



SEL 0449 - Processamento Digital de  
Imagens Médicas

SEL 5895 – Introdução ao  
Processamento Digital de Imagens

**Aula 3**

**Parte 1 - Processamento Espacial**

**Prof. Dr. Marcelo Andrade da Costa Vieira**

**[mvieira@sc.usp.br](mailto:mvieira@sc.usp.br)**

# Processamento Espacial

- Transformações ponto a ponto
  - Histograma
  - Transformações lineares
  - Transformações não-lineares
- Transformações por vizinhança
  - Convolução
  - Filtros lineares
  - Máscara de aguçamento



# Processamento Espacial

## Parte 1

- Transformações ponto a ponto
  - Histograma
  - Transformações lineares
  - Transformações não-lineares
- Transformações por vizinhança
  - Convolução
  - Filtros lineares
  - Filtros derivativos – detectores de borda

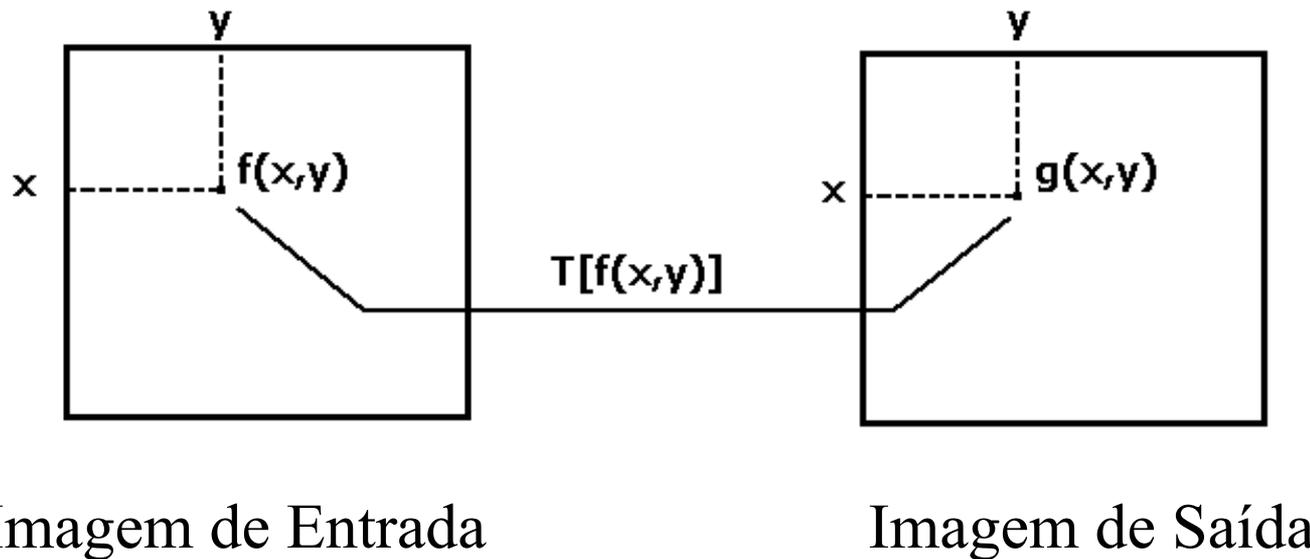


# Transformações Ponto a Ponto

# Operadores Ponto a Ponto

(Transformações de níveis de Cinza ou Mapeamento)

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

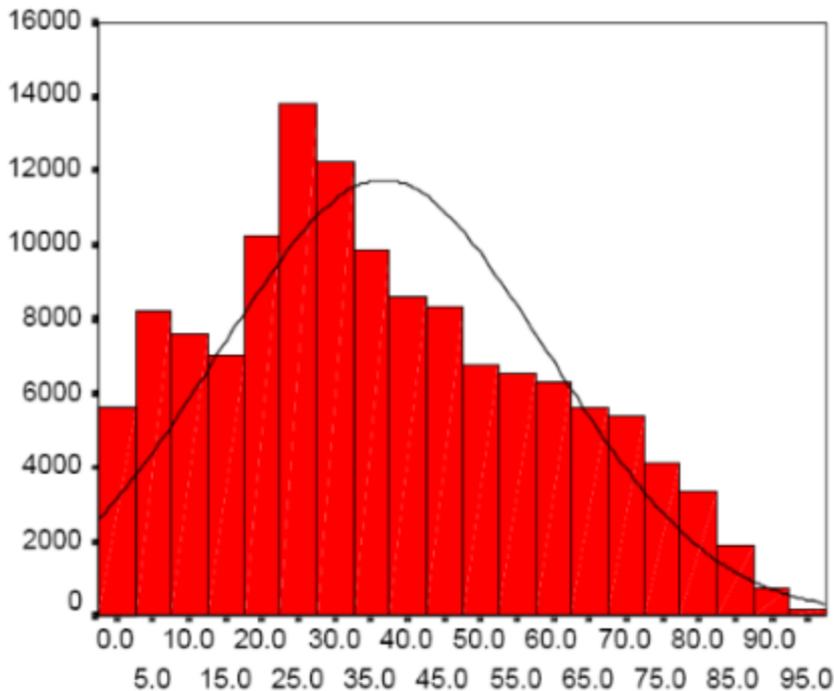


$T[f(x, y)] \implies$  Operação sobre cada ponto (cada Pixel) da Imagem de Entrada

# Histogramas

O histograma de uma imagem em tons de cinza é uma função  $H(k)$  que produz o número de ocorrências de cada nível de cinza na imagem.

$$0 \leq k \leq L - 1$$



L é o número de níveis de cinza da imagem.

# Histogramas

## Histograma Normalizado:

O histograma é normalizado em  $[0,1]$  quando se divide  $H(k)$  pelo número  $n = N \times M$  de pixels da imagem.

Ele representa a distribuição de probabilidade dos valores dos pixels.

Cada elemento do conjunto é calculado por :

$$P_r(r_k) = \frac{n_k}{n}$$

$$0 \leq r_k \leq 1$$

# Histogramas

$$P_r(r_k) = \frac{n_k}{n}$$

$k = 0, 1, \dots, L-1$ , e  $L$  é o número de níveis de cinza da imagem.

$n$  = número total de pixels na imagem

$n_k$  = número de pixels cujo nível de cinza corresponde a  $k$ .

$P_r(r_k)$  = Probabilidade do  $K$ -ésimo nível de cinza.

## Exemplo:

Seja uma imagem de 128x128 pixels cujas quantidades de pixels em cada nível de cinza são dadas na tabela abaixo: (8 Níveis de cinza)

$$n = 128 \times 128 = 16.384 \text{ pixels}$$

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

$$Pr(0) = 1120/16.384 \\ = 0.068$$

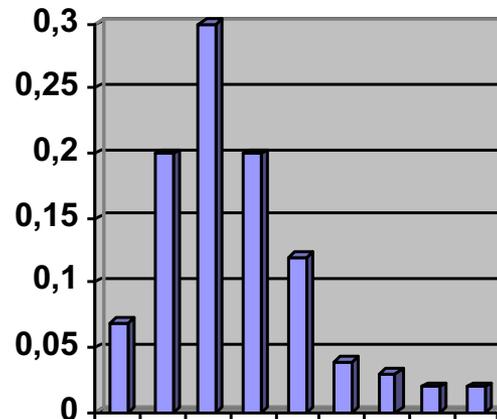
$$Pr(7) = 3214/16.384 \\ = 0,196$$

# Características Importantes

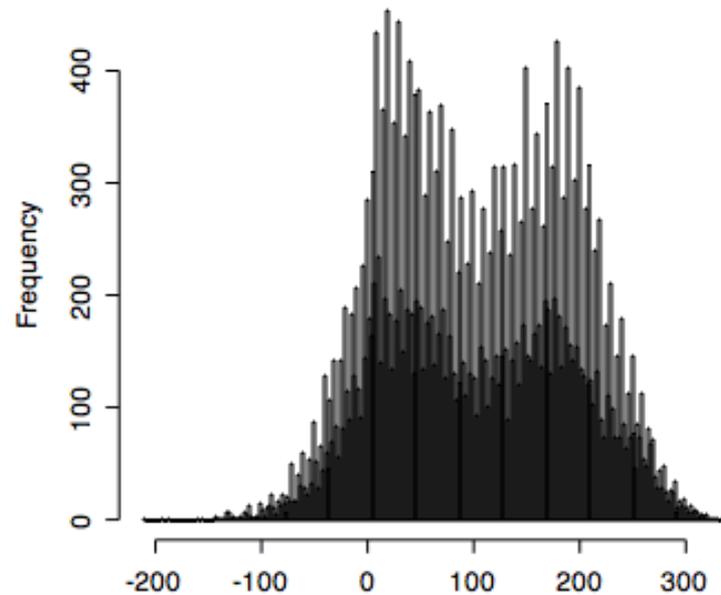
1) Um histograma é uma função de Distribuição de probabilidades

