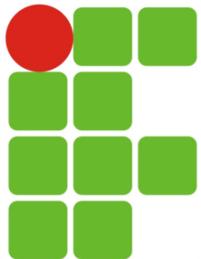


# Processamento Digital de Imagens

## Fundamentos da imagem digital



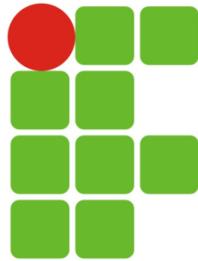
**Professor Dr. Murilo Vargas da Silva**  
[murilo.varges@ifsp.edu.br](mailto:murilo.varges@ifsp.edu.br)



# Bibliografia

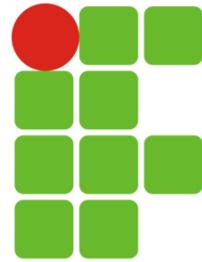


- **Capítulo 2**
- GONZALEZ, R. C.; WOODS, R. E. **Processamento digital de imagens.** 3. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2010.
- Disponível da biblioteca digital Pearson
- Acesso via SUA com link na página inicial



# Aula passada

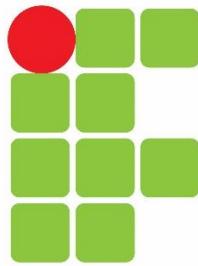
- Introdução ao processamento digital de imagens
  - ✓ O que é processamento digital de imagens?
  - ✓ As origens do processamento digital de imagens
  - ✓ Exemplos de áreas que utilizam
  - ✓ Passos fundamentais em processamento de imagens
  - ✓ Componentes de um sistema de processamento de imagens



# Aula de hoje!

---

- **Fundamentos da imagem digital**
  - Elementos da percepção visual humana
  - Sensores e aquisição de imagens
  - Amostragem e quantização
  - Exemplos Python



INSTITUTO FEDERAL DE  
EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA  
SÃO PAULO  
Campus Birigui

# Elementos da percepção visual

---

## Processamento Digital de Imagens

# Olho humano

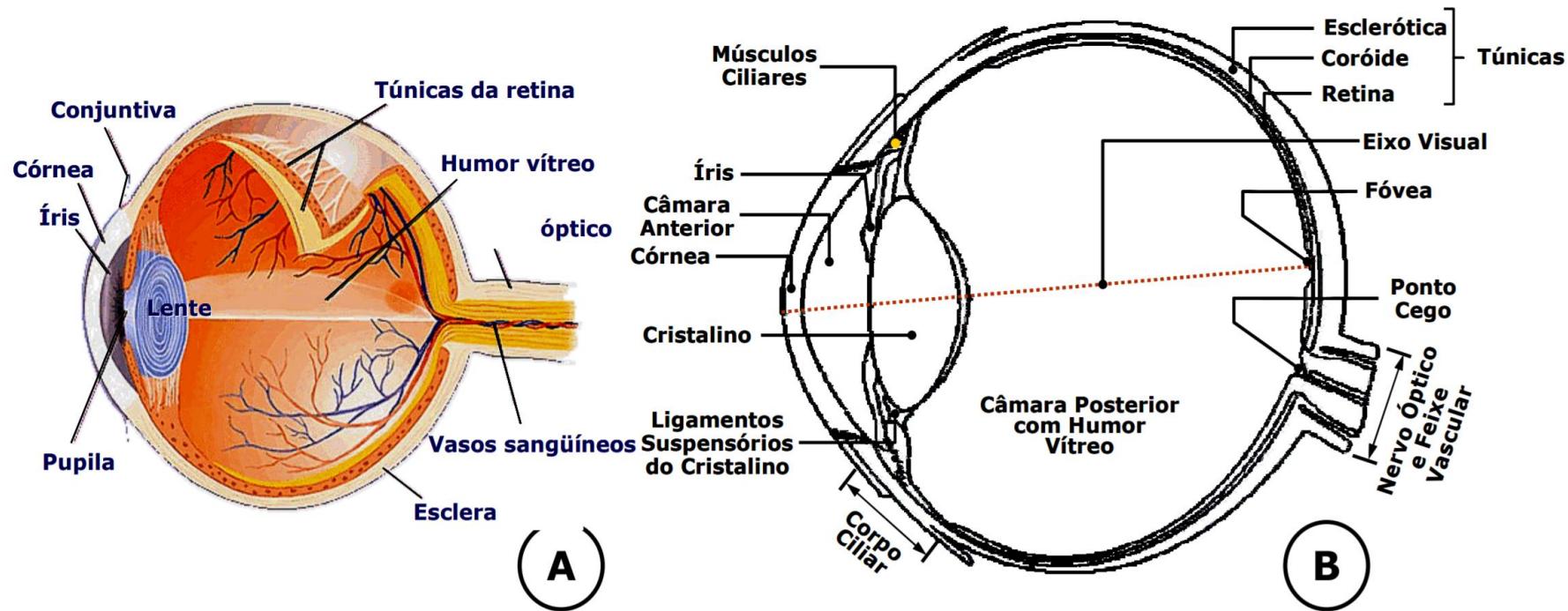
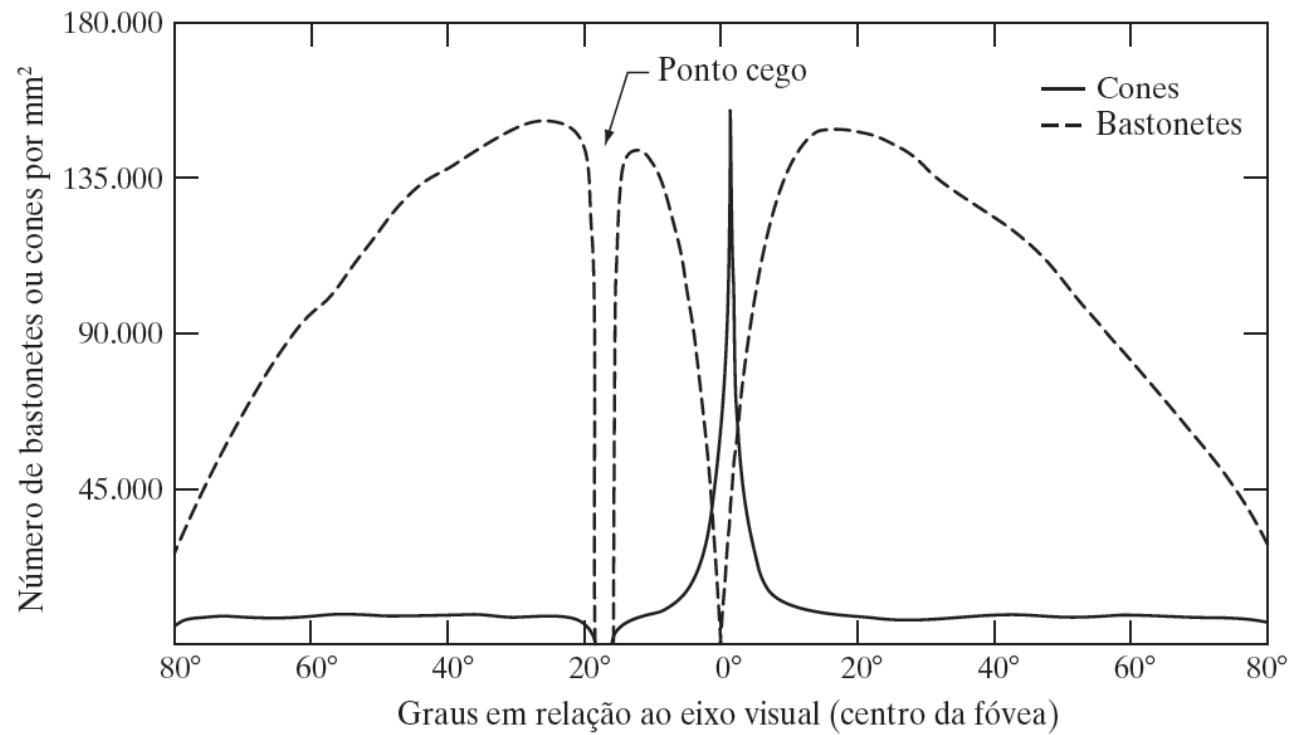
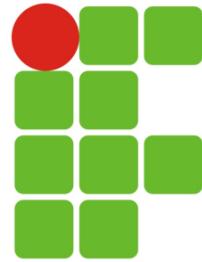


Fig. 3 - Olho humano: (A) visão geral; e (B) detalhamento dos componentes.

