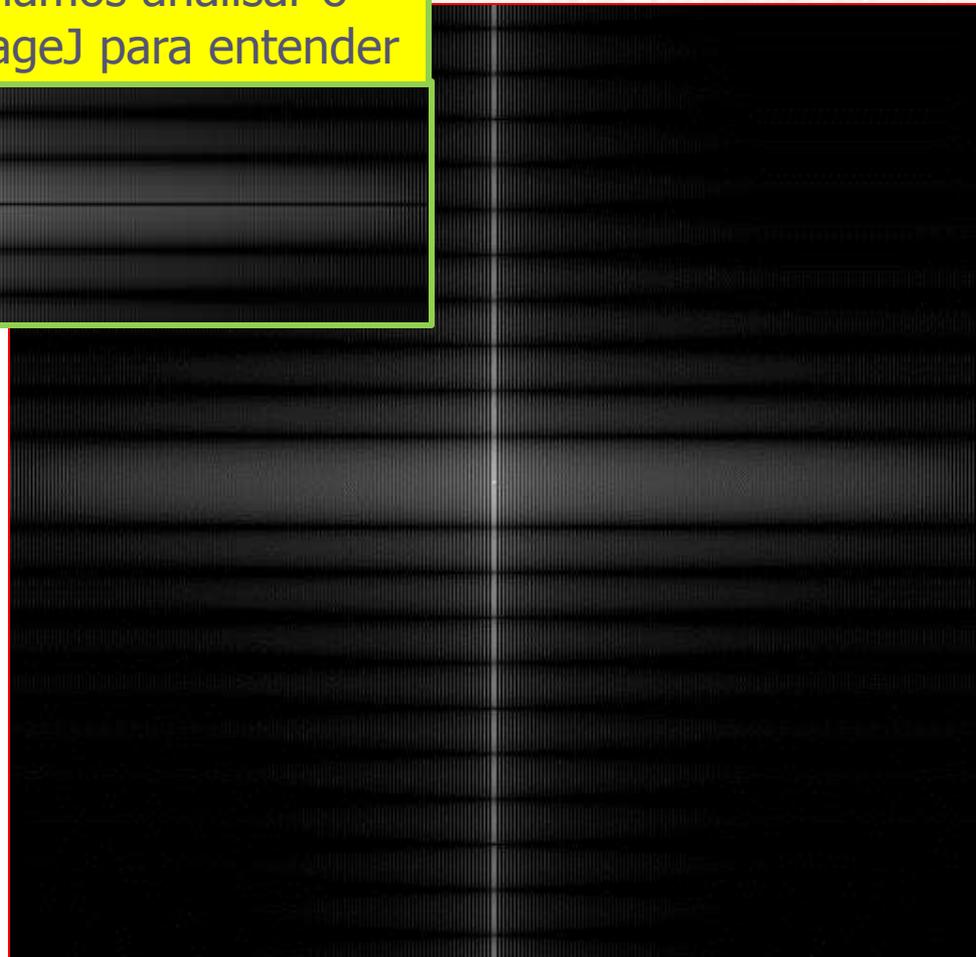
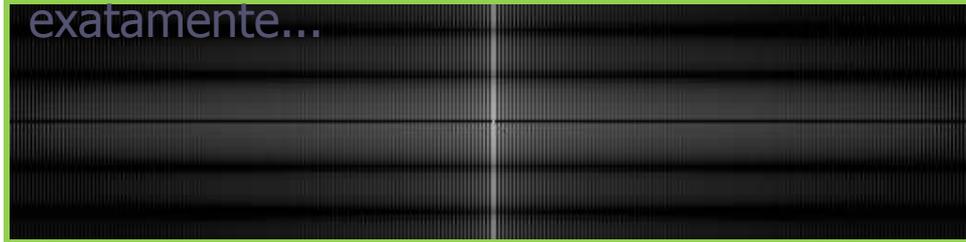
257x257



