

# Processamento e Análise de Imagens

## Processamento no Domínio Espacial I

Felipe Augusto Lima Reis



**PUC Minas**

# Introdução

# Domínio Espacial

- O termo **domínio espacial** refere-se ao próprio plano da imagem e métodos de processamento de imagens nesta categoria refere-se a sua manipulação neste domínio;
- Imagens também podem ser processadas no **domínio da frequência (ou espectral)**, usando o seguinte procedimento:
  - Transformação da imagem para um outro domínio, usando a transformada de Fourier (ou semelhante);
  - Processamento da imagem no novo domínio;
  - Transformação da imagem processada para o domínio original.

# Domínio Espacial

- Alguns problemas podem ser melhor solucionados no domínio espacial, enquanto outros são mais adequados de serem resolvidos no domínio da frequência
  - A escolha deve ser feita com base em características dos problema;
  - Problemas podem ainda ser resolvidos utilizando ambos os domínios, separadamente, com objetivo de correção de diferentes características;
  - Nesta seção, iremos trabalhar somente com o processamento de imagens no domínio espacial;
  - Processamento de imagens no domínio da frequência serão vistas posteriormente.

# Processamento no Domínio Espacial

- O processamento no domínio espacial pode ser dividido nas seguintes categorias:
  - **Transformações de Intensidade**: operações em *pixels* individuais, tais como operações de manipulação de contraste e definição de limiares (*thresholding*);
  - **Filtragem Espacial**: realiza operações na vizinhança de cada um dos pixels de uma imagem;
    - Operações comuns: suavização e realce (*sharpening*).

# Processamento no Domínio Espacial

- As técnicas de processamento de imagens buscam produzir imagens que são mais apropriadas a um determinado fim que a imagem original;
  - Os algoritmos não são universais, devendo ser aplicados em situações específicas;
  - Técnicas podem ser combinadas para produção de um resultado mais adequado a um determinado problema.

# Processamento no Domínio Espacial

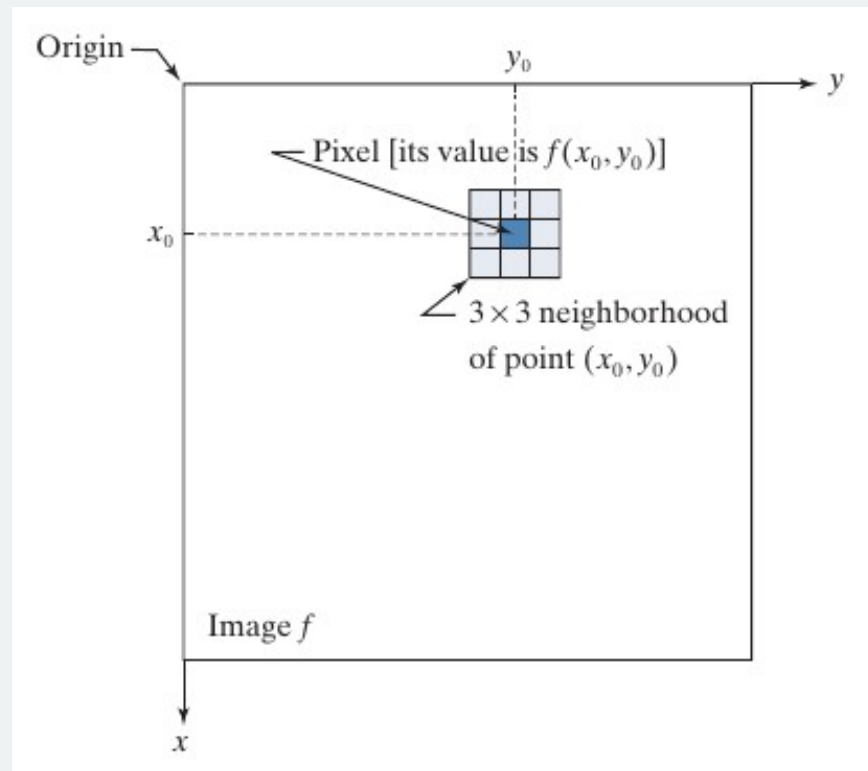
- Processamento no domínio espacial é baseado na expressão

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

- onde  $f(x, y)$  é a imagem de entrada,  $g(x, y)$  é a imagem de saída e  $T$  é o operador em  $f$ , definido sobre a vizinhança dos pontos  $(x, y)$ .
- O operador pode ser aplicado nos pixels de uma única imagem (ou conjunto de imagens)
  - A transformação pode ser aplicada para tons de cores associados a um ponto  $(x, y)$  e a vizinhança em torno do ponto.

# Processamento no Domínio Espacial

- Na imagem ao lado, foi definido um ponto central  $(x_0, y_0)$  que será processado e sua vizinhança  $3 \times 3$ ;
- O centro da vizinhança pode ser alterado, gerando pontos  $(x_1, y_1)$ ,  $(x_2, y_2)$ , ...,  $(x_n, y_n)$ 
  - Consequentemente a vizinhança também é alterada.
- Para cada ponto  $(x_i, y_i)$ , é realizada uma transformação  $T$ , gerando novos valores para a imagem de saída  $g$ .





# Processamento no Domínio Espacial

- A menor vizinhança possível possui tamanho 1x1
  - Nesse caso,  $g$  depende somente do valor de  $f$  no único ponto  $(x, y)$ ;
  - $T$  é denominada função de transformação da intensidade e possui a forma

$$s = T(r)$$

- onde  $s$  e  $r$  correspondem à intensidade de  $g$  e  $f$  em qualquer ponto  $(x, y)$ .
- Uma transformação nesse tipo de vizinhança pode ser utilizada para produzir uma imagem com contraste mais elevado que a imagem original.

# Funções de Transformação Básicas de Intensidade

# Negativo de Imagens

- O negativo de imagens com níveis de intensidade no intervalo  $[0, L-1]$  é obtido usando a função de transformação negativa

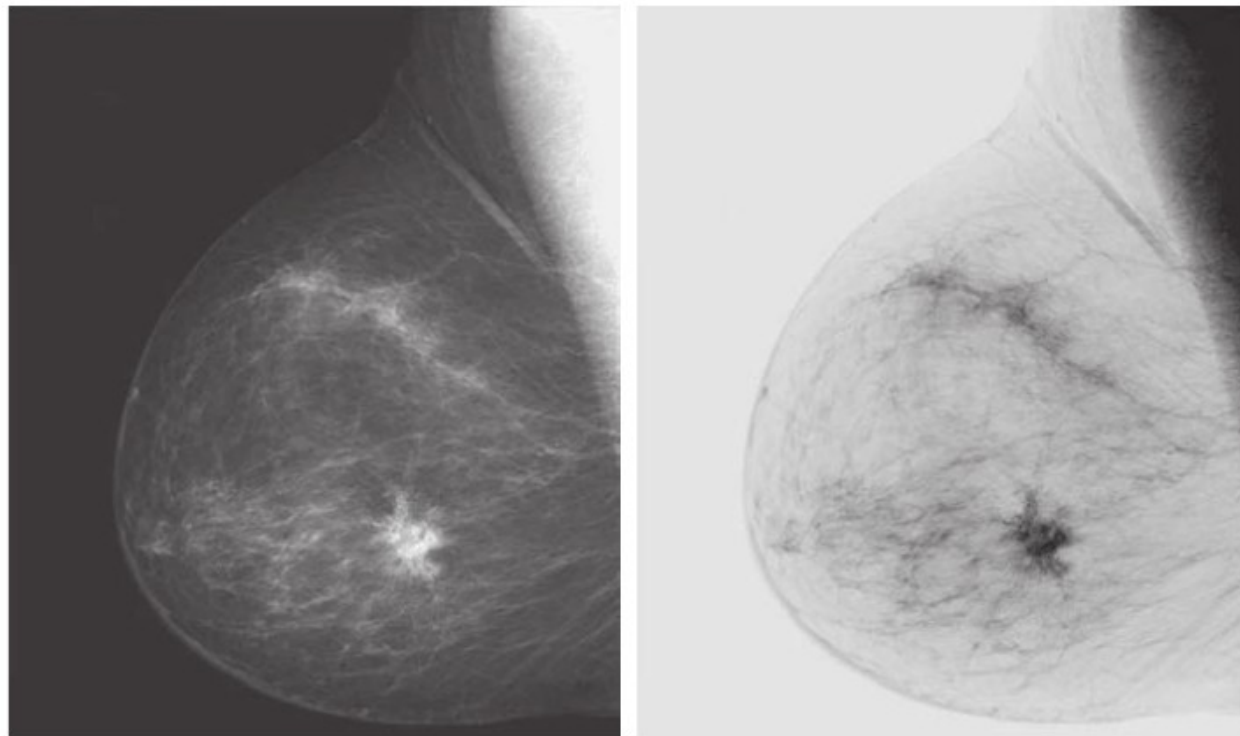
$$s = L - 1 - r$$

- A função é utilizada para melhorar áreas brancas ou cinzas dentro de regiões escuras de uma imagem, especialmente naquelas com maioria de pixels escuros.

# Negativo de Imagens

- A imagem ao lado mostra um exame de mamografia, cujo objetivo é identificar pequenas lesões
- A inversão de cores pode facilitar a identificação de detalhes finos nas imagens

Fonte: Gonzalez & Woods (2018).



# Transformações logarítmicas

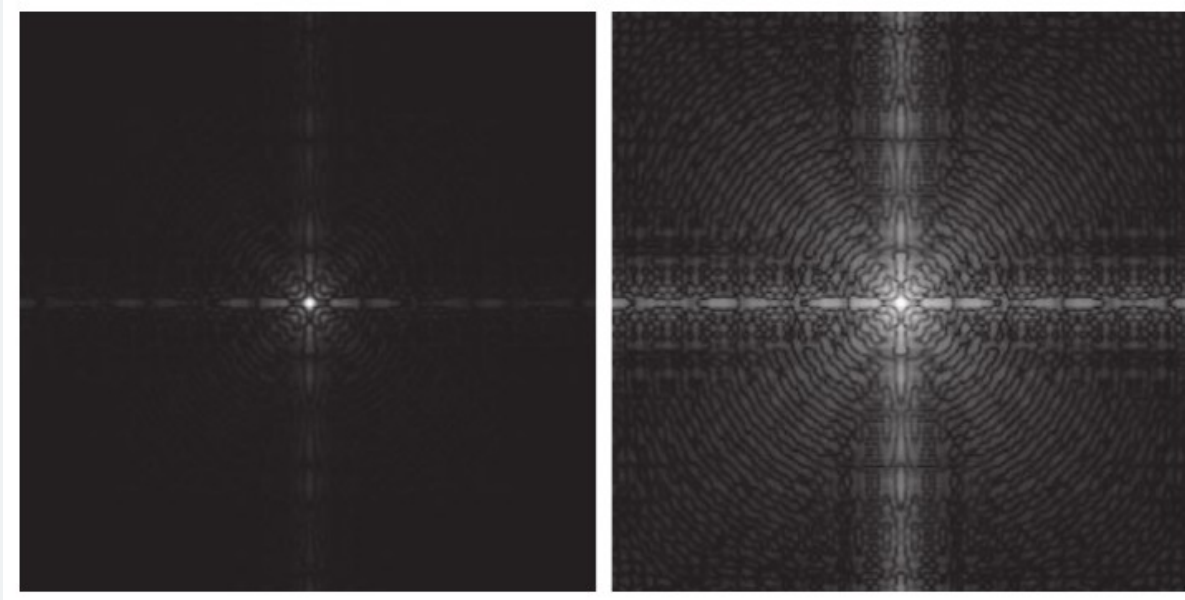
- A forma geral de uma **transformação logarítmica** é dada por:

$$s = c \log(1+r)$$

- onde  $c$  é uma constante e assume-se que  $r \geq 0$
- A função log possui como característica a possibilidade de compressão de faixas dinâmicas de valores de pixels;
- Para faixa de valores altas, normalizadas em imagens, a função logarítmica pode ressaltar algumas características, sem permitir que pixels de cores dominantes sejam sobressalentes nas imagens
  - Imagens que passam por transformações no espectro de Fourier podem passar por transformações logarítmicas, para melhor exibição de informações.

