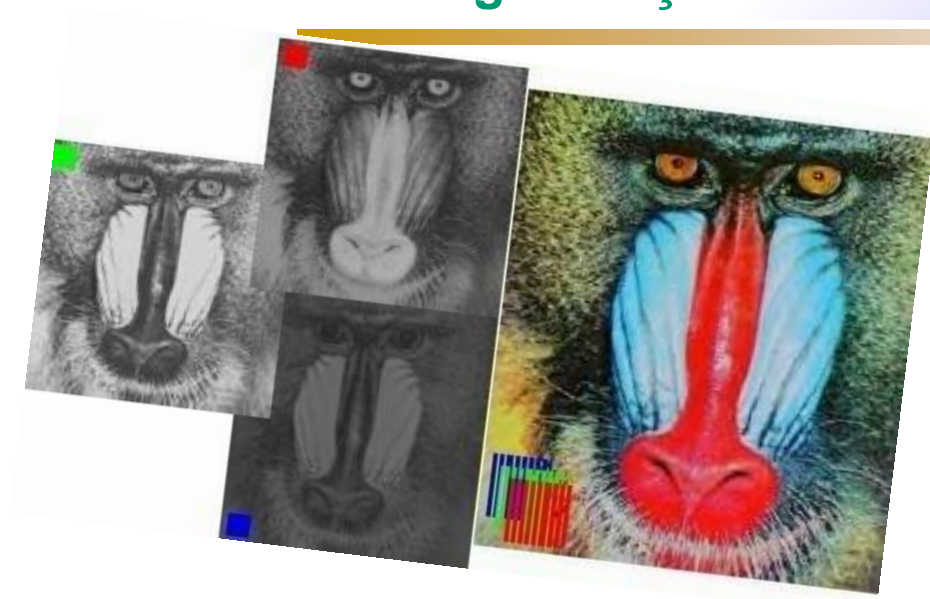


Prof. Dr. Leandro Alves Neves

Pós-graduação em Ciência da Computação



Aula 05


Processamento de Imagens  
Digitais

# Sumário

- **Realce (Transformações de intensidade)**
  - Brilho, Contraste e propriedades
  - Operações lineares e não lineares (propriedades)
  
- **Análise de Intensidades: histograma**
  
- **Transformações de Contraste**
  - Lineares
  - Não Lineares
    - Correção GAMA
  - Equalização de Histograma

# Realce de Imagens

## ■ Objetivos:

- ❑ **Melhorar ou acentuar**  aparência de **características**
- ❑ Quando Aplicar:
  - ❑ **Degradação** da qualidade da **imagem**, em função:
    - ❑ Introdução de ruído
    - ❑ Perda de contraste
    - ❑ Borramento
    - ❑ Distorção provocada por equipamento de aquisição

# Realce de Imagens

- **Métodos:**

- **Domínio espacial:**

- **Manipulação direta dos pixels** das imagens.

- **Informações baseadas em Brilho e Contraste**

- **Mas, o que pode envolver o Brilho e o Contraste?**

# Realce de Imagens

- **Brilho:**

- **Percepção visual da intensidade luminosa de uma fonte.**

- **Não corresponde a uma função linear:**

- Existem fenômenos associados

- **Bandas de *Mach***

- **Contraste Simultâneo**

# Realce de Imagens

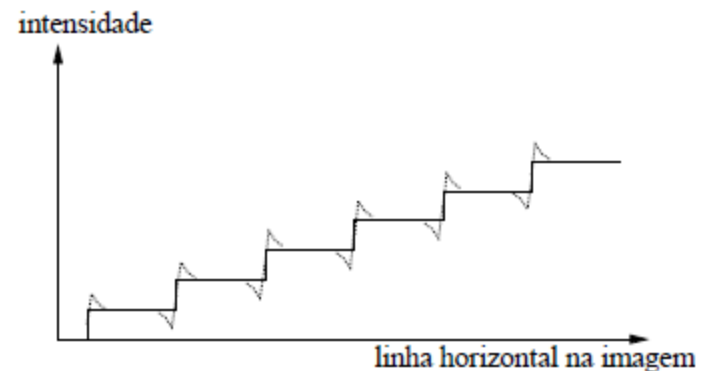


## ■ Fenômeno ➡ **Bandas de Mach**

- ❑ Descoberto pelo físico **Ernst Waldfried Josef Wenzel Mach** (1838-1916).
- **Sistema visual** tende a **subestimar** ou **superestimar**
  - ❑ Intensidades próximas às transições entre regiões de intensidades diferentes.



Faixas com intervalos



Percepção Visual

# Realce de Imagens

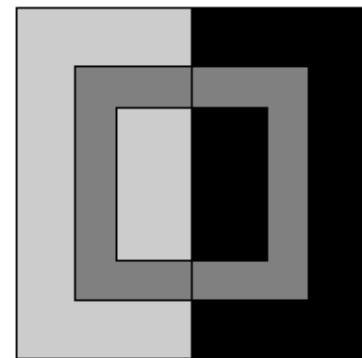
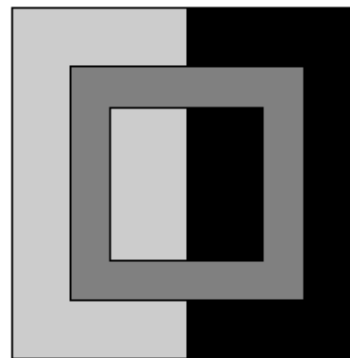
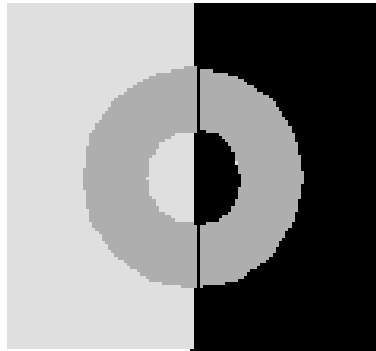
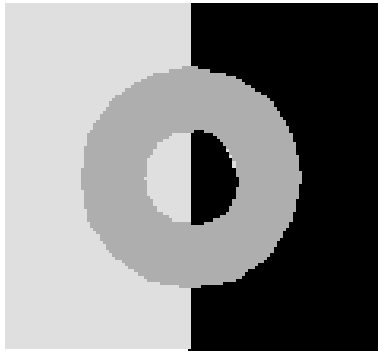
- Fenômeno  $\Rightarrow$  **Contraste Simultâneo**
- **Brilho Aparente**  $\Rightarrow$  depende da **intensidade do fundo**



- Quadrados centrais  $\Rightarrow$  mesma intensidade

# Realce de Imagens

- Fenômeno  $\Rightarrow$  **Contraste Simultâneo**
- **Brilho Aparente**  $\Rightarrow$  depende da **intensidade do fundo**



- **Koffka-Benussi *Ring***



# Realce de Imagens

## ■ **Contraste**

- **Intensidade luminosa** por unidade de área
- Diferentes Formulações para expressar o contraste

- **Lei de Weber-Fechner** (1860)

- A resposta do **sistema visual humano** depende de:

- **Variações locais de luminância absoluta** ➡ em vez da **luminância**

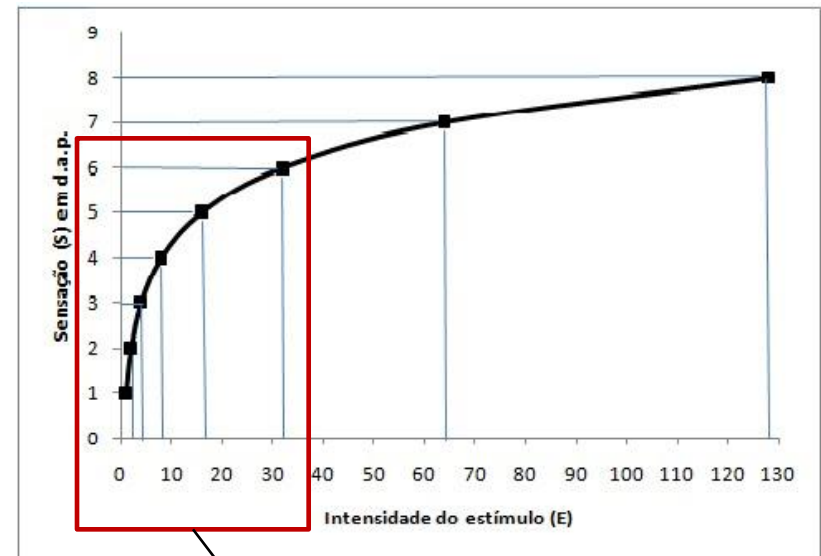
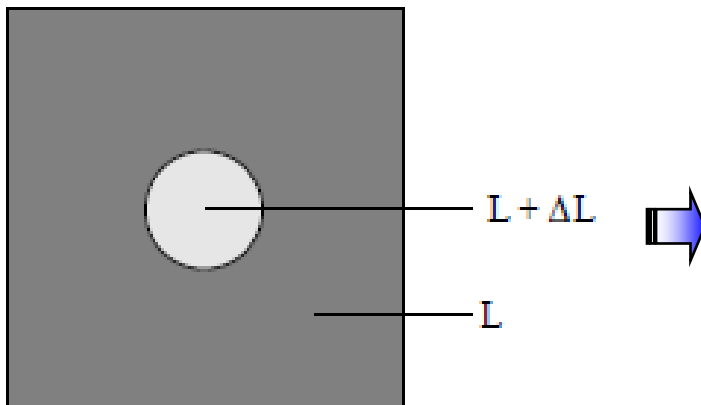


# Realce de Imagens

## ■ Contraste

### □ Lei de Weber-Fechner (1860): Experimento

- Apresentar a um observador um objeto com luminância  $L_F = L + \Delta L$  em um fundo  $L$ .



