

Processamento de Imagem (API / PSIFM)

2020 / 2021, 2º Semestre



Capítulo 1

Introdução ao Processamento Digital de Imagem

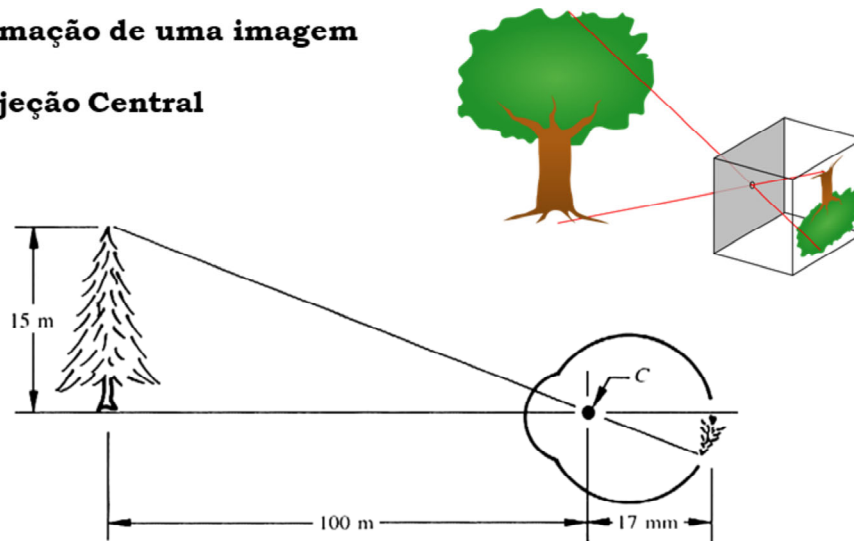
Processamento de Imagem (API / PSIFM)

André Marçal, DM / FCUP

1.1 Elementos de percepção visual

Formação de uma imagem

Projeção Central



Processamento de Imagem (API / PSIFM)

André Marçal, DM / FCUP

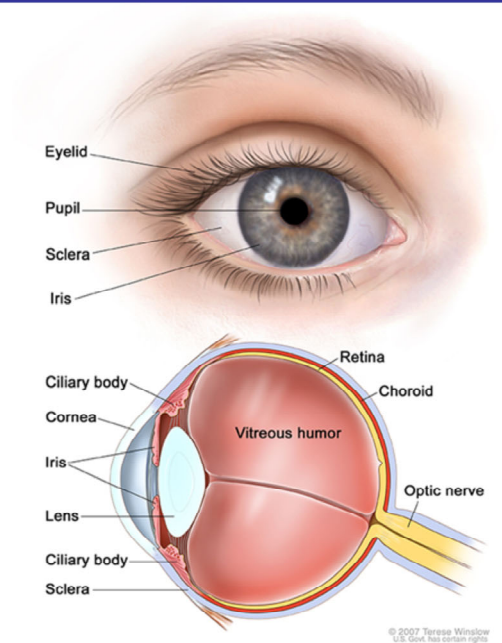
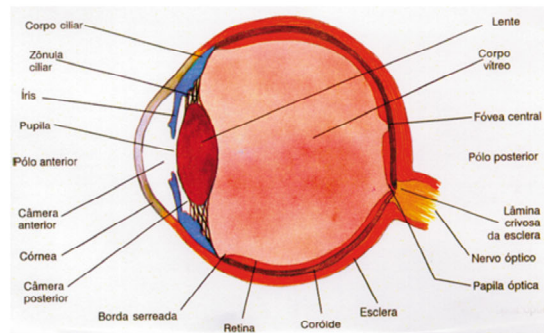
Elementos de percepção visual

A imagem de um objecto é projectada pelo olho humano de forma análoga a uma lente esférica.

(Figura: Gonzalez e Woods, 1992)

1.1 Elementos de percepção visual

Anatomia do Olho Humano



Processamento de Imagem (API / PSIFM)

André Marçal, DM / FCUP

Anatomia do Olho Humano

O olho humano é aproximadamente uma esfera com um diâmetro médio de 20 mm.

A íris funciona como um diafragma, controlando a quantidade de luz que entra no olho.

