

Capítulo 3

Imagens Digitais

3.1. Evolução Histórica do PID

→ O interesse por métodos de PID vem de 2 principais áreas de aplicação:

Melhoria da informação contida na imagem para facilitar a interpretação
Processamento dos dados contidos nas cenas da imagem para a percepção automática por máquinas

1920 → Primeiras aplicações das técnicas de PID → melhoria das fotos digitalizadas de jornais enviadas por um cabo submarino existente entre Londres e Nova Iorque

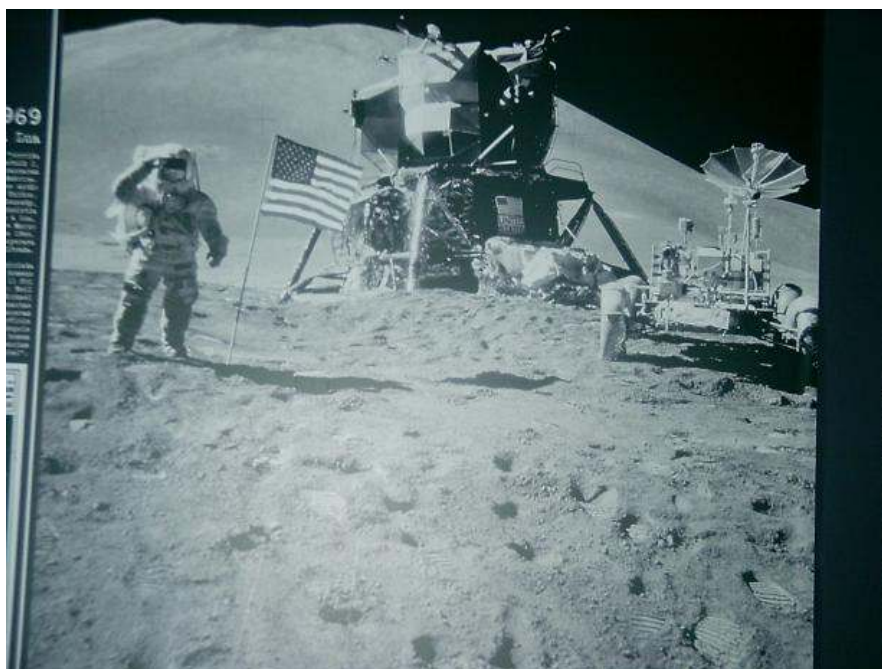
1930 → Problemas iniciais enfrentados para melhorar a qualidade visual das primeiras figuras digitais:

Seleção dos Procedimentos para sua Impressão
Distribuição dos seus Níveis de Luminosidade

→ Com o advento dos computadores digitais de larga escala aliados aos avançados programas espaciais, principalmente com a descida à lua na década de 1960:

Divulgação do potencial dos conceitos de PID
Crescimento vigoroso que continua até os dias atuais

→ A utilização de técnicas computacionais para melhorar imagens espaciais começou quando fotos da lua foram processadas para corrigir vários tipos de distorções nas imagens provenientes da câmera de televisão a bordo da nave espacial:



Serviram de base para o desenvolvimento dos métodos para recuperar e melhorar as imagens espaciais que se seguiram

→ De 1969 até agora, as técnicas de PID passaram a ser utilizadas na solução de uma enorme gama de problemas:

Geografia: Estudar padrões de poluição observados em imagens aéreas ou obtidas de satélites

História: Procedimentos de restauração e melhoria são utilizados para processar imagens degradadas de objetos irrecuperáveis

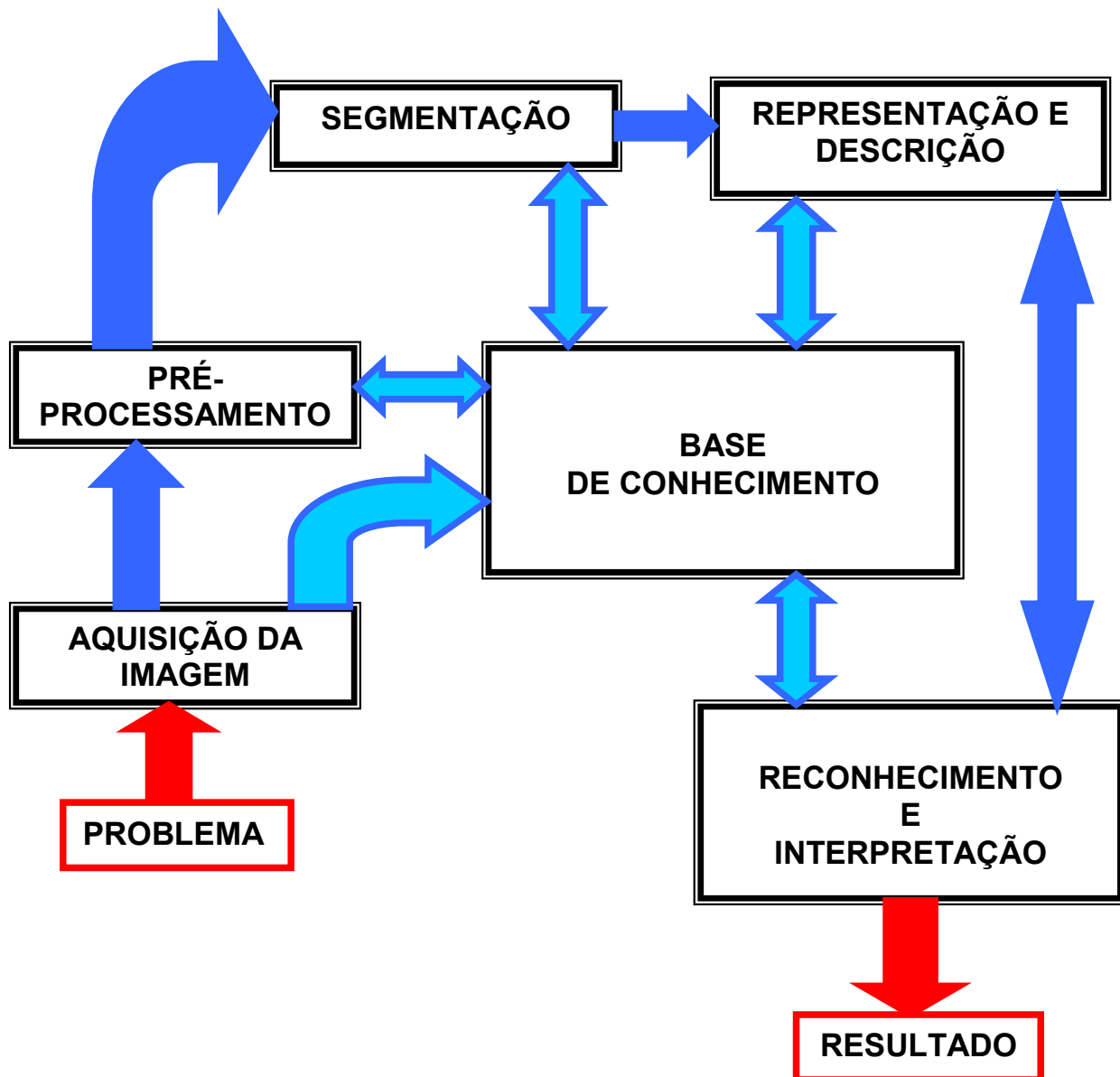
Arqueologia: Recuperar imagens borradas ou embaçadas que representam registros únicos de objetos e artefatos perdidos ou danificados depois de fotografados