# Transformações logarítmicas

- A imagem abaixo mostra um **espectro de Fourier** em escala de cinza e a aplicação de uma função de transformação logarítmica.



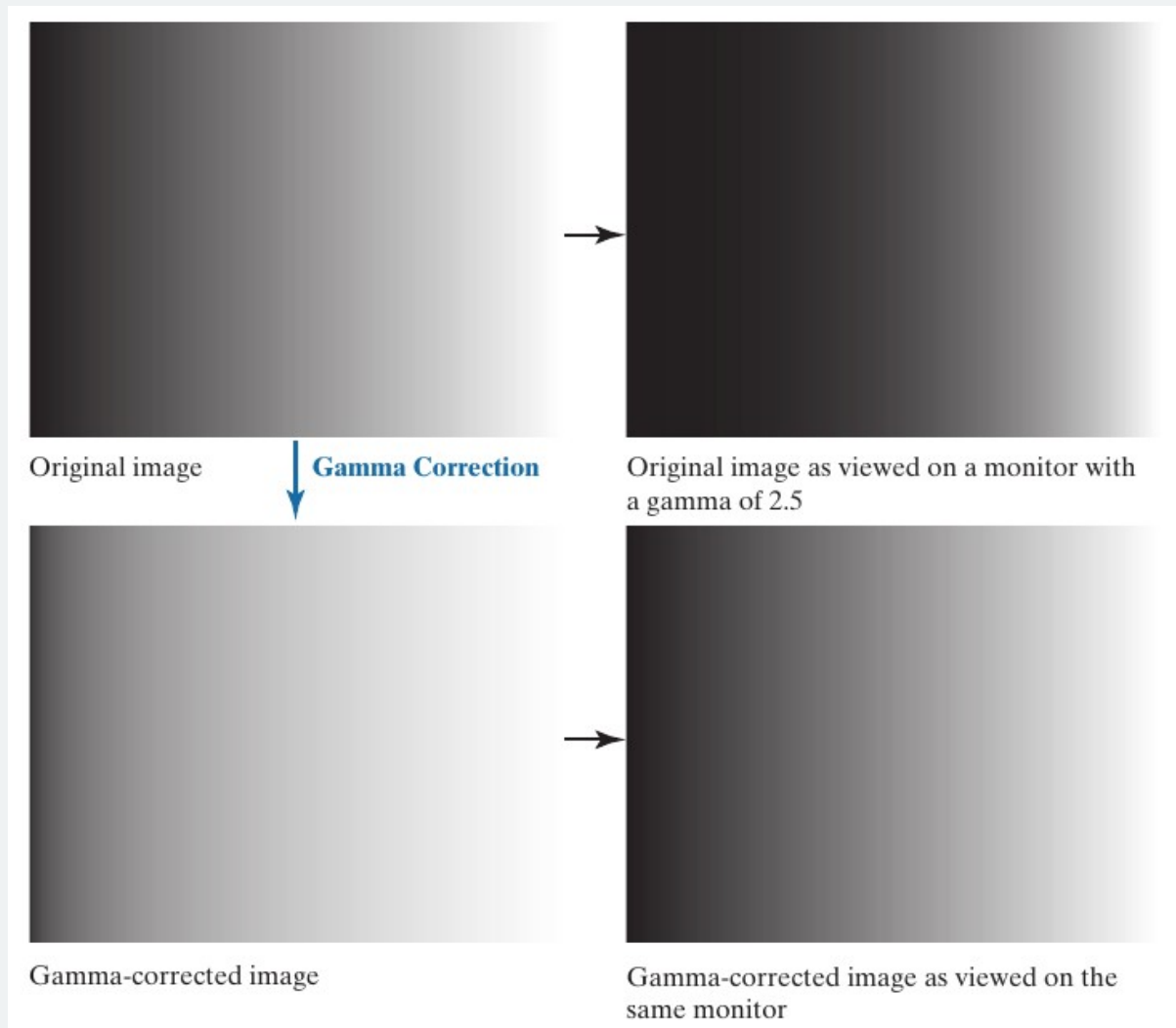
Fonte: Gonzalez & Woods (2018).

# Transformações gamma (potenciação)

- A forma geral de uma **transformação gamma** é dada por:

$$s = cr^\gamma$$

- onde  $c$  e  $\gamma$  são constantes positivas.
- A **função gamma** é importante pois múltiplos dispositivos usados para captura, impressão e exibição obedecem a leis de potência
  - O processo para correção desses dispositivos é denominado **correção gamma**.



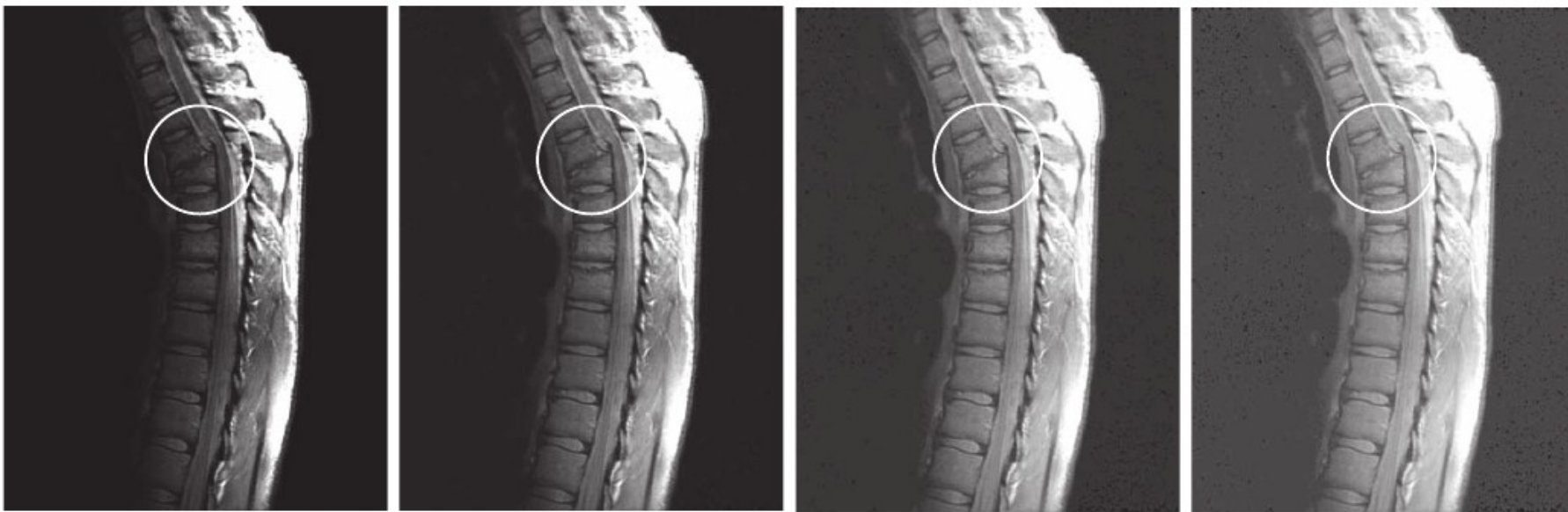


## Transformações gamma (potenciação)

**FIGURE 3.8**

(a) Magnetic resonance image (MRI) of a fractured human spine (the region of the fracture is enclosed by the circle).

(b)–(d) Results of applying the transformation in Eq. (3-5) with  $c = 1$  and  $\gamma = 0.6, 0.4$ , and  $0.3$ , respectively.



Fonte: Gonzalez & Woods (2018).

# Transformações gamma (potenciação)

**FIGURE 3.9**

(a) Aerial image.  
(b)–(d) Results  
of applying the  
transformation  
in Eq. (3-5) with  
 $\gamma = 3.0$ , 4.0, and  
5.0, respectively.  
( $c = 1$  in all cases.)



Fonte: Gonzalez & Woods (2018).

# Transformações lineares por partes

- Funções lineares por partes podem realizar transformações arbitrariamente complexas para melhoramento de imagens;
- Algumas transformações importantes podem ser formuladas como lineares por partes, dentre as quais destacam-se:
  - Contrast stretching;
  - Intensity-level slicing;
  - Bit-plane slicing.

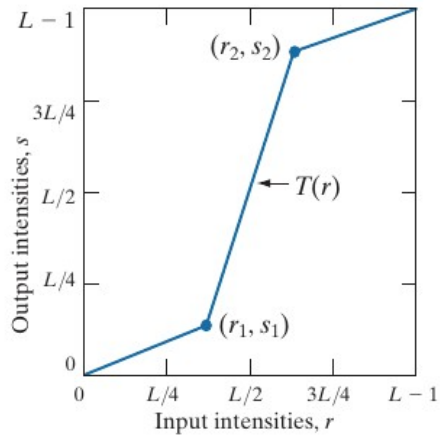
# Contrast Stretching

- Imagens de baixo contraste são geradas por iluminação ruim, falta de um bom intervalo no sensor da imagem ou utilização incorreta de abertura das lentes durante a aquisição das imagens
- **Contrast stretching** (“alongamento de contraste”) expande os níveis de intensidade das imagens, de modo a produzir intervalos de intensidade adequados
  - Dependendo da aplicação do alongamento de contraste, a função pode ser aplicada como limiarização – valores acima de um determinado limiar terão valor igual a 1, enquanto valores abaixo terão valor igual a 0.