$$2) \sum P_r(r_k) = 1$$

3) Representação gráfica de um Histograma

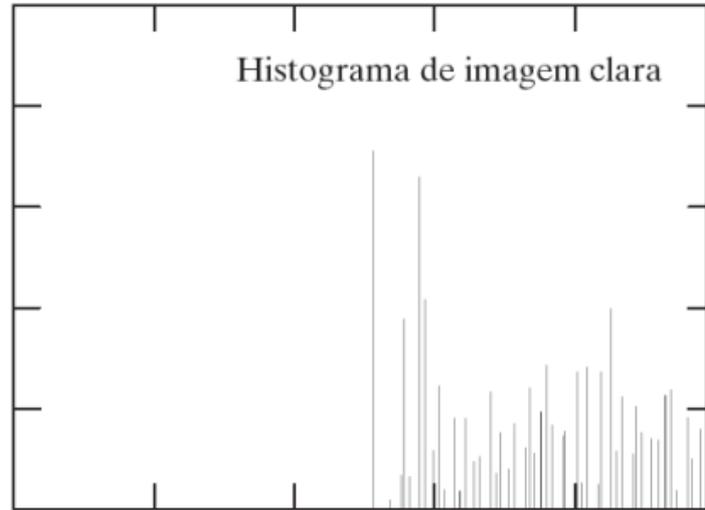
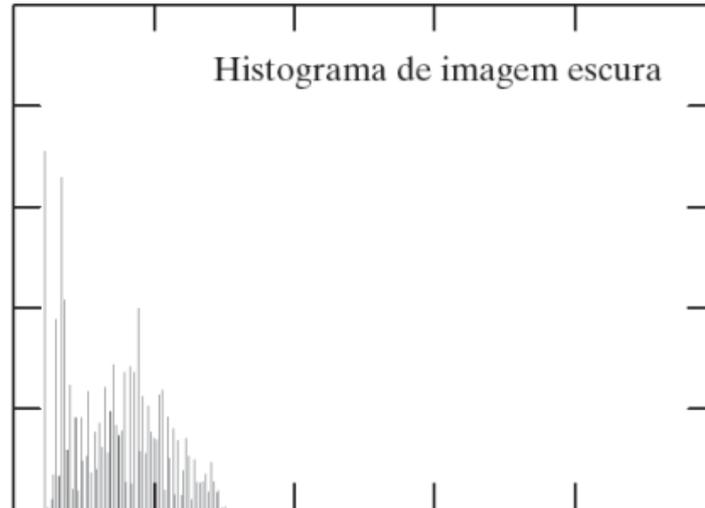
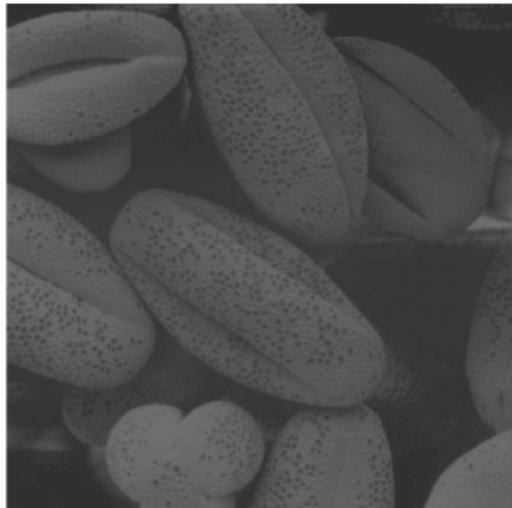


# Exemplos de Histogramas

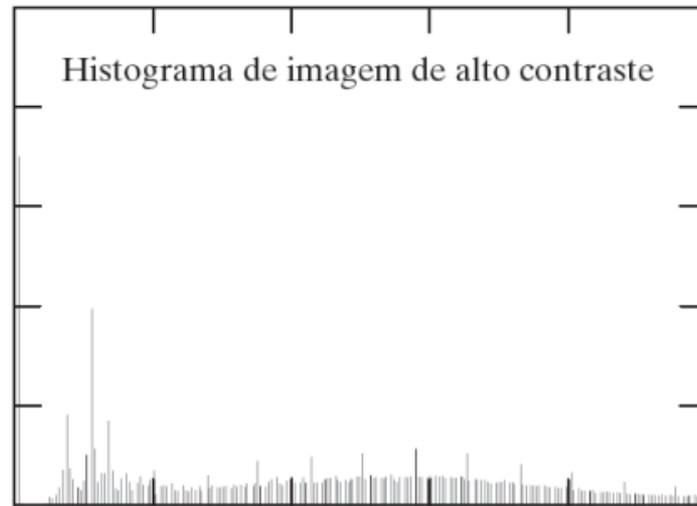
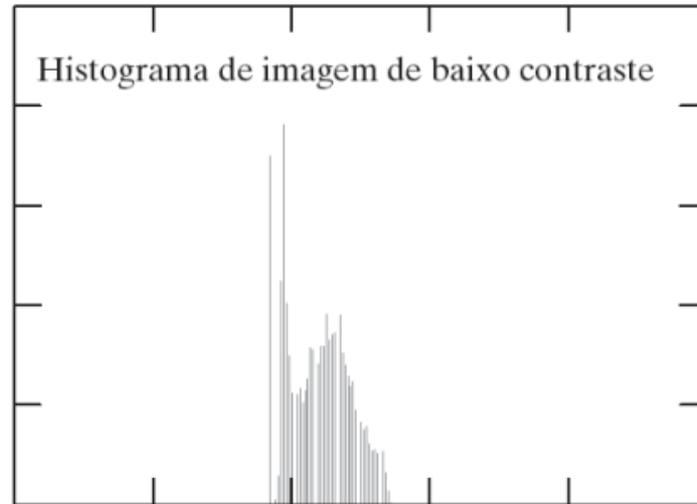
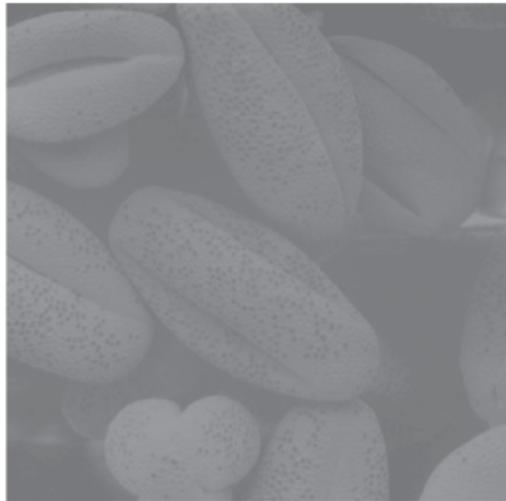


**Obs:** O Histograma não traz informação posicional sobre os pixels da Imagem

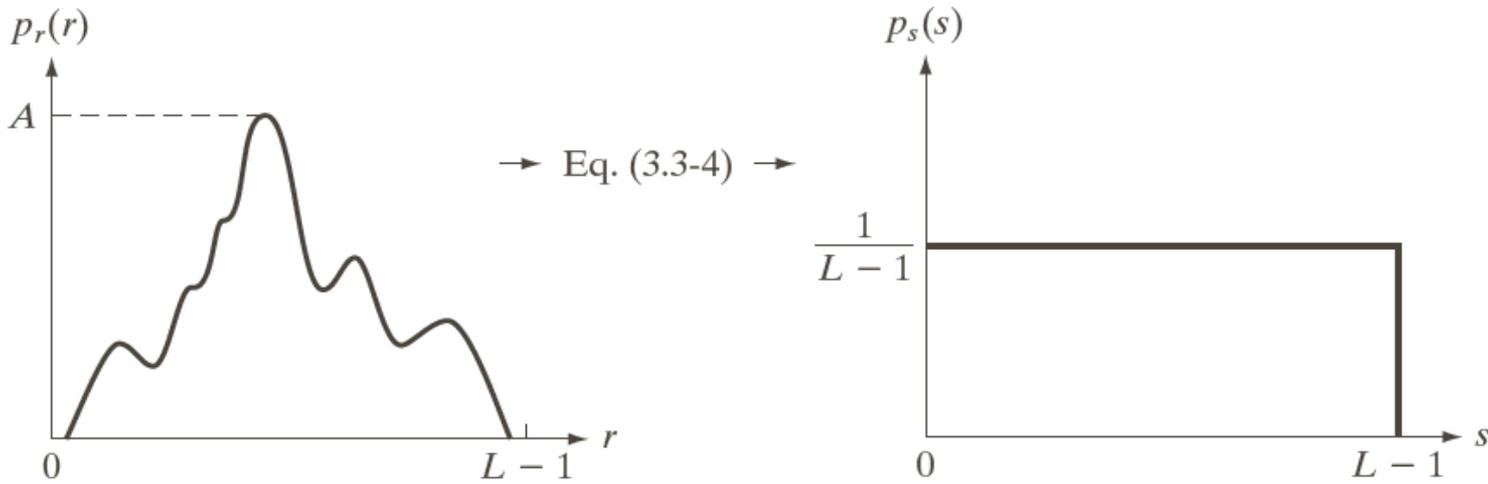
# Exemplos de Histogramas



# Exemplos de Histogramas



# Equalização do histograma:



a b

**FIGURE 3.18** (a) An arbitrary PDF. (b) Result of applying the transformation in Eq. (3.3-4) to all intensity levels,  $r$ . The resulting intensities,  $s$ , have a uniform PDF, independently of the form of the PDF of the  $r$ 's.

# Equalização do histograma:

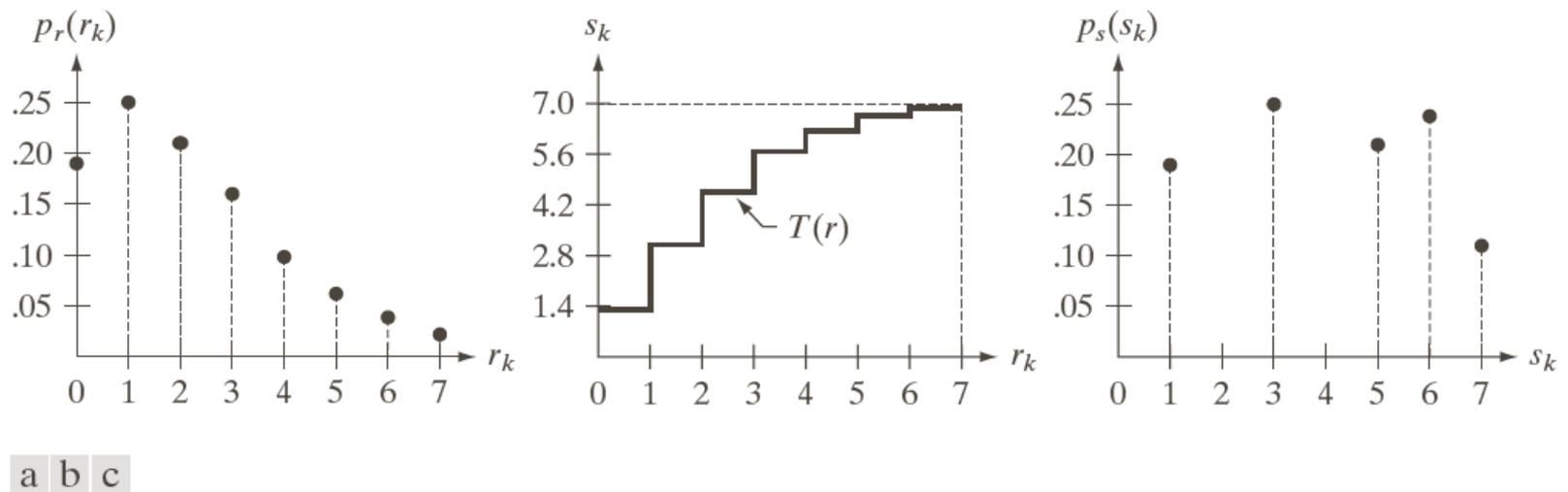
- ❑ Aumentar o contraste geral na Imagem espalhando a distribuição de níveis de cinza.