Física: Melhorar imagens obtidas de experimentos tais como microscópios e plasmas de alta energia

Medicina: Melhorar a qualidade e facilitar a quantificação de dados de interesse clínico em imagens médicas obtidas de raio-x, tomografia, etc, objetivando facilitar o diagnóstico e a conduta terapêutica

→ **Percepção Automática por Máquinas:**
Reconhecimento automático de caracteres, visão em máquinas industriais para montagem e inspeção de produtos, reconhecimento militar, processamento automático de impressões digitais, análise de imagens de satélite para assessoria em colheitas

3.2. Principais Etapas do PID



Etapa 1: Aquisição da Imagem Digital

→ É necessário um sensor de imagem, como uma câmera de TV, uma câmera fotográfica ou um *scanner*, e um conversor analógico-digital para realizar a digitalização da imagem adquirida



Etapa 2: Pré-Processamento da Imagem

→ Aplicação de técnicas que visam melhorar a qualidade da imagem adquirida: aumento de contraste, remoção de ruídos



Etapa 3: Segmentação da Imagem

→ Reconhecimento de objetos da imagem que resulta na sua partição em grupos de elementos que possuem características similares

→ A saída da segmentação geralmente é um conjunto de pixels que constitui ou o contorno de uma região ou todos os pontos dela

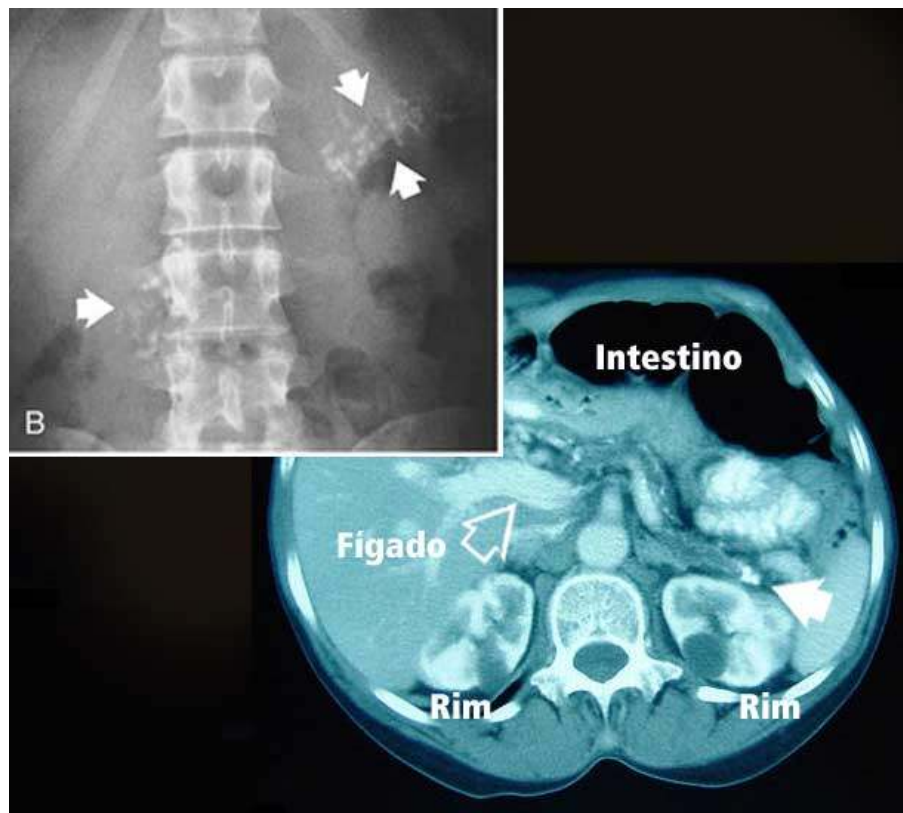


Etapa 4: Representação e Descrição da Imagem

- É necessário definir se os dados serão tratados como um **contorno** ou como uma **região** completa
- Representação por **contorno**: interesse nas características externas de formato, cantos, inflexões ou formatos geométricos
- Representação por **região**: interesse em propriedades internas como textura e formas estruturadas

