

Prof. Dr. Leandro Alves Neves

Bacharelado em Ciência da Computação



Aula 03


Processamento Digital de
Imagens

Sumário

- **Realce de Imagens**
 - Brilho e Contraste
 - Histograma e Histograma Normalizado
- **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

Contraste e Histograma

Realce de Imagens

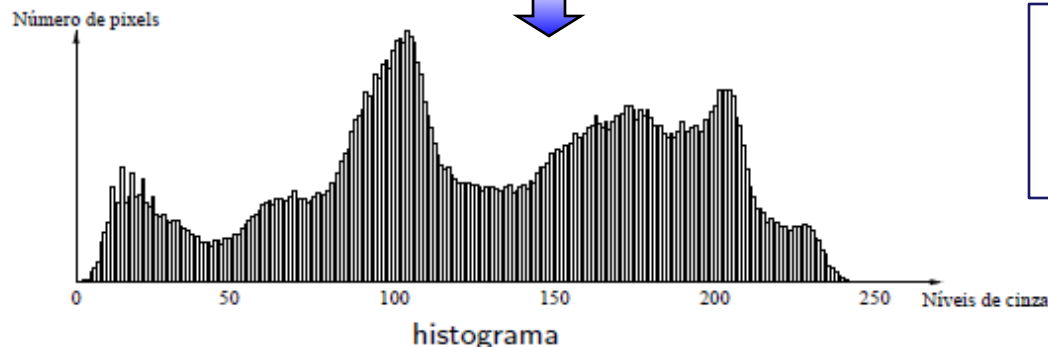
■ Histograma

- Frequência de cada intensidade presente na imagem

Cálculo do histograma de uma imagem

```
1 // atribuir valor zero a todos os elementos do vetor
2 para i=0 até Lmax faça
3      $H[i] \leftarrow 0$ 
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          $H[f(x,y)] \leftarrow H[f(x,y)] + 1$ 
```

Algoritmo 4.1: Cálculo do histograma de uma imagem.

