

Fundamentos de Processamento de Imagens

BCC36F - Processamento de Imagens

Prof^a. Dr^a. Aretha Barbosa Alencar
arethaalencar@utfpr.edu.br

Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR)
Departamento Acadêmico de Computação (DACOM)

Campo Mourão - PR

Sumário

- 1 Elementos da Percepção Visual
- 2 Espectro Eletromagnético
- 3 Aquisição de Imagens
- 4 Amostragem e Quantização de Imagens
- 5 Conectividade e Relacionamentos entre Pixels
- 6 Operações Aritméticas

Sumário

- 1 Elementos da Percepção Visual**
- 2 Espectro Eletromagnético**
- 3 Aquisição de Imagens**
- 4 Amostragem e Quantização de Imagens**
- 5 Conectividade e Relacionamentos entre Pixels**
- 6 Operações Aritméticas**

Olho Humano

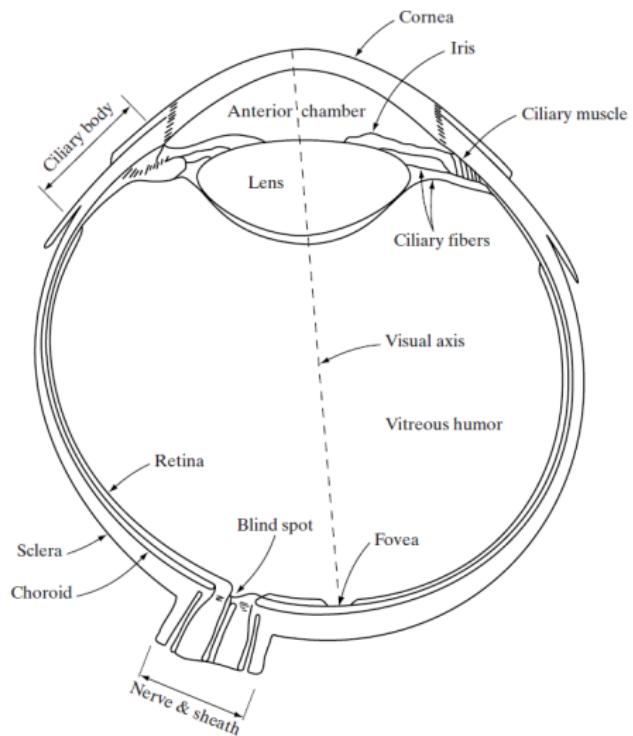


Figura: Diagrama simplificado de uma seção do olho humano

Olho Humano – Cones e Bastonetes

- Membrana mais interna do olho é a **retina**, que possui em sua superfície dois tipos de **receptores de luz**:

- **Cones**

- Entre 6 e 7 milhões;
 - Principalmente na fóvea;
 - Altamente sensíveis a cor;
 - Um nervo por célula (detalhes “finos”);
 - Músculos do olho rotacionam-o até a imagem de um objeto cair na fóvea;
 - Responsáveis pela visão fotópica (luz clara).

- **Bastonetes**

- 75 a 150 milhões;
 - Um nervo para várias células (menos detalhes);
 - Promovem uma “visão geral” do objeto;
 - Não são sensíveis a cor, mas são mais sensíveis a baixos níveis de iluminação;
 - Visão escotópica ou de luz escura.

Olho Humano – Cones e Bastonetes

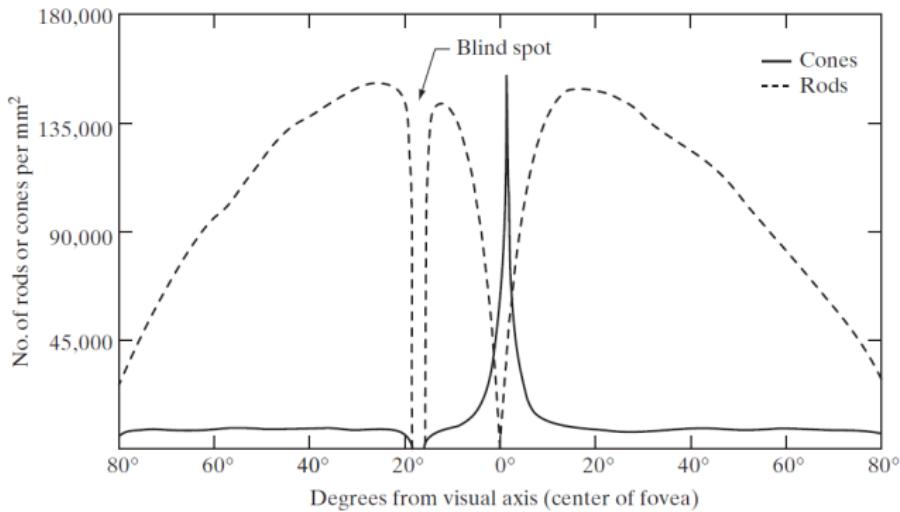
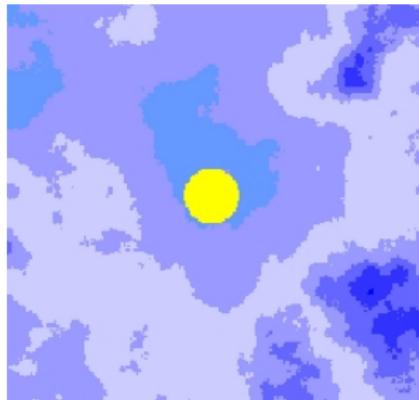


Figura: Distribuição de cones e bastonetes na retina.