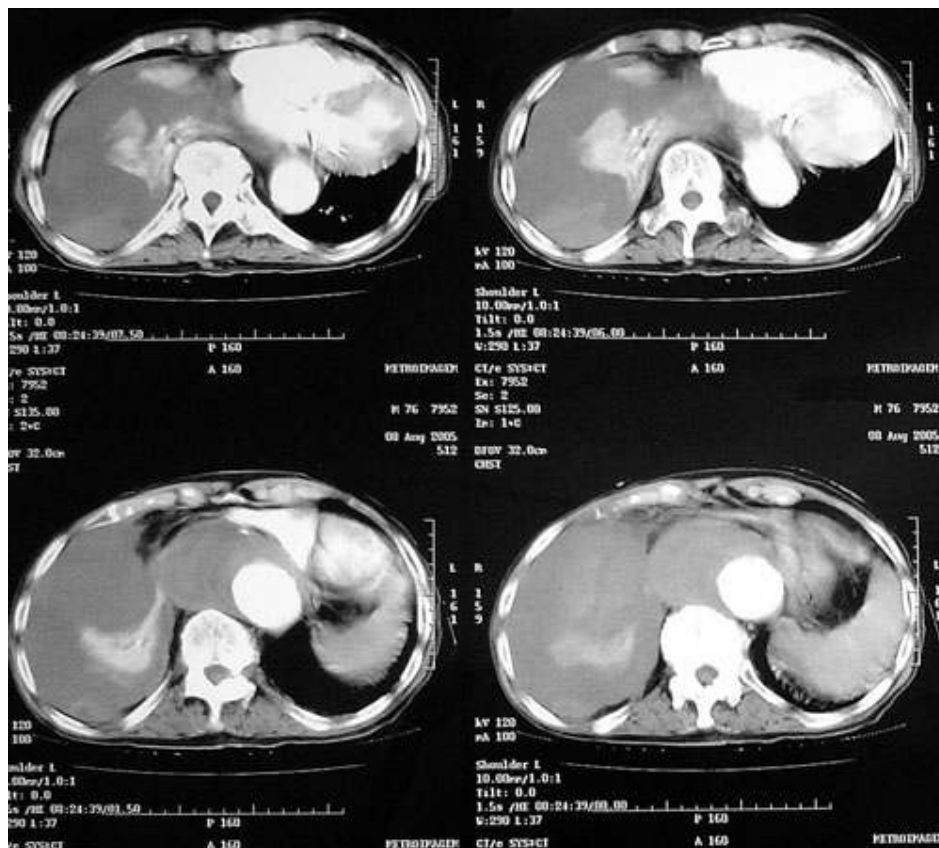
Etapa 5: Reconhecimento e Interpretação

- Reconhecimento é o processo de atribuição de um rótulo a um objeto baseado na informação fornecida por seus descritores
- Interpretação refere-se à atribuição de significado a um conjunto de objetos reconhecidos

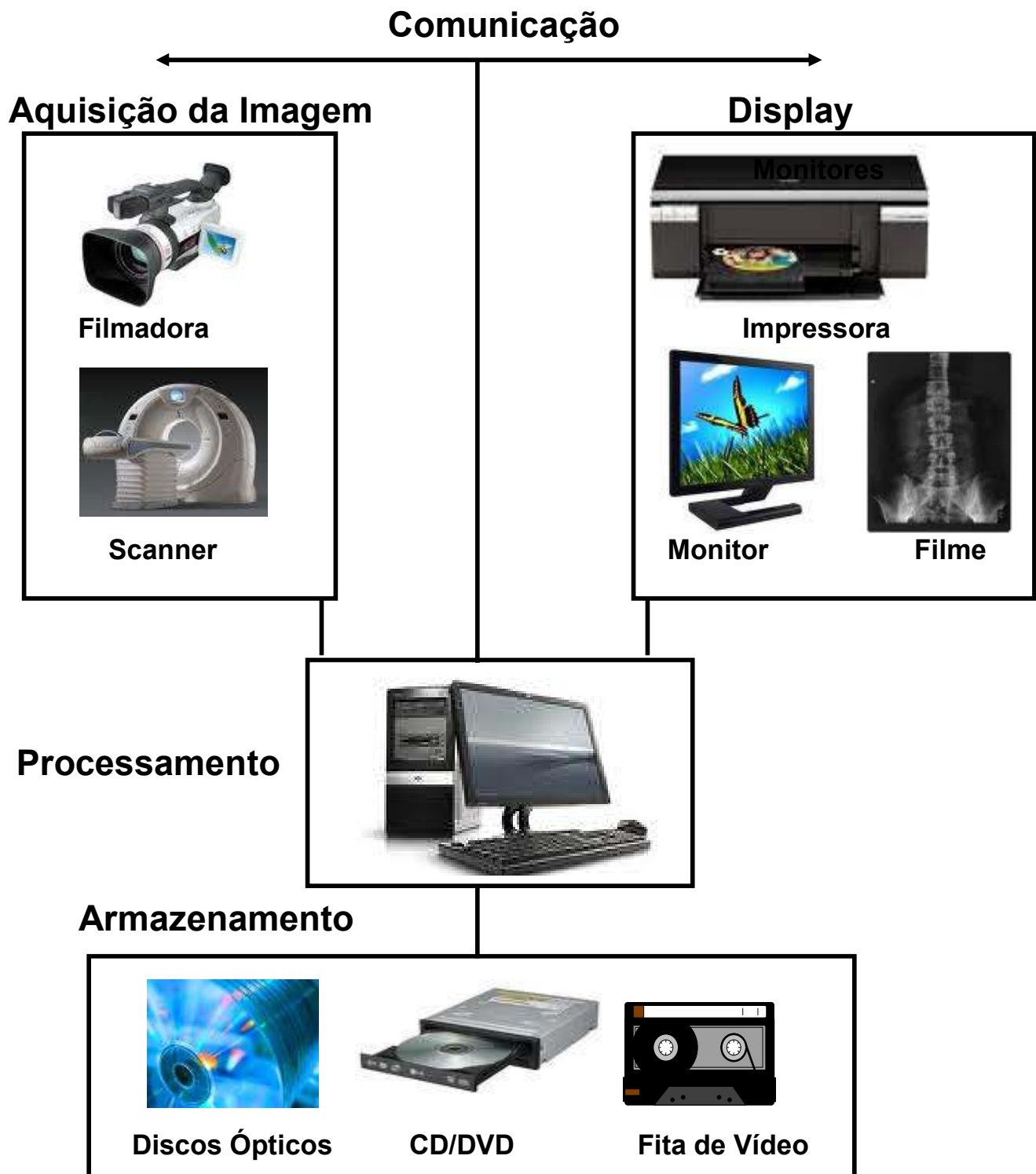


Base de Conhecimento

- Codifica o conhecimento sobre o domínio da imagem dentro do sistema de processamento da imagem
- É responsável pelo controle da interação e comunicação entre os módulos
- Pode ser o especialista que interage com o sistema



3.3. Elementos Básicos de um Sistema de PID



Aquisição da Imagem:

Sensor: dispositivo físico sensível à banda do espectro eletromagnético de energia (raio-x, ultravioleta, infravermelho, etc.) **+ Digitalizador:** dispositivo que converte a saída elétrica do sensor para o formato digital

Armazenamento da Imagem:

É um desafio ao projeto de sistemas de PID: uma imagem de 8 bits de 1024 x 1024 pixels requer um milhão de bytes para o seu armazenamento

→ (1) armazenamento mínimo para uso durante o processamento (*RAM / frame buffers*)

→ (2) armazenamento *on-line* para recuperação rápida (*winchesters / discos ópticos → servidores de discos*)



→ (3) armazenamento em arquivos para acesso pouco frequente (*discos e fitas magnéticas / discos ópticos / filmes fotográficos / fitas vídeo*)

Display da Imagem:



Monitores de TV digitais ou analógicos; Monitores CRT/LCD de acesso randômico e dispositivos de impressão da imagem

Processamento da Imagem:

Envolve procedimentos que são expressos em forma de algoritmos → com exceção das etapas de aquisição e *display* da imagem, todas as funções de processamento podem ser implementadas por software

→ Utiliza-se hardware específico para PID quando se exige alta velocidade de processamento

→ o PID é caracterizado por ter soluções específicas

Transmissão da Imagem:

Envolve comunicação local entre os sistemas de PID e comunicação remota para a transmissão dos dados da imagem

→ Hardware e software de comunicação local são facilmente encontrados

→ Comunicação em longas distâncias apresenta um certo desafio se a intenção é transmitir dados de imagens; depende da largura da banda e da tecnologia de transmissão de dados

→ O sinal digital é transmitido por diferentes meios

Terrestre: pelo ar, através de ondas de radiofrequência, e necessitam de antenas e receptores apropriados para a sua recepção.

Satélite: transmite sinais digitais a antenas parabólicas específicas, denominado de *banda C digital*

Cabo: utiliza redes de cabo convencionais CATV para transmitir os sinais digitais via operadoras de televisão por assinatura.



→ **Streaming** é o processo de distribuir informação multimídia numa rede através de pacotes. Usando tecnologias de banda larga como o ADSL, cable modem, rádio, WiMAX e fibra ótica, é possível o acesso a conteúdos de áudio e vídeo na internet através de dispositivos móveis ou computadores por todo o mundo. Para isso são necessários três componentes básicos: um player (codec), um servidor e um arquivo de dados que sejam compatíveis entre si.

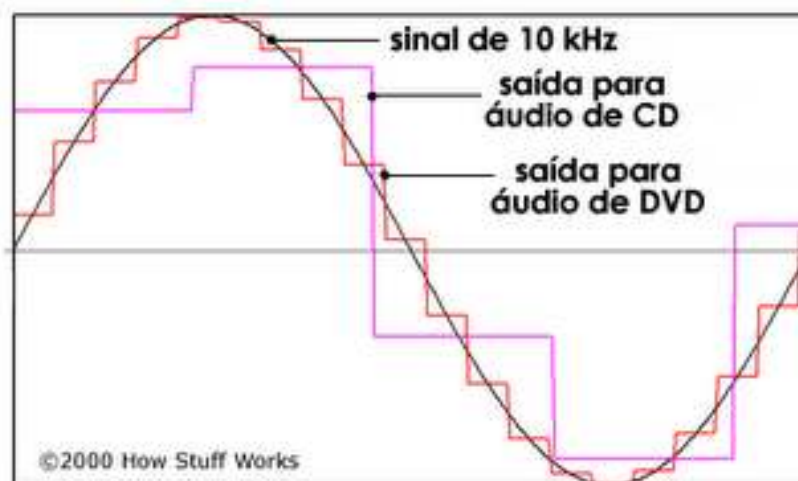
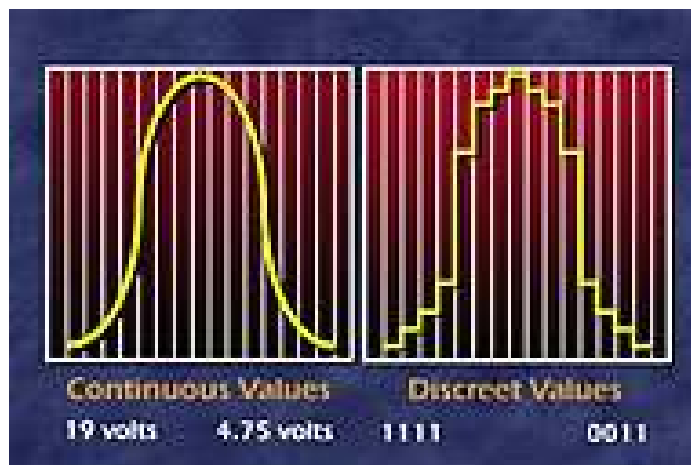
3.4. Imagens Digitais

→ Enquanto uma imagem gravada em um filme pode ser representada eletronicamente por uma onda analógica contínua, a imagem digital é representada por valores digitais obtidos a partir de amostras da forma analógica

Analógico x Digital

→ Os valores analógicos são contínuos

→ Os valores digitais são discretos e representados por pulsos traduzidos por uma sequência de números na forma binária



A imagem no computador

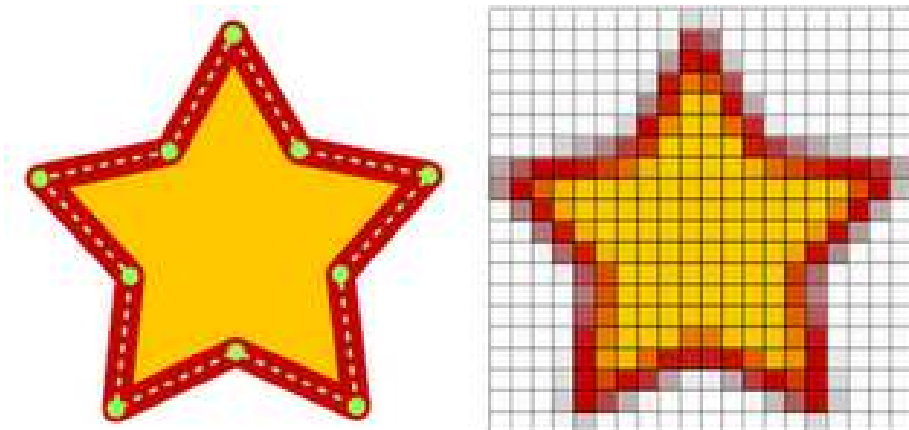
→ Imagens podem ser geradas e armazenadas de duas formas básicas:

Vetorial

são imagens geradas por programas de desenho; a imagem é construída através de formas elementares e geométricas como pontos, linhas, círculos ou polígonos. As imagens são armazenadas como um conjunto de instruções matemáticas. A imagem pode ser considerada como uma descrição bi ou tridimensional armazenada sob a forma matemática de vetores, descrevendo cada componente básico. Os objetos que formam a imagem são representados na forma de lista indicando as figuras, suas dimensões e posicionamento.

