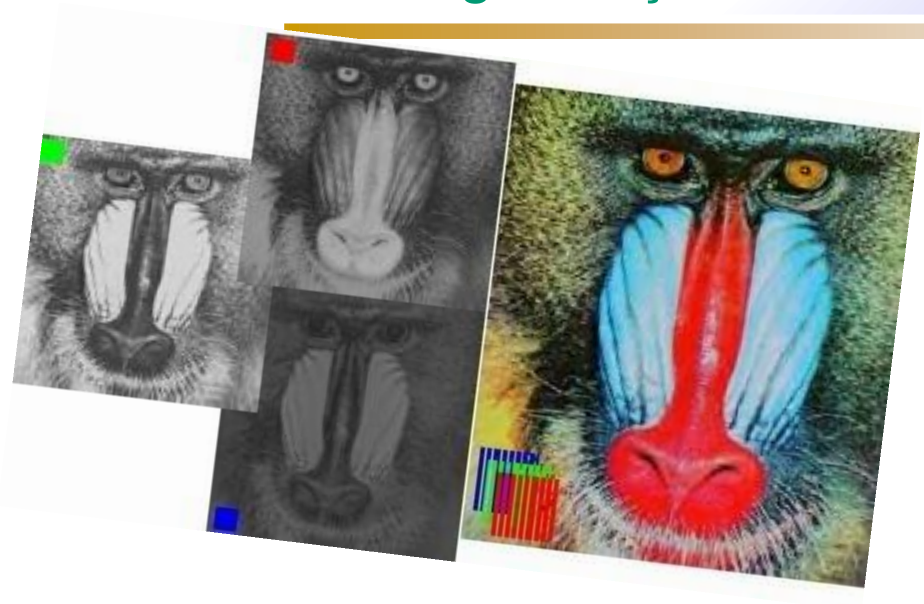
Prof. Dr. Leandro Alves Neves

Pós-graduação em Ciência da Computação



Aula 03

Processamento de Imagens Digitais

Sumário

- Operações Lógicas e Aritméticas
- Transformações Geométricas
- Métricas de Qualidade de Imagens

Operações Lógicas e Aritméticas

- Em imagens, as operações lógicas e aritméticas permitem alterar imagens

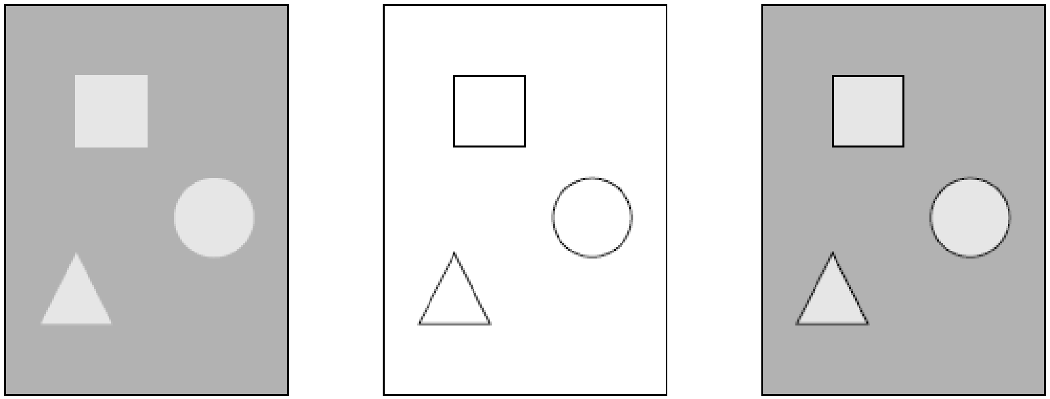
  - Considere as imagens *f1* e *f*2, as **operações aritméticas** mais comuns são:

Adição	$f_1(x,y) + f_2(x,y)$
Subtração	$f_1(x,y) - f_2(x,y)$
Multiplicação	$f_1(x,y).f_2(x,y)$
Divisão	$f_1(x,y)/f_2(x,y)$

  - Após as operações, **respeitar limites para evitar** números negativos, valores fracionários e valores de pixels maiores que a taxa de quantização, por exemplo.