## Exemplo:

Dada uma Imagem de  $n \times m$  Pixels e “g” níveis de cinza.

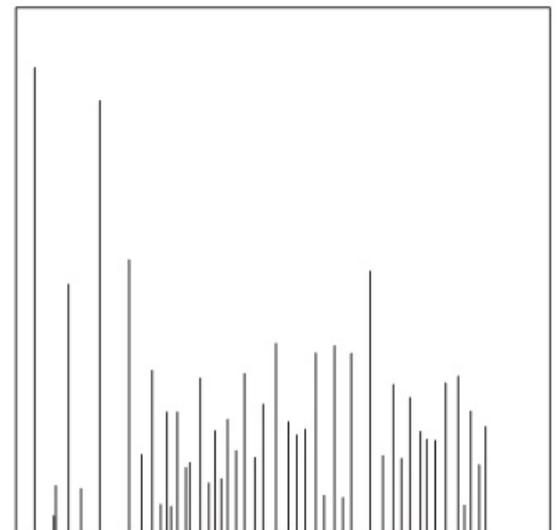
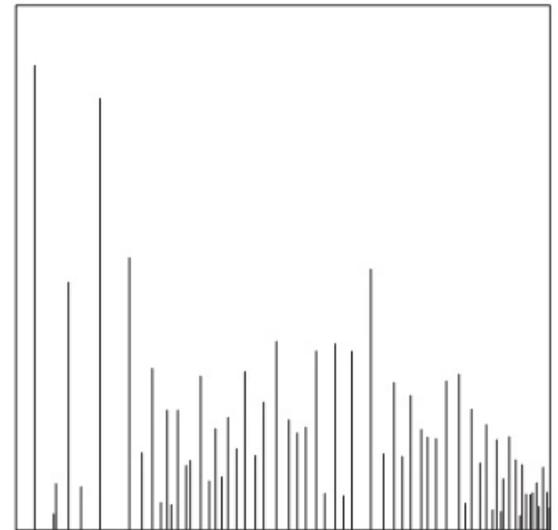
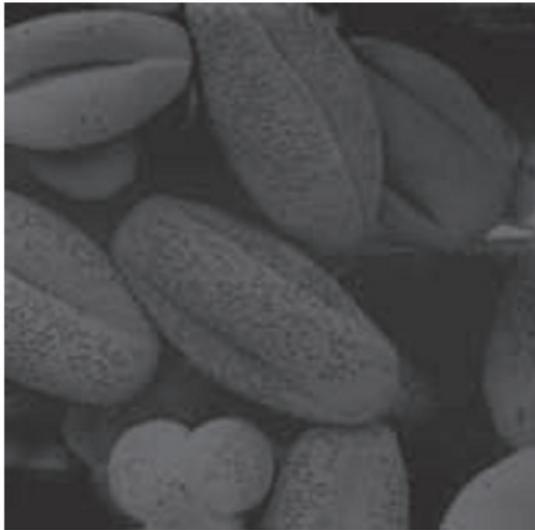
No. Ideal de pixels em cada nível  $\Rightarrow I = (n \times m)/g$

# Exemplo:

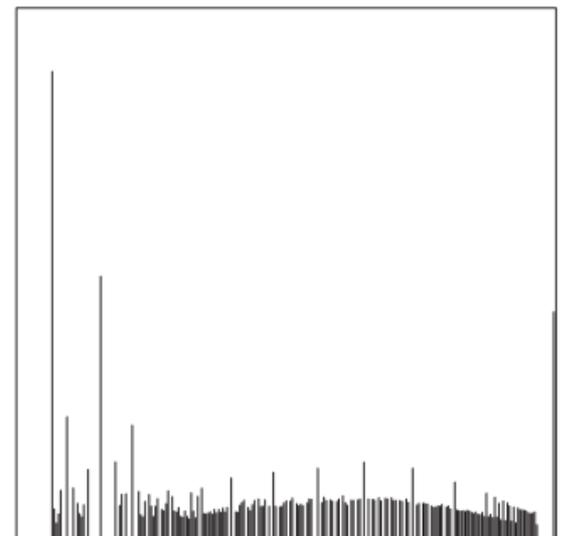
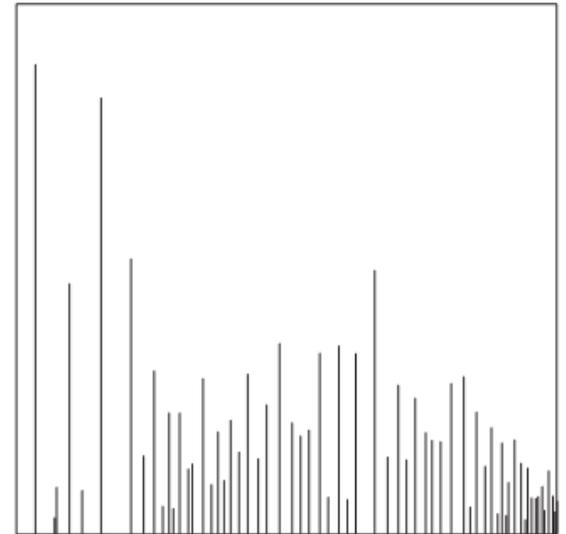


**FIGURE 3.19** Illustration of histogram equalization of a 3-bit (8 intensity levels) image. (a) Original histogram. (b) Transformation function. (c) Equalized histogram.

# Equalização de Histograma



# Equalização de Histograma



# Equalização do histograma:

A equalização pode ser obtida fazendo:

$$q = \max \left\{ 0, \text{ARRED}.\left(\frac{\sum_{j=0}^k n_j}{I}\right) - 1 \right\} \quad 0 \leq k \leq g$$

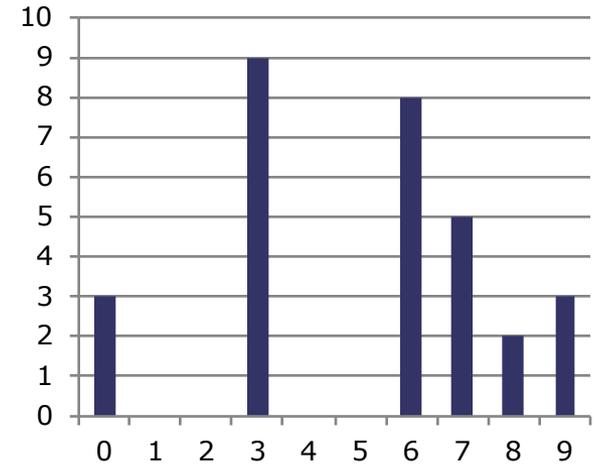
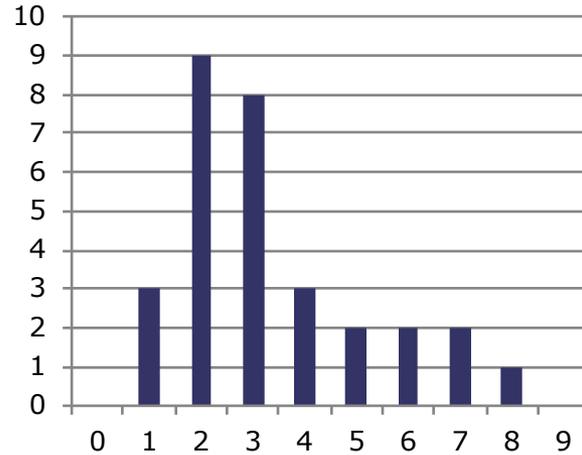
Onde:  $g$  = níveis de cinza da Imagem Original

$q$  = níveis de cinza da Imagem Equalizada

$n \times m = 30$  pixels  $\rightarrow g = 10$  níveis de cinza

$$I = 30/10 = 3$$

**Exemplo:**



g	n	$\Sigma n$	q
0	0	0	0
1	3	3	0
2	9	12	3
3	8	20	6
4	3	23	7
5	2	25	7
6	2	27	8
7	2	29	9
8	1	30	9
9	0	30	9

$\rightarrow (6,66) \uparrow 7$

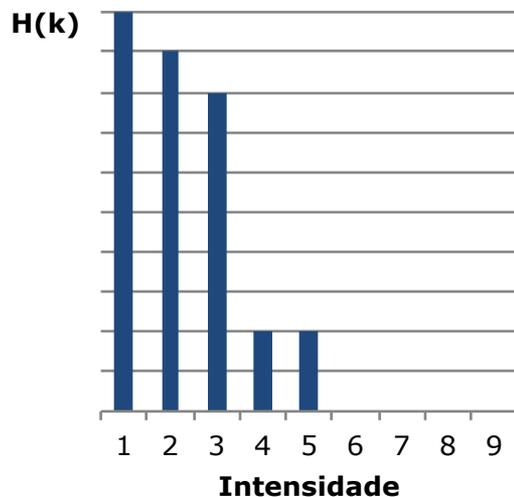
$\rightarrow (7,33) \downarrow 7$

$$q = \max \left\{ 0, \text{ARRED.} \left( \frac{\sum_{j=0}^k n_j}{I} \right) - 1 \right\} \quad 0 \leq k \leq g$$

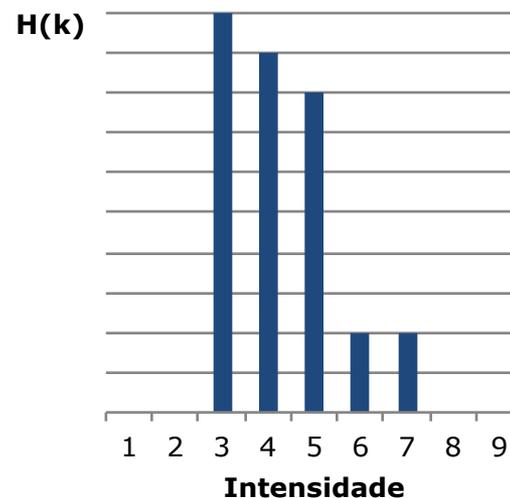
# Visualização das Transformações nos Níveis de Cinza através dos Histogramas

## 1) Alterações Globais no Brilho

Clarear ou escurecer uma Imagem.