Bitmap

são as imagens produzidas por scanners e máquinas digitais; os pontos são amostrados e representados bit a bit. A imagem é armazenada como uma série de pontos armazenados sob a forma matricial, onde cada ponto representa a intensidade luminosa recebida pelo scanner. Cada um destes pontos é chamado de **pixel (picture element)**. Associado a cada pixel há a informação de cor. A imagem inteira é conhecida como bitmap (mapa de bits).



Imagens Vetoriais x Bitmaps

- ✚ Com uma descrição em modo BITMAP, os dados são armazenados diretamente numa memória de tela. O armazenamento e a leitura deste tipo de imagens é relativamente rápido e fácil.
- ✚ O tamanho dos arquivos de imagens bitmaps são diretamente associados ao tamanho e à resolução da imagem, ocupando mais espaço que as imagens vetoriais.
- ✚ Se for feito um "zoom" numa imagem bitmap veremos pixels grandes e quadrados pois foi atingida a resolução máxima da imagem.
- ✚ Uma imagem descrita na forma vetorial precisará ter seus elementos básicos (pontos, círculos, ...) convertidos na forma de fileiras de pixels, porque a maior parte das placas de vídeo trabalham apenas com memórias de tela organizadas sob a forma de matriz de pixels (bitmap).
- ✚ Uma imagem vetorizada não perderá definição (resolução) ao ser reduzida ou ampliada, pois cada elemento pode ser recalculado em função do novo tamanho.
- ✚ As imagens vetoriais adaptam-se à qualidade de impressão disponível. Pode-se trabalhar com uma imagem na tela do computador com 96dpi e enviar para impressora objetos com maiores resoluções (ex. 600dpi).
- ✚ Outra grande vantagem de imagens vetoriais é a facilidade de se selecionar diferentes objetos no seu interior e consequentemente isolá-los para trabalhar.

- ✚ Um programa vetorial pode criar arquivos com uma fração do espaço utilizado pelo bitmap, e mais importante, possuem a capacidade de serem ampliados indefinidamente sem perderem definição e detalhamento.
- ✚ Enquanto uma imagem na forma vetorial pode ser armazenada em alguns KiloBytes, a imagem bit-mapped pode requerer muito mais espaço para ser armazenada

→ Alguns programas mais conhecidos que criam arquivos **bitmap** são: Adobe PhotoShop, Corel Photopaint, Corel Painter, Paint Shop Pro e outros.

→ Já programas que criam arte **vetorial** são CorelDRAW, Illustrator, Freehand, RealDraw, Xara. O programa Flash também trabalha com arte vetorial, sendo mais destinado à construção de animações e sites da internet.

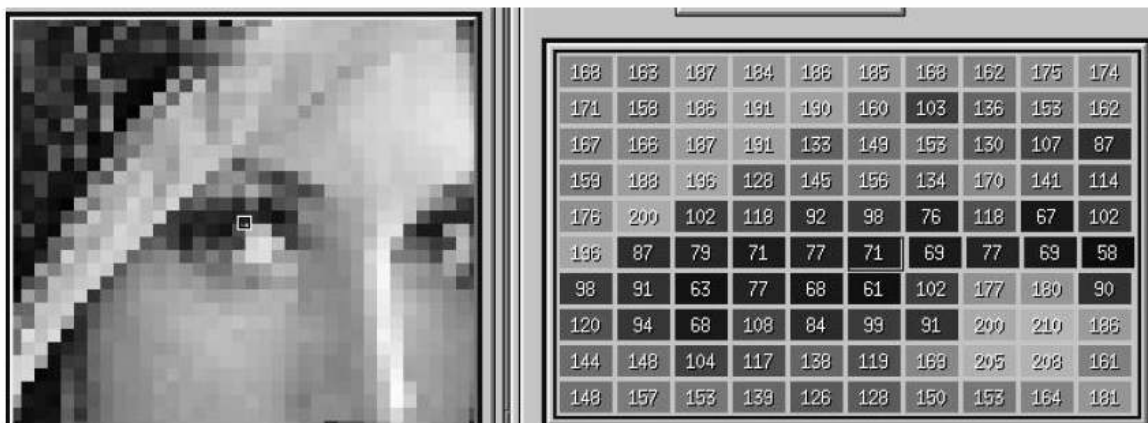
→ Formatos vetoriais mais conhecidos:

CDR (CorelDraw); DWG (AutoCAD); WMF (criado pela Microsoft)