- Qual a diferença  $\Delta L$  para o observador notar alteração entre o objeto e o fundo?

Maior sensibilidade para perceber alterações em estímulos de baixa intensidade

# Realce de Imagens

## ■ **Contraste Local**

### □ Lei de Weber-Fechner **pode falhar**

- Estímulos tornam-se mais complexos e cobrem um intervalo de frequência maior.

## ■ **Medida de contraste local**

### □ **Beghdadi e Khellaf (1997)**

---

**A. Beghdadi**, A. Khellaf, A noise filtering method using a local information measure, IEEE Transactions on Image Processing, 6, N°6, June 1997

# Realce de Imagens

## ■ **Contraste Local**

□ Medida de **Beghdadi e Khellaf (1997)**

□ Considere

■ pixel  $f(x, y)$   centrado em uma vizinhança  $w_f$

□ O **contraste é definido como**:  $C_f = \frac{|I_{(x,y)} - Im_{(x,y)}|}{Im_{(x,y)}}$ ,

□  $I_{(x,y)}$  é o nível de cinza do pixel

□  $Im_{(x,y)}$  é o nível de cinza médio na vizinhança  $w_f$

# Realce de Imagens

## ■ Transformações de Contraste

### □ Melhorar a qualidade

- **Critérios subjetivos:** inspeção via sistema visual humano

### □ Aplicado sobre o intervalo de contraste ( $I_c$ ):

- $I_c = L_{max} - L_{min}$ , em que  $L$  é um nível de cinza na imagem

É possível se existe um intervalo de intensidades

# Realce de Imagens

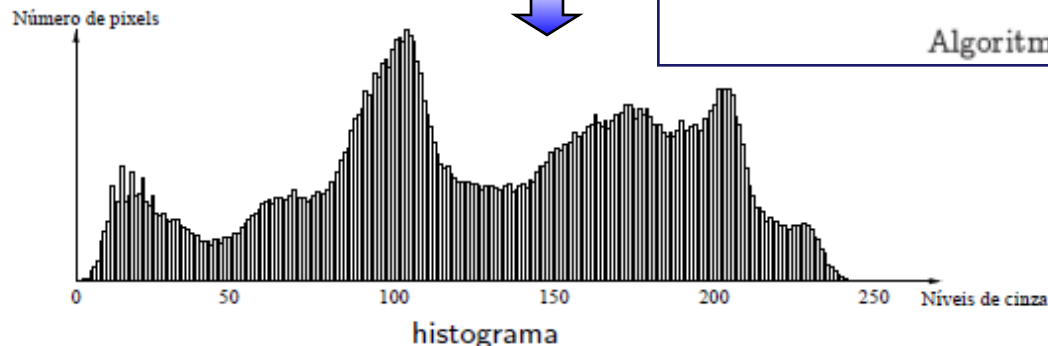
## ■ Definição de Histograma

- Frequência de uma ocorrência

$$H = \sum_{i=1}^{L_{\max}} m_i, \quad m_i : \text{função que conta o número de ocorrências } i;$$

$L_{\max}$  : total de intervalos;

Caso 2D



Cálculo do histograma de uma imagem

```

1 // atribuir valor zero a todos os elementos do vetor
2 para i = 0 até Lmax faça
3     H[i] ← 0
4
5 // calcular distribuição dos níveis de cinza para cada pixel
6 // da imagem
7 para x = 0 até M - 1 faça
8     para y = 0 até N - 1 faça
9         H[f(x, y)] ← H[f(x, y)] + 1
  
```

Algoritmo 4.1: Cálculo do histograma de uma imagem.