Operações Lógicas e Aritméticas

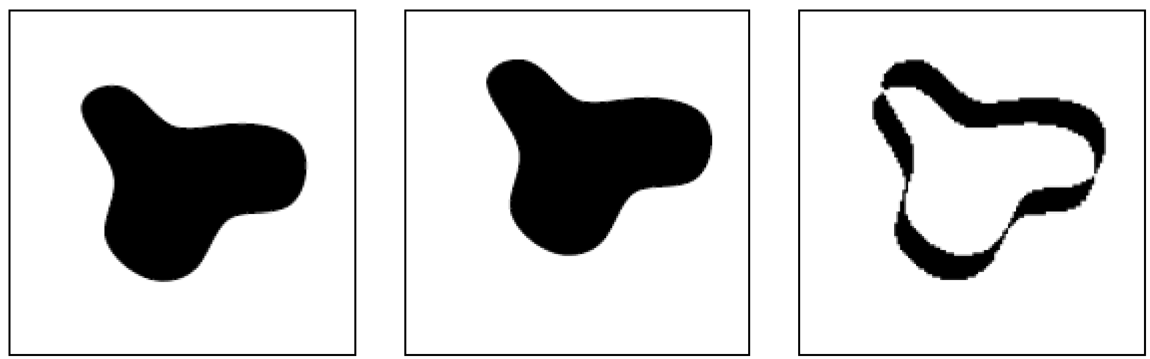
- Aplicações



(a) imagem original (b) mapa de bordas (c) sobreposição do mapa de bordas à imagem original

Exemplo de Adição

Exemplo de Subtração



(a) imagem f_1 (b) imagem f_2 (c) diferença $|f_1 - f_2|$

Operações Lógicas e Aritméticas

- Aplicações
  - Multiplicação ou divisão:
    - Ajustar brilho após o processo de aquisição
    - Filtragem de imagens
      - Especialmente no domínio da frequência e na modelagem de ruído.

