

Fundamentos de Imagens Digitais

Visão Computacional

Pontifícia Universidade Católica de Campinas

Prof. Dr. Denis M. L. Martins

Objetivos de Aprendizado

- Definir o que é processamento digital de imagens.
- Compreender os fundamentos matemáticos da imagem digital: função bidimensional, amostragem e quantização.
- Explicar a representação digital de imagens em escala cinza e coloridas.

O que é Processamento Digital de Imagens (PDI)?

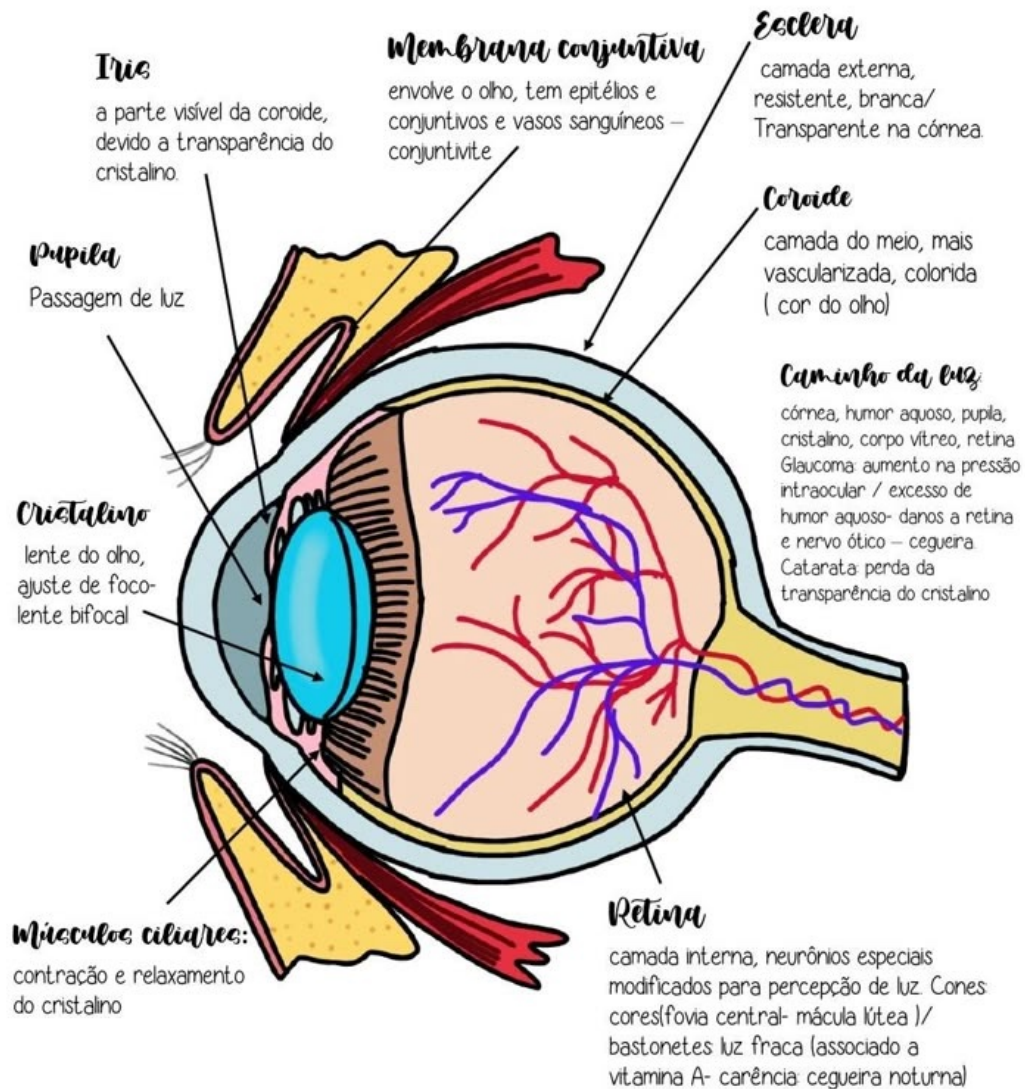
- Transformação de sinais ópticos em dados digitais para análise, interpretação e manipulação.
- Envolve aquisição, pré-processamento, segmentação, reconhecimento e pós-processamento de imagens.
- Fundamenta aplicações em diagnóstico médico, controle industrial, multimídia e sistemas autônomos.