Histograma não tem informação  
posicional

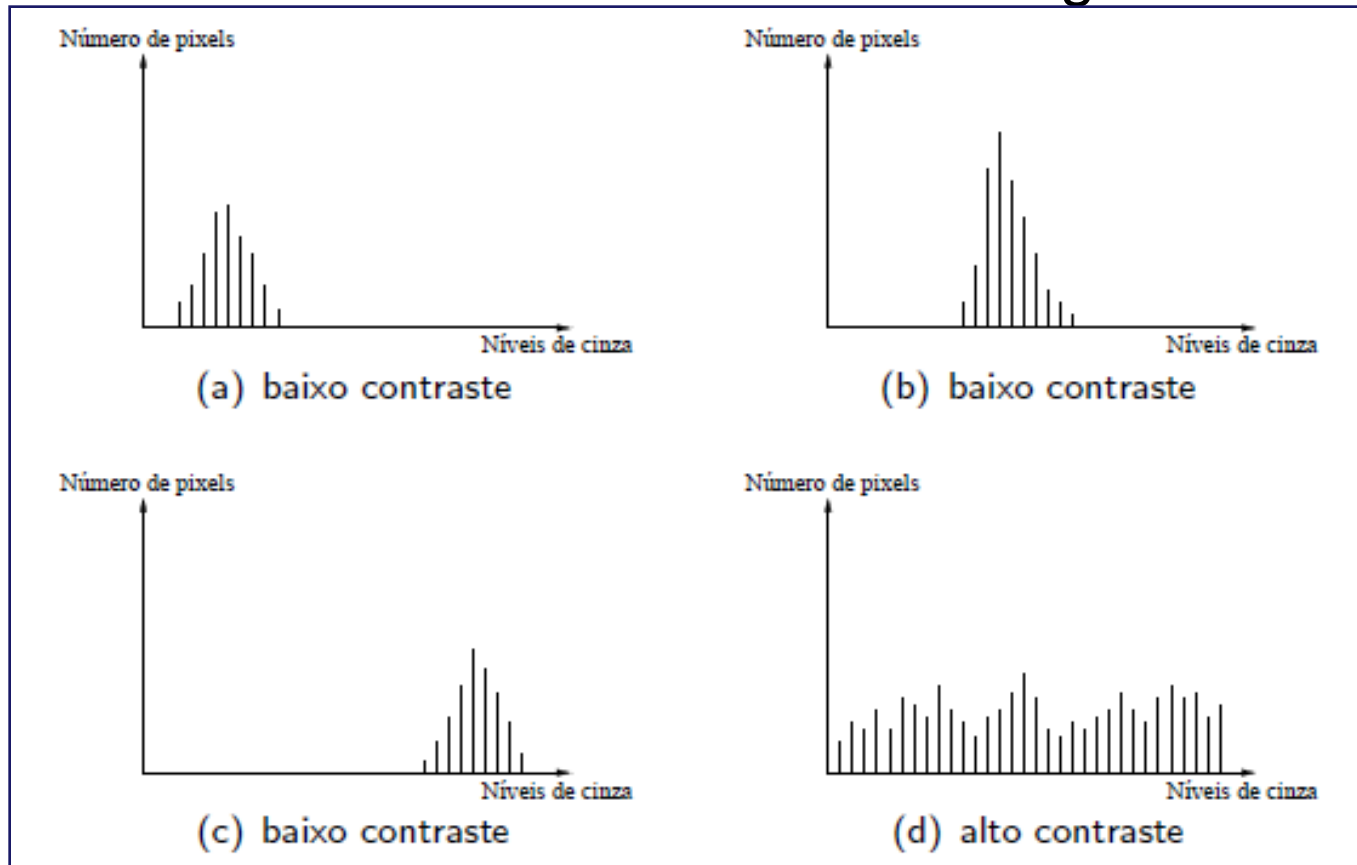
---

de pixel na Imagem (Medida  
Estatística de 1ª. Ordem) <sup>14</sup>

# Realce de Imagens

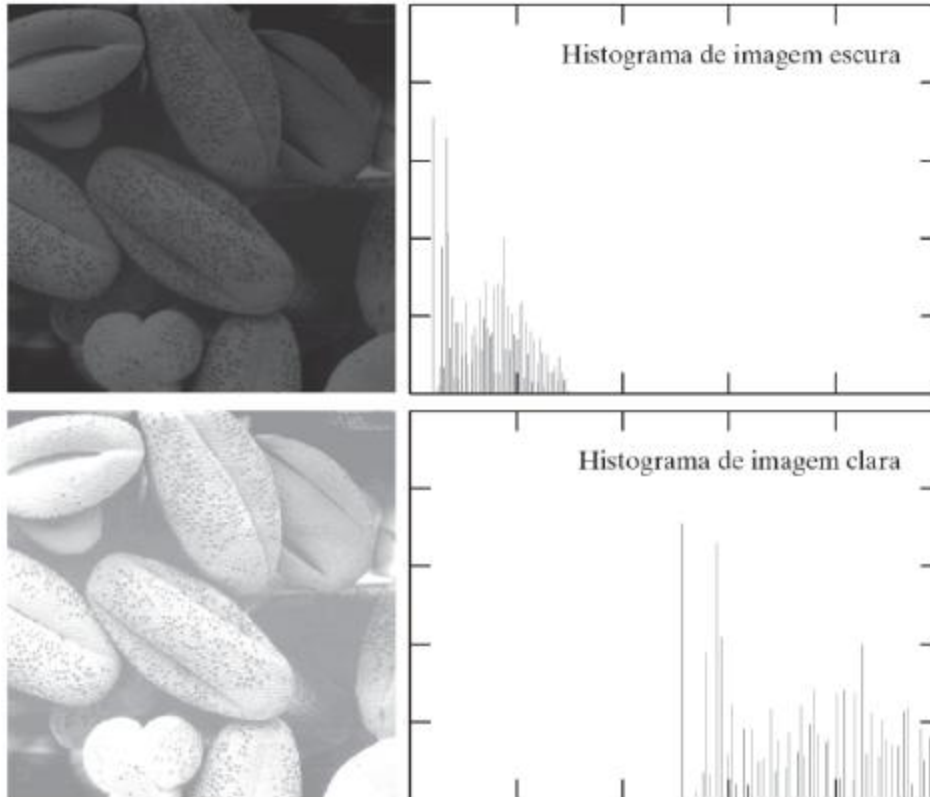
## ■ Tipos de Histogramas

- Permite avaliar o contraste de uma imagem



# Realce de Imagens

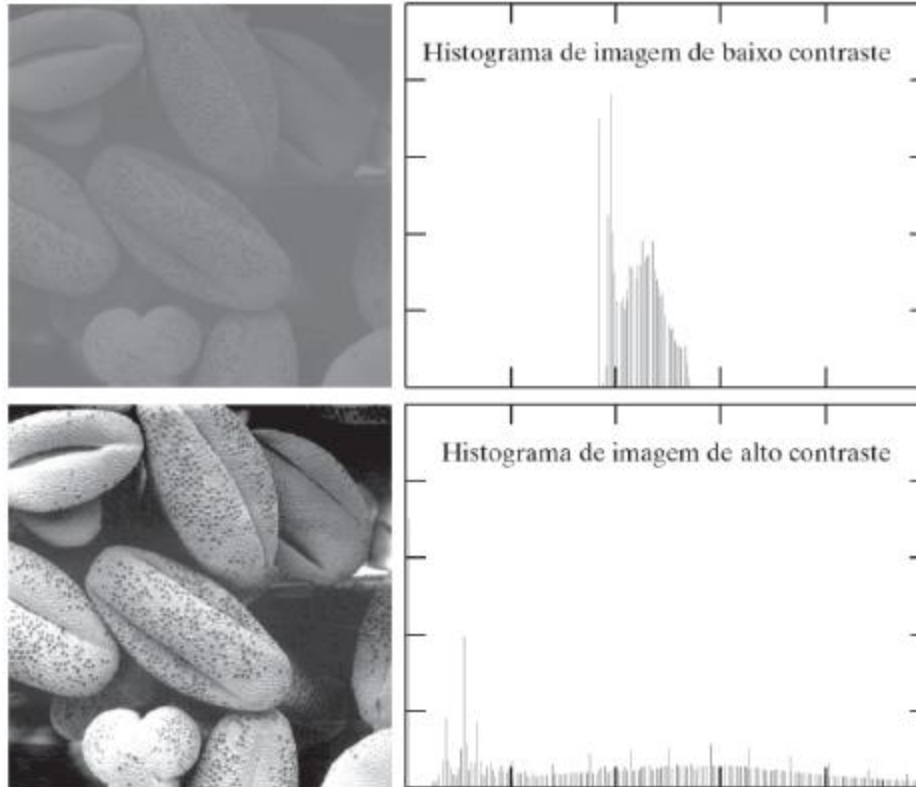
## ■ Histograma: Exemplos





# Análise de intensidades

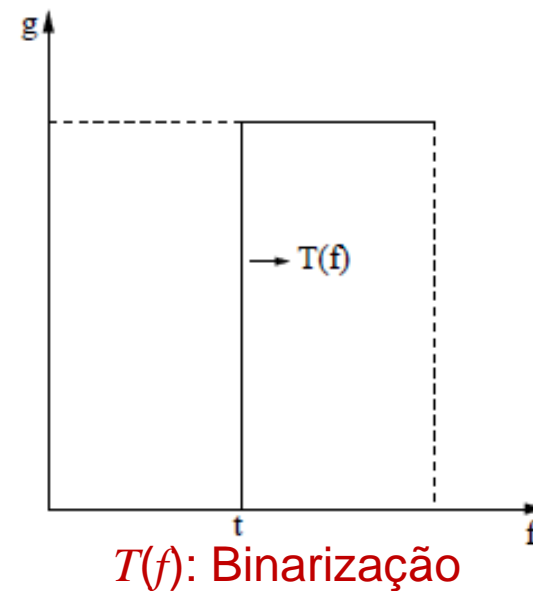
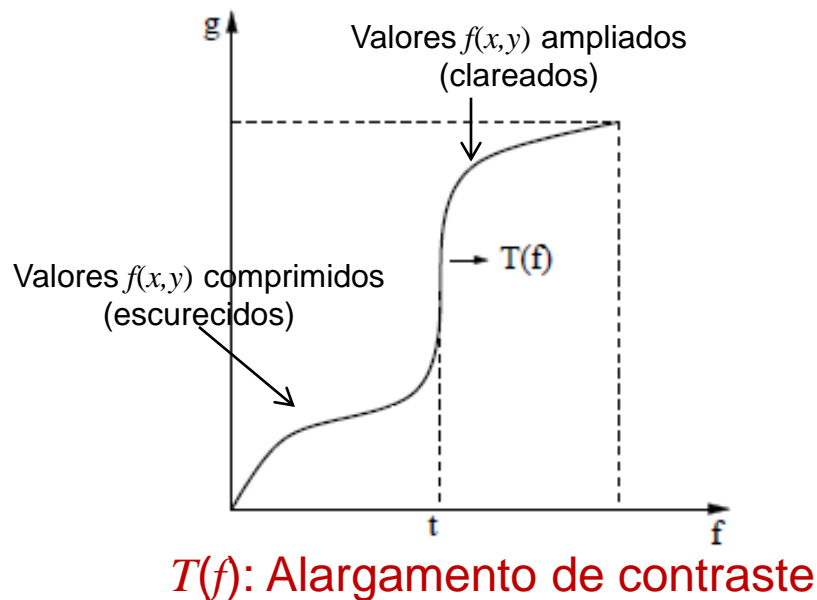
## ■ Histograma: Exemplos



# Realce de Imagens

## ■ Transformações de Contraste

- Uma função  $T$  de níveis de cinza pode ser descrita como:  $g=T(f)$ 
  - $f$  representa **níveis de cinza em uma imagem** dada como **entrada**
  - $g$  representa **níveis de cinza após** processo de **transformação**



t:ponto de corte

# Realce de Imagens

- **Operações lineares versus não lineares**
- **Classificação comumente utilizada em PID**
- Dado um **operador** geral  $H \implies$  *produz a saída  $g(x,y)$  para uma entrada  $f(x,y)$*

$$H[f(x, y)] = g(x, y)$$

# Realce de Imagens

## ■ Operações lineares quando:

$$\begin{aligned} H[a_i f_i(x, y) + a_j f_j(x, y)] \\ &= a_i H[f_i(x, y)] + a_j H[f_j(x, y)] \\ &= a_i g_i(x, y) + a_j g_j(x, y) \end{aligned}$$

Por exemplo,  $H$  como um operador de somatória:

$$\begin{aligned} \sum [a_i f_i(x, y) + a_j f_j(x, y)] &= \sum a_i f_i(x, y) + \sum a_j f_j(x, y) \\ &= a_i \sum f_i(x, y) + a_j \sum f_j(x, y) \\ &= a_i g_i(x, y) + a_j g_j(x, y) \end{aligned}$$

□ Dado um operador geral  $H \Rightarrow$  produz a saída  $g(x, y)$  para uma entrada  $f(x, y)$

- em que  $a_i$ ,  $a_j$ ,  $f_i(x, y)$  e  $f_j(x, y)$  são, respectivamente, constantes e imagens arbitrárias (do mesmo tamanho).

## □ Saída após a soma de duas entradas



Propriedade de **aditividade**

- Mesmo que realizar essa **operação individualmente** e **depois somar os resultados**.

