

# **Computação Visual**

## **Ciência da Computação**

Prof. André Kishimoto  
2024

# Referências

Este material foi baseado e adaptado a partir das seguintes referências:

- **Computação Gráfica: teoria e prática vol. 2**

AZEVEDO, E.; CONCI, A.; LETA, F.  
Alta Books, 2022.

- **Processamento digital de imagens, 3ª ed.**

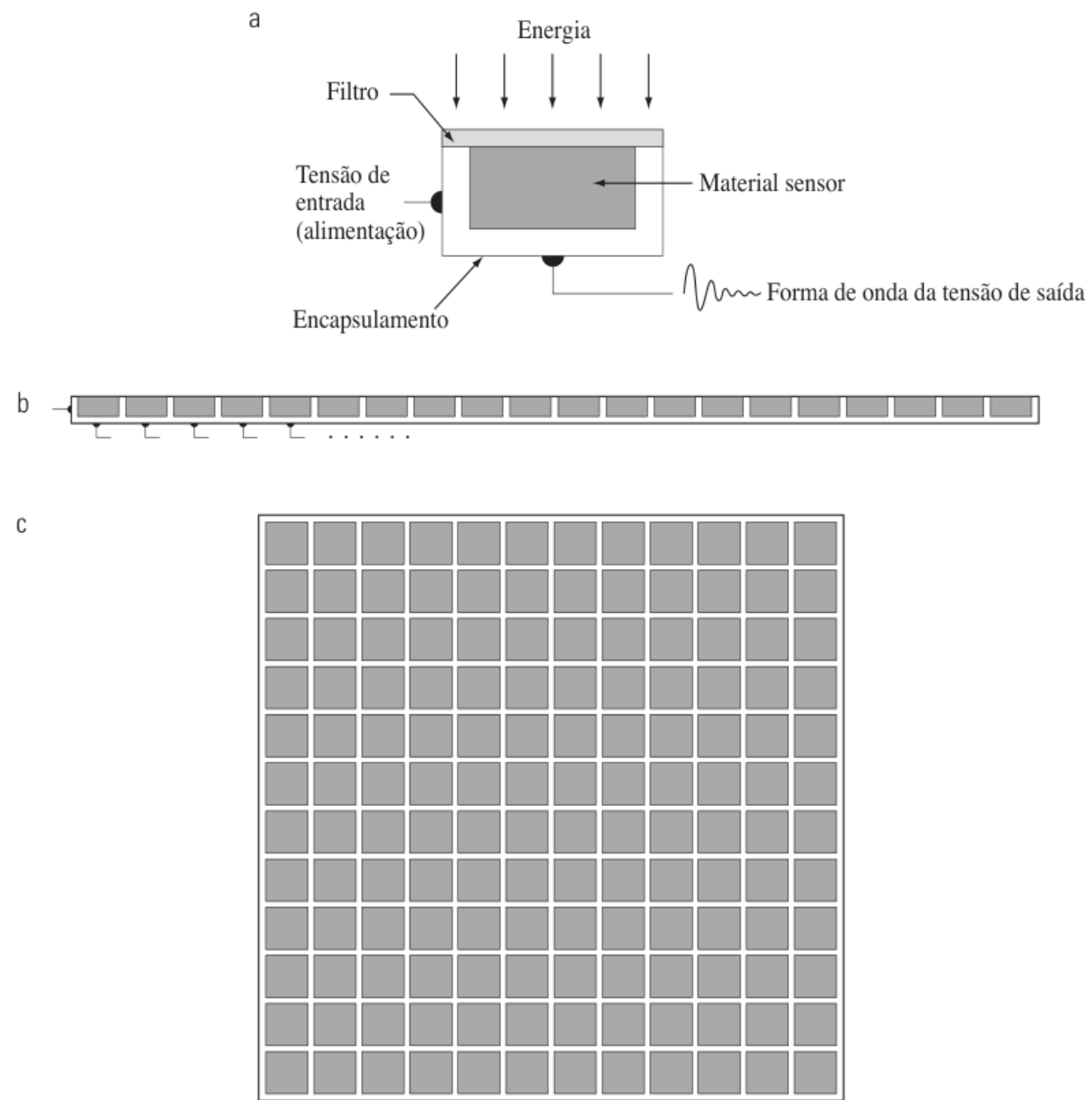
GONZALES, R. C.; WOODS, R. C.  
Pearson Prentice Hall, 2010.