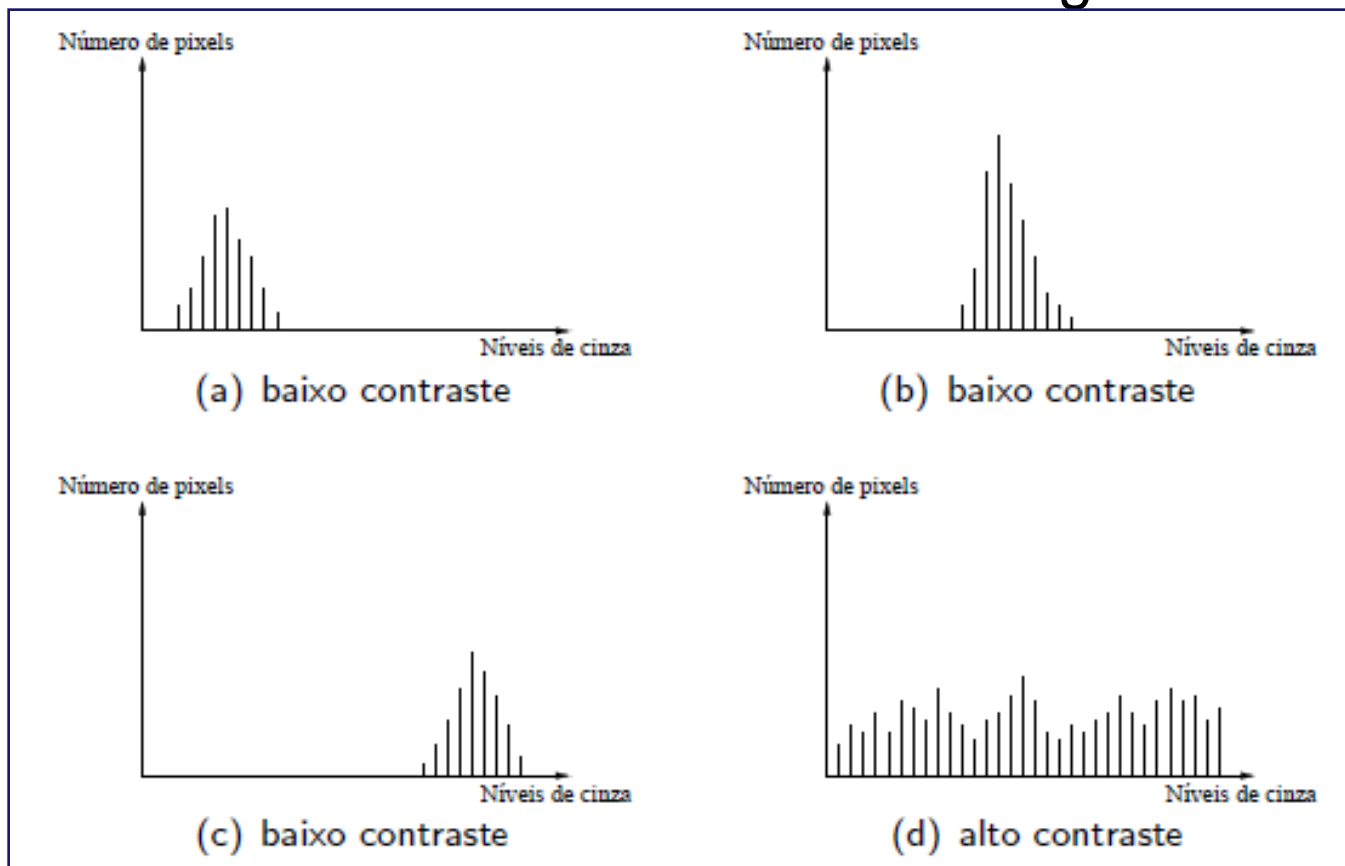


Histograma não tem informação
posicional
de pixel na Imagem

Realce de Imagens

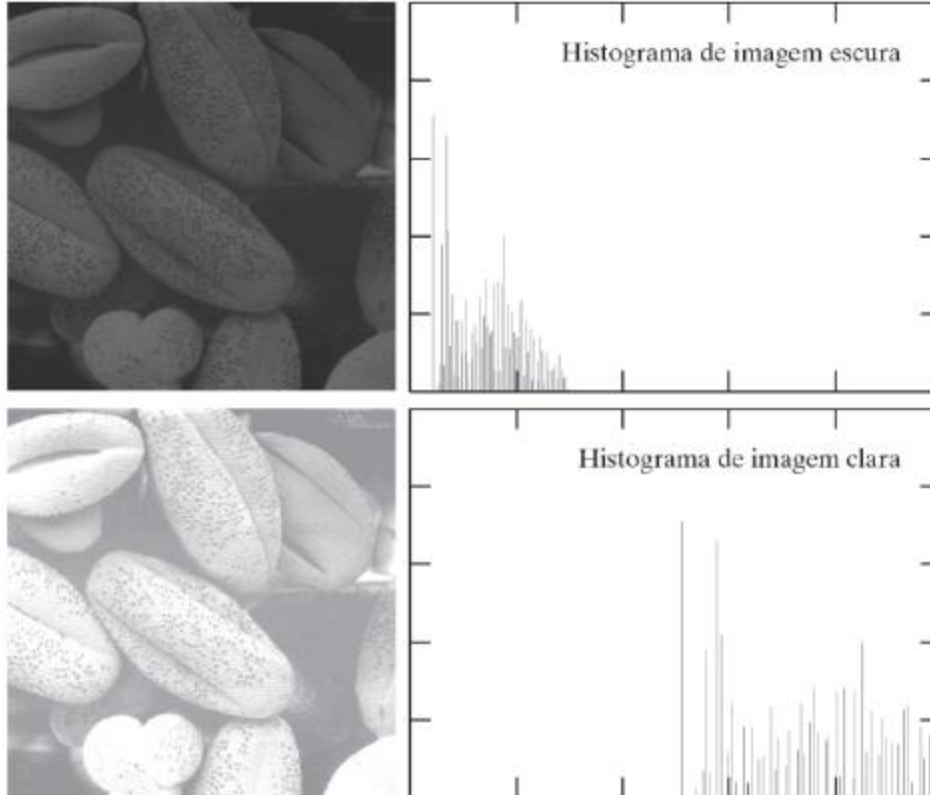
■ Histograma

- Permite avaliar o contraste de uma imagem



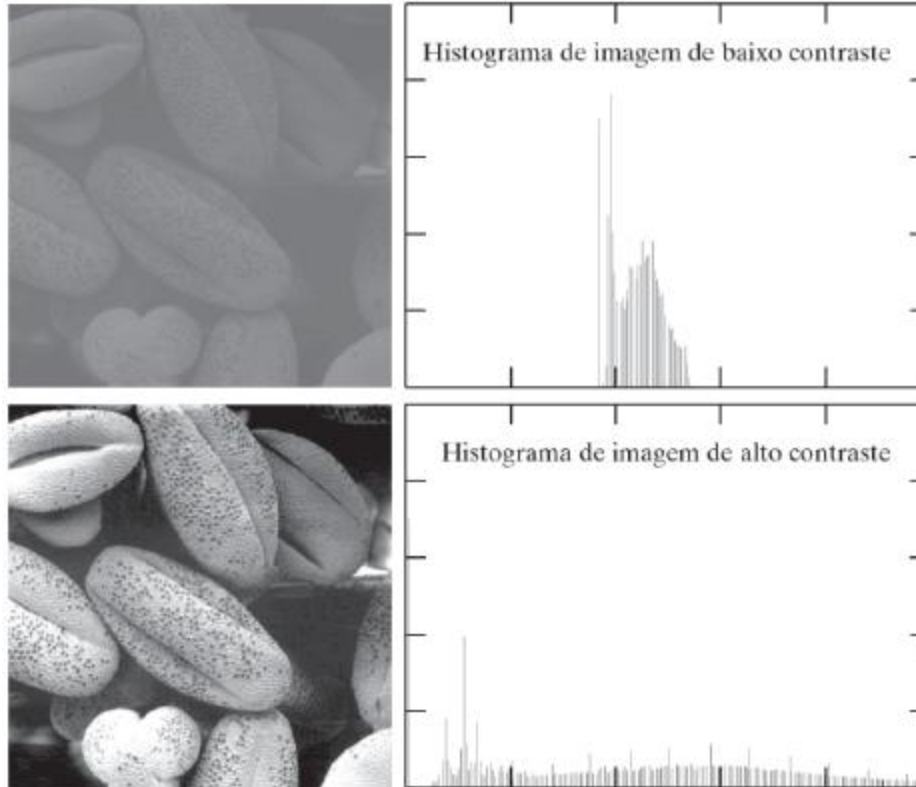
Realce de Imagens

■ Histograma: Exemplos



Realce de Imagens

■ Histograma: Exemplos



Realce de Imagens

■ Transformações de Contraste

□ Melhorar a qualidade

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

□ Aplicado sobre o intervalo de contraste (I_c):

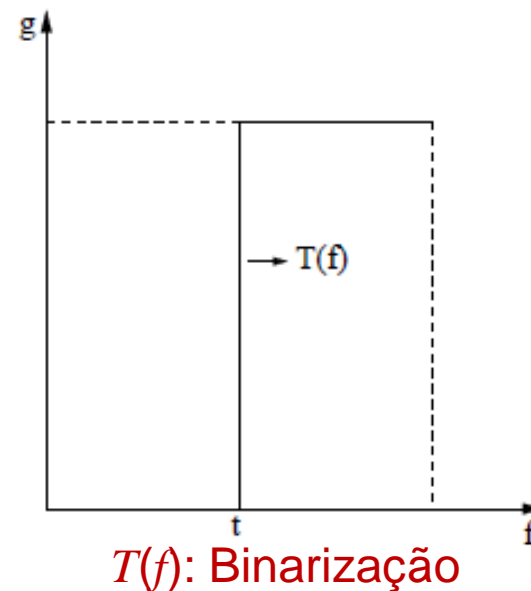
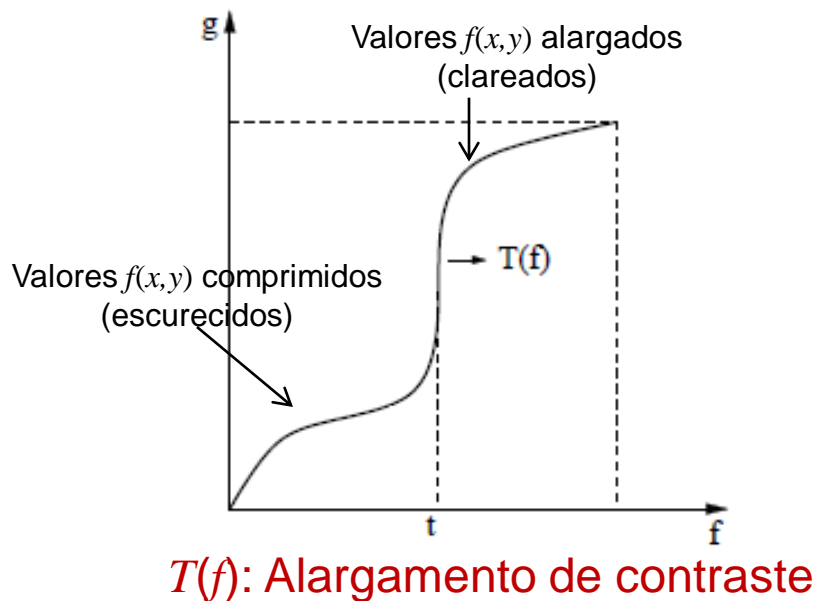
- $I_c = L_{max} - L_{min}$, em que L é um nível de cinza na imagem