- Os fotorreceptores são distribuídos radialmente a partir da fóvea, com cones concentrados na fóvea.
- Onde o nervo óptico encontra a retina, um ponto cego ocorre devido à falta de fotorreceptores.

Olho Humano – Ponto Cego



1 2 3 4 5 6

Figura: Cubra seu olho direito e olhe para o número 3. Vá aproximando e afastando lentamente seu rosto da tela do computador até o ponto amarelo sumir.

Olho Humano – Resolução Relativa

- A **fóvea** possui cerca de 1,5 mm de diâmetro.
- Vamos aproximar como um quadrado de $1,5 \times 1,5$ mm.
- A densidade é de aproximadamente 150.000 cones por milímetro quadrado na fóvea.
- Nesta região há então cerca de 337.000 elementos.
- Chip usado em câmeras de 2.0 MegaPixel OV2640 possui uma densidade de 200.000 pixels por milímetro quadrado
- A comparação não faz muito sentido pela habilidade dos humanos em integrar **inteligência e experiência**
- **Mas em termos de sensores, os chips de câmeras já ultrapassaram a resolução da fóvea humana!**

Formação de Imagens no Olho

- As lentes do olho humano são **flexíveis**.
- Formato da lente é controlado pelos músculos ciliares, que permitem que o olho foque em objetos distantes ou próximos apropriadamente.

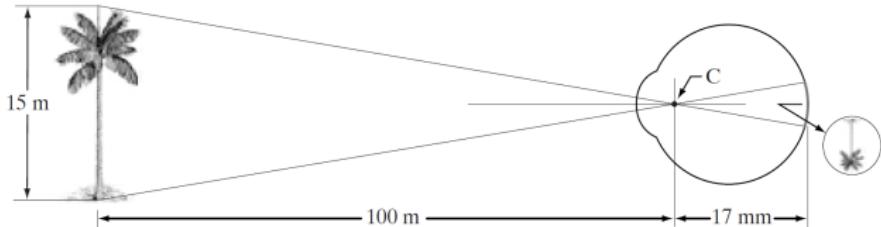


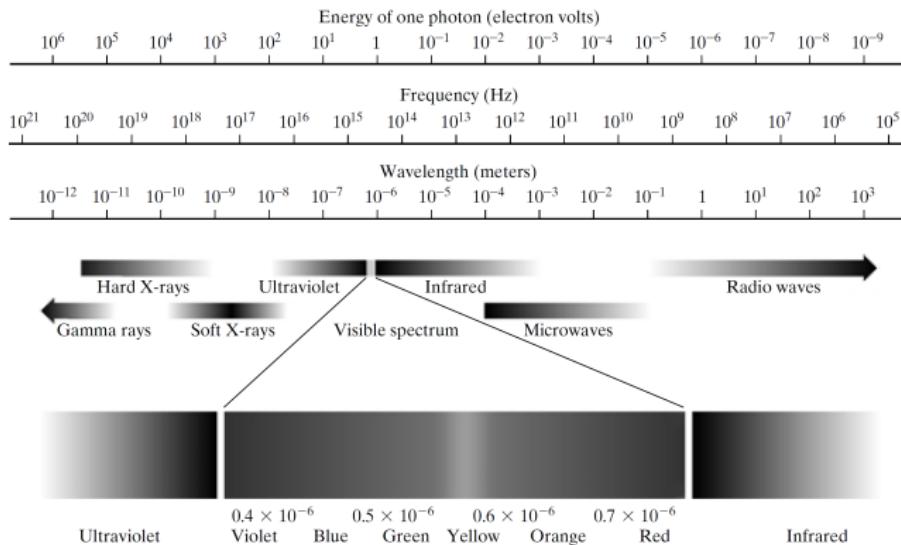
Figura: Representação gráfica de um olho olhando para uma palmeira. O ponto C é um centro óptico das lentes no olho humano.

- A imagem é refletida na retina principalmente na área da fóvea.
- A **excitação relativa dos receptores de luz** transforma energia radiante em impulsos elétricos que são decodificados pelo cérebro.

Sumário

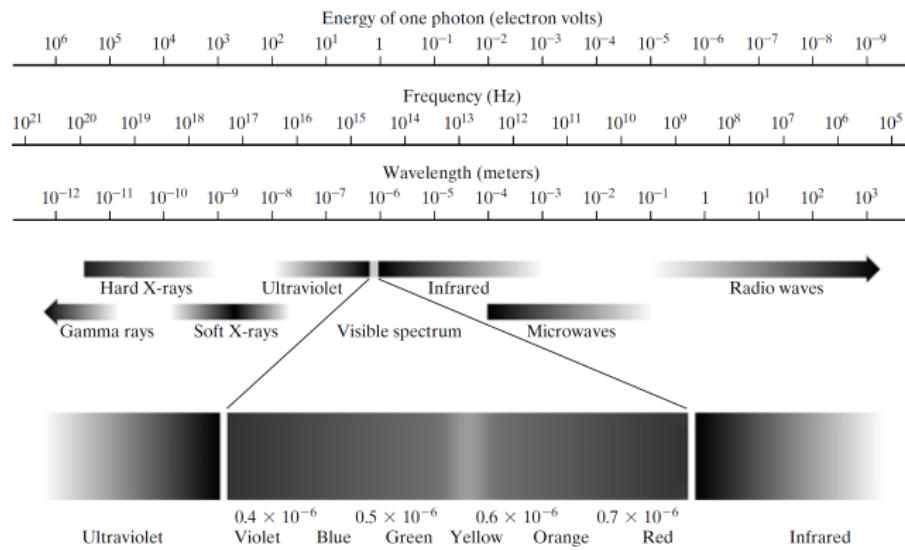
- 1 Elementos da Percepção Visual
- 2 Espectro Eletromagnético
- 3 Aquisição de Imagens
- 4 Amostragem e Quantização de Imagens
- 5 Conectividade e Relacionamentos entre Pixels
- 6 Operações Aritméticas