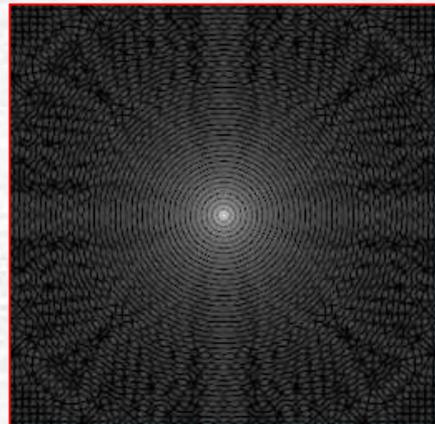
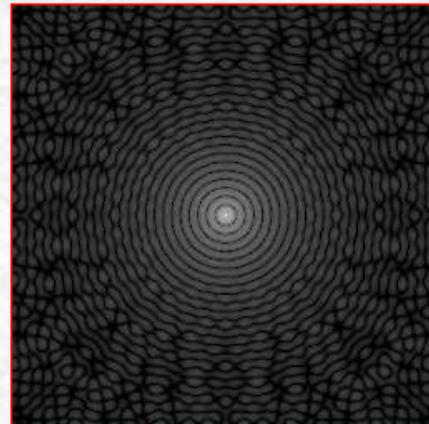
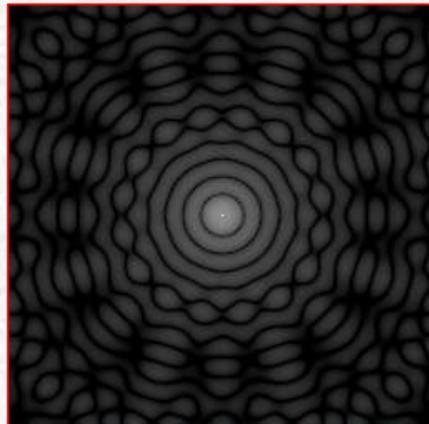
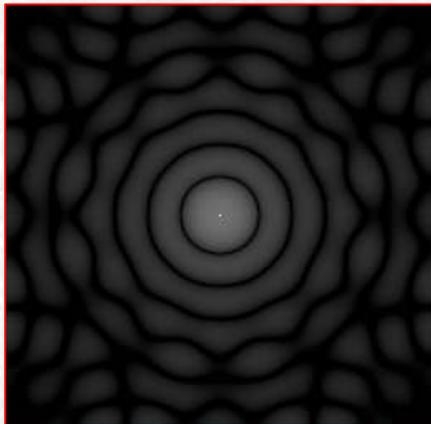
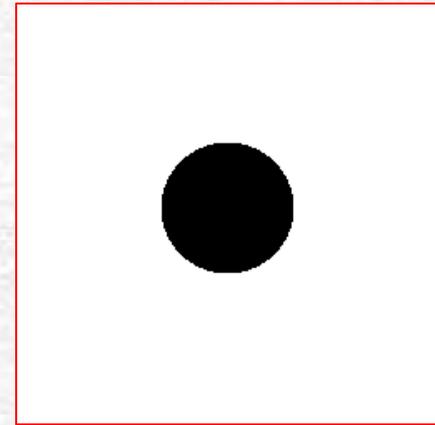
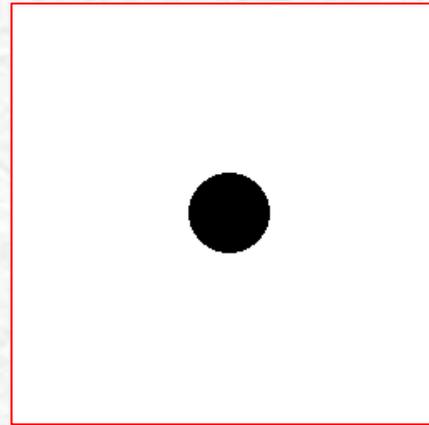
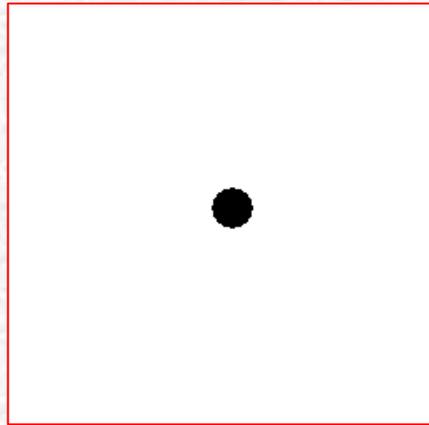
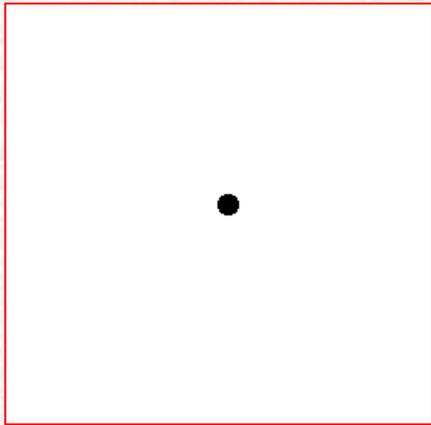
512x512