# Contrast stretching

**FIGURE 3.10**

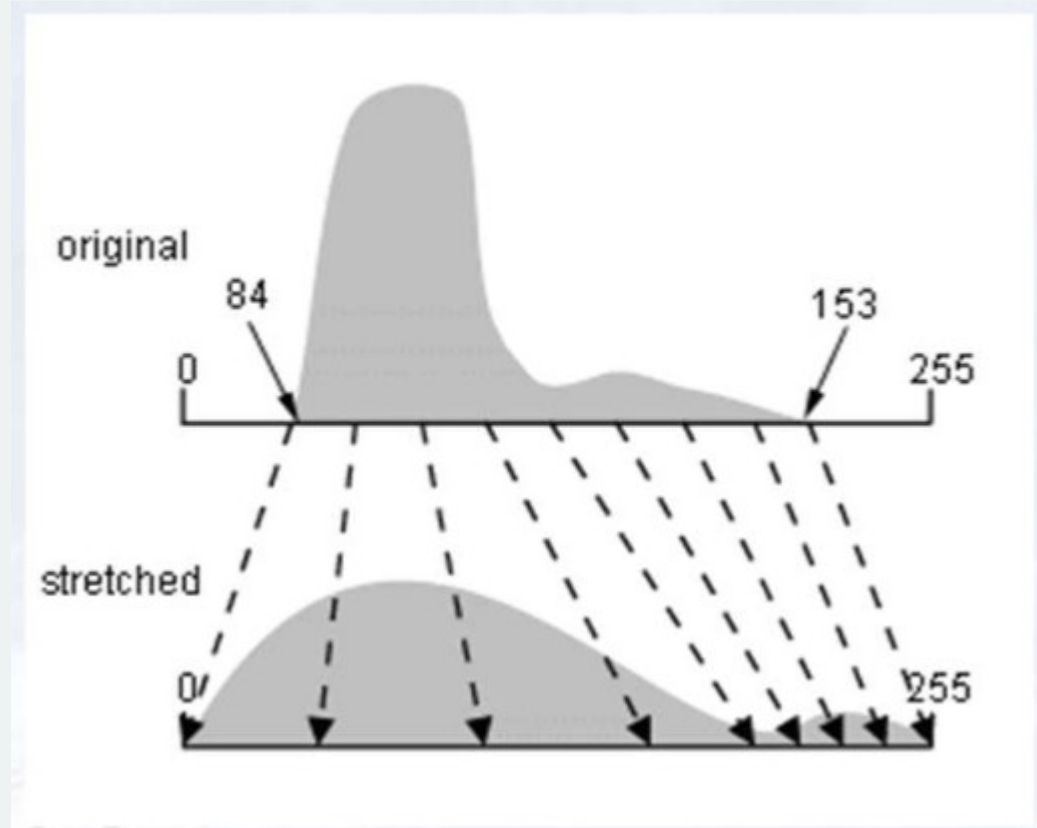
Contrast stretching.  
(a) Piecewise linear transformation function.  
(b) A low-contrast electron microscope image of pollen, magnified 700 times.  
(c) Result of contrast stretching.  
(d) Result of thresholding.



Fonte: Gonzalez & Woods (2018).

# Contrast stretching

- Somente realiza um mapeamento dos valores os pixels, aumentando a diferença entre o valor máximo e mínimo de uma imagem;
- Os valores são mapeados usando um modelo 1-1;
- Utilizando um mapeamento reverso, é possível voltar aos valores originais.

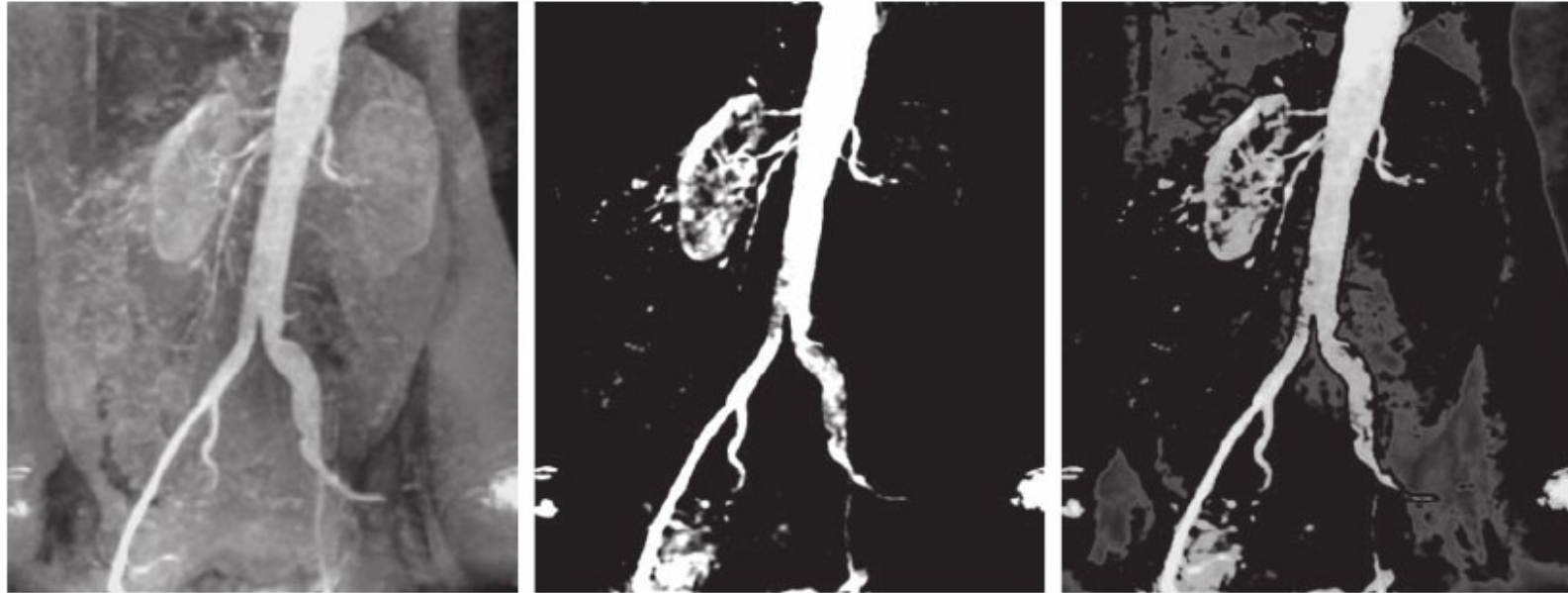


# Intensity-Level Slicing

- **Intensity-Level Slicing** (Corte de Nível de Intensidade) são utilizados em aplicações que querem destacar um intervalo específico de intensidade em imagens
  - Algumas aplicações correspondem ao melhoramento de imagens de satélite (ex.: massas de água, formações rochosas, etc) e correções de imperfeições em imagens de raio-x;
- O método pode ser aplicado de duas maneiras distintas:
  1. Aplicar um valor padrão (ex.: 1) para elementos em faixas de interesse e outro valor (ex.: 0) para demais faixas de valores, produzindo uma imagem binária;
  2. Aumentar (ou reduzir) o brilho de regiões de interesse e manter os demais níveis de intensidades da imagem inalterados.



## Intensity-Level Slicing

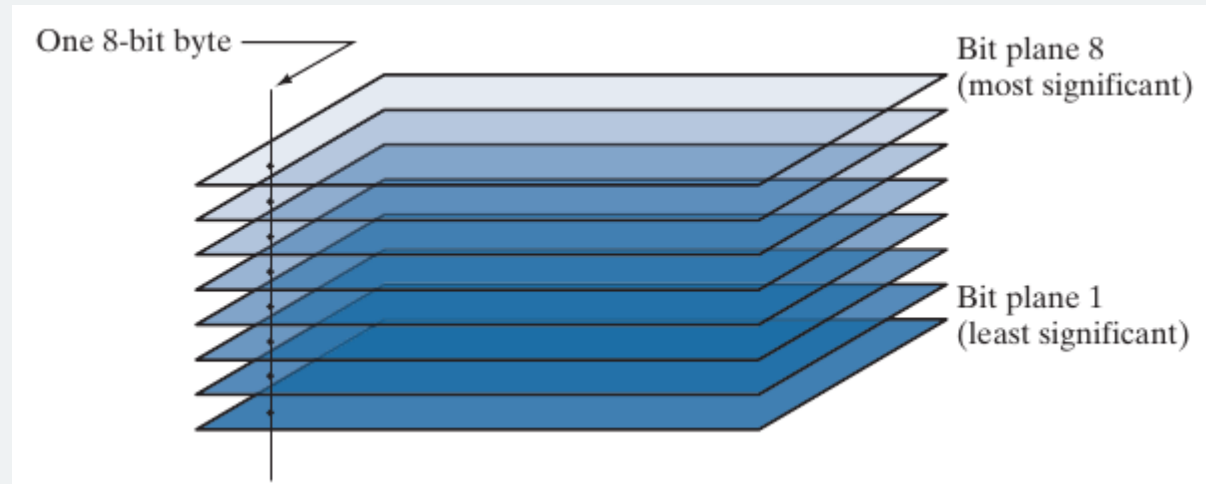


**FIGURE 3.12** (a) Aortic angiogram. (b) Result of using a slicing transformation of the type illustrated in Fig. 3.11(a), with the range of intensities of interest selected in the upper end of the gray scale. (c) Result of using the transformation in Fig. 3.11(b), with the selected range set near black, so that the grays in the area of the blood vessels and kidneys were preserved. (Original image courtesy of Dr. Thomas R. Gest, University of Michigan Medical School.)

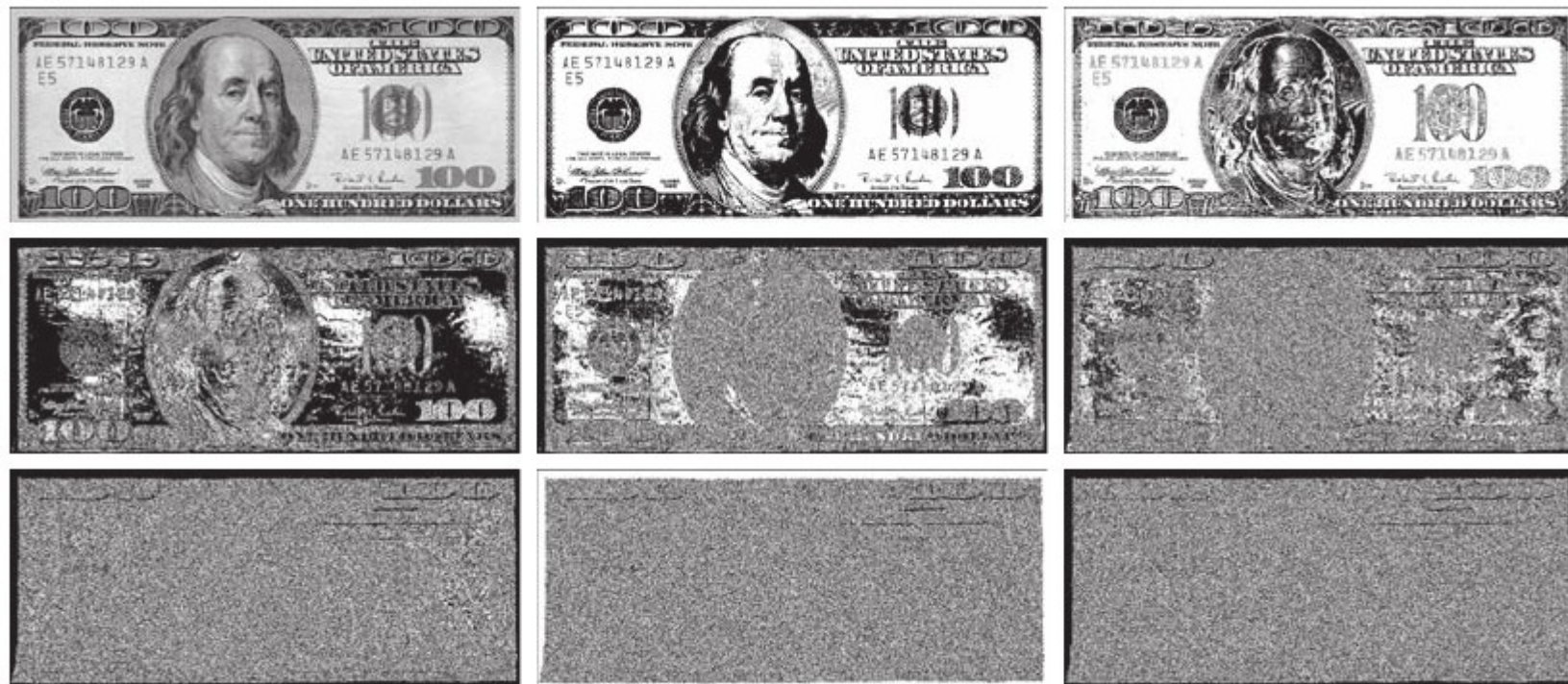


# Bit-Plane Slicing

- No corte por nível do plano de bits (*bit-plane slicing*), ao invés de destacar faixas de nível de intensidade, é possível destacar a contribuição de bits específicos na aparência total da imagem.