Espectro Eletromagnético



- **Espectro Eletromagnético** é o intervalo completo de todas as possíveis frequências da radiação eletromagnética.
- **Banda visível** mostrada em destaque, no entanto note que a banda visível é uma parte bem pequena do espectro eletromagnético.

Espectro Eletromagnético



- Na extremidade do lado direito estão as **ondas de rádio** com comprimentos de onda bilhões de vezes maiores que aquelas da luz visível.
- Na outra extremidade estão os **raios gama** com comprimentos de onda milhões de vezes menores que aquelas da luz visível.

Sumário

- 1 Elementos da Percepção Visual
- 2 Espectro Eletromagnético
- 3 Aquisição de Imagens
- 4 Amostragem e Quantização de Imagens
- 5 Conectividade e Relacionamentos entre Pixels
- 6 Operações Aritméticas

Aquisição de Imagens

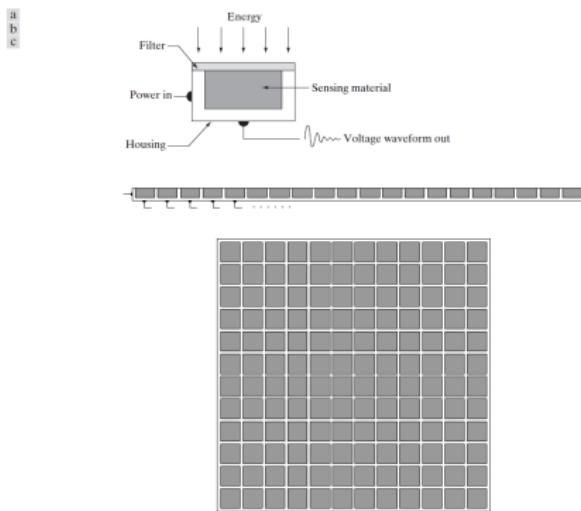


Figura: (a) Sensor individual; (b) Sensores em linha; (c) Matriz de sensores.

- Três principais tipos de arranjos de sensores utilizados no processo de **aquisição de imagens** para transformar energia de iluminação em imagens digitais.
- A luz incidente no sensor é integrada durante o tempo de exposição.

Aquisição de Imagens

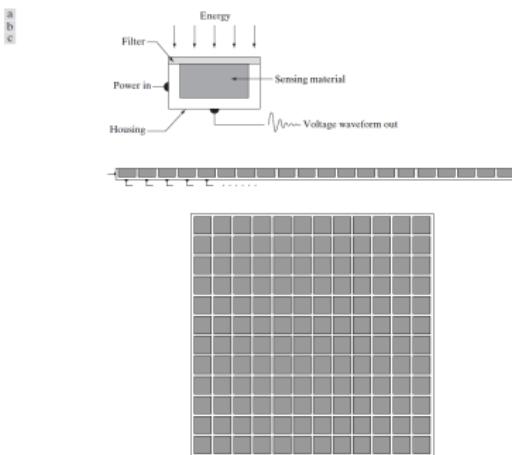


Figura: (a) Sensor individual; (b) Sensores em linha; (c) Matriz de sensores.

- O tamanho do sensor define em grande parte a qualidade da imagem, além do ganho analógico (pode ser simulado via ISO) e o ruído do sensor.
- Nem sempre mais megapixels significam maior tamanho de sensor e qualidade do sistema de aquisição.¹