Também está presente a propriedade de **homogeneidade** (multiplicar uma constante por uma entrada é igual a entrada multiplicada por essa constante)

# Realce de Imagens

## ■ Operações não lineares

□ Exemplo,  $H$  como o máximo de uma função

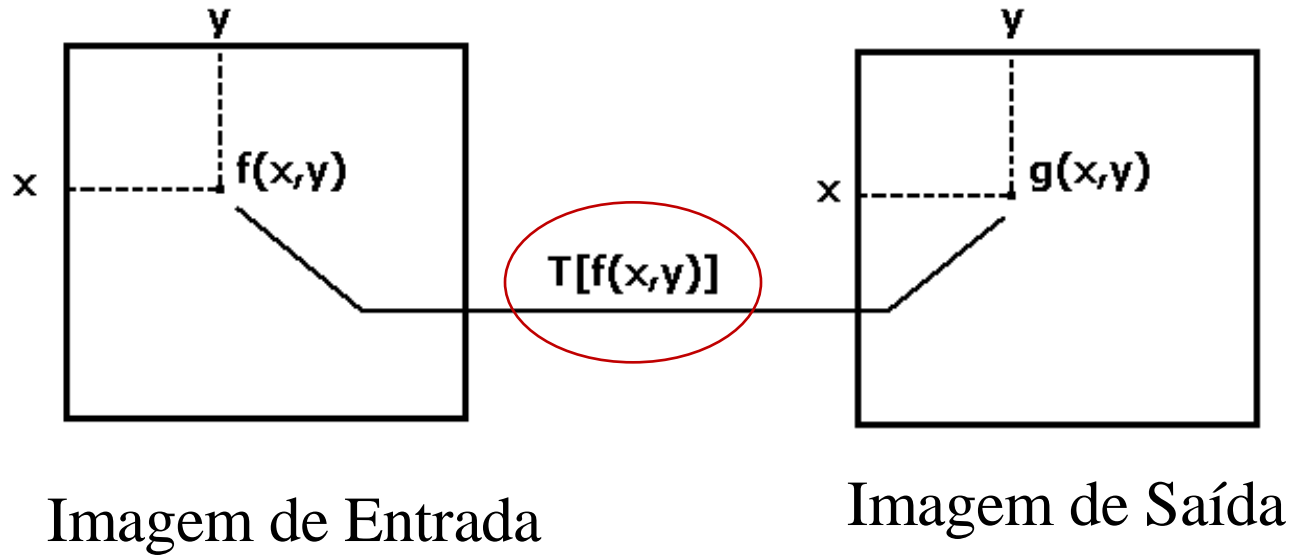
$$\begin{aligned}
 (1)\text{máx}\left\{\begin{bmatrix} 0 & 2 \\ 2 & 3 \end{bmatrix}\right\} + (-1)\text{máx}\left\{\begin{bmatrix} 6 & 5 \\ 4 & 7 \end{bmatrix}\right\} &\Rightarrow \text{máx}\left\{(1)\begin{bmatrix} 0 & 2 \\ 2 & 3 \end{bmatrix} + (-1)\begin{bmatrix} 6 & 5 \\ 4 & 7 \end{bmatrix}\right\} \\
 = 3 + (-1)7 = -4 & \qquad \qquad \qquad = \text{máx}\left\{\begin{bmatrix} -6 & -3 \\ -2 & -4 \end{bmatrix}\right\} = -2
 \end{aligned}$$

As saídas não são iguais, propriedade de **homogeneidade não respeitada**

# Realce de Imagens

## ■ Transformações de Contraste: Lineares

- Cada ponto na Imagem de Entrada gera um ponto na Imagem de Saída



- **Representação:**  $g = c \cdot f + b$ , em que:

- $c$  escala de níveis de cinza da imagem, por exemplo:
- $b$  ajuste de brilho

$$c = \frac{g_{\max} - g_{\min}}{f_{\max} - f_{\min}}$$

# Realce de Imagens

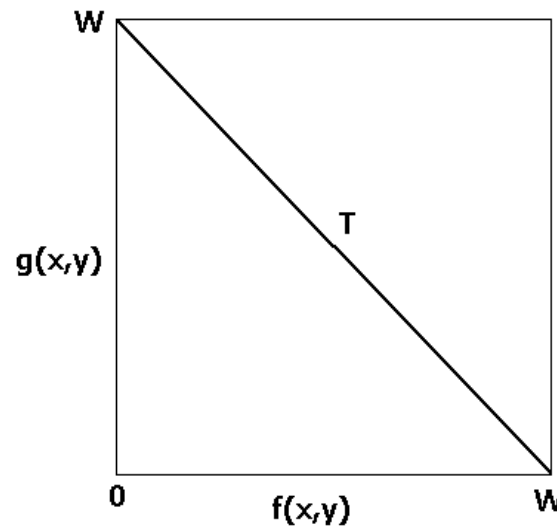
## ■ Transformações de Contraste: Lineares

### □ Negativo



$$T[f(x, y)] = g(x, y) = w - f(x, y),$$

$w$  é a intensidade máxima presente na imagem

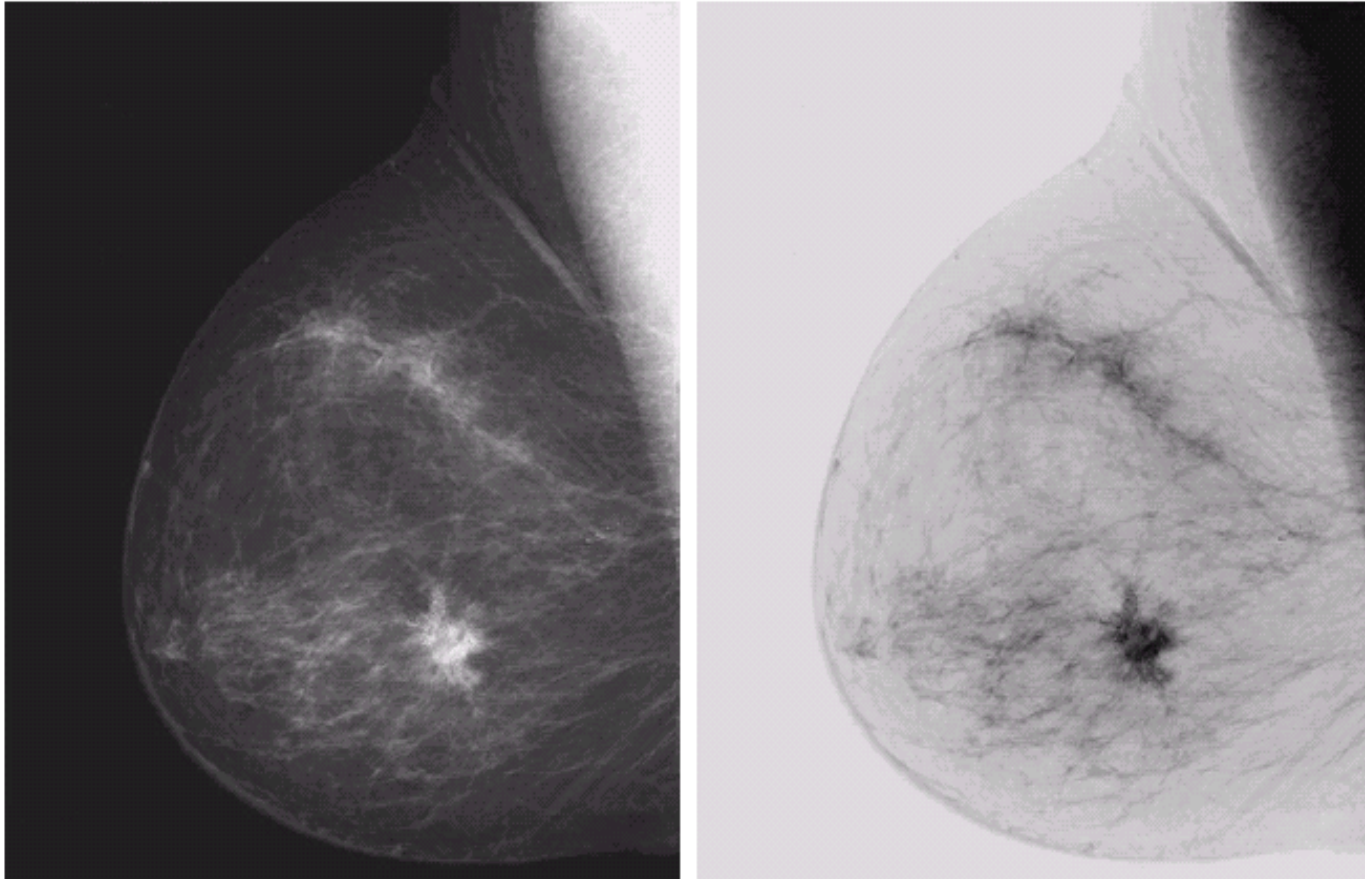


A intensidade de  **$g(x,y)$**  **diminui** à medida que a intensidade de  **$f(x,y)$**  **aumenta**

# Realce de Imagens

## ■ Transformações de Contraste: Lineares

### □ Negativo



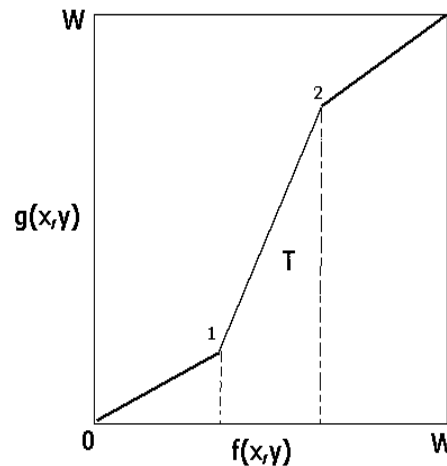
A intensidade de  $g(x,y)$  **diminui** à medida que a intensidade de  $f(x,y)$  **aumenta**