# Olho humano Cones e Bastonetes

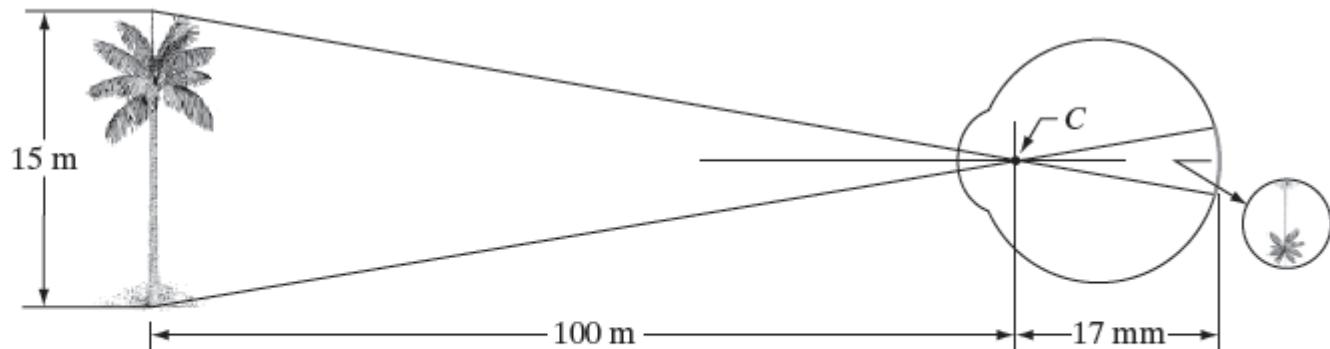


**Figura 2.2** Distribuição de bastonetes e cones na retina.

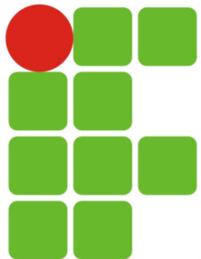


# Olho humano

## Formação da imagem no olho



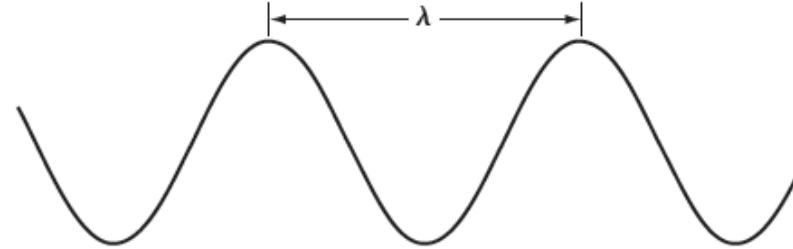
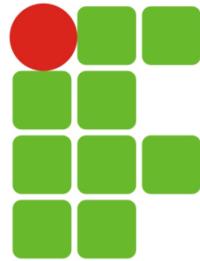
**Figura 2.3** Representação gráfica do olho focalizando uma árvore. O ponto C é o centro ótico do cristalino.



# Olho humano

## Espectro Visível

- Em 1666, Isaac Newton descobriu que quando um feixe de luz solar passa através de um prisma de vidro, o feixe de luz emergente não é branco;
- Consiste em um espectro contínuo de cores, que varia de violeta em uma extremidade ao vermelho na outra.
- A variedade de cores que percebemos na luz visível representa uma parcela muito pequena do espectro eletromagnético.



## Olho humano Espectro Visível

Figura 2.11 Representação gráfica de um comprimento de onda.

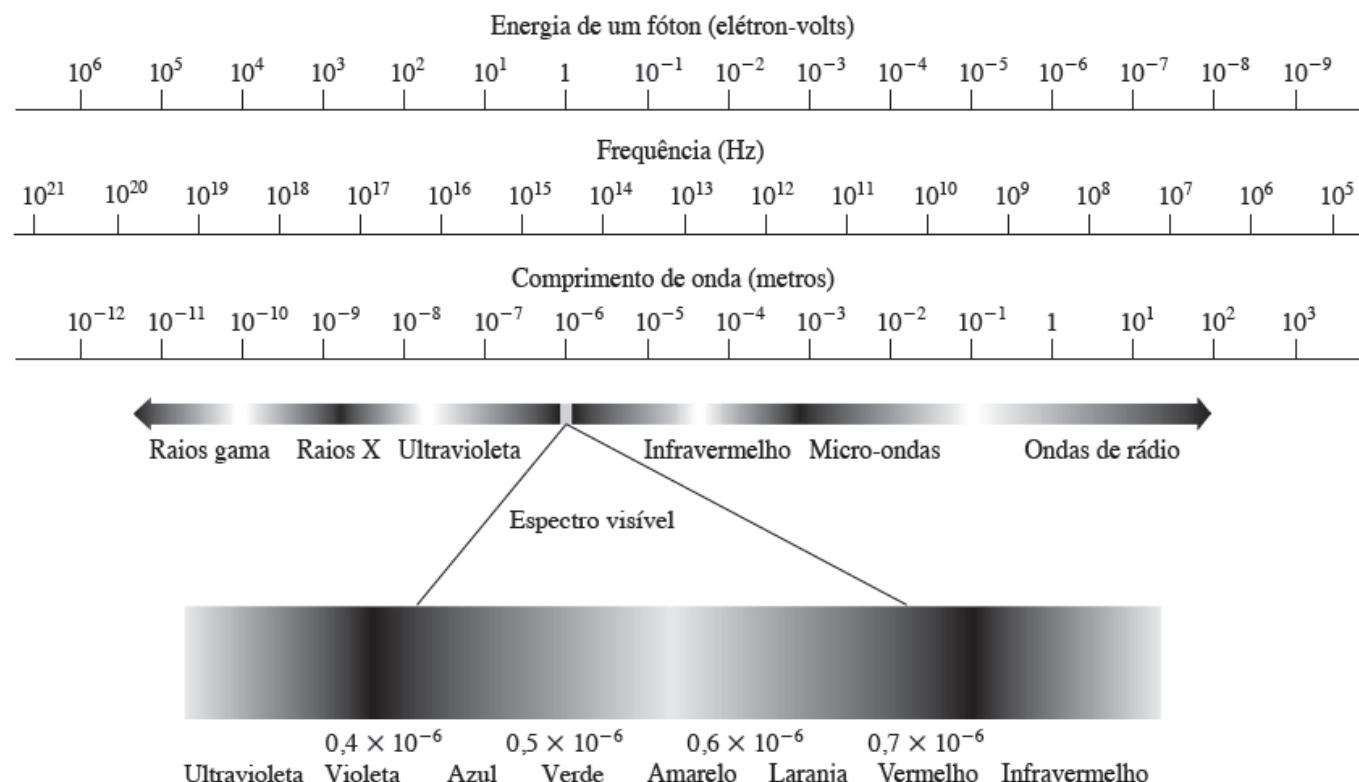
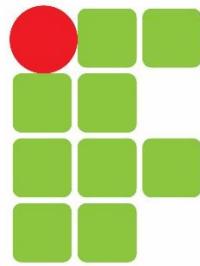


Figura 2.10 Espectro eletromagnético. O espectro visível foi ampliado na figura para facilitar a explicação, mas observe que o espectro visível representa uma parcela relativamente estreita do espectro EM.

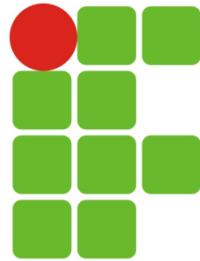


INSTITUTO FEDERAL DE  
EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA  
SÃO PAULO  
Campus Birigui

# Sensores e aquisição de imagens

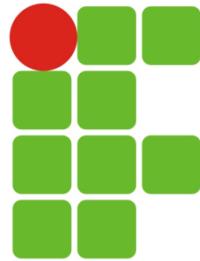
---

## Processamento Digital de Imagens



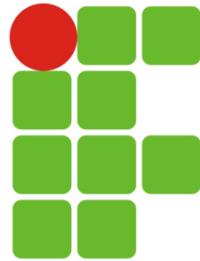
# Sensores e Aquisição de Imagens

A maioria das imagens nas quais estamos interessados são geradas pela combinação de uma fonte de **“iluminação”** e a reflexão ou absorção de energia dessa fonte pelos elementos da **“cena”** cuja imagem está sendo gerada.



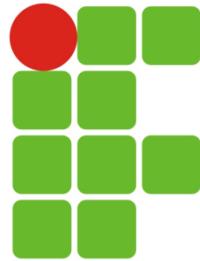
# Sensores e Aquisição de Imagens

Colocamos “*iluminação*” e “*cena*” entre aspas para enfatizar o fato de que elas são consideravelmente mais genéricas que a situação habitual na qual uma fonte de luz visível ilumina uma cena 3D comum.



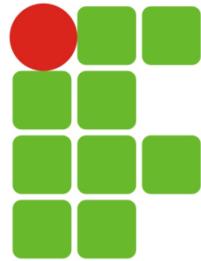
# Sensores e Aquisição de Imagens

- A iluminação pode se originar de uma fonte de energia eletromagnética, como uma sistema de raios X, de radar ou infravermelho.
- Mas, ela pode se originar de fontes menos tradicionais, como ultrassom ou até mesmo de um padrão de iluminação gerado por computador.



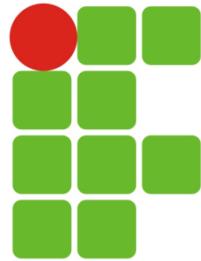
# Sensores e Aquisição de Imagens

- De forma similar, os elementos de cena podem ser objetos do nosso cotidiano, mas poderiam ser moléculas, formações rochosas subterrâneas ou um cérebro humano.
- Dependendo da natureza da fonte, a energia da iluminação é refletida dos objetos ou transmitidas através dele.

