

# Processamento digital de imagens

Agostinho Brito

DCA-CT-UFRN

3 de julho de 2018

# O que é processamento digital de imagens?



## O que é processamento digital de imagens

Saída	Entrada	
	IMAGEM	MODELO
IMAGEM	<b>Processamento digital de Imagens</b>	Computação gráfica
MODELO	Visão computacional	Geometria Computacional

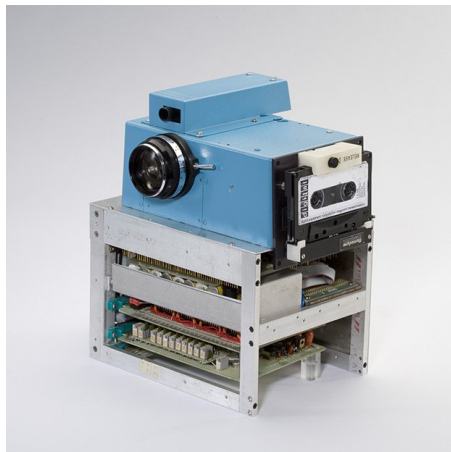
# Primeira imagem digital

- Adquirida em 1957 por [Russel Kirsch](#), cientista do NIST.
- Tinha  $176 \times 176$  pixels de tamanho.
- Diversos limiares precisaram ser ajustados para que a imagem em tom de cinza pudesse ser capturada no scanner monocromático desenvolvido.



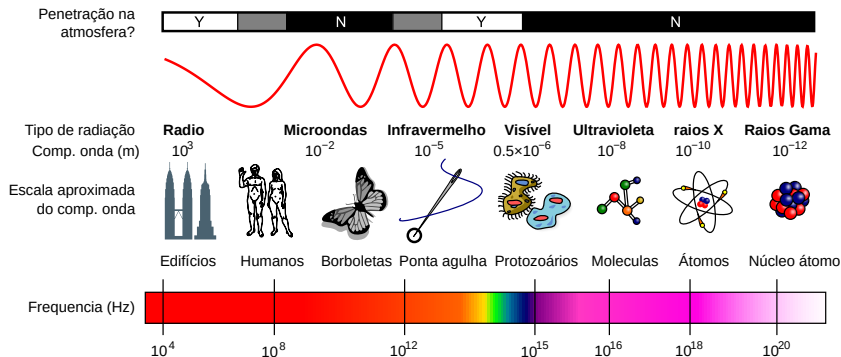
# Primeira câmera digital

- Criada em 1975 por Steve Sasson.
- Resolução de 0.01 Megapixels.
- A imagem foi adquirida em 23 segundos.
- Para ver as imagens foi desenvolvido uma adaptação para uma TV.

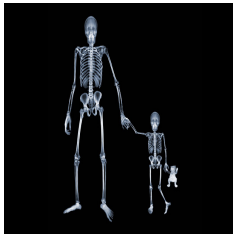


## De onde vêm as imagens?

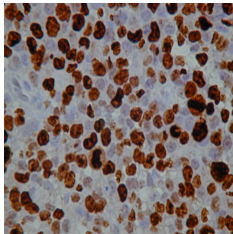
As mais comuns provêm do espectro de ondas eletromagnéticas



# Exemplos de aplicações



Raios X



Microscopia



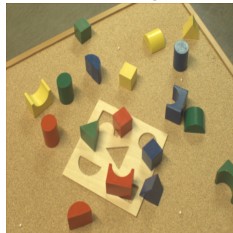
Ultrassonografia



Automação

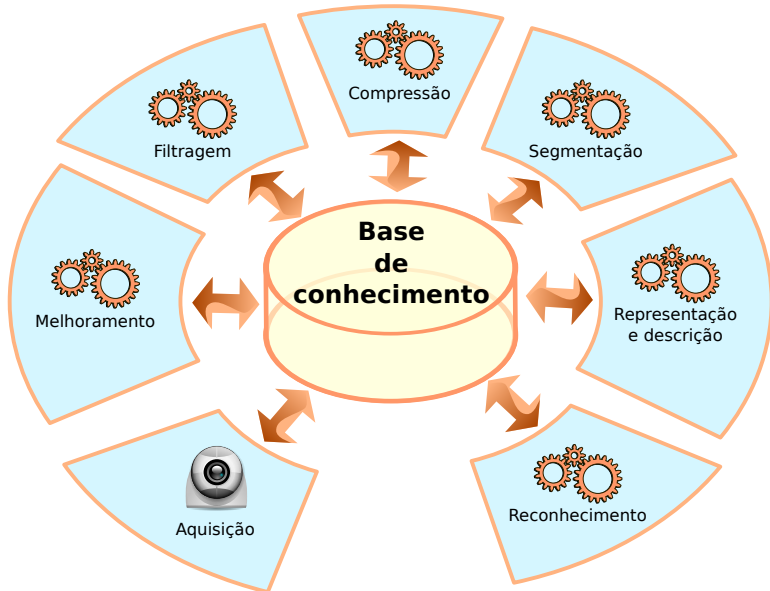


Entretenimento



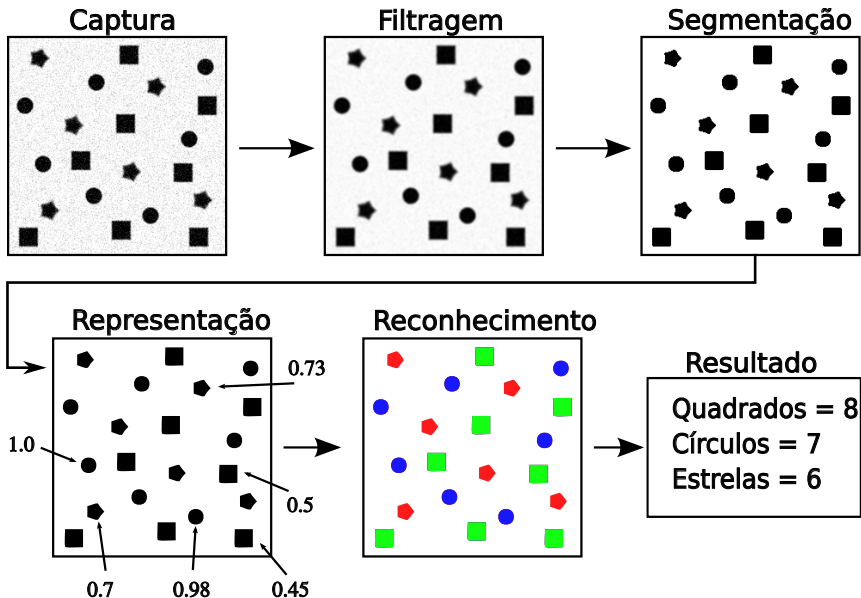
Visão

## Etapas envolvidas





## Etapas envolvidas no processamento de imagens - exemplo



## Imagem: definição

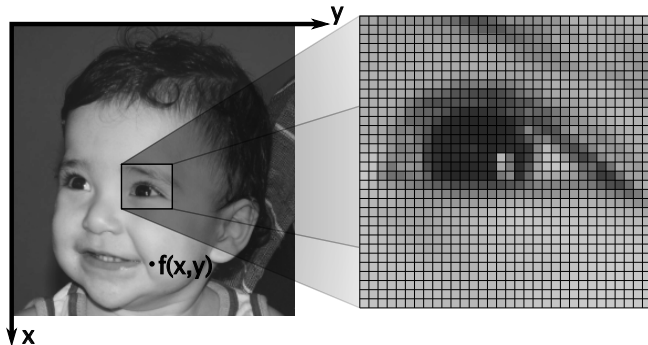
- Uma **imagem** pode ser definida como toda e qualquer visualização gerada pelo ser humano, seja em forma de objeto, de obra de arte, de registro foto-mecânico, de construção pictórica (pintura, desenho, gravura) ou até de pensamento.
- Uma imagem é uma **figura** quando é produzida por ordenação de pigmentos sobre algum suporte, geralmente utilizando técnicas de fotografia: impressão em filme de uma cena tomada com uso de uma câmera fotográfica.

# Imagem monocromática

- Função de intensidade luminosa bidimensional  $f(x, y)$ , onde os valores de  $x$  e  $y$  denotam coordenadas espaciais e o valor de  $f$  em qualquer ponto  $(x, y)$  é proporcional ao brilho da imagem naquele ponto.
- As mais comuns são as imagens cinza (fotos antigas) e as imagens preto-e-branco (impressão em livros).

# Representação de imagens monocromáticas

- Uma **imagem monocromática** é dita **digital** quando é representada por uma matriz cujos índices das linhas e colunas identificam um ponto na imagem e o elemento correspondente da matriz identifica o nível de cinza neste ponto.
- Os elementos da matriz são comumente chamados de **pixels**, ou pels, abreviaturas de *picture elements*.



# Imagem policromática

- Formada pela composição de funções de intensidade luminosa bidimensionais  $f_i(x, y)$ , onde os valores de  $x$  e  $y$  denotam coordenadas espaciais e o valor de  $f_i$  em qualquer ponto  $(x, y)$  para a função  $i$  é proporcional a uma resposta de uma região do espectro para a imagem naquele ponto.
- Normalmente, várias matrizes são necessárias para representar a noção de cor.
- As mais conhecidas são as imagens coloridas tradicionalmente armazenadas em arquivos como jpeg, png ou gif.

## Aquisição

- A **captura de imagens** envolve um dispositivo sensível à energia eletromagnética (luz visível, ultravioleta, infravermelho, raiosX) ou eletromecânica (ultrassom), e um dispositivo digitalizador, que converte a saída elétrica contínua do sensor para níveis digitais.
- Imagens digitais possuem valores discretos de intensidade e posição espacial. Os principais tipos de sensores são os **de linha** (*scanner* de mesa) e os **de área** (câmera filmadora).
- As imagens podem conter informação de cor ou não.
  - Para imagens coloridas, três componentes de cor (ou matrizes) são utilizadas: **Red**, **Green** e **Blue**.
  - Para imagens monocromática, apenas uma matriz é usada e a imagem é representada em **escala de cinza** (ou *grayscale*).

## Representação

- Uma imagem é uma função bidimensional de intensidade de luz  $f(x, y)$ , onde

$$0 < f(x, y) < \infty$$

- A natureza dos tons da imagem pode ser caracterizada por duas componentes: intensidade luminosa,  $i(x, y)$ , depende da fonte de energia, e reflectância,  $r(x, y)$ , que depende das propriedades do material.

$$f(x, y) = i(x, y)r(x, y)$$

onde  $0 < i(x, y) < \infty$  e  $0 < r(x, y) < 1$

- $r(x, y) \rightarrow 1$ : tendem a refletir a luz que incide sobre o material (Ex: superfície branca).
- $r(x, y) \rightarrow 0$ : tendem a absorver a luz que incide sobre o material (Ex: superfície preta).

## Quantização

Uma imagem  $f(x, y)$  precisa ser digitalizada tanto no espaço quanto em intensidade (amplitude). Este processo é chamado de quantização. Pode ser feita:

- Espacialmente ( $M_{linhas} \times N_{colunas}$ )
- No número de níveis utilizados para representar cada pixel, denotado por  $G = 2^m$ , onde  $m$  é a quantidade de bits usada para representação.
- Com  $m = 8$ , cada pixel pode representar até 256 tons de cinza, suficientes para distinção pelo olho humano.



## Quantização espacial - efeitos da redução de elementos na matriz de pontos

- Perda de detalhes
- Efeito “tabuleiro de xadrez”.



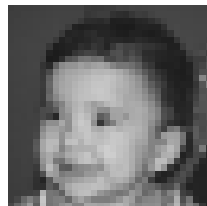
256



128



64



32

**Quantização em tons de cinza** - efeitos da redução da quantidade de bits para representação.

- Efeito de falso contorno.
- Visível em imagens com 16 tons de cinza ou menos.



5 bits



4 bits



3 bits



2 bits

## Resolução espacial

- Número de elementos nos registradores.
- Quanto maior, melhor a riqueza de detalhes.

## Armazenamento

- Fator relacionado com a quantidade de memória necessária para guardar uma imagem.
- Imagem cinza com resolução de 640x480 pixels necessita de 300K para ser armazenada. Para uma imagem com resolução de 1024x1024, a memória necessária é de 1M.
- Métodos de compressão reduzem estes números.

## Processamento

- O processamento de imagens digitais é geralmente espreço na forma algorítmica. A maioria das funções de processamento pode ser implementada via *software*.
- O processamento via *hardware* geralmente só é necessário quando a velocidade é fator preponderante nos resultados e não pode ser alcançada via *software*.
- Para imagens em movimento, 30 quadros por segundo geralmente precisam ser processados.

## Comunicação

- Envio de dados entre estações de processamento.
- Técnicas de compressão aceleram a transmissão de dados com ou sem perda de informações.

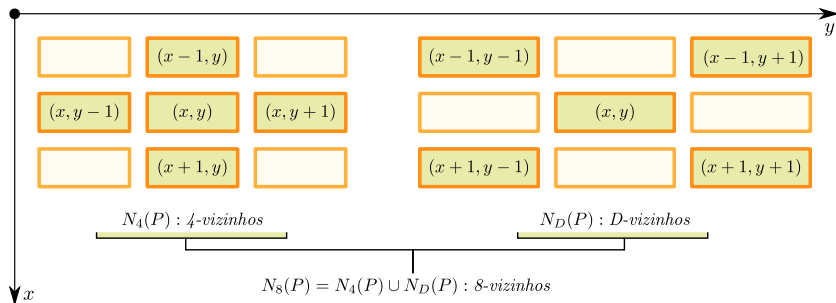
## Apresentação

- Exibição da imagem em monitores de vídeo ou dispositivos de impressão.
- Imagens coloridas / *pseudocolor*.

índice	R	G	B
0	10	230	20
1	15	23	179
...	...	...	...
255	200	10	68

## Relações entre pixels

- Cada pixel possui um conjunto de outros pixels que participam de sua vizinhança.
- O conceito de vizinhança é utilizado no estabelecimento de fronteiras e conectividade de regiões em uma imagem.
- Vizinhança de um pixel.





- As relações de adjacência entre pixels são baseadas em um critério de similaridade (níveis de cinza iguais).
- Seja  $\mathbb{V}$  o conjunto dos níveis de cinza utilizados para definir conectividade.
- Para uma imagem binária,  $\mathbb{V} = 1$ . Para uma imagem em tons de cinza, o conjunto é determinado por uma faixa de tons de cinza,  $\mathbb{V} = 16, 17, \dots, 32$ .
- Principais tipos de conectividade
  - **conectividade 4** - dois pixels  $p$  e  $q$  com valores de  $\mathbb{V}$  são 4-conectados se  $q$  está no conjunto  $N_4(p)$ .
  - **conectividade 8** - dois pixels  $p$  e  $q$  com valores de  $\mathbb{V}$  são 8-conectados se  $q$  está no conjunto  $N_8(p)$ .

## Rotulação de componentes conectadas

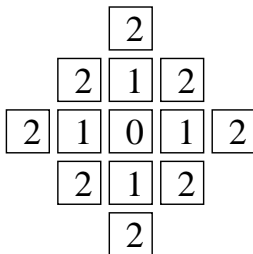
- A rotulação de componentes conectadas exerce importante papel no processamento automático de imagens binárias. Permite atribuir a cada componente um rótulo para diferenciá-la das outras componentes na imagem.
- Algoritmo `seedfill(x, y, rotulo)` (ou `floodfill`):
  - 1 Iniciar pilha de posições com a posição do pixel  $p$ , de coordenadas  $(x, y)$ .
  - 2 Retirar elemento da pilha.
  - 3 Para cada ponto  $p'$  vizinho do pixel  $p$ , se seu valor for igual a 255, empilhar a sua posição  $(x', y')$  na pilha de posições.
  - 4 Alterar o valor do pixel  $(x, y)$  para o valor do rótulo.
  - 5 Repetir até que a pilha esvazie.

## Rotulação de componentes conectadas

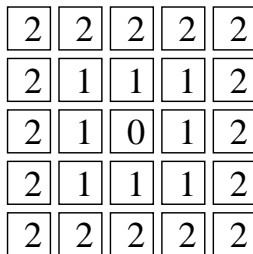
- Assumindo que os pixels de fundo têm valor igual a 0 e os pixels das várias componentes têm valor igual a 255, algoritmo de rotulação é o seguinte:
  - 1 Fazer  $rotulo = 1$ .
  - 2 Varrer a imagem sequencialmente, linha por linha, até encontrar pixel  $(x, y)$  com valor igual a 255.
  - 3 Executar algoritmo `seedfill(x, y, rotulo)`.
  - 4 Fazer  $rotulo = rotulo + 1$ .
  - 5 Continuar a varredura a partir do ponto seguinte ao ponto  $(x, y)$ .
  - 6 Repetir até a extinção de componentes conectadas.

**Medidas de distância** entre os pixels  $p(x, y)$  e  $q(s, t)$ .

- Euclidiana:  $D_e(p, q) = \sqrt{(x - s)^2 + (y - t)^2}$
- $D_4$  (quarteirão):  $D_4(p, q) = \|x - s\| + \|y - t\|$
- $D_8$  (tabuleiro):  $D_8(p, q) = \max(\|x - s\|, \|y - t\|)$



$D_4$



$D_8$

## Translação

- deslocamento de um ponto com coordenadas  $(x, y)$  para uma nova localização  $(x', y')$  por  $(x_0, y_0)$  pixels, ou seja,

$$x' = x + x_0$$

$$y' = y + y_0$$

- O pixel na nova posição  $(x', y')$  assumirá a cor do pixel que existia na posição  $(x, y)$  antes da operação de translação.
- Costuma-se geralmente representar as transformações em coordenadas homogêneas, uniformizando-as em uma matriz. Para a translação, é feita a representação

$$\begin{bmatrix} x' \\ y' \\ s \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & x_0 \\ 0 & 1 & y_0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ 1 \end{bmatrix}$$

- A matriz de translação em coordenadas homogêneas será então

$$T = \begin{bmatrix} 1 & 0 & x_0 \\ 0 & 1 & y_0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

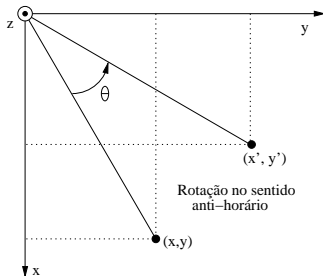
# Transformações na geometria da imagem

## Escalação

$$T = \begin{bmatrix} S_x & 0 & 0 \\ 0 & S_y & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

## Rotação

$$T = \begin{bmatrix} \cos(\theta) & -\sin(\theta) & 0 \\ \sin(\theta) & \cos(\theta) & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$



- O mapeamento das transformações é feito no sentido inverso, ou seja, para cada pixel  $p'(x', y')$  da imagem rotacionada, procura-se sua posição na imagem original,  $p(x, y)$  e atribui-se o valor deste pixel à imagem processada.
- Se o mapeamento for realizado no sentido direto, a imagem resultante poderá conter pontos com valores indefinidos.

# Transformações na geometria da imagem

- Diversas transformações podem ser representadas por uma única matrix  $3 \times 3$ .  
Ex:

$$p' = R_{\theta}(S(Tp)) = Ap$$
$$A = R_{\theta}ST$$