- **Fundamentos da Imagem Digital (slides de aula)**

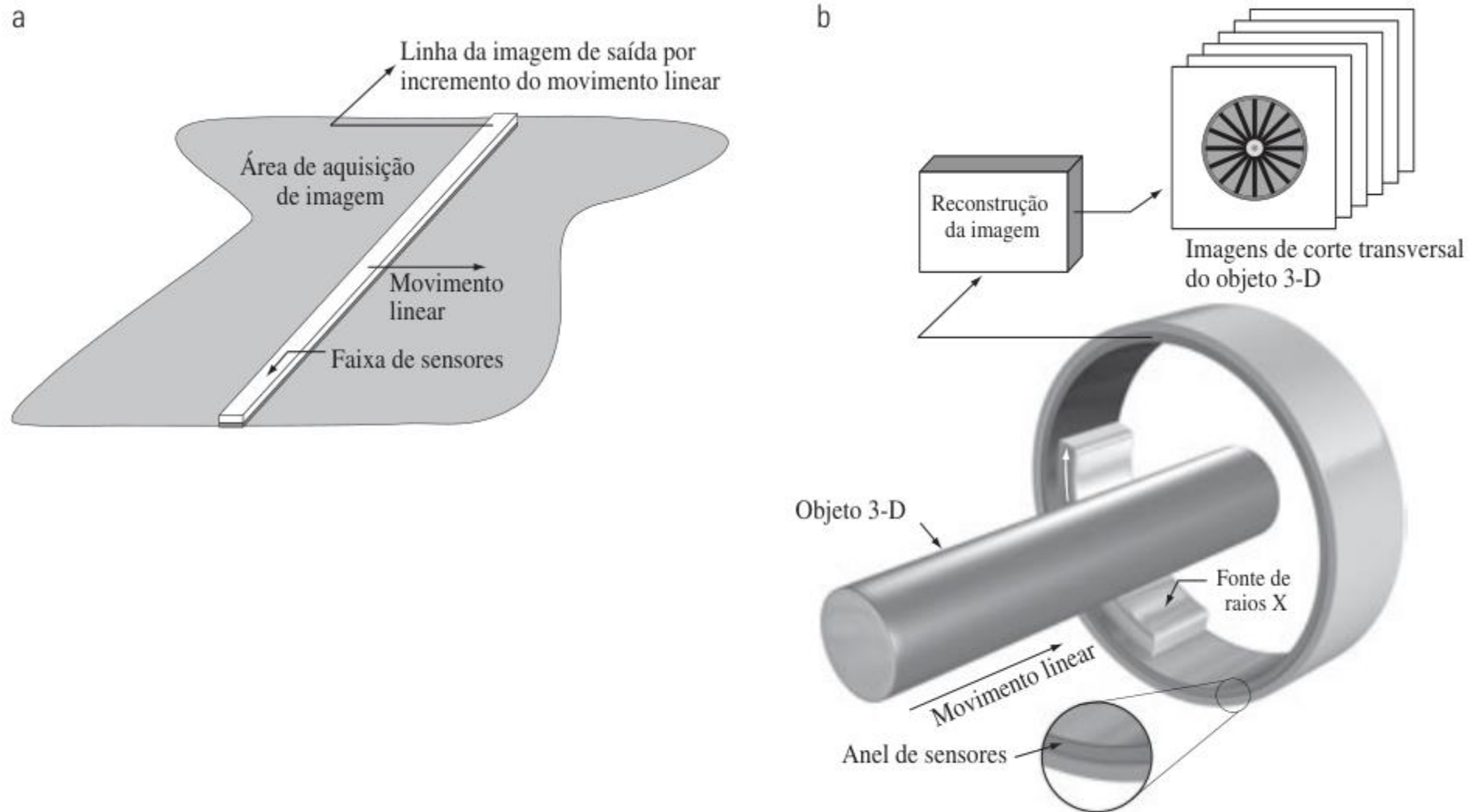
CRUNIVEL, L., 2012.