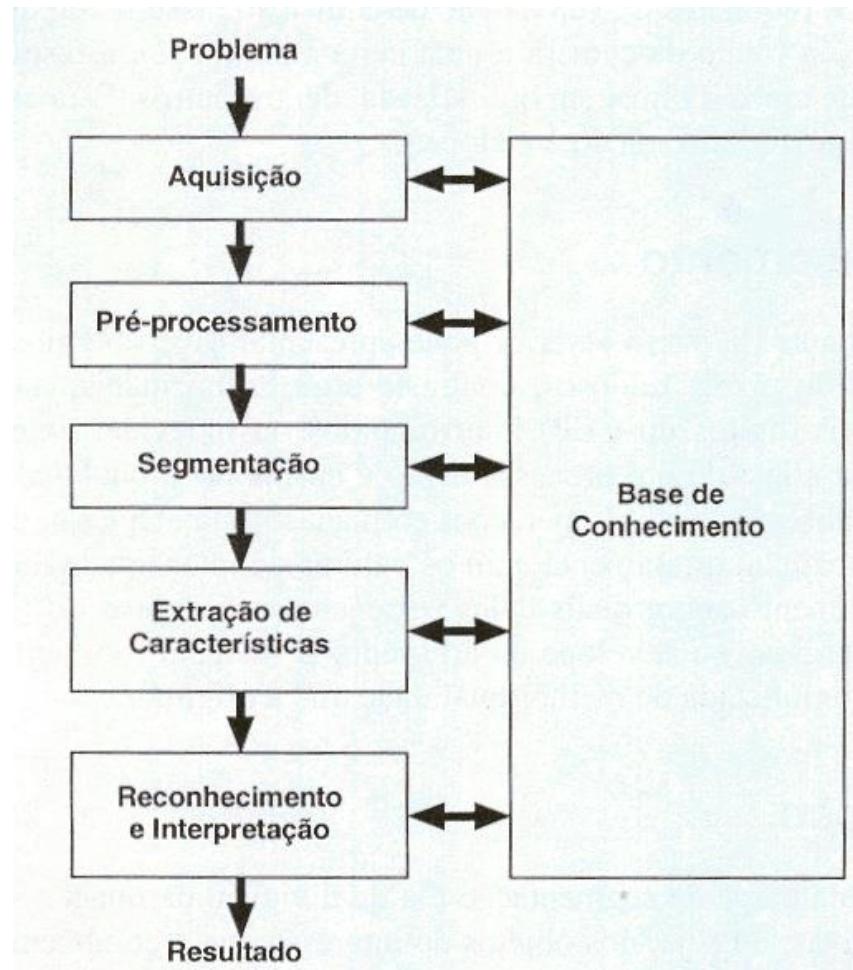


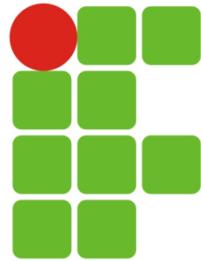
# Sensores e Aquisição de Imagens

- Um exemplo da primeira categoria é a luz refletida de uma superfície plana.
- Um exemplo da segunda categoria é quando raios X passam através do corpo de um paciente para gerar uma imagem radiográfica para diagnóstico.



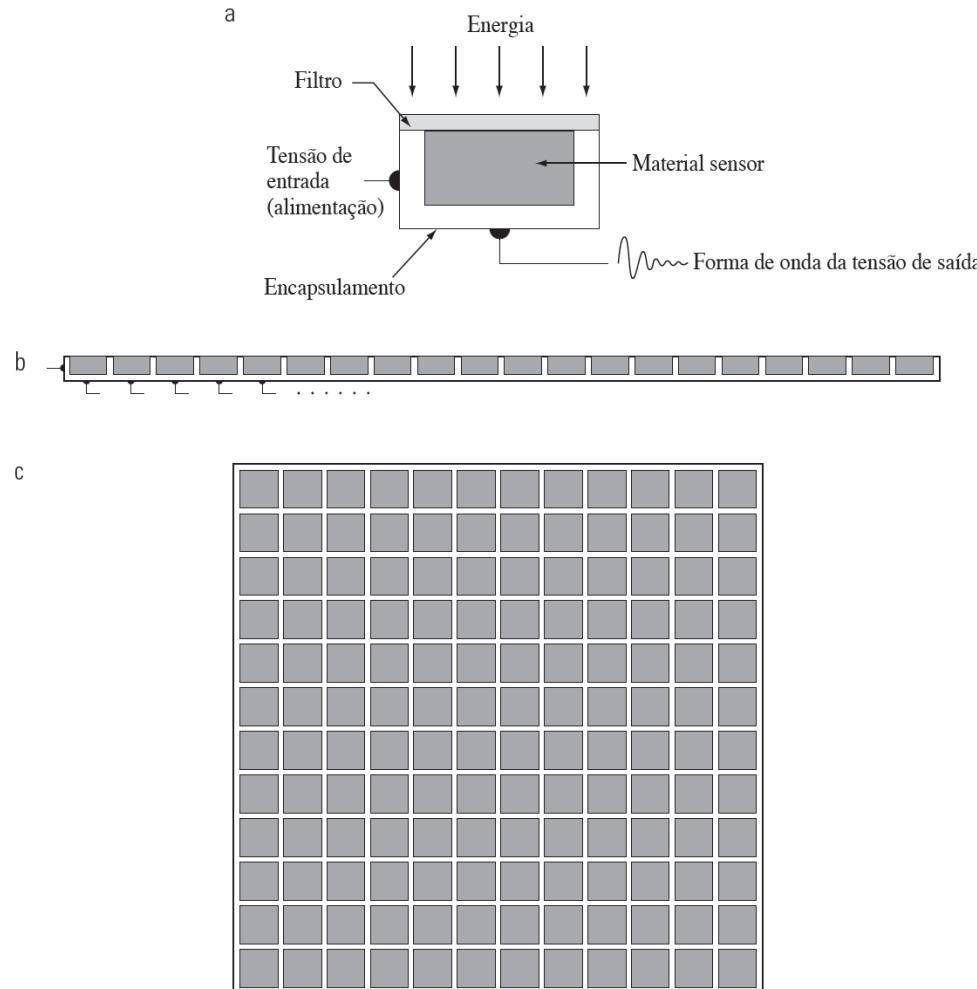
# Fundamentos de Imagens Digitais



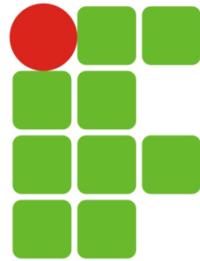


# Fundamentos de Imagens Digitais

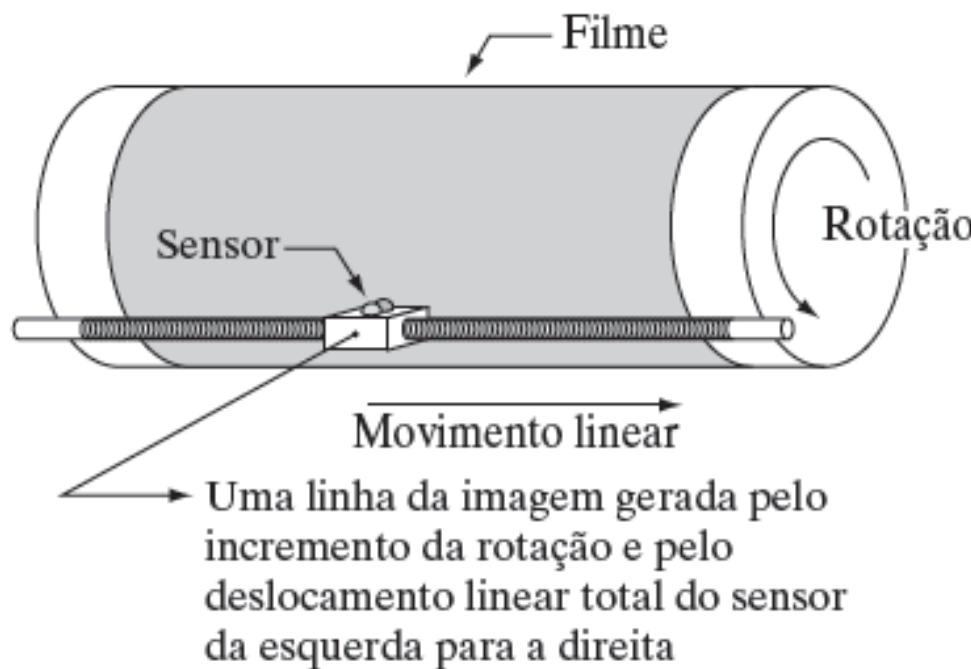
## Tipos de sensores



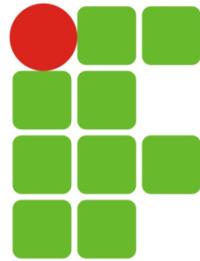
**Figura 2.12** (a) Um único sensor de aquisição de imagens. (b) Sensores de linha. (c) Sensores de área (matricial).