É possível se existe um intervalo de intensidades

Realce de Imagens

■ 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**

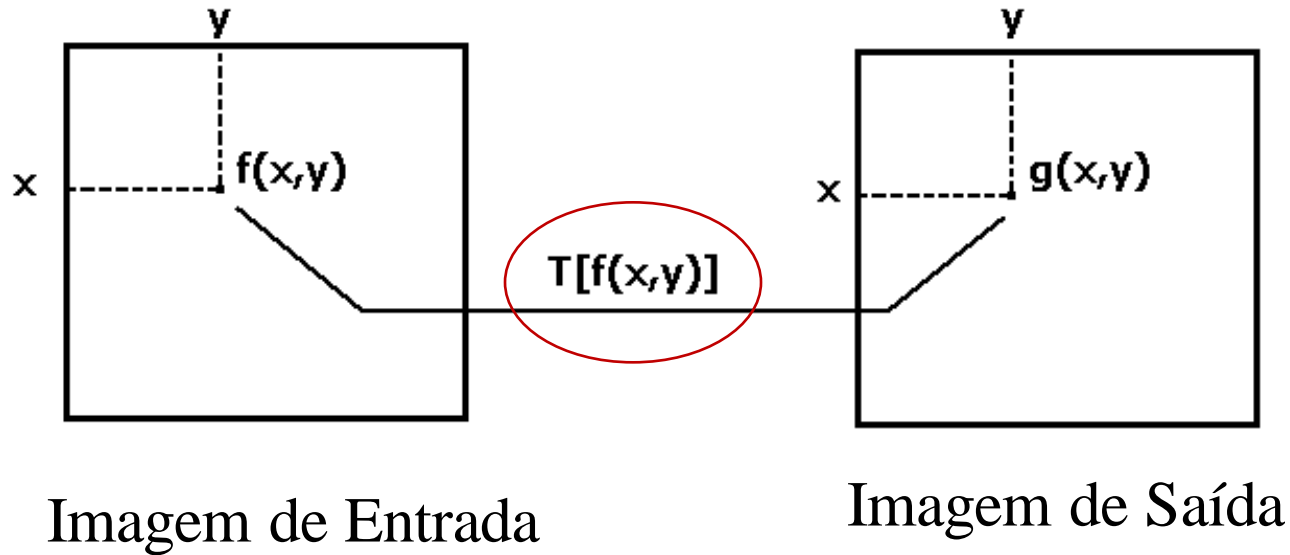


t: ponto de corte

Realce de Imagens

■ 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

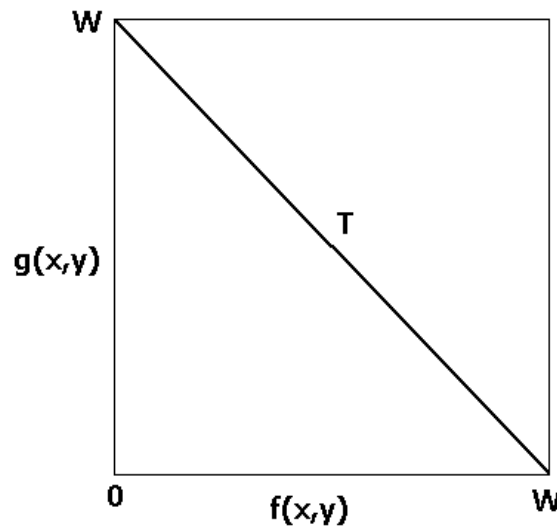
■ Transformações de Contraste: Lineares

□ Negativo



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

w é a intensidade máxima presente na imagem

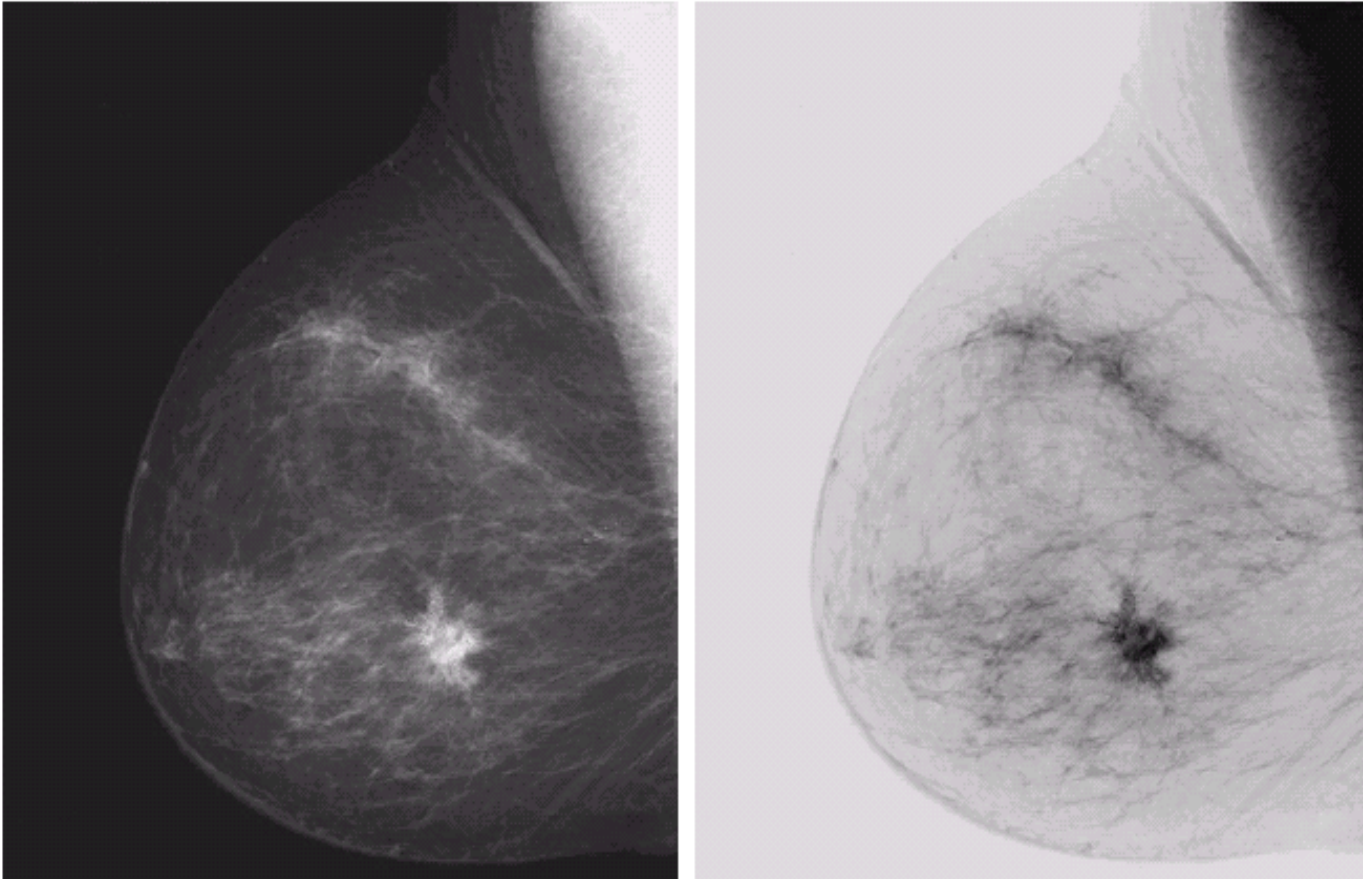


A intensidade de $g(x, y)$ **diminui** à medida que a intensidade de $f(x, y)$ **aumenta**

Realce de Imagens

■ Transformações de Contraste: Lineares

□ Negativo

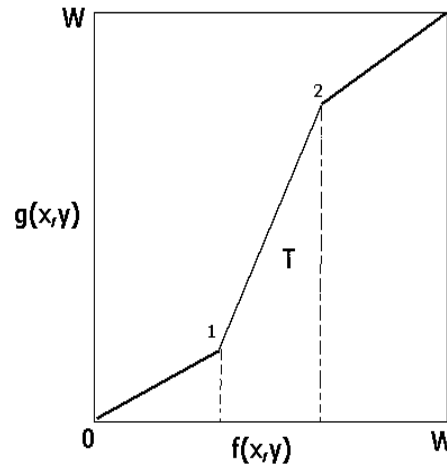


A intensidade de $g(x,y)$ **diminui** à medida que a intensidade de $f(x,y)$ **aumenta**

Realce de Imagens

■ Transformações de Contraste: Lineares

□ Alargamento de Contraste



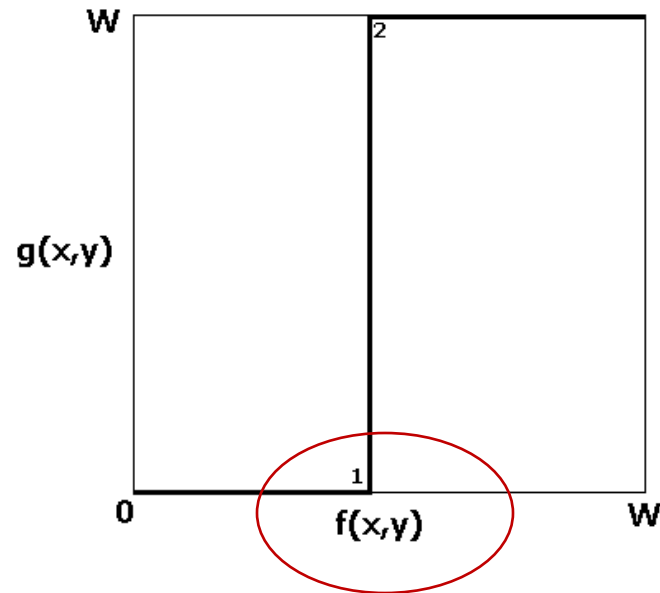
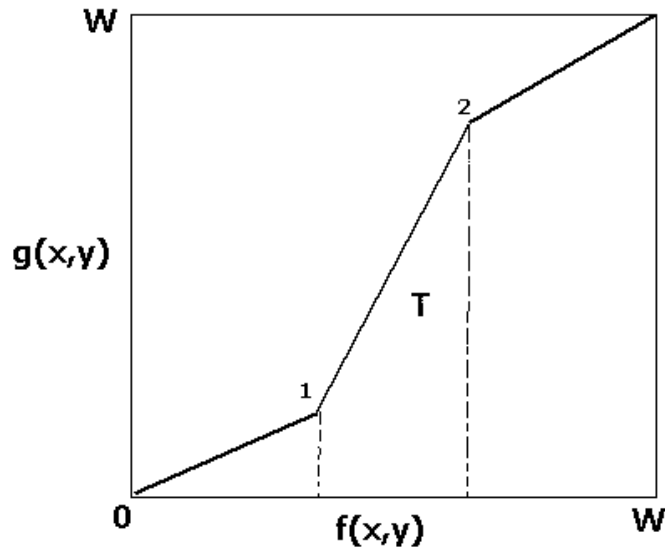
$$g(x,y) = \begin{cases} k_1 \cdot f(x,y) \Rightarrow 0 \leq f(x,y) < f_1(x,y) \\ k_2 \cdot f(x,y) \Rightarrow f_1(x,y) \leq f(x,y) \leq f_2(x,y) \\ k_3 \cdot f(x,y) \Rightarrow f_2(x,y) < f(x,y) \leq W \end{cases}$$