Processos Computacionais com Imagens¹

Computação Gráfica (CG)	Visão Computacional (VC)	Processamento Digital de Imagens (PDI)
Cria e altera imagens a partir de dados.	Análise de imagem para criação de modelos.	Transformação de imagem (tratamento)
modelo → imagem	imagem → modelo	imagem → imagem

¹ Retirado de <https://covap-utfpr.github.io/pdi/intro.html#intro>

olho humano



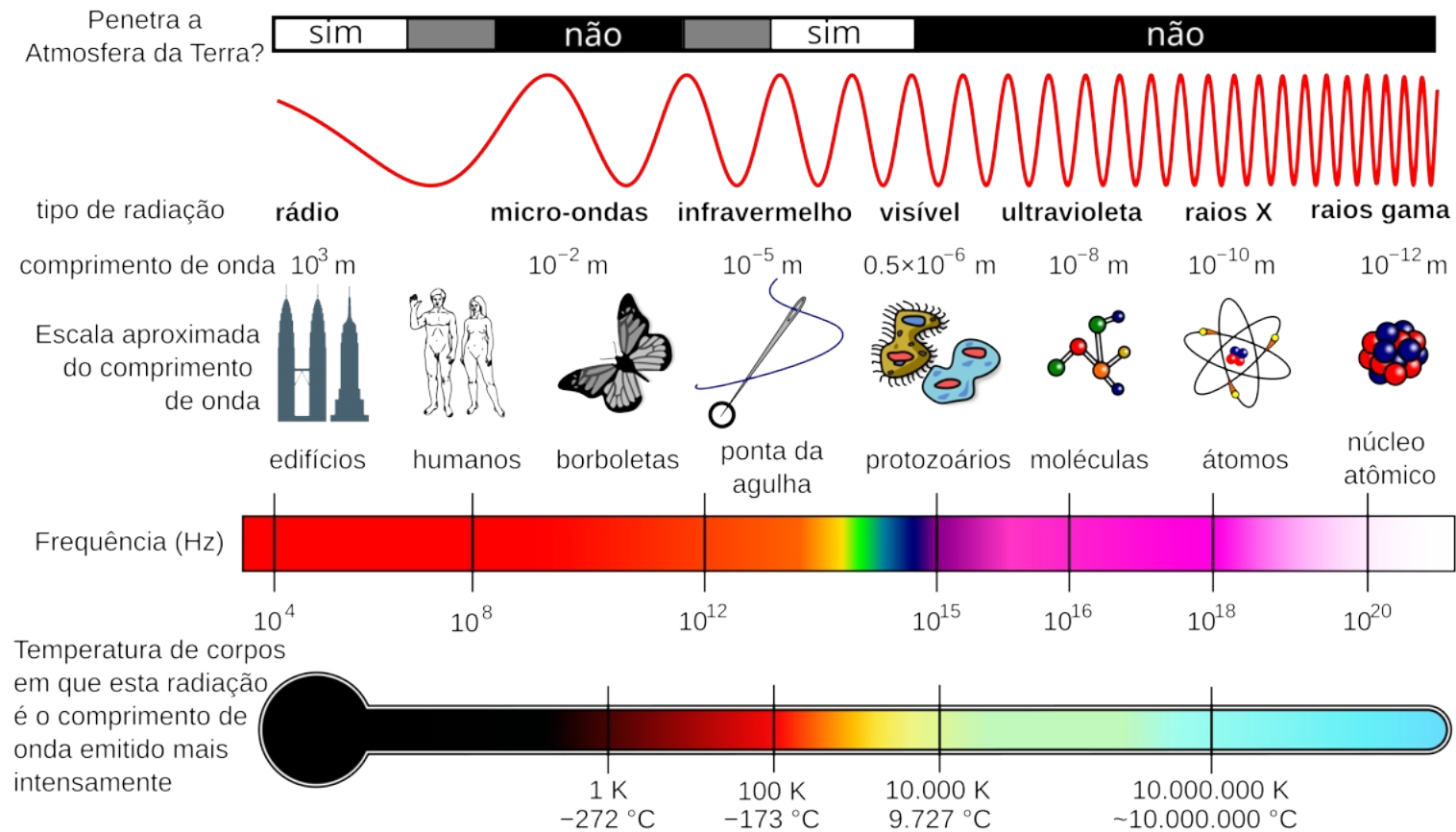
- Primatas precisam enxergar cores porque comem frutos e necessitam distinguir frutas verdes das maduras.
- Os Peixes, anfíbios, répteis e aves também enxergam cores

Elementos da percepção visual

- Fótons são convertidos em sinais elétricos por fotopigmentos.
- Conexão axonal via nervo óptico até o cérebro (córtex visual).
- Sistema tricomático: cones L (vermelho), M (verde) e S (azul).
- Cores são interpretadas como combinações de respostas desses três tipos.
- Resolução espacial limitada pelo tamanho do pixel ocular ($\sim 1 \mu\text{m}$).
- Atenção seletiva: apenas uma fração das informações visuais é processada conscientemente.