# Preenchendo o intervalo 258->512 com branco e fazendo a FFT temos:

É quase isso. Ainda há uma pequena diferença em  $k_y=0$ ... teríamos analisar o algoritmo da FFT do ImageJ para entender exatamente...



# Transformada de orifício circular, apenas alguns mínimos estão bem definidos



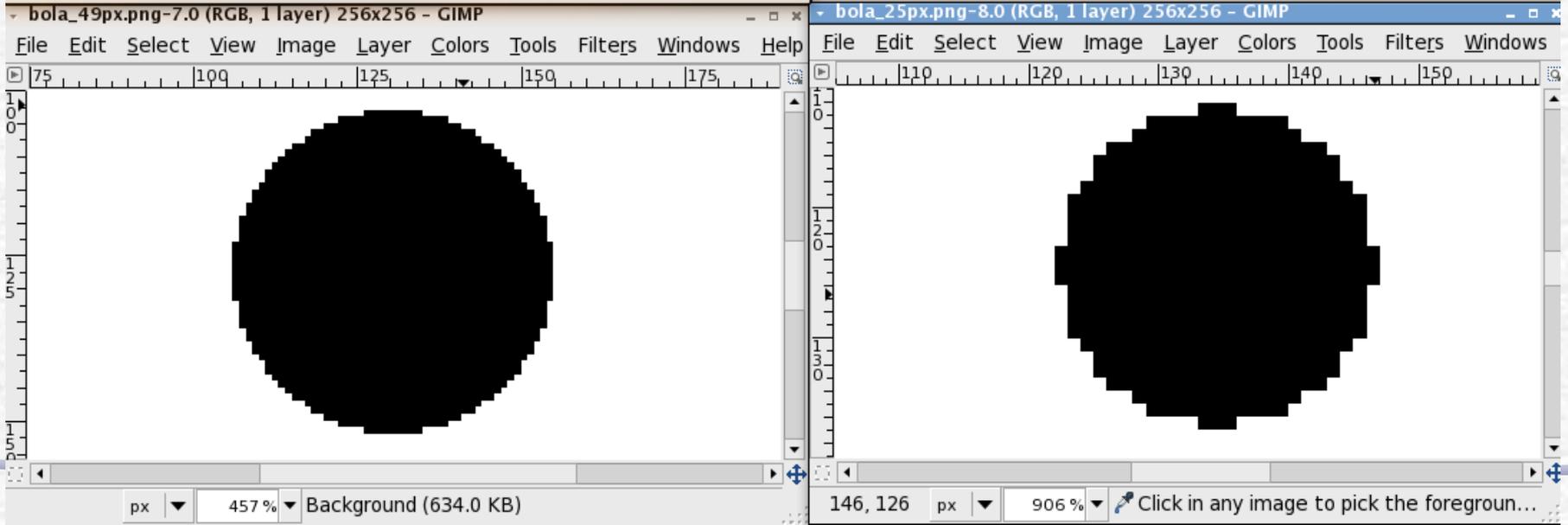
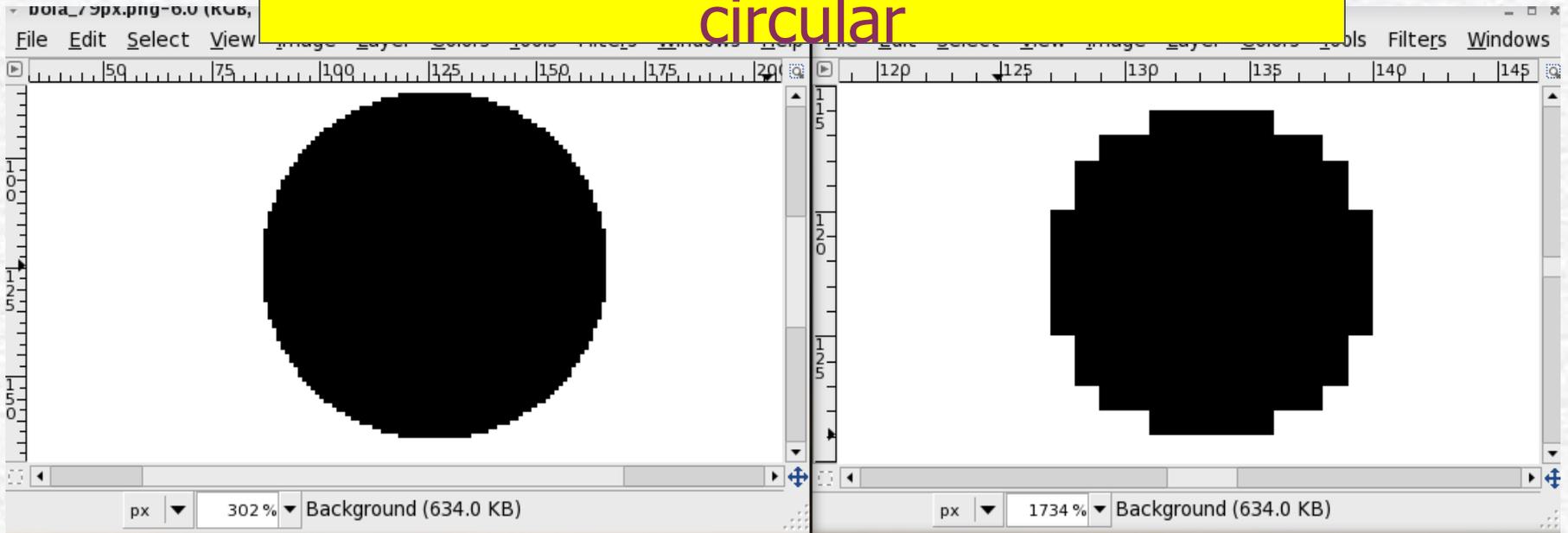
3 mínimos