## Bit-Plane Slicing

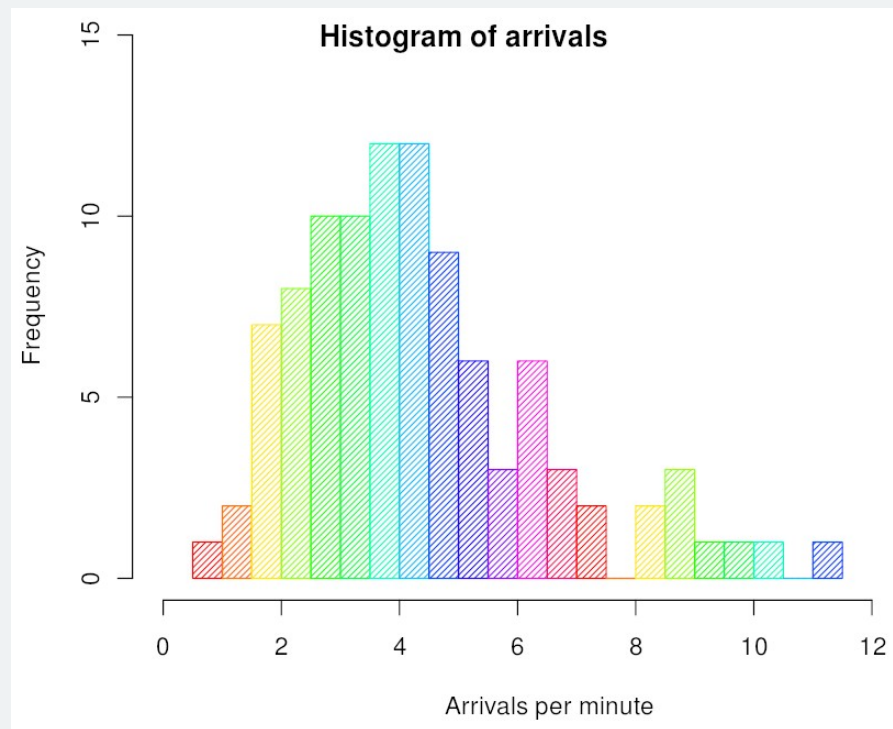


**FIGURE 3.14** (a) An 8-bit gray-scale image of size  $550 \times 1192$  pixels. (b) through (i) Bit planes 8 through 1, with bit plane 1 corresponding to the least significant bit. Each bit plane is a binary image..

# Processamento de Histograma

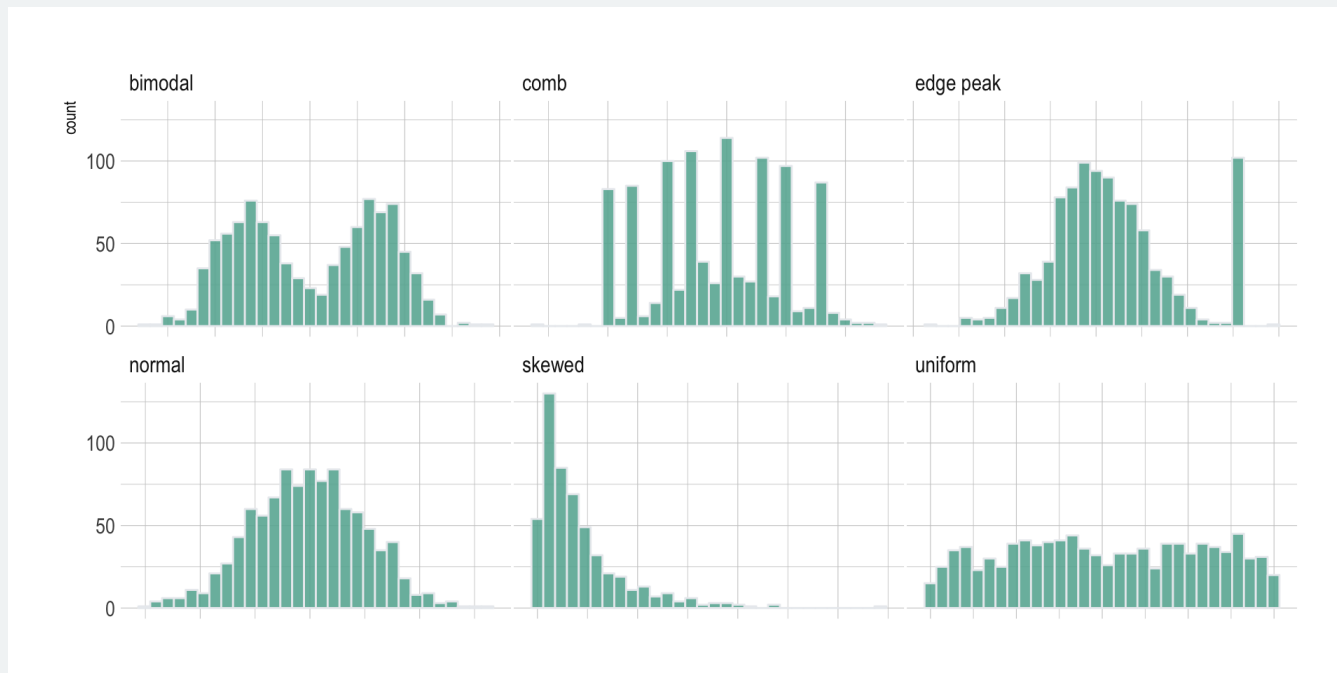
# Histogramas

- **Histograma** (ou distribuição de frequências) é uma representação gráfica de um conjunto de dados tabulado e dividido em classes
  - A base de cada retângulo representa uma determinada classe;
  - A altura dos retângulos indicam a frequência absoluta com que o valor da classe ocorre no conjunto de dados.



# Histogramas - Definição

- Histogramas podem ter formas diferentes de acordo com a distribuição dos dados.



# Histogramas - Definição

- Considere que  $r_k$ , para  $k = 0, 1, 2, \dots, L-1$ , denota a intensidade de uma imagem digital de  $L$  níveis,  $f(x, y)$ .
  - Um histograma não normalizado é definido como

$$h(r_k) = n_k \quad \text{for } k = 0, 1, 2, \dots, L-1$$

- onde  $n_k$  é o número de pixels em  $f$  com intensidade  $r_k$  e as subdivisões do histograma são denominadas classes (ou barras do histograma).

# Histogramas - Definição

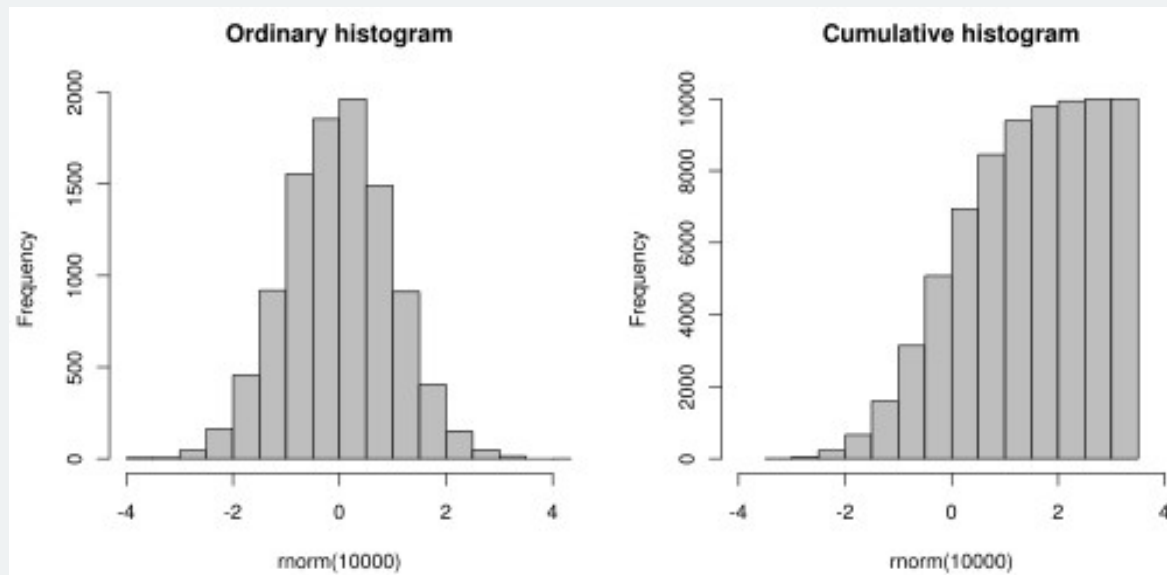
- Considere que  $r_k$ , para  $k=0, 1, 2, \dots, L-1$ , denota a intensidade de uma imagem digital de  $L$  níveis,  $f(x, y)$ .
- Um histograma normalizado é definido como

$$p(r_k) = \frac{h(r_k)}{MN} = \frac{n_k}{MN}$$

- onde  $M$  e  $N$  correspondem ao número de linhas e colunas, respectivamente.

# Histogramas - Definição

- Um **histograma acumulado** (CDF – *cumulative distribution function*) é gerada via uma somatório de função  $m_i$  que conta o número de observações de cada uma das classes disjuntas.