# Sensores e aquisição de imagens

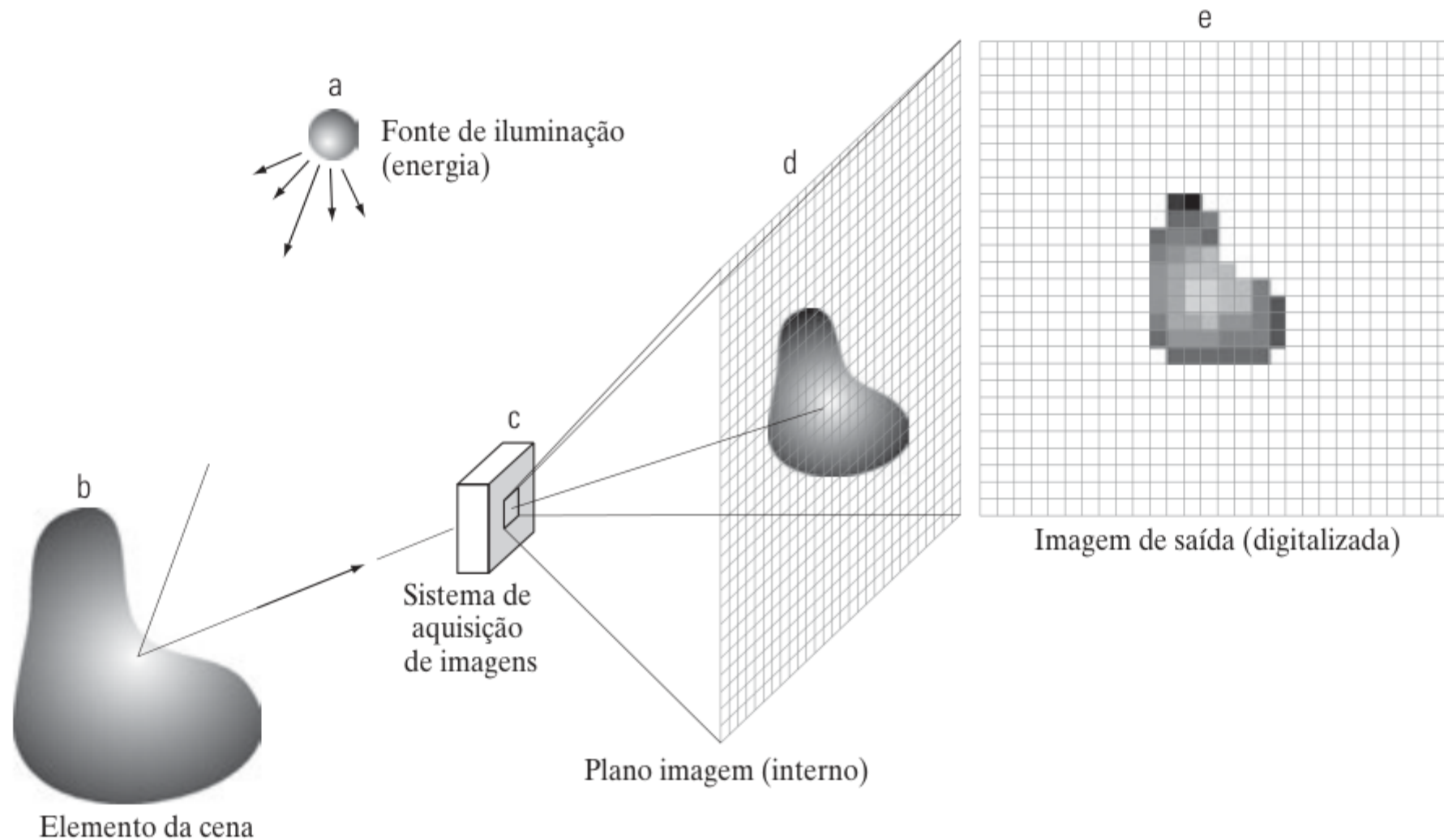
- A maioria das imagens que estamos interessados é gerada pela combinação de uma fonte de “iluminação” e a reflexão ou absorção de energia dessa fonte pelos elementos da “cena”.
- Três principais tipos de sensores usados para transformar a energia de iluminação em imagens digitais:
  - Único sensor: Gera uma saída em forma de onda.
  - Sensores de linha: Usados em scanners e satélites.
  - Sensores de área: Usados em câmeras digitais.



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



**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.



**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.

# Sensores e aquisição de imagens



How CCD and CMOS Sensors on cameras and scanners work



Learn Learn ...  
23.6K subscribers

Subscribe

575



Share

Save



Fonte: <https://www.youtube.com/watch?v=kM5R8tB5wqQ>

# Sensores e aquisição de imagens

## Modelo simples de formação de imagem

- Imagens digitais são expressas como funções bidimensionais na forma  $f(x, y)$ .
- Função  $f(x, y)$  é caracterizada por dois componentes:
  - Quantidade de iluminação da fonte que incide na cena que está sendo vista (**iluminação**):  $i(x, y)$
  - Quantidade de iluminação refletida pelos objetos na cena (**refletância**):  $r(x, y)$
- Logo:
  - $f(x, y) = i(x, y) \times r(x, y)$



# Sensores e aquisição de imagens

## Modelo simples de formação de imagem

- **Valores de intensidade** são proporcionais à energia irradiada por uma fonte real:  $0 < i(x, y) < \infty$ .
- **Valores de refletância** são determinados pelas características dos objetos da cena:  $0 < r(x, y) < 1$ .
  - **0**: Absorção total.
  - **1**: Refletância total.