Realce de Imagens

■ Transformações de Contraste: Lineares

□ Binarização (*Thresholding*)



□ Assumindo:

■ $K_1=0;$

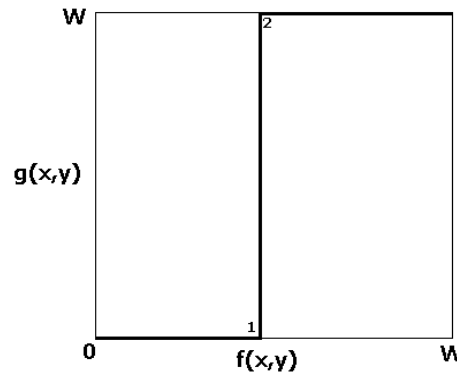
■ $f_1(x,y) = f_2(x,y)$

■ $K_3 \cdot f(x,y) = W$

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

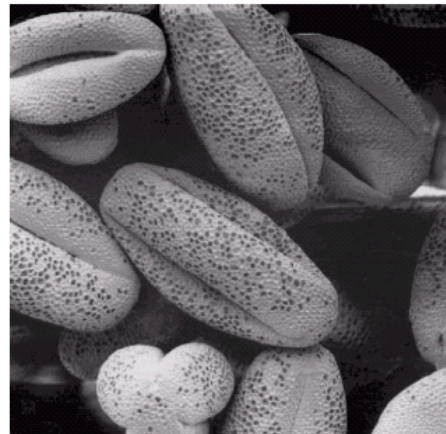
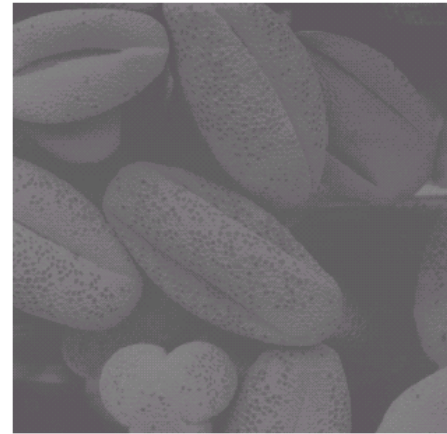
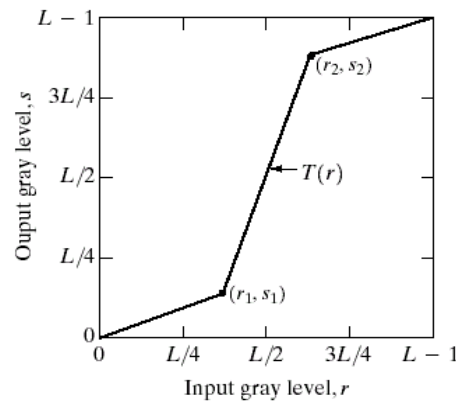
Realce de Imagens

- 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** é um parâmetro **fixo**;

- Não Linear: **c** é um parâmetro que expressa

Logaritmo
Raiz quadrada
Exponencial
Quadrado

Realce de Imagens

■ Transformações de Contraste: Não Lineares

□ Transformação pelo Logaritmo

- Cada valor de pixel é **substituído pelo seu logaritmo**.

- $g = c \log_k (f + 1)$, com:

- $k = 10$ ou natural;
- c , fator de ajuste para respeitar o intervalo válido $[0, 255]$.
- Por exemplo: f_{\max} representa a maior intensidade, então c pode assumir:

$$c = \frac{255}{\log(1 + f_{\max})}$$

- **Realce maior nos pixels de baixa intensidade**

Realce de Imagens

■ Transformações de Contraste: Não Lineares

□ Transformação pelo Exponencial

- Cada valor de pixel é **substituído pelo seu exponencial**

$$g = c(e^f)$$

- $e > 1$, apropriados para melhora de imagens fotográficas;
- porém, e pode ser variável e reescrita: $g = c[(1 + \alpha)^f - 1]$
 - $(1 + \alpha)$, é a base α
 - c fator de escala para que a saída seja uma faixa apropriada.
 - -1 é adicionado para evitar o deslocamento em função de c , caso com $f=0$.