+2



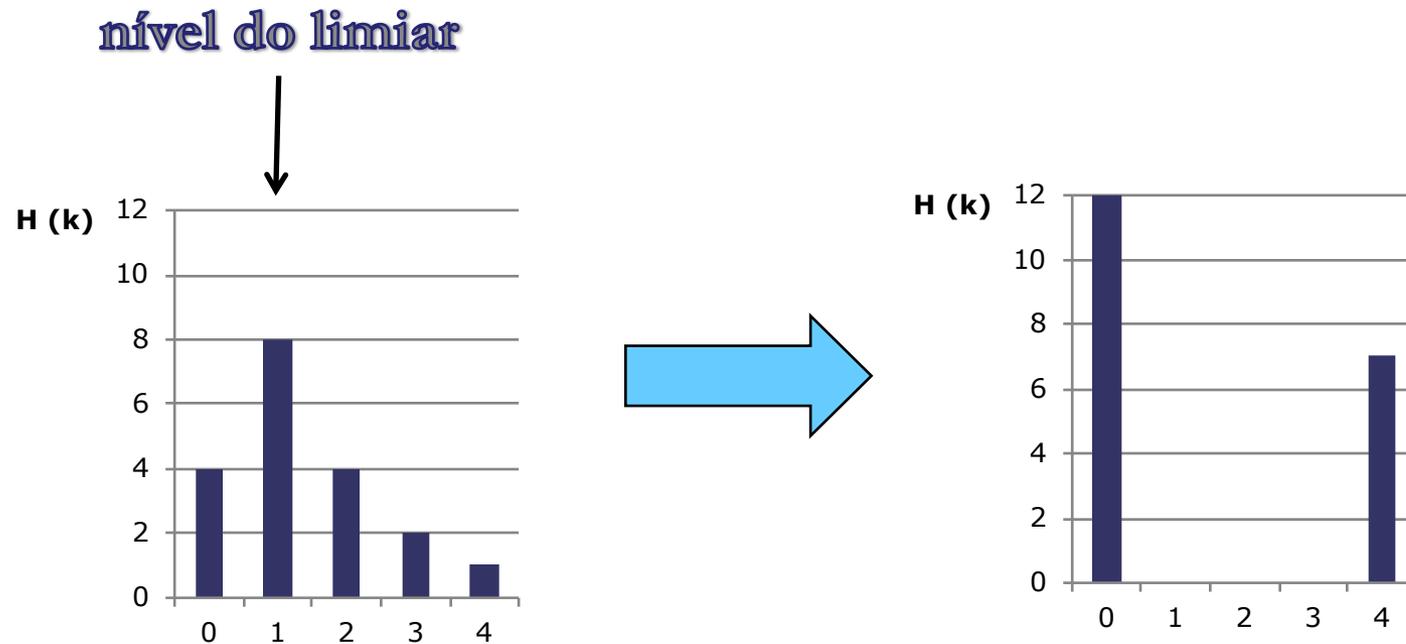
Somar ou  
Subtrair uma  
constante em  
todos os pixels  
da Imagem.

0 → Preto

Max → Branco

## 2) Binarização (“Threshold”):

- Determinação de um limiar abaixo do qual os pixels são transformados em zero, e acima são transformados no máximo de intensidade.

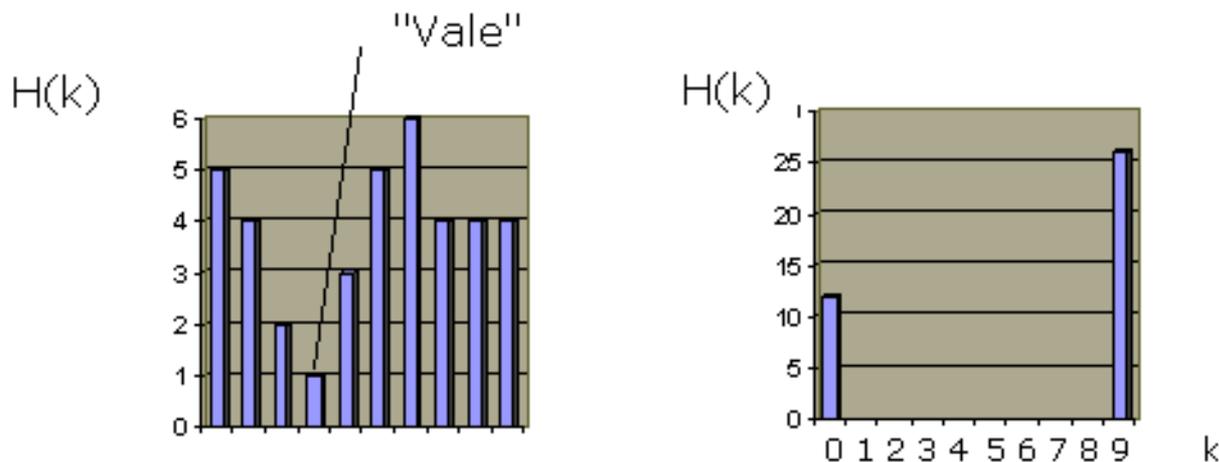


## Determinação do Limiar:

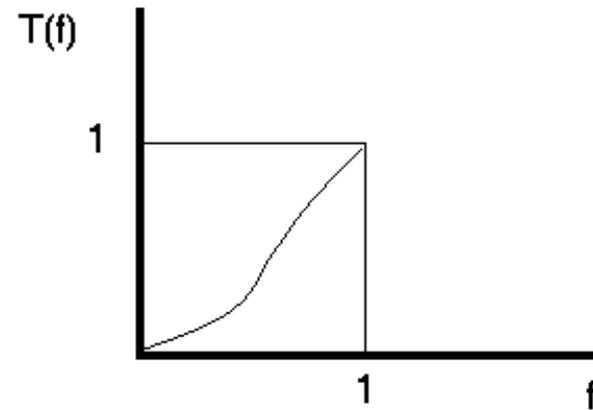
Uma das dificuldades da “limiarização” de uma imagem é a melhor determinação do valor de “thresholding”, ou seja, do ponto de separação dos pixels.

### Método do vale:

Através da análise do histograma estabelecer  $T$  (valor de “Threshold”) na região de “vale” mais próxima ao meio de escala dos níveis de cinza.



# 1) Contraste e Brilho



## As Transformações de Intensidade podem ser:

### 1) Lineares :

$$g = c.f + b$$

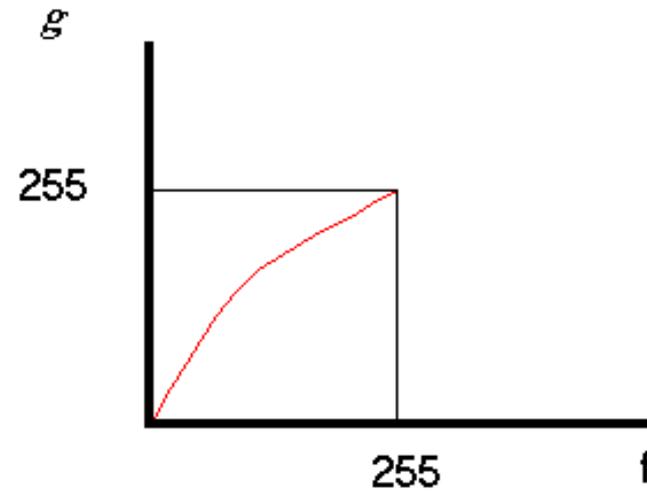
onde :  $c$  (Contraste),  
 $b$  (Brilho)