# Sensores e aquisição de imagens

**Alguns valores típicos de iluminação  $i(x, y)$**

- **Sol em dia claro:** 90.000 lm/m<sup>2</sup>
- **Sol em dia nublado:** 10.000 lm/m<sup>2</sup>
- **Lua cheia em noite clara:** 0,1 lm/m<sup>2</sup>
- **Lâmpadas de escritório comercial:** 1.000 lm/m<sup>2</sup>

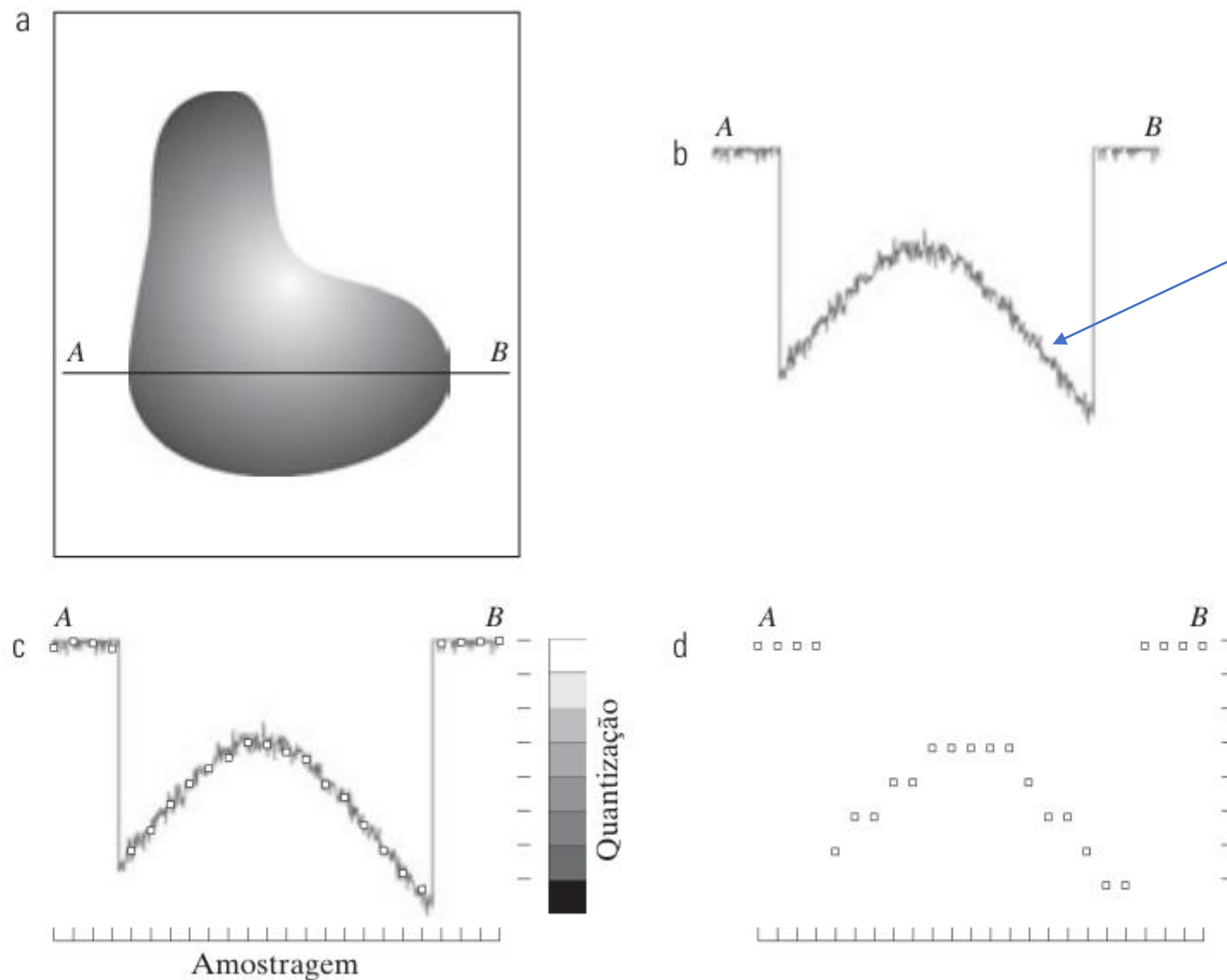
# Sensores e aquisição de imagens

**Alguns valores típicos de refletância  $r(x, y)$**

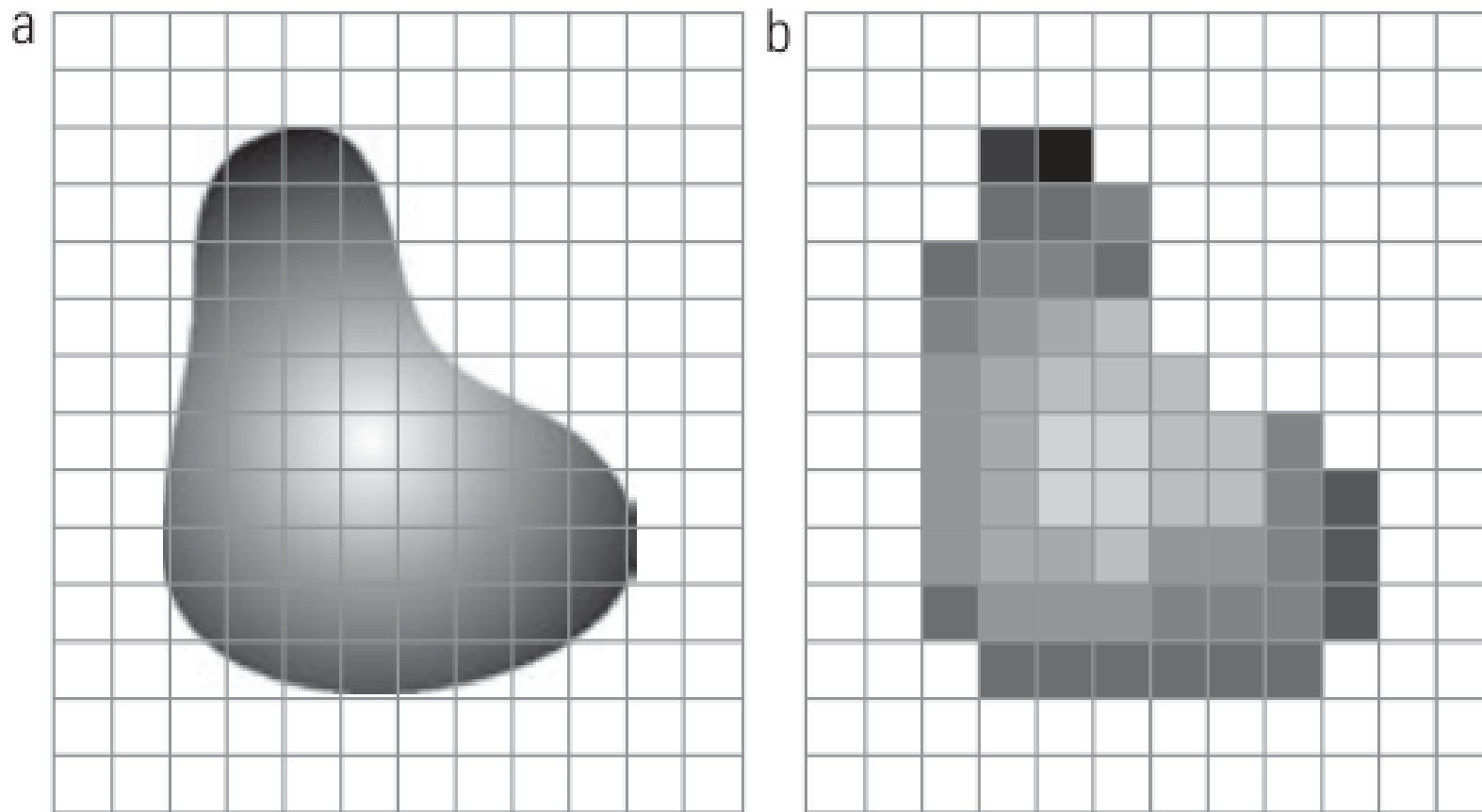
- **Veludo preto:** 0,01
- **Aço inoxidável:** 0,65
- **Tinta branca em uma parede plana:** 0,80
- **Metal prateado:** 0,90
- **Neve:** 0,93

# Amostragem e quantização

- Para gerar imagens digitais a partir de dados captados por sensores, precisamos converter os dados contínuos para o formato digital (discretização).
- Isso envolve dois processos:
  - **Amostragem** (*sampling*): Digitalização dos valores de coordenada (resolução).
  - **Quantização** (*quantization*): Digitalização dos valores de amplitude (níveis de intensidade).



**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.



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

# Amostragem e quantização

## Representação de imagens digitais

- Função  $f(s, t)$  representa uma função de imagem contínua de duas variáveis contínuas  $s$  e  $t$ .
- Conversão da função  $f(s, t)$  para uma imagem digital por meio da amostragem e quantização, resultando em uma matriz 2D  $f(x, y)$ .
- Matriz 2D  $f(x, y)$  com  $M \times N$  elementos, sendo:
  - $M$ : Número de linhas da imagem.
  - $N$ : Número de colunas da imagem.
  - $(x, y)$ : Coordenadas discretas.
  - $x = 0, 1, 2, \dots, M - 1$
  - $y = 0, 1, 2, \dots, N - 1$