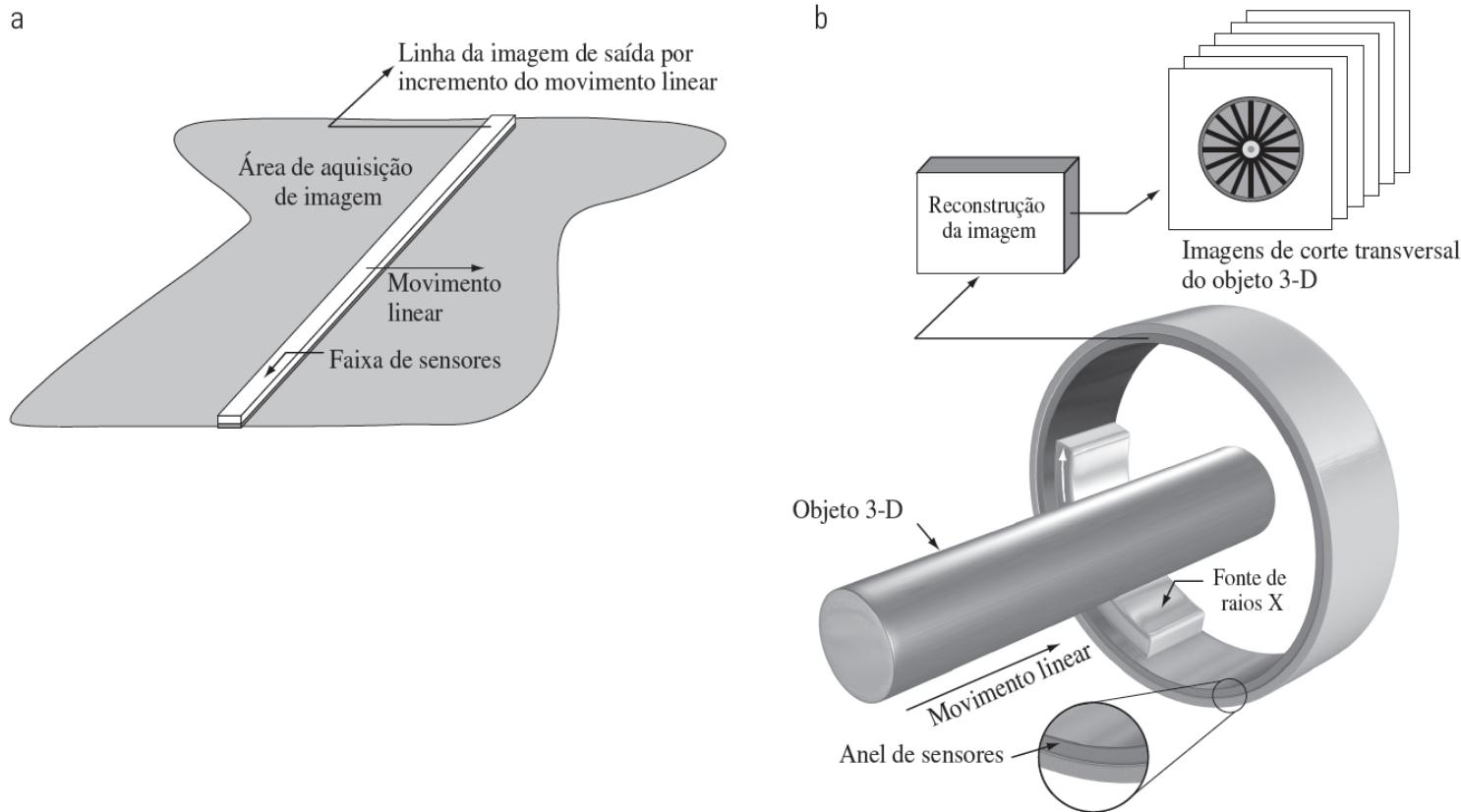
# Fundamentos de Imagens Digitais



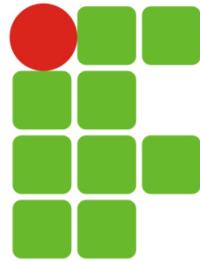
**Figura 2.13** Combinação de um único sensor com movimento para gerar uma imagem bidimensional (2-D).



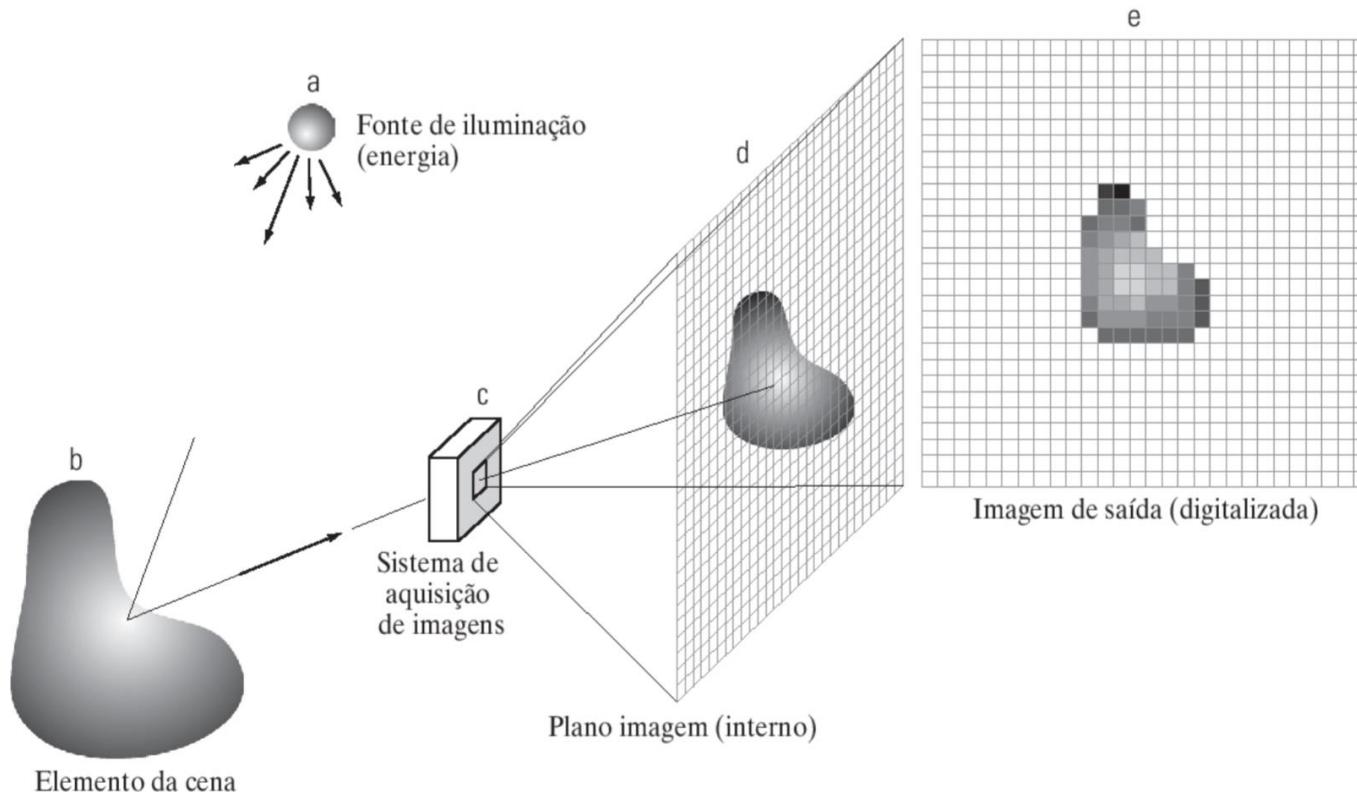
# Fundamentos de Imagens Digitais



**Figura 2.14** (a) Aquisição de imagens utilizando um arranjo plano de sensores por varredura de linha. (b) Aquisição de imagens utilizando um arranjo circular de sensores por varredura de linha.

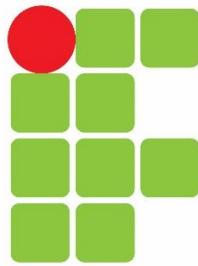


# Fundamentos de Imagens Digitais Sensores matriciais



**Figura 2.15** Exemplo do processo de aquisição de uma imagem digital (a) Fonte de energia (“iluminação”). (b) Um elemento de uma cena. (c) Sistema de aquisição de imagens. (d) Projeção da cena no plano imagem. (e) Imagem digitalizada.



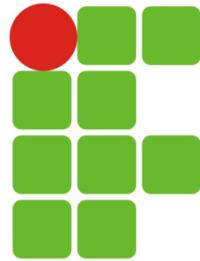


INSTITUTO FEDERAL DE  
EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA  
SÃO PAULO  
Campus Birigui

# Amostragem e quantização

---

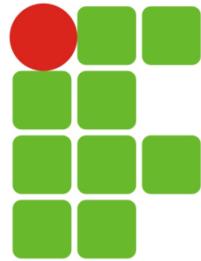
## Processamento Digital de Imagens



# Fundamentos de Imagens Digitais

## Amostragem e Quantização

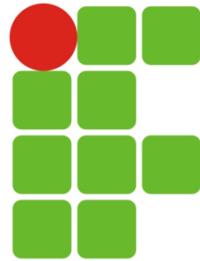
- Para criar uma imagem digital precisamos converter os dados contínuos que foram captados para o formato digital.
- Isso envolve dois processos: **amostragem e quantização.**