Exemplo:  $g = 2f + 32$

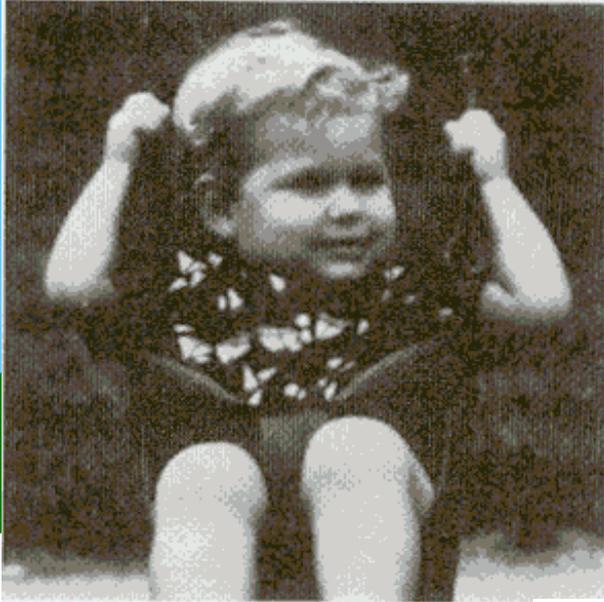


## 2) Não Lineares:

Exemplo:  $g = 31,875 \cdot \log_2(f+1)$



## 2) Negativo

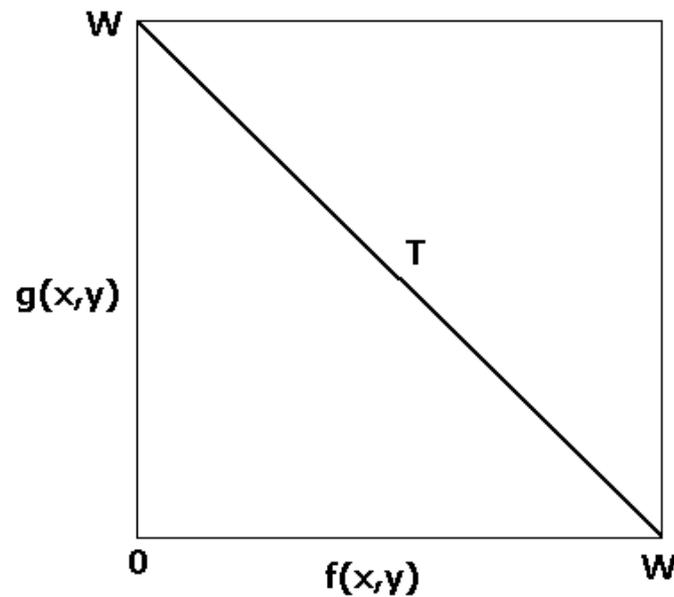


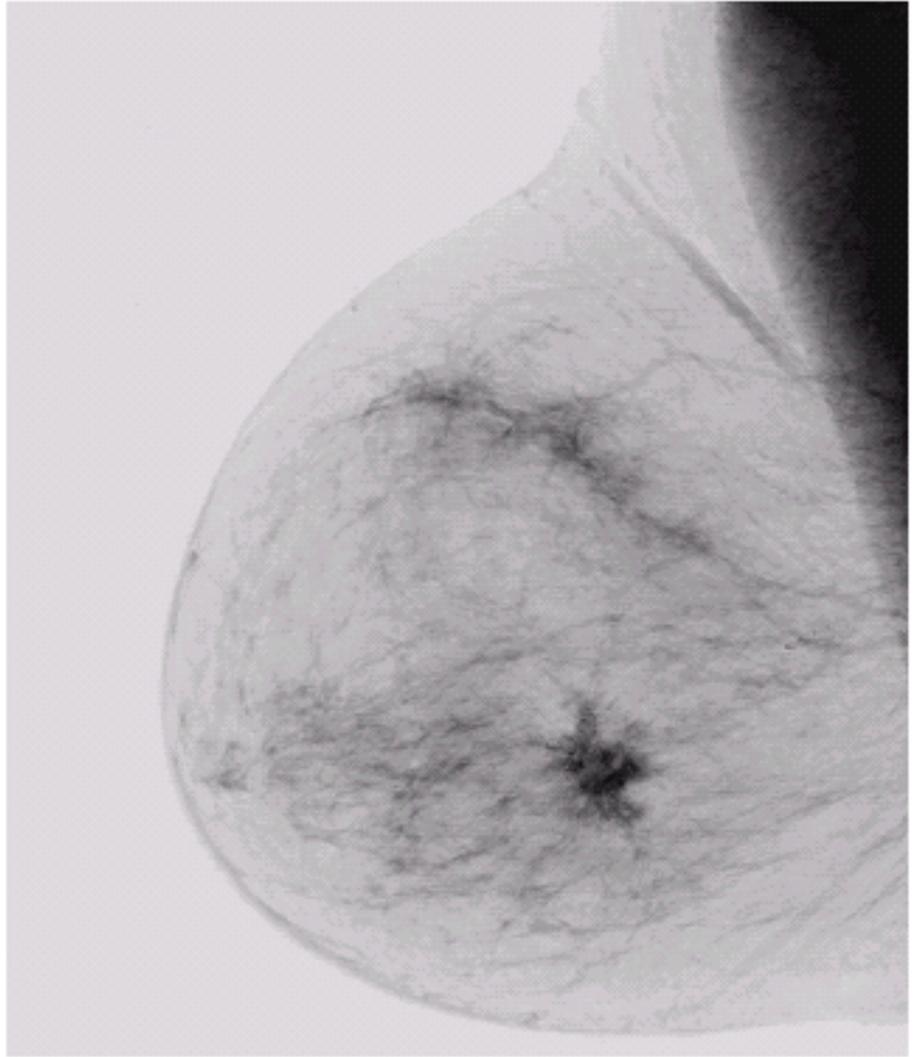
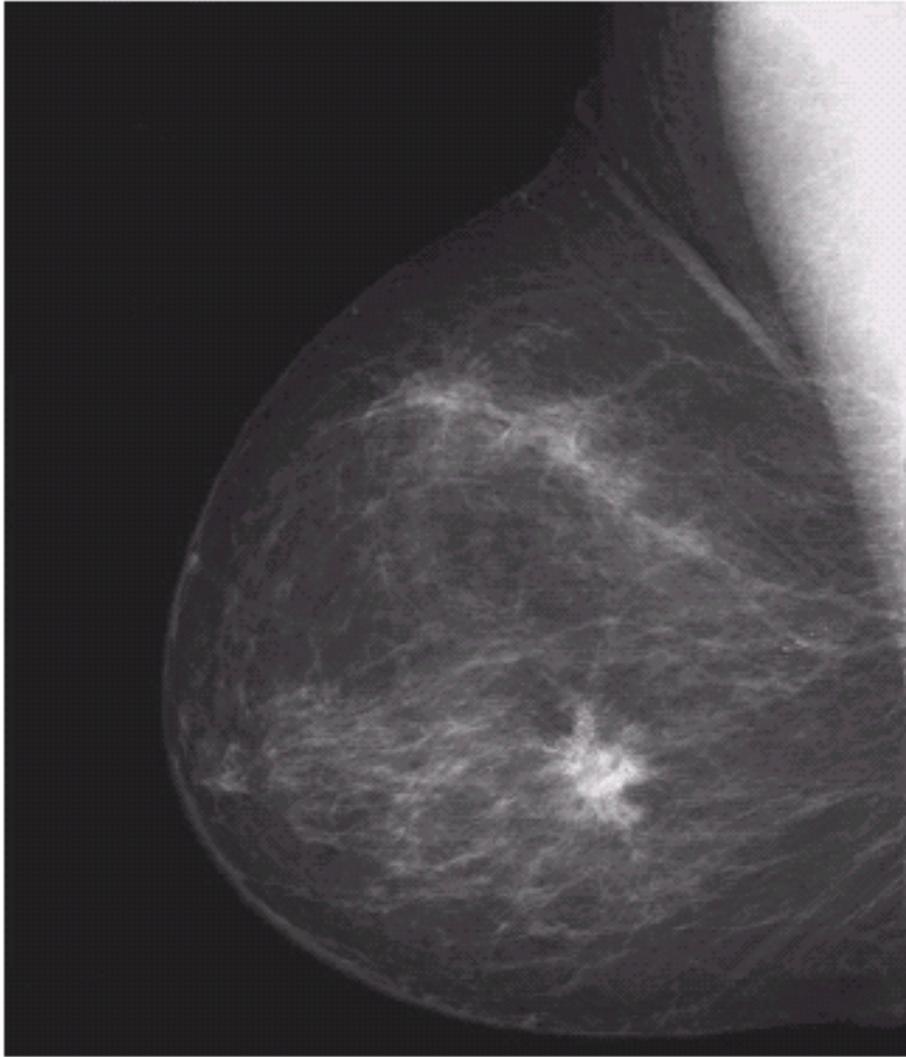
$$T[f(x,y)] = \\ g(x,y) = W - f(x,y)$$



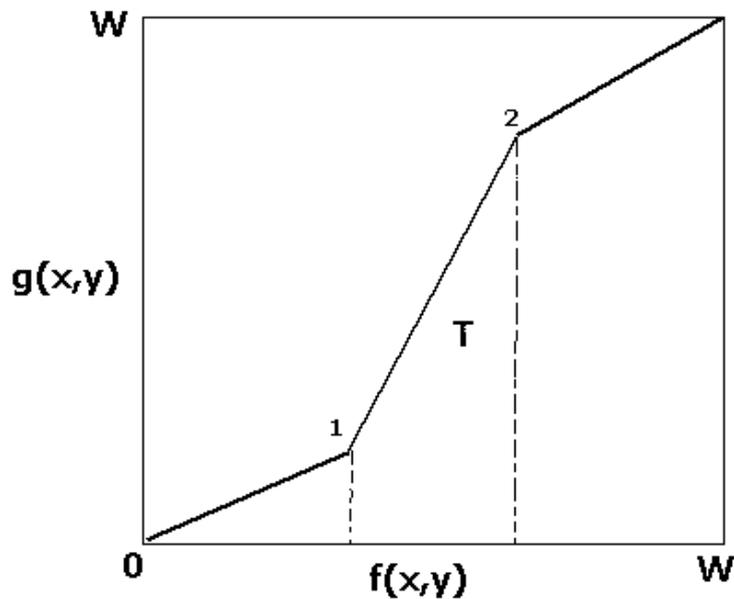
Imagem de Entrada

Imagem de Saída





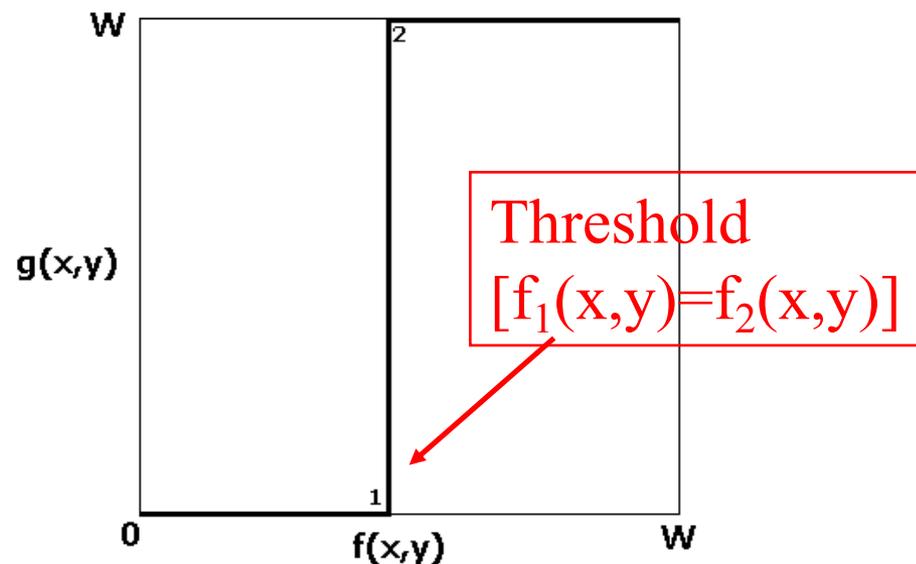
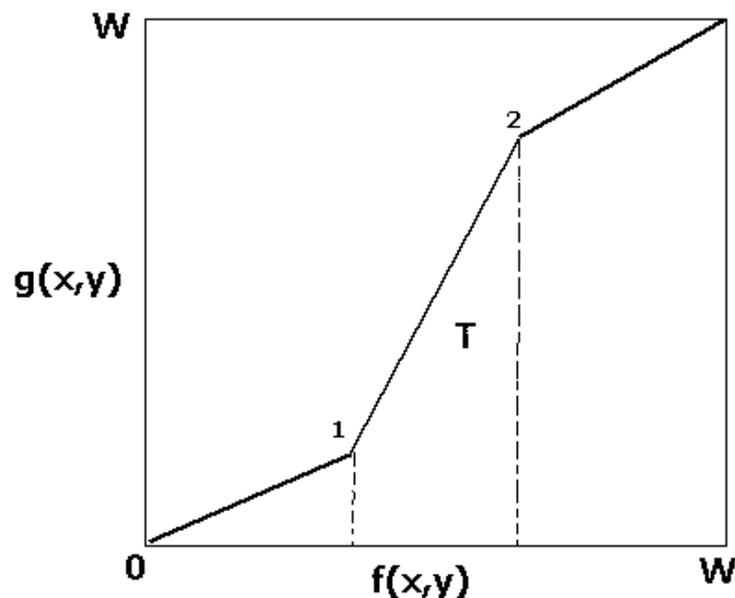
### 3) Contraste Seletivo