Fonte da imagem: [Pinterest](#)
PUC-Campinas | Prof. Dr. Denis Martins | denis.mayr@puc-campinas.edu.br

Espectro Eletromagnético



Fonte: Imagem da [Wikipedia](#)

Podemos entender
imagens como **funções**

$$f(x, y)$$

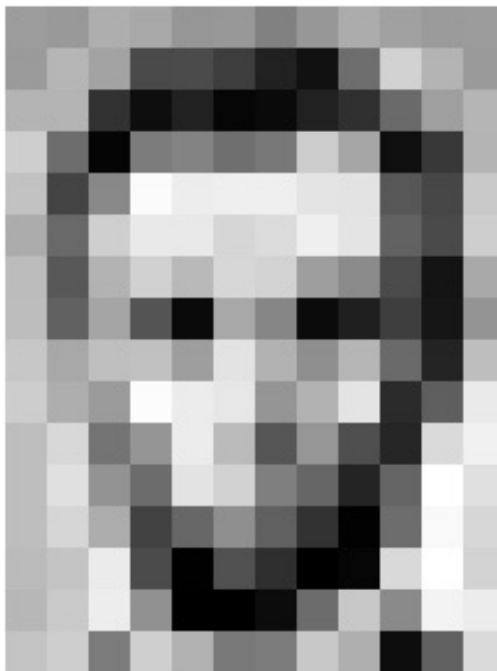
Fundamentos da imagem digital

Imagem como **função**

$$f(x, y) = \begin{bmatrix} f(0, 0) & f(0, 1) & \cdots & f(0, n - 1) \\ f(1, 0) & f(1, 1) & \cdots & f(1, n - 1) \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ f(m - 1, 0) & f(m - 1, 1) & \cdots & f(m - 1, n - 1) \end{bmatrix}$$

Fundamentos da imagem digital

- **Imagem**: Função bidimensional $f(x, y)$ que descreve a intensidade de cada ponto no plano.
- Em tons de cinza (**grayscale**) de 8 bits, temos: $f : [a, b] \times [c, d] \longrightarrow [0, 255]$.
- Matrix $M_{m \times n} \in \mathbb{Z}_0^{L-1}$, onde $L = 2^k$ e k é o número de bits por pixel.



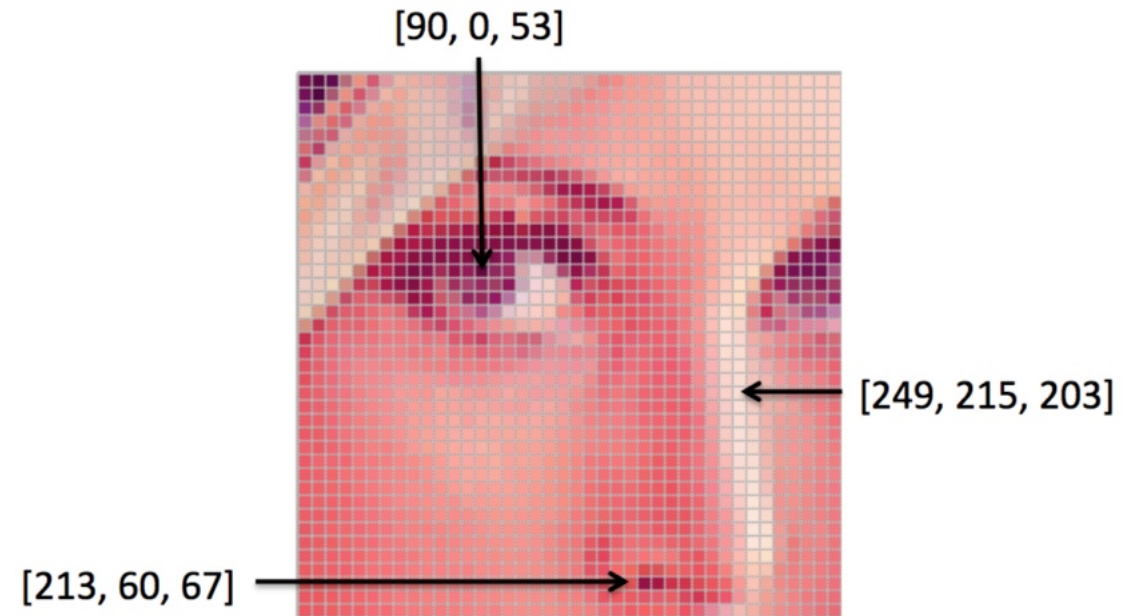
157	153	174	168	150	152	129	151	172	161	155	156
155	182	163	74	75	62	33	17	110	210	180	154
180	180	50	14	34	6	10	33	48	106	159	181
206	109	5	124	131	111	120	204	166	15	56	180
194	68	137	251	237	239	239	228	227	87	71	201
172	105	207	233	233	214	220	239	228	98	74	206
188	88	179	209	185	215	211	158	139	75	20	169
189	97	165	84	10	168	134	11	31	62	22	148
199	168	191	193	158	227	178	143	182	106	36	190
205	174	155	252	236	231	149	178	228	43	95	234
190	216	116	149	236	187	85	150	79	38	218	241
190	224	147	108	227	210	127	102	36	101	255	224
190	214	173	66	103	143	96	50	2	109	249	215
187	196	235	75	1	81	47	0	6	217	255	211
183	202	237	145	0	0	12	108	200	138	243	236
195	206	123	207	177	121	123	200	175	13	96	218