5 mínimos

12 mínimos

>20 mínimos

Tamanho dos "pixels" faz a figura não ser um orifício realmente circular



# Entregar 1: Computador Ótico

- Fotografe a grade escura usada no computador ótico e calcule a transformada de Fourier da grade. A seguir:
  - Reproduza os filtros utilizados na bancada para retirar as linhas verticais e horizontais
  - Retire a frequência espacial zero
  - Retire as frequências espaciais altas
- Compare com os resultados obtidos na bancada. No caso do filtro na frequência espacial zero discuta o resultado obtido.

# Entregar 2: O próprio Fourier

- **Jean Baptiste Joseph Fourier**
- Calcule a transformada do Fourier. Em seguida aplique filtros para:
  - Retirar o quadriculado do paletó do Fourier
  - Retirar a sombra da testa do Fourier
  - Suavize a imagem (a granulação praticamente desaparece)



March 21 1768 - May 16 1830

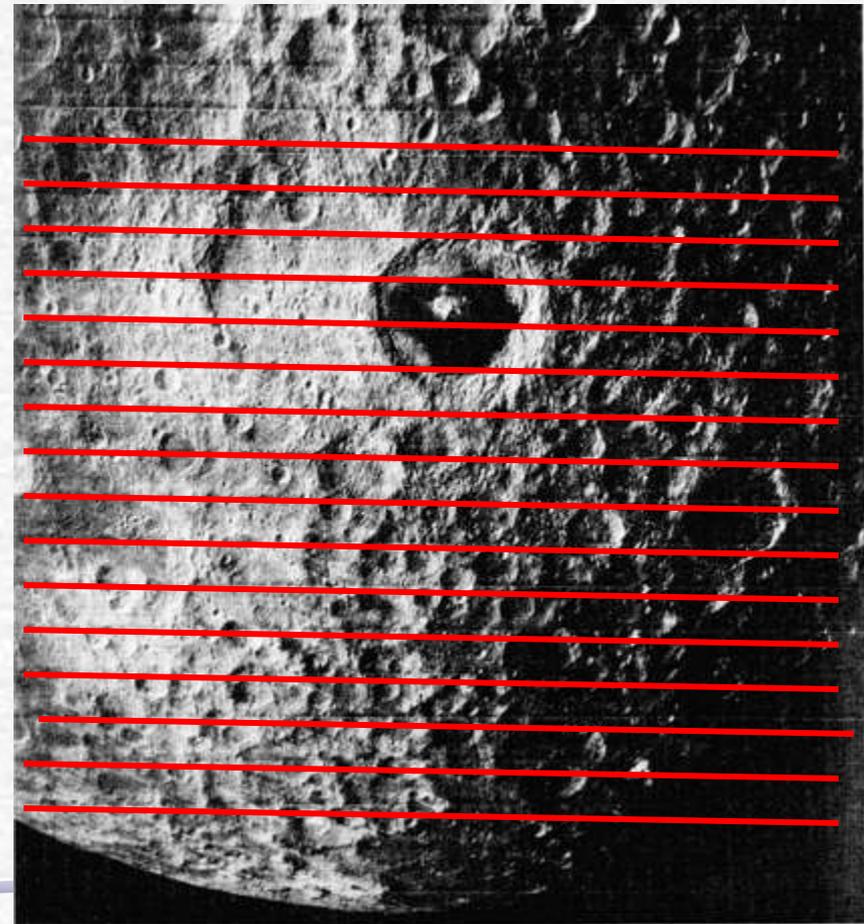
# Para entregar 3: grade

- Retirar a grade



# Exercício 4: Imagem da Lua

- A imagem da Lua chega à Terra por partes e é recomposta.
- É preciso encontrar filtro adequado para eliminar as listas horizontais com perda de definição mínima.