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

## 4) Binarização (“Thresholding”)

“Thresholding”  $\implies$  Limiarização (Transforma a Imagem em uma Imagem Binária (2 níveis de cinza))



Fazendo:

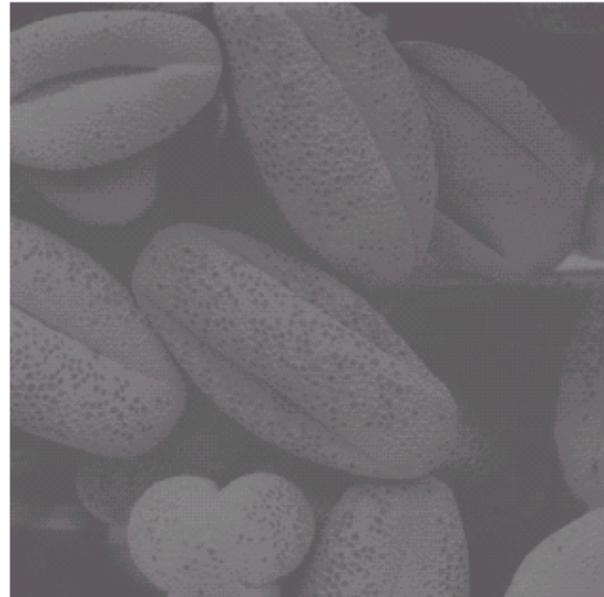
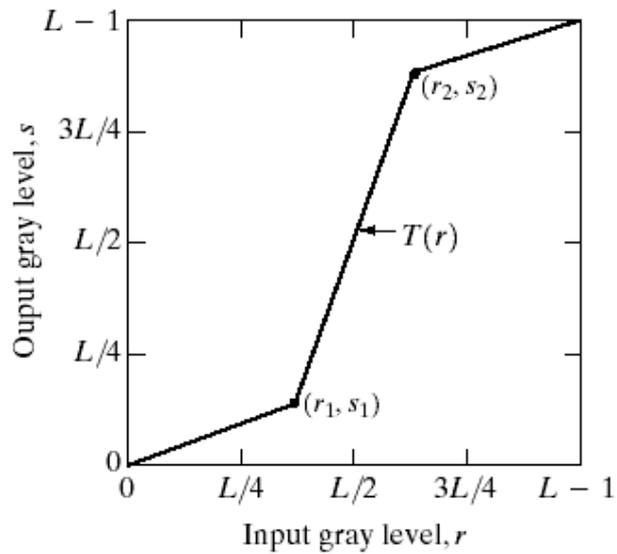
$$k_1 = 0$$

$$f_1(x,y) = f_2(x,y)$$

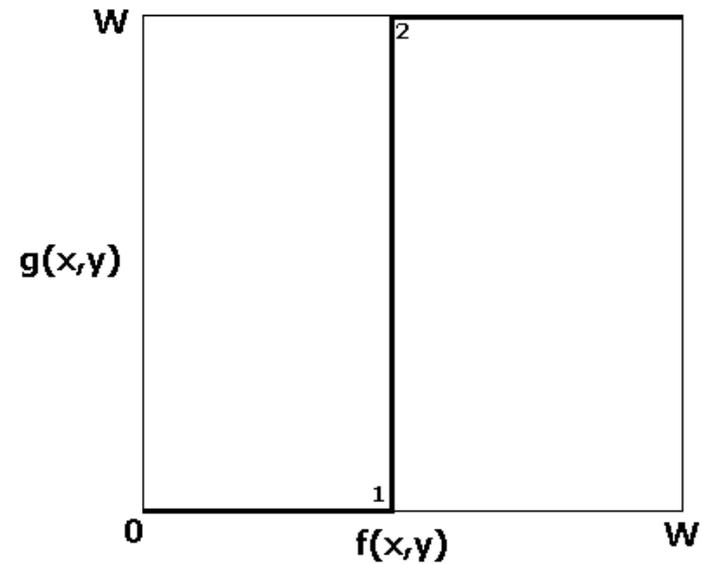
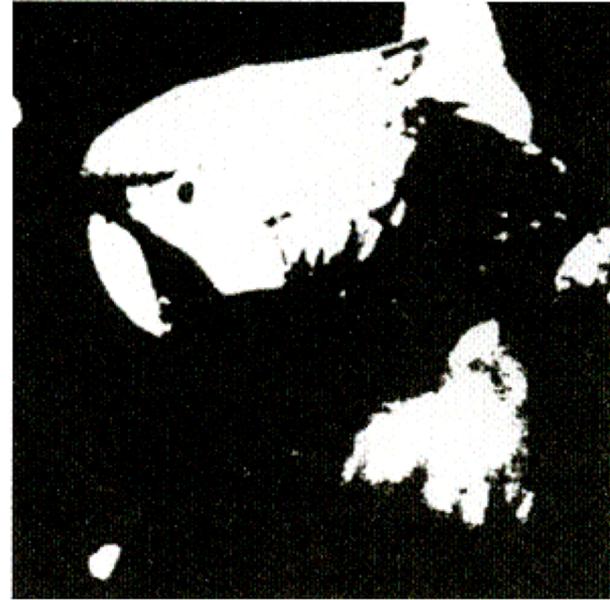
$$k_3 \cdot f(x,y) = W$$

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

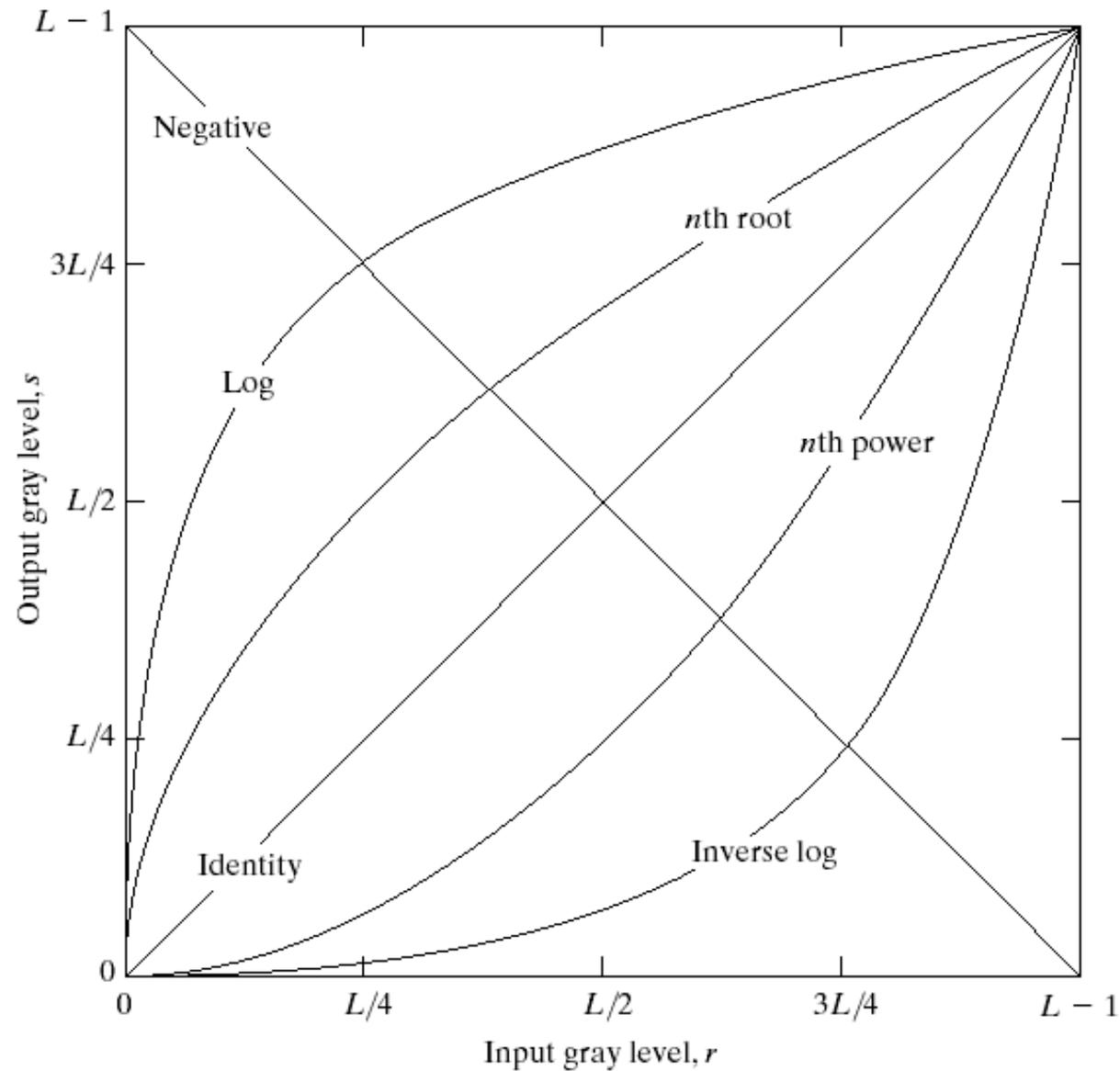
# Contraste Seletivo e (“Thresholding”)