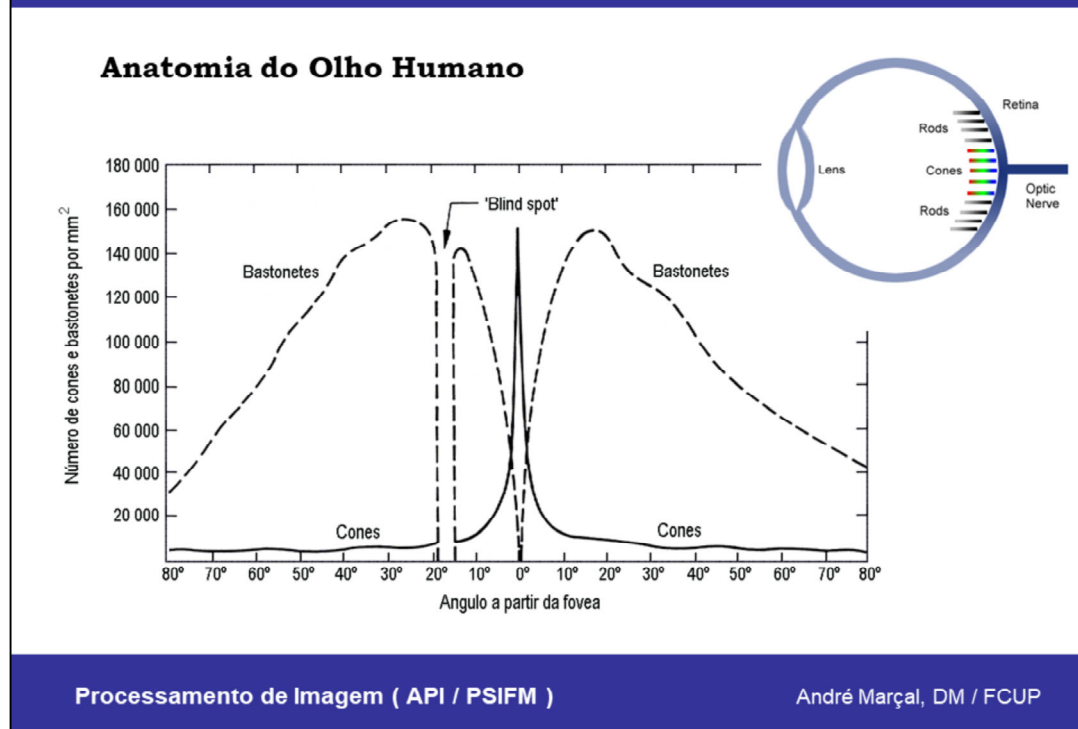
A abertura central da íris varia em diâmetro entre 2 e 8 mm.

Na membrana interior do olho, retina, forma-se a imagem do objecto visualizado.

Existem 2 tipos de receptores: cones e bastonetes.

(Figura: Gonzalez e Woods, 1992-2008)

1.1 Elementos de percepção visual



Anatomia do Olho Humano

Existem 6 a 7 milhões de cones em cada olho, concentrando-se principalmente na zona central da retina (fovea).

Os cones são extremamente sensíveis à cor.

Cada cone está ligado a uma extremidade nervosa, podendo através destes receptores ser detectadas pequenas variações de luminosidade.

O número total de bastonetes na retina varia entre 75 e 150 milhões.

A maior área de distribuição e o facto de vários bastonetes estarem ligados a uma extremidade nervosa faz com que o nível de detalhe detectado por estes receptores seja menor.

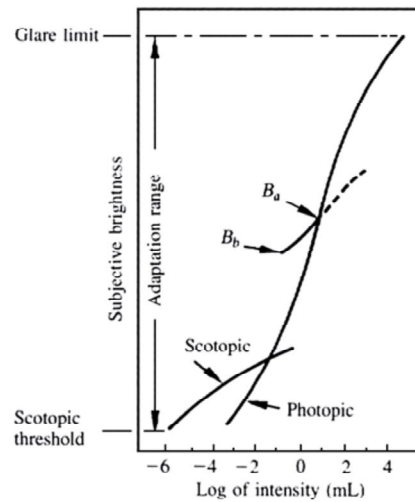
As bastonetes servem para se ter uma visão geral do campo de visão. Não estão ligados à visualização de cor mas são sensíveis a baixos níveis de luminosidade.

(Figura adaptada de: Gonzalez e Woods, 1992)

1.1 Elementos de percepção visual

Intensidade de Luz

- Capacidade de adaptação a gamas de intensidade muito diferentes
- Percepção de intensidade de luz é altamente subjectiva
- A percepção subjectiva da intensidade de luz é não linear e depende do contexto



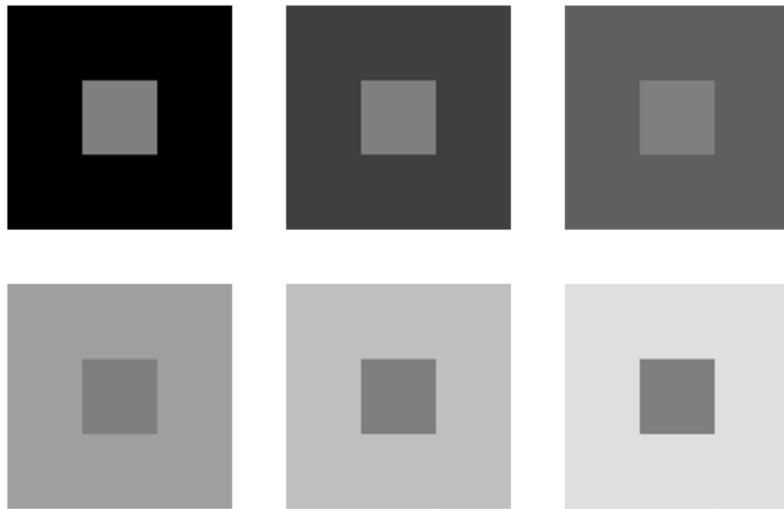
O olho humano

O sistema visual humano é capaz de se adaptar a uma enorme gama de intensidades de luz, da ordem de 10^{10} .

A percepção subjectiva de luminosidade é uma função logarítmica da intensidade de luz.