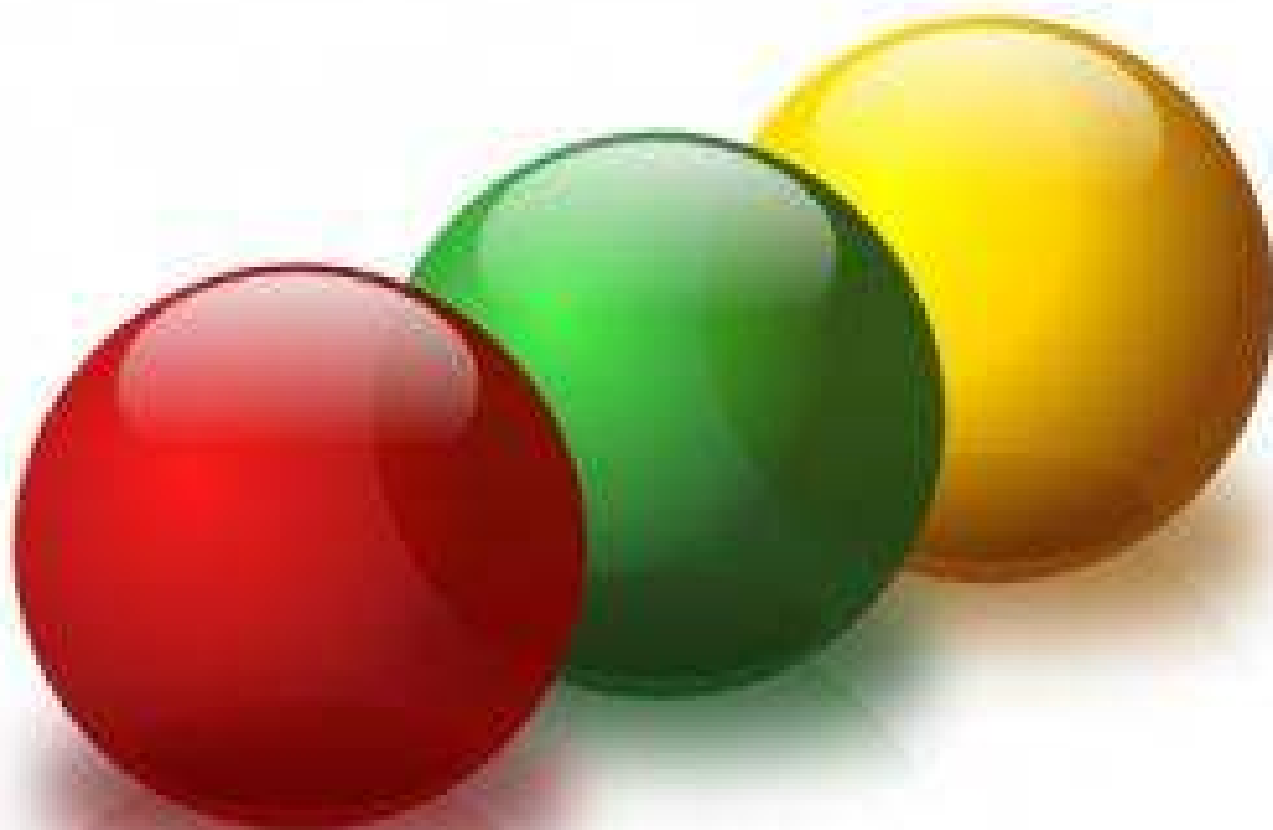
→ Formatos bitmap mais conhecidos:

BMP, GIF, JPEG, PNG, TIFF

A Figura 3 ilustra a representação matricial da imagem da Figura 1 em uma região de interesse de 10×10 pixels (à direita) em torno de um ponto indicado sobre o olho da Lenna (à esquerda).



airotv



Bitmap

Formatos de imagem	Características	Vantagens	Desvantagens
BMP Bitmap	Nº máximo de cores: Até 16 milhões de cores (24 bits) Compressão: Não tem. Perda de informação: Não aplicável. Transparência: Não.	Não tem perda de informação.	Por não ter compressão os arquivos são muito grandes. Caso a imagem tenha 16 milhões de cores, cada pixel ocupa sempre 24 bits (3 Bytes)
TIFF (G3 ou LZW*) Tag Image File Format	Nº máximo de cores: Até 16 milhões de cores (24 bits) Compressão: Tem. Perda de informação: Não Transparência: Não.	Eleito pelos profissionais da área. Muito versátil.	
JPG (ou JPEG) Joint Photographic Experts Group	Nº de cores: Sempre 16 milhões de cores (mesmo que a imagem tenha menos cor) (24 bits) Compressão: Sim. Perda de informação: Sim Transparência: Não.	Armazena sempre informação referente a 16 milhões de cores. Algoritmo de compressão muito eficaz. Indicado para fotografias e imagens foto-realistas.	Como o algoritmo de compressão tem perda de informação, cada vez que se salva o arquivo volta a perder informação. Não indicado para esquemas e gráficos de barras (por exemplo) porque o algoritmo não está otimizado para transições abruptas de cor.
GIF Graphics Interchange Format	Nº de cores: Até 256 cores (8 bits) Compressão: Sim. Perda de informação: Não Transparência: Sim.	Tem compressão sem perda de informação. Indicado para esquemas, gráficos de barras, etc.	Só permite um armazenamento máximo de 256 cores. Não indicado para fotografias, nem imagens foto-realistas (muitas cores)
PNG Portable Network Graphics	Nº de cores: Até 16 milhões de cores (24 bits) Compressão: Sim. Perda de informação: Não Transparência: Sim.	Algoritmo otimizado. Um bom substituto para o GIF e para a maioria dos TIFF (principalmente os LZW), e, muito importante, para cópias de segurança de imagens fotográficas.	Pouco conhecido. Na Internet pode ser um bom substituto para GIFs, mas não para JPGs.

3.5. Representação de Imagens Digitais

→ **Imagem:** função bidimensional de intensidade de luz, onde o valor da função f em qualquer ponto (x,y) é proporcional ao brilho (cor ou nível de cinza) da imagem naquele ponto

→ Uma imagem aparece como uma mistura de regiões com várias mudanças de brilho

→ **Imagem Digital Bidimensional:** É a imagem $f(x,y)$ que foi discretizada tanto em suas coordenadas quanto em seu brilho

→ Pode ser considerada uma matriz cujos índices de linhas e colunas identificam um ponto da imagem e o valor do elemento correspondente identifica o nível de cinza/cor ou brilho da imagem naquele ponto: *picture elements* ou **Pixels**

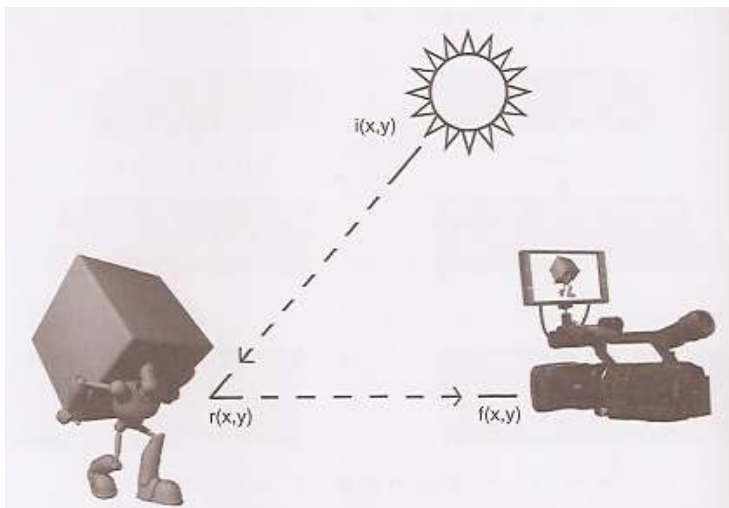


3.6. Modelo de uma Imagem Digital

→ Uma função $f(x,y)$ que representa uma imagem bidimensional, pode ser caracterizada por dois componentes:

→ a quantidade da fonte de luz que incide sobre a cena sendo visualizada → **Iluminação**

→ a quantidade de luz refletida pelos objetos da cena
→ **Reflexão**



Componentes
de intensidade:
iluminação (i) e
reflexão (r)

→ A função de iluminação $i(x,y)$ e a função de reflexão $r(x,y)$ são combinadas para formar a função imagem $f(x,y)$:

$$f(x,y) = i(x,y) * r(x,y)$$
$$0 \leq i(x,y) \leq \infty \quad 0 \leq r(x,y) \leq 1$$

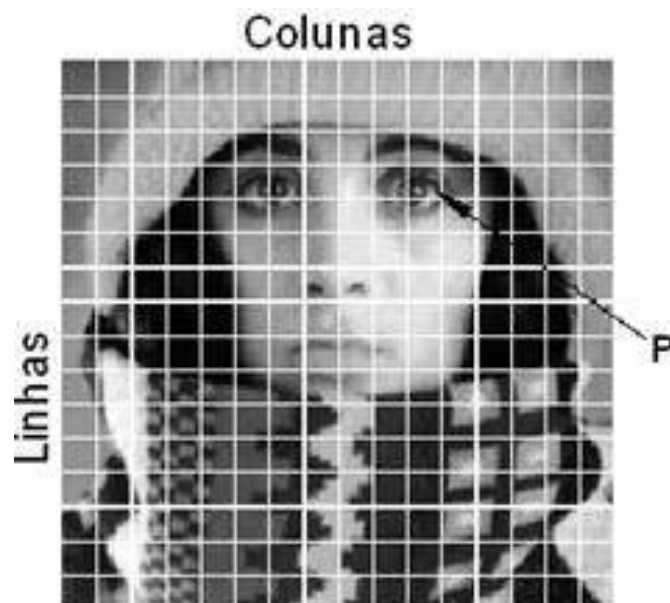
- ✓ $r(x,y) = 0$: absorção total; $r(x,y) = 1$: reflexão total;
- ✓ A intensidade de luz de $f(x,y)$ para uma imagem varia de 0 (preto), a um valor máximo considerado branco

3.7. Amostragem e Quantização

→ Para gerar uma imagem digital, $f(x,y)$ deve ser digitalizada ao longo do plano bidimensional x,y . Juntos, os pontos amostrados geram uma **matriz de amostragem** de tamanho $N \times M$. Cada ponto na matriz $N \times M$ é representado por seu **nível de cinza ou cor (quantização)**.

→ Uma imagem $f(x,y)$ contínua, amostrada em intervalos iguais, arranjados na forma de uma matriz $N \times M$, com os valores de cada elemento da matriz armazenando uma quantidade discreta, pode ser representada:

$$f(x,y) \approx \begin{bmatrix} f(0,0) & f(0,1) & \dots & f(0,M-1) \\ f(1,0) & f(1,1) & \dots & f(1,M-1) \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ f(N-1,0) & f(N-1,1) & \dots & f(N-1,M-1) \end{bmatrix}$$



3.8. Resolução da Imagem

→ Considerando que o processo para geração de imagem digital está diretamente associado a Amostras (número de pixels) e Quantização (Nível de Cinza/Cor), pergunta-se:

- Quantas amostras são necessárias para se gerar uma boa imagem digital?
- Quantos níveis de cinza /cor são necessários para representar cada Pixel?

→ Note que as perguntas se referem a 2 aspectos diferentes:

1- Quantidade de pixels ao longo de cada eixo x,y: este parâmetro está associado ao espaçamento físico entre amostras. Logicamente quanto mais pontos se consegue amostrar para formar a imagem digital, melhor será a formação da imagem. Esta grandeza é chamada de Resolução Espacial.

2- Nível de Cinza/Cor: está associado ao brilho da imagem em cada pixel. Para representar mais níveis de cinza ou cores, são necessários mais bits para cada pixel. Alguns exemplos:

1bit =	2 níveis/cores (imagem preto e branco)
8 bits =	256 níveis/cores
16 bits =	57.856 níveis/cores
24 bits =	16.777.216 níveis/cores

Esta grandeza é chamada de Profundidade da Imagem.

→ Resolução Espacial



(a)

(a) 256x 256 pixels



(b)

(b) 128x128



(c)

(c) 64x64

→ Profundidade da imagem



(a)

(a) 4bits/16 níveis



(b)

(b) 3bits/8 níveis



(c)

(c) 1bit/2 níveis

→ A resolução da imagem representa o grau de detalhes perceptíveis, muito dependente dos parâmetros de amostragem e quantização

→ A matriz é uma aproximação de uma imagem contínua

Quantas amostras e quantos níveis de cinza/cor seriam necessários para uma boa aproximação?

→ **RESOLUÇÃO DA IMAGEM**: quanto mais esses parâmetros são aumentados, mais a matriz digitalizada aproxima-se da imagem original

→ Como o PID é uma área interdisciplinar, existem muitas maneiras diferentes de especificar a resolução de uma imagem; cada uma das maneiras é orientada à aplicação

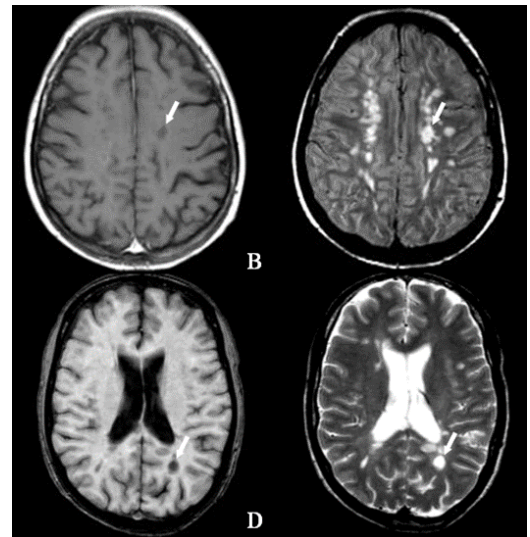
→ Uma **boa imagem** é difícil de ser definida, não somente porque qualidade de uma imagem é um critério altamente subjetivo, mas também porque depende muito da aplicação