# Fundamentos de Imagens Digitais

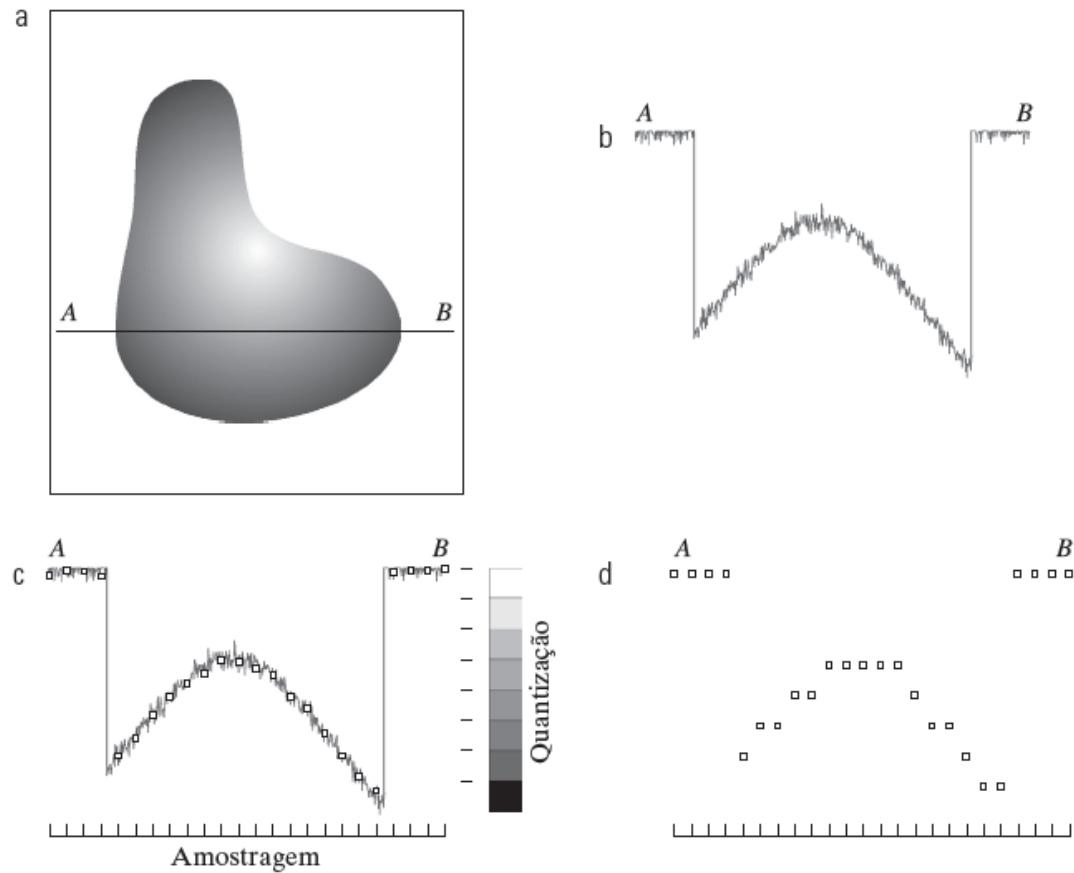
## Amostragem e Quantização

- Uma imagem pode ser continua em relação as suas coordenadas (x e y) e também em relação a sua amplitude.
- A digitalização dos valores das coordenadas (x e y) se chama amostragem.
- A digitalização dos valores de amplitude é chamada de quantização.

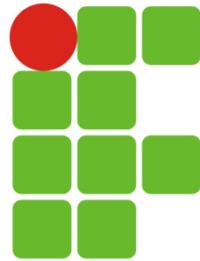


# Fundamentos de Imagens Digitais

## Amostragem e Quantização

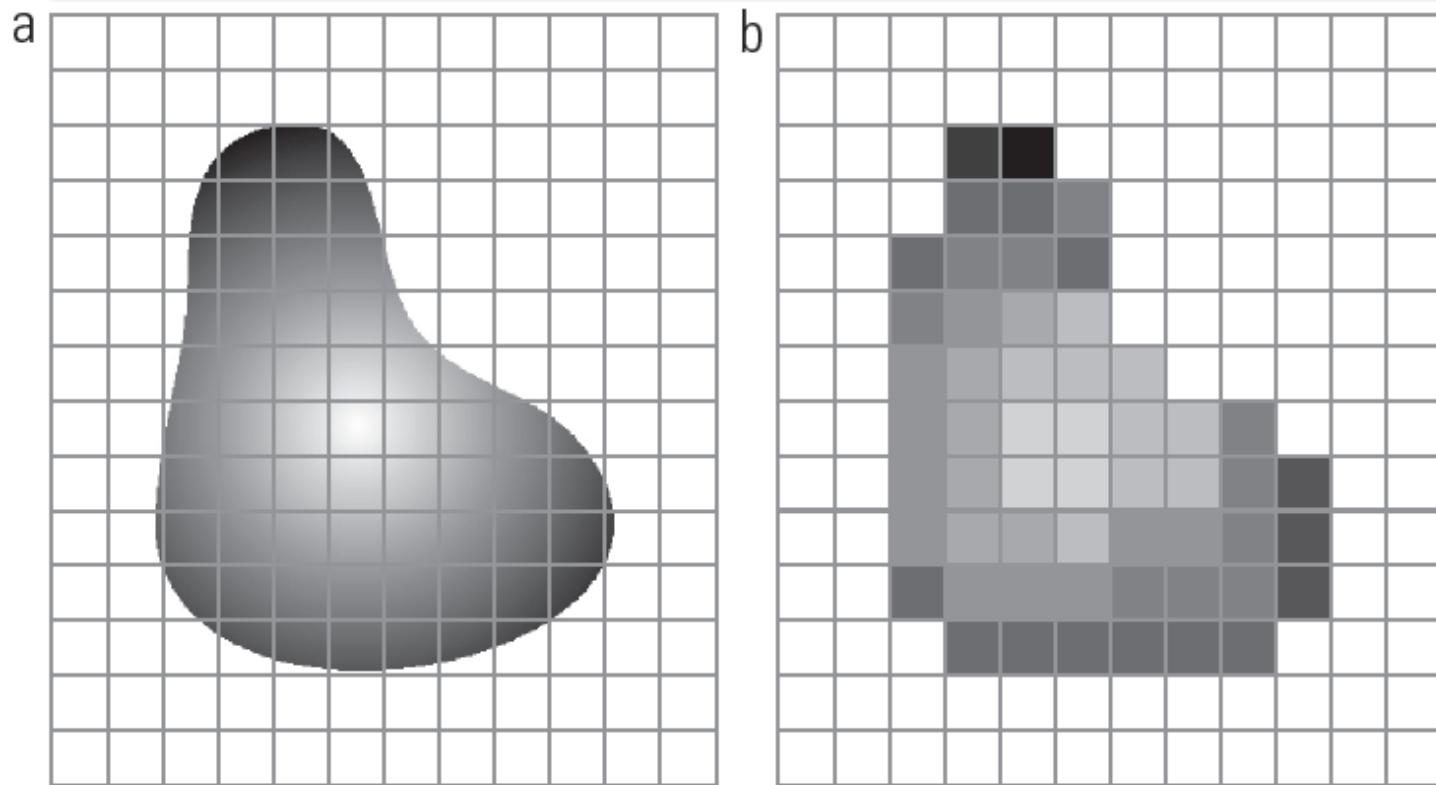


**Figura 2.16** Produzindo uma imagem digital. (a) Imagem contínua. (b) Linha de varredura de A a B na imagem contínua utilizada para ilustrar os conceitos de amostragem e quantização. (c) Amostragem e quantização. (d) Linha de varredura digital.

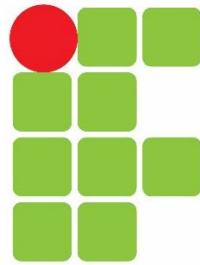


# Fundamentos de Imagens Digitais

## Amostragem e Quantização



**Figura 2.17** (a) Imagem contínua projetada em uma matriz de sensores. (b) Resultado da amostragem e quantização da imagem.

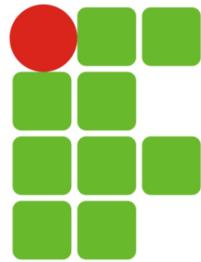


INSTITUTO FEDERAL DE  
EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA  
SÃO PAULO  
Campus Birigui