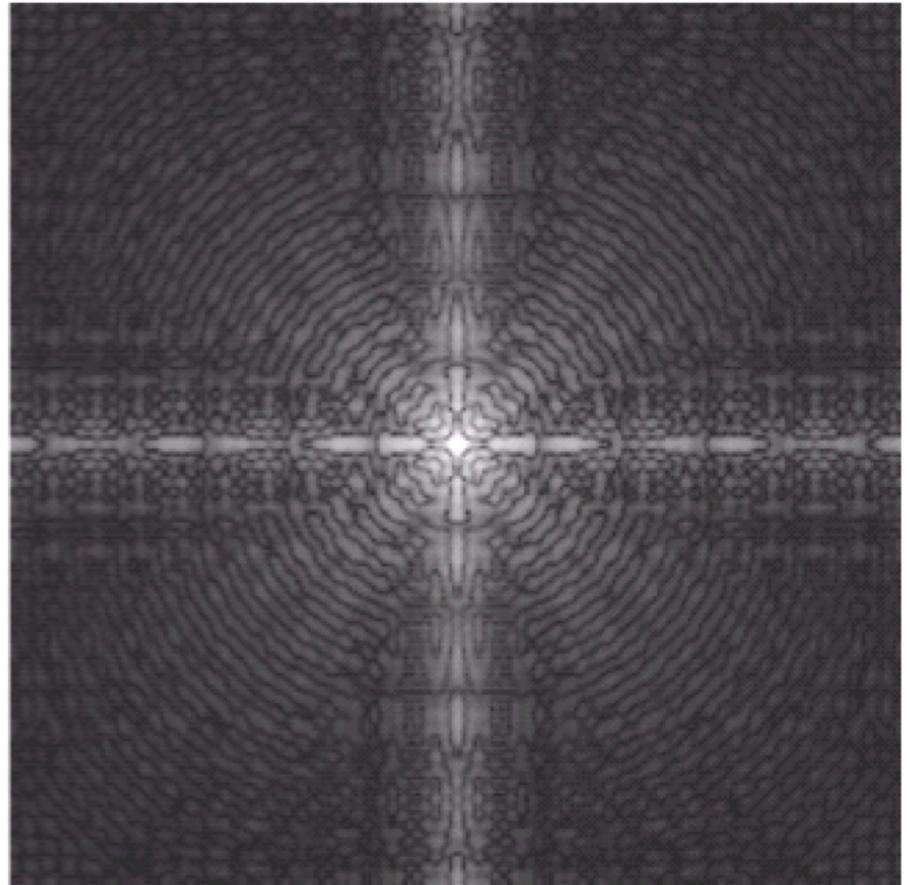
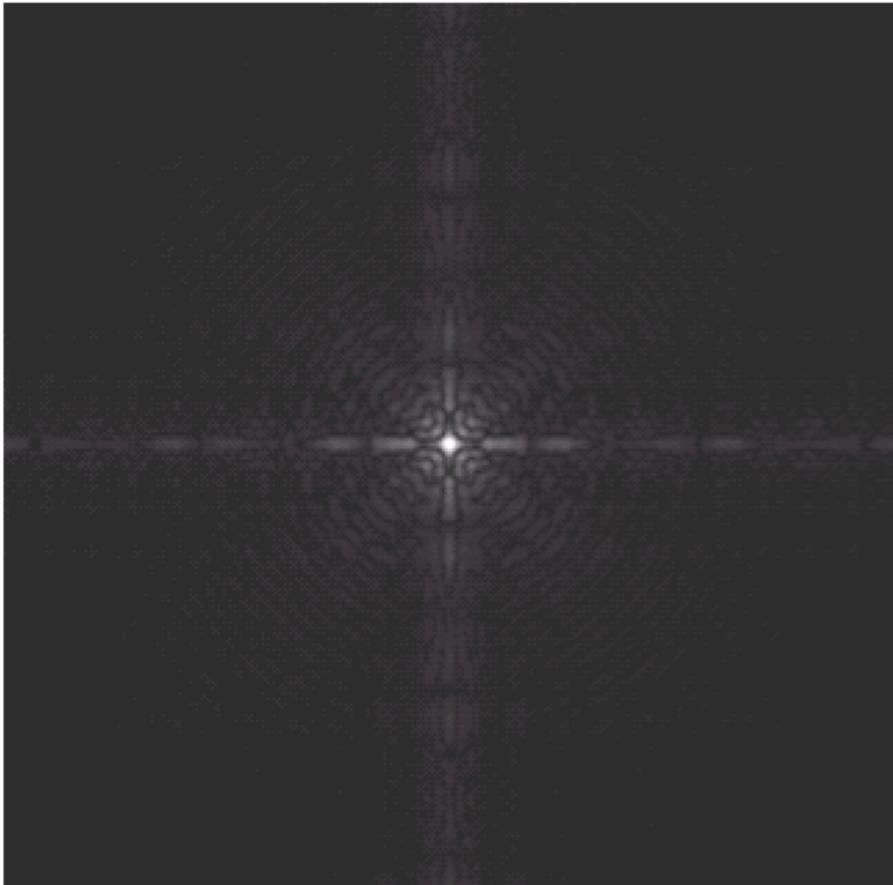