(Figura: Gonzalez e Woods, 1992)

1.1 Elementos de percepção visual



Processamento de Imagem (API / PSIFM)

André Marçal, DM / FCUP

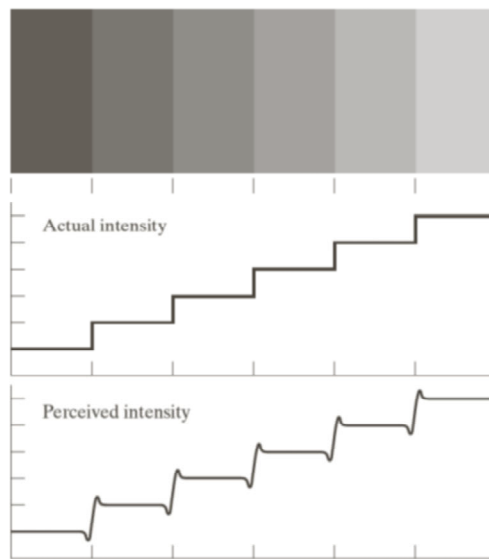
Percepção de luminosidade.

A percepção de luminosidade não depende apenas da intensidade absoluta.

Os quadrados no centro de cada uma das 6 figuras tem a mesma intensidade. No entanto o quadrado do centro torna-se aparentemente mais escuro à medida que o fundo se torna mais claro.

(Figura: André R.S. Marçal)

1.1 Elementos de percepção visual



Processamento de Imagem (API / PSIFM)

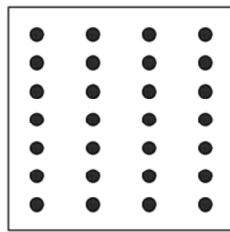
André Marçal, DM / FCUP

Percepção de luminosidade.

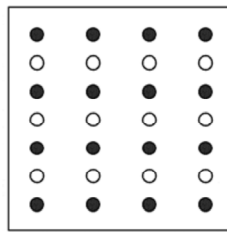
A percepção de luminosidade não está directamente relacionada com a luminosidade real.

(Figura: Gonzalez e Woods, 1992-2008)

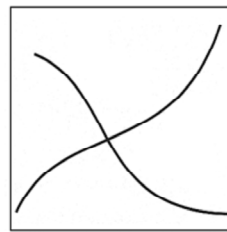
1.1 Elementos de percepção visual



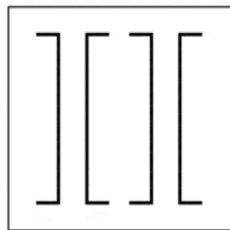
(a)



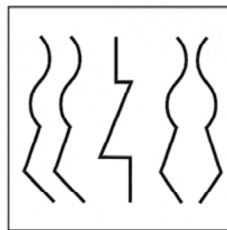
(b)



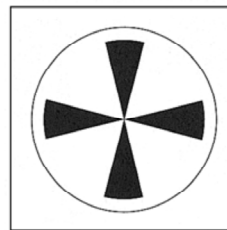
(c)



(d)



(e)



(f)

Processamento de Imagem (API / PSIFM)

André Marçal, DM / FCUP

Regras de organização visual de Gestalt.

(a) Proximidade – há uma percepção de colunas porque o espaçamento vertical entre os pontos é menor do que o espaçamento horizontal.

(b) Semelhança – há uma tendência para agruparmos elementos idênticos. Neste caso a semelhança sobrepõe-se à proximidade, e temos a percepção de linhas.

(c) Continuidade – temos a percepção de 2 linhas que se intersectam e não de 2 figuras em forma de V.

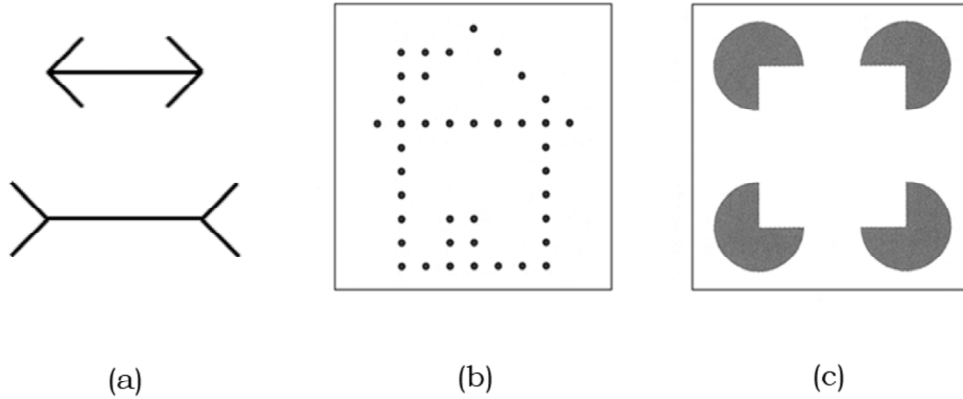
(d) Figuras fechadas – a figura parece-nos um rectângulo e não um conjunto de parêntesis rectos.

(e) Simetria – nesta figura temos tendência a agrupar as linhas 1 e 2 (começando da esquerda) e 4 e 5, sendo esta ligação mais forte. A linha 3 não parece estar agrupada com nenhuma outra.