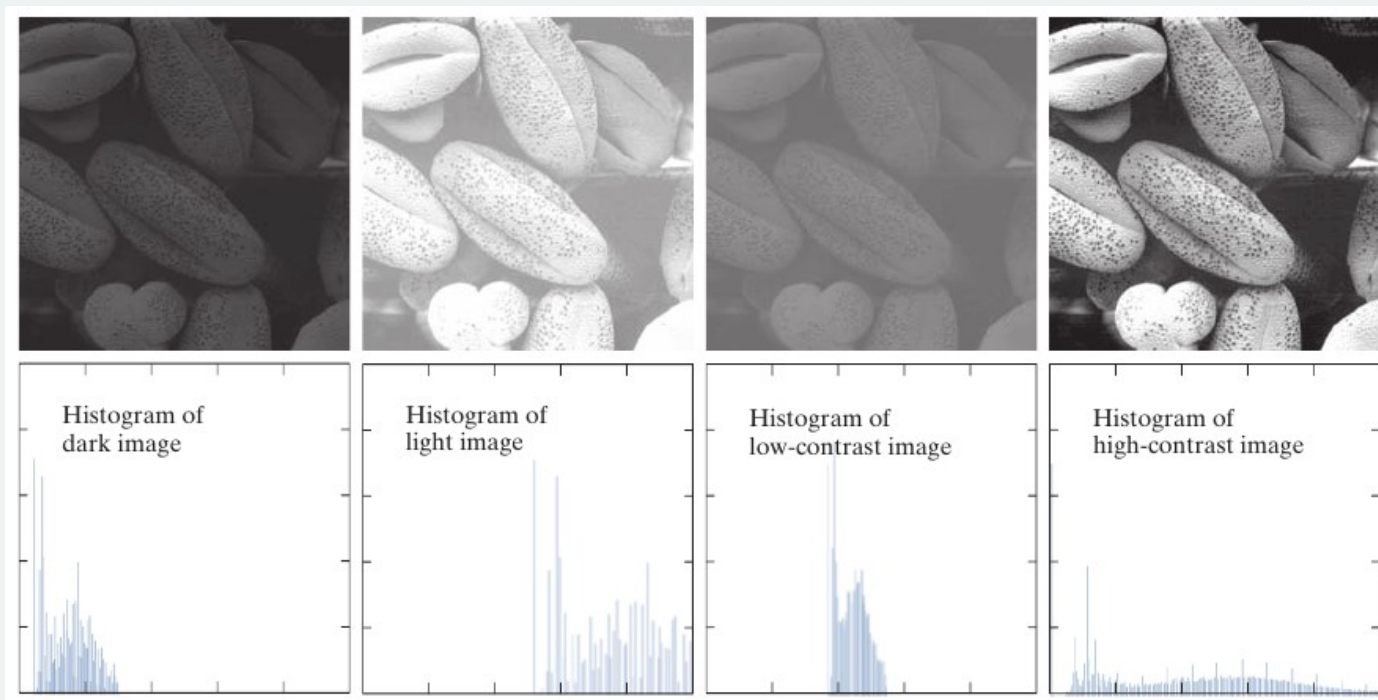


# Histogramas - Definição

- Na maioria dos problemas de PDI, são utilizados histogramas normalizados, correspondentes ao histogramas das imagens
  - Os componentes de  $p(r_k)$  são estimadores das probabilidades de níveis de intensidade ocorrerem em uma imagem;
  - A soma para  $p(r_k)$ , para todos os valores de  $k$ , é sempre igual a 1.
- Histogramas são fáceis de serem computados e simples de serem implementados em hardware, tornando essa técnica popular para processamento de imagens em tempo real.

# Histogramas - Definição

- Histogramas representam informações importantes acerca das imagens:



Fonte: Gonzalez & Woods (2018).

# Histogramas - Definição

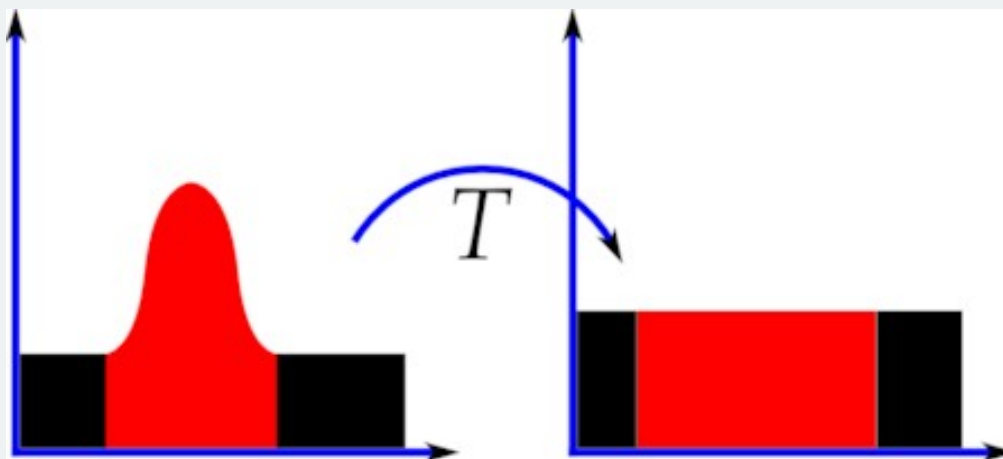
- Podemos perceber na figura anterior que imagens cujos pixels tendem a ocupar toda a faixa de níveis de intensidade tendem a ter distribuição uniforme de valores no histograma
  - Essas imagens apresentam diferentes tons de cinza;
  - Imagens escuras, claras ou de baixo contraste (lavadas), tendem a ter histogramas concentrados em regiões específicas.

# Equalização de Histograma

- A **Equalização de Histograma** é uma operação para alterar a distribuição dos valores de ocorrência em um histograma
  - A operação busca melhorar o contraste, uniformizando o histograma da imagem de forma automática;
  - Ocorre um aumento da discriminação visual entre os tons de cinza (ou as cores) da imagem, fazendo com que as informações sejam mais facilmente analisadas;
  - Os níveis de cinza existentes são redistribuídos e mapeados para novos níveis;
  - Os picos e vales são mantidos, porém são deslocados após a equalização;

# Equalização de Histograma

- A **equalização de histograma** busca produzir melhoramento na imagem pelo realce do contraste, facilitando a obtenção subjetiva de informações pelo olho humano
  - A operação é frequentemente utilizada com etapa de pré-processamento em aplicações de reconhecimento de padrões.



# Equalização de Histograma x Contrast Stretching

- **Contrast Stretching**
  - Realiza um mapeamento dos valores os pixels, aumentando o contraste;
  - Os valores são mapeados usando um modelo 1-1;
- **Equalização de Histograma**
  - Mesma função do alongamento de contraste, porém utiliza a distribuição de probabilidades;
  - Não é possível retornar aos valores originais, após a realização do procedimento.

# Processo de Equalização de Histograma

- A equalização de histograma, para tons de cinza, pode ser feita utilizando o seguinte procedimento:
  1. Calcular histograma:  $h(r_k)$ , para  $k \in [0, L-1]$ ;
  2. Calcular histograma acumulado (CDF):  $\text{cdf}(r_k) = \sum h(r_j)$ , para  $j = 0, 1, \dots, k$ ;
  3. Normalizar o histograma acumulado na faixa  $[0, L]$ :  $ha(r_k) = \text{cdf}(r_k) / \text{cdf}(r_L)$ ;
  4. Transformar a imagem:  $s = ha(r_k)$ ,  $k \in [0, L-1]$ .

## Equalização de Histograma (Gonzalez & Woods)

- Considere o processamento de uma imagem de  $64 \times 64$  pixels, com 3 bits, cuja distribuição está descrita na tabela abaixo.

Histogr.	Contador	Probabilidade
0	790	0,19
1	1023	0,25
2	850	0,21
3	656	0,16
4	329	0,08
5	245	0,06
6	122	0,03
7	81	0,02

Fonte: Próprio autor, adaptado de Gonzalez (2018).



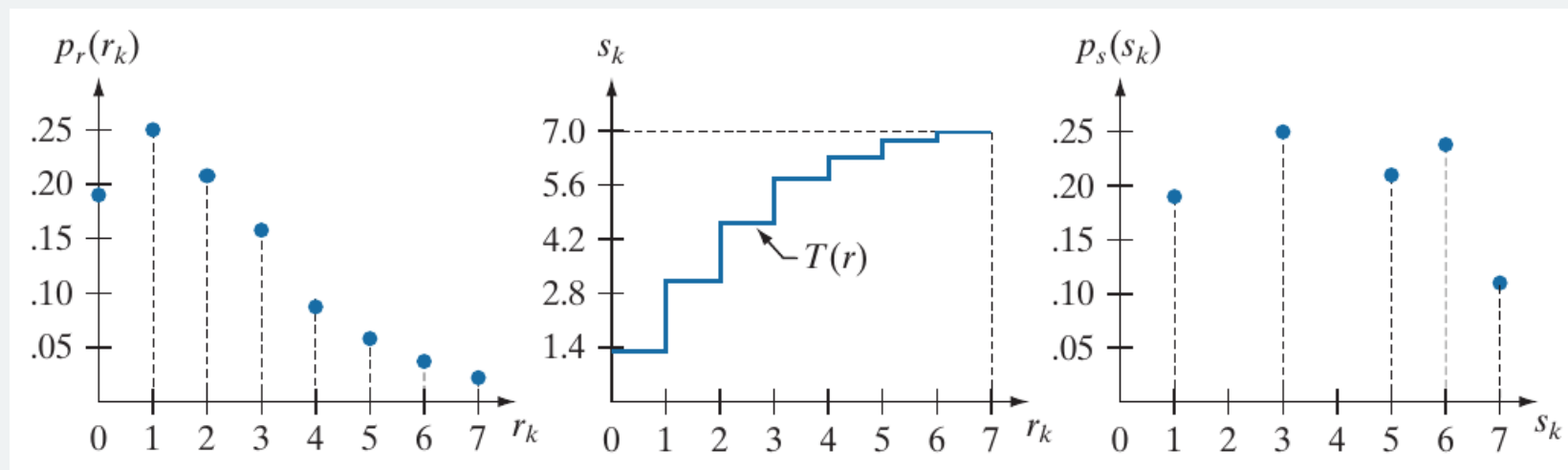
## Equalização de Histograma (Gonzalez & Woods)

- Podemos construir a seguinte tabela:

Histogr.	Contador	Probabilidade	CDF	Nível Saída ( $7 \times \text{CDF}$ )	$\text{NSA}_x (\approx \text{NS})$
0	790	0,19	0,19	1,33	1
1	1023	0,25	0,44	3,08	3
2	850	0,21	0,65	4,55	5
3	656	0,16	0,81	5,67	6
4	329	0,08	0,89	6,23	6
5	245	0,06	0,95	6,65	7
6	122	0,03	0,98	6,86	7
7	81	0,02	1,00	7,00	7

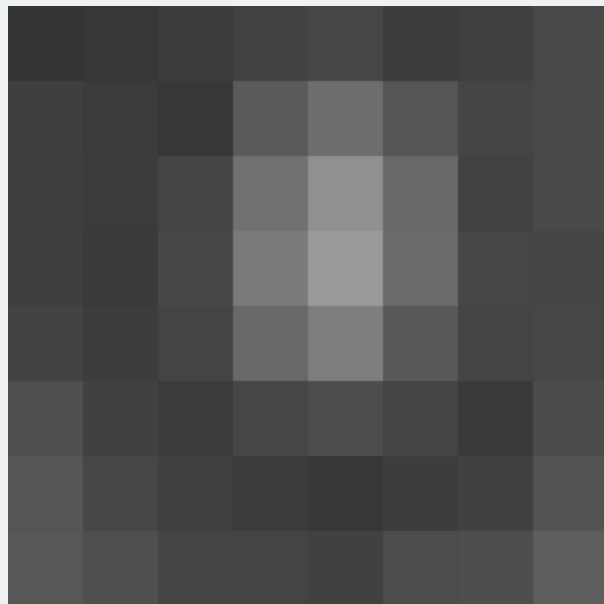
## Equalização de Histograma (Gonzalez & Woods)

- O histograma original e a versão equalizada podem ser vistas na imagem abaixo
  - A figura central mostra função de transformação, cumulativa.