# Realce de Imagens

## ■ Transformações de Contraste: Lineares

### □ Alargamento de Contraste



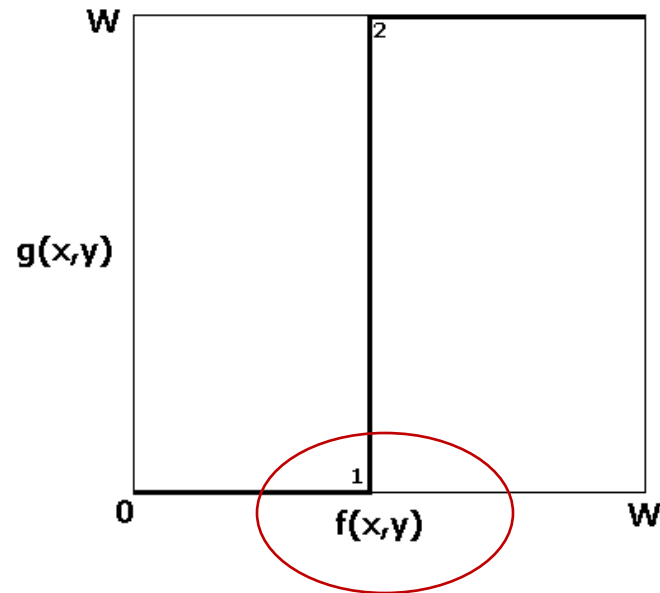
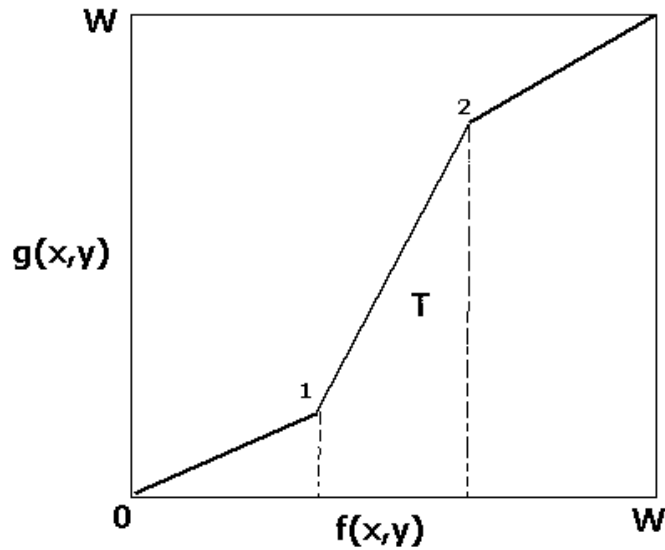
$$g(x,y) = \begin{cases} k_1 \cdot f(x,y) \Rightarrow 0 \leq f(x,y) < f_1(x,y) \\ k_2 \cdot f(x,y) \Rightarrow f_1(x,y) \leq f(x,y) \leq f_2(x,y) \\ k_3 \cdot f(x,y) \Rightarrow f_2(x,y) < f(x,y) \leq W \end{cases}$$



# Realce de Imagens

## ■ Transformações de Contraste: Lineares

### □ Binarização (*Thresholding*)



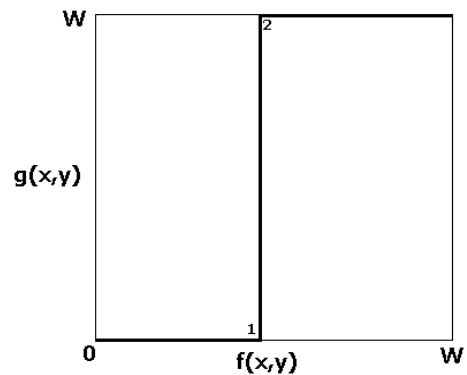
### □ Assumindo:

- $K_1=0$ ;
- $f_1(x,y) = f_2(x,y)$
- $K_3 \cdot f(x,y) = W$

$$g(x,y) = \begin{cases} 0 & : 0 < f_1(x,y) \\ W & : f_1(x,y) \leq f(x,y) \leq W \end{cases}$$

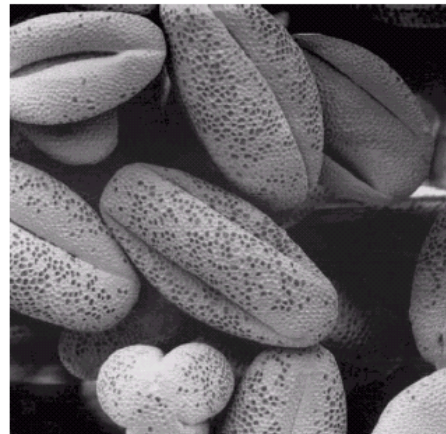
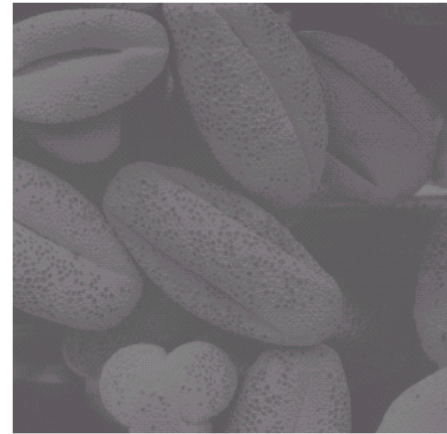
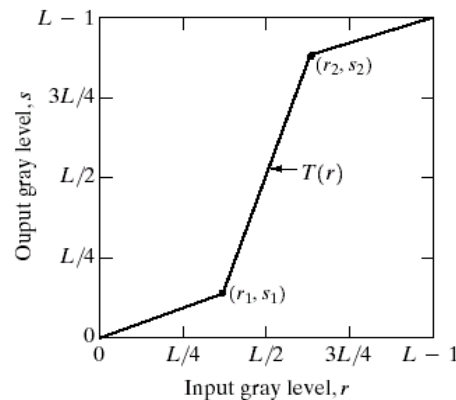
# Realce de Imagens

- Transformações de Contraste: Lineares
  - Binarização (*Thresholding*)



# Realce de Imagens

- **Transformações de Contraste: Lineares**
- **Combinações: Alargamento + Binarização (*Thresholding*)**



# Realce de Imagens

## ■ Transformações de Contraste: Não Lineares

### □ Realçar detalhes específicos na imagem

### □ Transformações Lineares versus Não lineares


$$g = c \cdot f + b$$

#### ■ Linear: **c** (fixo e empírico);

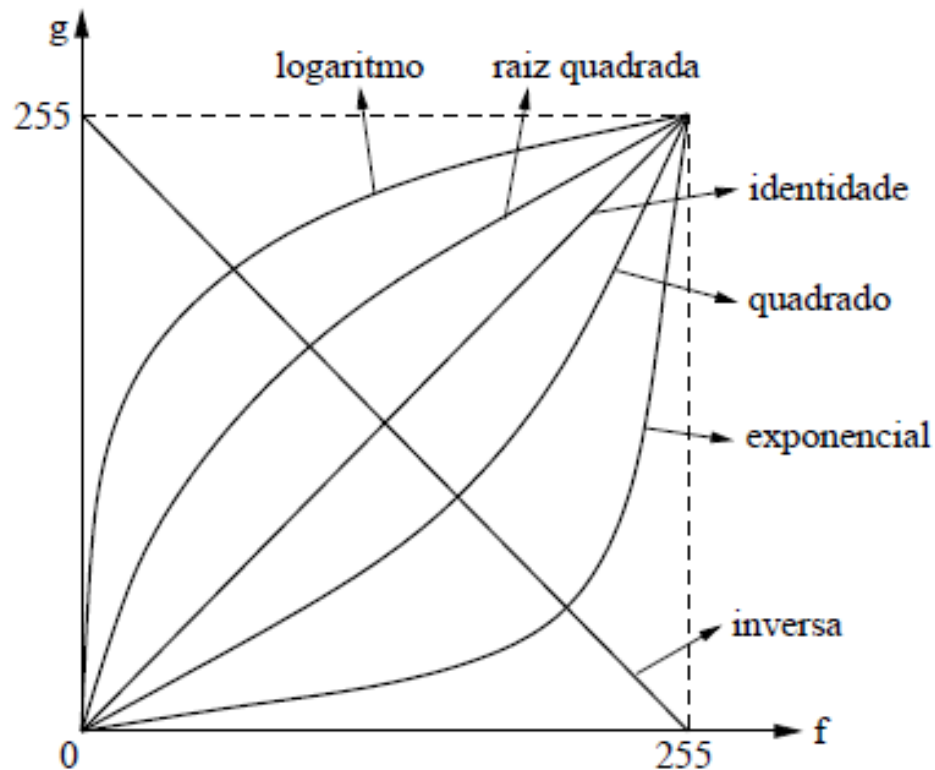
#### ■ Não Linear: **c** é um parâmetro que expressa