(f) Separabilidade – a figura menor aparece destacada do fundo.

(Figura: Schenk, 1999)

1.1 Elementos de percepção visual



Processamento de Imagem (API / PSIFM)

André Marçal, DM / FCUP

Percepção visual.

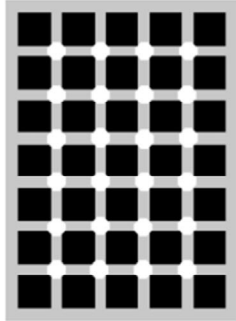
(a) Ilusão Muller-Lyer. O comprimento dos 2 segmentos parece diferente.

(b) Efeito de linhas virtuais (parece existir uma casa).

(c) Ilusão de contornos. A figura é interpretada como um quadrado e não como 4 secções de círculo.

(Figuras: Schenk, 1999 ; Szeliski, 2010)

1.1 Elementos de percepção visual



(a)



(b)

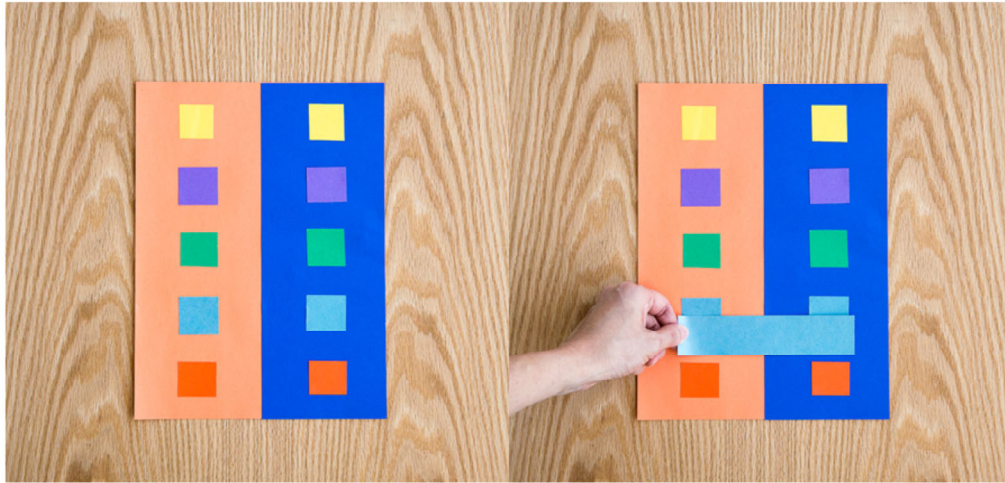
Percepção visual.

(a) Grelha de Hermann. Movendo os olhos sobre a grelha parecem surgir manchas cinzentas nas interseções.

(b) É muito mais difícil contar os Xs vermelhos na figura da direita.

(Figuras: Szeliski, 2010)

1.1 Elementos de percepção visual



Processamento de Imagem (API / PSIFM)

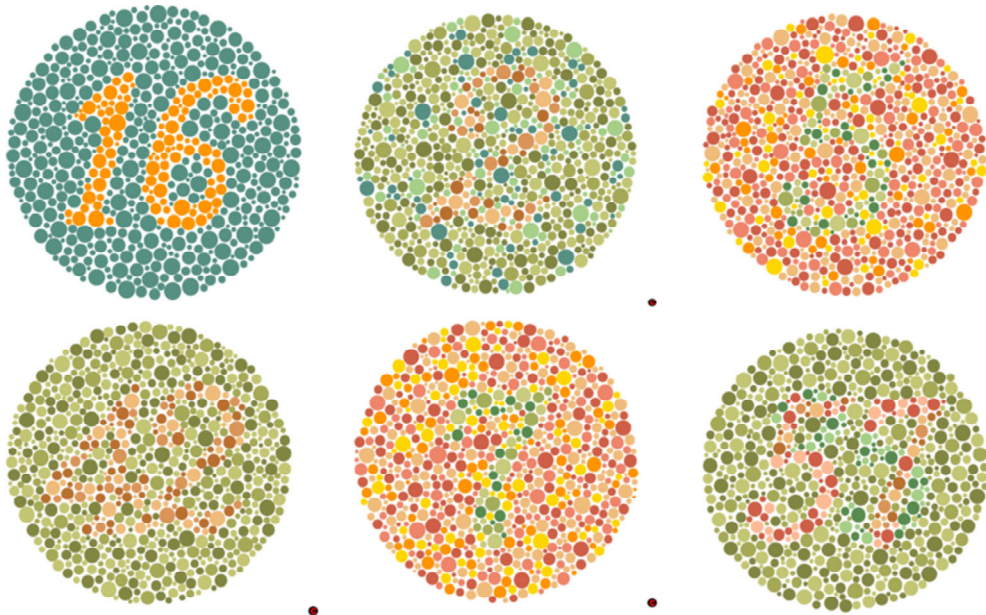
André Marçal, DM / FCUP

Percepção de cor

A percepção de cor é altamente subjectiva, dependendo entre outras coisas do contexto (fundo).