- **Realce maior nos pixels de alta intensidade**

- **Efeito oposto ao da transformação pelo logaritmo**

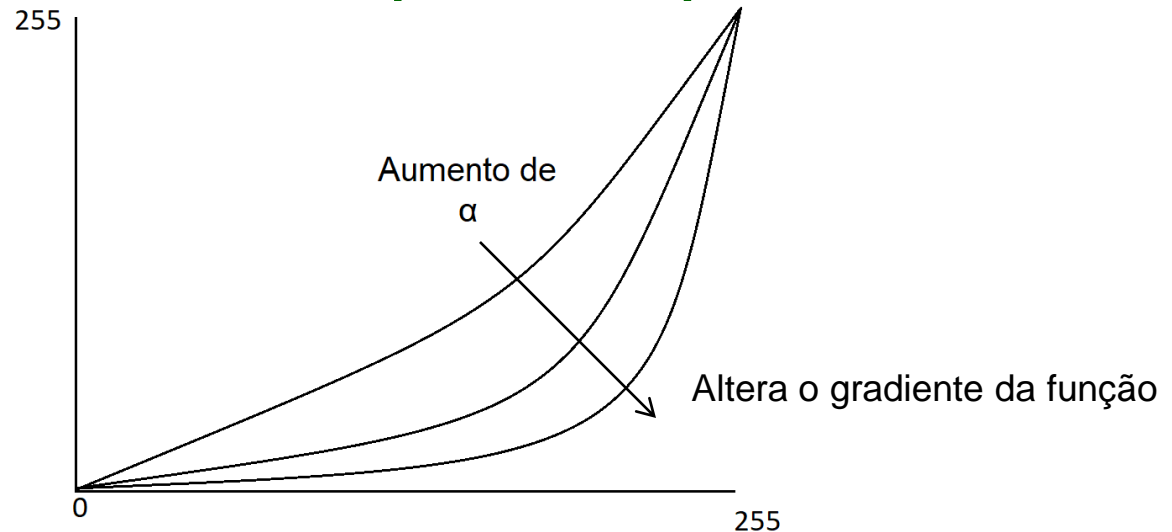
Realce de Imagens

■ Transformações de Contraste: Não Lineares

■ Transformação pelo Exponencial

- Cada valor de pixel é **substituído pelo seu exponencial**

$$g = c[(1 + \alpha)^f - 1]$$



Realce maior nos pixels de alta intensidade

Efeito oposto ao da transformação pelo logaritmo

Realce de Imagens

■ Transformações de Contraste: Não Lineares

□ Transformação pelo Quadrado

- Cada valor de pixel é **substituído pelo seu quadrado**

- $$g = cf^2$$

- **Realce** maior nos pixels de **média e alta intensidades**

Realce de Imagens

■ Transformações de Contraste: Não Lineares

□ Transformação pela Raiz Quadrada

- Cada valor de pixel é **substituído pela sua raiz quadrada**

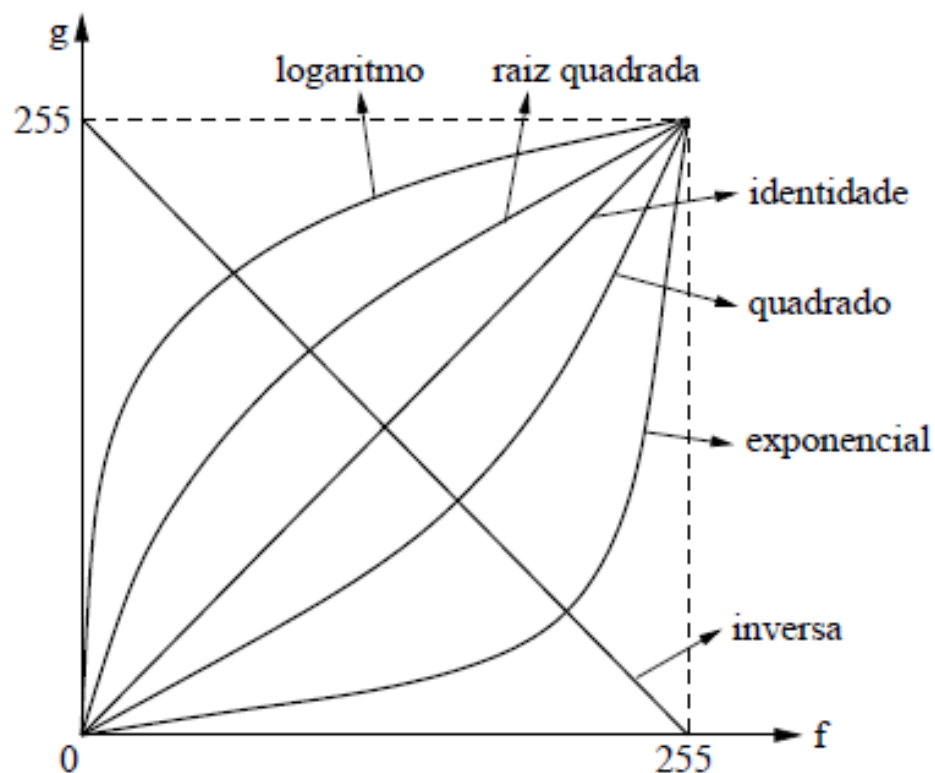
- $$g = c\sqrt{f}$$

- **Realce** maior nos pixels de **média e baixa intensidades**

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

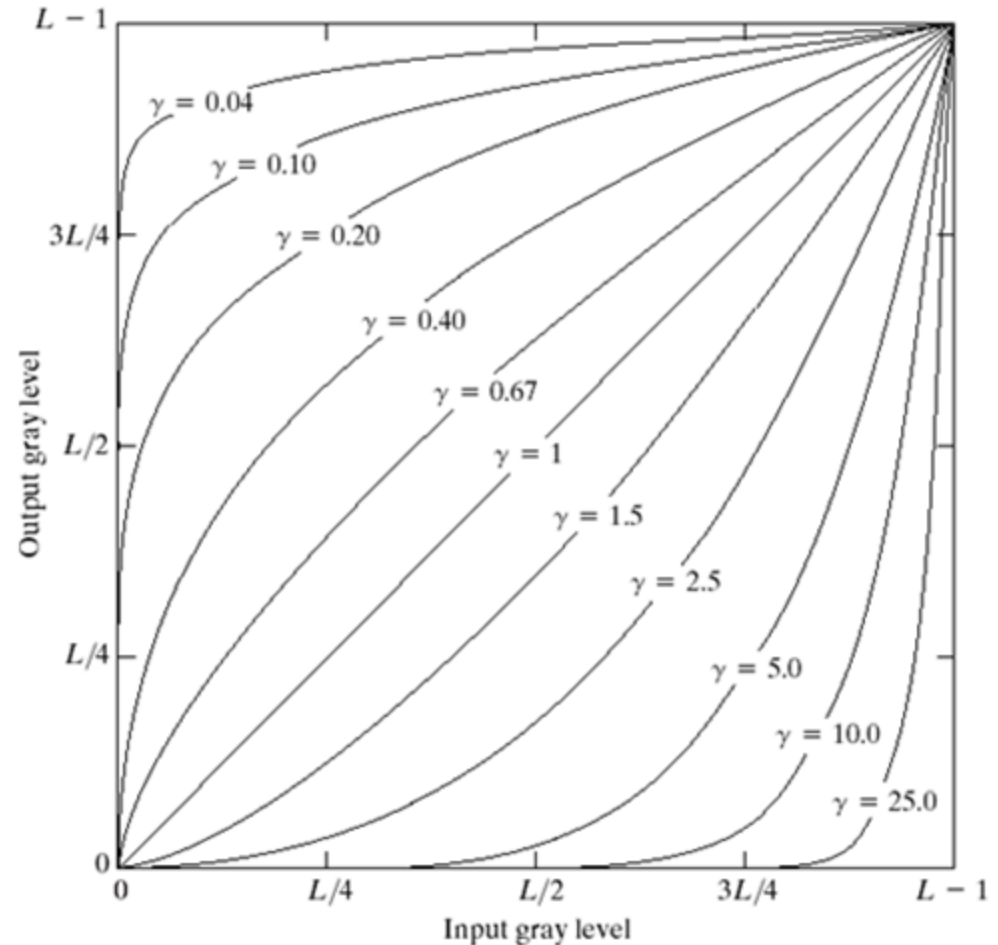
■ Transformações de Potência: Correção GAMA

■ Dada por :

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

- c e γ : constantes positivas
- ε : compensação quando entrada for zero

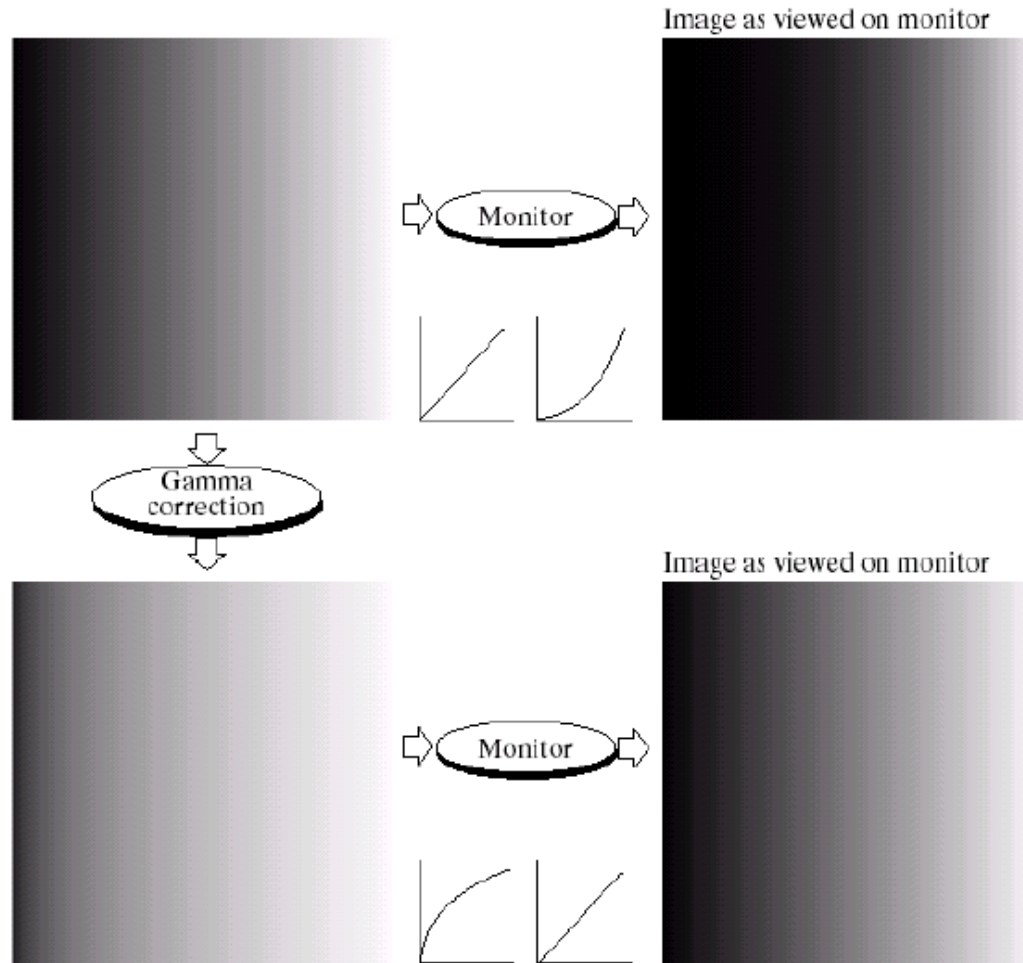
Todas as classes de transformações em função de γ