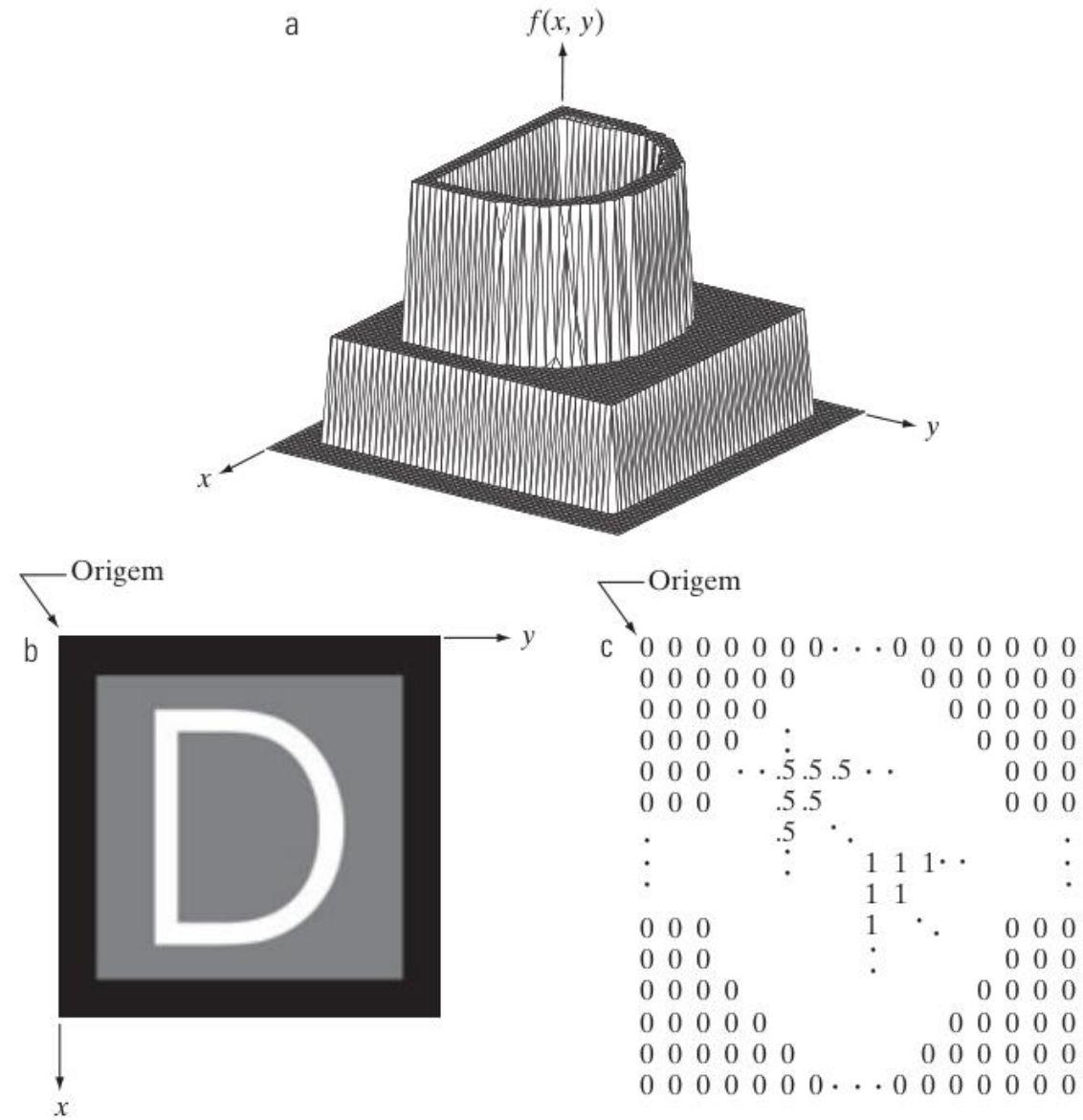
# Amostragem e quantização

## Representação de imagens digitais

$$f(x, y) = \begin{bmatrix} f(0, 0) & f(0, 1) & \cdots & f(0, N - 1) \\ f(1, 0) & f(1, 1) & \cdots & f(1, N - 1) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ f(M - 1, 0) & f(M - 1, 1) & \cdots & f(M - 1, N - 1) \end{bmatrix}$$

Cada elemento da matriz e na imagem digital é chamado de **pixel** (px, *picture element*).