## Equalização de Histograma (OpenCV)

- Considere a imagem abaixo, com suas respectivas cores, em tons de cinza.



52	55	61	59	79	61	76	61
62	59	55	104	94	85	59	71
63	65	66	113	144	104	63	72
64	70	70	126	154	109	71	69
67	73	68	106	122	88	68	68
68	79	60	70	77	66	58	75
69	85	64	58	55	61	65	83
70	87	69	68	65	73	78	90

# Equalização de Histograma (OpenCV)

1. Calcular histograma:  $h(r_k)$ , para  $k \in [0, L-1]$ ;

Value	Count	Value	Count	Value	Count	Value	Count	Value	Count
52	1	64	2	72	1	85	2	113	1
55	3	65	3	73	2	87	1	122	1
58	2	66	2	75	1	88	1	126	1
59	3	67	1	76	1	90	1	144	1
60	1	68	5	77	1	94	1	154	1
61	4	69	3	78	1	104	2		
62	1	70	4	79	2	106	1		
63	2	71	2	83	1	109	1		

## Equalização de Histograma (OpenCV)

2. Calcular histograma acumulado:  $\text{cdf}(r_k) = \sum h(r_j)$ , para  $j = 0, 1, \dots, k$ ;

v	cdf(v)	eq(v)	v	cdf(v)	eq(v)	v	cdf(v)	eq(v)	v	cdf(v)	eq(v)
52	1	0	66	24	93	77	45	178	106	58	231
55	4	12	67	25	97	78	46	182	109	59	235
58	6	20	68	30	117	79	48	190	113	60	239
59	9	32	69	33	130	83	49	194	122	61	243
60	10	36	70	37	146	85	51	202	126	62	247
61	14	53	71	39	154	87	52	206	144	63	251
62	15	57	72	40	158	88	53	210	154	64	255
63	17	65	73	42	166	90	54	215			
64	19	73	75	43	170	94	55	219			
65	22	85	76	44	174	104	57	227			

## Equalização de Histograma (OpenCV)

3. Normalizar o histograma acumulado na faixa  $[0, L]$ :  $ha(r_k) = ha(r_k) / ha(r_L)$ ;
- O valor mínimo da imagem é 52 e o máximo é 154;
  - O valor do histograma acumulado (CDF) é 64, o que corresponde ao número de *pixels* da imagem;
  - O intervalo do histograma deve ser  $[0, 255]$ ;
  - O cálculo é dado pela fórmula:

$$h(v) = \text{round} \left( \frac{\text{cdf}(v) - \text{cdf}_{\min}}{(M \times N) - \text{cdf}_{\min}} \times (L - 1) \right)$$

## Equalização de Histograma (OpenCV)

3. Normalizar o histograma acumulado na faixa  $[0, L]$ :  $ha(r_k) = ha(r_k) / ha(r_L)$ ;

- *Considere:*
  - $M = 8, N = 8, L = 256$ ;
  - $cdf_{min} = 1$  (frequência acumulada do 52);
  - $v = 78$  (número arbitrário a ser convertido);
  - $cdf(v) = 46$  (frequência acumulada para  $v=78$ );

$$h(78) = \text{round} \left( \frac{46 - 1}{63} \times 255 \right) = \text{round} (0.714286 \times 255) = 182$$

## Equalização de Histograma (OpenCV)

3. Normalizar o histograma acumulado na faixa  $[0, L]$ :  $ha(r_k) = ha(r_k) / ha(r_L)$ ;
- O valor mínimo da imagem é 52 e o máximo é 154;
  - O valor do histograma acumulado (CDF) é 64, o que corresponde ao número de *pixels* da imagem;
  - O intervalo do histograma deve ser  $[0, 255]$ ;
  - O cálculo é dado pela fórmula:

$$h(v) = \text{round} \left( \frac{\text{cdf}(v) - \text{cdf}_{\min}}{(M \times N) - \text{cdf}_{\min}} \times (L - 1) \right)$$

- onde  $\text{cdf}_{\min}$  é o menor valor acumulado,  $\text{cdf}(v)$  é o valor que se deseja equalizar,  $M$  corresponde ao número de linhas,  $N$  corresponde ao número de colunas e  $L$  é a intensidade máxima de pixels na nova imagem.



## Equalização de Histograma (OpenCV)

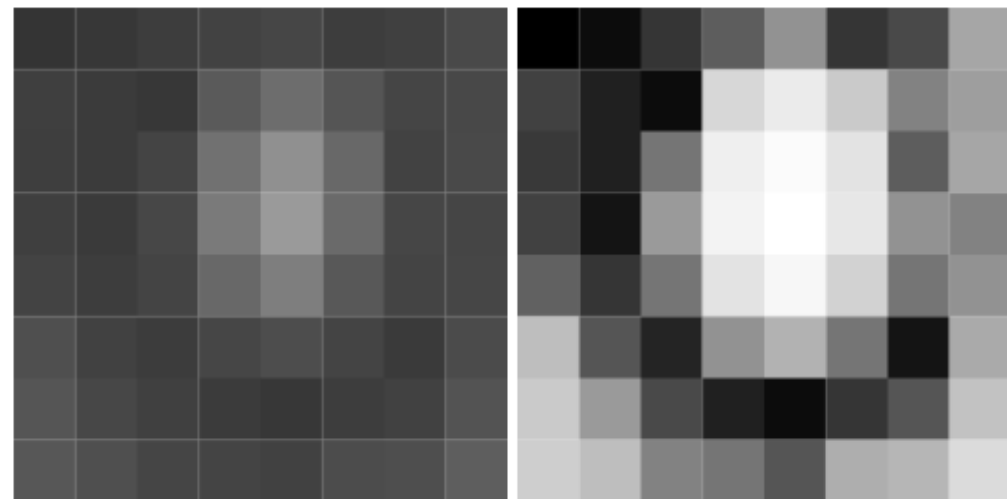
4. Transformar a imagem:  $s = ha(r_k), k \in [0, L-1]$ .
- A imagem com seus respectivos tons de cinza é:

0	12	53	32	190	53	174	53
57	32	12	227	219	202	32	154
65	85	93	239	251	227	65	158
73	146	146	247	255	235	154	130
97	166	117	231	243	210	117	117
117	190	36	146	178	93	20	170
130	202	73	20	12	53	85	194
146	206	130	117	85	166	182	215

Fonte: Wikipedia (2023).

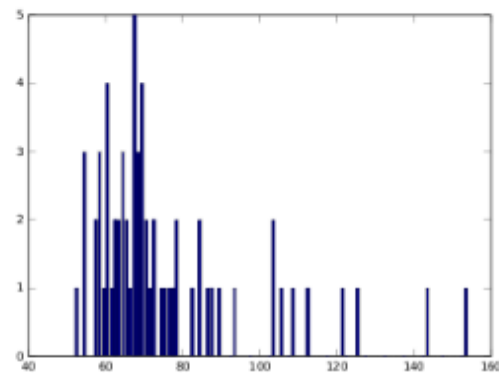
# Equalização de Histograma

4. Transformar a imagem:  $s = ha(r_k), k \in [0, L-1]$ .
- O resultado final da equalização de histograma pode ser visto na imagem ao lado;
  - É possível observar que os contornos da imagem são mais fáceis de serem observados que aqueles existentes na imagem original.

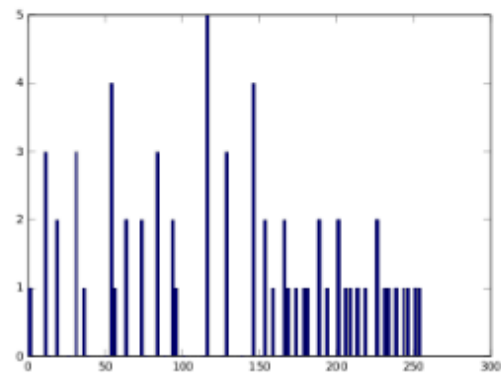


Original

Equalized



Histogram of Original image



Histogram of Equalized image

## Eq. Histograma

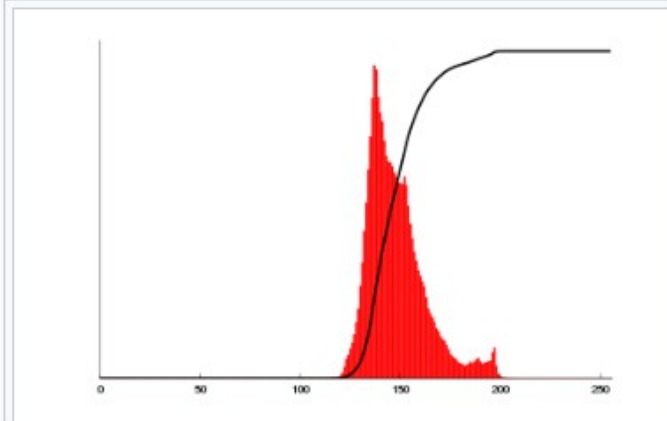
- A imagem ao lado contém um exemplo de equalização de histograma
- É possível visualizar claramente o aumento do contraste, tornando a imagem mais fácil de ser observada.



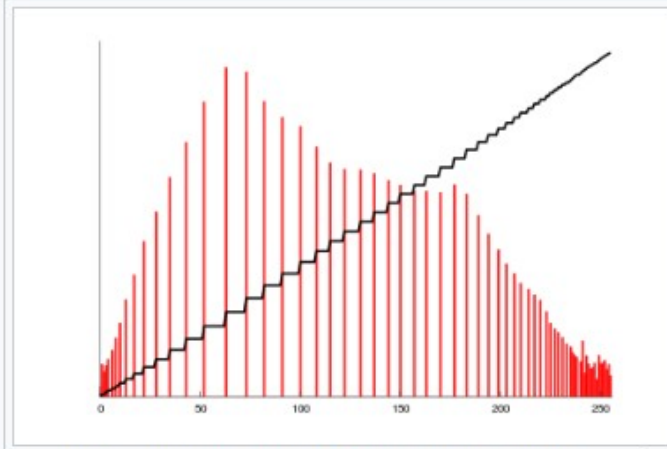
Before Histogram Equalization



After Histogram Equalization



Corresponding histogram (red) and cumulative histogram (black)



Corresponding histogram (red) and cumulative histogram (black)