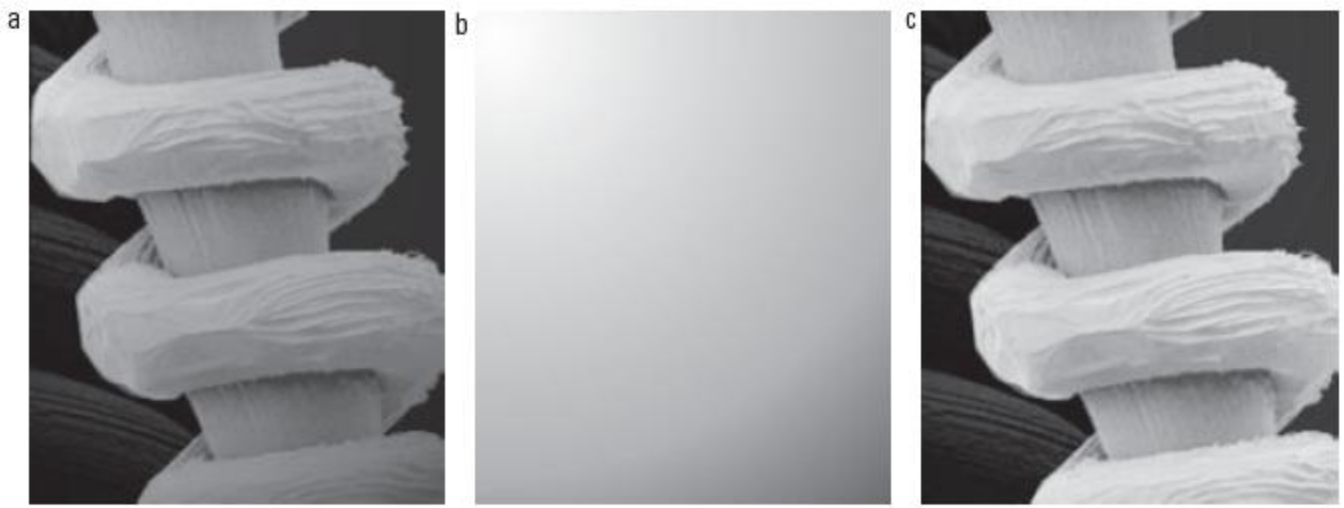


Figura 2.29 Correção de sombreamento. (a) Imagem sombreada de um filamento de tungstênio e suporte gerada por um microscópio eletrônico por varredura, ampliada aproximadamente 130 vezes. (b) O padrão de sombreamento. (c) Produto de (a) pelo inverso de (b). (Imagem original: cortesia de Michael Shaffer, Departamento de Ciências Geológicas, Universidade de Oregon, Eugene.)

Operações Lógicas e Aritméticas

- Considere as imagens *f1* e *f2*, as **operações lógicas** mais comuns são:

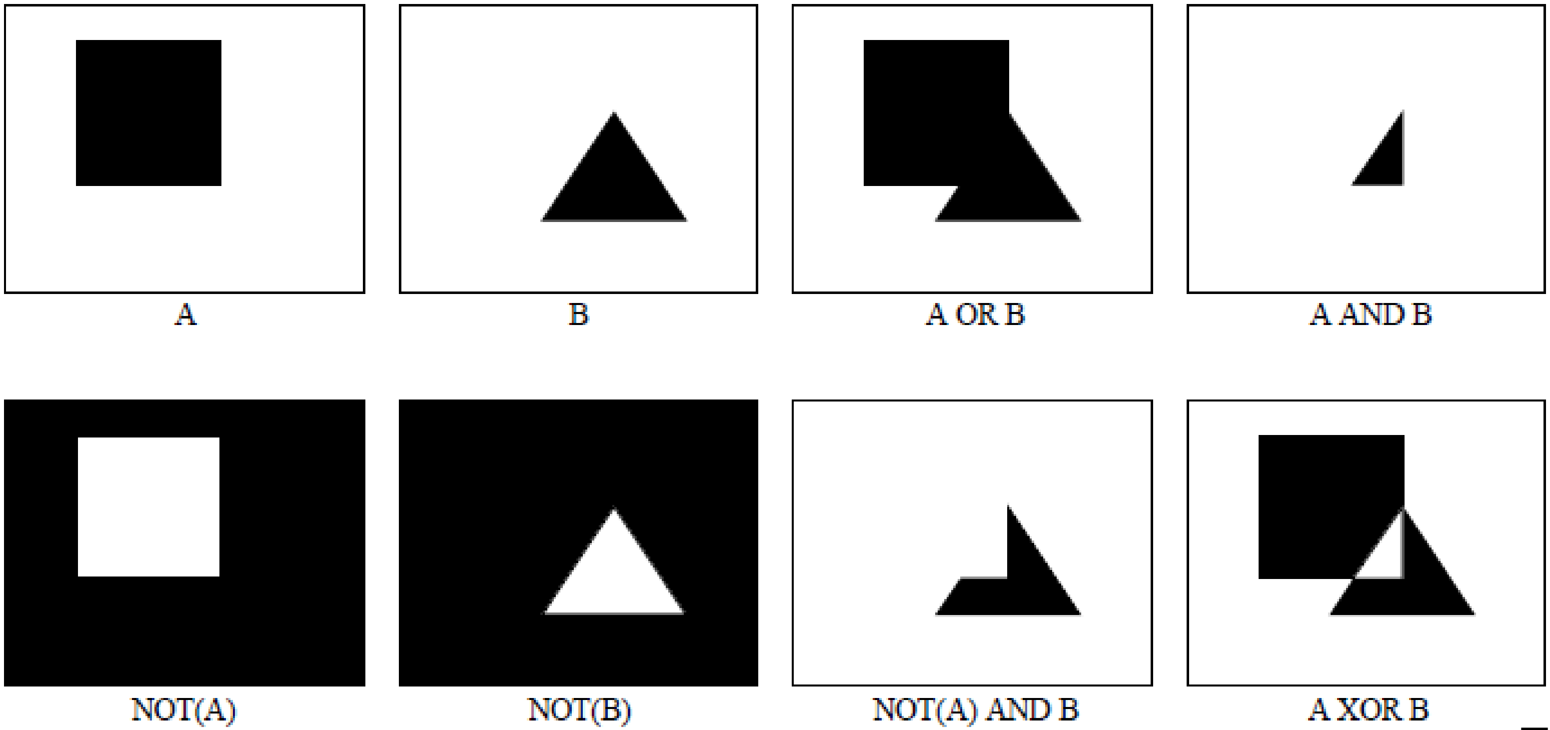
AND	$f_1(x,y)$ AND $f_2(x,y)$
OR	$f_1(x,y)$ OR $f_2(x,y)$
XOR	$f_1(x,y)$ XOR $f_2(x,y)$
NOT	$NOT(f_1(x,y))$