¹ <http://www.digitaltrends.com/photography/image-sensor-size-matters/>

Aquisição de Imagens

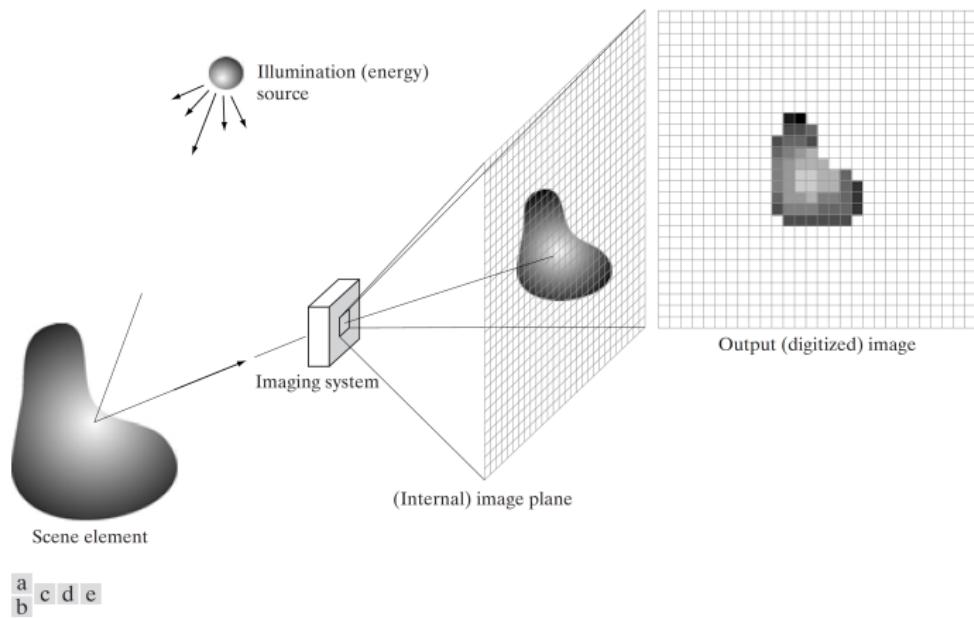


Figura: Exemplo do processo de aquisição de imagens digitais com um array de sensores: (a) Fonte de energia (“iluminação”); (b) Elemento da cena; (c) Sistema de imageamento; (d) Projeção da cena no plano de imagem; (e) Imagem digitalizada.

Modelo de Formação de Imagens

- **Imagens** denotadas por funções bidimensionais da forma $f(x, y)$
- Valor ou amplitude de f no ponto (x, y) é um escalar positivo e finito:

$$0 < f(x, y) < \infty$$

- Maior parte das imagens com as quais iremos trabalhar são imagens monocromáticas, cujos valores abrangem a **escala de cinza**.

Modelo de Formação de Imagens

- A **intensidade** de uma imagem monocromática em uma coordenada (x_0, y_0) é o nível de cinza (ℓ) dessa imagem naquele ponto:

$$\ell = f(x_0, y_0)$$

onde ℓ encontra-se no intervalo:

$$L_{min} \leq \ell \leq L_{max}$$

- O intervalo $[L_{min}, L_{max}]$ é chamado de **escala de cinza**.
- Normalmente ajusta-se no intervalo $[0, L - 1]$, onde $\ell = 0$ é considerado preto e $\ell = L - 1$ é considerado branco.

Sumário

- 1 Elementos da Percepção Visual
- 2 Espectro Eletromagnético
- 3 Aquisição de Imagens
- 4 Amostragem e Quantização de Imagens
- 5 Conectividade e Relacionamentos entre Pixels
- 6 Operações Aritméticas

Amostragem e Quantização de Imagens

- Uma imagem pode ser contínua em respeito as coordenadas x e y e também em sua amplitude.
- Para convertê-la para o formato digital, temos que amostrar a função em ambas coordenadas e em sua amplitude.
- Digitalização das coordenadas é chamado de **amostragem**.
 - Geralmente determinada pelo arranjo de sensores.
- Já a digitalização dos valores da amplitude é chamado de **quantização**.

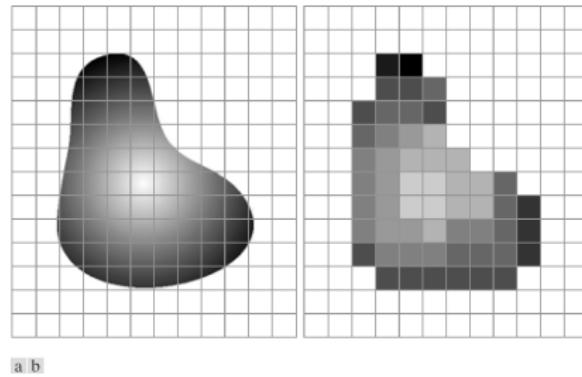


Figura: (a) Imagem contínua projetada numa matriz de sensores. (b) Resultado após amostragem e quantização da imagem.

Amostragem e Quantização de Imagens

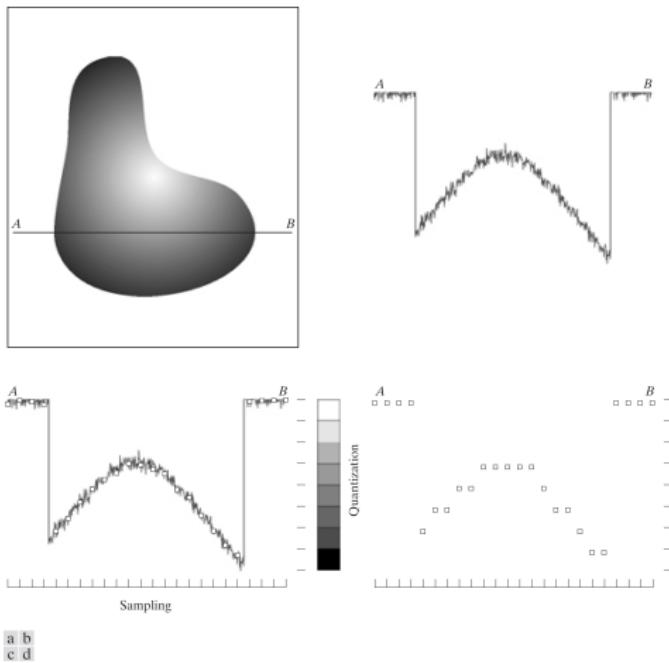


Figura: Gerando uma imagem digital: (a) Imagem contínua; (b) *Scan line* de A até B na imagem contínua, usada para ilustrar os conceitos de amostragem e quantização; (c) Amostragem e quantização; (d) *Scan line* digital.

Amostragem e Quantização de Imagens

- Qualidade da imagem digital, será determinada em grande parte pelo **número de amostras** no processo de amostragem e **número de níveis de cinza** adotados no processo de quantização.