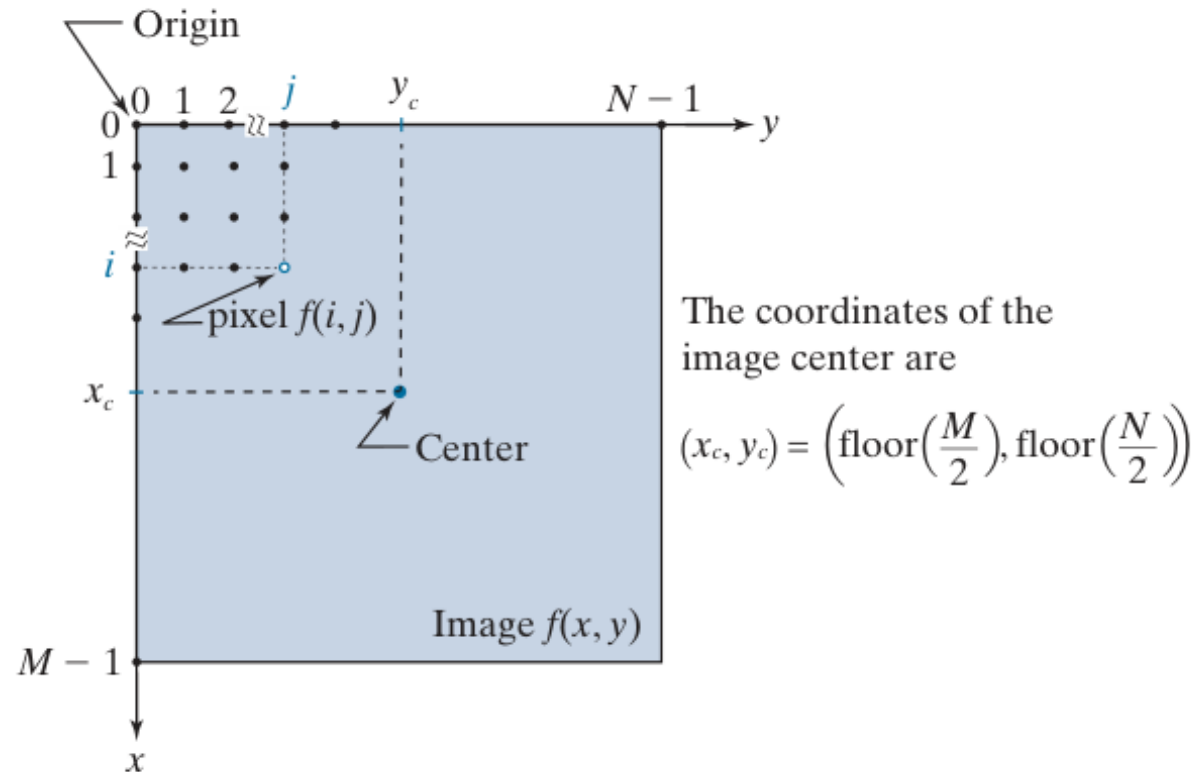




**Figura 2.18** (a) Imagem representada graficamente como uma superfície. (b) Imagem representada como uma matriz de intensidade visual. (c) Imagem representada como uma matriz numérica 2-D (0, .5 e 1 correspondem ao preto, cinza e branco, respectivamente).

**FIGURE 2.19**

Coordinate convention used to represent digital images. Because coordinate values are integers, there is a one-to-one correspondence between  $x$  and  $y$  and the rows ( $r$ ) and columns ( $c$ ) of a matrix.



# Amostragem e quantização

## Representação de imagens digitais

- Além da quantidade de linhas e colunas da imagem ( $M \times N$ ), o processo de digitalização analisa a quantidade de **níveis discretos de intensidade** (níveis de cinza).
- O número de níveis de cinza  $L$  costuma ser uma potência de 2:
$$L = 2^k$$
- Os níveis de cinza são igualmente espaçados em valores numéricos inteiros no intervalo  $[0, L - 1]$ .
  - $0$ : Cor preta.
  - $L - 1$ : Cor branca.
  - Valores intermediários: tons de cinza variando do preto ao branco.

# Amostragem e quantização

## Representação de imagens digitais

- A quantidade de bits  $b$  necessária para armazenar uma imagem digitalizada é  $b = M \times N \times k$ .
- Imagem com  $2^k$  níveis de intensidade: “imagem de  $k$  bits”.
  - Imagem com 256 valores discretos possíveis de intensidade é chamada de uma imagem de 8 bits.
- Tabela do próximo slide: imagens quadradas ( $b = N^2 \times k$ ).