Logaritmo  
Raiz quadrada  
Exponencial  
Quadrado

# Realce de Imagens

## ■ Transformações de Contraste

### ■ Exemplos



# Realce de Imagens

- **Transformações de Contraste: Não Lineares**
  - Exemplos



Entrada



Logaritmo



Raiz Quadrada



Exponencial



Quadrado



# Realce de Imagens

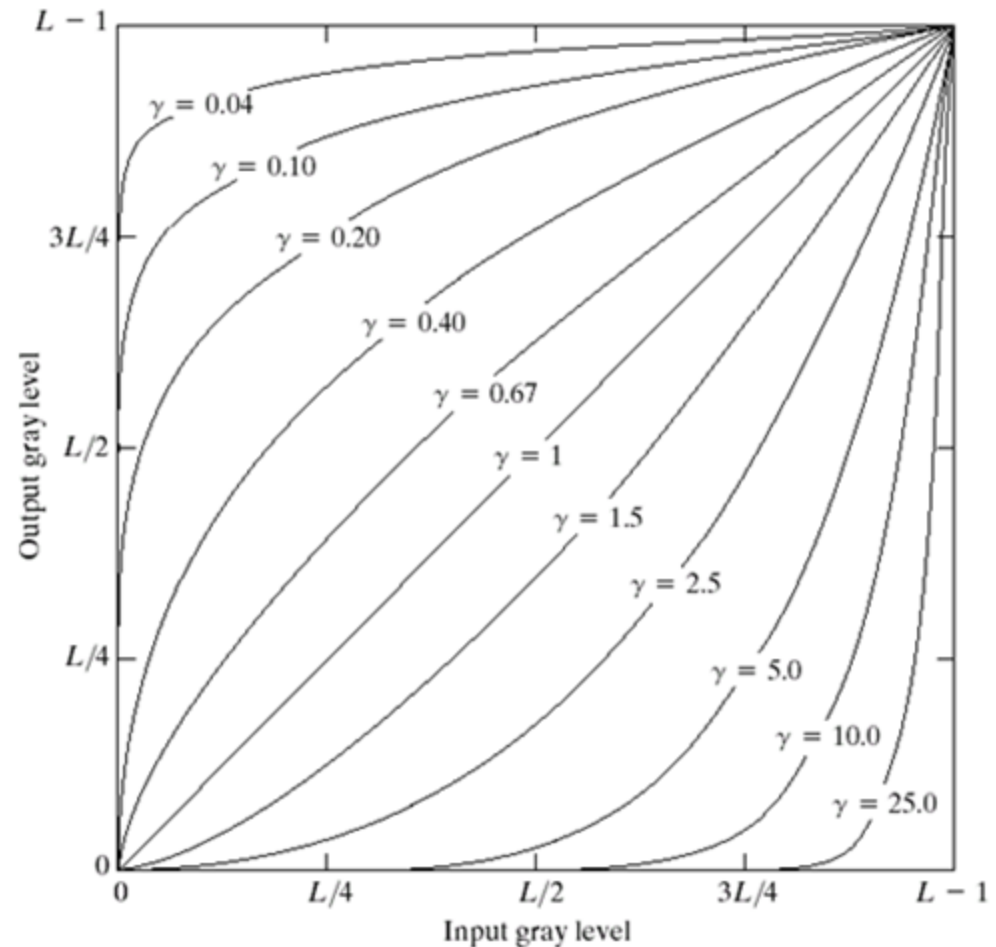
## ■ Transformações de Potência: Correção GAMA

■ Dada por :

$$g = c(f + \varepsilon)^\gamma$$

- $c$  e  $\gamma$ : constantes positivas
- $\varepsilon$ : compensação quando entrada for zero

Todas as classes de transformações em função de  $\gamma$

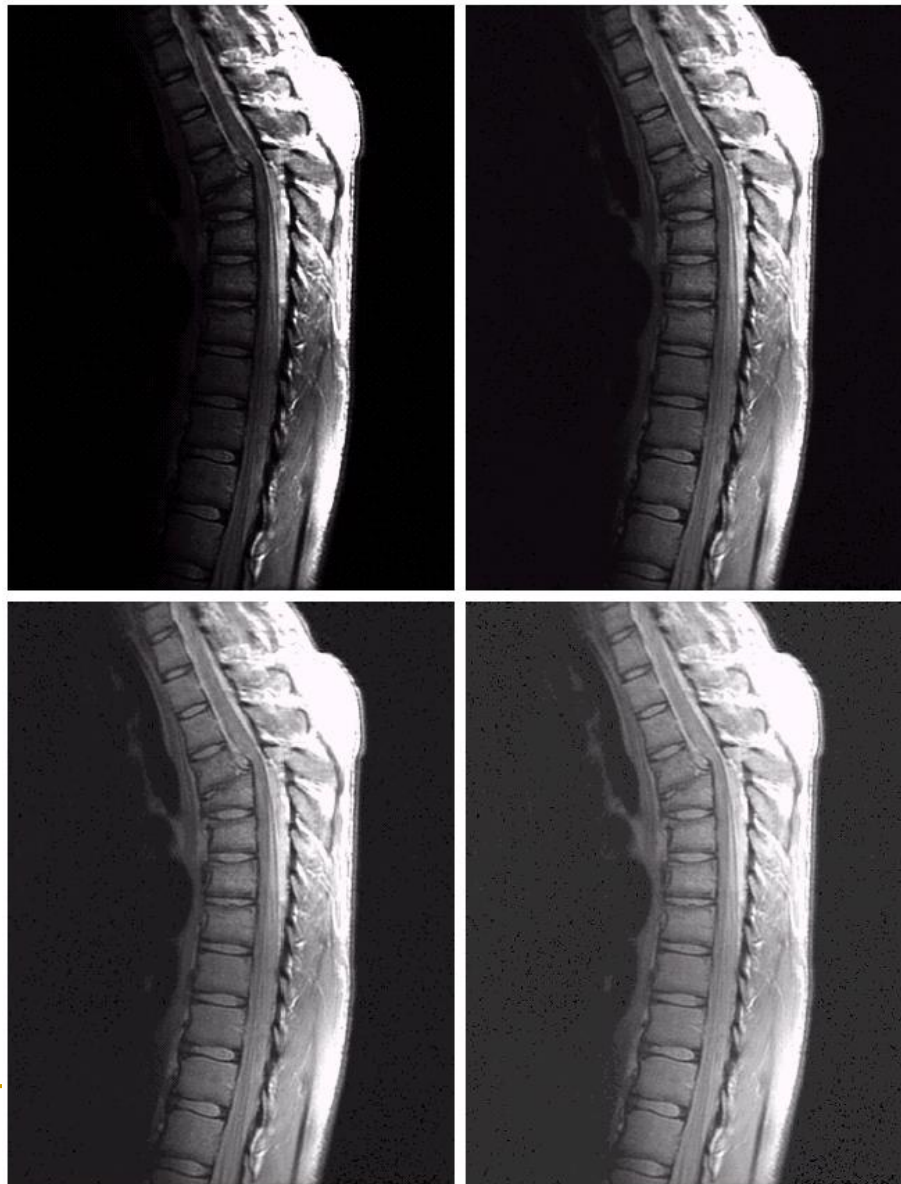


Plotagem de  $g = c(f + \varepsilon)^\gamma$  para vários valores de  $\gamma$ , considerando  $c = 1$ .



# Realce de Imagens

## ■ Transformações de Potência: Correção GAMA



a	b
c	d

**FIGURE 3.8**

(a) Magnetic resonance (MR) image of a fractured human spine. (b)–(d) Results of applying the transformation in Eq. (3.2-3) with  $c = 1$  and  $\gamma = 0.6, 0.4$ , and  $0.3$ , respectively. (Original image for this example courtesy of Dr. David R. Pickens, Department of Radiology and Radiological Sciences, Vanderbilt University Medical Center.)

# Realce de Imagens

## ■ Transformações de Potência: Correção GAMA

a	b
c	d

**FIGURE 3.9**

(a) Aerial image.  
(b)–(d) Results of applying the transformation in Eq. (3.2-3) with  $c = 1$  and  $\gamma = 3.0, 4.0,$  and  $5.0$ , respectively. (Original image for this example courtesy of NASA.)



# Realce de Imagens

- Escolha de Transformações: **Empírico**
- Porém, existe uma categoria de métodos



# Realce de Imagens

## ■ Equalização de Histograma

Imagem original  $f$   transformada   $g$   distribuição mais uniforme



**Níveis de cinza** devem ter, aproximadamente, a **mesma frequência**

## ■ Mapeamento de cada nível de cinza

- **Função de Distribuição Acumulada (FDA)**  na frequência de um nível

# Realce de Imagens

## ■ Histograma Normalizado (1ª Etapa)

□ Distribuição discreta de probabilidade:  $p_f(f_i) = \frac{n(i)}{n},$

- $n(i)$  é número de ocorrências do nível de cinza  $i$
- $n$  é o total de pixels na imagem
- $p_f(f_i)$ , é a probabilidade do  $i$ -ésimo nível de cinza

□ Medidas estatísticas dos níveis de cinza:

- valores mínimo e máximo
- valor médio
- variância
- desvio padrão

# Realce de Imagens

## ■ Equalização de Histograma (2ª Etapa)

- Considere uma imagem composta por  $n = M \times N$  pixels

- Níveis de cinza  $k = 0, 1, \dots, L - 1$

- Equalizar um histograma  $\Rightarrow$  via FDA ( $g_k$ ):

$$g_k = T(f_k) = \sum_{i=0}^k p_f(f_i) = \sum_{i=0}^k \frac{n_i}{n} \quad k = 0, 1, \dots, L - 1$$

- $n_i$ , número de ocorrências do nível de cinza  $i$
- $p_f(f_i)$ , é a probabilidade do  $i$ -ésimo nível de cinza

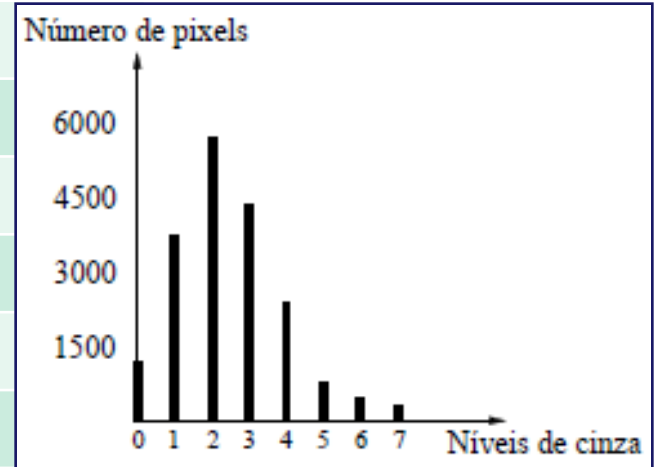
- **FDA normaliza os níveis de cinza da imagem no intervalo  $0 \leq f_k \leq 1$**