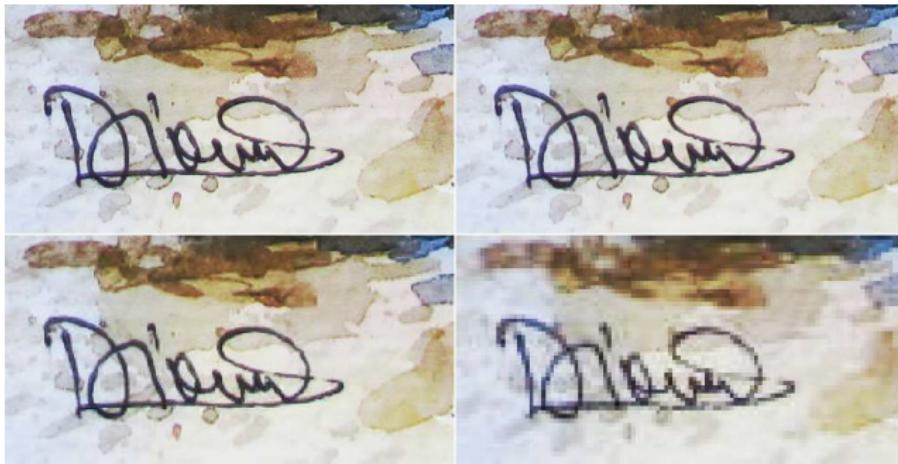


Figura: Imagens obtidas com mesmo sensor mas com parâmetros de amostragem diferentes.

Amostragem e Quantização de Imagens

- Qualidade da imagem digital, será determinada em grande parte pelo **número de amostras** no processo de amostragem e **número de níveis de cinza** adotados no processo de quantização.

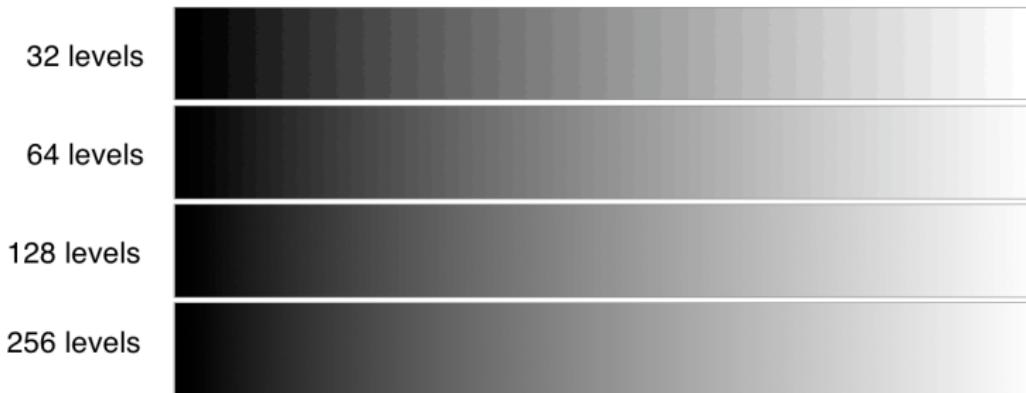
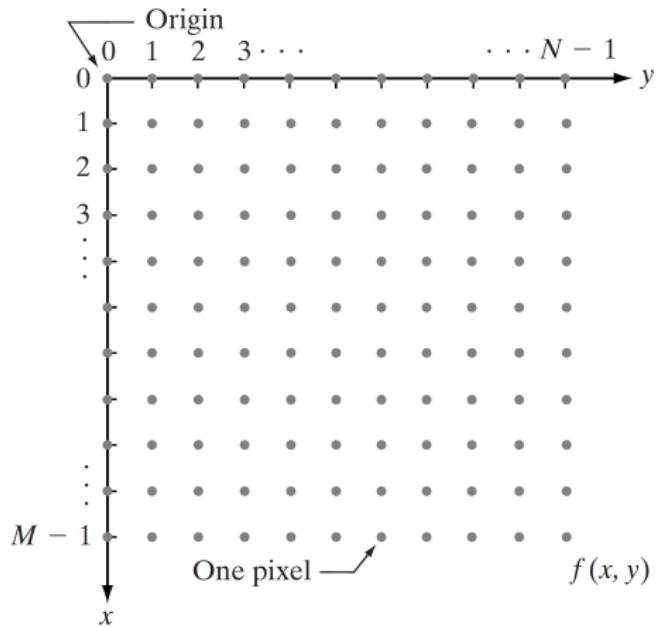


Figura: Efeito dos diferentes níveis de cinzas adotados no processo de quantização.

Representação de Imagens Digitais

- Convenção de coordenadas utilizada na maioria dos livros:



Representação de Imagens Digitais

- Convenção de coordenadas usando **formato matricial** para uma imagem digital $M \times N$:

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

ou

$$A = \begin{bmatrix} a_{0,0} & a_{0,1} & \cdots & a_{0,N-1} \\ a_{1,0} & a_{1,1} & \cdots & a_{1,N-1} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ a_{M-1,0} & a_{M-1,1} & \cdots & a_{M-1,N-1} \end{bmatrix}$$

Representação de Imagens Digitais

- Tipicamente o **número de níveis de cinza** é dado por:

$$L = 2^k$$

- O **número de bits** (b) requerido para armazenar uma imagem $M \times N$ é dado por:

$$b = M \times N \times k$$

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
1024	1,048,576	2,097,152	3,145,728	4,194,304	5,242,880	6,291,456	7,340,032	8,388,608
2048	4,194,304	8,388,608	12,582,912	16,777,216	20,971,520	25,165,824	29,369,128	33,554,432
4096	16,777,216	33,554,432	50,331,648	67,108,864	83,886,080	100,663,296	117,440,512	134,217,728
8192	67,108,864	134,217,728	201,326,592	268,435,456	335,544,320	402,653,184	469,762,048	536,870,912

Figura: Número de bits necessários para armazenar imagens com diferentes valores para N ($M = N$) e k .