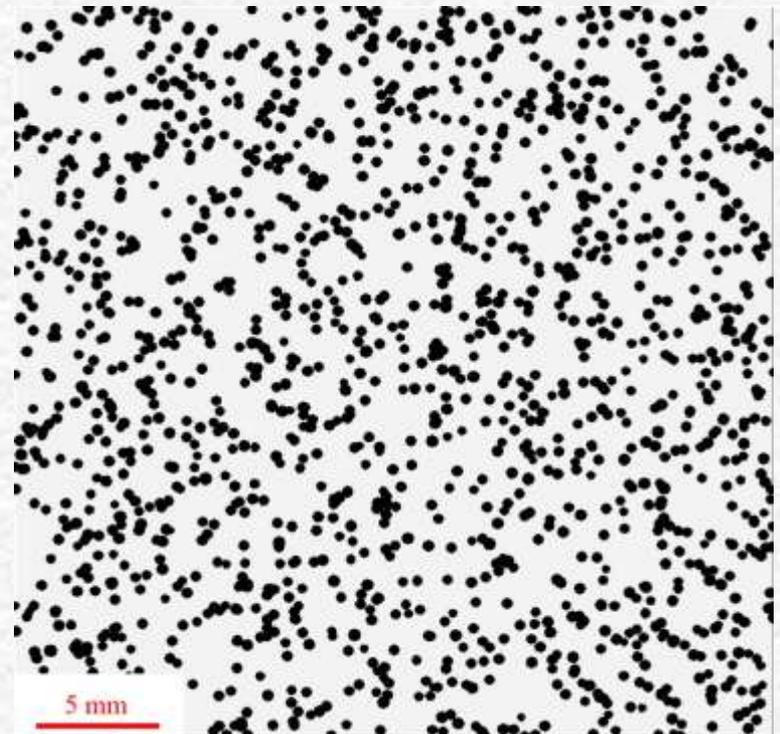


# Para entregar: Aplicações

Quantificando estruturas por meio da Transformada de Fourier

**ESCOLHA APENAS 2 DAS IMAGENS A SEGUIR!**

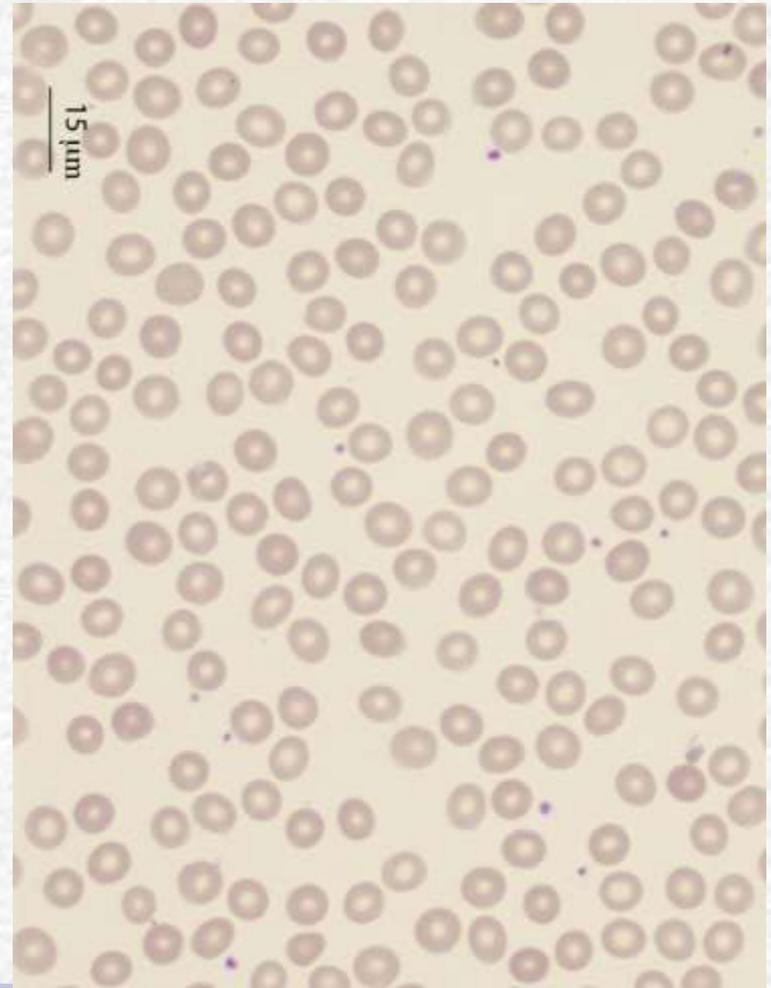
- Usando a imagem ao lado, faça as seguintes atividades
  - Obtenha a TF desta imagem.
  - A partir das estruturas da T.F. Determine:
    - O tamanho médio das bolinhas da imagem.
    - É possível dizer, a partir da TF, se as bolinhas estão dispostas aleatoriamente?