(Figura adaptada de: www.exploratorium.edu)

1.1 Elementos de percepção visual



Processamento de Imagem (API / PSIFM)

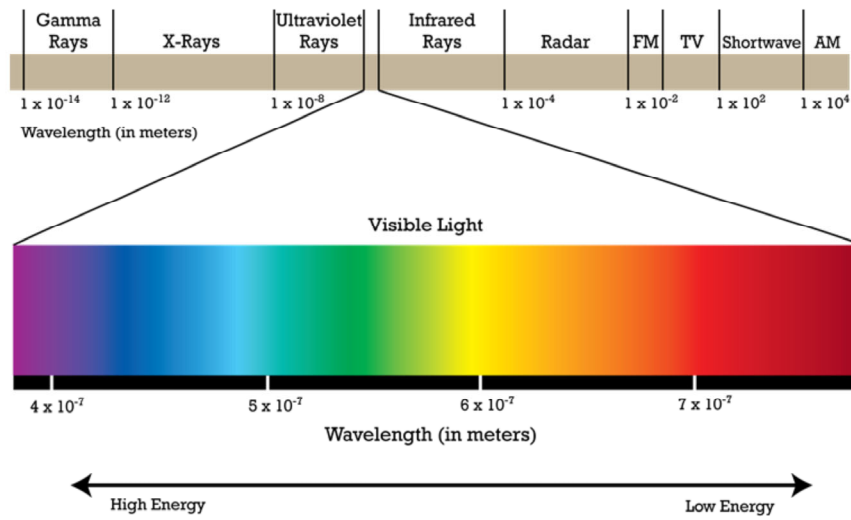
André Marçal, DM / FCUP

Percepção de cor

O teste Ishihara avalia a percepção de cor, tendo sido publicado pela primeira vez em 1917. Um observador sem limitações de visão de cor deverá identificar os números 16,2,5,42,7 e 57.

(Figura adaptada de: Bernell Corporation USA)

1.1 Elementos de percepção visual



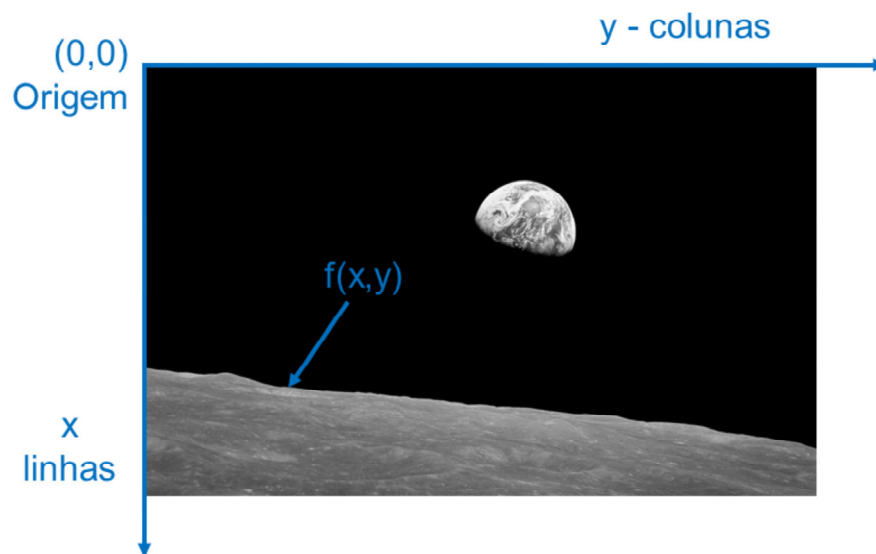
Processamento de Imagem (API / PSIFM)

André Marçal, DM / FCUP

Espectro Electromagnético

(Figura: biology.stackexchange.com)

1.2 Formação de uma Imagem Digital



Processamento de Imagem (API / PSIFM)

André Marçal, DM / FCUP

Imagem Digital

Uma imagem é, na sua forma original, continua no espaço e em intensidade (amplitude). Uma imagem digital (raster) é composta por uma matriz bi-dimensional de elementos de imagem. O elemento de resolução mínimo de uma imagem digital é designado por pixel (*picture element*). Um pixel deve ser considerado como uma amostra pontual.

(Figura: André R.S. Marçal)

1.2 Formação de uma Imagem Digital



1 bit (0/1) – $2^1 = 2$ níveis (0-1)

2 bits – $2^2 = 4$ níveis (0-3) 00 01 10 11

3 bits – $2^3 = 8$ níveis (0-7) 000 001 010 011 100 101 110 111

4 bits – $2^4 = 16$ níveis (0-15)

...

8 bits – $2^8 = 256$ níveis (0-255) 1 byte

16 bits = 2 bytes

$2^{16} = 65536$ níveis

Processamento de Imagem (API / PSIFM)

André Marçal, DM / FCUP

Imagem Digital

Os sistemas digitais funcionam no sistema binário, sendo o bit o elemento básico.

Um bit corresponde a uma situação SIM/NÃO, ON/OFF, 1/0.

O número de níveis de cinzento (G) relaciona-se com o número de bits (n) pela relação $2^n = G$

O byte é um conjunto de 8 bits, podendo assim representar 256 níveis de cinzento ($2^8 = 256$), ou seja valores entre 0 e 255.