# Realce de Imagens

## ■ Equalização de Histograma

□ **Exemplo:** Equalização de histograma de uma imagem ( $f$ )

Níveis de Cinza ( $k$ )	Frequência ( $n_k$ )
0	1314
1	3837
2	5820
3	4110
4	2374
5	921
6	629
7	516



Total:  $n=19521$



# Realce de Imagens

## ■ Equalização de Histograma

- 1ª. Etapa: Definir a probabilidade  $p_f$  com que cada nível de cinza  $k_i$  aparece na imagem  $f$

$p_f(k)$	Probabilidade ( $p_f(f_i)$ )
$p_f(f_0):$	$1314/19521 \approx 0,067$
$p_f(f_1):$	$3837/19521 \approx 0,197$
$p_f(f_2):$	$5820/19521 \approx 0,298$
$p_f(f_3):$	$4110/19521 \approx 0,211$
$p_f(f_4):$	$2374/19521 \approx 0,122$
$p_f(f_5):$	$921/19521 \approx 0,047$
$p_f(f_6):$	$629/19521 \approx 0,032$
$p_f(f_7):$	$516/19521 \approx 0,026$



# Realce de Imagens

- **Equalização de Histograma**
- 2ª. Etapa: Calcular a FDA

$$g_k = T(f_k) = \sum_{i=0}^k p_f(f_i) = \sum_{i=0}^k \frac{n_i}{n} \quad k = 0, 1, \dots, L-1$$

Calculando a função distribuição acumulada de probabilidade, obtém-se

$$g_0 = T(f_0) = \sum_{i=0}^0 p_f(f_i) = 0.067$$

$$g_1 = T(f_1) = \sum_{i=0}^1 p_f(f_i) = 0.264$$

		$g_k$	Probabilidade ( $p_f(f_i)$ ) – Acumulada
$p_f(k)$	Probabilidade ( $p_f(f_i)$ )	$g_0$	0,067
$p_f(f_0):$	1314/19521 $\approx$ 0,067	$g_1$	0,264
$p_f(f_1):$	3837/19521 $\approx$ 0,197	$g_2$	0,562
$p_f(f_2):$	5820/19521 $\approx$ 0,298	$g_3$	0,773
$p_f(f_3):$	4110/19521 $\approx$ 0,211	$g_4$	0,895
$p_f(f_4):$	2374/19521 $\approx$ 0,122	$g_5$	0,942
$p_f(f_5):$	921/19521 $\approx$ 0,047	$g_6$	0,974
$p_f(f_6):$	629/19521 $\approx$ 0,032	$g_7$	1
$p_f(f_7):$	516/19521 $\approx$ 0,026		

# Realce de Imagens

## ■ Equalização de Histograma

- 3ª. Etapa: cada valor  $g_k$  é substituído pelo nível mais próximo

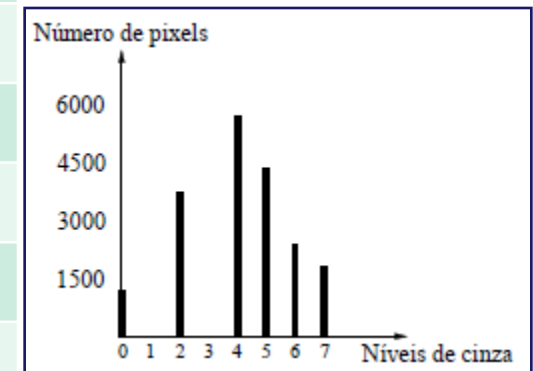
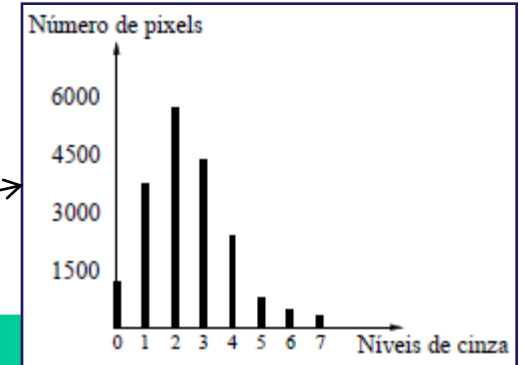
$g_k * L_{\max}$	Probabilidade ( $p_i(f_i)$ ) – Acumulada	Níveis de Cinza ( $k$ ) - Equalizados
$g_0 * 7$	0,067	$0.469 \approx 0$
$g_1 * 7$	0,264	$1,848 \approx 2$
$g_2 * 7$	0,562	$3,934 \approx 4$
$g_3 * 7$	0,773	$5,411 \approx 5$
$g_4 * 7$	0,895	$6,265 \approx 6$
$g_5 * 7$	0,942	$6,594 \approx 7$
$g_6 * 7$	0,974	$6,818 \approx 7$
$g_7 * 7$	1	$\approx 7$

# Realce de Imagens

## ■ Equalização de Histograma

### □ Resultado

Níveis de Cinza ( $k$ ) - Original	Probabilidade ( $p_i(f_i)$ ) – Acumulada	Níveis de Cinza ( $k$ ) - Equalizados
0	1314	0
1	3837	2
2	5820	4
3	4110	5
4	2374	6
5	921	7
6	629	7
7	516	7



# Realce de Imagens

## ■ Equalização de Histograma

### Equalização de histograma

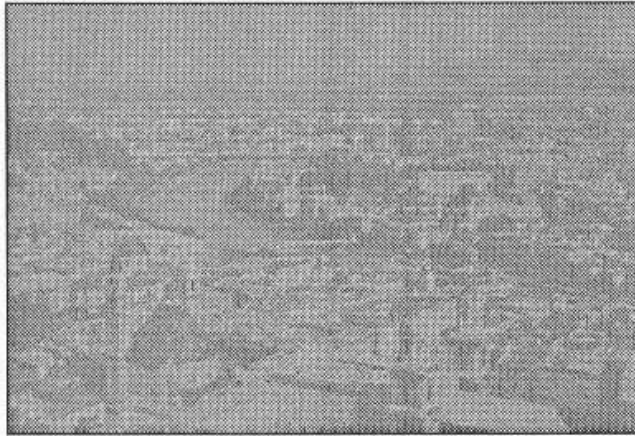
Os níveis de cinza para a imagem original  $f$  e para a imagem equalizada  $g$  são representados por  $f_k$  e  $g_k$ , respectivamente, com  $0 \leq k \leq L - 1$

```
1  calcular o histograma da imagem a ser transformada
2  normalizar o histograma, tal que  $0 \leq f_k \leq 1$ 
3  para  $k=0$  até  $L-1$  faça
4      // calcular função distribuição acumulada de probabilidade
5       $g_k \leftarrow \sum_{i=0}^k p_f(f_i)$ 
6      // arredondar valor para nível de cinza mais próximo
7       $g_k \leftarrow \text{round}(g_k \times L_{\max})$ 
8  agrupar valores  $f_k$  para formar  $g_k$ 
```

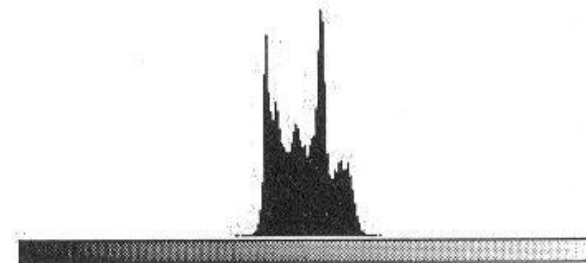
# Realce de Imagens

## ■ Equalização de Histograma

Original



(a)

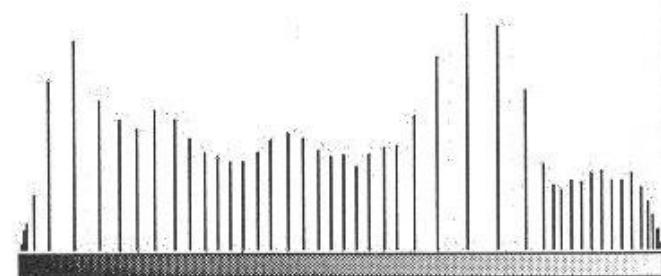


(b)

Equalizada



(c)



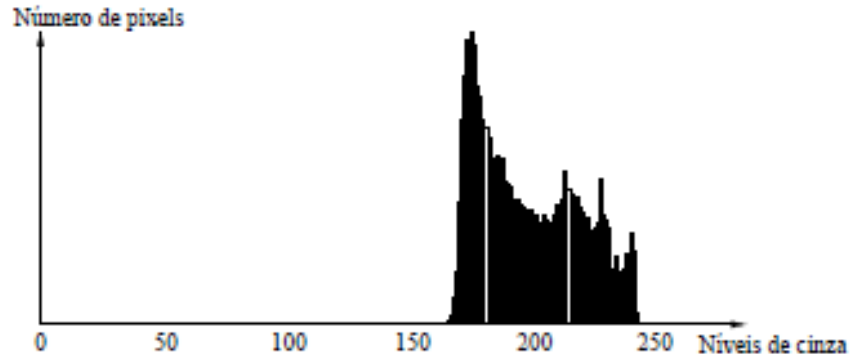
(d)