# Especificação de Histograma

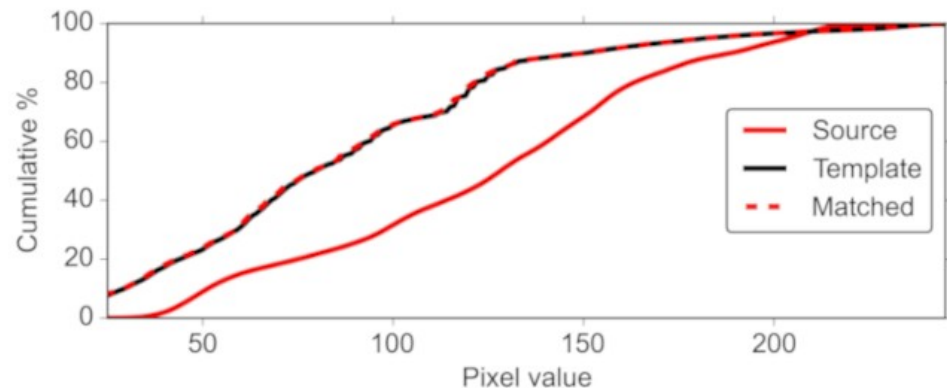
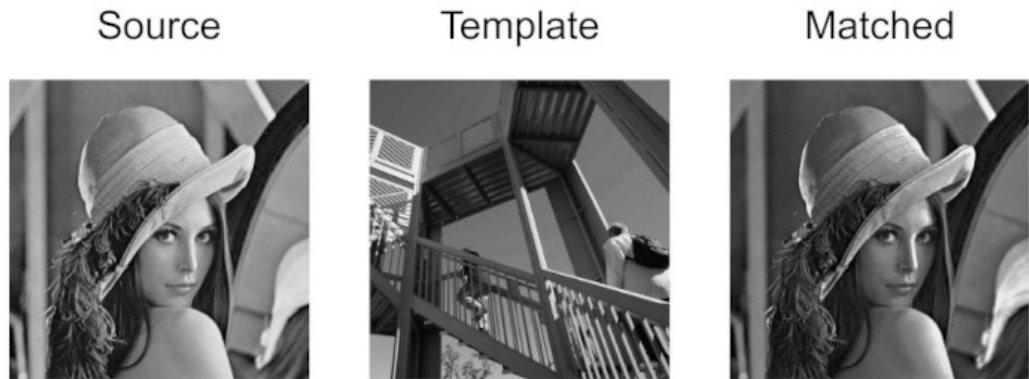
- **Histogram Matching** ou **especificação de histograma** (**histogram specification**) é a transformação adotada para que uma imagem corresponda a um determinado tipo (forma) de histograma
  - Transformações automáticas podem não ser indicados para situações onde é desejado um padrão específico para a nova imagem;
  - Pode-se optar por realçar pixels claros ou escuros, por exemplo, o que não pode ser feito automaticamente com equalização de histograma;
- Equalização de Histograma pode ser considerada um caso especial de histogram matching, onde o histograma especificado é uma distribuição uniforme.

# Especificação de Histograma

- Histogram Matching pode ser utilizado para calibração de sensores de detecção de imagens
  - Dois sensores podem ter comportamentos diferentes quando submetidos a uma mesma iluminação;
  - Uma imagem obtida por um sensor A pode ser utilizada para calibração de sensor B, de modo que o sensor B produza imagens semelhantes àsquelas geradas com auxílio do sensor A;
  - Esse procedimento é especialmente útil para imagens médicas.
  - O procedimento também pode ser útil para sensores que são submetidos a diferentes condições climáticas (ex.: carros autônomos, imagens de satélite, etc).

# Especificação de Histograma

- A imagem abaixo contém um exemplo de especificação de histograma
  - Uma imagem de entrada é submetida a um histograma de um template;
  - A imagem de saída reproduz o mesmo padrão do template.



# Especif. de Histograma

- A imagem ao lado contém um exemplo de especificação de histograma, para uma imagem de satélite
- Observe que os resultados são mais claros, com favorecimento da área de água.

Fonte: Sadeckgeo (2020).

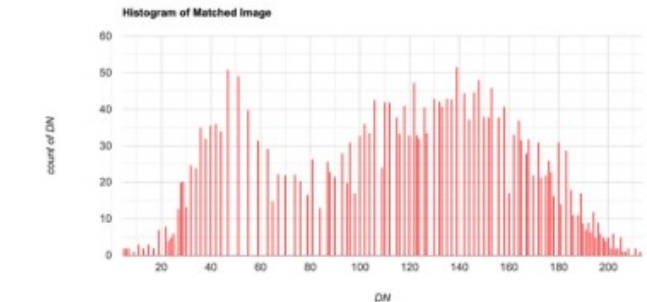
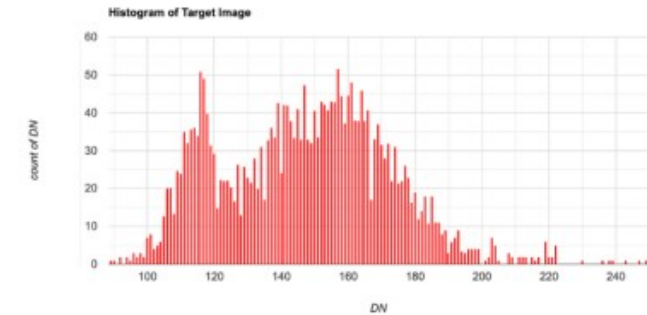
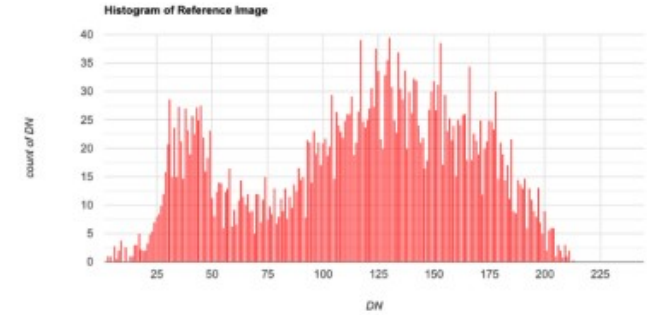
Reference Image



Target Image



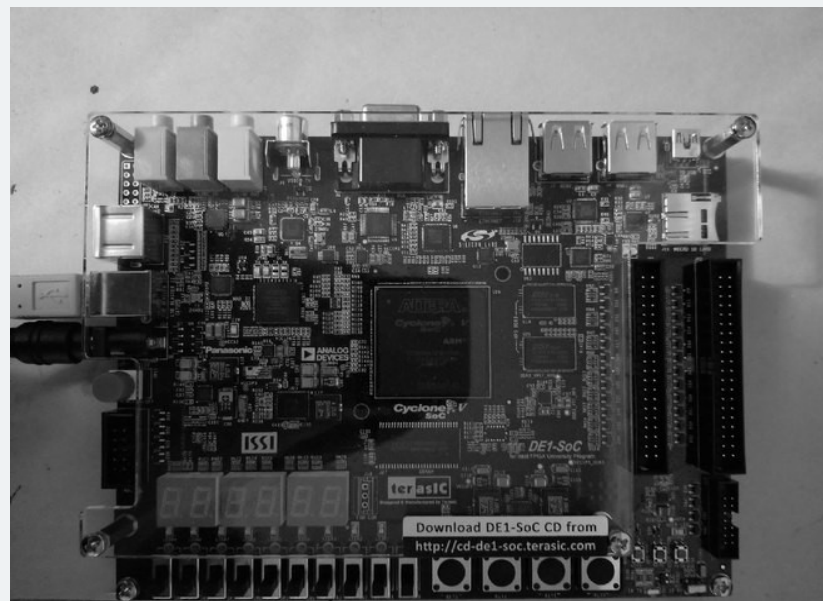
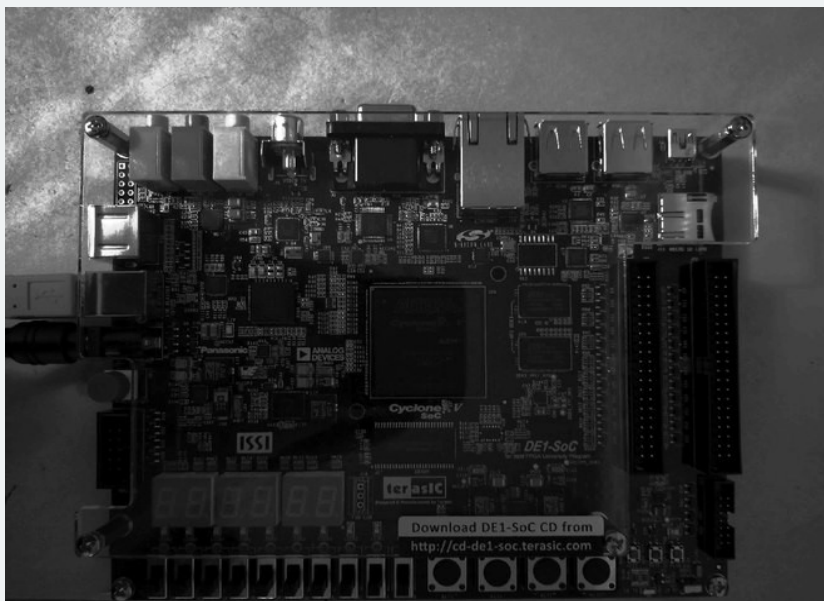
Matched Image





# Especificação de Histograma

- A imagem abaixo foi manipulada para que o histograma favoreça os pixels de tons de cinza de intensidade mais baixa.





## Especificação de Histograma – Procedimento (G&W)

- Considere o processamento de uma imagem de  $64 \times 64$  pixels, com 3 bits, cuja distribuição está descrita na tabela abaixo.

Histogr.	Contador	Probabilidade
0	790	0,19
1	1023	0,25
2	850	0,21
3	656	0,16
4	329	0,08
5	245	0,06
6	122	0,03
7	81	0,02

Fonte: Próprio autor, adaptado de Gonzalez (2018).

## Especificação de Histograma - Procedimento (G&W)

- Podemos construir a seguinte tabela:

Histogr.	Contador	Probabilidade	CDF	Nível Saída (7× CDF)	NSA <sub>x</sub> (≈ NS)
0	790	0,19	0,19	1,33	1
1	1023	0,25	0,44	3,08	3
2	850	0,21	0,65	4,55	5
3	656	0,16	0,81	5,67	6
4	329	0,08	0,89	6,23	6
5	245	0,06	0,95	6,65	7
6	122	0,03	0,98	6,86	7
7	81	0,02	1,00	7,00	7

## Especificação de Histograma - Procedimento (G&W)

- Considerando que a imagem de referência tenha o seguinte padrão.

Histogr.	Contador	Probabilidade
0	0	0,00
1	0	0,00
2	0	0,00
3	614	0,15
4	819	0,20
5	1229	0,30
6	819	0,20
7	615	0,15

## Especificação de Histograma - Procedimento (G&W)

- Podemos calcular a seguinte tabela, a partir da especificação:

Histogr.	Contador	Probabilidade	CDF	Nível Saída ( $7 \times \text{CDF}$ )	$\text{NSA}_Y (\approx \text{NS})$
0	0	0,00	0,00	0,00	0
1	0	0,00	0,00	0,00	0
2	0	0,00	0,00	0,00	0
3	614	0,15	0,15	1,05	1
4	819	0,20	0,35	2,45	2
5	1229	0,30	0,65	4,55	5
6	819	0,20	0,85	5,95	6
7	615	0,15	1,00	7,00	7

## Especificação de Histograma - Procedimento (G&W)

- Após a construção das duas tabelas, os valores devem ser mapeados;
- Para isso, devemos realizar a transformação de modo que o valor arredondado do nível de saída em X ( $NSA_x$ ), seja igual ao índice de  $NSA_y$ ;
  - Considerando  $s_x = NSA_x$  e  $s_y = NSA_y$ , temos que  $s_x = I(s_y)$ ;
  - Elementos iguais em  $NSA_x$  e/ou  $NSA_y$  podem ser agrupados;
  - Os valores podem ser aproximados, caso não exista correlação perfeita.