# Para entregar: Aplicações

Quantificando estruturas por meio da Transformada de Fourier

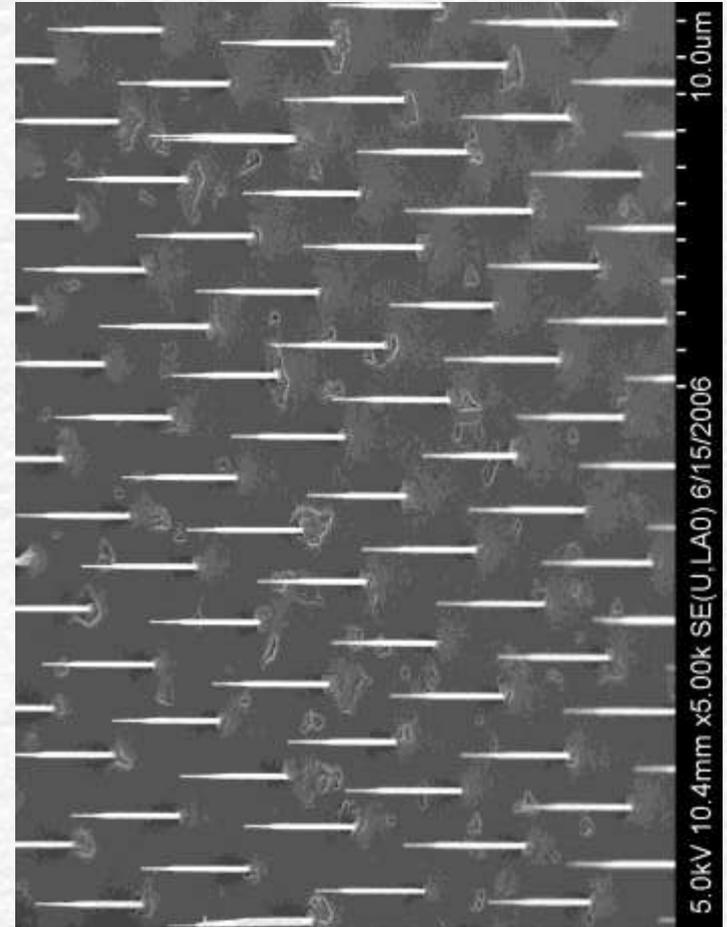
- Tamanho de hemácias do sangue humano
- Usando a imagem ao lado, faça as seguintes atividades
  - Obtenha a TF desta imagem.
  - A partir das estruturas da T.F. Determine:
    - O tamanho médio das hemácias do sangue.



# Para entregar: Aplicações

Quantificando estruturas por meio da Transformada de Fourier

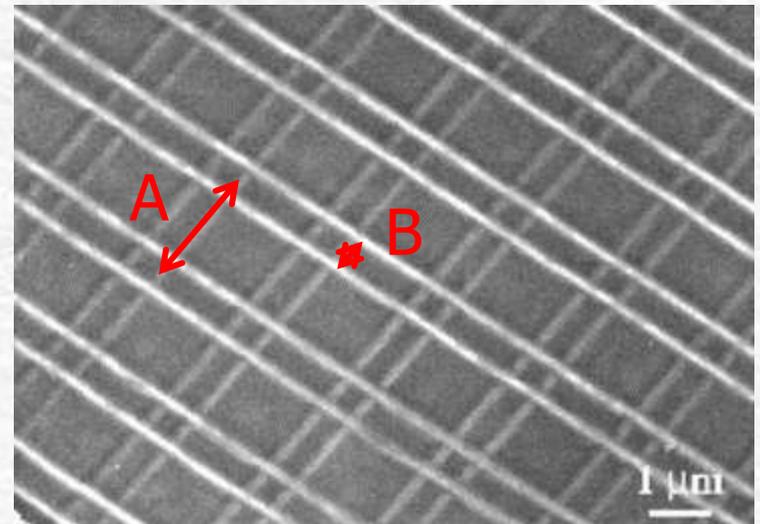
- Largura de nano-tubos de GaS
- Usando a imagem ao lado, faça as seguintes atividades
  - Obtenha a TF desta imagem.
  - A partir das estruturas da T.F. Determine:
    - A largura média dos nano-tubos



# Para entregar: Aplicações

Quantificando estruturas por meio da Transformada de Fourier

- Separação de nano-tubos
- Usando a imagem ao lado, faça as seguintes atividades
  - Obtenha a TF desta imagem.
  - A partir das estruturas da T.F. Determine:
    - As distâncias médias A e B



# Como apresentar os resultados?

- Para cada atividade, apresente:
  - Foto inicial
  - Transformada de Fourier da foto inicial
  - No caso de filtragem de imagens
    - Transformada de Fourier filtrada, caso estejamos filtrando imagens
    - Transformada inversa de Fourier
  - No caso da obtenção de dimensões
    - Indicar os pontos que foram utilizados para determiná-las e como foi feita a análise (critérios de incertezas, por exemplo)
  - Comente os resultados

# Como apresentar os resultados?

- Exemplo de como apresentar os resultados:

- Comentários:

Na imagem ao lado vemos que ...