157	153	174	168	150	152	129	151	172	161	155	156
155	182	163	74	75	62	33	17	110	210	180	154
180	180	50	14	34	6	10	33	48	106	159	181
206	109	5	124	131	111	120	204	166	15	56	180
194	68	137	251	237	239	239	228	227	87	71	201
172	105	207	233	233	214	220	239	228	98	74	206
188	88	179	209	185	215	211	158	139	75	20	169
189	97	165	84	10	168	134	11	31	62	22	148
199	168	191	193	158	227	178	143	182	106	36	190
205	174	155	252	236	231	149	178	228	43	95	234
190	216	116	149	236	187	85	150	79	38	218	241
190	224	147	108	227	210	127	102	36	101	255	224
190	214	173	66	103	143	96	50	2	109	249	215
187	196	235	75	1	81	47	0	6	217	255	211
183	202	237	145	0	0	12	108	200	138	243	236
195	206	123	207	177	121	123	200	175	13	96	218

Representação de pixels de uma imagem. Fonte: [OpenFrameworks - Image Processing](#).

Imagem colorida

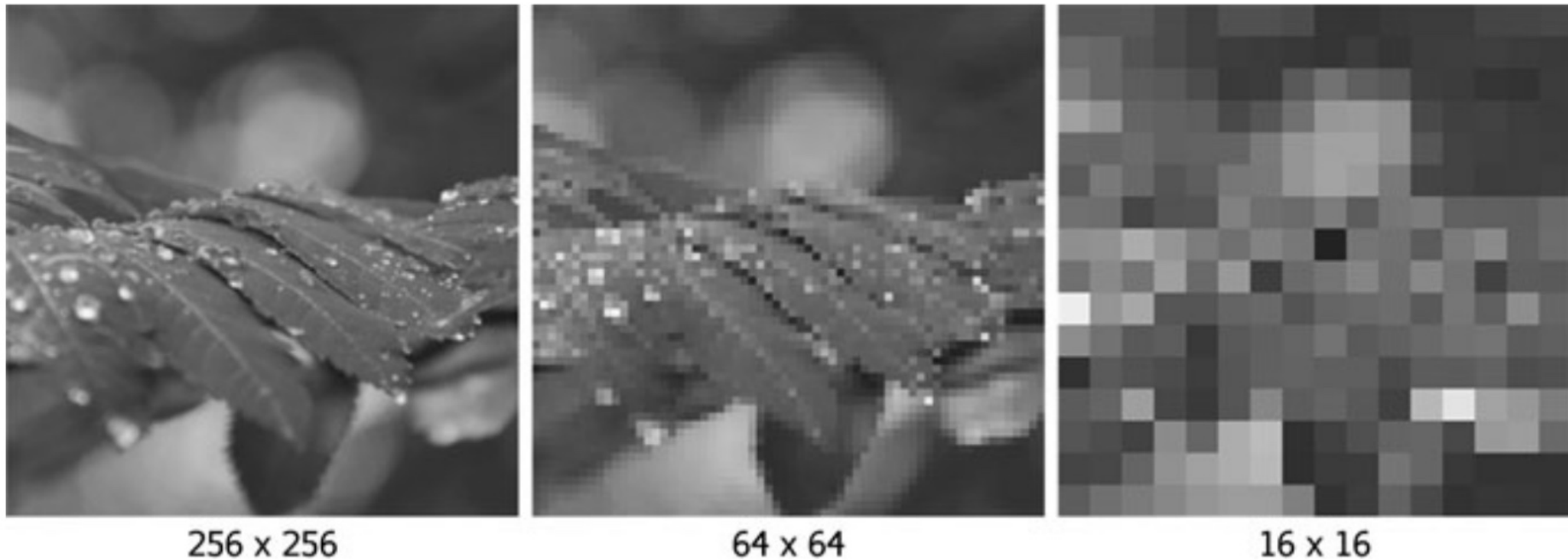
- Uma versão estendida de uma imagem em tons de cinza.
- Em Red, Green, and Blue (RGB): cada pixel da imagem tem 3 canais.
- $f(x, y)$ como um vetor de 3 valores, ao invés de 1.
 - Em 8 bits, temos cada pixel variando entre 0 e 255 em cada canal.
 - Um total de $256 \times 256 \times 256 = 16.777.216$ combinações.