# Representação de imagens digitais

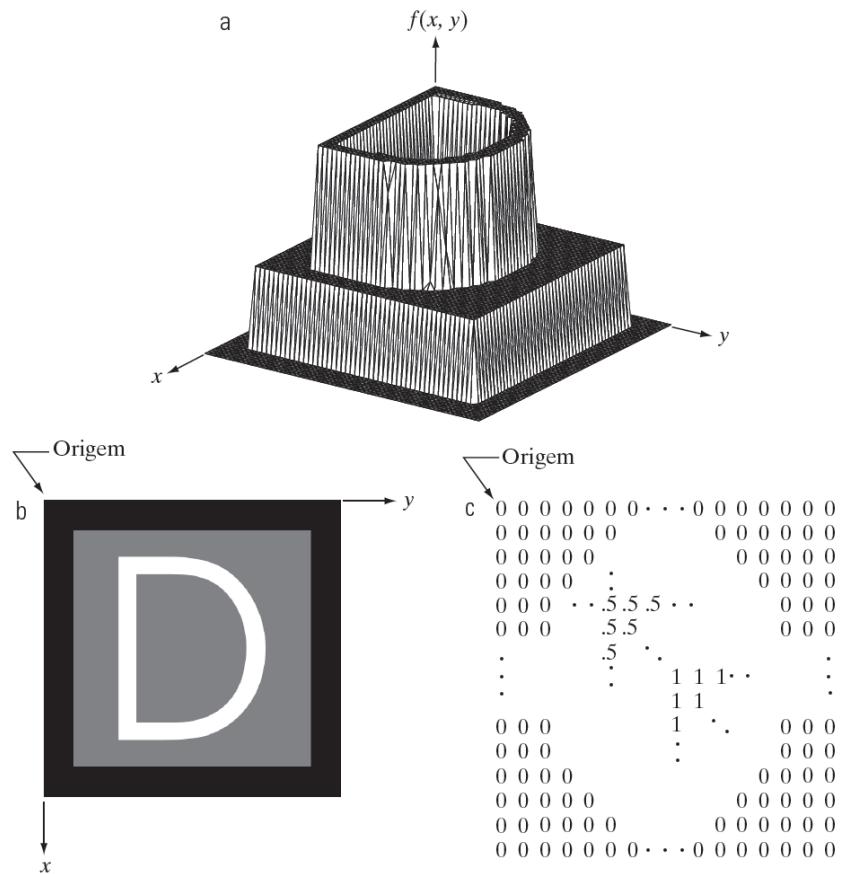
---

## Processamento Digital de Imagens

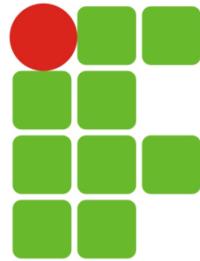


# Fundamentos de Imagens Digitais

## Representação de imagens digitais

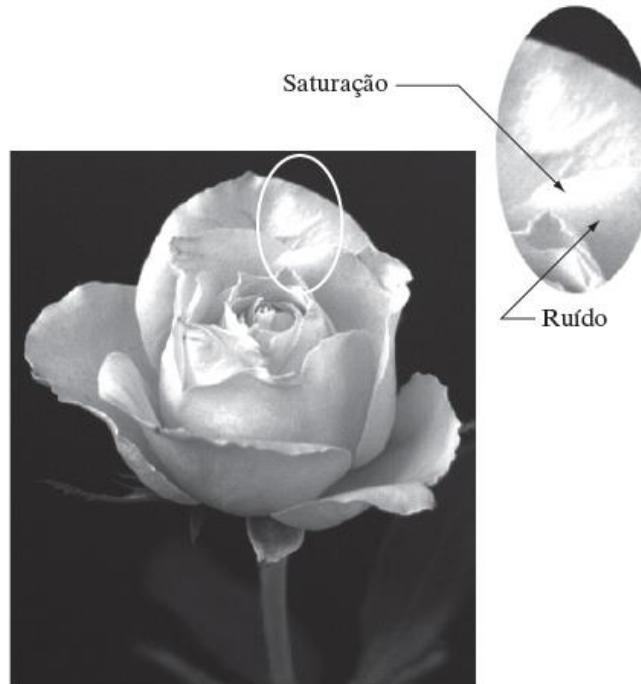


**Figura 2.18** (a) Imagem representada graficamente como uma superfície. (b) Imagem representada como uma matriz de intensidade visual. (c) Imagem representada como uma matriz numérica 2-D (0, .5 e 1 correspondem ao preto, cinza e branco, respectivamente).

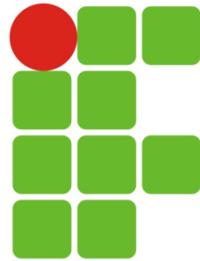


# Fundamentos de Imagens Digitais

## Representação de imagens digitais



**Figura 2.19** Uma imagem ilustrando a saturação e o ruído. A saturação é o valor mais alto além do qual todos os níveis de intensidade são cortados (observe como toda a área saturada tem um nível de intensidade constante e alto). O ruído nesse caso aparece com um padrão de textura granulada. O ruído, especialmente nas regiões mais escuras de uma imagem (por exemplo, o caule da rosa) mascara o menor nível real de intensidade detectável.

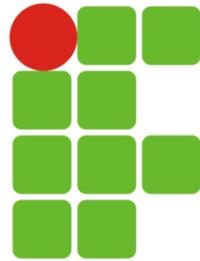


# Fundamentos de Imagens Digitais

## Representação de imagens digitais

**Tabela 2.1** Número de bits de armazenamento para vários valores de  $N$  e  $k$ .  $L$  é o número de níveis de intensidade.

$N/k$	1 ( $L = 2$ )	2 ( $L = 4$ )	3 ( $L = 8$ )	4 ( $L = 16$ )	5 ( $L = 32$ )	6 ( $L = 64$ )	7 ( $L = 128$ )	8 ( $L = 256$ )
32	1.024	2.048	3.072	4.096	5.120	6.144	7.168	8.192
64	4.096	8.192	12.288	16.384	20.480	24.576	28.672	32.768
128	16.384	32.768	49.152	65.536	81.920	98.304	114.688	131.072
256	65.536	131.072	196.608	262.144	327.680	393.216	458.752	524.288
512	262.144	524.288	786.432	1.048.576	1.310.720	1.572.864	1.835.008	2.097.152
1.024	1.048.576	2.097.152	3.145.728	4.194.304	5.242.880	6.291.456	7.340.032	8.388.608
2.048	4.194.304	8.388.608	12.582.912	16.777.216	20.971.520	25.165.824	29.369.128	33.554.432
4.096	16.777.216	33.554.432	50.331.648	67.108.864	83.886.080	100.663.296	117.440.512	134.217.728
8.192	67.108.864	134.217.728	201.326.592	268.435.456	335.544.320	402.653.184	469.762.048	536.870.912

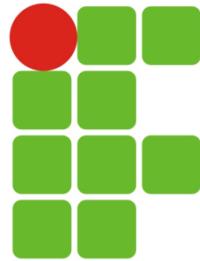


# Fundamentos de Imagens Digitais

## Representação de imagens digitais

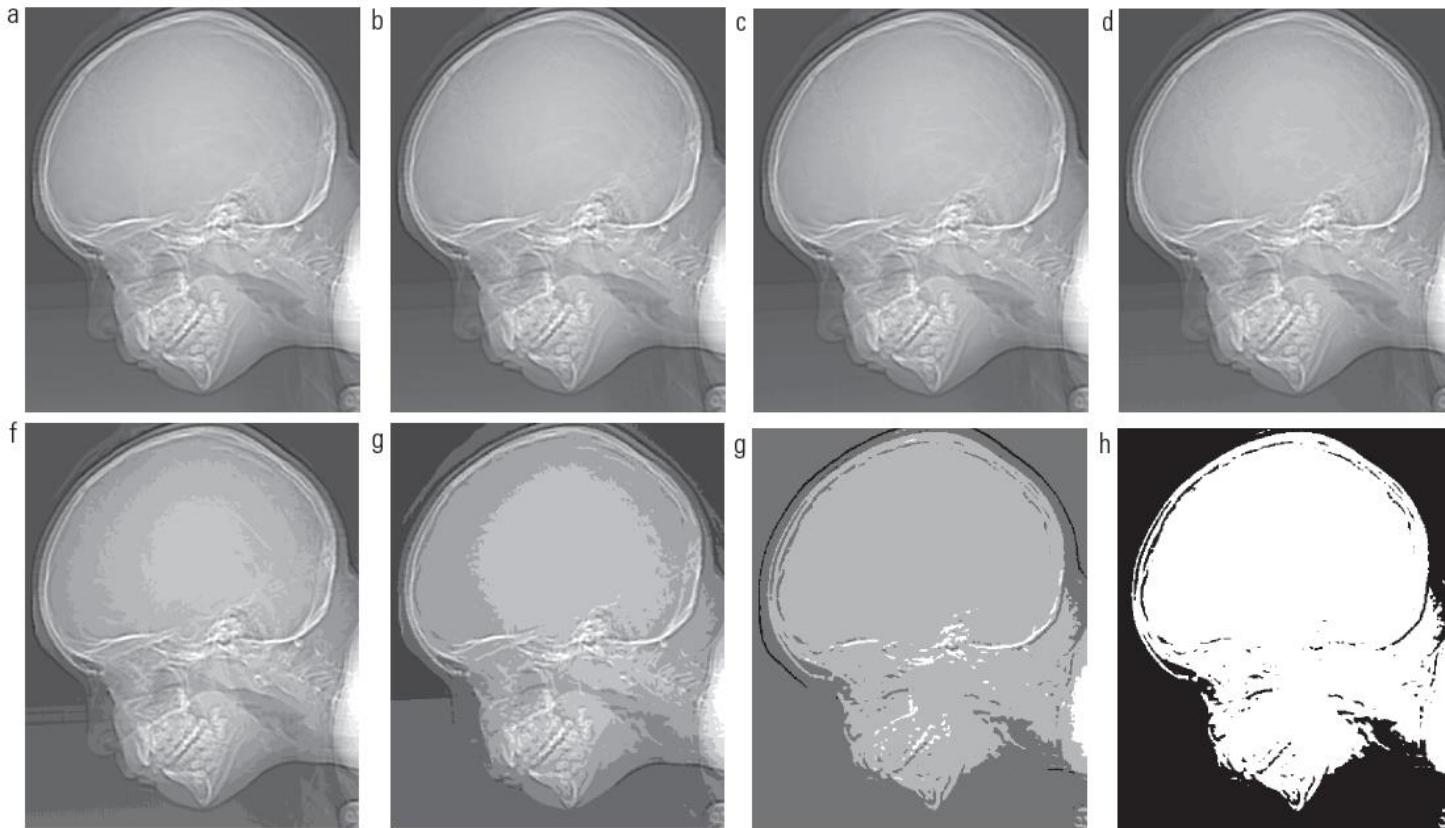


**Figura 2.20** Efeitos típicos da redução da resolução espacial. Imagens mostradas em: (a) 1.250 dpi, (b) 300 dpi, (c) 150 dpi e (d) 72 dpi. Os quadros foram acrescentados para melhor visualização. Eles não fazem parte dos dados.

