

Universidade Presbiteriana Mackenzie

Transformações de Intensidade e
Filtragem Espacial

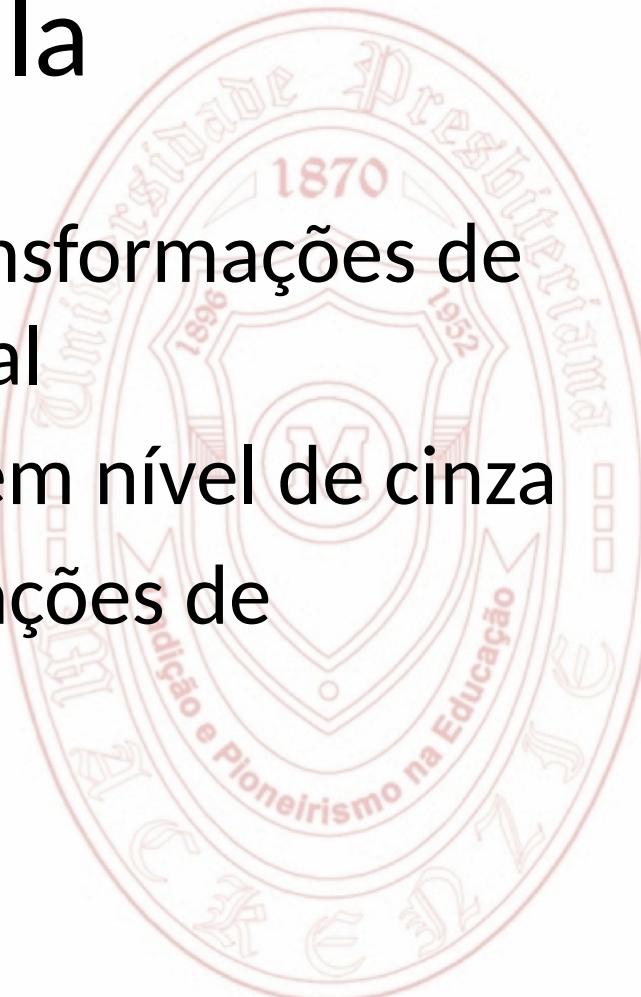
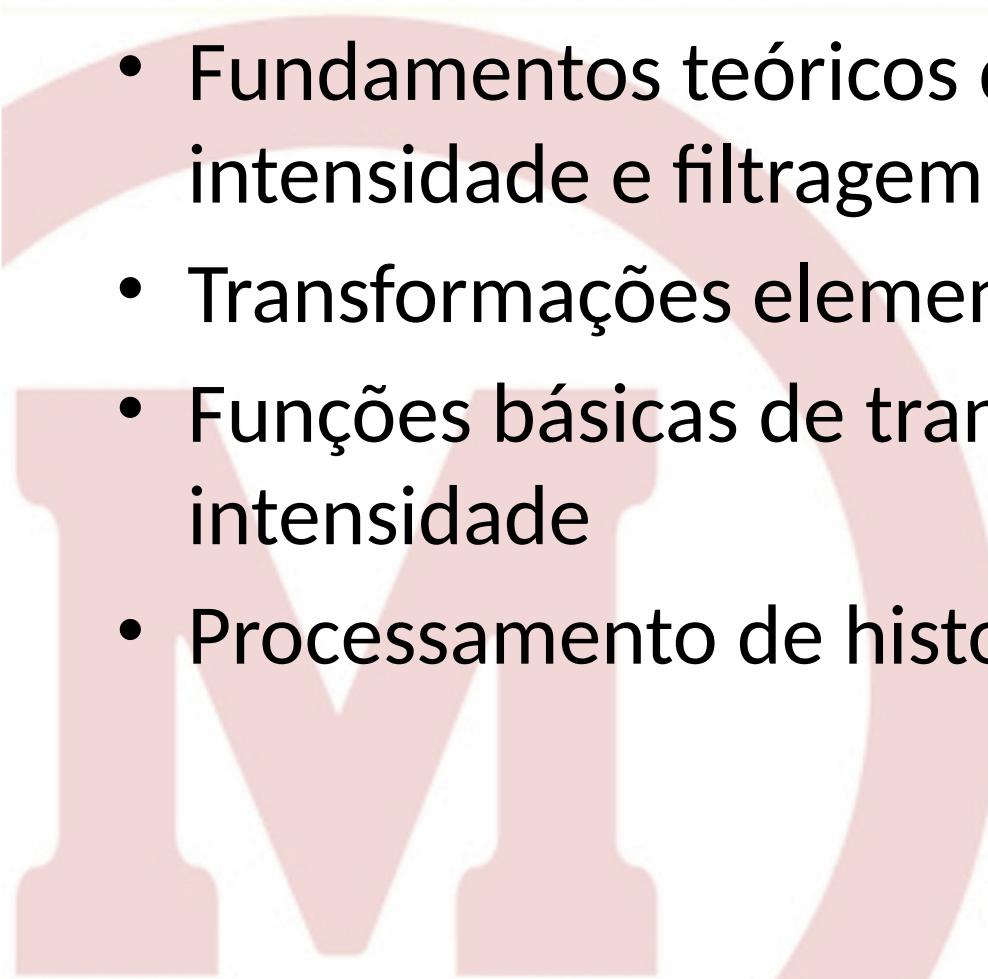
Processamento Digital de Imagens

Prof. Mário O. de Menezes
Slides cedidos pelo Prof. Laercio Cruvinel

Faculdade de Computação e Informática

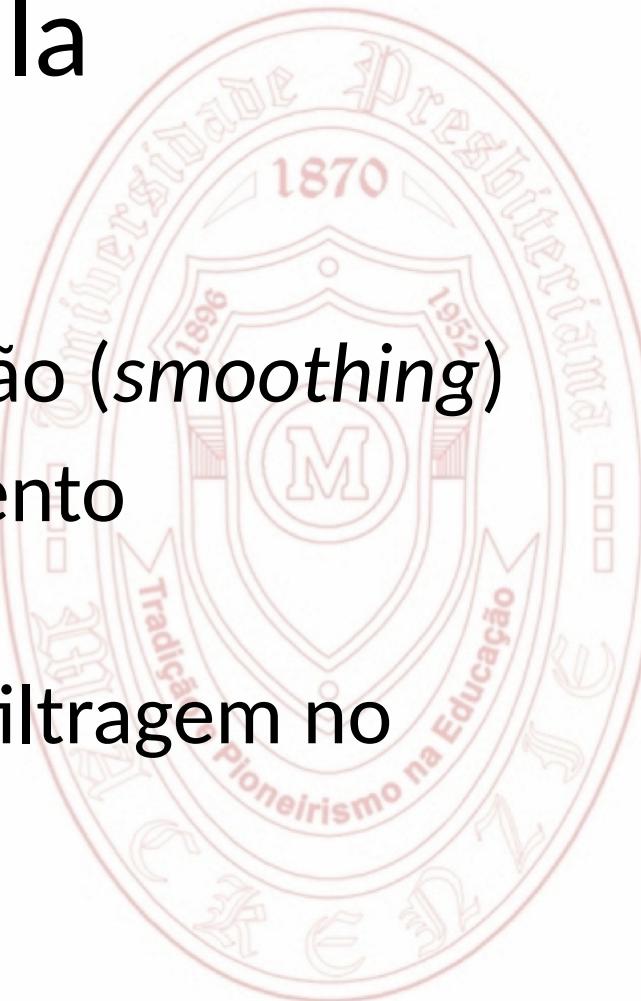
Tópicos da Aula

- Fundamentos teóricos das transformações de intensidade e filtragem espacial
- Transformações elementares em nível de cinza
- Funções básicas de transformações de intensidade
- Processamento de histograma



Tópicos da Aula

- Filtragem no domínio espacial
- Filtragem espacial de suavização (*smoothing*)
- Filtragem espacial de aguçamento (*sharpening*)
- Restauração de imagens pela filtragem no domínio espacial



Fundamentos Teóricos

- As transformações de intensidade e filtragem espacial são realizadas no **domínio espacial**
 - A expressão se refere ao próprio plano da imagem
- Os métodos de processamento de imagens no domínio espacial realizam a **manipulação direta de pixels** em uma imagem digital
 - No próximo tópico, veremos outras técnicas de manipulação de imagens dentro do **domínio da frequência**

Fundamentos Teóricos

- As técnicas de processamento de imagens no **domínio espacial** são classificadas como:
 - **Transformações de intensidade:** operam individualmente nos *pixels* de uma imagem
 - **Exemplos:** manipulação de contraste, limiarização de imagens, etc...
 - **Filtragem espacial:** operam na vizinhança de cada *pixel* de uma imagem
 - **Exemplos:** realce de imagens, detecção de bordas, etc...

Fundamentos Teóricos

- Fundamentos do domínio espacial
 - O domínio espacial é o **plano** que contém os *pixels* de uma imagem digital
 - Em geral, técnicas de processamento de imagens no domínio espacial são **computacionalmente mais eficientes** e requerem **menos recursos de processamento** para serem realizadas
 - Em comparação com a maioria das técnicas de processamento de imagens no domínio da frequência

Fundamentos Teóricos

- Fundamentos do domínio espacial
 - Os **processos no domínio espacial** podem ser **expressos** pela seguinte equação:
$$g(x, y) = T[f(x, y)]$$
 - Onde:
 - $f(x, y)$: a imagem de entrada
 - $g(x, y)$: a imagem processada de saída
 - T : um operador em f definido em uma vizinhança do ponto (x, y)

Fundamentos Teóricos

- Fundamentos do domínio espacial
 - Os operadores no domínio espacial podem ser utilizados das seguintes formas:
 - **Em uma única imagem:** manipulação de contraste, filtros de detecção de bordas, etc...
 - **Em um conjunto de imagens:** redução de ruídos através da soma de várias imagens ruidosas, etc...
 - O próximo *slide* ilustra um exemplo da aplicação de um operador no domínio espacial em uma única imagem digital (através de uma máscara)

Fundamentos Teóricos

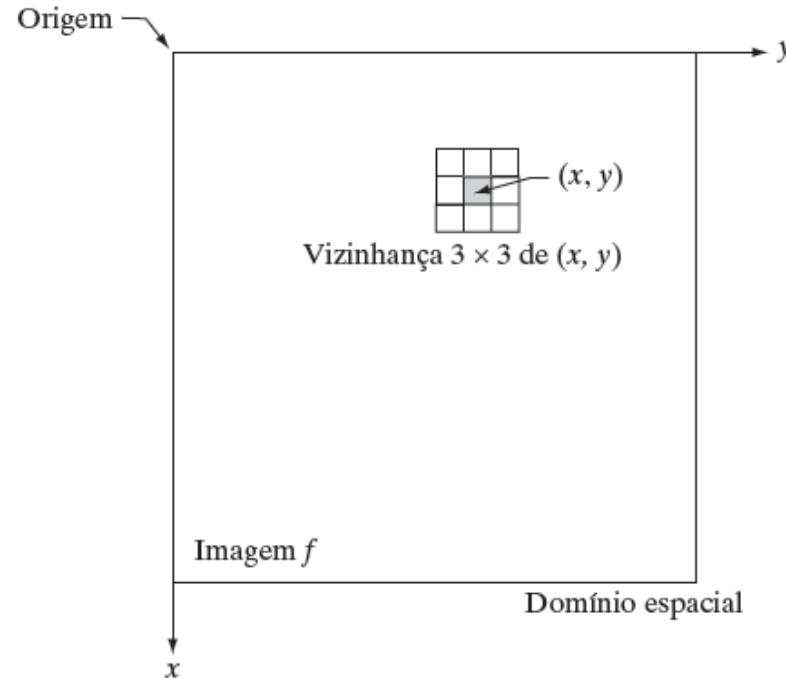
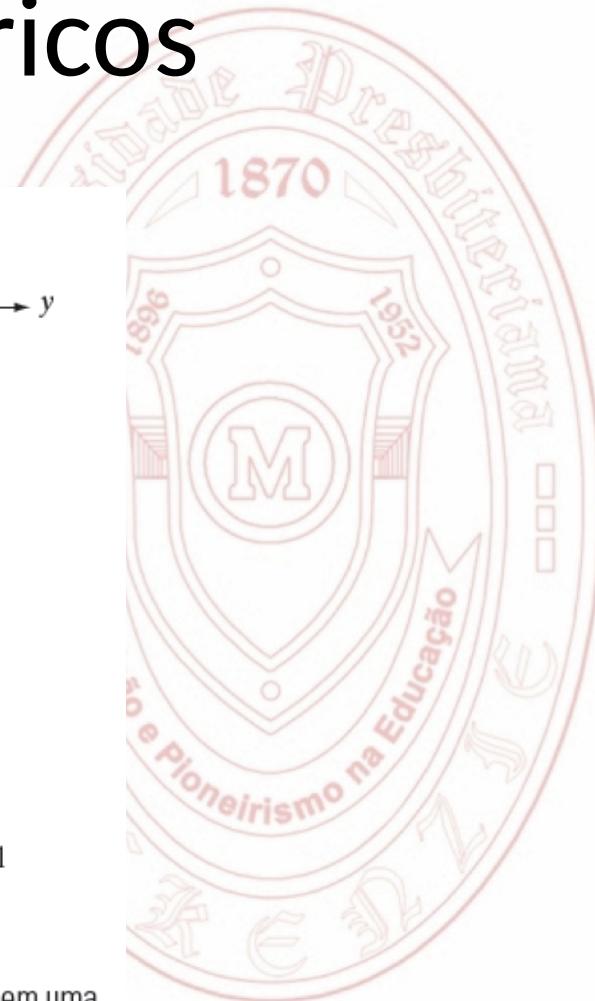


Figura 3.1 Uma vizinhança 3×3 ao redor de um ponto (x, y) em uma imagem no domínio espacial. A vizinhança é movida pixel a pixel na imagem para gerar uma imagem de saída.



Fundamentos Teóricos

- Fundamentos do domínio espacial
 - O processo ilustrado na figura anterior consiste em **mover a origem da vizinhança** entre os *pixels* da imagem e aplicar o operador T nesses *pixels*
 - O processo tem inicio no **canto superior esquerdo** da imagem de entrada e **avança pixel por pixel** da esquerda para a direita e de cima para baixo
 - Quando a vizinhança **se localiza na borda da imagem**, podemos ignorar os vizinhos externos ou preencher a imagem com uma borda com valores pré-definidos
 - A menor vizinhança é formada por uma máscara de 1×1

Fundamentos Teóricos

- Fundamentos do domínio espacial
 - Quando a vizinhança é formada por uma máscara de 1x1, a equação do domínio espacial se torna **uma função de transformação de intensidade**
$$s = T(r)$$
 - Onde, s e r são variáveis que indicam respectivamente a intensidade de g e f em qualquer (x, y)
 - O próximo *slide* ilustra os exemplos de algumas funções de transformação de intensidade

Fundamentos Teóricos

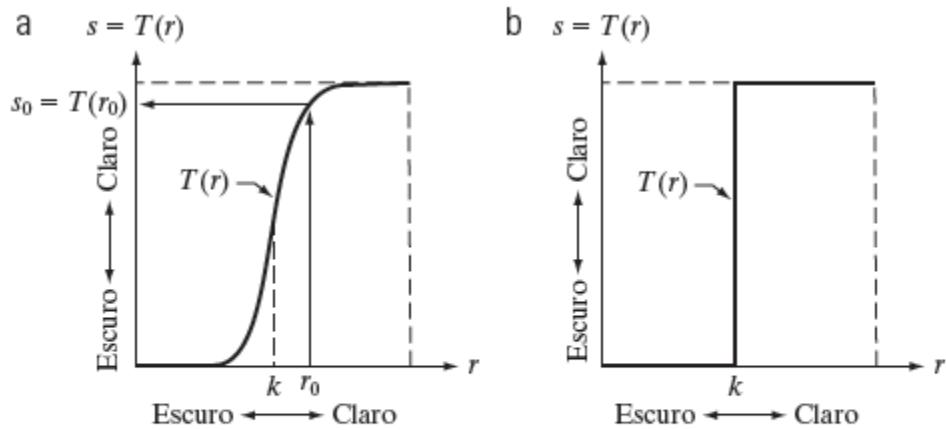


Figura 3.2 Funções de transformação de intensidade. (a) Função de alargamento de contraste. (b) Função de limiarização.