Fonte da Imagem: [Computer Vision @Stanford](#)

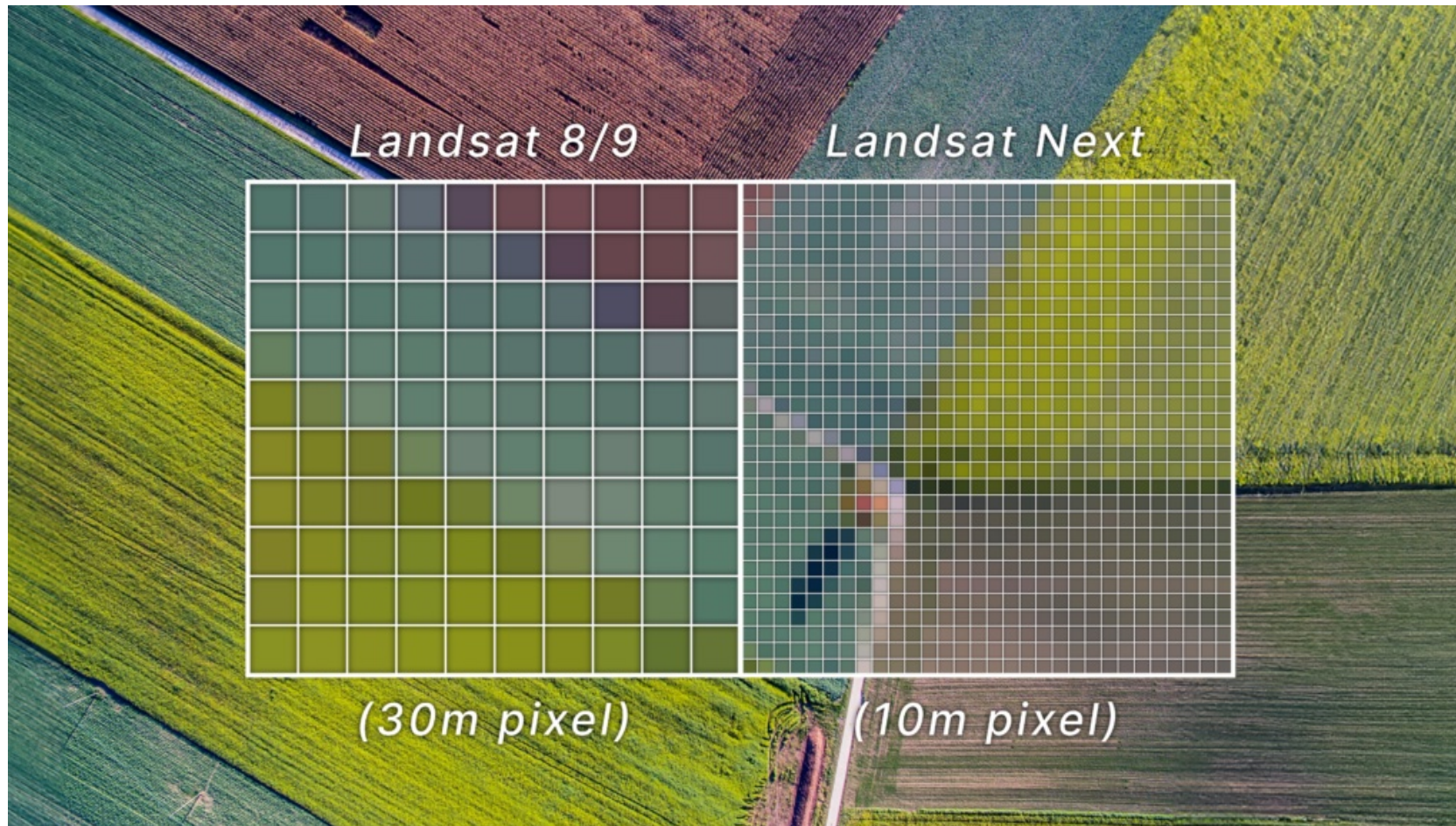
Resolução espacial

- **Densidade de pixels:** pixels por unidade de distância, dots per inch (pontos por polegada ou **dpi**).
- Abaixo, podemos notar os efeitos da resolução na imagem.



Fonte da Imagem: <https://covap-utfpr.github.io/pdi/formacaoImagem.html#formacaoImg>.