# Realce de Imagens

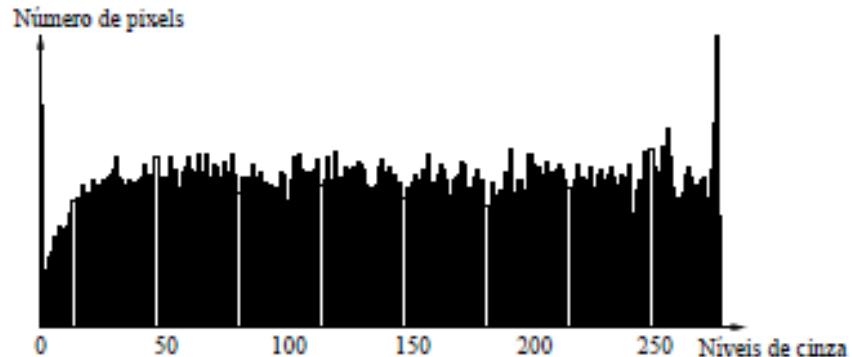
## ■ Equalização de Histograma



Entrada



Saída - Equalizada



# Realce de Imagens

## ■ Equalização de Histograma

□ Situações  **Equalização de histograma pode degradar uma imagem**

■ Exemplo:

□ **Imagens com grande concentração de pixels em poucos níveis de cinza**

# Exercícios

1. Diferencie as técnicas de limiarização global e local.
2. Que efeito uma transformação de intensidade  $s=r^\gamma$  provocará em uma imagem monocromática com valores de níveis de cinza originais ( $r$ ) normalizados na faixa de 0 a 1, caso  $\gamma > 1$ ?
3. Assinalar V ou F conforme as proposições a seguir sejam verdadeiras ou falsas.
  - ( ) A técnica de equalização de histograma aplicada a imagens digitais nunca produz à saída um histograma perfeitamente plano.
  - ( ) Após um histograma ter sido equalizado, uma nova aplicação da técnica de equalização de histograma sobre a imagem não produzirá nela nenhuma alteração.
  - ( ) A técnica de hiperbolização de histograma tem como principal vantagem sobre a equalização de histograma o fato de que a primeira leva em consideração as características não lineares da curva de intensidade luminosa subjetiva versus intensidade luminosa física da imagem do olho humano.
  - ( ) Ao recortar uma imagem em dois pontos quaisquer, o histograma da subcena resultante sempre será idêntico ao da imagem original, porque as raias verticais indicam a concentração de pixels em termos percentuais e, portanto, não dependem do número total de pixels da imagem.



# Exercícios

4. Considere a imagem a seguir representada por uma matriz  $7 \times 7$ , em que cada elemento indica um nível de cinza normalizado, sendo 0 = preto, 1 = branco.

0	$3/7$	$2/7$	$2/7$	$1/7$	$1/7$	$4/7$
$3/7$	$2/7$	$1/7$	$1/7$	$1/7$	$1/7$	$4/7$
$2/7$	0	1	$1/7$	$3/7$	0	0
0	$5/7$	$1/7$	0	$6/7$	0	$1/7$
$1/7$	$1/7$	$1/7$	$3/7$	$6/7$	$6/7$	$5/7$
$1/7$	$1/7$	$1/7$	$1/7$	$5/7$	$6/7$	$4/7$
0	1	0	0	0	0	$4/7$

Pede-se:

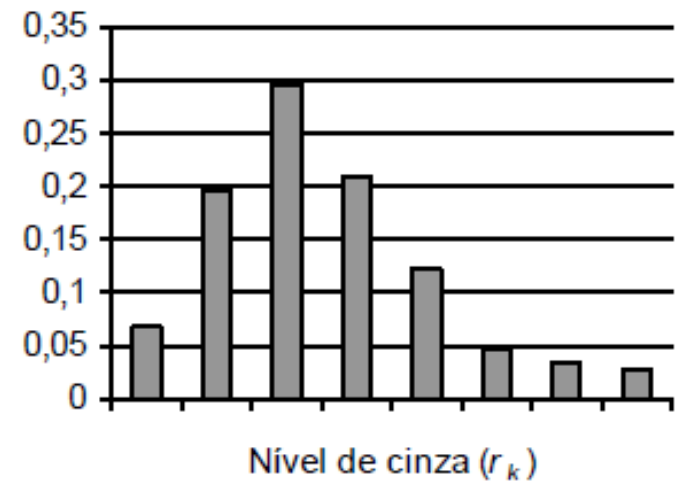
- Calcular as probabilidades de cada nível de cinza e plotar o histograma.
- Na imagem original predominam pixels claros ou escuros?
- Equalizar o histograma e reescrever a imagem com os novos valores de intensidades.

# Exercícios

5. Considere o histograma da tabela abaixo, ilustrado graficamente na figura à direita, e realize a equalização a partir da função de distribuição acumulada. Plotar o histograma equalizado.

Tabela 1 - Histograma original

Nível de cinza ( $r_k$ )	$n_k$	$p_r(r_k)$
0	1120	0,068
1/7	3214	0,196
2/7	4850	0,296
3/7	3425	0,209
4/7	1995	0,122
5/7	784	0,048
6/7	541	0,033
1	455	0,028
Total	16384	1



# Exercícios

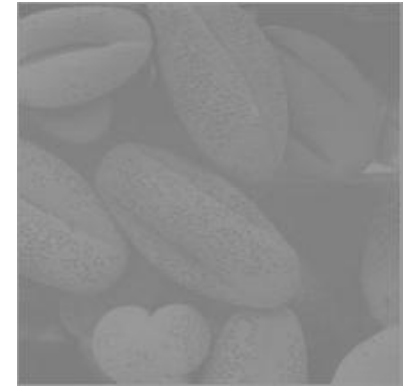
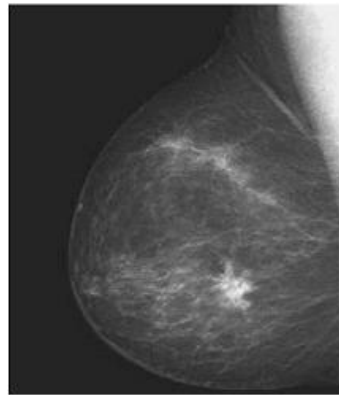
6. Considere a imagem a seguir representada por uma matriz 5x5. Pede-se:

- Obter o negativo da imagem, aplicando a transformação  $T(r) = 255 - r$ . Reescrever a matriz.
- Aplicar uma função de alargamento de contraste. Os pontos para  $f_1$  e  $f_2$  devem ser escolhidos a partir do histograma, priorizando os maiores vales. Os valores de  $k_1$ ,  $k_2$  e  $k_3$  são 0,5, 1 e 1,25, respectivamente. Reescrever a matriz.
- Aplicar a função de binarização. Escolha o melhor ponto de corte a partir do histograma, priorizando o maior vale. Reescrever a matriz.
- Apresente a matriz e o histograma após realizar as combinações das técnicas indicadas nos itens (b) e (e).

121	20	198	84	4
87	188	189	99	8
88	115	134	49	19
16	18	187	98	9
12	103	15	176	38

# Exercícios

7. Construa um programa para receber cada imagem indicada a seguir e, em seguida, apresentar os resultados após o processo de equalização de histograma. O programa deve apresentar também os histogramas das imagens, com e sem a equalização.



# Exercícios

8. Considere as imagens indicadas no exercício 7 e aplique:

- a) Alargamento de contraste + binarização;
- b) Correção *gama* com  $c=1$  e  $\gamma$  (0.04; 0.4; 1; 2, 5; 10; e 25);
- c) Considerando os resultados obtidos em (b), responda as questões a seguir:
  - i. Qual o valor de  $\gamma$  que permitiu realçar melhor os objetos presentes em cada imagem?
  - ii. Foi possível observar um valor único para todas as imagens?
  - iii. Qual o valor de  $\gamma$  que degradou mais os objetos? (considere todas as imagens)
  - iv. Algum valor de  $\gamma$  não produziu alterações nas intensidades das imagens?
  - v. Comparando os resultados obtidos em (a) e (b), qual técnica permitiu destacar melhor o objeto do fundo da imagem?

9. Considere a imagem (e) com ruído gaussiano, exercício 3 da Aula 4, e aplique a *correção gama* com  $c=1$  e  $\gamma$  (0.04; 0.4; 2,5; 10). Visualmente, esse tipo de realce permitiu melhorar a qualidade da imagem com ruído? Caso sim, indique o valor de  $\gamma$  e o apromixado da correção. Em seguida, calcule ao menos duas métricas indicadas no exercício 4 (Aula 4) e avalie se é possível comprovar quantitativamente as verificações iniciais. Por fim, conclua sobre a efetividade do realce para corrigir a imagem degradada.

# PID Referências

1. Pedrini, H., Schwartz, W. R. Análise de Imagens Digitais: Princípios Algoritmos e Aplicações. São Paulo: Thomson Learning, 2008.  
**Leitura: Capítulo 4**
2. González, R. C., Woods, R. E. Processamento de Imagens Digitais. São Paulo: Edgard Blücher Ltda, 2000.  
**Leitura: Capítulo 3, tópicos 3.1 a 3.3**
3. Marques Filho, O., Vieira Neto, H. Processamento Digital de Imagens, Rio de Janeiro: Brasport, 1999.