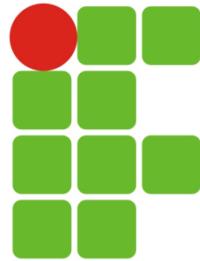


# Fundamentos de Imagens Digitais

## Representação de imagens digitais

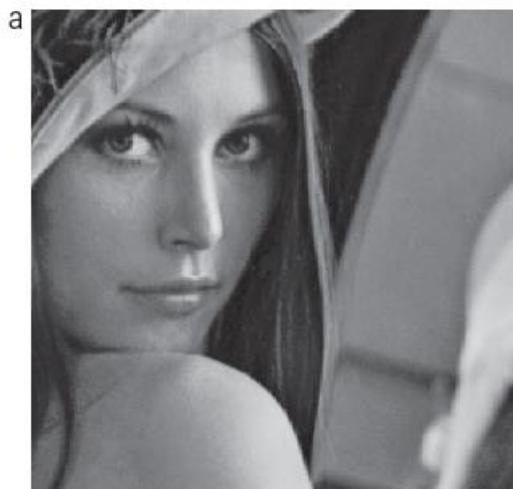


**Figura 2.21** (a) Imagem de  $452 \times 374$  com 256 níveis de cinza (intensidade). (b)-(d) Imagem exibida em 128, 64 e 32 níveis de cinza enquanto o tamanho da imagem é mantido constante. (e)-(h) Imagem exibida em 16, 8, 4 e 2 níveis de cinza. (Cortesia original do Dr. David R. Pickens, Departamento de Radiologia e Ciências Radiológicas, Centro Médico da Universidade de Vanderbilt.)

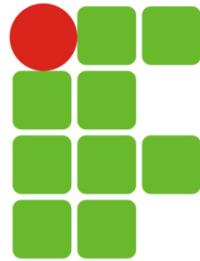


# Fundamentos de Imagens Digitais

## Representação de imagens digitais

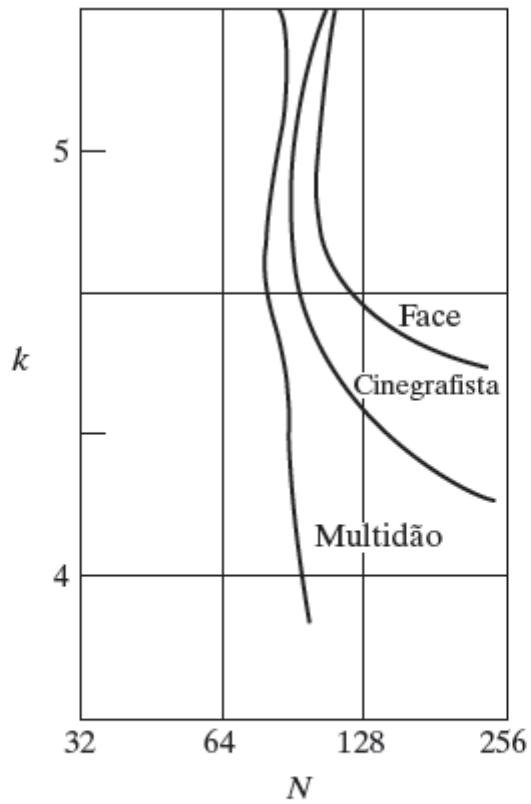


**Figura 2.22** (a) Imagem com baixo nível de detalhes. (b) Imagem com nível médio de detalhes. (c) Imagem com uma quantidade relativamente grande de detalhes. (Imagen (b) cortesia do Instituto de Tecnologia de Massachusetts.)

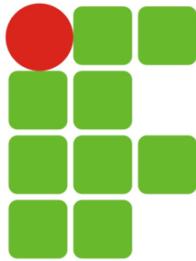


# Fundamentos de Imagens Digitais

## Representação de imagens digitais



**Figura 2.23** Curvas de isopreferência típicas para os três tipos de imagens da Figura 2.22.



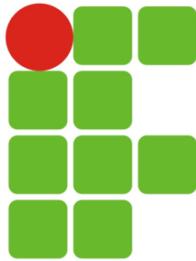
# Fundamentos de Imagens Digitais

Ocorre a formação de uma Imagem quando um Sensor de Imagem registra a radiação que interagiu com objetos físicos.

- Uma Imagem pode ser definida como uma função de duas variáveis:

$$f(x,y)$$

onde  $x$  e  $y$  são as coordenadas espaciais (planas) e a amplitude de  $f$  em qualquer par de coordenadas  $(x,y)$  é a intensidade do nível de cinza da Imagem.



# Fundamentos de Imagens Digitais

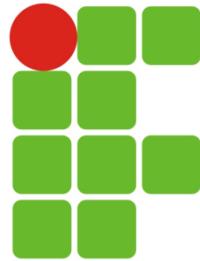
- Amostragem → Digitalização dos valores das coordenadas
- Quantização → Digitalização os valores de amplitude

- Uma imagem  $f(x,y)$  é amostrada resultando em  
M linhas e N colunas.

- Esta imagem tem Tamanho M x N

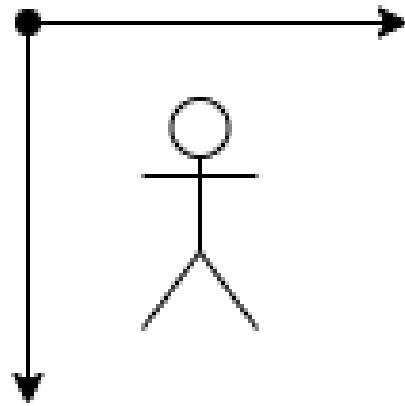
- Os valores das coordenadas  $(x,y)$  são discretos:  
valores inteiros e positivos

- Os valores dos níveis de cinza  $f(x,y)$  são discretos:  
valores reais e positivos

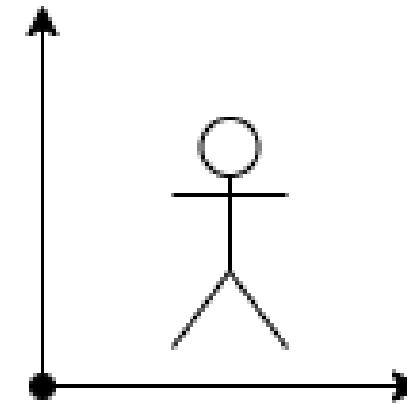


# Fundamentos de Imagens Digitais

Origem  $(0, 0)$

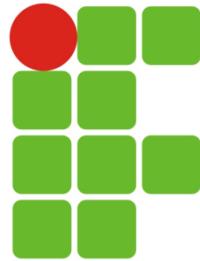


a)



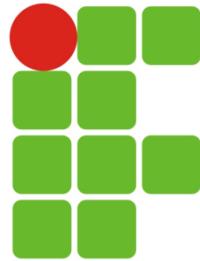
b)

- a) Convenção utilizada em Processamento de Imagens
- b) Convenção utilizada em Computação Gráfica



# Fundamentos de Imagens Digitais

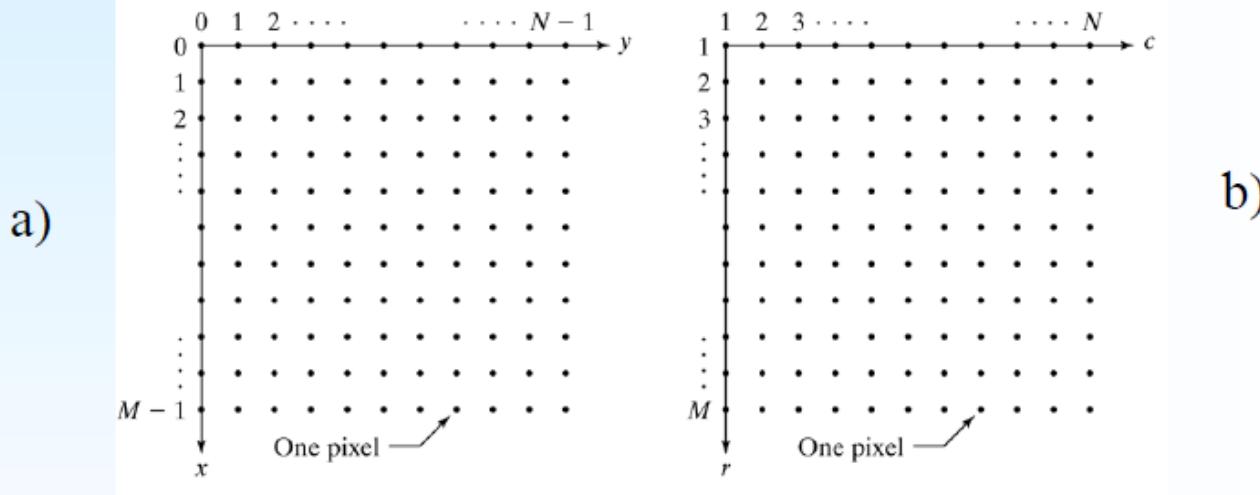




# Fundamentos de Imagens Digitais

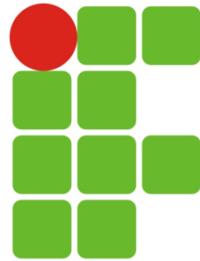
a) Convenção utilizada em Processamento de Imagens

$$(0,0) \leq (x,y) \leq (M-1,N-1)$$



b) Convenção utilizada pelo Toolbox de Processamento de Imagens do MatLab

$$(1,1) \leq (r,c) \leq (M,N)$$



# Fundamentos de Imagens Digitais

## Imagen Digital

- ◆ Imagem Digital é uma função m-vetorial  $f(x,y)$  de valores discretos, sendo  $(x,y)$  um par de coordenadas inteiras e,

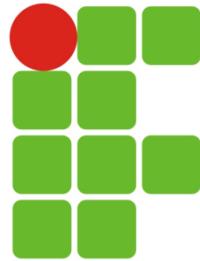
$$0 \leq f(x,y) \leq W$$

onde W é inteiro.