Para permitir a representação de números superiores a 255, é necessário utilizar mais do que 1 byte. Por exemplo:

2 bytes 0 - 65 535 ($2^{16} = 65536$)

3 bytes 0 - 16 777 215 ($2^{24} = 16\,777\,216$).

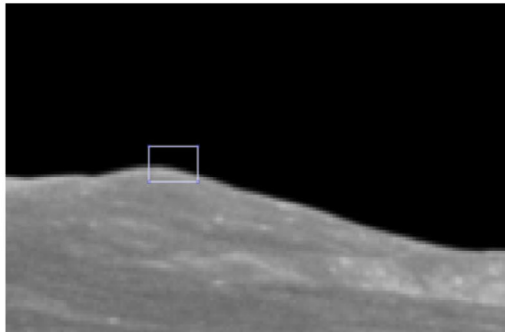
(Figura: André R.S. Marçal)

1.2 Formação de uma Imagem Digital



Imagem a “Preto e Branco” – níveis de cinzento (‘greyscale’), a 8 bits (0-255)

Pixel – Picture Element



1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
1	1	1	1	1	1	0	1	0	0	1	0	0	0	1	1
0	0	0	2	0	0	1	0	0	0	0	1	1	0	0	0
5	4	5	4	2	1	1	1	2	0	0	0	1	0	0	0
52	55	54	52	39	32	22	12	6	5	1	2	1	0	0	0
141	148	151	146	11	121	108	89	65	41	28	12	6	3	0	0
163	167	176	174	177	174	170	164	150	134	111	84	54	34	0	0
150	158	160	159	162	160	162	164	166	166	166	157	142	121	0	0
143	146	147	145	146	147	149	152	152	157	161	161	157	153	0	0

Processamento de Imagem (API / PSIFM)

André Marçal, DM / FCUP

Valor numérico dos pixels

A intensidade de cada pixel corresponde a um valor numérico, por exemplo entre 0 e 255 (1 byte).

No monitor de um computador a cada número digital corresponde um nível de cinzento, por exemplo 0=preto, 255=branco, e os restantes valores a diferentes níveis de cinzento.

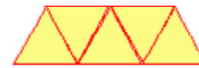
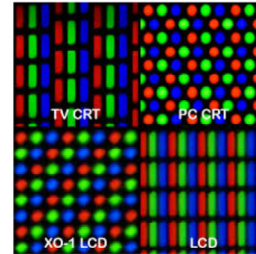
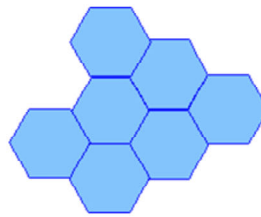
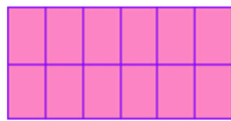
(Figura: André R.S. Marçal)

1.2 Formação de uma Imagem Digital

Pixel – Picture element

Podem ser usados vários formatos para o pixel, embora seja habitual considerar um quadrado.

Outros exemplos:



Formato do pixel

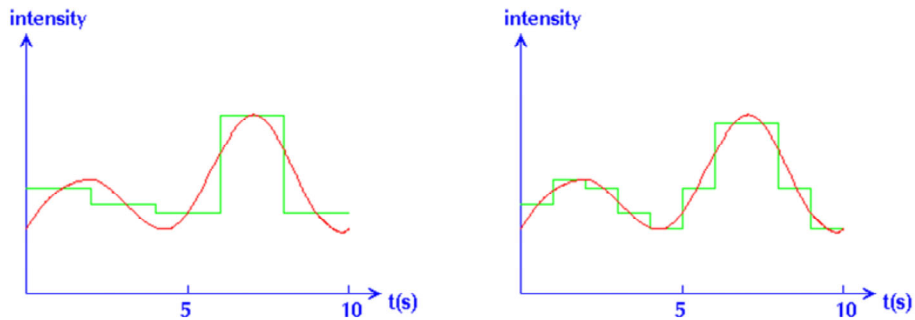
Normalmente as imagens digitais são apresentadas em dispositivos que utilizam pixels quadrados. No entanto é possível usar outras formas para o pixel, como os exemplos da figura.

(Figuras: NLNRS, 1997; Peter Halasz, 2009)

1.2 Formação de uma Imagem Digital

Representação por valores discretos – Amostragem

Exemplo de um sinal com uma intensidade registada ao longo do tempo, variável amostrada com $T_A=2s$ e $T_A=1s$.