## 5) Binarização (“Thresholding”)

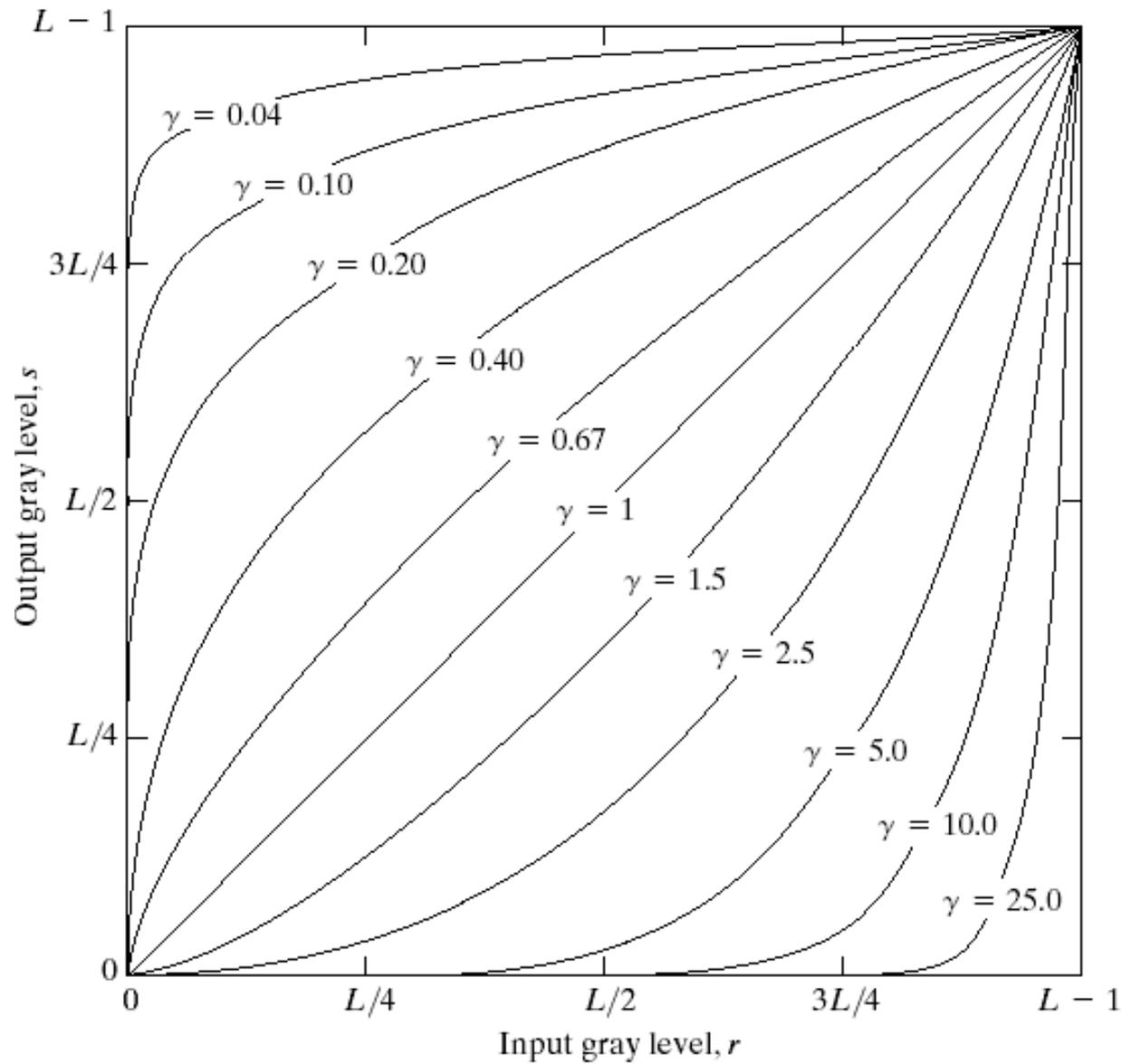


# Transformações Não-Lineares

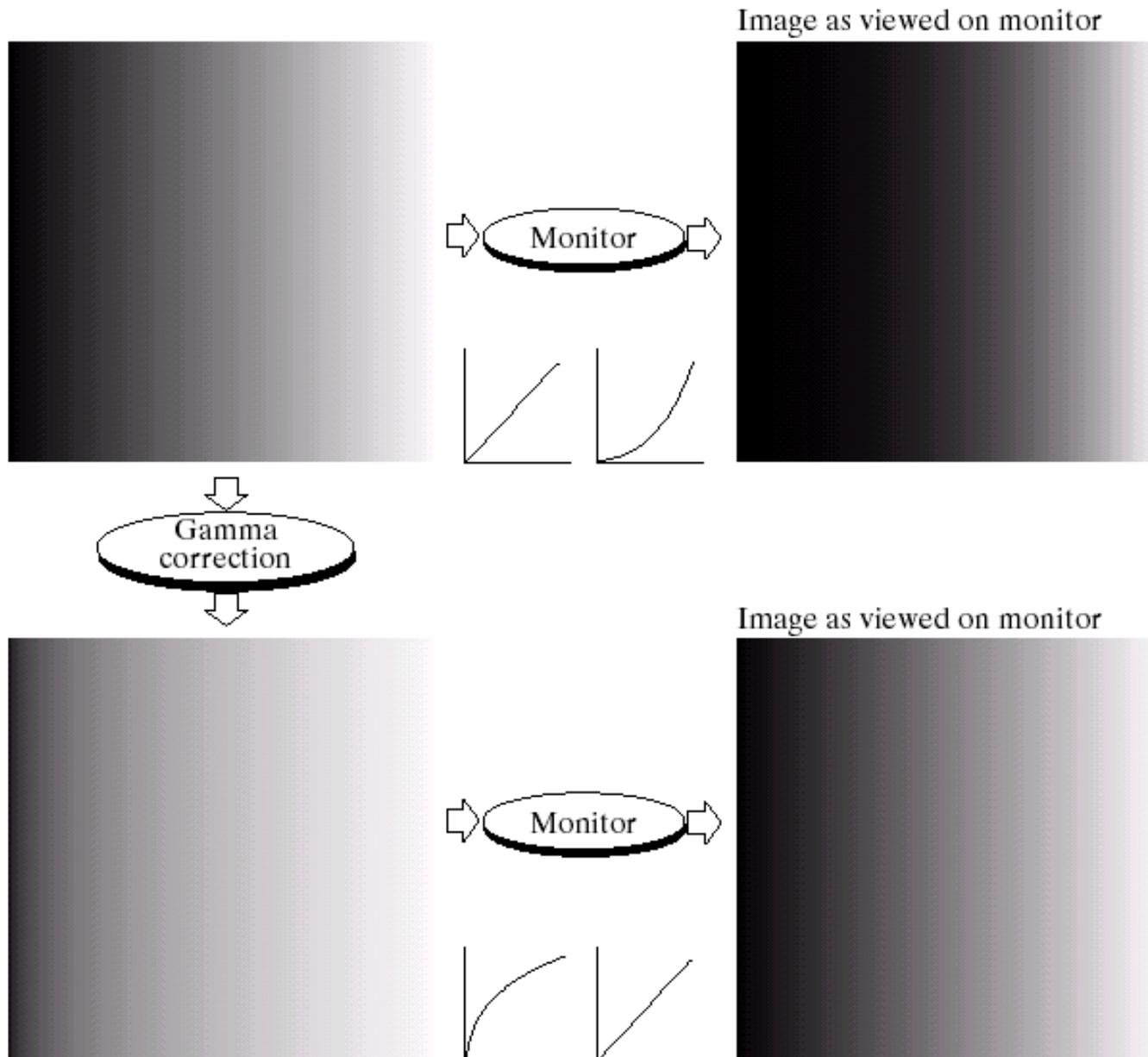




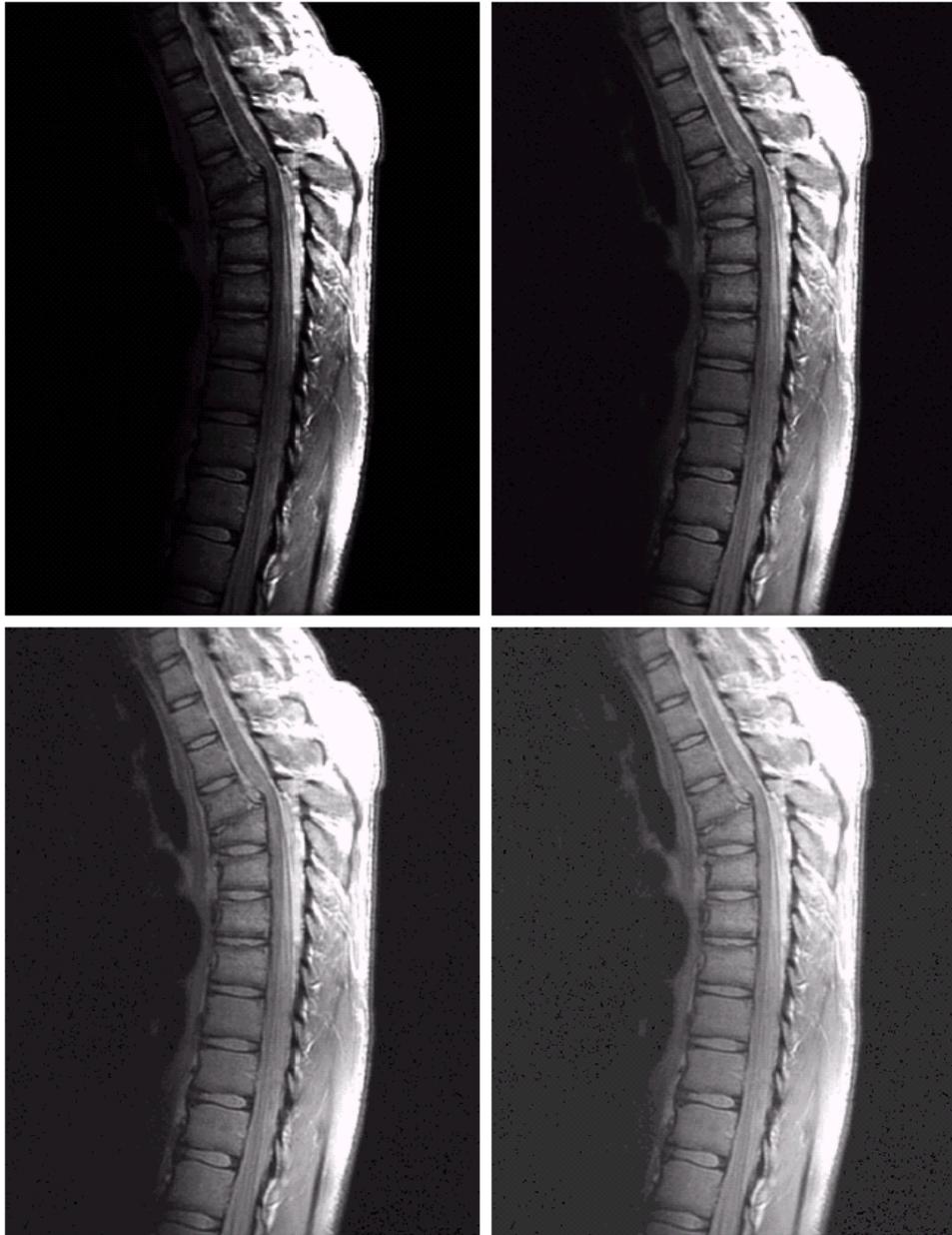
# Correção Gamma



# Correção Gamma



# Correção Gamma



a	b
c	d

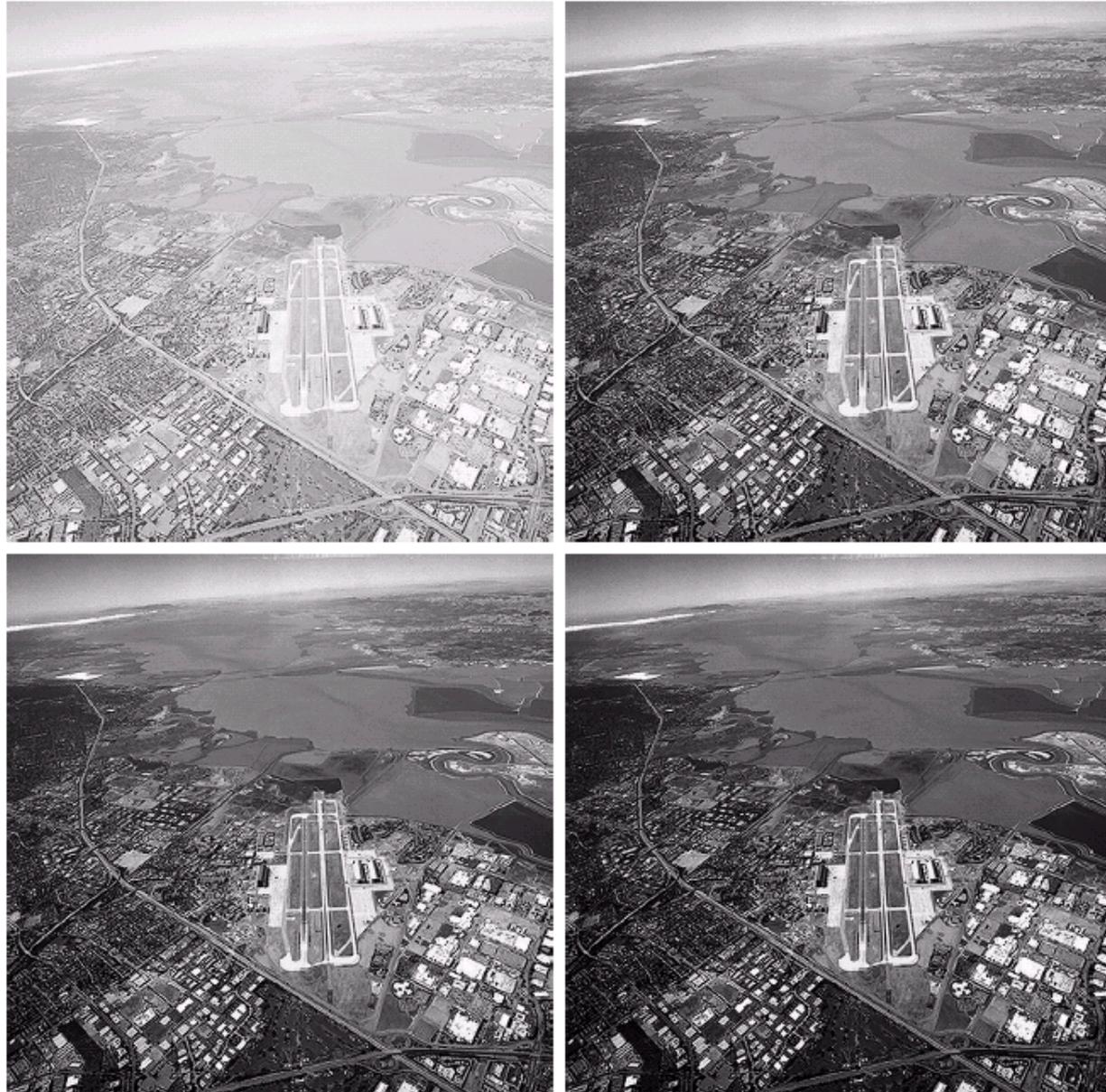
**FIGURE 3.8**

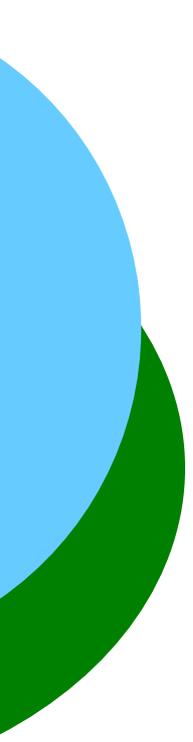
(a) Magnetic resonance (MR) image of a fractured human spine.  
(b)–(d) Results of applying the transformation in Eq. (3.2-3) with  $c = 1$  and  $\gamma = 0.6, 0.4,$  and  $0.3,$  respectively. (Original image for this example courtesy of Dr. David R. Pickens, Department of Radiology and Radiological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

# Correção Gamma

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.)





# FIM DA PARTE 1