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

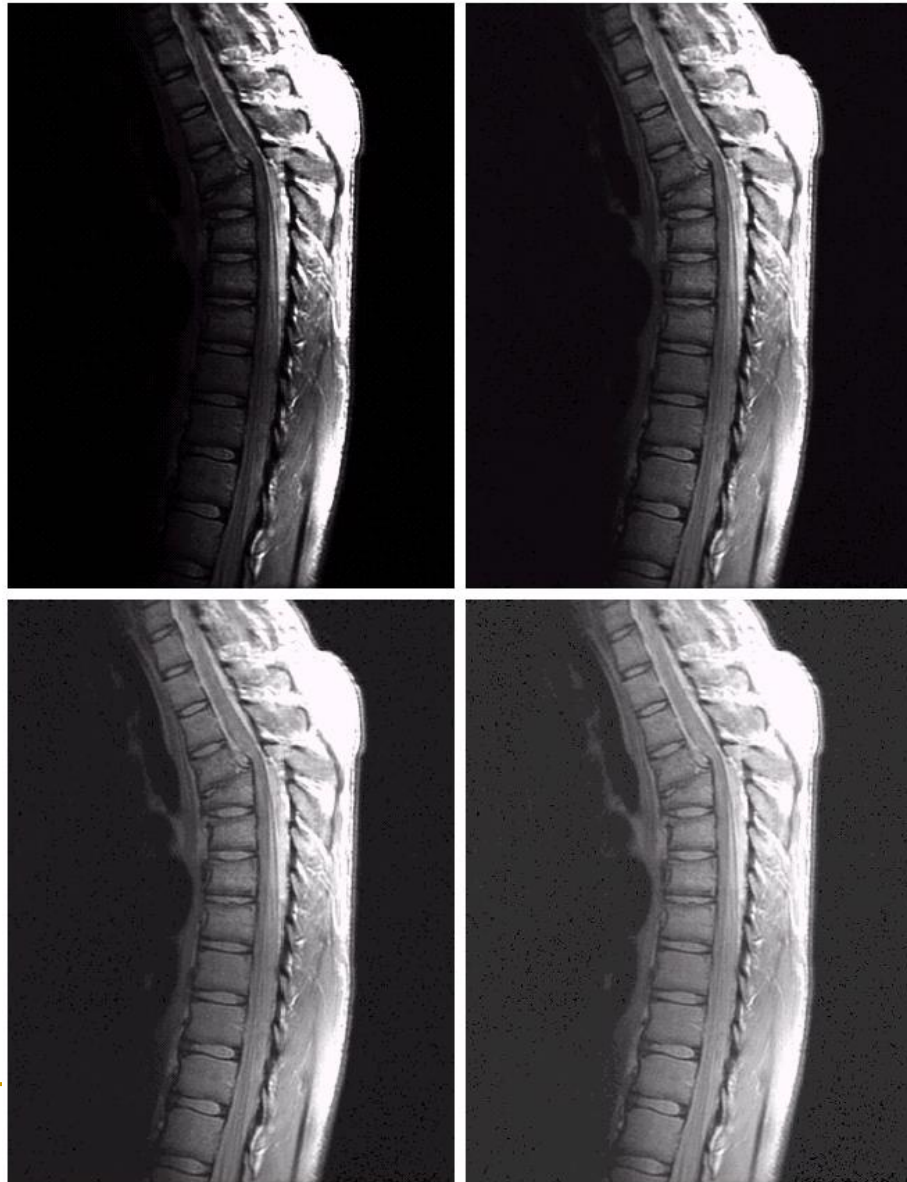
Realce de Imagens

■ Transformações de Potência: Correção GAMA



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 \Rightarrow transformada $\Rightarrow g$ \Rightarrow distribuição mais uniforme



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

■ Mapeamento de cada nível de cinza

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

Realce de Imagens

■ Histograma Normalizado (1ª Etapa)

□ Distribuição discreta de probabilidade: $p_i(f) = \frac{H(i)}{t},$

- $H(i)$ é número de ocorrências do nível de cinza i
- t é o total de pixels na imagem

□ 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 $M \times N$ pixels
 - Níveis de cinza $k = 0, 1, \dots, L - 1$
 - Equalizar um histograma \Rightarrow via FDA:

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

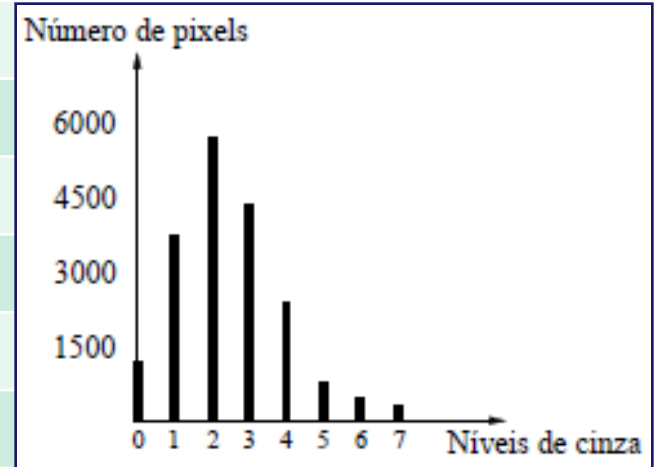
- n_i , número de ocorrências do nível de cinza i
- $p_f(f_i)$, é a probabilidade do i -ésimo nível de cinza
- **FDA normaliza os níveis de cinza da imagem no intervalo $0 \leq f_k \leq 1$**

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



Realce de Imagens

■ Equalização de Histograma

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

$p_f(k)$	Frequência (n_k)
$p_f(0)$	1314/19521 \approx 0,067
$p_f(1)$	3837/19521 \approx 0,197
$p_f(2)$	5820/19521 \approx 0,298
$p_f(3)$	4110/19521 \approx 0,211
$p_f(4)$	2374/19521 \approx 0,122
$p_f(5)$	921/19521 \approx 0,047
$p_f(6)$	629/19521 \approx 0,032
$p_f(7)$	516/19521 \approx 0,026

Realce de Imagens

■ Equalização de Histograma

■ 2ª. Etapa: Calcular a FDA

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

g_k	Frequência (n_k) - Acumulado
$g(0)$	0,067
$g(1)$	0,264
$g(2)$	0,562
$g(3)$	0,773
$g(4)$	0,895
$g(5)$	0,942
$g(6)$	0,974
$g(7)$	1