- ◆ O ponto  $(x,y)$  é conhecido como **Píxel** ( Picture element ) e o valor de  $f(x,y)$  é o nível de cinza (**graylevel**) do ponto  $(x,y)$ .  
W é o máximo valor da escala de cinza.

- ◆ Uma Imagem Digital é uma função contínua que é representada por amostras medidas em intervalos regulares.

- ◆ A intensidade luminosa é quantizada em números diferentes de níveis de cinza.



# Fundamentos de Imagens Digitais

## Imagen Digital

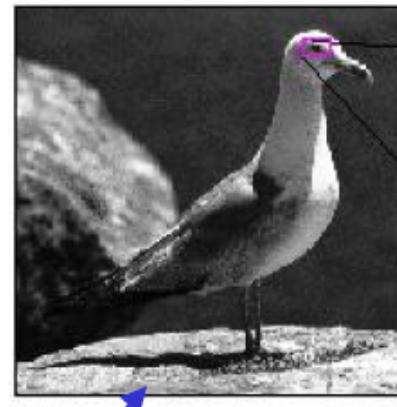
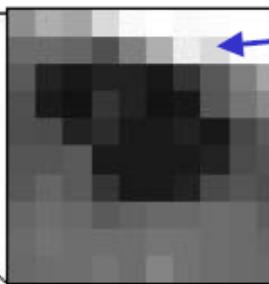
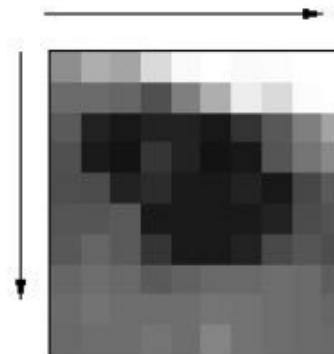


Imagen Digital



Píxel

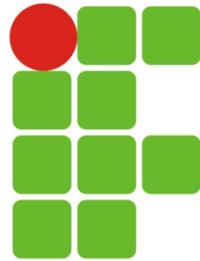
C



Nível de cinza do  
píxel

142	174	164	218	250	255	250	252	255	255
107	107	102	80	127	174	237	218	252	255
90	34	24	34	34	24	51	88	127	164
80	26	19	53	34	19	24	85	117	137
78	76	34	44	26	26	34	24	71	90
85	85	90	26	26	26	34	76	83	88
88	102	90	53	26	26	34	73	85	78
102	110	105	90	98	105	105	110	107	93
107	115	110	110	110	117	115	110	107	102
105	110	110	117	110	132	115	110	107	105

Imagen é uma matriz bidimensional

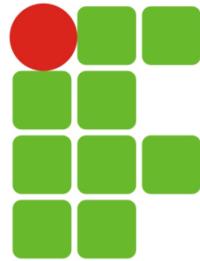


# Fundamentos de Imagens Digitais

## Resolução Espacial

É a capacidade de se distinguir detalhes em uma Imagem Digital.

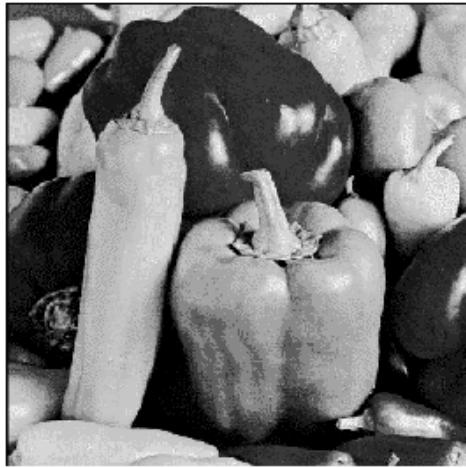
- Em **Sensoriamento Remoto** ==> é o tamanho que cada píxel representa no mundo real. O LANDSAT tem resolução espacial de 30 m a 120 m.
- Em **Imagens Médicas** ==> é o tamanho que cada píxel representa em milímetros. Um Tomógrafo tem resolução de 1 mm.
- Em **documentos digitalizados** a resolução é definida em número de pontos em uma dimensão. Scanners de mesa tem resolução de 600 dpi (dots per inch).



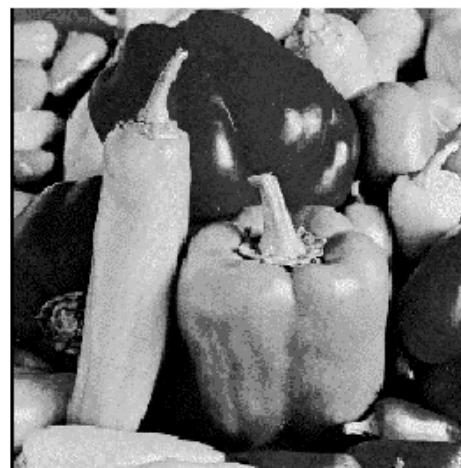
# Fundamentos de Imagens Digitais

## Efeitos da Resolução espacial (M x N)

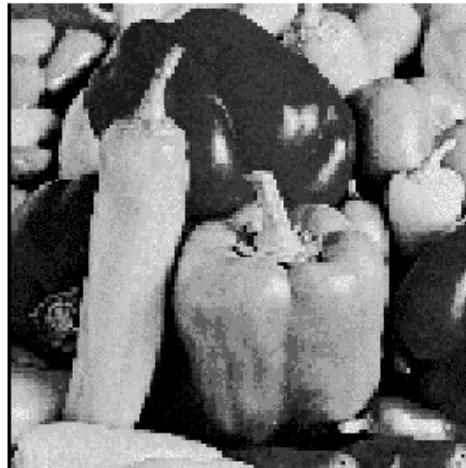
512 x  
512



256 x  
256

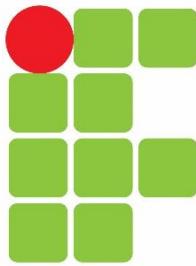


128 x  
128



64 x  
64





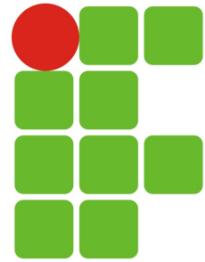
INSTITUTO FEDERAL DE  
EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA  
SÃO PAULO  
Campus Birigui

# Exemplos Python

---

## Processamento Digital de Imagens

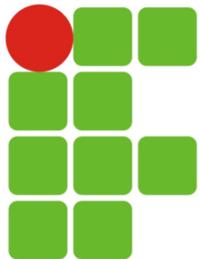




# Exemplos

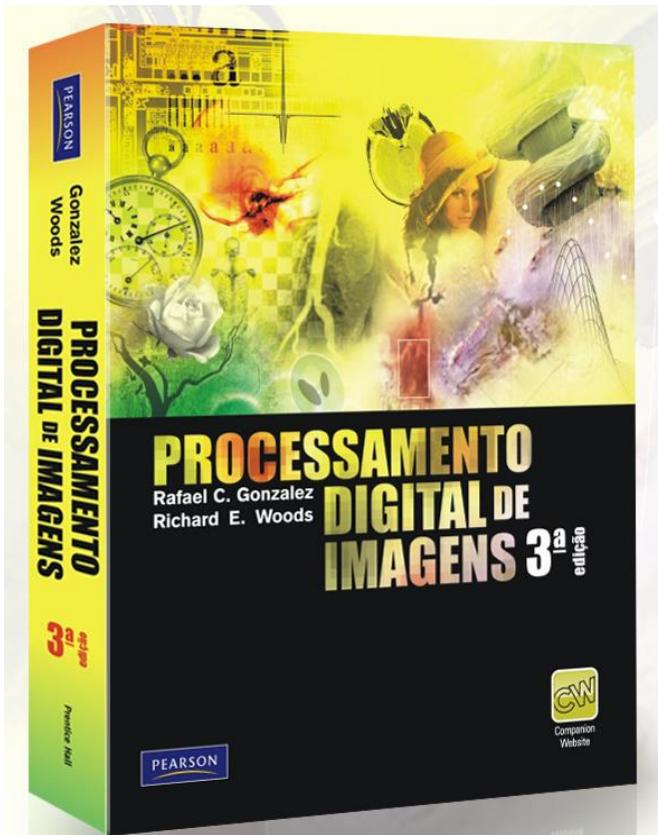
## Repositório GitHub com Exemplos:

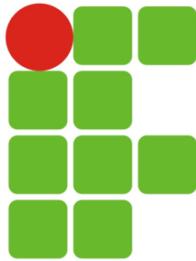
<https://github.com/murilovarges/DigitalImageProcessingSamples>



# Exemplos

## Leitura Capítulo 2





# Próxima aula

- Relacionamentos básicos entre pixels
- Transformações geométricas
  - Escala
  - Rotação
  - Translação
  - Cisalhamento
- Transformações de intensidade

Até a próxima aula!