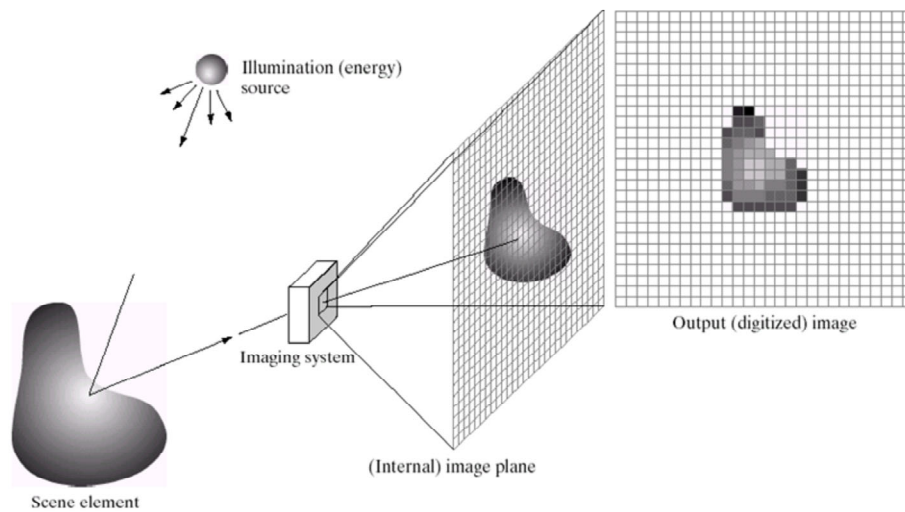


Representação por valores discretos

A figura ilustra o efeito da representação por valores discretos de um sinal com uma intensidade registada ao longo do tempo.

(Figura: NLNRS, 1997)

1.2 Formação de uma Imagem Digital



Processamento de Imagem (API / PSIFM)

André Marçal, DM / FCUP

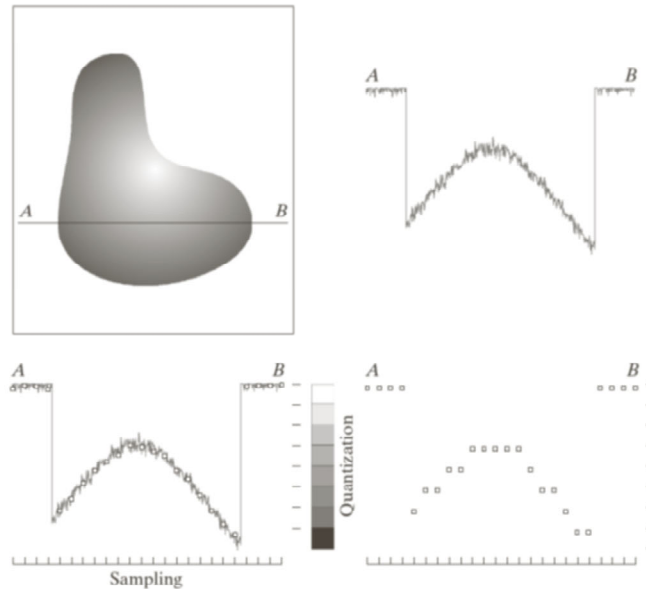
Formação de uma imagem digital

Exemplo ilustrativo do processo de aquisição de uma imagem digital.

A representação de uma imagem no formato digital envolve a utilização de grandezas discretas, a nível espacial (tamanho do pixel) e radiométrico (número de níveis de cinzento).

(Figura: Gonzalez e Woods, 2008)

1.2 Formação de uma Imagem Digital



Processamento de Imagem (API / PSIFM)

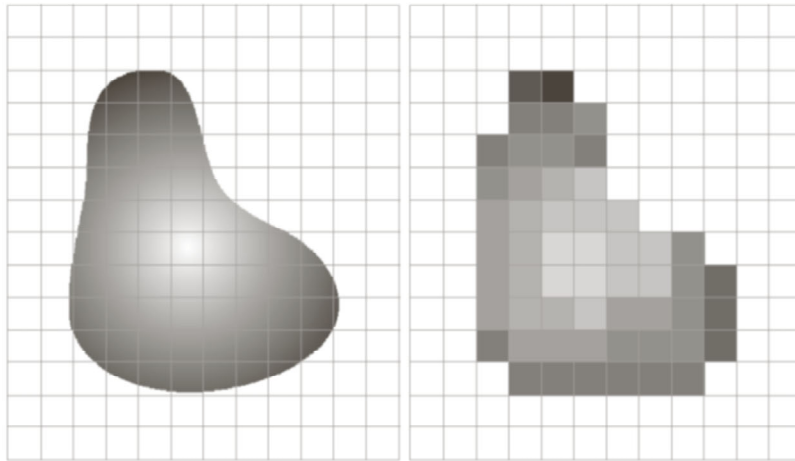
André Marçal, DM / FCUP

Formação de uma imagem digital

O exemplo mostra o efeito de se usarem variáveis discretas para a representação espacial (esq.) e radiométrica (dir.) do objecto.

(Figura: Gonzalez e Woods, 2008)

1.2 Formação de uma Imagem Digital



Processamento de Imagem (API / PSIFM)