Realce de Imagens

■ Equalização de Histograma

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

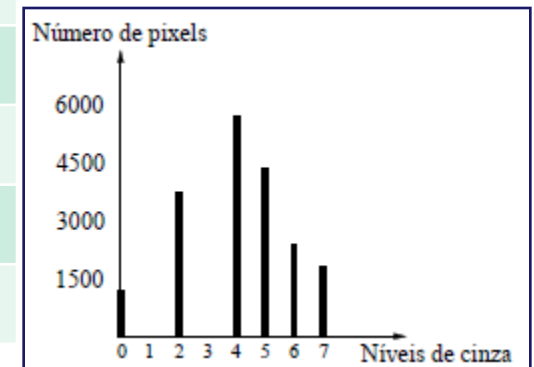
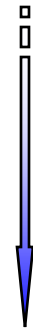
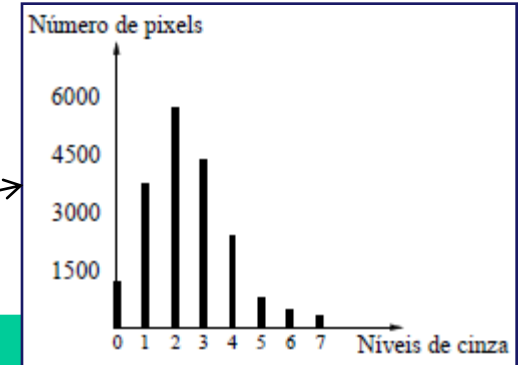
$g_k * L_{\max}$	Frequência (n_k) Acumulado	Níveis de Cinza (k) - Equalizados
$g(0) * 7$	0,067	$0.469 \approx 0$
$g(1) * 7$	0,264	$1,848 \approx 2$
$g(2) * 7$	0,562	$3,934 \approx 4$
$g(3) * 7$	0,773	$5,411 \approx 5$
$g(4) * 7$	0,895	$6,265 \approx 6$
$g(5) * 7$	0,942	$6,594 \approx 7$
$g(6) * 7$	0,974	$6,818 \approx 7$
$g(7) * 7$	1	≈ 7

Realce de Imagens

■ Equalização de Histograma

□ Resultado

Níveis de Cinza (k) - Original	Frequência (n_k)	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

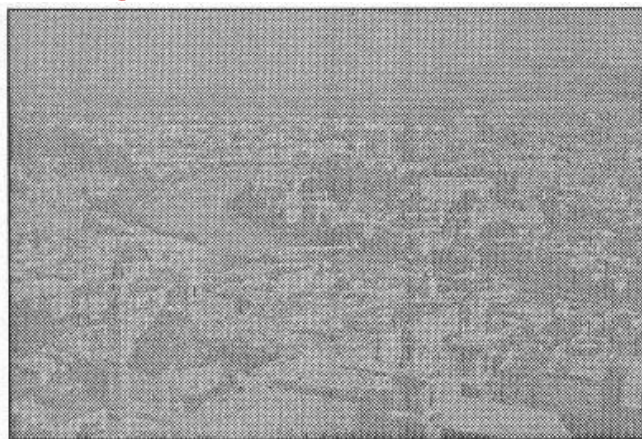
Os níveis de cinza para a imagem original f e para a imagem equalizada g são representados por f_k e g_k , respectivamente, com $0 \leq k \leq L - 1$

```
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  $g_k$ 
```

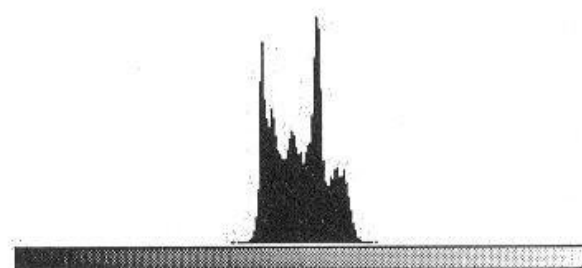
Realce de Imagens

■ Equalização de Histograma

Original



(a)

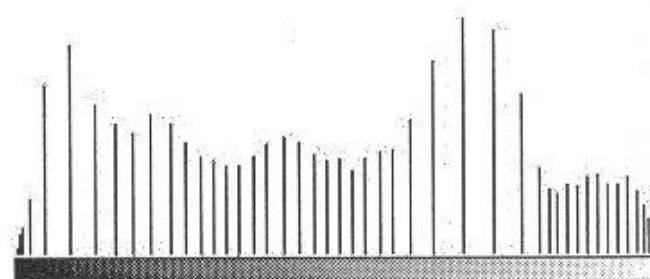


(b)

Equalizada



(c)



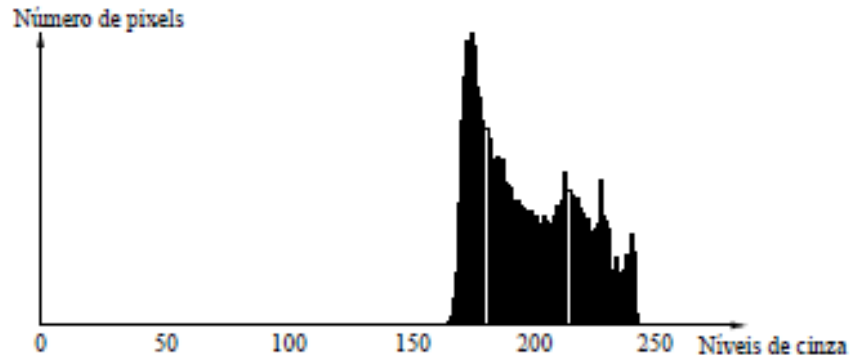
(d)

Realce de Imagens

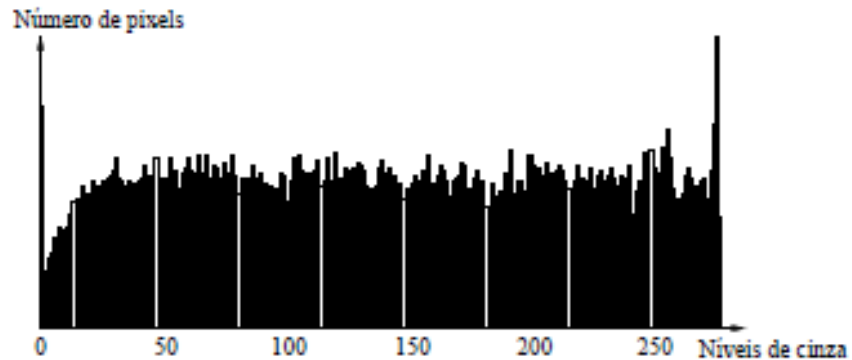
■ Equalização de Histograma



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

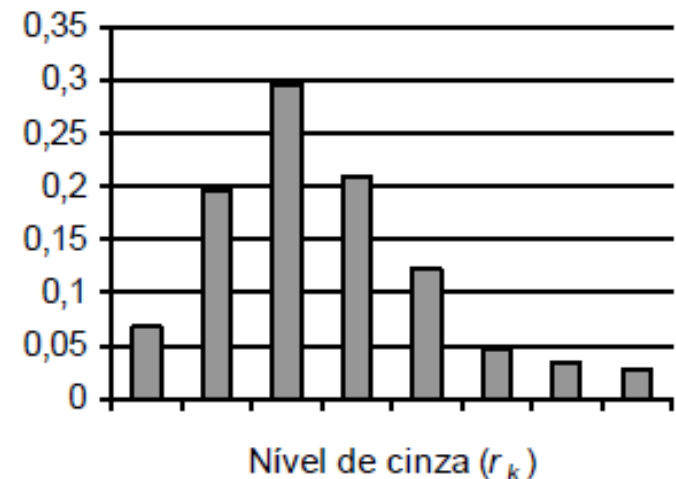
Aula 3: partes 1 e 2

Exercícios

1. 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

2. Considere uma imagem digital representada por uma matriz 5×5 , conforme indicada abaixo. O pixel central é um ponto de referência. Forneça o valor resultante do pixel central caso a imagem seja processada:
- a) pelo algoritmo de filtragem mediana com uma janela 3×3 .
 - b) pelo algoritmo da média utilizando janela 5×5 .
 - c) pela média dos k vizinhos mais próximos, utilizando janela 5×5 , sendo $k = 9$.