- Quando **combinadas**: expressões lógicas mais complexas

- Aplicadas a partir de **imagens binárias**

Operações Lógicas e Aritméticas

- Exemplos de **operações lógicas**



Produz 1 (objeto) quando os valores comparados são diferentes, caso contrário, produz 0 (fundo)

Transformações geométricas

- **Transformações geométricas**:
  - Modificam a relação espacial entre os pixels de uma imagem

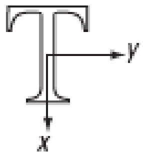
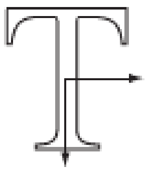
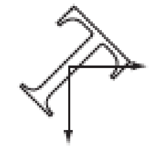
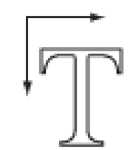
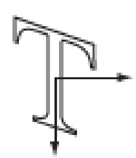
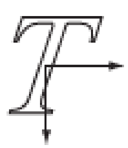
- Chamadas de transformações do tipo *rubber sheet (superfície de borracha)*
  - Consiste em duas operações básicas:
    - (1) uma transformação espacial de coordenadas
    - (2) interpolação de intensidade que atribui níveis de intensidade aos pixels transformados espacialmente

- **Expressa como:** $(x, y) = T\{(v, w)\}$,
  - (v, w) *são coordenadas de um pixel na imagem original*
  - (x, y) *são as coordenadas do pixel correspondente* na imagem transformada

Transformacões geométricas

- Exemplos de transformações geométricas

Tabela 2.2 Transformações afins baseadas na Equação 2.6-23.

Nome da transformação	Matriz afim, T	Equações coordenadas	Exemplo
Identidade	$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$	$x = v$ $y = w$	
Escala	$\begin{bmatrix} c_x & 0 & 0 \\ 0 & c_y & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$	$x = c_x v$ $y = c_y w$	
Rotação	$\begin{bmatrix} \cos\theta & \operatorname{sen}\theta & 0 \\ -\operatorname{sen}\theta & \cos\theta & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$	$x = v\cos\theta - w\operatorname{sen}\theta$ $y = v\operatorname{sen}\theta + w\cos\theta$	
Translação	$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ t_x & t_y & 1 \end{bmatrix}$	$x = v + t_x$ $y = w + t_y$	
Cisalhamento (vertical)	$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ s_v & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$	$x = v + s_v w$ $y = w$	
Cisalhamento (horizontal)	$\begin{bmatrix} 1 & s_h & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$	$x = v$ $y = s_h v + w$	

Transformacões geométricas

- Exemplo de transformação geométrica

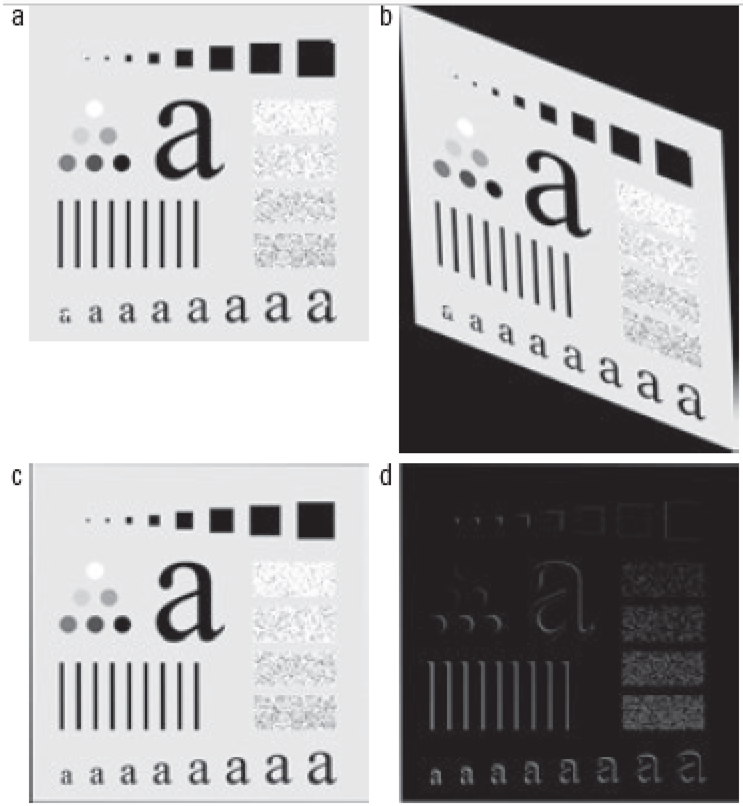


Figura 2.37 Registro de imagens. (a) Imagem de referência. (b) Entrada (imagem geometricamente distorcida). Pontos de controle correspondentes são mostrados como pequenos quadrados brancos próximos aos cantos da imagem. (c) Imagem registrada (observe os erros nas bordas externas). (d) Diferença entre (a) e (c), mostrando mais erros de registro.

Métricas de Qualidade de Imagens

- A qualidade de uma imagem pode ser avaliada via métricas

  - As **avaliações objetivas** mais comuns são baseadas em medidas de **similaridades ou diferenças entre as imagens**

Métricas de Qualidade de Imagens

- Considere as imagens ***f*** e ***g*** com dimensões *M*×*N* pixels, algumas métricas são:

  - **Erro máximo** (*Maximum Error* - ME)

$$\mathrm{ME} = \max |f(x,y) - g(x,y)|$$

- **Interpretação**:
  - Quanto menor, melhor a nova imagem se aproxima da original
  - **Sensível a ruído ou variações locais** nas imagens

Métricas de Qualidade de Imagens

- **Erro médio absoluto** (*Mean Absolute Error* - MAE)
  - **Soma da diferença absoluta** de cada ponto da imagem original e da imagem aproximada, **dividido pelo produto** das dimensões

$$\mathrm{MAE} = \frac{1}{MN} \sum_{x=0}^{M-1} \sum_{y=0}^{N-1} |f(x,y) - g(x,y)|$$

- **Interpretação**:
  - Quanto menor, melhor a nova imagem se aproxima da original
  - **Menos sensível ao ruído ou variações locais**

Métricas de Qualidade de Imagens

- **Erro médio quadrático** (*Mean Square Error* - MSE)
  - **Soma do quadrado das diferenças** de cada ponto da imagem original e da imagem aproximada, **dividido pelo produto** das dimensões

$$\mathrm{MSE} = \frac{1}{MN} \sum_{x=0}^{M-1} \sum_{y=0}^{N-1} [f(x,y) - g(x,y)]^2$$