Transformação de Intensidade

- Funções de transformação de intensidade
 - As funções de intensidade estão entre as mais simples técnicas de processamento de imagens
 - Essas funções são classificadas em 3 tipos básicos:
 - **Transformações Lineares:** transformações de negativo e de identidade
 - **Transformações Logarítmicas:** transformações de log e log inverso
 - **Transformações de Potência:** transformações da n – ésima potência e n – ésima raiz

Transformação de Intensidade

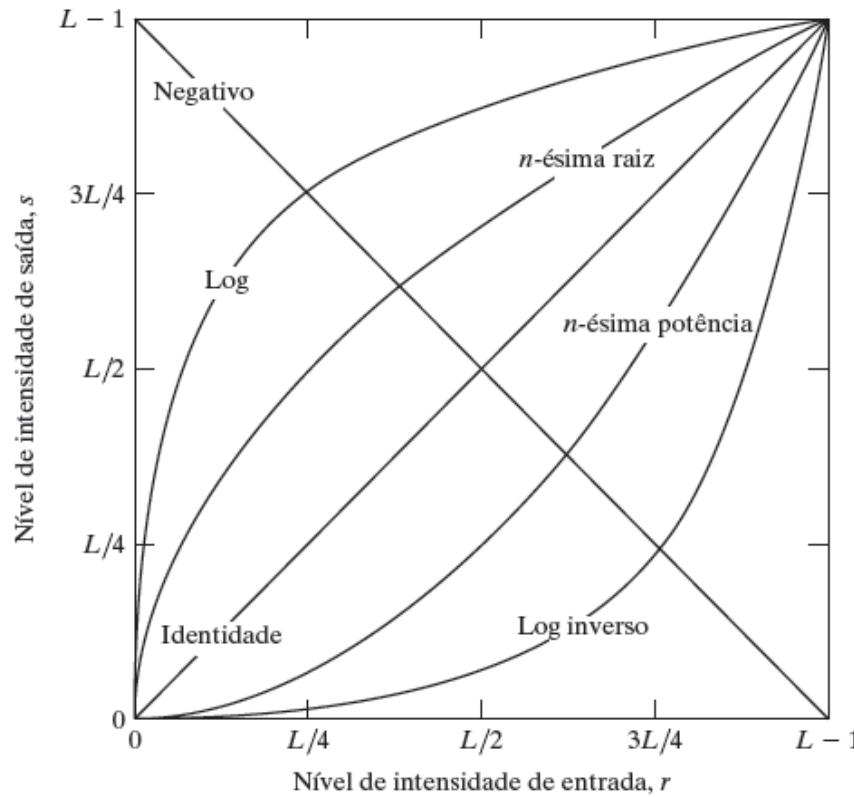


Figura 3.3 Algumas funções básicas de transformação de intensidade. Todas as curvas foram ajustadas para o intervalo mostrado.

Transformação de Intensidade

- Transformações Lineares

- Negativos de Imagem

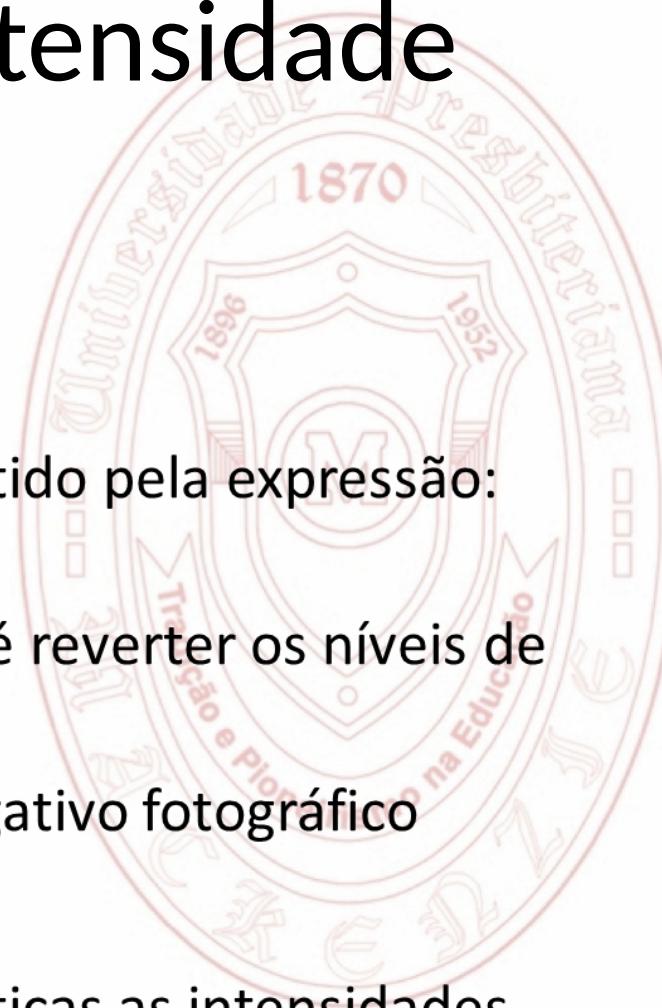
- O negativo de uma imagem é obtido pela expressão:

$$s = L - 1 - r$$

- O objetivo dessa transformação é reverter os níveis de intensidade de uma imagem
 - O resultado é equivalente ao negativo fotográfico

- Identidade de Imagem

- As intensidade de saída são idênticas as intensidades de entrada



Transformação de Intensidade

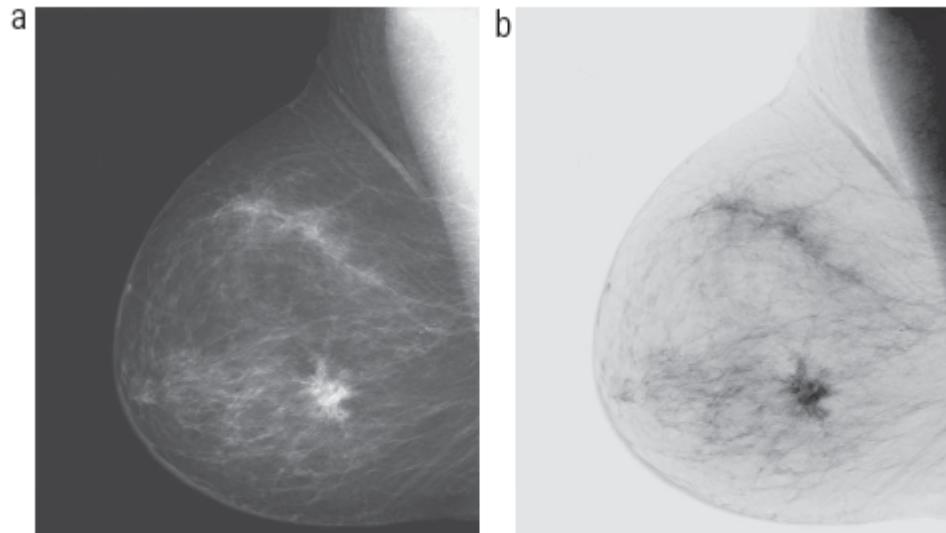


Figura 3.4 (a) Mamografia digital original. (b) Negativo da imagem obtido utilizando a função de transformação da Equação 3.2-1. (Cortesia da G.E. Medical Systems.)

Transformação de Intensidade

- Transformações Logarítmicas

- As transformações logarítmicas são representadas pela equação:

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

- Onde:

- c é uma constante; e
 - $r \geq 0$



Transformação de Intensidade

- Transformações Logarítmicas
 - Esse tipo de transformação realiza a expansão / compressão dos níveis de intensidade da imagem
 - Sua característica é comprimir a faixa dinâmica das imagens com grandes variações de valores de *pixels*
 - Por exemplo:
 - o espectro de Fourier tem uma variação entre 0 e 10^6 ou mais
 - Quando os valores são linearmente ajustados para serem exibidos em um sistema de 8 *bits*, os *pixels* mais claros dominam a exibição em detrimento dos valores mais baixos
 - O ideal é ajustar o espectro com a transformação logarítmica

Transformação de Intensidade

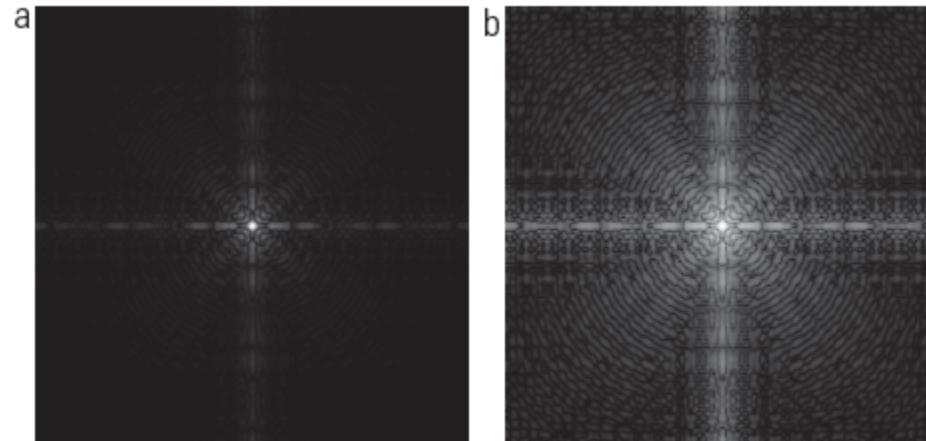


Figura 3.5 (a) Espectro de Fourier. (b) Resultado da aplicação da transformação logarítmica da Equação 3.2-2 com $c = 1$.

Transformação de Intensidade

- Transformações de Potência
 - As transformações de potência são representadas pela equação:
 - Onde:
 - c e γ são constantes; e
 - $r \geq 0$



M

Transformação de Intensidade

- Transformações de Potência
 - Nas curvas de transformação de potência com valores γ menores do que 1 (**fracionários**)
 - Mapeiam uma faixa estrita de valores escuros de entradas em uma faixa mais ampla de valores de saída
 - Nas curvas de transformação de potência com valores γ maiores do que 1
 - Tem um efeito exatamente oposto ao ilustrado acima

Transformação de Intensidade

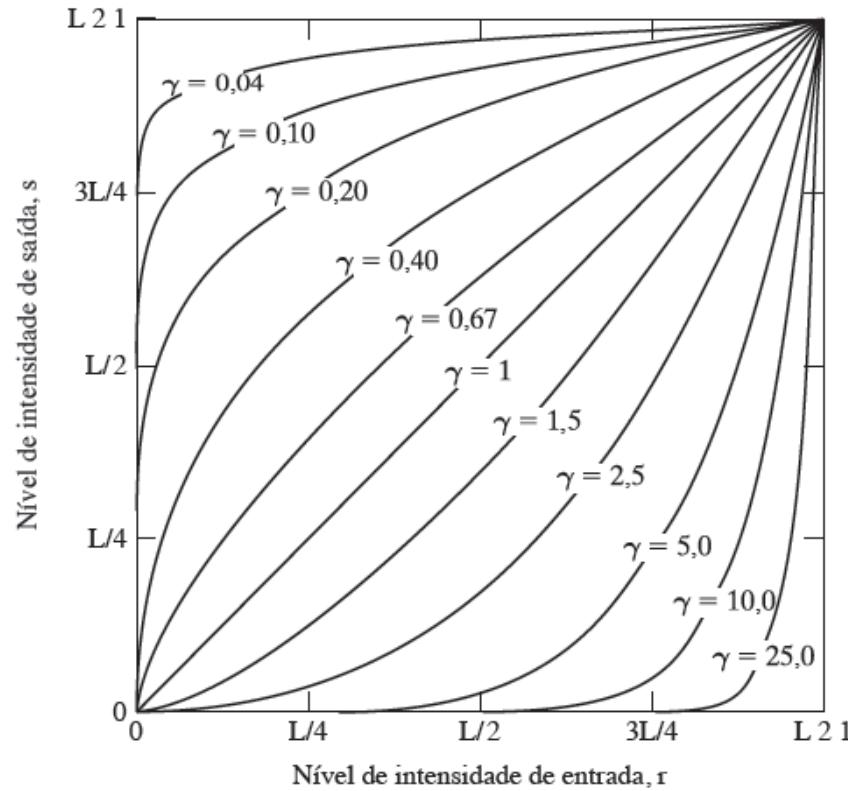


Figura 3.6 Plotagens da equação $s = c\gamma^r$ para vários valores de γ ($c = 1$ em todos os casos). Todas as curvas foram ajustadas para se adequar à faixa mostrada.



Transformação de Intensidade

- Transformações de Potência
 - Vários **dispositivos computacionais** utilizados para captura e exibição de imagens funcionam de acordo com a **lei gama**
 - Para **ajustar imperfeições** durante a exibição de uma imagem digital, os monitores do tipo CRT utilizam a **correção gama** (com expoentes entre 1,8 a 2,5)
 - Esse tipo de correção é utilizada para exibir uma imagem digital na tela com exatidão
 - Veja no próximo *slide* o ajuste de uma imagem digital exibida em um monitor com $\gamma = 2,5$

Transformação de Intensidade

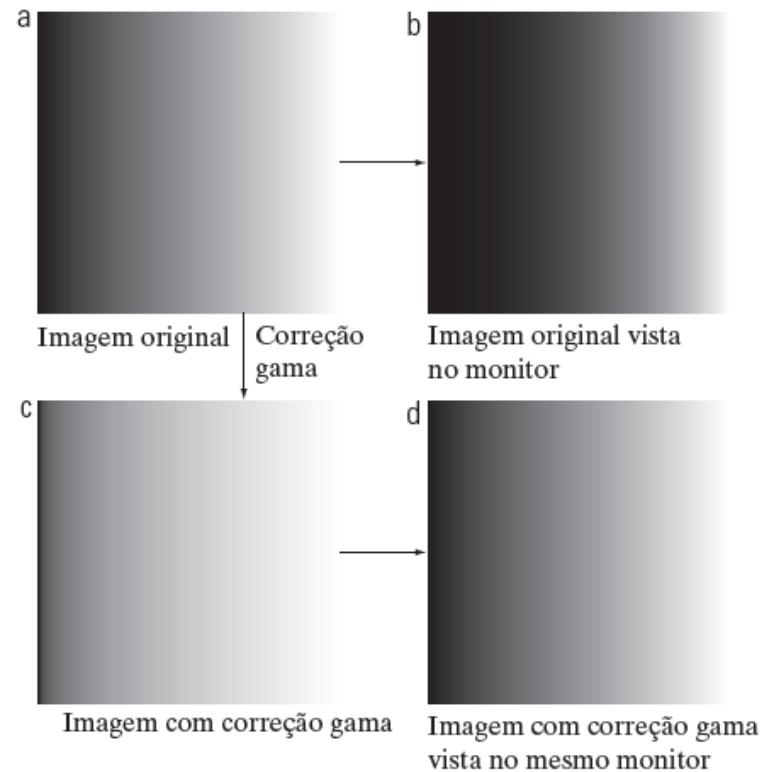
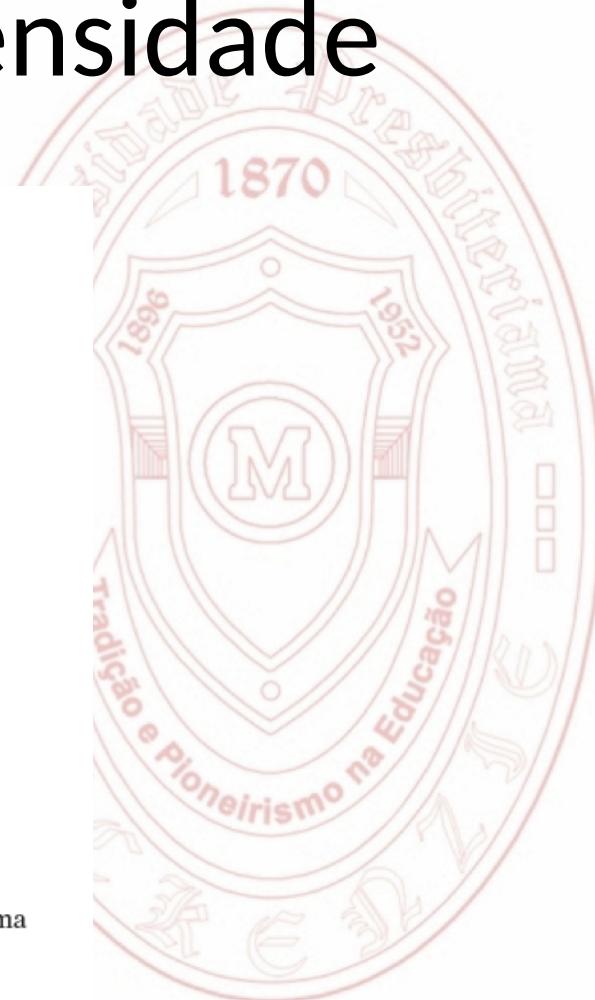
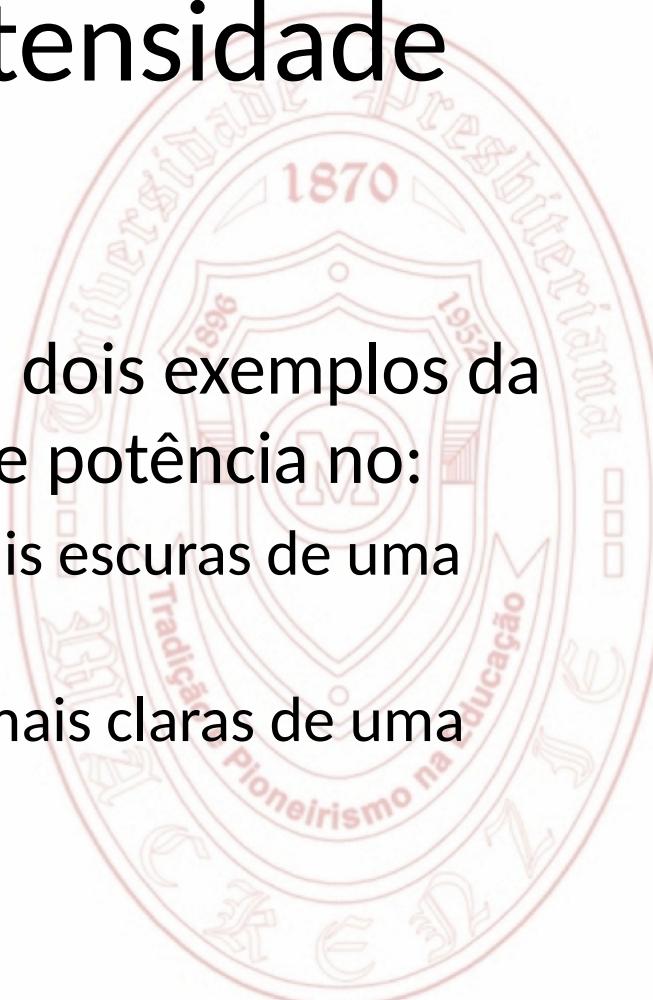
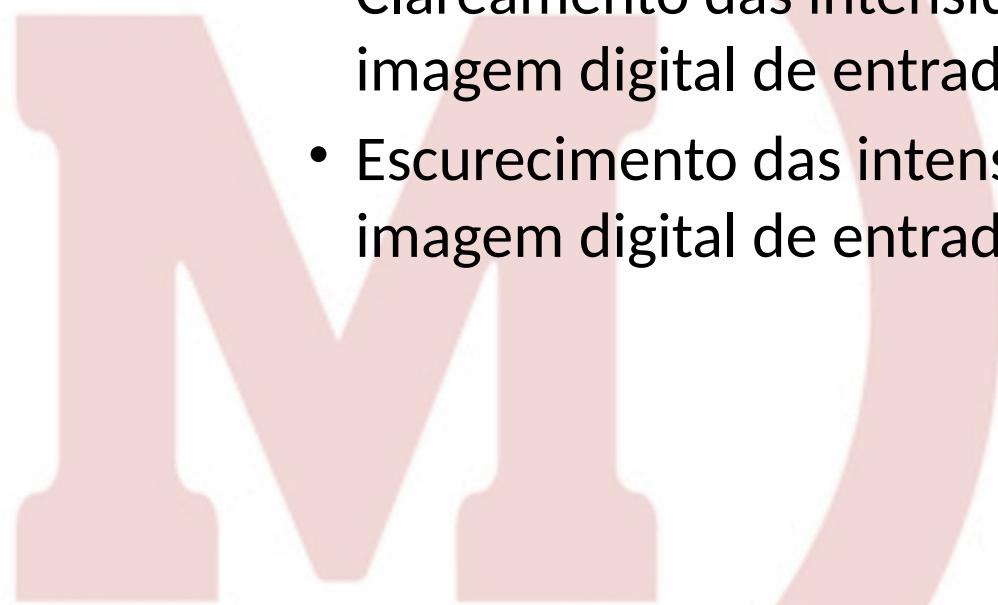


Figura 3.7 (a) Imagem com variação gradativa de intensidade (gradiente). (b) Imagem vista em um monitor simulado com gama igual a 2,5. (c) Imagem com correção gama. (d) Imagem corrigida vista no mesmo monitor. Compare (d) e (a).



Transformação de Intensidade

- Transformações de Potência
 - Os próximos dois *slides* ilustram dois exemplos da utilização das transformações de potência no:
 - Clareamento das intensidades mais escuras de uma imagem digital de entrada
 - Escurecimento das intensidades mais claras de uma imagem digital de entrada



Transformação de Intensidade

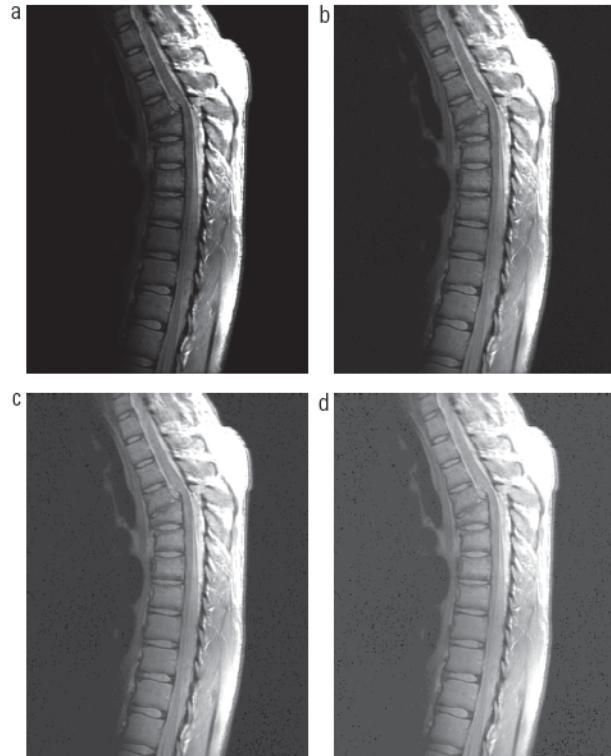
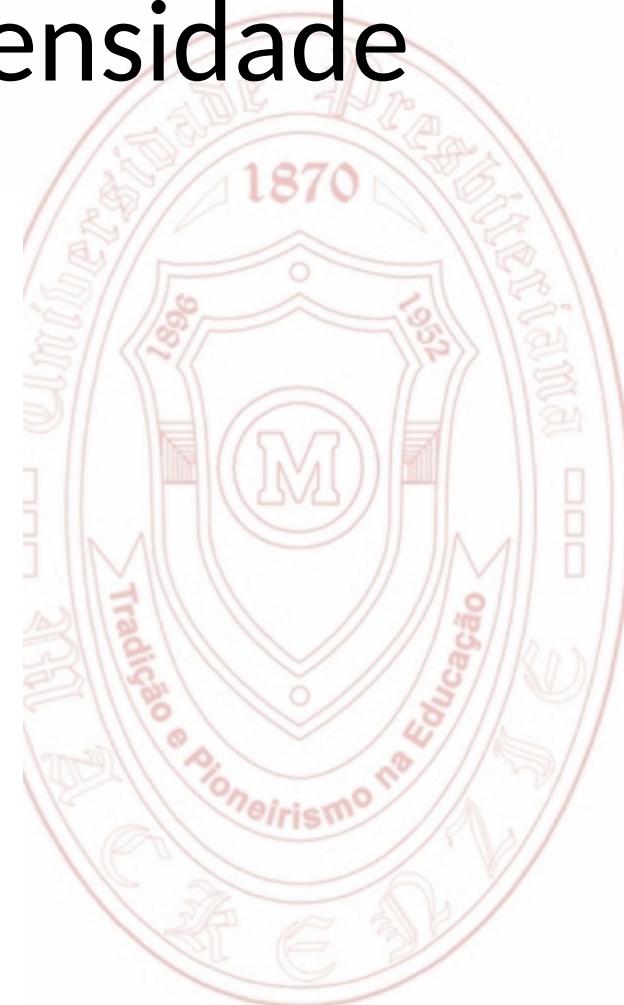


Figura 3.8 (a) Imagem de ressonância magnética (MRI) de uma coluna vertebral humana fraturada. (b) a (d) Resultados da aplicação da transformação na Equação 3.2-3 com $c = 1$ e $\gamma = 0,6, 0,4$ e $0,3$, respectivamente. (Imagen original: cortesia do Dr. David R. Pickens, Departamento de Radiologia e Ciências Radiológicas, Centro Médico da Universidade de Vanderbilt.)



Transformação de Intensidade

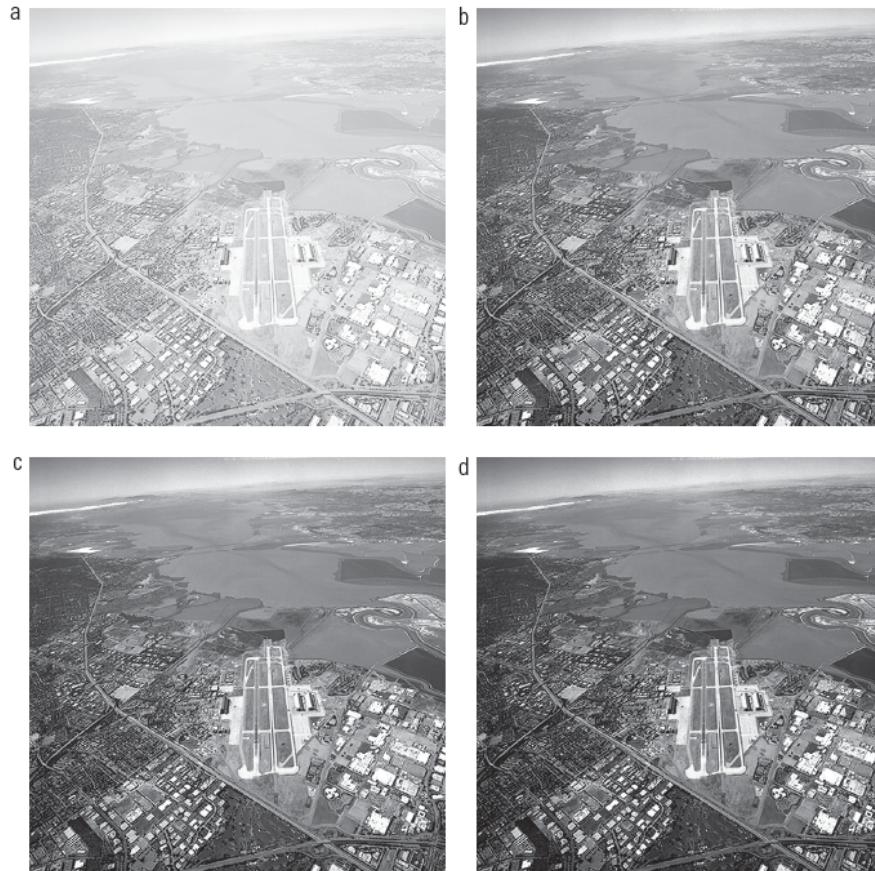
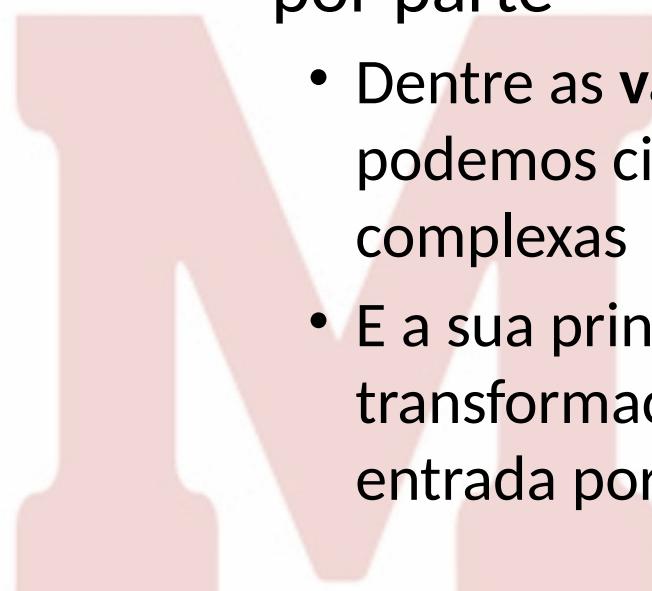


Figura 3.9 (a) Imagem aérea. (b) a (d) Resultados da aplicação da transformação na Equação 3.2-3 com $c = 1$ e $\gamma = 3,0, 4,0$ e $5,0$, respectivamente. (Imagen original: cortesia da Nasa.)

Transformação de Intensidade

- Transformações lineares definidas por parte
 - Uma abordagem complementar das transformações de intensidade é a transformação por parte
 - Dentre as **vantagens** desse tipo de transformação, podemos citar o uso de funções arbitrariamente complexas
 - E a sua principal **desvantagem** é que esse tipo de transformação requer um número maior de dados de entrada por parte do usuário



Transformação de Intensidade

- Transformações lineares definidas por parte
 - Alargamento de contraste
 - Imagens com **baixo contraste** podem resultar em uma imagem com **iluminação ruim**
 - O **alargamento de contraste** é utilizado para **expandir a faixa de níveis de intensidade** de uma imagem de modo a incluir todo o intervalo de intensidade do meio de gravação ou do dispositivo de exibição

Transformação de Intensidade

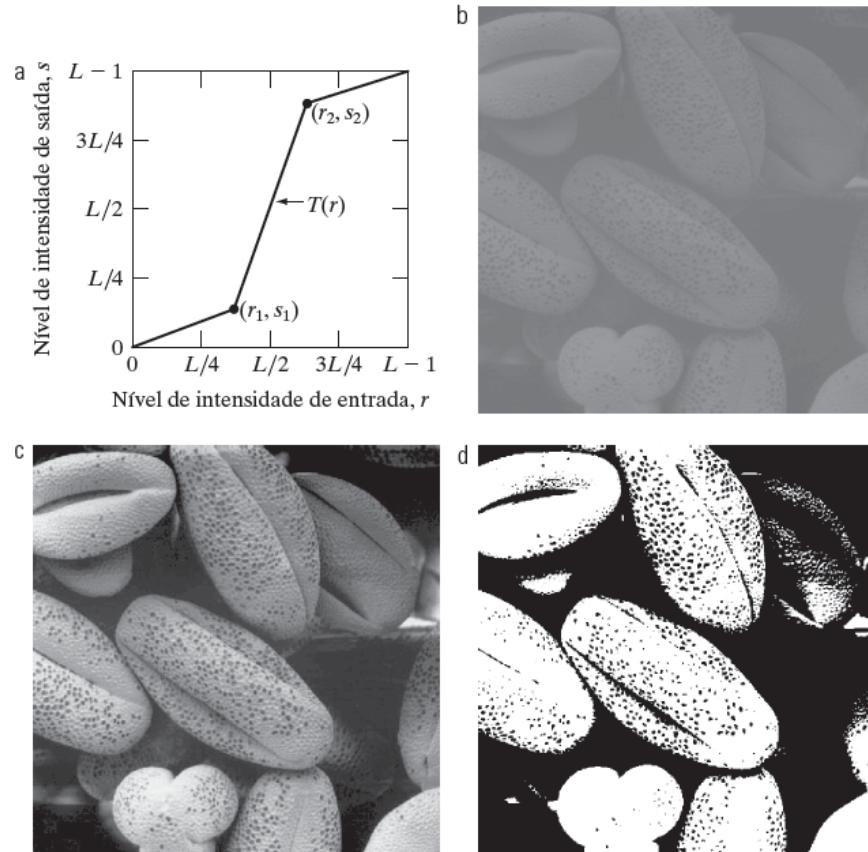


Figura 3.10 Alargamento de contraste. (a) Forma da função de transformação. (b) Uma imagem de baixo contraste. (c) Resultado do alargamento de contraste. (d) Resultado da limiarização. (Imagen original: cortesia do Dr. Roger Heady, Faculdade de Pesquisas em Ciências Biológicas, Universidade Nacional Australiana, Camberra, Austrália.)

Transformação de Intensidade

- Transformações lineares definidas por parte
 - Fatiamento de níveis de intensidade
 - Tipo de fatiamento utilizado para **enfatizar** um determinado **intervalo** de intensidades na imagem
 - Essa técnica é utilizada em aplicações que incluem realce de características como:
 - Massas de água em imagens de satélite
 - Realce de falhas em raio X
 - Realce de regiões de interesses em imagens médicas

Transformação de Intensidade

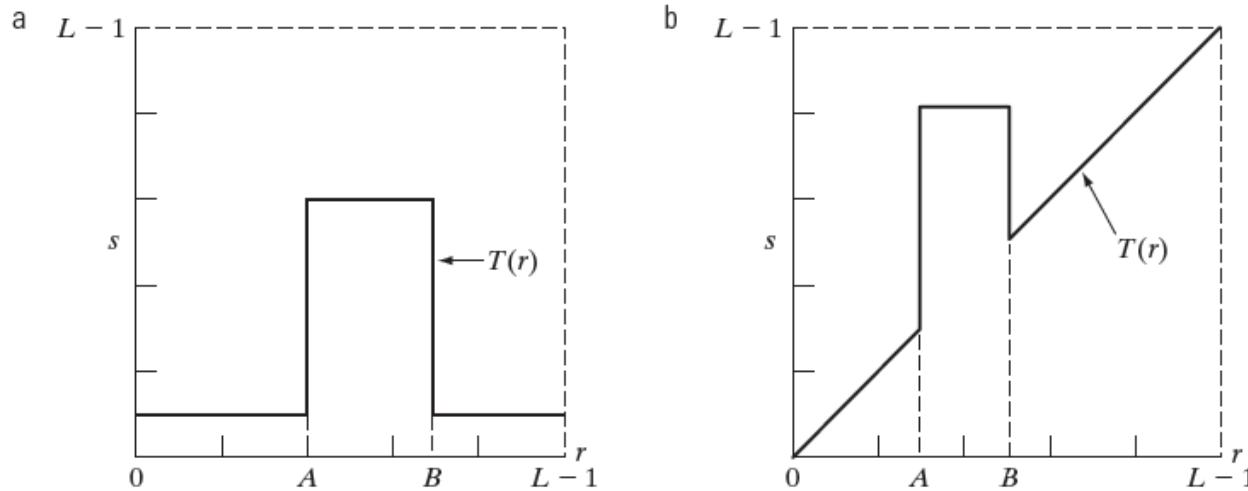


Figura 3.11 (a) Essa transformação enfatiza a faixa de intensidades $[A, B]$ e reduz todas as outras intensidades a um nível mais baixo. (b) Essa transformação enfatiza a faixa $[A, B]$ e preserva todos os outros níveis de intensidade.

Transformação de Intensidade

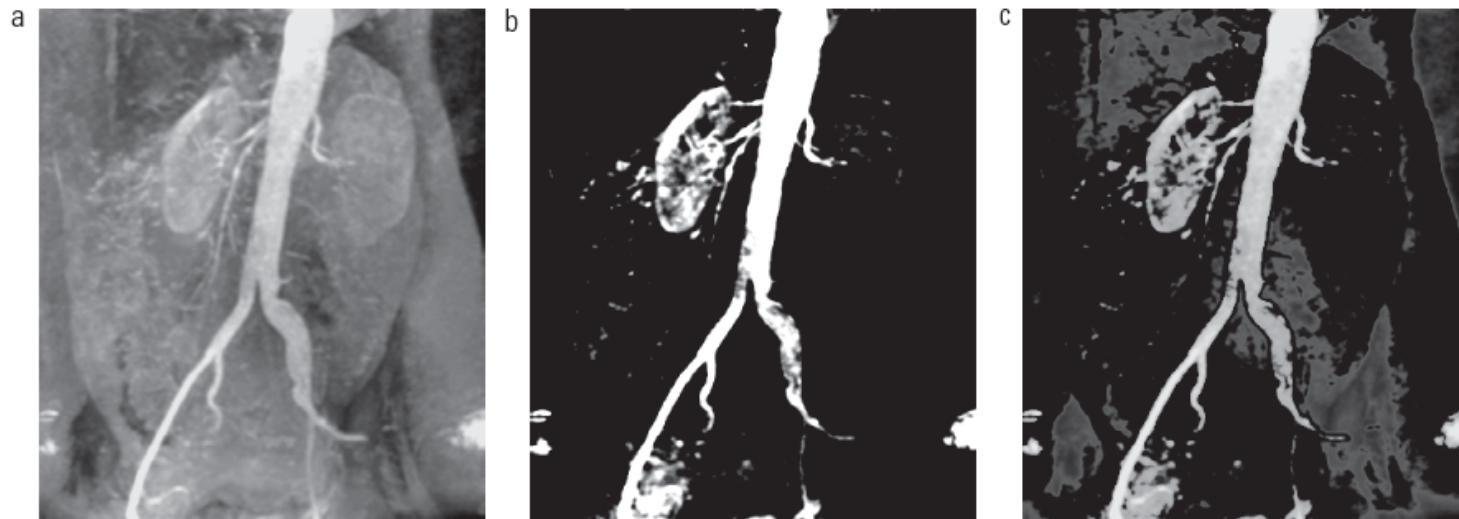


Figura 3.12 (a) Angiograma da aorta. (b) Resultado da utilização da transformação de fatiamento do tipo ilustrado na Figura 3.11(a) com a faixa de intensidades de interesse selecionada no extremo superior da escala de cinza. (c) Resultado da utilização da transformação na Figura 3.11(b) com a área selecionada ajustada para o preto, de forma que os níveis de cinza na área dos vasos sanguíneos e rins foram preservados. (Imagen original: cortesia do Dr. Thomas R. Gest, Faculdade de Medicina da Universidade de Michigan.)

Transformação de Intensidade

- Transformações lineares definidas por parte
 - Fatiamento por planos de *bits*
 - As intensidades dos pixels são **formadas por bits**
 - Ao invés de enfatizar faixas de intensidade, é possível enfatizar a **contribuição feita** à aparência da imagem por **bits específicos**
 - Uma imagem de 8 *bits* (256 tons de cinza) é composta por oito planos de 1 *bit*, sendo:
 - **Plano 1:** plano que contém os bits menos significativos
 - **Plano 8:** plano que contém os bits mais significativos
 - **Por exemplo:** O tom de cinza 194 = 11000010

Transformação de Intensidade

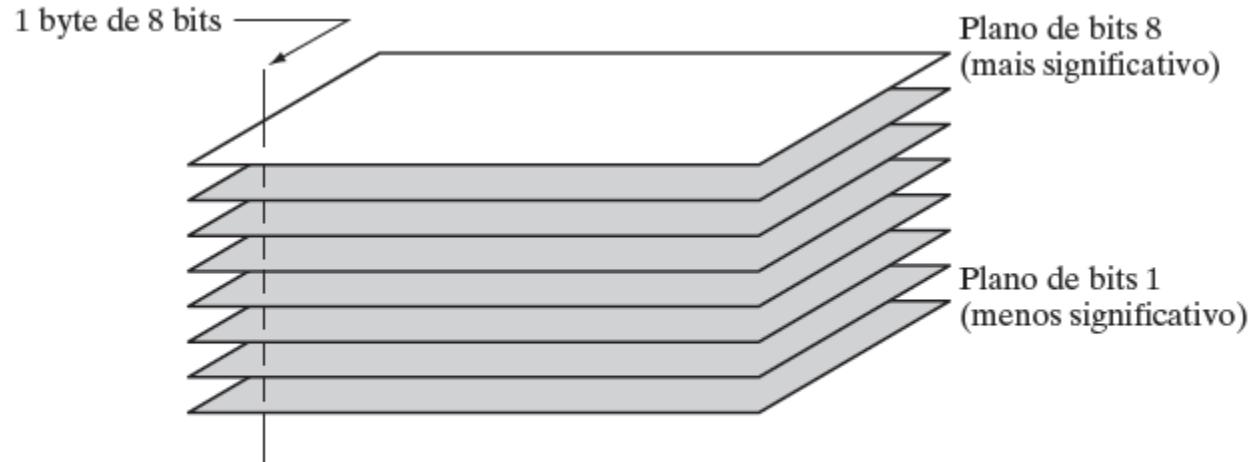


Figura 3.13 Representação em planos de bits de uma imagem de 8 bits.

Transformação de Intensidade

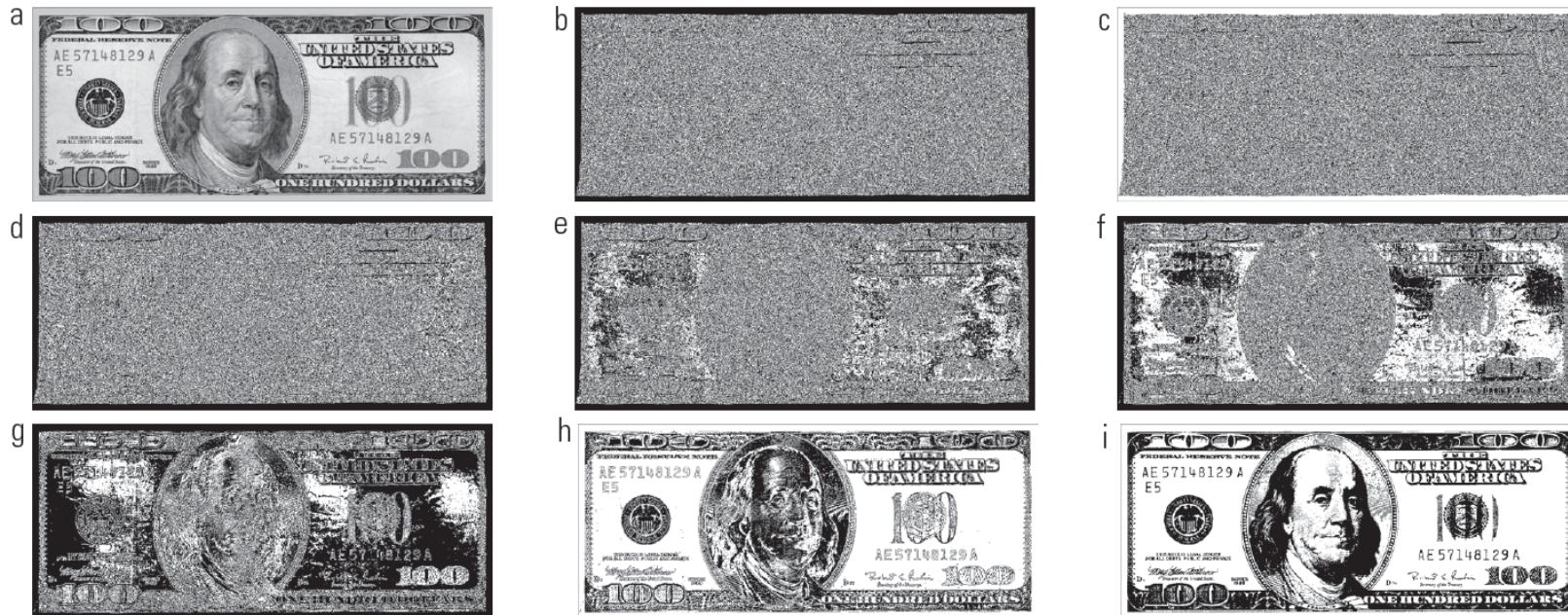
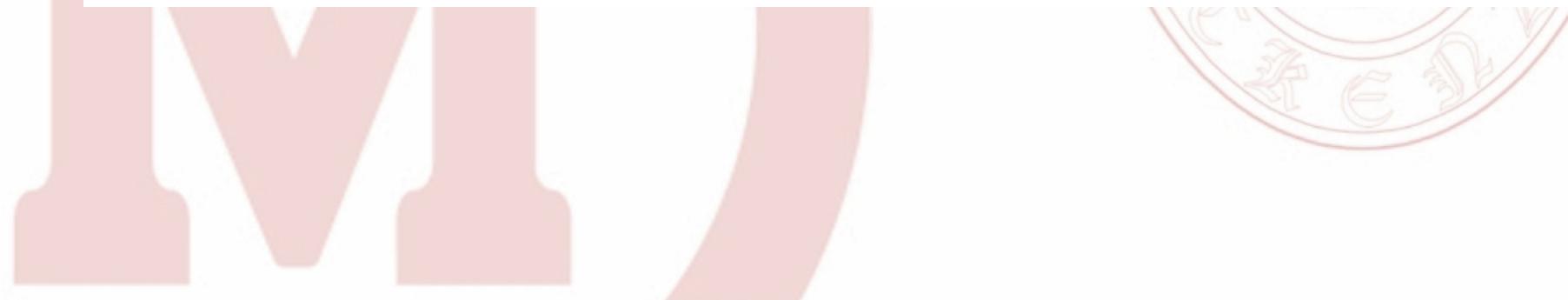


Figura 3.14 (a) Uma imagem em escala de cinza de 8 bits com dimensões 500×1.192 pixels. (b) a (i) Planos de bits 1 a 8, com o plano de bits 1 correspondendo ao bit menos significativo. Cada plano de bits é uma imagem binária.

Transformação de Intensidade



Figura 3.15 Imagens reconstruídas utilizando (a) planos de bits 8 e 7; (b) planos de bits 8, 7 e 6; e (c) planos de bits 8, 7, 6 e 5. Compare (c) com a Figura 3.14(a).



Processamento de Histograma

- O **histograma** de uma imagem digital é uma função discreta que representa cada valor de intensidade e o número de *pixels* da imagem com essa intensidade
 - A manipulação de histogramas é **utilizada** para:
 - Realçar imagens digitais
 - Fornecer estatísticas úteis da imagem digital
 - Dar suporte aos processos de compressão e segmentação

Processamento de Histograma

- O intervalo dos níveis de intensidade de cinza é representado por:

$$[0, L - 1]$$

- É a função discreta do histograma por:

$$h(r_k) = n_k$$

- Onde:

- r_k : é o k – ésimo valor de intensidade

- n_k : é o número de pixels da imagem com intensidade r_k

Processamento de Histograma

- Ao analisar um histograma você consegue visualizar até **quatro características básicas** em relação a intensidade de uma imagem digital
 - Características de uma imagem escura
 - Características de uma imagem clara
 - Características de uma imagem de baixo contraste
 - Características de uma imagem de alto contraste
- Analise os exemplos do próximo slide

Processamento de Histograma

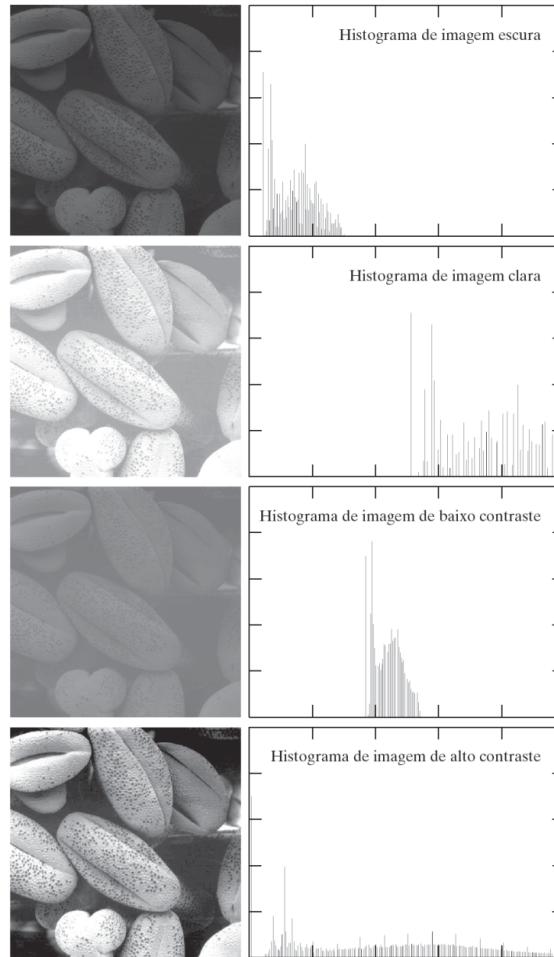


Figura 3.16 Quatro tipos básicos de imagem: escura, clara, baixo contraste, alto contraste e seus histogramas correspondentes.

Processamento de Histograma

- Normalização de um histograma
 - Costuma-se **normalizar um histograma** dividindo cada um dos componentes de intensidade (r_k) pelo número total de pixels da imagem ($M \times N$)
 - Um histograma normalizado é dado por:

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

- O $p(r_k)$ é uma estimativa de probabilidade de ocorrência do nível de intensidade na imagem
 - **OBS:** A soma de todos esses componentes é igual a 1

Processamento de Histograma

- Eixos de um histograma
 - O **eixo horizontal** de cada histograma representa os valores de intensidade r_k no intervalo $[0, L - 1]$
 - O **eixo vertical** de cada histograma representa o número de *pixels* com intensidade r_k na imagem, representados por:
 - $h(r_k) = n_k$: para histogramas **não-normalizados**
 - $p(r_k) = \frac{n_k}{MN}$: para histogramas **normalizados**

Processamento de Histograma

- Equalização de histograma
 - O objetivo do processo de equalização de um histograma é **redistribuir os níveis de cinza com uma função de distribuição acumulada (CDF)**
 - A CDF é calculada a partir da distribuição de probabilidades $p(r_k)$ da imagem de entrada
 - Veja no próximo *slide* um exemplo do resultado da equalização de histograma de uma imagem digital
 - Também será exibido as funções de transformações para a equalização de histogramas das 4 imagens

Processamento de Histograma

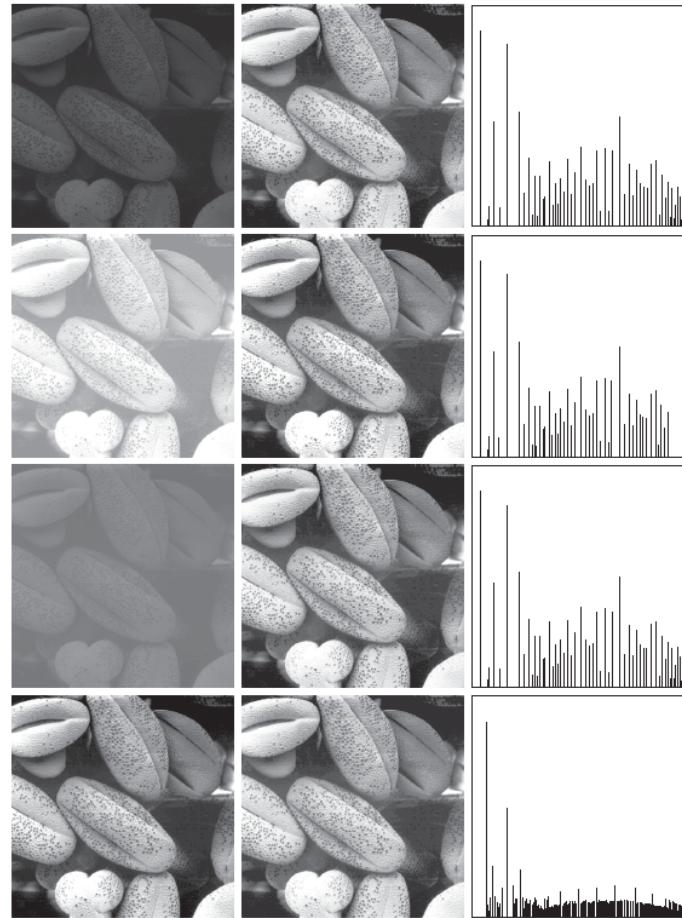


Figura 3.20 Coluna da esquerda: imagens da Figura 3.16. Coluna central: imagens que correspondem aos histogramas equalizados. Coluna da direita: histogramas das imagens da coluna central.

Processamento de Histograma

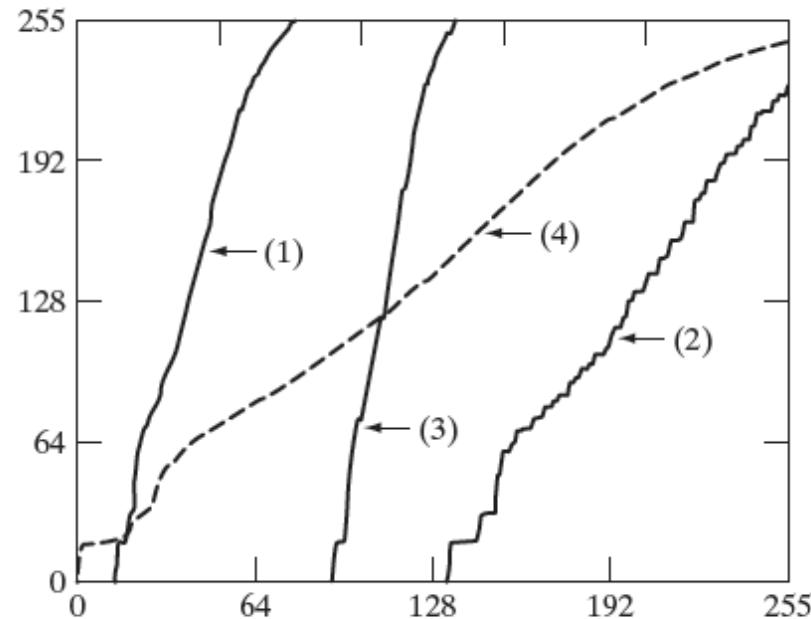


Figura 3.21 Funções de transformação para a equalização de histograma. As transformações de (1) a (4) foram obtidas a partir dos histogramas das imagens (de cima para baixo) na coluna esquerda da Figura 3.20 utilizando a Equação 3.3-8.

Processamento de Histograma

• Equalização de histograma

– As funções abaixo representam os tipos de equalização de histogramas:

- $T(r)$ é uma função **monotonicamente crescente** no intervalo $0 \leq r \leq L - 1$; e
- $0 \leq T(r) \leq L - 1$ para $0 \leq r \leq L - 1$.

– Em algumas formulações, utilizaremos o inverso:

$$\bullet \quad r = T^{-1}(s) \quad 0 \leq s \leq L - 1$$

- Para isso, $T(r)$ é uma função **estritamente monotonicamente crescente** no intervalo $0 \leq r \leq L - 1$

Processamento de Histograma

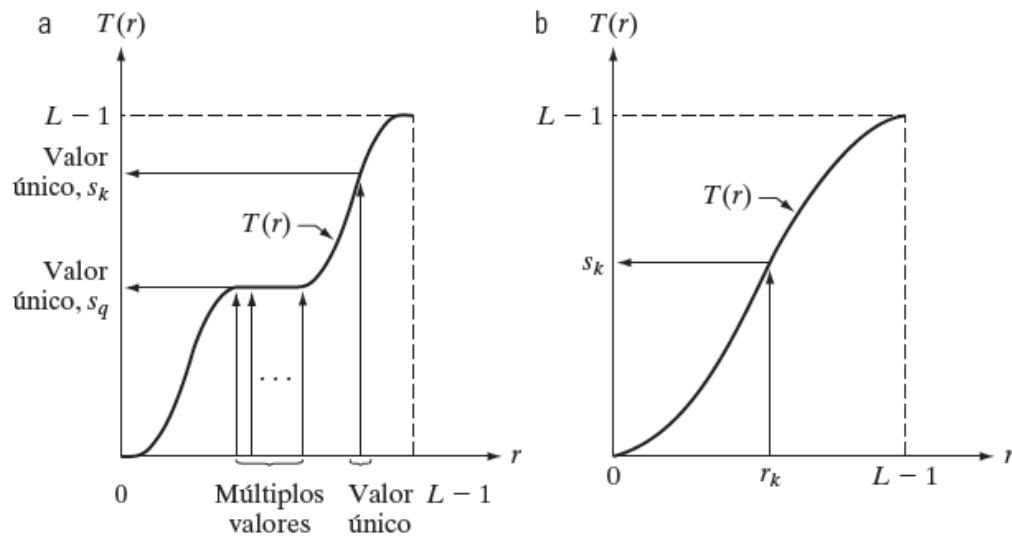


Figura 3.17 (a) Função monotonicamente crescente, mostrando como múltiplos valores podem ser mapeados em um único valor. (b) Função estritamente monotonicamente crescente. Esse é um mapeamento um para um, em ambas as direções.

Processamento de Histograma

- Equalização de histograma

- A **probabilidade de ocorrência** do nível de intensidade r_k em uma imagem digital é:

$$p_r(r_k) = \frac{n_k}{MN} \quad k = 0, 1, 2, 3, \dots, L - 1$$

- Onde:

- MN : é o número total de *pixels* da imagem de entrada
 - n_k : é o número de pixels com intensidade r_k
 - L : é o número de níveis de intensidade possíveis na imagem de entrada

Processamento de Histograma

- Equalização de histograma

- A **forma discreta** da equalização de histograma de uma imagem digital é:

$$S_k = T(r_k) = (L - 1) \sum_{j=0}^k p_r(r_j) = \frac{(L - 1)}{MN} \sum_{j=0}^k n_j$$

- A transformação $T(r_k)$ nessa equação é chamada de **equalização de histograma** ou **linearização de histograma**
 - Vamos fazer um exercício com essa transformação

Processamento de Histograma

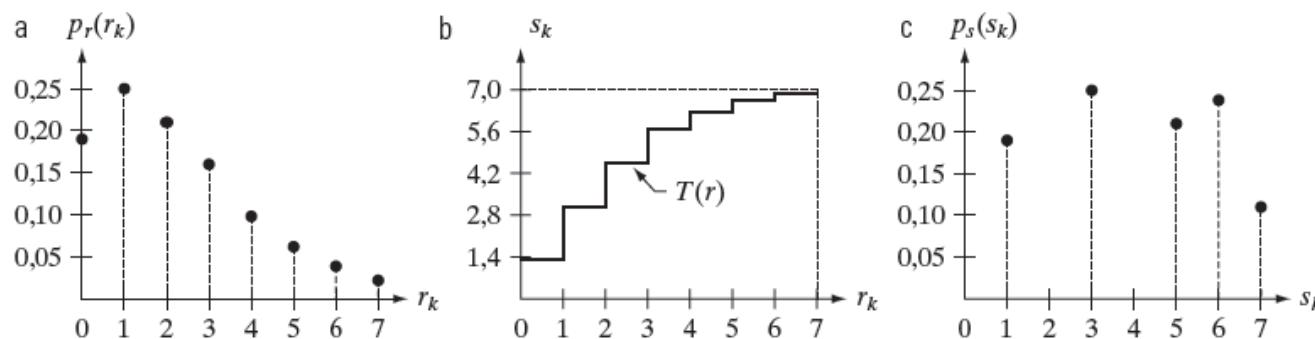


Figura 3.19 Ilustração da equalização de histograma de uma imagem de 3 bits (8 níveis de intensidade). (a) Histograma original. (b) Função de transformação. (c) Histograma equalizado.

Processamento de Histograma

- Especificação de histograma
 - No processo de equalização de histogramas, vimos a produção automática de uma imagem de saída com um **histograma uniforme**
 - Porém, em alguns casos o realce baseado em um histograma uniforme não é a melhor metodologia
 - Algumas vezes é necessário **especificar o formato do histograma** que desejamos para a imagem
 - Esse método é conhecido como **casamento de histogramas** ou **especificação de histograma**

Processamento de Histograma

- Especificação de histograma
 - Esse processo trabalha com as seguintes incógnitas
 - r : os níveis de cinza da imagem de entrada
 - s : os níveis de cinza da imagem de saída (desejada)
 - $p_r(r)$: a CDF obtida da imagem de entrada
 - $p_z(z)$: a CDF especificada da imagem desejada
 - O procedimento de especificação de histogramas está dividido em três passos, são eles:

Processamento de Histograma

- Especificação de histograma
 - **1º Passo:** equalizar a imagem de entrada (original)
 - A **forma discreta** da especificação de histograma de uma imagem digital é:

$$S_k = T(r_k) = (L - 1) \sum_{j=0}^k p_r(r_j) = \frac{(L - 1)}{MN} \sum_{j=0}^k n_j$$
$$k = 0, 1, 2, 3, \dots, L - 1$$

n_j é o número de pixels com intensidade r_j

Processamento de Histograma

- Especificação de histograma

- **2º Passo:** encontrar $G(z)$

- Para obter a CDF do histograma desejado a partir da distribuição de pixels especificados, utilizamos:

$$s_k = G(z_q) = (L - 1) \sum_{i=0}^q p_z(z_i)$$

- Por tanto, o valor de s_k seria a equalização dos níveis de intensidade do histograma desejado
 - O que se deseja são os valores z_k calculados a partir da transformação inversa de G

Processamento de Histograma

- Especificação de histograma
 - **3º Passo:** obter a distribuição z_k
 - Logo, z deve satisfazer a condição:
$$z_k = G^{-1}(s_k)$$
 - Essa operação nos dá um valor de z para cada valor de s
 - Assim, ela realiza um mapeamento de s em z
 - Vamos continuar o exercício anterior, adicionando essa transformação

Processamento de Histograma

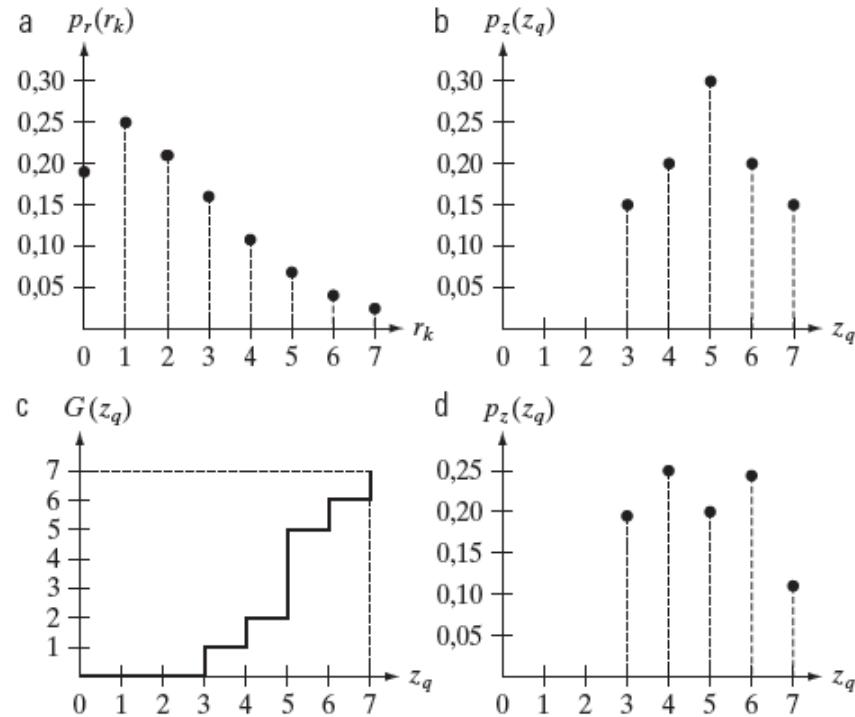


Figura 3.22 (a) Histograma de uma imagem de 3 bits. (b) Histograma especificado desejado. (c) Função de transformação obtida a partir do histograma especificado desejado. (d) Resultado da especificação do histograma. Compare (b) e (d).

Fundamentos da Filtragem Espacial

- A filtragem espacial é uma operação realizada sob um *pixel* e sua vizinhança
 - Os principais exemplos que iremos estudar nessa disciplina são os filtro espaciais aplicados em **realce de imagens**
 - Os filtros espaciais também são chamados de:
 - Máscaras
 - *Kernels*
 - *Templates*
 - Janelas

Fundamentos da Filtragem Espacial

- O funcionamento da filtragem espacial
 - A operação de filtragem espacial **cria um novo *pixel*** com coordenadas iguais às coordenadas do **centro da vizinhança**
 - O **valor desse *pixel*** é o **resultado** do processo de filtragem espacial
 - Uma **imagem filtrada** é gerada à medida que o centro do filtro percorre cada *pixel* da imagem de entrada

Fundamentos da Filtragem Espacial

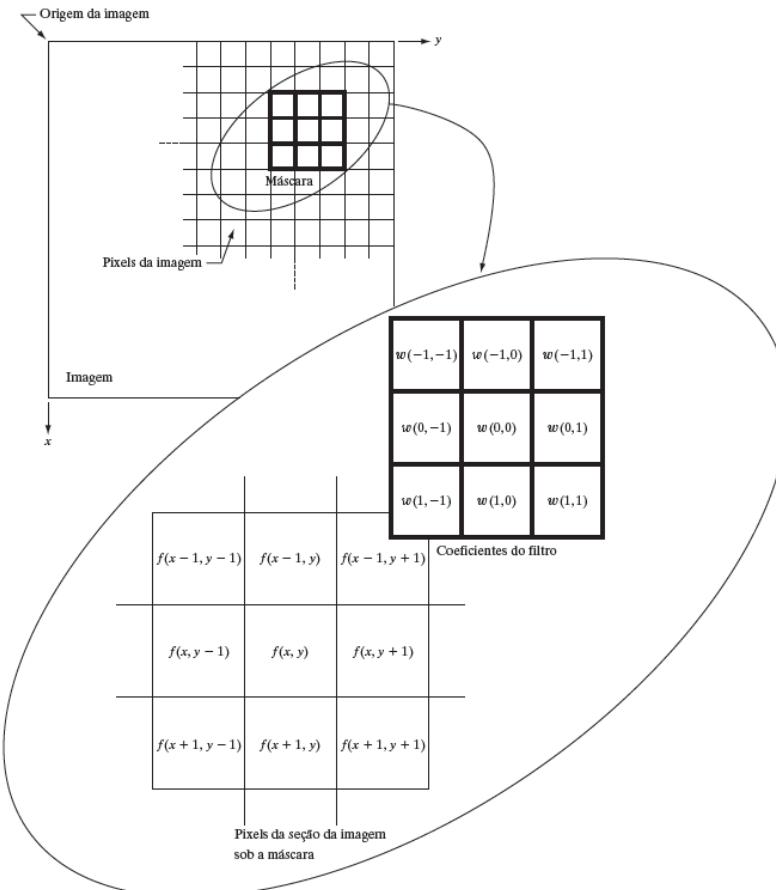


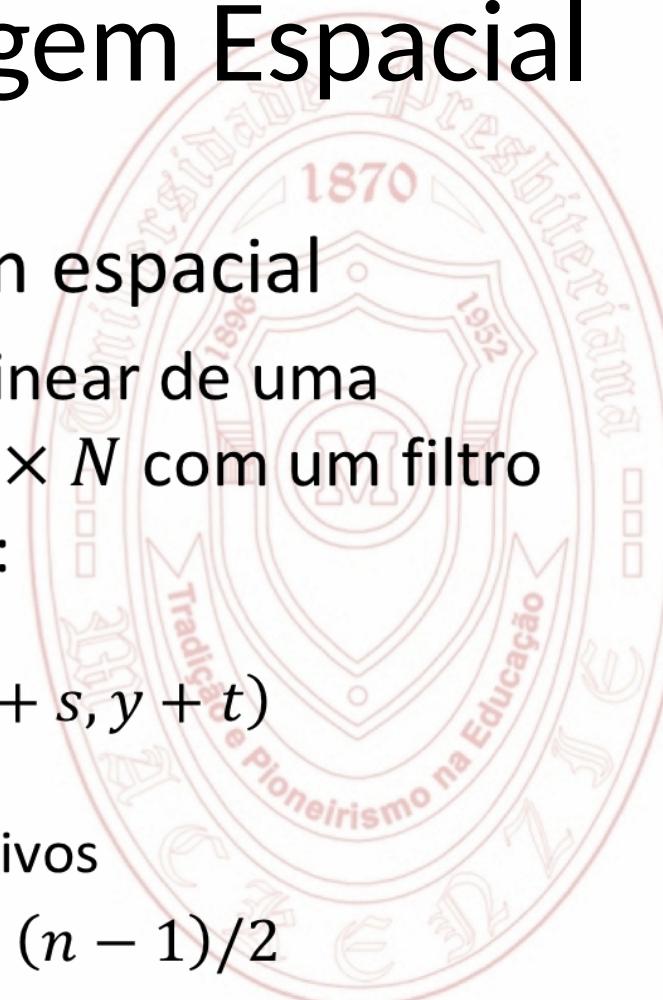
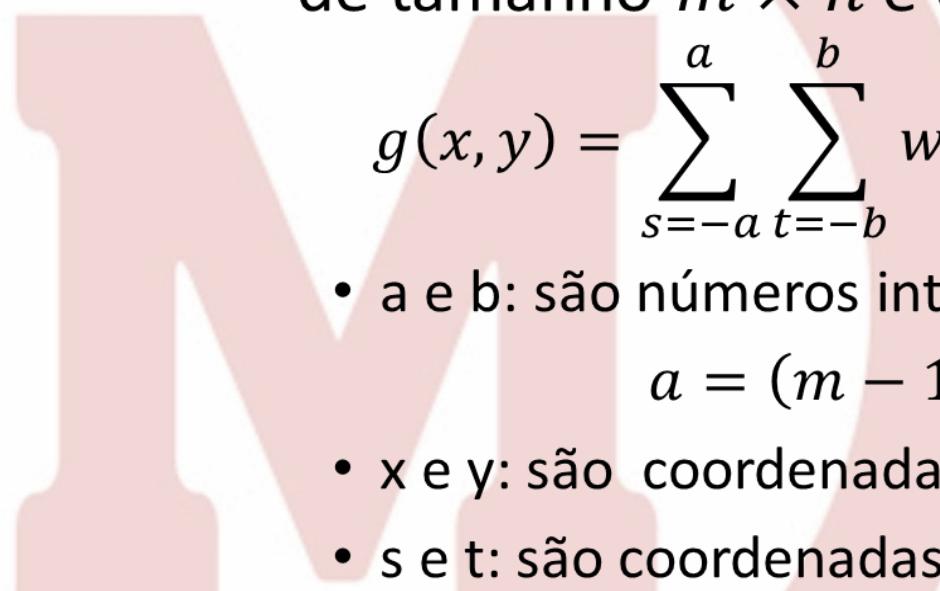
Figura 3.28 O funcionamento da filtragem espacial linear utilizando uma máscara 3×3 . A forma escolhida para expressar as coordenadas dos coeficientes da máscara simplifica a escrita de expressões para a filtragem linear.

Fundamentos da Filtragem Espacial

- O funcionamento da filtragem espacial
 - Em geral, a filtragem espacial linear de uma imagem digital de tamanho $M \times N$ com um filtro de tamanho $m \times n$ é dada por:

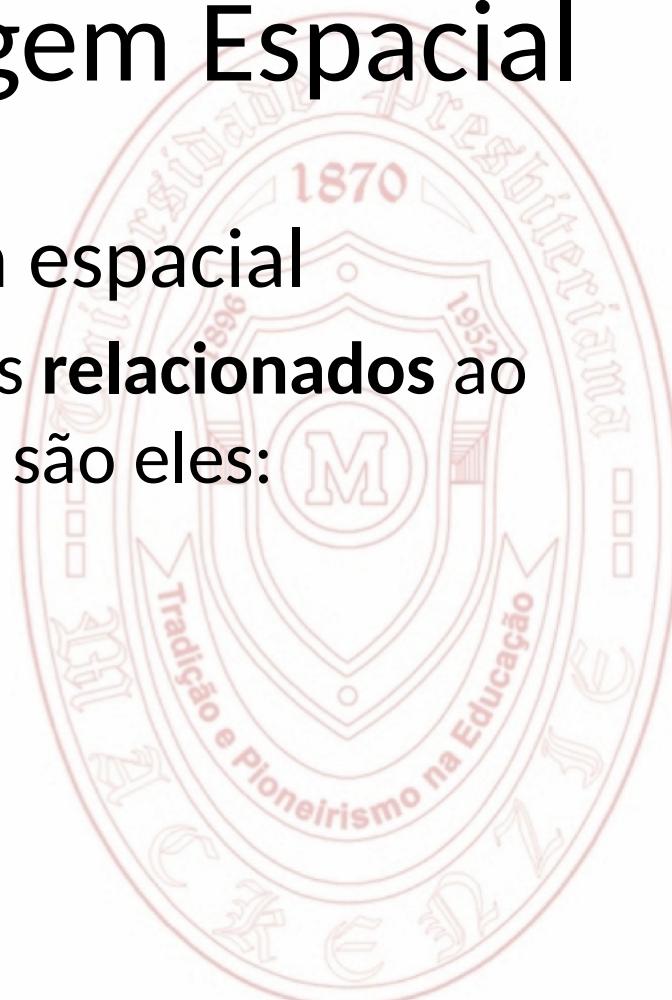
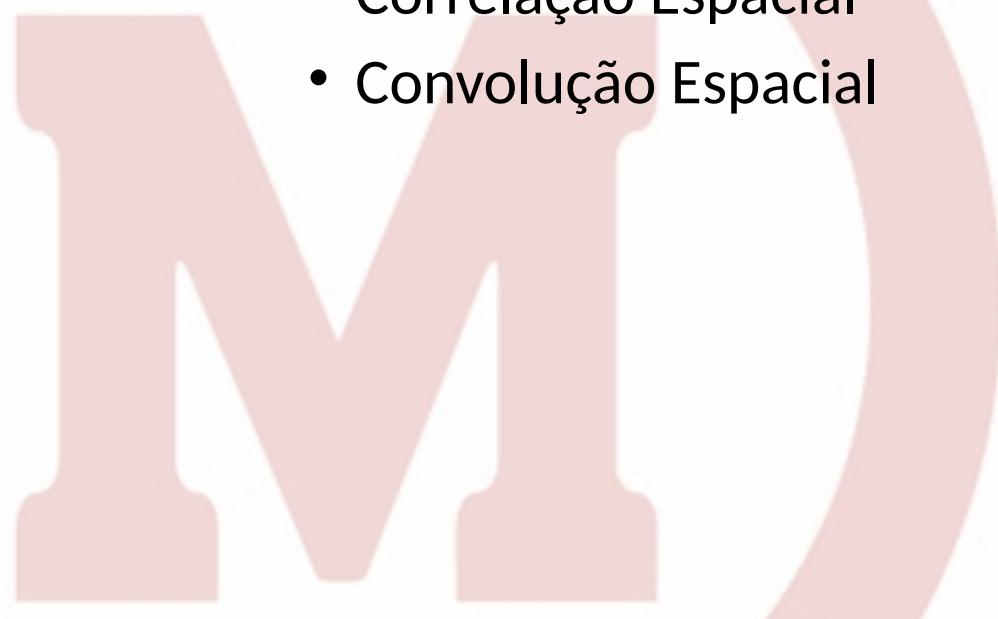
$$g(x, y) = \sum_{s=-a}^a \sum_{t=-b}^b w(s, t) f(x + s, y + t)$$

- a e b: são números inteiros positivos
 $a = (m - 1)/2$ e $b = (n - 1)/2$
- x e y: são coordenadas na imagem
- s e t: são coordenadas no filtro espacial



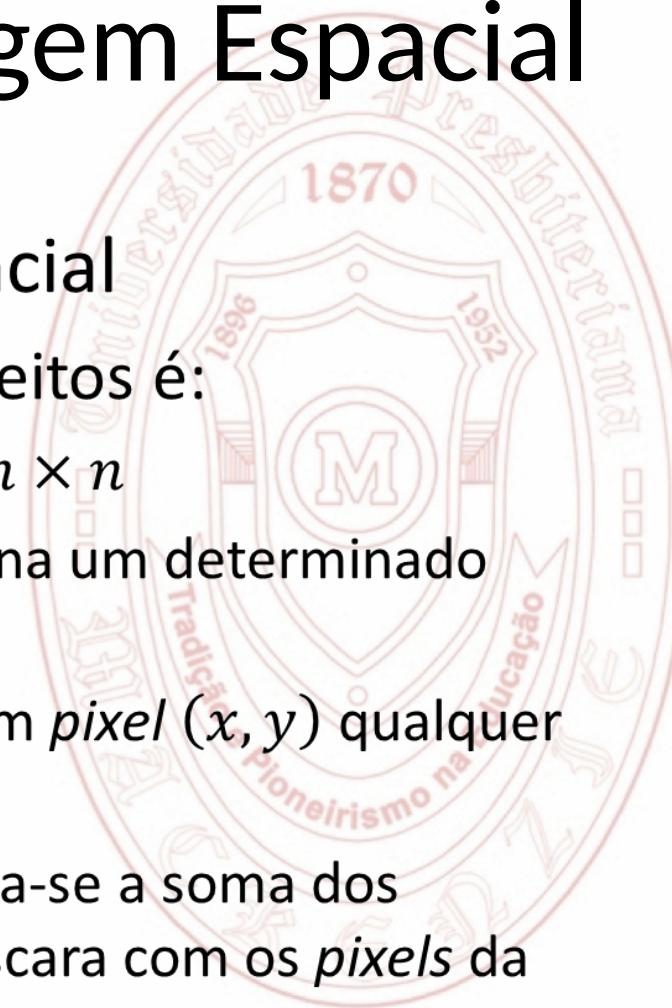
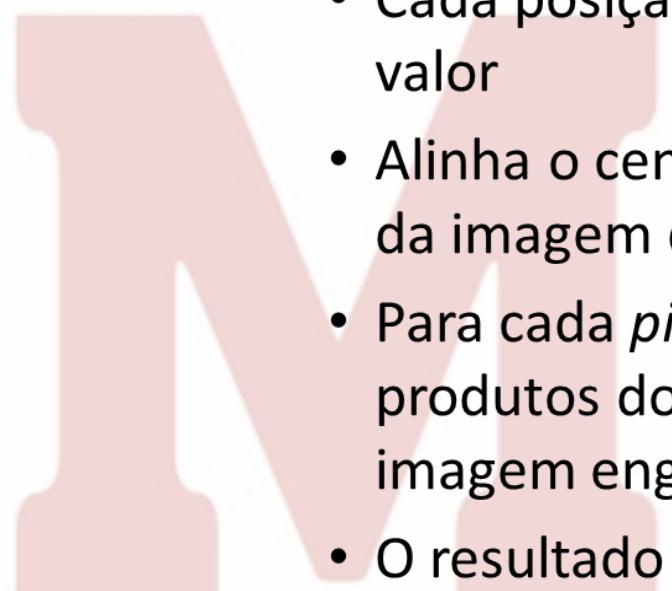
Fundamentos da Filtragem Espacial

- O funcionamento da filtragem espacial
 - Existem **dois conceitos** similares relacionados ao processo de **filtragem espacial**, são eles:
 - Correlação Espacial
 - Convolução Espacial



Fundamentos da Filtragem Espacial

- Correlação e Convolução Espacial
 - A **idéia básica** desses dois conceitos é:
 - Criar uma máscara de tamanho $m \times n$
 - Cada posição da máscara armazena um determinado valor
 - Alinha o centro da máscara em um *pixel* (x, y) qualquer da imagem que será processada
 - Para cada *pixel* da imagem, calcula-se a soma dos produtos dos coeficientes da máscara com os *pixels* da imagem englobado pela máscara
 - O resultado é armazenado na posição (x, y) da imagem



Fundamentos da Filtragem Espacial

- Correlação e Convolução Espacial
 - A **correlação espacial** é o processo de mover uma máscara pela imagem e calcular a soma dos produtos em cada posição
 - A **convolução espacial** é um processo similar a correlação espacial, porém primeiramente a máscara é rotacionada em 180°
 - **OBS:** Vamos ver no quadro um exemplo desses dois processos

Fundamentos da Filtragem Espacial

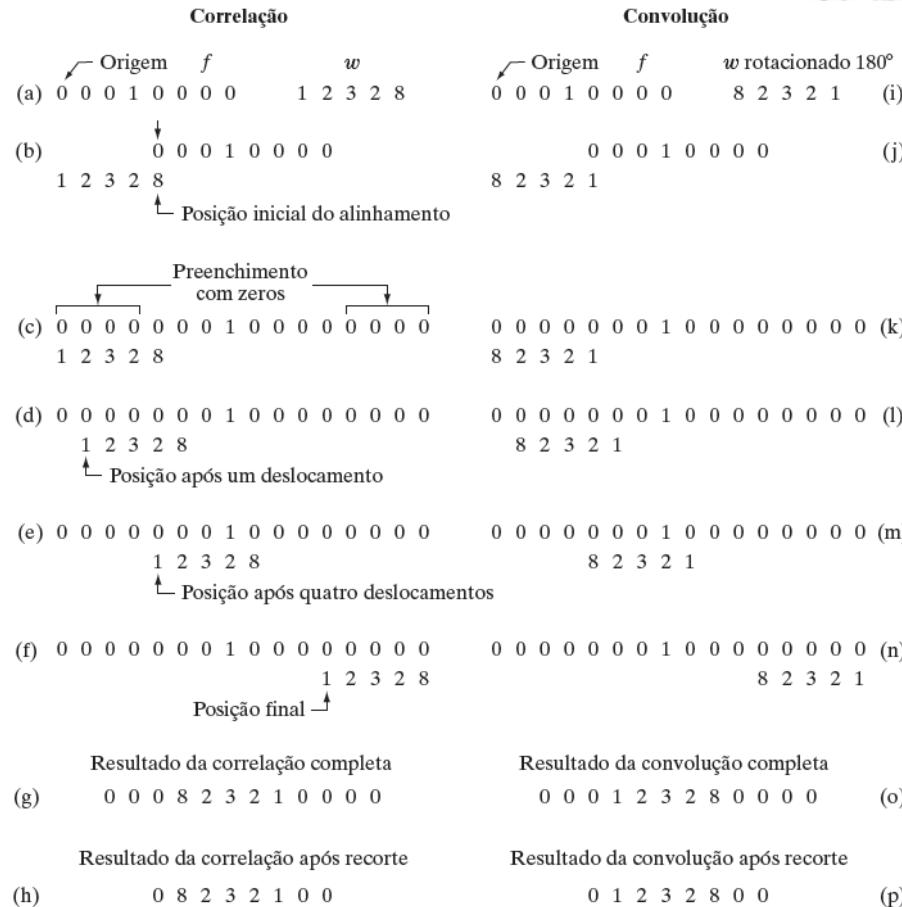


Figura 3.29 Ilustração de convolução e correlação unidimensional de um filtro com impulso unitário discreto. Observe que a correlação e a convolução são funções de *deslocamento*.

Fundamentos da Filtragem Espacial

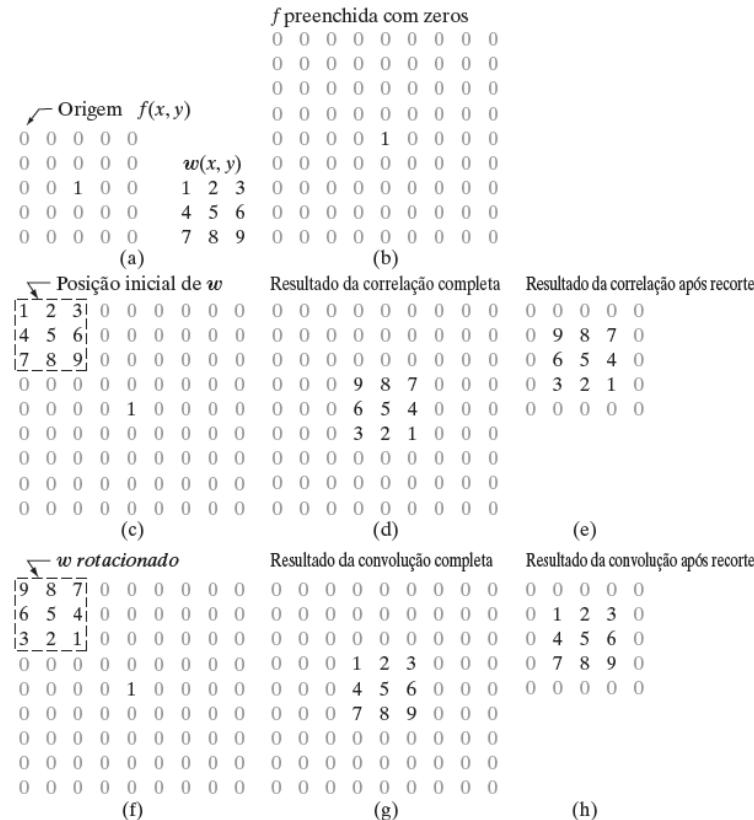


Figura 3.30 Correlação (linha do meio) e convolução (última linha) de um filtro 2-D com um impulso unitário discreto 2-D. Os zeros são mostrados em cinza para simplificar a análise visual.

Fundamentos da Filtragem Espacial

- Correlação e Convolução Espacial
 - As equações que definem essas duas operações são apresentadas abaixo:

- Correlação:

$$g(x, y) = \sum_{s=-a}^a \sum_{t=-b}^b w(s, t) f(x + s, y + t)$$

- Convolução:

$$g(x, y) = \sum_{s=-a}^a \sum_{t=-b}^b w(s, t) f(x - s, y - t)$$

Tipos de Filtros Espaciais

- Os filtros lineares que vamos utilizar a partir de agora são classificados como:
 - **Filtro Passa-Baixa:** filtros utilizados para reduzir os ruídos de uma imagem digital, onde minimizam ruídos e apresentam o efeito de borramento da imagem processada
 - **Filtro Passa-Alta:** filtros utilizados para realçar as feições de uma imagem digital, são utilizados para realçar características presentes em uma imagem (bordas, linhas curvas, manchas, etc...)

Filtros Espaciais de Suavização

- Os filtros de suavização (passa-baixa) são utilizados para **borramento** e **redução de ruídos** (através da integração)
 - As **principais características** da suavização:
 - **Conexão** de pequenas **descontinuidades** nas regiões com transições abruptas na imagem
 - **Eliminação** das **altas frequências** (bordas) da imagem
 - A saída desse tipo de **filtro linear** é a **média** do **pixels** contidos na vizinhança da máscara de filtragem
 - Também existem **filtros não-lineares** de suavização

Filtros Espaciais de Suavização

- Geralmente, os filtros de suavização são **quadrados e de tamanho ímpar**
 - Esse tipo de filtro facilita a suavização de regiões da imagem, pois possuem um **centro de simetria**
- Podemos utilizar os filtros de suavização lineares para:
 - Calcular a **média aritmética** dos *pixels* filtrados
 - Calcular a **média ponderada** dos *pixels* filtrados
 - Veja os exemplos desses filtros no próximo *slide*

Filtros Espaciais de Suavização

<p>a</p> $\frac{1}{9} \times$ <table border="1" style="border-collapse: collapse; text-align: center;"> <tr><td>1</td><td>1</td><td>1</td></tr> <tr><td>1</td><td>1</td><td>1</td></tr> <tr><td>1</td><td>1</td><td>1</td></tr> </table>	1	1	1	1	1	1	1	1	1	<p>b</p> $\frac{1}{16} \times$ <table border="1" style="border-collapse: collapse; text-align: center;"> <tr><td>1</td><td>2</td><td>1</td></tr> <tr><td>2</td><td>4</td><td>2</td></tr> <tr><td>1</td><td>2</td><td>1</td></tr> </table>	1	2	1	2	4	2	1	2	1
1	1	1																	
1	1	1																	
1	1	1																	
1	2	1																	
2	4	2																	
1	2	1																	

Figura 3.32 Duas máscaras 3×3 (de média) para suavização. A constante de multiplicação diante de cada máscara é igual a 1 dividido pela soma dos valores de seus coeficientes, o que é necessário para calcular uma média.

Filtros Espaciais de Suavização

- Para uma máscara de suavização de tamanho $m \times n$, onde todos os elementos do filtro são iguais a 1, temos que utilizar uma **constante de normalização** igual a:

$$\frac{1}{mn}$$

- **OBS:** Para máscaras de suavização ponderadas, a constante de normalização é formada pela **soma dos pesos** dos elementos do filtro (*de preferência, um número inteiro de potência 2*)

Filtros Espaciais de Suavização

- O efeito do processo de suavização **não depende** exclusivamente **dos valores** do filtro
 - O **tamanho do filtro** também deve ser levado em consideração nesse tipo de filtragem espacial
 - **Quanto maior** o filtro, **maior será** o resultado do **borramento** da imagem filtrada
 - Veja no próximo slide alguns exemplos no uso de filtros de tamanho 3×3 , 5×5 , 9×9 , 15×15 e 35×35

Filtros Espaciais de Suavização

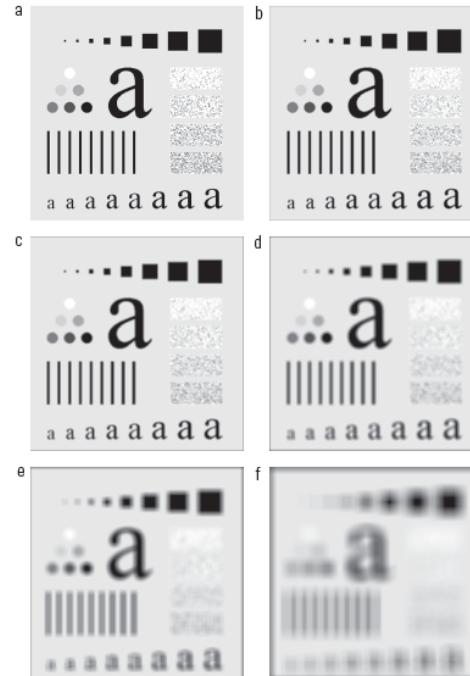


Figura 3.33 (a) Imagem original de 500×500 pixels. (b) a (f) Resultados da suavização com filtros de média, quadrados, de tamanhos $m = 3, 5, 9, 15$ e 35 , respectivamente. Os quadrados pretos no alto das imagens têm tamanhos $3, 5, 9, 15, 25, 35, 45$ e 55 pixels, respectivamente; suas bordas estão distantes 25 pixelsumas das outras. O tamanho das letras na parte inferior varia de 10 a 24 pontos, em incrementos de 2 pontos; a letra maior na parte superior tem 60 pontos. As barras verticais têm 5 pixels de largura e 100 pixels de altura; sua separação é de 20 pixels. O diâmetro dos círculos é de 25 pixels e suas bordas estão distantes 15 pixels; seus níveis de intensidade variam de 0% a 100% de preto em incrementos de 20%. O fundo da imagem é 10% preto. Os retângulos com ruído têm 50×120 pixels.

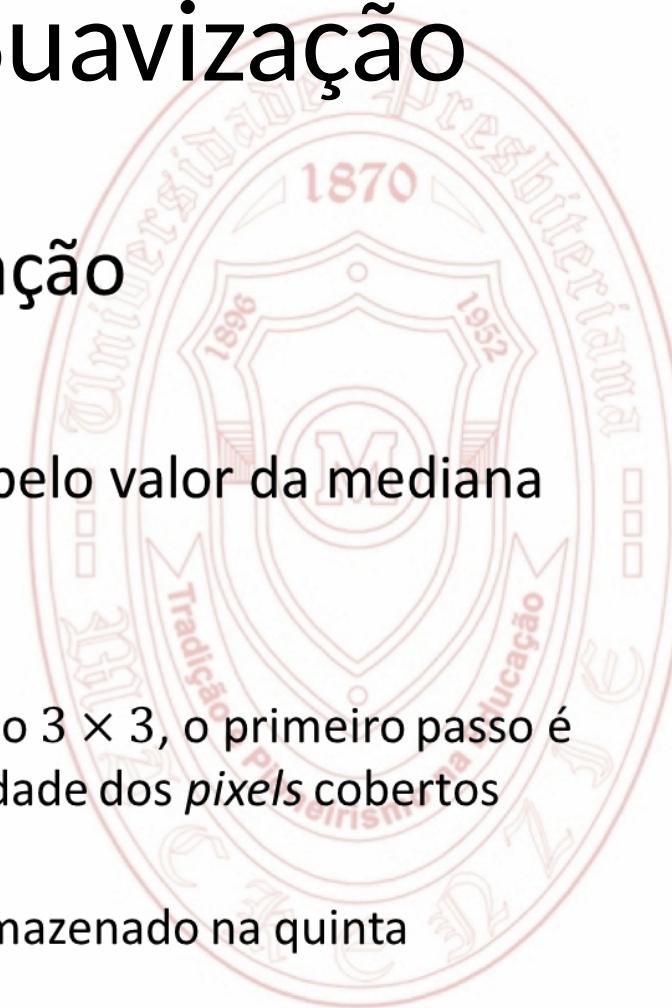
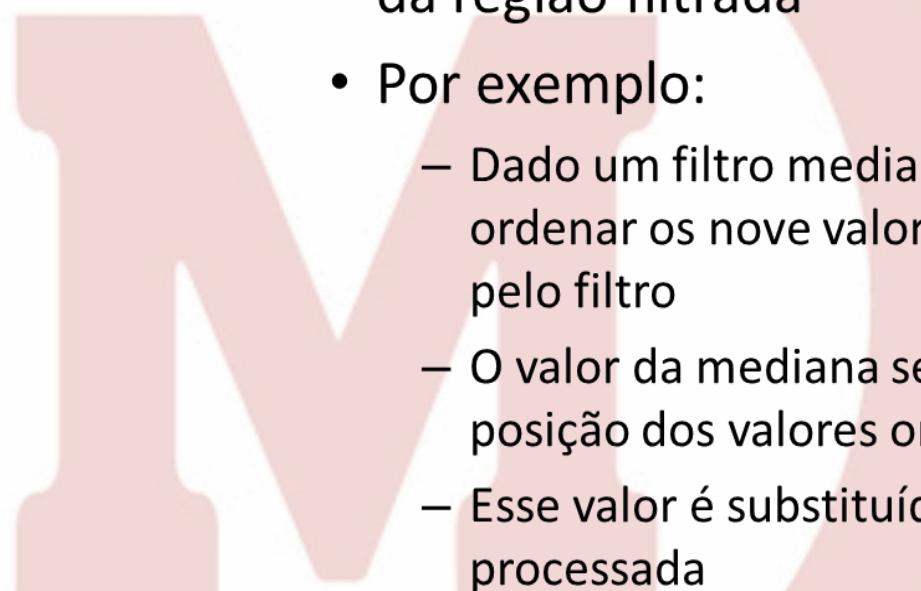


Filtros Espaciais de Suavização

- Filtros não-lineares de suavização
 - Também conhecidos como **filtros de estatística de ordem**
 - São filtro espaciais que se baseiam na **ordenação** dos *pixels* contidos na região filtrada na imagem
 - Os filtros mais conhecidos nessa categoria são:
 - Filtro de Mediana
 - Filtro de Moda
 - Filtro de Mínimo
 - Filtro de Máximo

Filtros Espaciais de Suavização

- Filtros não-lineares de suavização
 - Filtro de Mediana
 - Substitui o valor do *pixel* central pelo valor da mediana da região filtrada
 - Por exemplo:
 - Dado um filtro mediano de tamanho 3×3 , o primeiro passo é ordenar os nove valores de intensidade dos *pixels* cobertos pelo filtro
 - O valor da mediana será o valor armazenado na quinta posição dos valores ordenados
 - Esse valor é substituído na posição (x, y) da região da imagem processada



Filtros Espaciais de Suavização

- Filtros não-lineares de suavização
 - O filtro de mediana é o **mais indicado** para certos tipos de ruídos na imagem digital
 - Eles são particularmente **mais eficazes** na redução de ruídos do tipo **sal e pimenta** (*salt and peper*) em comparação ao filtro de média
 - Pela aparência desse tipo de ruído, com pontos brancos e pretos sobrepostos em uma imagem
 - Veja no próximo slide exemplos dessas filtragens
 - Já está disponível no Moodle o código desse exemplo

Filtros Espaciais de Suavização

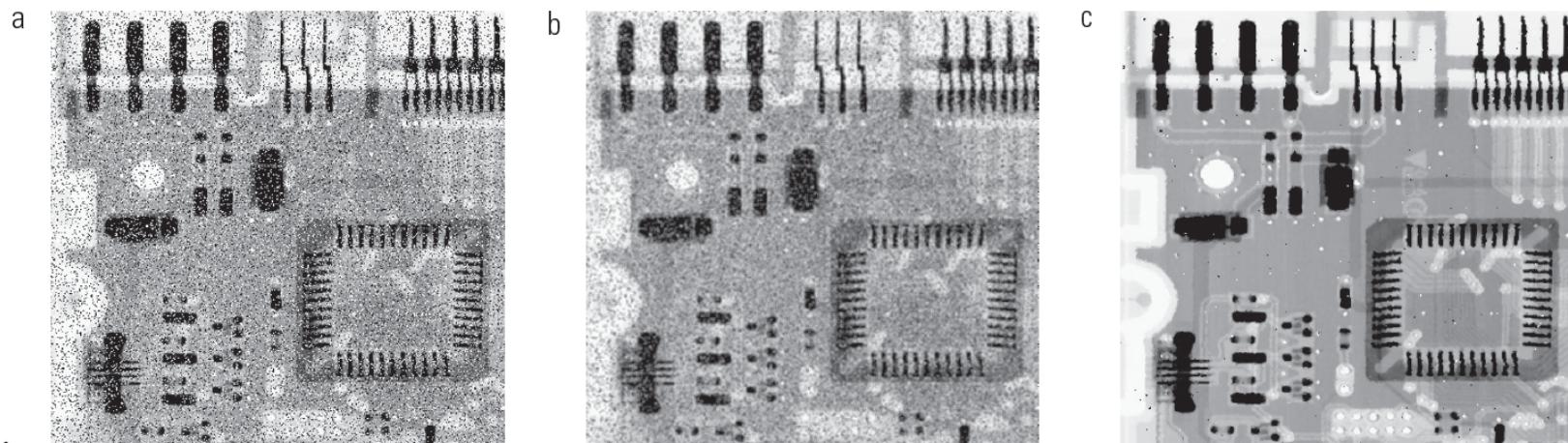


Figura 3.35 (a) Imagem de raios X de uma placa de circuito corrompida pelo ruído sal e pimenta. (b) Redução de ruído com um filtro de média 3×3 . (c) Redução de ruído com um filtro de mediana 3×3 . (Imagen original: cortesia do Sr. Joseph E. Pascente, Lixi, Inc.)

Filtros Espaciais para Aguçamento

- Os filtros de aguçamento (passa-alta) são utilizados para salientar transições de intensidade (através da derivação)
 - As **principais características** do aguçamento:
 - **Realçar** bordas e outras descontinuidades (como ruídos) na imagem
 - **Eliminação** das baixas **frequências** da imagem
 - Atenuar regiões da imagem com áreas de intensidades de variações suaves
 - Também existem **filtros não-lineares** de aguçamento

Filtros Espaciais para Aguçamento

- Esse tipo de filtro utiliza **derivadas de segunda ordem** (bidimensionais) para:
 - Detectar o inicio e o final de descontinuidades na imagem (degrau e rampa)
 - Modelar os pontos de ruído, linhas e bordas na imagem
 - Zerar regiões com valores constantes (regiões de baixa frequência)

Filtros Espaciais para Aguçamento

- O operador derivativo mais simples utilizado no processamento de imagens é o Laplaciano

$$\nabla^2 f = \frac{\partial^2 f}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 f}{\partial y^2}$$

- Onde:

$$\frac{\partial^2 f}{\partial x^2} = f(x+1, y) + f(x-1, y) - 2f(x, y)$$

$$\frac{\partial^2 f}{\partial y^2} = f(x, y+1) + f(x, y-1) - 2f(x, y)$$

Filtros Espaciais para Aguçamento

a	<table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <tbody> <tr><td>0</td><td>1</td><td>0</td></tr> <tr><td>1</td><td>-4</td><td>1</td></tr> <tr><td>0</td><td>1</td><td>0</td></tr> </tbody> </table>	0	1	0	1	-4	1	0	1	0	b	<table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <tbody> <tr><td>1</td><td>1</td><td>1</td></tr> <tr><td>1</td><td>-8</td><td>1</td></tr> <tr><td>1</td><td>1</td><td>1</td></tr> </tbody> </table>	1	1	1	1	-8	1	1	1	1
0	1	0																			
1	-4	1																			
0	1	0																			
1	1	1																			
1	-8	1																			
1	1	1																			
c	<table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <tbody> <tr><td>0</td><td>-1</td><td>0</td></tr> <tr><td>-1</td><td>4</td><td>-1</td></tr> <tr><td>0</td><td>-1</td><td>0</td></tr> </tbody> </table>	0	-1	0	-1	4	-1	0	-1	0	d	<table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <tbody> <tr><td>-1</td><td>-1</td><td>-1</td></tr> <tr><td>-1</td><td>8</td><td>-1</td></tr> <tr><td>-1</td><td>-1</td><td>-1</td></tr> </tbody> </table>	-1	-1	-1	-1	8	-1	-1	-1	-1
0	-1	0																			
-1	4	-1																			
0	-1	0																			
-1	-1	-1																			
-1	8	-1																			
-1	-1	-1																			

Figura 3.37 (a) Máscara de filtragem utilizada para implementar a Equação 3.6-6. (b) Máscara utilizada para implementar uma extensão dessa equação que inclui os termos diagonais. (c) e (d) Duas outras implementações do laplaciano frequentemente encontradas na prática.

Filtros Espaciais para Aguçamento

- O próximo slide mostra o aguçamento de uma imagem utilizando o Filtro Laplaciano
 - A primeira etapa é aplicar o Filtro Laplaciano na imagem de entrada
 - Como o Laplaciano gera valores negativos, você pode ajustar esses valores para o intervalo $[0, L - 1]$
 - Por último, é só aplicar a soma (ou subtração) da imagem de entrada com a saída do Filtro de Laplaciano

Filtros Espaciais para Aguçamento

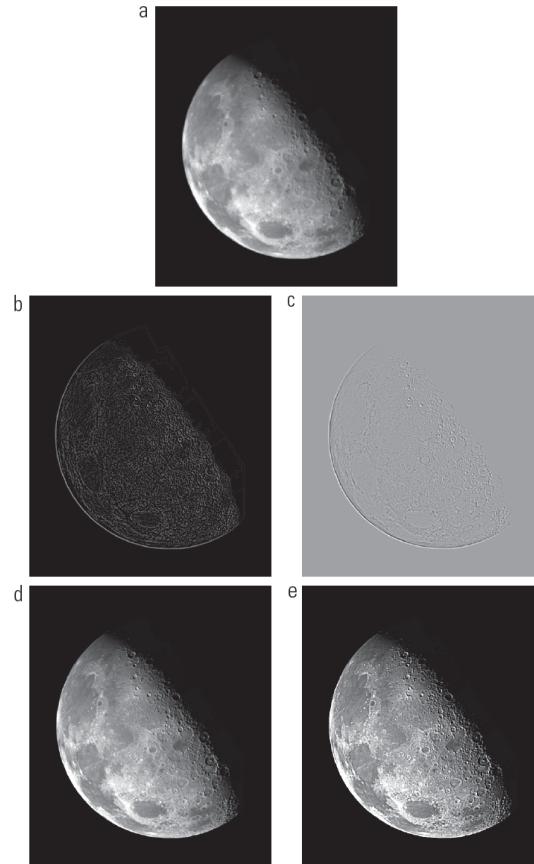


Figura 3.38 (a) Imagem borrada do polo norte da Lua. (b) Laplaciano sem ajuste. (c) Laplaciano com ajuste. (d) Imagem aguçada utilizando a máscara da Figura 3.37(a). (e) Resultado da utilização da máscara da Figura 3.37(b). (Imagem original: cortesia da Nasa.)



Filtros Espaciais para Aguçamento

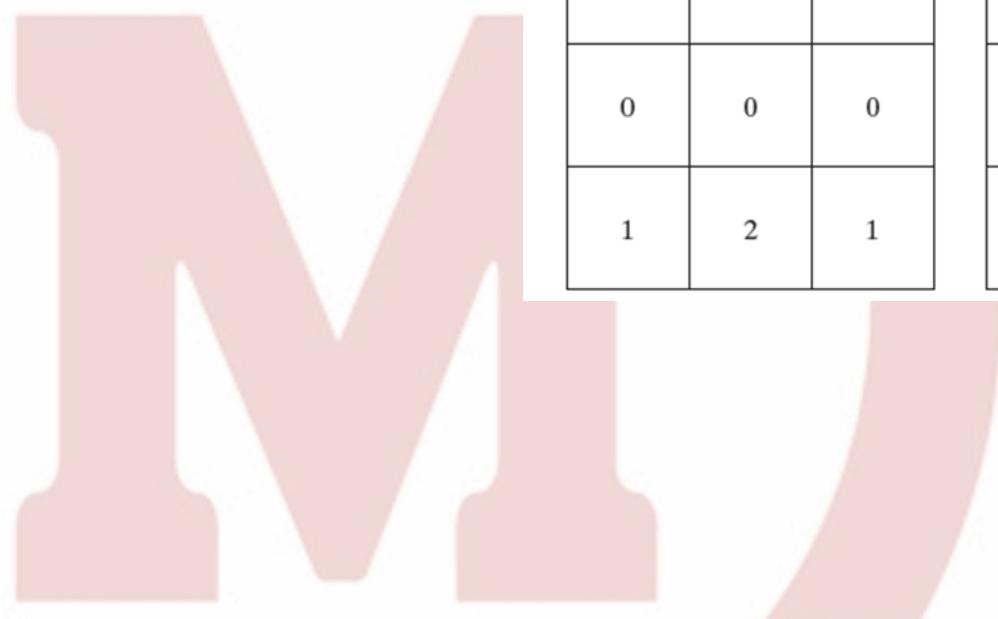
- Filtros não-lineares de aguçamento
 - Os filtros não-lineares de aguçamento utilizam a **magnitude do gradiente** para enfatizar as regiões com descontinuidades na imagem digital
 - De modo geral, a magnitude pode ser calculado a partir da soma dos valores absolutos do **gradiente horizontal** e do **gradiente vertical**:

$$M(x, y) \approx |g_x| + |g_y|$$

Filtros Espaciais para Aguçamento

- Filtros não-lineares de aguçamento
 - O **gradiente** pode ser utilizado para **realçar** as **bordas** de uma imagem digital
 - Um dos mais conhecidos filtros de detecção de bordas em imagens digitais é o **Filtro de Sobel**
 - A detecção de bordas é mais utilizada como uma etapa de pré-processamento de imagens para a inspeção automatizada, e não para análise humana
 - Veja no próximo slide os valores dos Filtros de Sobel

Filtros Espaciais para Aguçamento



Gx	-1	-2	-1
	0	0	0
	1	2	1

Gy	-1	0	1
	-2	0	2
	-1	0	1

Filtros Espaciais para Aguçamento



Combinando Métodos de Realce

- Nos concentramos apenas na utilização de técnicas aplicadas individualmente em imagens digitais
 - Porém, na maioria das vezes uma tarefa é realizada com a aplicação de várias técnicas de PDI para alcançar um resultado desejado
 - Na próxima aula de laboratório, vamos implementar um exemplo para melhorar uma imagem óssea de corpo inteiro
 - Veja as etapas desses exercícios no próximo slide

Combinando Métodos de Realce

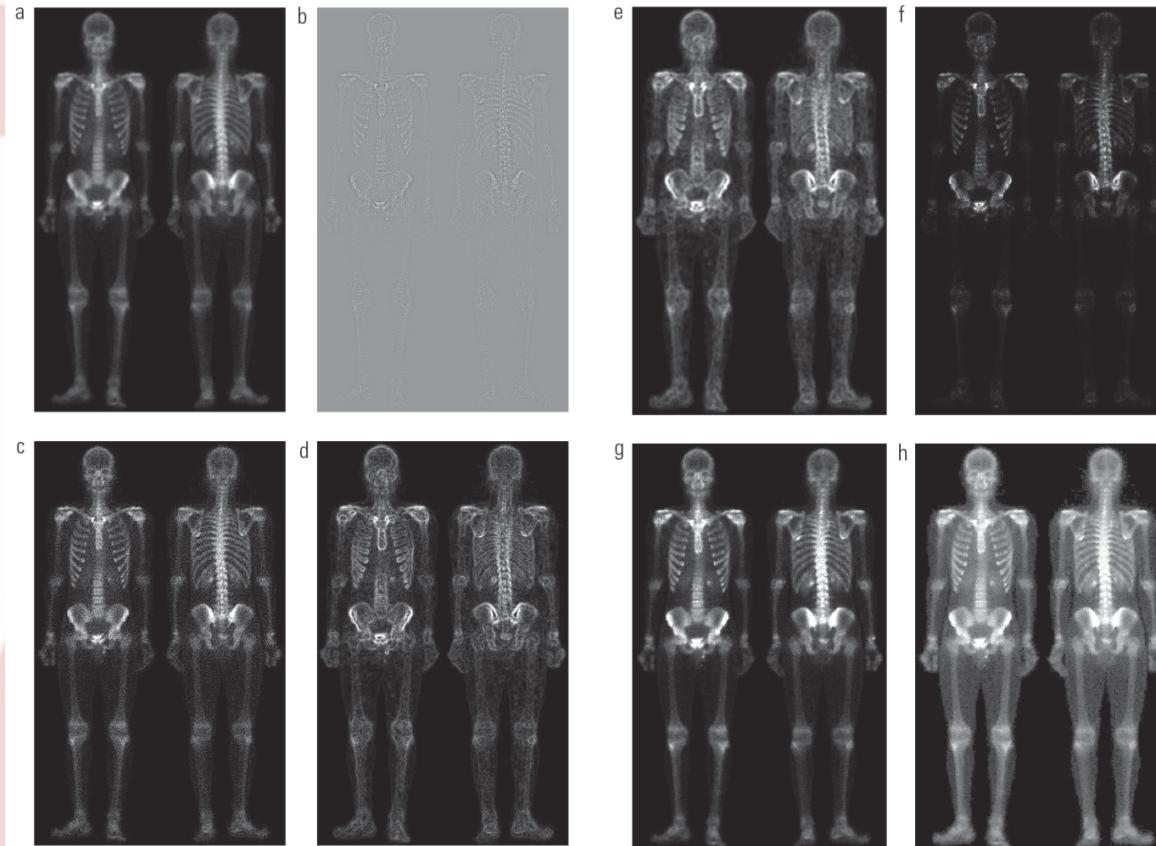


Figura 3.43 (a) Imagem de varredura óssea de corpo inteiro. (b) Laplaciano de (a). (c) Imagem após o aguçamento, obtida adicionando (a) e (b). (d) Gradiente de Sobel de (a). (e) Imagem de Sobel suavizada com um filtro de média 5×5 . (f) Imagem de máscara formada pelo produto de (c) e (e). (g) Imagem realçada, obtida pela soma de (a) e (f). (h) Resultado final obtido pela aplicação da transformação de potência em (g). Compare (g) e (h) com (a). (Imagen original: cortesia da G.E. Medical Systems.)

Imagens

- A maioria das imagens utilizadas nesses slides foram extraídas do livro "Processamento Digital de Imagens" (Gonzalez e Woods):