**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

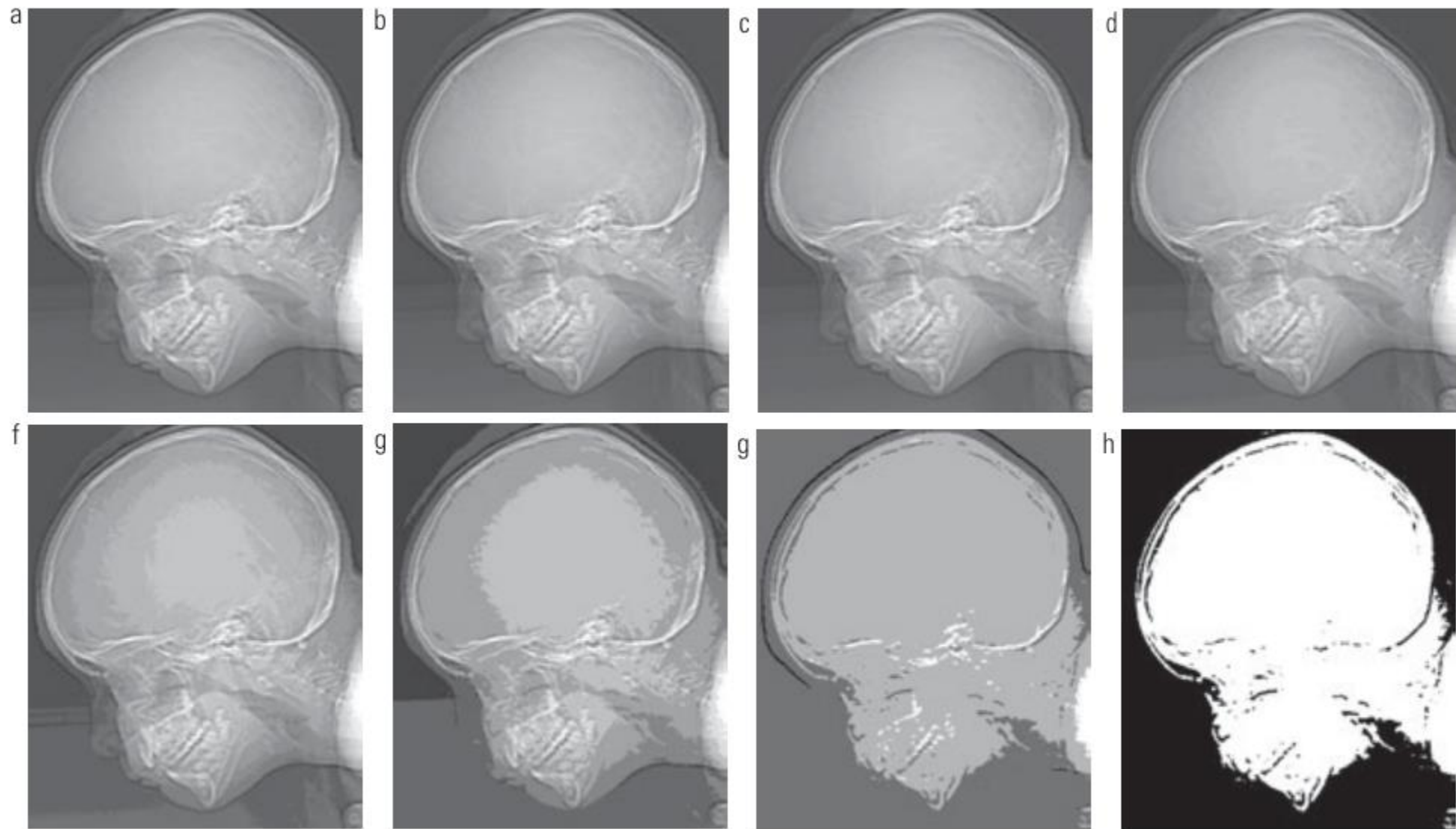
# Amostragem e quantização

## Resolução espacial

- A **resolução espacial** é uma medida do menor detalhe discernível em uma imagem.
- A medida mais comum é expressa como **pontos (pixels) por unidade de distância**.
- Nos EUA, essa unidade de medida é conhecida como *dots per inch* (pontos por polegada ou **DPI**), para impressão.
  - Quanto maior o valor do DPI, maior será a qualidade da imagem.
    - Mais pontos são usados por polegada quadrada para criar a imagem.
- Para tela, uma medida semelhante é o **PPI** (*pixels per inch*).
  - Densidade de pixels na tela de um dispositivo eletrônico.



**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.



**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.)





# CC BY-SA 4.0 DEED

Atribuição-Compartilhagual 4.0 Internacional

Canonical URL : <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>

[See the legal code](#)


## Você tem o direito de:


**Compartilhar** — copiar e redistribuir o material em qualquer suporte ou formato para qualquer fim, mesmo que comercial.

**Adaptar** — remixar, transformar, e criar a partir do material para qualquer fim, mesmo que comercial.

O licenciante não pode revogar estes direitos desde que você respeite os termos da licença.

## De acordo com os termos seguintes:

 **Atribuição** — Você deve dar o [crédito apropriado](#), prover um link para a licença e [indicar se mudanças foram feitas](#). Você deve fazê-lo em qualquer circunstância razoável, mas de nenhuma maneira que sugira que o licenciante apoia você ou o seu uso.

 **Compartilhagual** — Se você remixar, transformar, ou criar a partir do material, tem de distribuir as suas contribuições sob a [mesma licença](#) que o original.

**Sem restrições adicionais** — Você não pode aplicar termos jurídicos ou [medidas de caráter tecnológico](#) que restrinjam legalmente outros de fazerem algo que a licença permita.



# CC BY-SA 4.0 DEED

Attribution-ShareAlike 4.0 International

Canonical URL : <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>

[See the legal code](#)


## You are free to:


**Share** — copy and redistribute the material in any medium or format for any purpose, even commercially.

**Adapt** — remix, transform, and build upon the material for any purpose, even commercially.

The licensor cannot revoke these freedoms as long as you follow the license terms.

## Under the following terms:

 **Attribution** — You must give [appropriate credit](#), provide a link to the license, and [indicate if changes were made](#). You may do so in any reasonable manner, but not in any way that suggests the licensor endorses you or your use.

 **ShareAlike** — If you remix, transform, or build upon the material, you must distribute your contributions under the [same license](#) as the original.

**No additional restrictions** — You may not apply legal terms or [technological measures](#) that legally restrict others from doing anything the license permits.

## Notices: