

# RECONHECIMENTO DE PADRÕES

Clicéres Mack Dal Bianco



SOLUÇÕES  
EDUCACIONAIS  
INTEGRADAS



# Tratamento de imagens digitais

## Objetivos de aprendizagem

Ao final deste texto, você deve apresentar os seguintes aprendizados:

- Explicar a construção de uma imagem computacional.
- Descrever as etapas de um sistema de processamento de imagens.
- Identificar os componentes de um sistema de processamento de imagens.

## Introdução

A imagem computacional pode ser originária de um dispositivo, como uma câmera digital, que captura um momento de uma cena real (contínuo) e realiza a transformação para imagem digital por meio da discretização. Quando discretizamos uma imagem, os dados são organizados em uma matriz bidimensional. Os sistemas de processamento de imagens precisam aprender por meio de descritores (características) a identificar quais são os objetos que compõem a imagem.

Este capítulo foi dividido em três seções para possibilitar a apresentação de alguns pontos importantes sobre o processamento de imagens. Na primeira seção, você vai acompanhar o processo de construção de uma imagem computacional, do momento de captura ao armazenamento em computador. Você vai ver também como os sistemas de cores RGB e HSV são usados para representar imagens. Na segunda seção, serão descritas as principais etapas de um sistema de processamento de imagens, desde a aquisição até a descrição dos objetos presentes em uma imagem. Na terceira seção, por fim, serão apresentados os componentes de *hardware* e *software* que envolvem os sistemas computacionais.

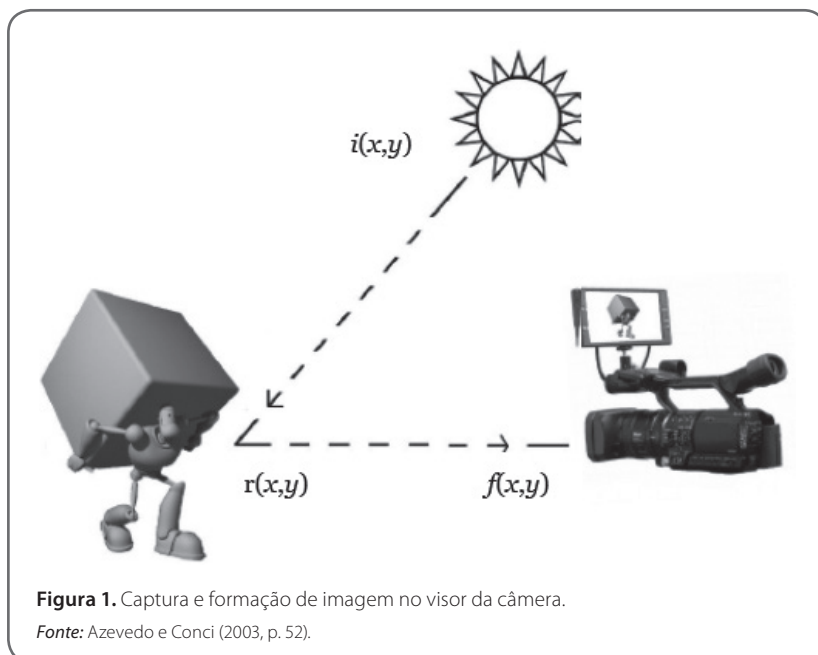
## 1 Construção de uma imagem computacional

De acordo Gonzalez e Woods (2010), a imagem computacional é definida como matriz. A imagem pode ser definida como uma função bidimensional,  $f(x, y)$ , em que  $x$  e  $y$  são coordenadas espaciais (plano), e a amplitude de  $f$ , em qualquer par de coordenadas  $(x, y)$ , é chamada de intensidade, ou nível de cinza da imagem, nesse ponto.

A imagem digital é composta de um número finito de elementos, cada um com localização e valor específicos. Esses elementos são chamados de elementos pictóricos, elementos de imagem, pels e pixels. Pixel é o termo mais utilizado para representar os elementos de uma imagem digital.

Uma imagem pode ser considerada uma distribuição de energia luminosa em posição espacial. Na Figura 1, foi ilustrada uma situação de iluminação (no caso solar) e a distribuição de energia luminosa sobre o objeto. Pode-se observar que a iluminação distribui energia sobre o objeto. Parte dessa energia luminosa é absorvida pelo objeto ( $A$ ), parte é transmitida ( $T$ ) e parte é refletida ( $R$ ), sendo capturada pela câmera. Conforme Azevedo e Conci (2003), a lei da energia pode ser expressa conforme a Equação 1:

$$R + T + A = 1$$



**Figura 1.** Captura e formação de imagem no visor da câmera.

Fonte: Azevedo e Conci (2003, p. 52).

Ainda na Figura 1, há a imagem formada na câmera, que segundo Conci, Azevedo e Leta (2008), pode ser expressa por uma função de cada:

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

onde  $i(x,y)$  é função da iluminação e  $r(x,y)$  é função da reflexão do objeto. A função  $f(x,y)$  descreve a energia luminosa da imagem na coordenada espacial  $(x,y)$ . Essa função é convertida em sinal elétrico pelo dispositivo de captura e transmitida para um computador. De posse dessas informações, torna-se possível desenvolver algoritmos de processamento de imagens, análise de imagens, visão computacional e todas as outras áreas de computação gráfica que usam imagens digitais como dado de entrada (AZEVEDO; CONCI, 2003).

A imagem é formada basicamente por dois fatores. O primeiro é a quantidade de luz existente no ambiente onde o objeto é capturado. O segundo refere-se à reflexão dessa luz pelos objetos colocados na cena. O termo  $i(x,y)$  indica iluminação no ponto  $(x,y)$ . Considera-se a função  $f$  como o produto entre duas funções:  $i$  e  $r$  referem-se, respectivamente, à característica do ambiente e à do objeto (GONZALEZ; WOODS, 2010).

O dispositivo de aquisição de imagens mais utilizado atualmente é a câmera CCD (*charge-coupled device*), que consiste em uma matriz de células semicondutoras fotossensíveis que atuam como capacitores, armazenando carga elétrica proporcional à energia luminosa incidente. Para capturar uma imagem colorida por meio de uma câmera, é necessário que o CCD tenha um conjunto de filtros encarregados de decompor a imagem colorida em componentes R (*red*), G (*green*) e B (*blue*). Após a energia luminosa sensibilizar um dispositivo de captação, a imagem passará a ser processada pelo computador. Assim, para que os computadores possam manipulá-la, uma imagem deve ser formatada. Para ser processada pelo computador, a imagem é digitalizada, convertida de contínua (real) para uma representação discreta (digital) — discretizada. Em outras palavras, a forma de representar o mundo contínuo no computador é discretizando-o. Desse modo, a imagem pode ter uso computacional, podendo depois ser armazenada na forma de arquivo (CONCI; AZEVEDO; LETA, 2008). O Quadro 1 demonstra as etapas da discretização à codificação e vice-versa.

**Quadro 1.** Etapas da discretização à codificação e vice versa

Processos	Conceitos
Discretização	Processo de conversão da imagem na forma contínua em uma representação discreta. Normalmente, esse processo também é chamado de digitalização se a representação for números inteiros e positivos.
Codificação	Significa a modificação de características de um sinal para torná-lo mais apropriado para uma aplicação específica, como para transmissão ou armazenamento de dados. Gera um conjunto de dados, facilitando sua transmissão e armazenagem.
Reconstrução	Processo inverso da discretização, em que é possível obter apenas uma aproximação da imagem contínua.
Decodificação	Processo oposto à codificação, em que acessam informações codificadas na forma de uma representação discreta. Quando uma imagem discretizada é igual a codificada, diz-se que não ocorrem perdas.

*Fonte:* Adaptado de Azevedo e Conci (2003).

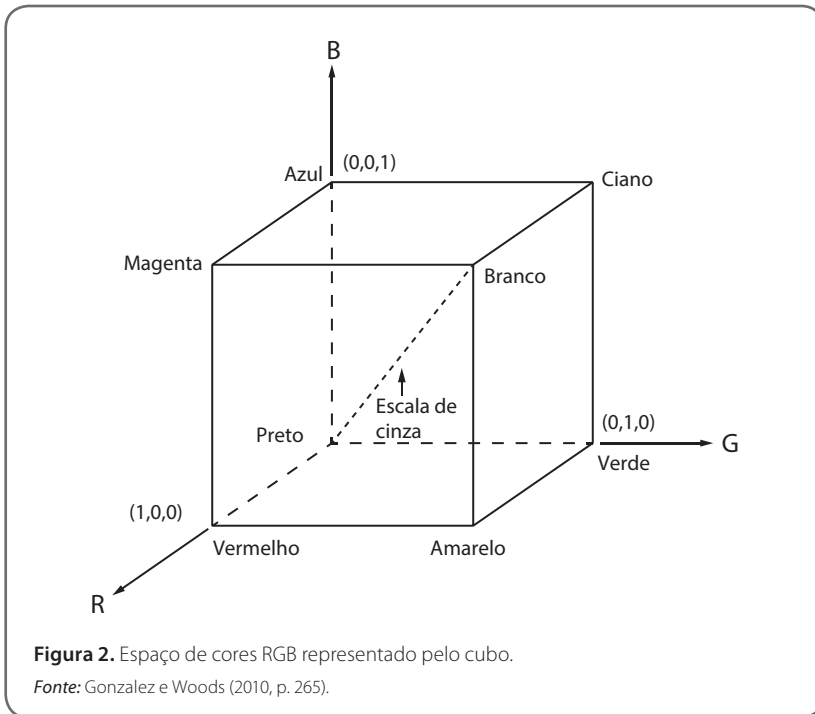
Uma imagem em escala de cinza ou monocromática pode ser representada em uma matriz bidimensional. Já as imagens coloridas (ou multibanda) necessitam de matriz três dimensões. Não existe um conjunto de cores finito que produza todas as cores, mas sabe-se que grande parte delas pode ser produzida a partir de três cores primárias — vermelho, verde e azul —, conhecidas como cores primárias RGB. No caso de imagens RGB, cada matriz armazena a intensidade de cada canal, e a composição das três cores forma a imagem que é vista no monitor.

## Sistemas de cores

O sistema de cor é um modelo que explica as propriedades ou o comportamento das cores em determinado contexto. Usam-se modelos para descrever característica de cores. Neste capítulo, serão apresentados o RGB e o HSV.

No **sistema de cor RGB**, cada cor aparece em seus componentes primários de vermelho, verde e azul. Esse modelo se baseia em um sistema de coordenadas cartesianas. O subespaço de cores de interesse é o cubo, apresentado na Figura 2. Os valores RGB primários estão em três vértices. As cores secundárias ciano,

magenta e amarelo estão em outros três vértices. O preto está na origem. O branco, por fim, está no vértice mais distante da origem.



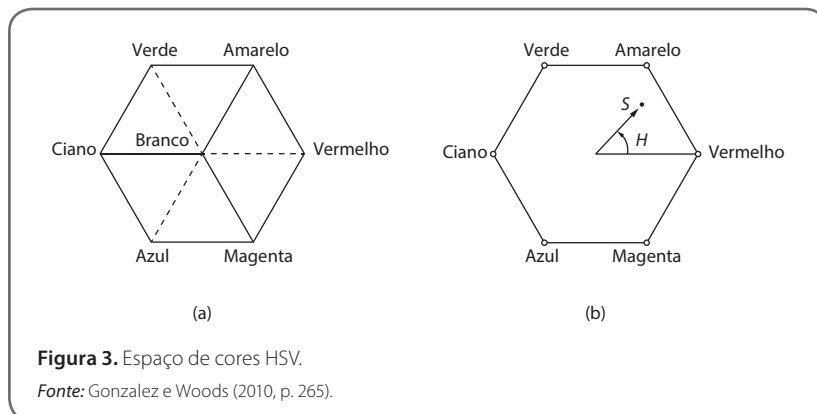
Observe que a escala de cinza (pontos de valores RGB iguais) estende-se do preto até o branco ao longo do segmento de reta que une esses dois pontos. As diferentes cores nesse modelo são pontos no cubo ou dentro dele e são definidas por vetores que se estendem a partir da origem. Esse sistema de cores é teoricamente adequado para implementações em *hardware*. Porém, o RGB, não é muito adequado para descrever cores em termos práticos para a interpretação humana. Por exemplo, não nos referimos à cor de um carro dando a porcentagem de cada uma das primárias que compõe a cor. Além disso, não pensamos em imagens coloridas como compostas de três imagens primárias que se combinam para formar uma única imagem. Quando vemos um objeto em cores, nós o descrevemos em termos de matiz, saturação e brilho.

O **sistema de cor HSI** (*hue, saturation, intensity* — matiz, saturação, intensidade), que corresponde estreitamente à forma como os seres humanos descrevem e interpretam as cores. Pense nos matizes como sendo as cores que você pode ver em um disco de cores. Em termos técnicos, matiz baseia-se no

comprimento de onda de luz refletida de um objeto, ou transmitida por ele. A saturação, também chamada de **chroma**, é a quantidade de cinza em uma cor. Quanto mais alta a saturação, mais baixo é o conteúdo e mais intensa é a cor. O brilho é uma medida de intensidade da luz em uma cor (fonte cores).

O modelo HSI também possui a vantagem de separar as informações de cor e de escala de cinza da imagem, sendo mais adequado para muitas técnicas de processamento de imagens em níveis de cinza. Espaço HSI é representado por um eixo de intensidade vertical e o conjunto de pontos de cor localizados em planos perpendiculares a esse eixo. Nesse plano, você pode observar que as cores primárias são separadas por  $120^\circ$ . As cores secundárias estão a  $60^\circ$  das primárias, o que significa que o ângulo entre as secundárias também é de  $120^\circ$  (Figura 3a). O matiz do ponto é determinado por um ângulo a partir de algum ponto de referência. Normalmente (mas nem sempre), um ângulo de  $0^\circ$  a partir do eixo vermelho indica matiz 0, e o matiz aumenta no sentido anti-horário a partir desse ponto.

Por sua vez, a saturação (distância a partir do eixo vertical) é o comprimento do vetor a partir da origem até o ponto. Observe que a origem é definida pela interseção dos planos de cor com o eixo de intensidade vertical (Figura 3b). Os componentes importantes do espaço de cores HSI são o eixo de intensidade vertical, o comprimento do vetor até um ponto de cor e o ângulo desse vetor em relação ao eixo vermelho.

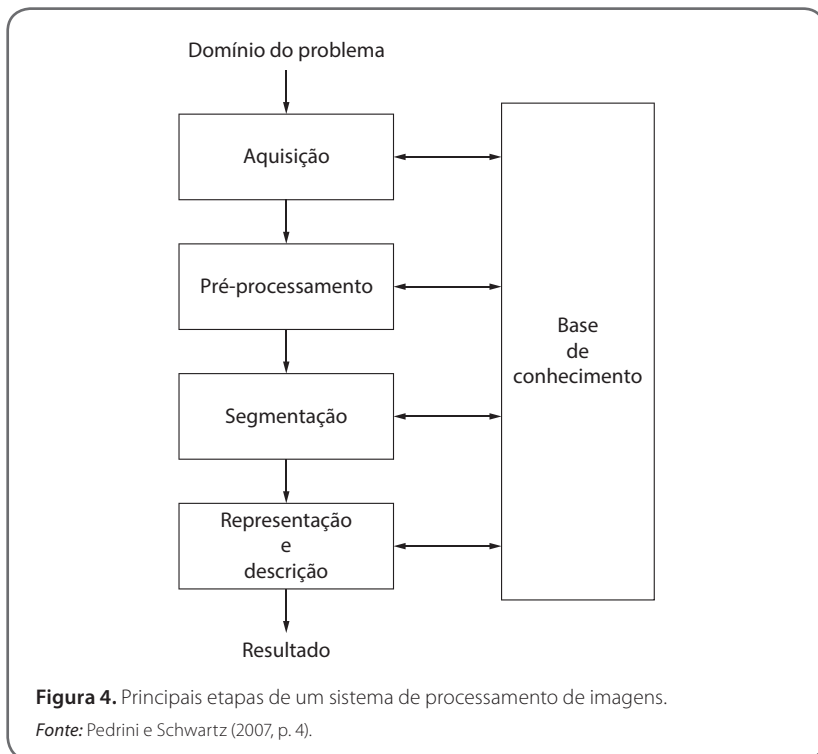


As imagens reais possuem um número ilimitado de cores ou tons. No processamento de imagens computacional, é necessário limitar os níveis de cores ou tons possíveis de serem atribuídos a cada pixel da imagem (gradação tonal).

Os sistemas de processamento de imagens são utilizados para o reconhecimento de padrões. A próxima seção apresenta as principais etapas desses sistemas.

## 2 Etapas de um sistema de processamento de imagens

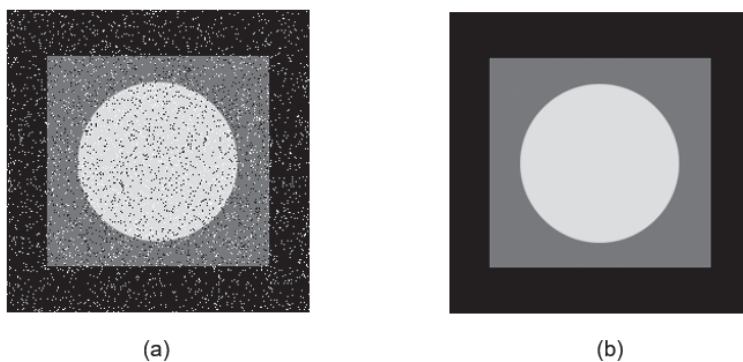
O fluxograma da Figura 4 apresenta as principais etapas de um sistema de processamento de imagens. Com ele, é possível ter uma ideia dos processos que podem ser aplicados às imagens como diferentes propósitos.



A **aquisição de imagens** é o primeiro processo, que pode ser tão simples quanto receber uma imagem que já esteja em formato digital, ou realizar o processo de captura por um dispositivo e convertê-la em uma representação adequada ao processo subsequente. Em geral, o estágio de aquisição envolve o redimensionamento de imagens.



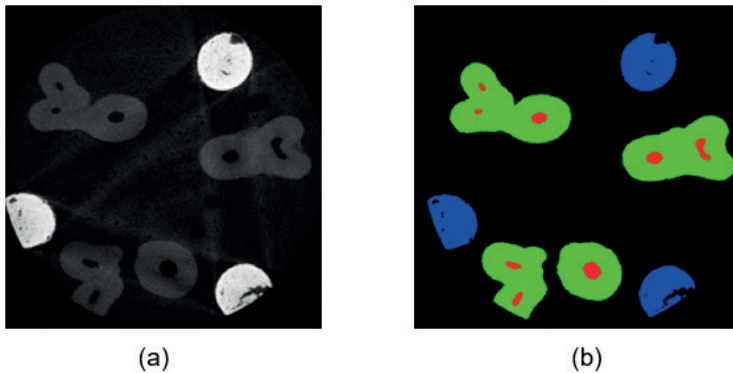
O **pré-processamento** diz respeito ao processamento para remover algum ruído da imagem. A Figura 5a apresenta uma imagem com o ruído conhecido como sal e pimenta (*salt and pepper*), e a Figura 5b apresenta a imagem sem ruído, que foi removido com filtro de mediana. Também pode-se manipular a imagem para que o resultado seja mais adequado por meio de técnicas de realce (PEDRINI; SCHWARTZ, 2007). As técnicas de realces são variadas e direcionadas de acordo com a especificidade. Os métodos úteis para realce de imagens radiográficas podem não ser úteis para imagens de satélite, por exemplo.



**Figura 5.** (a) Ruído sal e pimenta e (b) resultado após aplicação de filtro para remover o ruído.

Fonte: Adaptada de Gonzalez e Woods (2010, p. 209).

A **segmentação** envolve os procedimentos para dividir uma imagem em suas partes ou objetos constituintes. Em geral, a segmentação autônoma é uma das tarefas mais difíceis do processamento digital de imagens. Um procedimento de segmentação de imagens bem-sucedido aumenta as chances de sucesso na solução de problemas que requerem que os objetos sejam individualmente identificados. Por outro lado, algoritmos de segmentação fracos ou inconsistentes quase sempre asseguram falha no processamento. Normalmente, quanto mais precisa for a segmentação, maiores serão as chances de sucesso no reconhecimento dos objetos. A etapa da segmentação, segundo Pedrini e Schwartz (2007), envolve técnicas para identificação de descontinuidade (início e fim de uma borda) e similaridade de regiões. A Figura 6a apresenta a imagem fornecida como entrada para segmentar as estruturas de dente (dentina, canal e pino), e a Figura 6b, o resultado da segmentação — as dentinas são verdes, os canais são as partes vermelhas, e os pinos estão apresentados com a cor azul.



**Figura 6.** (a) Estruturas de dentes em imagens de MicroCT e (b) Resultado da segmentação.

Fonte: Pinho (2020, documento on-line).

Um método também deve ser especificado para descrever os dados de modo que as características de interesse sejam enfatizadas.

O processo de **descrição**, também chamado de seleção de características, lida com a extração de atributos que resultam em alguma informação quantitativa de interesse ou que possam ser utilizados para diferenciar uma classe de objetos de outra. Por sua vez, o **reconhecimento** é o processo que atribui um rótulo (por exemplo, “veículo”) a um objeto com base em seus descritores.

O conhecimento sobre o domínio do problema está codificado em um sistema de processamento de imagens na forma de uma **base de conhecimento** (banco de dados). Esse conhecimento pode ser tão:

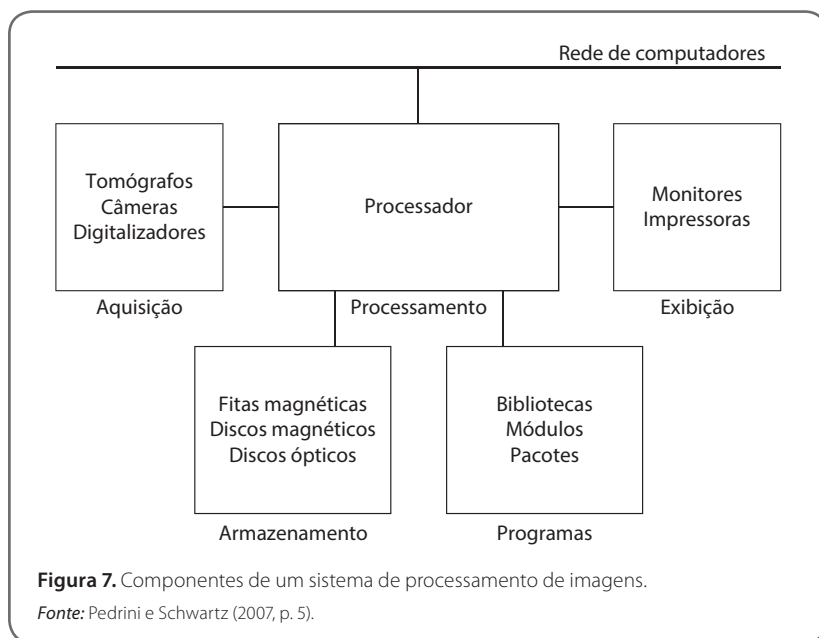
- a) simples quanto o detalhamento de regiões de uma imagem em que se sabe que a informação de interesse pode ser localizada, limitando, dessa forma, a busca que precisa ser conduzida na procura daquela informação;
- b) complexa, como, uma lista inter-relacionada de todos os principais defeitos possíveis em um problema de inspeção de materiais ou um banco de imagens contendo imagens de satélite de alta resolução de uma região em conexão com aplicações de detecção de mudanças. Além de orientar a operação de cada etapa de processamento, a base de conhecimento pode controlar a interação entre as etapas.

Você deve ter percebido que os dispositivos desempenham um papel importante nos sistemas de processamento de imagens, tais como câmeras e sensores

para captura de imagens e dispositivos de armazenamento. Na próxima seção, você vai acompanhar detalhes dos dispositivos diretamente relacionados aos sistemas de processamento de imagens.

### 3 Componentes de um sistema de processamento de imagens

O crescente avanço tecnológico e a demanda de determinadas áreas de aplicação incentivaram os dispositivos a evoluírem significativamente nas últimas décadas. Os parâmetros de funcionalidade e desempenho dos dispositivos são dependentes, em grande parte, das áreas que os utilizam. No caso de processamento de imagens, os dispositivos podem ser usados nas etapas de aquisição, armazenamento, processamento, transmissão e exibição de imagens, conforme apresenta a Figura 7.



Na etapa de **aquisição**, dispositivos sensíveis a uma certa banda do espectro eletromagnético, como raio X ou raio infravermelho, produzem um sinal elétrico de saída proporcional ao nível de energia detectado. Esse sinal elétrico

é convertido em informação digital, tornando possível sua interpretação por meio de computadores.

Dentre os diversos tipos de dispositivos existentes, segundo Gonzalez e Woods (2010), os mais comuns são câmeras de vídeo, tomógrafos médicos, digitalizadores (*scanners*) e satélites. Os dispositivos de aquisição podem apresentar características diferentes em termos de resolução espacial, velocidade de operação, precisão e custo.

Imagens e vídeos requerem alta capacidade de **armazenamento**. Veja os exemplos a seguir.

1. Uma imagem colorida de  $1024 \times 1024$  pixels, cada pixel representado por 24 bits, requer 3 MB para seu armazenamento sem compressão.
2. Um vídeo com duração de 1 minuto, formado por imagens de  $512 \times 512$  pixels, exibidas a uma taxa de 30 imagens por segundo, cada pixel representado por 24 bits, requer aproximadamente 1.4 GB para seu armazenamento.

Um modo de prover o armazenamento temporário é a memória principal do computador. Outra opção é o uso de placas gráficas especializadas (*frame buffers*), que armazenam uma ou mais imagens, permitindo alta velocidade de acesso (por exemplo, 30 imagens/segundo). A capacidade de armazenamento de uma placa gráfica é limitada pelo seu tamanho físico e pela densidade dos circuitos de memória utilizados. Discos magnéticos são outra forma de armazenamento, podendo atingir dezenas de gigabytes de armazenamento. O armazenamento de imagens também pode ser caracterizado por grandes volumes de informações, mas sem a necessidade de acesso frequente. Os cartões SSD também são utilizados como meios de armazenamento nessas situações. As imagens digitais e os vídeos também podem ser armazenados na nuvem (*cloud*) ou em *storages*. O arquivamento *cloud* é oferecido gratuitamente por algumas empresas, mas com pouco espaço de armazenamento. Também é oferecida a opção de expandir o espaço adquirindo planos mensais. Alguns *sites* são ligados a provedores de *e-mail*, como o Google Drive (Google) e aplicações de escritório, como o One Drive (Microsoft). Entretanto, existem vários outros *sites*, como o Dropbox e o Mega, que são exclusivamente dedicados ao armazenamento *cloud*. Além disso, técnicas de compressão de imagens podem reduzir significativamente a quantidade de informações a ser armazenada.

A **transmissão** de imagens digitais entre sistemas de computadores locais ou remotos pode ser realizada por meio de protocolos de comunicação existentes nas redes de computadores disponíveis. A transmissão de imagens a longas

distâncias pode ser um desafio, em virtude da grande quantidade de dados contidos em uma imagem, especialmente quando os canais de comunicação possuem baixa velocidade e banda passante estreita. Porém, com advento do ADSL (Asymmetric Digital Subscriber Line) e da fibra ótica, é possível que sejam transferidas imagens em tempo reduzido.

Para a **exibição** de imagens, além dos monitores de vídeo, há diversas formas em papel. A reprodução fotográfica possui alta qualidade. As impressoras térmicas coloridas apresentam-se como uma opção, baseando-se na deposição de cera colorida sobre um papel especial para produzir a impressão. Outros tipos incluem as impressoras a laser para exibir imagens em papel.

A unidade de **processamento** pode variar conforme o nível de desempenho requerido pela aplicação. Determinadas tarefas podem demandar alto poder de processamento, como o reconhecimento de objetos em tempo real. Entretanto, segundo Pedrini e Schwartz (2007), muitos sistemas de processamento de imagens podem ser atualmente executados em microcomputadores convencionais.

Os **programas** para processamento de imagens consistem em rotinas ou módulos específicos para realizar uma determinada tarefa. As bibliotecas, como OpenGL (Open Graphics Library), podem ser integradas em códigos desenvolvidos por usuários ou em pacotes sofisticados de processamento de imagens.

Neste capítulo, você acompanhou a construção de uma imagem digital, desde a captura até suas formas de representação. Além das etapas de processamento de imagens, você pode ver que, na prática, algumas etapas são mais dispendiosas que outras; por exemplo, a segmentação pode ser muito mais trabalhosa que a fase de pré-processamento. Você estudou também os principais componentes em relação a *hardware* e *software* que envolvem o processamento de imagens.

Este capítulo lhe forneceu as bases para o tratamento de imagens. Se, por exemplo, você deseja corrigir as cores de uma imagem, serão necessários ajustes de brilho ou de contraste (fase de pré-processamento) ou, ainda, a conversão de espaço de cor, que possibilitará que mais padrões sejam identificados na imagem. Outro exemplo é o acabamento de uma imagem usada em fotografia. Para realizar esse acabamento, usamos *softwares* com ferramentas capazes de reconhecer os diferentes tons de pele de uma face, por exemplo, e podem ser removidas as imperfeições da pele.



## Referências

AZEVEDO, E.; CONCI, A. *Computação gráfica: teoria e prática*. Rio de Janeiro: Elsevier, 2003.

CONCI, A.; AZEVEDO, E.; LETA, F. R. *Computação gráfica*. Rio de Janeiro: Elsevier, 2008. v. 2.

GONZALEZ, R. C.; WOODS, R. E. *Processamento digital de imagens*. 3. ed. São Paulo: Pearson, 2010.

PEDRINI, H.; SCHWARTZ, W. R. *Análise de imagens digitais: princípios, algoritmos e aplicações*. São Paulo: Cengage Learning, 2007.

PINHO, M. S. *Pós-graduação em Ciência da Computação: computação gráfica*. Porto Alegre: PUCRS, 2020. Disponível em: <https://www.inf.pucrs.br/~pinho/CG-PPGCC/Trabalhos/T3-2020-1/T3-2020-1.html>. Acesso em: 1 set. 2020.

## Leitura recomendada

INFOTREND BRASIL. *Armazenamento de imagens*. [S. l.]: Infortrend Brasil, c2016. Disponível em: <http://www.infortrendbrasil.com.br/armazenamento-de-imagens/> 2018. Acesso em: 1 set. 2020.



## Fique atento

Os *links* para *sites da web* fornecidos neste capítulo foram todos testados, e seu funcionamento foi comprovado no momento da publicação do material. No entanto, a rede é extremamente dinâmica; suas páginas estão constantemente mudando de local e conteúdo. Assim, os editores declaram não ter qualquer responsabilidade sobre qualidade, precisão ou integridade das informações referidas em tais *links*.

Conteúdo:



SOLUÇÕES  
EDUCACIONAIS  
INTEGRADAS