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

3. Considere uma imagem representada por uma matriz 7 x 7, indicada abaixo, em que cada elemento corresponde ao nível de cinza do pixel. A taxa de quantização desta imagem foi definida como de 8 bits. Considere o pixel central como o pixel de referência e forneça o valor deste ponto central após processamento com:

0	3	221	220	198	84	4
3	23	187	188	189	99	8
9	9	188	115	134	49	9
0	5	176	18	187	98	9
15	15	123	103	165	76	9
14	12	156	188	188	98	9
9	8	190	190	190	90	0

- a) algoritmo de filtragem mediana utilizando uma janela 3 x 3;
- b) algoritmo da filtragem pela mediana com uma janela em forma de cruz, isto é considerando no cálculo da mediana apenas os pixels de coordenadas: (x, y) (*pixel de referência*), $(x-1, y)$, $(x+1, y)$, $(x, y-1)$ e $(x, y+1)$;
- c) algoritmo da média utilizando janela 7 x 7.

Exercícios

d) algoritmo adaptativo que funciona da seguinte maneira: primeiramente aplica-se um filtro da mediana em uma janela 3×3 ao redor do pixel de referência, calculando-se MED . Depois disto, aplica-se um filtro da média utilizando uma janela 5×5 , levando em consideração apenas os pixels em que as intensidades estejam na faixa entre $MED - C$ e $MED + C$, inclusive os extremos. Assumir que $C = 22$.

4. Considere a imagem a seguir, representada por uma matriz 7×7 , 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

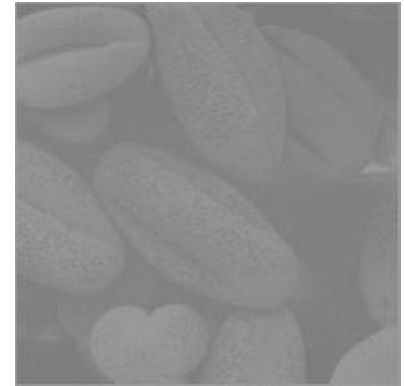
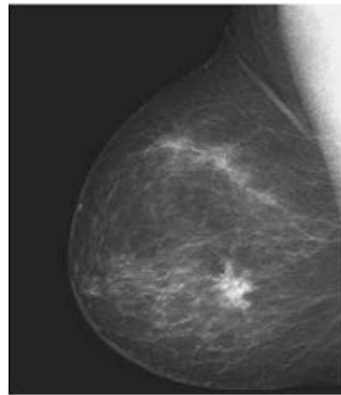
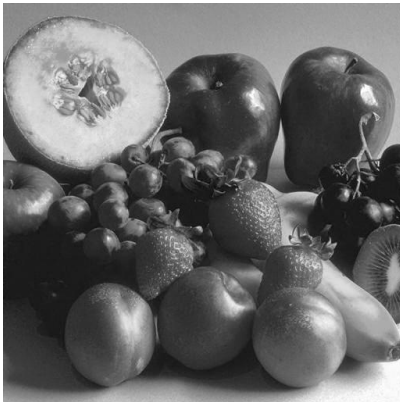
5. Considere a imagem a seguir, representada por uma matriz 5x5. Pede-se:

- Obter o negativo da imagem, aplicando a transformação $T(r) = 255 - r$. Reescrever a matriz.
- Aplicar uma função de alargamento de contraste, conforme função apresentada no slide 23. 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 uma função de binarização, conforme função apresentada no slide 24. 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

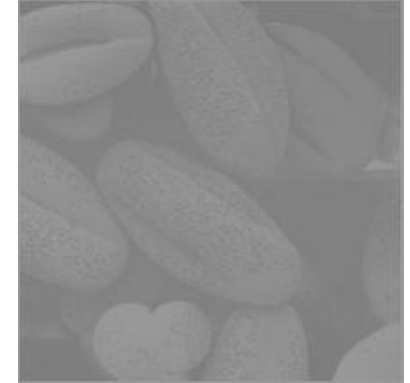
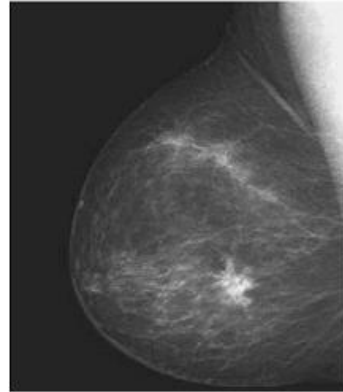
Exercícios

6. Construa um programa para receber cada imagem indicada a seguir e, sem 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

7. Considere as imagens a seguir e construa um programa para aplicar:



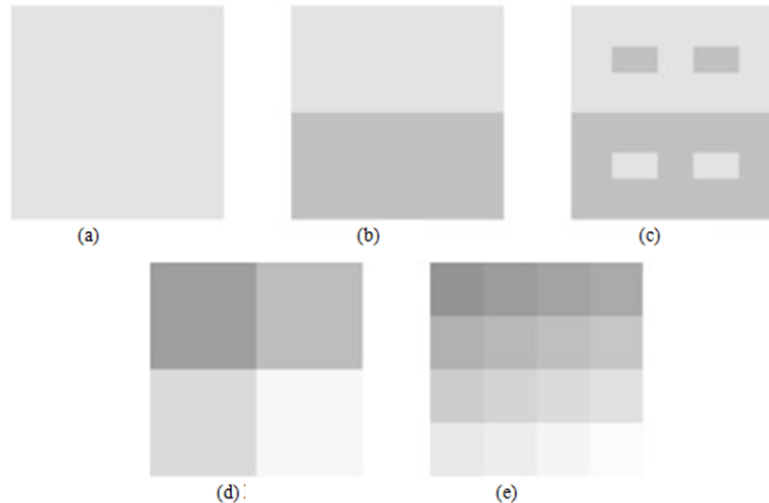
a) Filtro Passa-Baixa: suavização da imagem (*Smoothing*), com janelas de 3x3, 5x5 e 7x7;

b) Filtro Passa-Alta; Detector de Altas Frequências; Filtro de Aguçamento (*Sharpening*) – Realce de características. Considerar as versões normalizadas e não normalizadas. Considere, para estes, as máscaras,

$$h_1 = \begin{bmatrix} 0 & -1 & 0 \\ -1 & 4 & -1 \\ 0 & -1 & 0 \end{bmatrix} \quad h_2 = \begin{bmatrix} -1 & -1 & -1 \\ -1 & 8 & -1 \\ -1 & -1 & -1 \end{bmatrix}$$

Exercícios

8. Utilize o programa desenvolvido na aula 2, exercício 13, capaz de adicionar ruídos em uma imagem dada como entrada. Aplique sobre cada imagem indicada a seguir os ruídos aditivos: sal e pimenta; uniforme e gaussiano. As distribuições devem ser fornecidas pelo usuário. Aplique os filtros apresentados abaixo e indique os que permitiram minimizar os efeitos provocados pelos ruídos, sem provocar borramentos.



a) Suavização da imagem (*Smoothing*), com janelas de 3x3, 5x5 e 7x7;

b) Filtro Passa-Alta com as máscaras,

$$h_1 = \begin{bmatrix} 0 & -1 & 0 \\ -1 & 4 & -1 \\ 0 & -1 & 0 \end{bmatrix} \quad h_2 = \begin{bmatrix} -1 & -1 & -1 \\ -1 & 8 & -1 \\ -1 & -1 & -1 \end{bmatrix}$$

c) Mediana 3x3 e 5x5.

Após aplicar os filtros indicados nos itens (a) e (b), as entropias calculadas para cada resultado são as mesmas das entradas correspondentes? Qual foi o efeito observado?

Referências

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