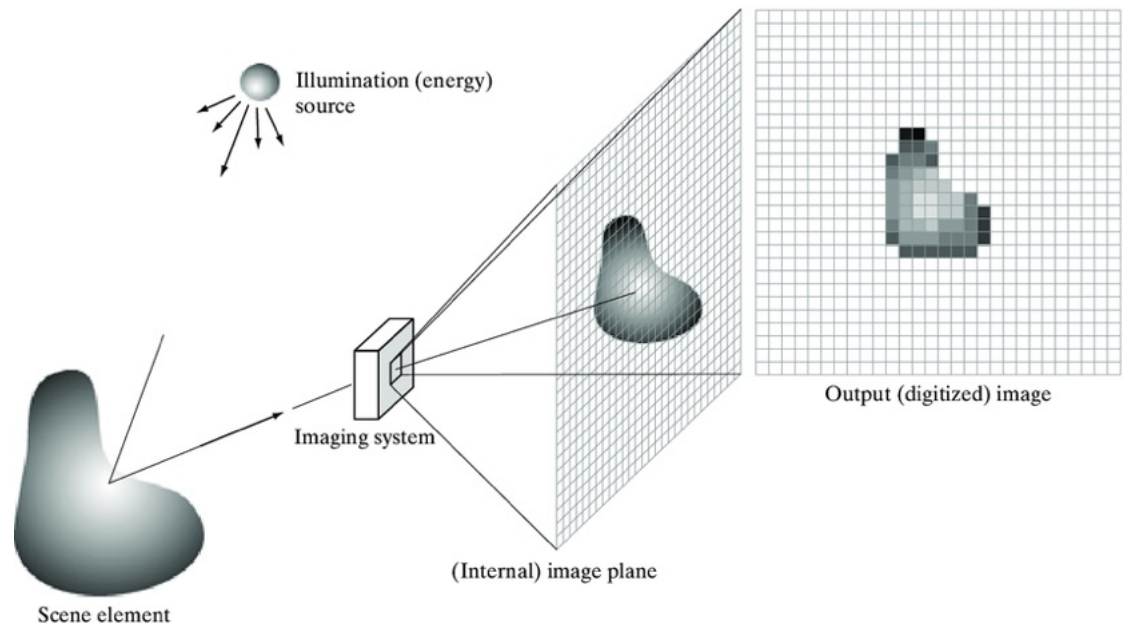
Resolução espacial



Resolução espacial em imagens aéreas. Fonte: [Landsat](#)

Aquisição de Imagem

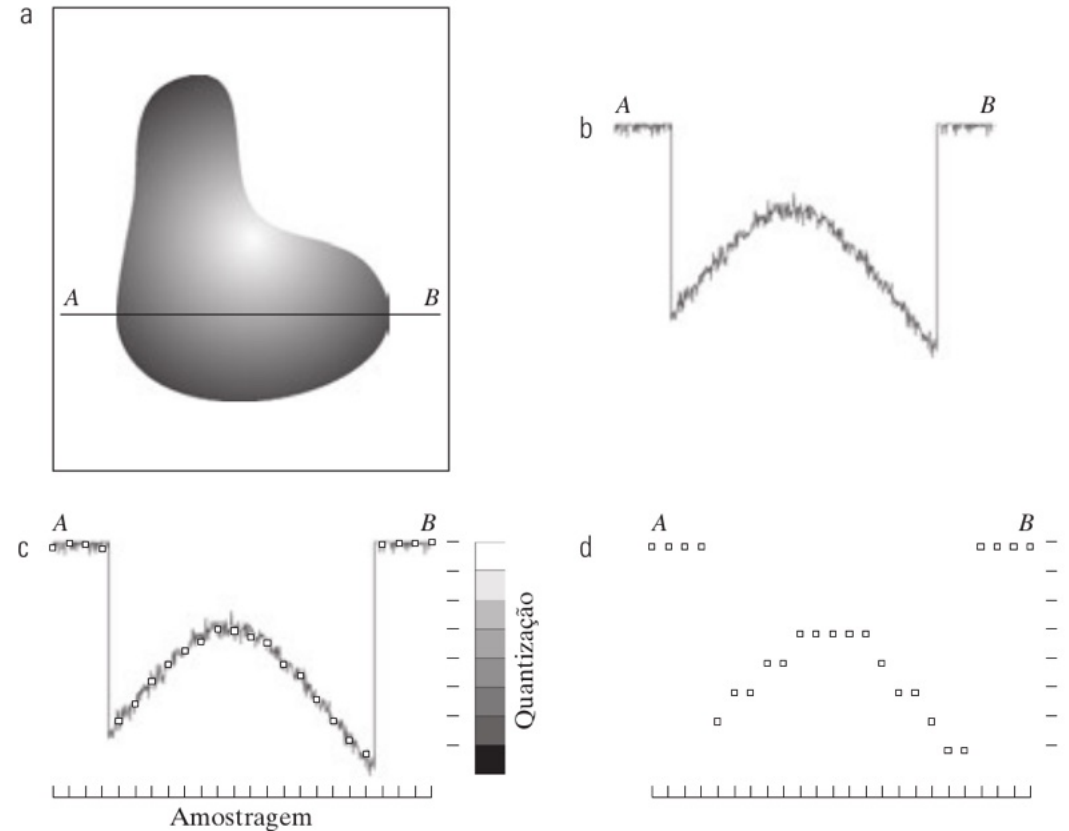
- **Sensores CCD / CMOS**: convertem fótons em carga elétrica ou corrente direta.
- **Exposição** (tempo de captura).
- **Conversão** analógica-digital (ADC).
- **Formato bruto**: dados RAW antes de qualquer correção ou compressão.