## Especificação de Histograma - Procedimento (G&W)

- Após a construção das duas tabelas, os valores devem ser mapeados.

Histogr.	NSA <sub>x</sub>	NSA <sub>y</sub>
0	1	0
1	3	0
2	5	0
3	6	1
4	6	2
5	7	5
6	7	6
7	7	7

NSA <sub>x</sub>	→	H(NSA <sub>y</sub> )
1	→	3
3	→	4
5	→	5
6	→	6
7	→	7

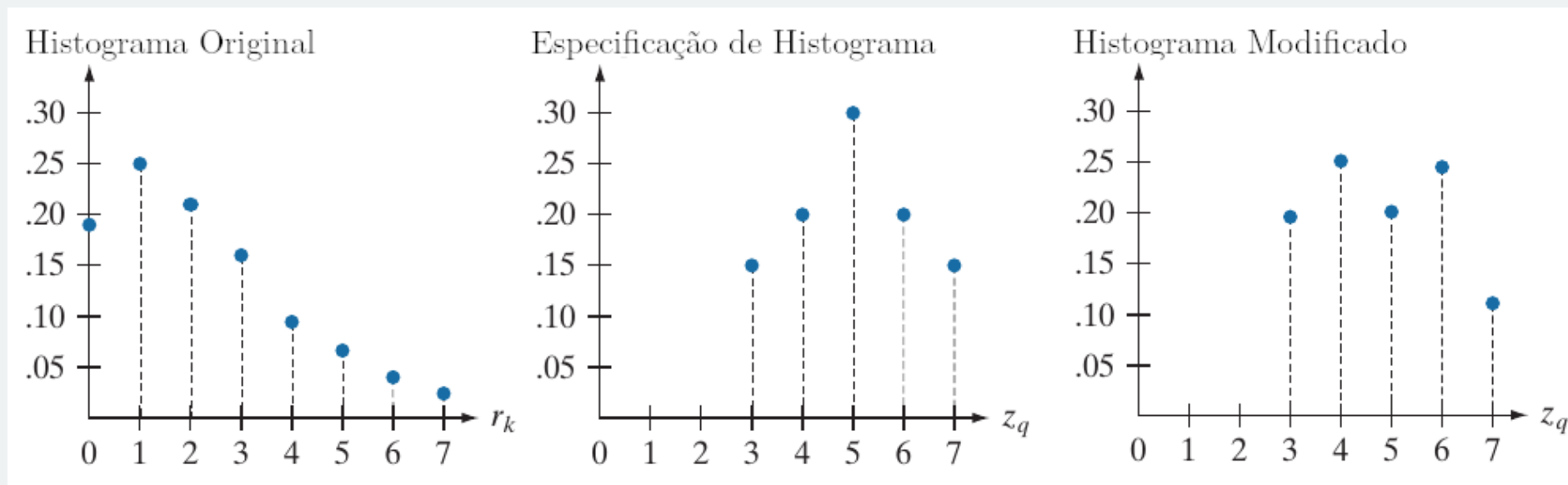
## Especificação de Histograma - Procedimento (G&W)

- Conforme podemos observar, a correlação entre as tabelas não é perfeita.

Histogr.	Contador	Probabilidade
0	0	0,00
1	0	0,00
2	0	0,00
3	0,15	0,19
4	0,20	0,25
5	0,30	0,21
6	0,20	0,24
7	0,15	0,11

## Especificação de Histograma - Procedimento (G&W)

- O histograma original, o histograma especificado e o resultado da transformação estão disponíveis na imagem abaixo.



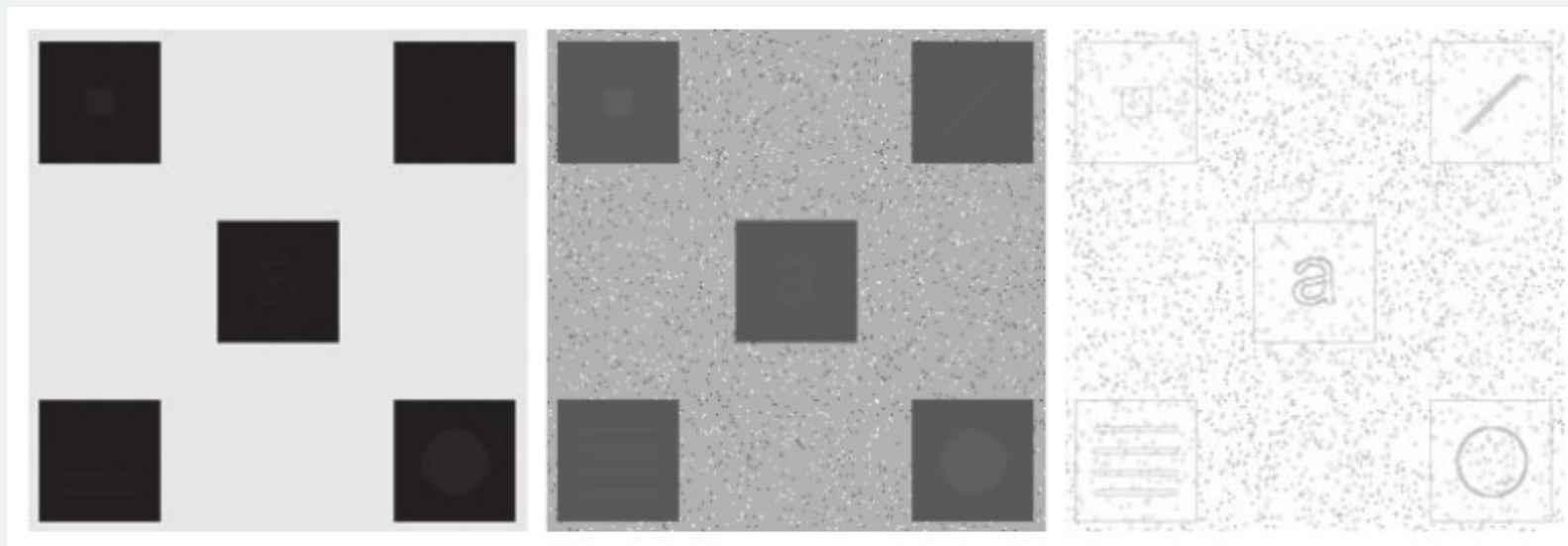


## Especificação local de histograma

- A **especificação de histograma** podem ser feita para **regiões locais** da imagem
  - Até o momento, os exemplos vistos buscaram melhoramento global das imagens;
  - No entanto, apenas partes das imagens podem se ressaltadas;
  - Outro mecanismo seria atualizar partes de uma imagem com um determinado padrão, adicionando um segundo padrão para outros segmentos da imagem;
  - Tal procedimento é comum para melhoramento de partes específicas das imagens.

## Especificação local de histograma

- A imagem abaixo mostra a diferença da especificação global do histograma em relação à **especificação local**, aplicada em áreas de interesse.
- Observe que áreas de interesse tornam-se mais visíveis na última imagem.



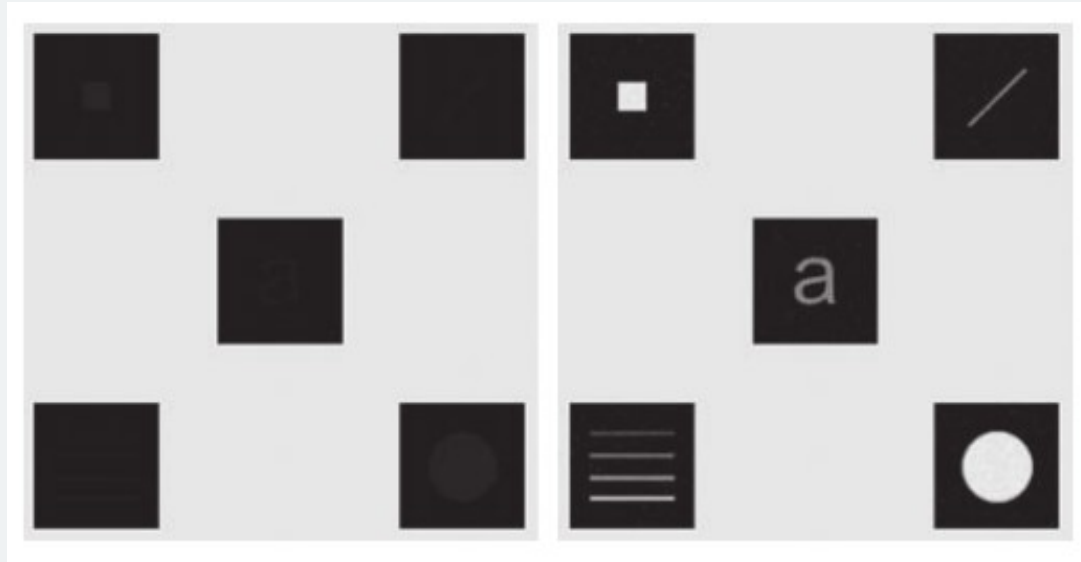
Fonte: Gonzalez & Woods (2018).

# Melhoria de imagens usando estatísticas de histogramas

- **Informações estatísticas de histogramas** podem ser utilizadas para melhoramento de imagens
  - Informações de média global e variância (medida da dispersão, que mostra o quanto cada valor do conjunto está do valor central) podem ser utilizados para realce das imagens;
  - Informações estatísticas podem ser combinadas com especificações locais de histograma, para melhorias localizadas;
  - É possível atualizar áreas escuras, por exemplo, comparando os resultados com a vizinhança local
    - Áreas cujo contraste seja baixo podem sofrer melhoria de contraste, enquanto áreas de contraste adequado, podem ser ignoradas;
    - Tal mecanismo, produz resultados apenas em pequenas áreas da imagem.

# Melhoria de imagens usando estatísticas de histogramas

- Na imagem abaixo, foram utilizadas estatísticas do histograma original para melhoramento da imagem
  - As formas geométricas aparecem nítidas na imagem à direita.



Fonte: Gonzalez & Woods (2018).

# Referências

## Referências

- Rafael C. Gonzalez, Richard E. Woods. **Digital Image Processing – 4th Edition**. 2018. Pearson. ISBN: 978-9353062989.
- Agostinho Brito Jr. **Processamento digital de imagens – Slides de Aula**. 2018.
- Wikipedia Contributors. **Histogram**. 2023. Disponível em: <https://en.wikipedia.org/wiki/Histogram>
- Wikipedia Contributors. **Histogram equalization**. 2023. Disponível em: [https://en.wikipedia.org/wiki/Histogram\\_equalization](https://en.wikipedia.org/wiki/Histogram_equalization)
- From Data to Viz. **Histogram**. 2023. Disponível em: <https://www.data-to-viz.com/graph/histogram.html>

## Referências

- Ali\_M. **Histogram matching of two images in Python 2.x?** 2015. Disponível em: <https://stackoverflow.com/questions/32655686/histogram-matching-of-two-images-in-python-2-x>
- Sadeckgeo. **Histogram Matching in Google Earth Engine.** 2020. Disponível em: <https://spatialthoughts.com/2020/07/14/histogram-matching-gee/>