Representação de Imagens Digitais



Vermelho (R)



Verde (G)



Azul (B)



24 bits (8 + 8 + 8)

Resolução Espacial e de Intensidade

- A **resolução espacial** de uma imagem pode ser medida em **dots per inch (dpi)**, que mede o número de pixels em uma polegada.



Figura: Efeitos típicos da redução da resolução espacial. (a) 1250 dpi; (b) 300 dpi; (c) 150 dpi e (d) 72 dpi. Para facilitar comparação todas as imagens foram escaladas para o tamanho original.

Resolução Espacial e de Intensidade

- A **resolução de intensidade** refere-se a menor mudança discernível no nível de intensidade. O mais comum são imagens com 8 bits de intensidade (256 níveis).

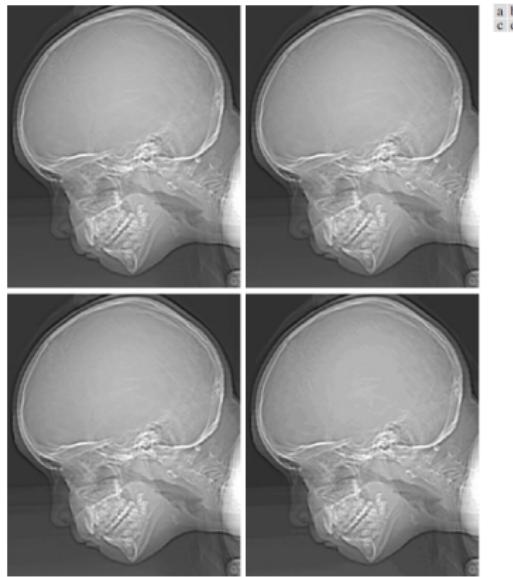


Figura: (a) Imagem 452×374 com 256 níveis de intensidade; (b) até (d) Imagens mostradas com 128, 64 e 32 níveis de intensidade, mantendo a resolução espacial constante.

Resolução Espacial e de Intensidade

- A **resolução de intensidade** refere-se a menor mudança discernível no nível de intensidade. O mais comum são imagens com 8 bits de intensidade (256 níveis).

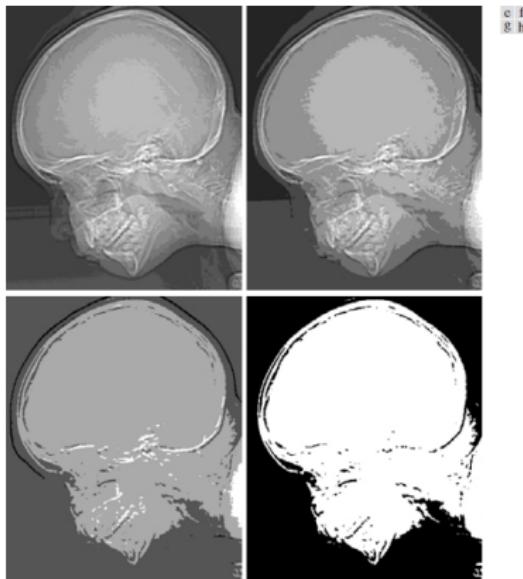


Figura: (e) até (g) Imagens mostradas com 16, 8, 4 e 2 níveis de intensidade, mantendo a resolução espacial constante.

Sumário

- 1 Elementos da Percepção Visual
- 2 Espectro Eletromagnético
- 3 Aquisição de Imagens
- 4 Amostragem e Quantização de Imagens
- 5 Conectividade e Relacionamentos entre Pixels
- 6 Operações Aritméticas

Vizinhos de um Pixel

- Um pixel p na coordenada (x, y) tem quatro **vizinhos horizontais e verticais**, cujas coordenadas são:

$$(x + 1, y), (x - 1, y), (x, y + 1), (x, y - 1)$$

- Esse conjunto de pixels, chamado vizinhança-4 de p , é expresso por $N_4(p)$.

- Os **vizinhos diagonais**, expressos por $N_D(p)$, são:

$$(x + 1, y + 1), (x + 1, y - 1), (x - 1, y + 1), (x - 1, y - 1)$$

- Os pontos $N_4(p)$ em conjunto com os pontos $N_D(p)$ formam a **vizinhança-8 de p** , ou $N_8(p)$.

Adjacência e conectividade

- V – conjunto de valores de intensidade usados para definir uma adjacência.
- Em uma imagem binária $V = \{1\}$ – adjacência de pixels de valor 1.
- Em imagens de 256 níveis de cinza V pode ser qualquer subconjunto dos valores entre 0 e 255.