Exemplo de um sistema de aquisição de imagem. Fonte: [Digital Image Processing Book @ResearchGate](#)

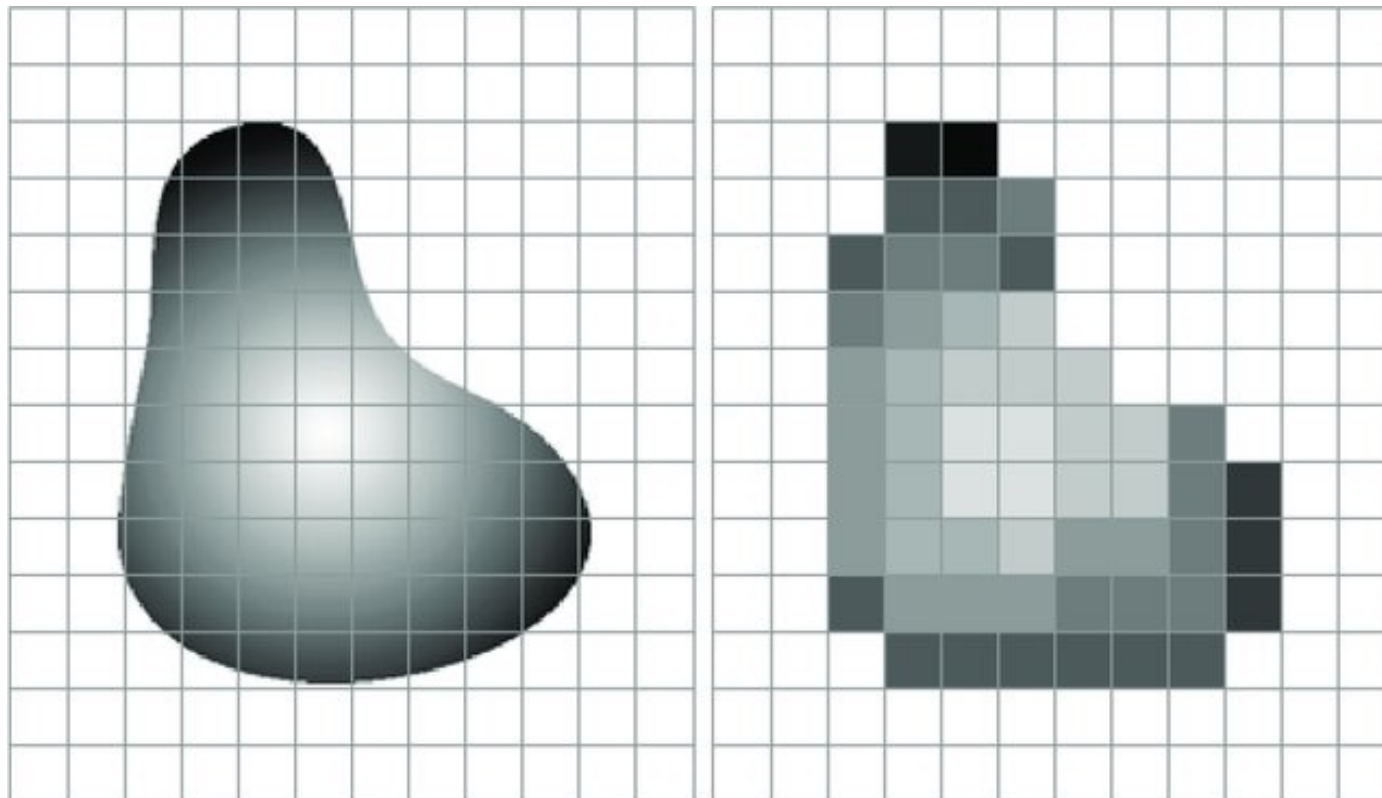
Amostragem

- Conversão de espaço **contínuo** para espaço **discreto**.
 - Sequência **infinita** de números reais
 - Representação digital **finita** (pense em armazenamento na memória)
- **Amostragem** pelo sensor de captura: representação de **parte** do sinal.
- **Quantização**: capturar pontos do sinal (ainda mantendo sua estrutura)



Exemplo de um sistema de aquisição de imagem. Fonte: [Digital Image Processing Book @ResearchGate](#)