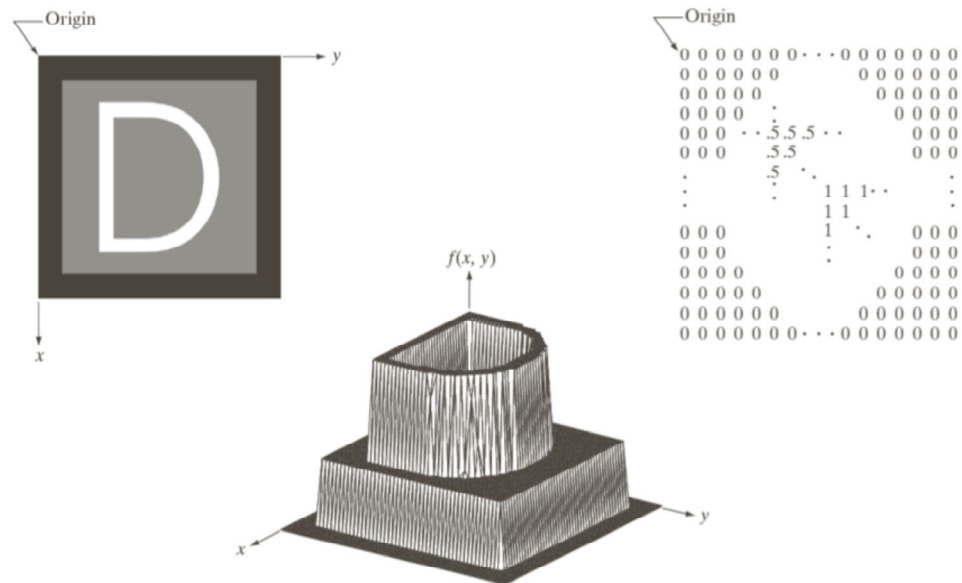
André Marçal, DM / FCUP

Formação de uma imagem digital

Exemplo de representação numa imagem digital de um objecto real, ilustrando as limitações impostas pela resolução espacial e radiométrica.

(Figura: Gonzalez e Woods, 2008)

1.2 Formação de uma Imagem Digital



Processamento de Imagem (API / PSIFM)

André Marçal, DM / FCUP

Formação de uma imagem digital

Representação de uma imagem em 3D, com linha/coluna como x, y e a intensidade como z .

(Figura: Gonzalez & Woods, 2008)

1.2 Formação de uma Imagem Digital



Processamento de Imagem (API / PSIFM)

André Marçal, DM / FCUP

Degradação da resolução espacial

A imagem original (canto superior esquerdo) tem 1024x1024 pixels a 8 bits. O número de pixels desta imagem foi reduzido gradualmente para 512x512, 256x256, 128x128, 64x64, 32x32 pixels (restantes imagens), reduzindo-se assim a resolução espacial da imagem.

(Figura: André R.S. Marçal)

1.2 Formação de uma Imagem Digital



Processamento de Imagem (API / PSIFM)

André Marçal, DM / FCUP

Degradação da resolução espacial

A mesma imagem do slide anterior foi degradada, da versão original de 1024x1024 pixels (canto superior esquerdo) para 512x512, 256x256, 128x128, 64x64, 32x32 pixels (restantes imagens), tendo no entanto sido restaurado a sua dimensão inicial por interpolação (este efeito não é visível na versão em papel).

(Figura: André R.S. Marçal)

1.2 Formação de uma Imagem Digital



Processamento de Imagem (API / PSIFM)

André Marçal, DM / FCUP

Degradação da resolução radiométrica

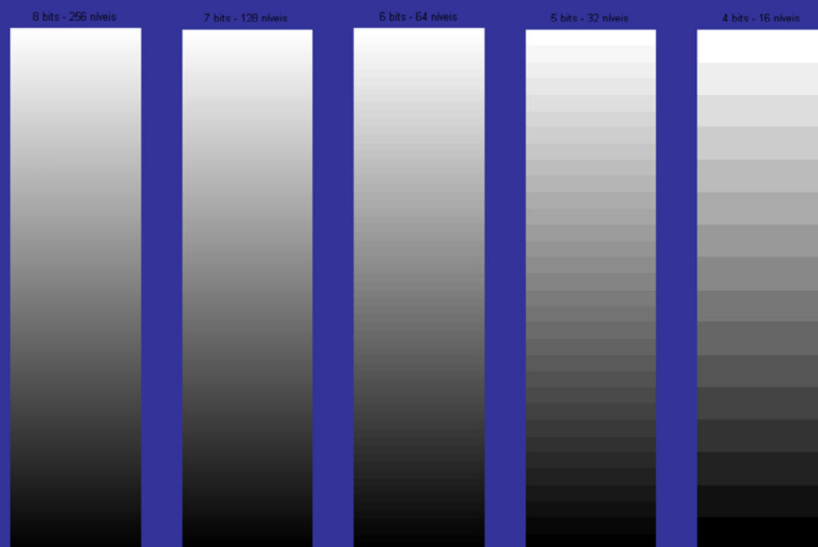
A imagem original (canto superior esquerdo) tem 1024x1024 pixels a 8 bits.

A resolução radiométrica desta imagem foi reduzida gradualmente para 6 bits, 4 bits, 3 bits, 2 bits, 1 bit (restantes imagens).

A imagem de 1 bit (canto inferior direito) apenas permite representar 2 níveis de cinzento – preto e branco.

(Figura: André R.S. Marçal)

1.2 Formação de uma Imagem Digital



Processamento de Imagem (API / PSIFM)

André Marçal, DM / FCUP

Degradação da resolução radiométrica

A imagem original (canto superior esquerdo) tem 1024x1024 pixels a 8 bits.

A resolução radiométrica desta imagem foi reduzida gradualmente para 6 bits, 4 bits, 3 bits, 2 bits, 1 bit (restantes imagens).

A imagem de 1 bit (canto inferior direito) apenas permite representar 2 níveis de cinzento – preto e branco.

(Figura: André R.S. Marçal)