Adjacência e Conectividade

Adjacências

- **Adjacência-4:** dois pixels p e $q \in V$ são adjacentes-4 se $q \in N_4(p)$
- **Adjacência-8:** dois pixels p e $q \in V$ são adjacentes-8 se $q \in N_8(p)$
- **Adjacência-m (mista):** dois pixels p e $q \in V$ são adjacentes-m se:
 - $q \in N_4(p)$, ou
 - $q \in N_D(p)$ e o conjunto $N_4(p) \cap N_4(q)$ não contiver pixel em V
 - Evita ambiguidade de adjacências (múltiplos caminhos)

0	1	1
0	1	0
0	0	1

0	1	- - 1
0	1	0
0	0	1

0	1	- - 1
0	1	0
0	0	1

Figura: (Esquerda) Valores dos pixels; (Centro) Adjacência-8 (contém ambiguidade); (Direita) Adjacência-m

Caminho e Conectividade

- **Caminho** de um pixel p com coordenadas (x, y) a um pixel q com coordenadas (s, t) é uma sequência:

$$(x_0, y_0), (x_1, y_1), \dots, (x_n, y_n)$$

onde $(x_0, y_0) = (x, y)$ e $(x_n, y_n) = (s, t)$

- Os pixels (x_i, y_i) e (x_{i-1}, y_{i-1}) devem ser adjacentes para $1 \leq i \leq n$.
- Se $(x_0, y_0) = (x_n, y_n)$ o caminho é fechado.
- É possível definir caminhos 4, 8 ou m .
- Sendo S um subconjunto de pixels na imagem, p e q são conexos em S se existir um caminho em S entre p e q .

Conectividade entre regiões e borda

- Com R representando uma **região** da imagem (conjunto conexo de pixels):
 - Duas regiões R_i e R_j são consideradas adjacentes se $R_i \cup R_j$ formam um conjunto conexo.
- A **borda** (fronteira ou contorno) de uma região R :
 - Conjunto de pontos adjacentes aos pontos do complemento de R na região (contorno interno).
 - Conjunto de pontos adjacentes a região no complemento de R (contorno externo).

$\begin{matrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 0 \end{matrix} \left\{ R_i \right.$	$\begin{matrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & 0 \end{matrix}$	$\begin{matrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \end{matrix}$
$\left. \begin{matrix} 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{matrix} \right\} R_j$	$\begin{matrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & 0 \end{matrix}$	$\begin{matrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \end{matrix}$

Figura: (Esquerda) Duas regiões (de 1s) que são adjacentes dada uma adjacência-8; (Centro) Parte do contorno interno dada uma adjacência-8; (Direita) Contorno interno de 1s não forma um caminho fechado.

Sumário

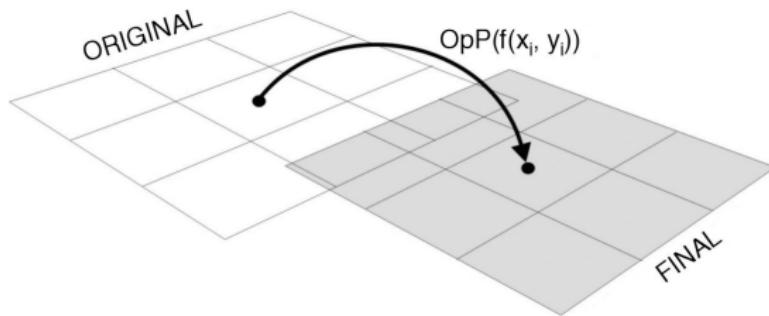
- 1 Elementos da Percepção Visual**
- 2 Espectro Eletromagnético**
- 3 Aquisição de Imagens**
- 4 Amostragem e Quantização de Imagens**
- 5 Conectividade e Relacionamentos entre Pixels**
- 6 Operações Aritméticas**

Operações Aritméticas

- Dada uma imagem digital, podemos aplicar operações sobre elas, que alteram os valores dos pixels.
- **Operações aritméticas**, normalmente aplicadas a números decimais, também são aplicáveis à imagens digitais:
 - **Aritméticas:**
 - Adição
 - Subtração
 - Multiplicação
 - Divisão

Operações Aritméticas e Lógicas

- Operações aritméticas são ditas pontuais:



- **Operações pontuais** são operações em que um pixel na posição (x, y) , da imagem resultante, depende apenas do pixel, na imagem original, que se encontra nas mesmas coordenadas.
- É necessário que as imagens tenham o mesmo tamanho para que se possa aplicar uma operação pontual.

Operações Aritméticas

- Existem quatro operações aritméticas:

- **Adição:**

$$g(x, y) = f(x, y) + h(x, y)$$

- **Subtração:**

$$g(x, y) = f(x, y) - h(x, y)$$

- **Multiplicação (pixel por pixel):**

$$g(x, y) = f(x, y) \times h(x, y)$$

- **Divisão:**

$$g(x, y) = f(x, y) \div h(x, y)$$

Adição – Aplicação

A **redução de ruído de imagens** é uma das principais aplicações da adição de imagens:

- Dado um conjunto de T imagens ruidosas de uma galáxia (ruído não correlacionado e imagens alinhadas). Obtém-se uma imagem com ruído reduzido adicionando todas as imagens desse conjunto, e dividindo o valor dos pixels da imagem resultante por T .