Quantização

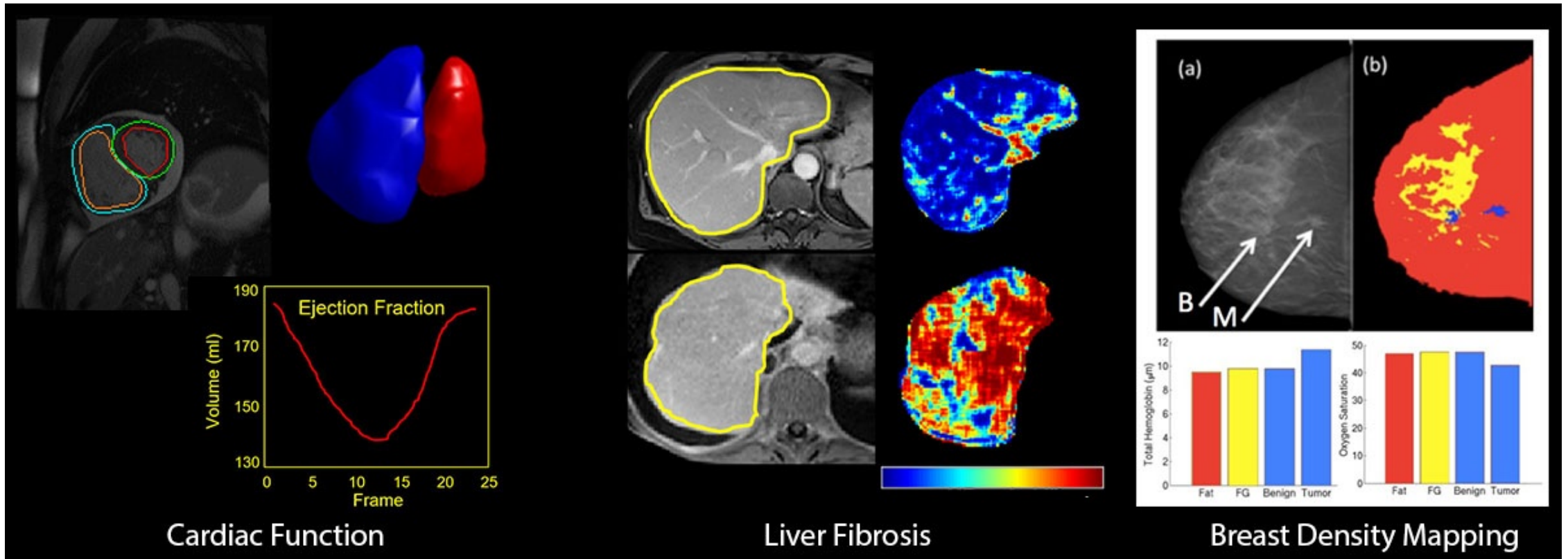


Resultado da amostragem e quantização da imagem. Fonte: [Digital Image Processing Book @ResearchGate](#)

Exemplos de áreas que utilizam o PDI

Área	Aplicações típicas
Medicina	Radiologia (CT, MRI), microscopia celular, análise histológica
Segurança	Reconhecimento facial, vigilância por vídeo, inspeção de bagagens
Indústria	Controle de qualidade em linhas de montagem, inspeção visual de componentes
Satélite / Aeronáutica	Análise de imagens de satélite, mapeamento topográfico
Entretenimento	Efeitos visuais, renderização 3D, realidade aumentada
Agricultura	Monitoramento de culturas via UAVs, detecção de pragas

Saúde e Medicina



Fonte: <https://radiology.medicine.arizona.edu/research/image-processing>

Formato de imagens digitais

- **Formato Bruto (RAW)**
 - Dados sem processamento; contém todas as informações capturadas pelo sensor.
 - Requer pipeline de correção: remoção de cor, gamma, white-balance e compressão.
- **Formatos Sem Perda**
 - TIFF: Imagens de alta qualidade (eletrônica médica, impressão). Compressão LZW/ZIP.
 - PNG: Web, gráficos vetoriais; preserva transparência. Compressão Deflate.
- **Formato com Perda:**
 - JPEG. Usado em fotografia digital, web. Compressão DCT-based.
- **Formato Profissional**
 - DICOM: padrão para imagens médicas (raios X, tomografia).
 - JPEG-2000: compressão wavelet, usada em radiologia e satélite.
- **Considerações Práticas**
 - Canais de Cor: RGB, CMYK, YCbCr, HSV – escolha depende da aplicação final.
 - Metadados: Exif, IPTC e XMP armazenam informações sobre câmera, localidade, direitos autorais.

Conclusão

- Processamento digital de imagens é essencial em **diversas áreas**: medicina, manutenção preventiva, astronomia, fotografia, cinema, etc.
- **Imagem como função discreta**: $f(x, y)$ representa intensidades pixel-por-pixel.
- **Perspectiva futura**: os conceitos aqui apresentados fundamentam técnicas avançadas de filtragem, transformação e análise que serão exploradas nas próximas aulas.



Atividade recomendada: Leitura dos capítulos 1 e 2.