- **Interpretação**:
  - Quanto menor, melhor a nova imagem se aproxima da original

Métricas de Qualidade de Imagens

- **Raiz do erro médio quadrático** (*Root Mean Square Error* - RMSE)
  - **Raiz quadrada do MSE (Erro médio quadrático)**

$$\mathrm{RMSE} = \sqrt{\frac{1}{MN}\sum_{x=0}^{M-1}\sum_{y=0}^{N-1}[f(x,y) - g(x,y)]^2}$$

- **Interpretação (é uma variação do erro médio quadrático)**:
  - Medida do **desvio médio** entre **a imagem original** e **nova imagem**
  - Indica a acurácia dos resultados numéricos
  - É sempre não negativo e um valor 0 indica similaridade perfeita

Métricas de Qualidade de Imagens

- **Erro médio quadrático normalizado** (*Normalized Mean Square Error* - NMSE)

$$\text{NMSE} = \frac{\sum_{x=0}^{M-1}\sum_{y=0}^{N-1}[f(x,y)-g(x,y)]^2}{\sum_{x=0}^{M-1}\sum_{y=0}^{N-1}[f(x,y)]^2}$$

Interpretação (Variação do erro médio quadrático):

- **Valores** variam **entre 0 e 1**, o que torna possível a **avaliação** de **imagens com dimensões ou escalas diferentes**.

Métricas de Qualidade de Imagens

- **Relação sinal-ruído de pico** (Peak Signal to Noise Ratio – PSNR)

$$\mathrm{PSNR} = 20 \log_{10} \frac{L_{max}}{\mathrm{RMSE}} \Longrightarrow$$ **Raiz do erro médio quadrático**

  - L_{max}: valor máximo de intensidade de cinza
  - PSNR é expressa em decibel (dB), unidade definida para medir intensidade sonora em escala logarítmica
  - PSNR, valores entre 20 (para RMSE = 25,5) e 40 (para RMSE = 2,55)

- **Quanto maior**, melhor a nova imagem se aproxima da original

Métricas de Qualidade de Imagens

- **Covariância** (relação linear, variação, entre duas imagens)

$$\sigma_{fg} = \frac{\sum_{x=0}^{M-1} \sum_{y=0}^{N-1} [f(x,y) - \mu_f][g(x,y) - \mu_g]}{MN}$$

  - em que μ_f e μ_g representam o nível de cinza médio nas imagens *f* e *g*, respectivamente.

Métricas de Qualidade de Imagens

- **Coeficiente de Jaccard** (relação linear, variação, entre duas imagens)

$$J = \frac{\displaystyle\sum_{x=0}^{M-1}\sum_{y=0}^{N-1}\begin{cases} = 1, & \text{se } f(x,y) = g(x,y) \\ = 0, & \text{caso contrário} \end{cases}}{MN}$$

  - A igualdade *f*(*x*, *y*) = *g*(*x*, *y*) permite um valor de tolerância (*t*):

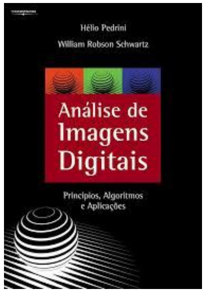
$$\left| f - g \right| \leq t$$

  - J=0: duas imagens que não apresentam qualquer similaridade
  - J=1: duas imagens que apresentam todos os elementos idênticos

Referências

1. Pedrini, H., Schwartz, W. R. Análise de Imagens Digitais: Princípios Algoritmos e Aplicações. São Paulo: Thomson Learning, 2008.

   Leitura: Capítulo 2, tópicos 2.11.8 a 2.13



2. González, R. C., Woods, R. E. Processamento de Imagens Digitais. São Paulo: Edgard Blücher ltda, 2000.

   Leitura: Capítulo 2, tópicos 2.6.1 a 2.6.6

3. Marques Filho, O., Vieira Neto, H. Processamento Digital de Imagens, Rio de Janeiro: Brasport, 1999.