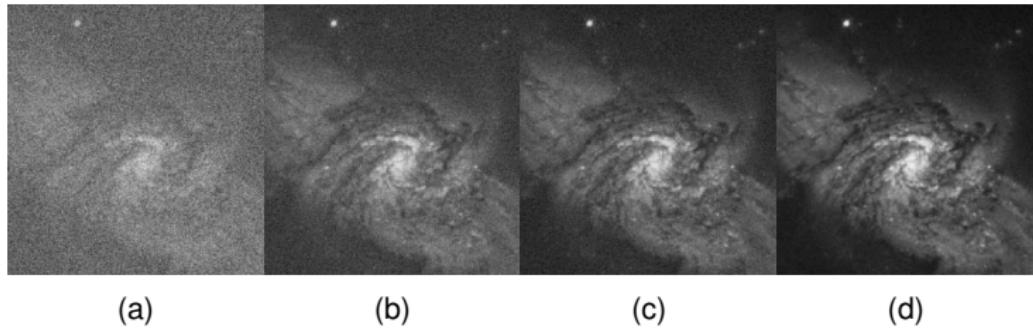


Figura: (a) Imagem com ruído de uma galáxia. (b) até (d) Resultados fazendo-se a média de 10, 20, 50 imagens ruidosas.

Subtração – Aplicação



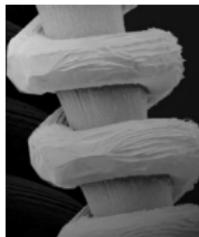
$$g(x, y) = f(x, y) - h(x, y)$$

Evidenciar diferenças entre imagens é uma das principais aplicações da subtração de imagens:

- **Pixels pretos** na imagem $g(x, y)$ indicam que não existe diferença naqueles locais entre as imagens $f(x, y)$ e $h(x, y)$.
- Enquanto, **pixels em tons de cinza ou branco** indicam que houve uma diferença nesses locais entre as imagens $f(x, y)$ e $h(x, y)$ e o valor do pixel (cor) indica o grau de mudança

Multiplicação e Divisão – Aplicação

A **correção de sombreamento** é uma das principais aplicações da multiplicação e da divisão de imagens:

(a) $g(x,y)$

=

(c) $f(x,y)$

X

(e) $h(x,y)$

- Um sensor produz imagens $g(x,y)$ que podem ser modeladas como:

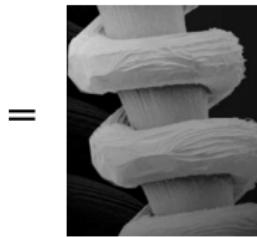
$$g(x, y) = f(x, y) \times h(x, y)$$

onde:

- $g(x, y)$ é a imagem obtida com problemas de sombreamento;
- $f(x, y)$ é a imagem “perfeita” sem problemas de sombreamento;
- $h(x, y)$ é função de sombreamento.

Multiplicação e Divisão – Aplicação

A **correção de sombreamento** é uma das principais aplicações da multiplicação e da divisão de imagens:

(a) $f(x,y)$ (c) $g(x,y)$

/

(e) $h(x,y)$

- Podemos aproximar $h(x, y)$ tirando uma foto de um fundo com intensidade constante usando a mesma câmera que gerou $g(x, y)$.
- Assim, pode-se obter a imagem “perfeita” $f(x, y)$ por:²

$$f(x, y) = g(x, y) / h(x, y)$$

²Para evitar divisão por 0, some um pequeno valor aos pixels da imagem divisora ($h(x, y)$) quando ele tiver algum pixel 0.

Limites Inferior e Superior nas Operações

- Ao executar operações aritméticas nas imagens, em alguns casos os resultados obtidos encontram-se fora dos limites de tom da imagem.
- No caso de imagens em níveis de cinza, fora do intervalo [0, 255]. Por exemplo:

$$\begin{bmatrix} 255 & 128 & 30 & 30 \\ 255 & 128 & 30 & 30 \\ 255 & 128 & 30 & 30 \\ 255 & 128 & 30 & 30 \\ 255 & 128 & 30 & 30 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} 100 & 4 & 1 & 1 \\ 100 & 4 & 1 & 1 \\ 100 & 4 & 1 & 1 \\ 4 & 4 & 1 & 1 \\ 4 & 4 & 1 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 25500 & 1020 & 30 & 30 \\ 25500 & 1020 & 30 & 30 \\ 25500 & 1020 & 30 & 30 \\ 1020 & 1020 & 30 & 30 \\ 1020 & 1020 & 30 & 30 \end{bmatrix}$$

- O que fazer?

Limites Inferior e Superior nas Operações

- Uma solução é realizar um **reescalonamento dos valores**, após a realização da operação:
 - Chamando de t_{max} o valor máximo presente na imagem e de t_{min} o valor mínimo, qualquer valor t pode ser reescalonado para um novo valor r , entre 0 e 255, usando:

$$r = \frac{t - t_{min}}{t_{max} - t_{min}} \times 255$$

Exemplo

$$\left[\begin{array}{ccccc} 25500 & 1020 & 30 & 30 \\ 25500 & 1020 & 30 & 30 \\ 25500 & 1020 & 30 & 30 \\ 1020 & 1020 & 30 & 30 \\ 1020 & 1020 & 30 & 30 \end{array} \right] \Rightarrow \left[\begin{array}{ccccc} 255 & 10 & 0 & 0 \\ 255 & 10 & 0 & 0 \\ 255 & 10 & 0 & 0 \\ 10 & 10 & 0 & 0 \\ 10 & 10 & 0 & 0 \end{array} \right]$$

Referências

- Gonzales, R. C. et al. **Digital Image Processing**. Prentice Hall, Terceira Edição, 2008, ISBN 9780131687288.
 - Capítulo 2 — Digital Image Fundamentals.

Dúvidas