→ **Sensoriamento Remoto**: a resolução espacial é especificada como o tamanho que cada pixel representa no mundo real. O LANDSAT (Land Remote Sensing Satellite) tem resolução variando de 30m a 120m, ou seja, cada pixel da imagem representa uma área no terreno de 0.09 a 1.4 hectares

→ Uma imagem inteira de satélite representa no solo uma área de abrangência de 185x185 km

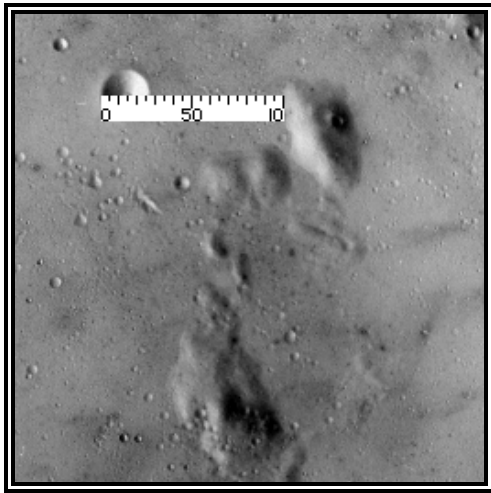


→ **Imagens Médicas:** a resolução é definida como no sensoramento remoto, mas usa-se centímetro como unidade padrão. *Scanners* de CT (Tomografia Computadorizada) têm tamanho de pixel igual a 1mm

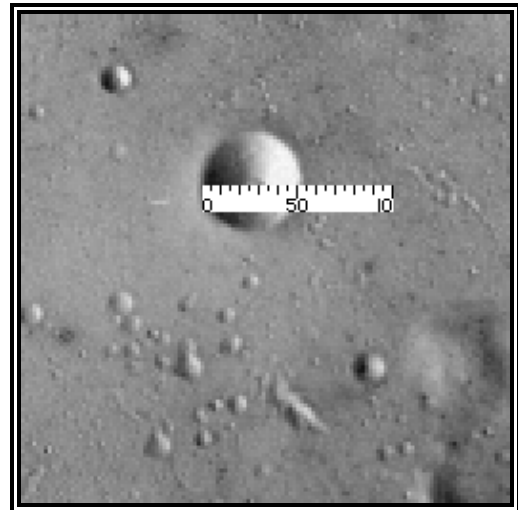


→ **Documentos:** a resolução é usada como o número de pixels por dimensão no mundo. Exemplo: *scanners* têm resolução medida por dpi (*dots per inch*) ou pontos por polegada

→ As imagens seguintes foram discretizadas em duas resoluções diferentes. A fim de observar o efeito da resolução, uma imagem pequena de uma régua é superposta sobre ambas as imagens. A régua mede o n° de pixels dentro da imagem.



(a) Imagem da lua com baixa resolução: 20 km/pixel



(b) Mesma imagem em alta resolução: 10km/pixel

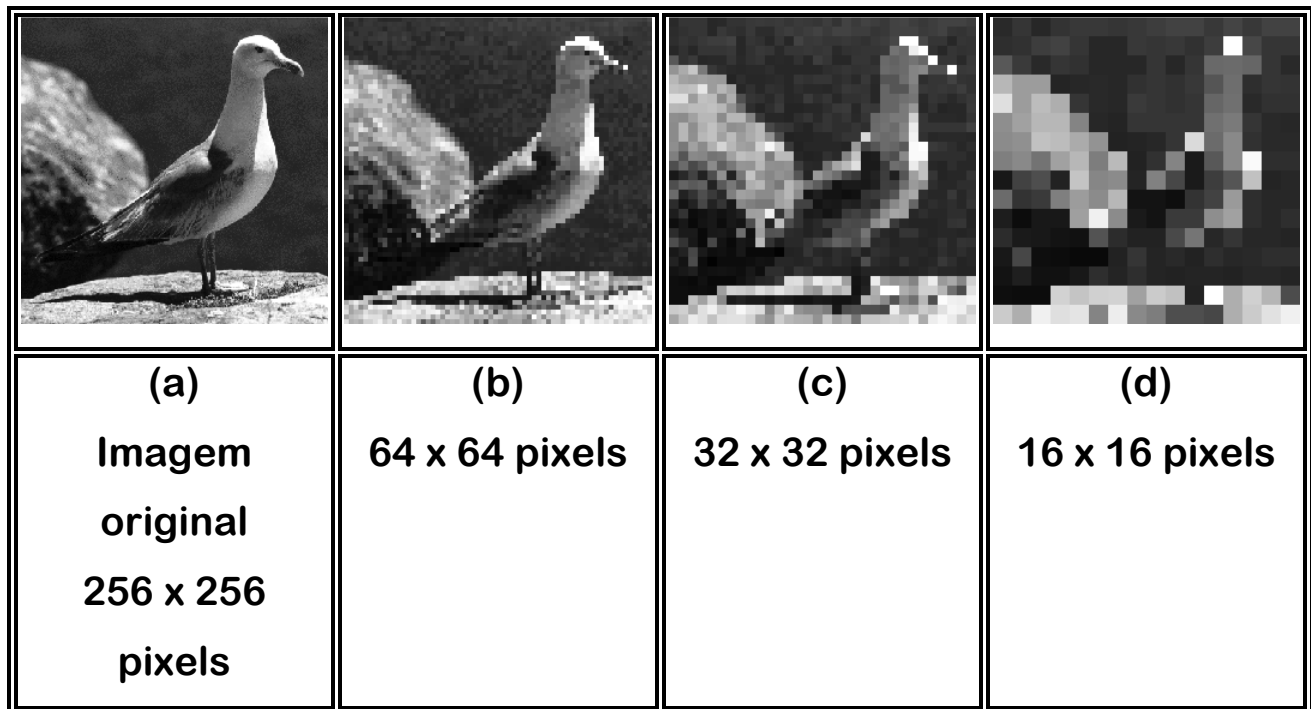
→ Existem aproximadamente 27 pixels através do diâmetro da cratera lunar sobre a imagem em (a) e aproximadamente 55 pixels em (b) → a imagem em (b) tem maior resolução → é possível medir suas características mais exatamente

→ a imagem (a) tem resolução de 20 km/pixel e a cratera seria medida em 540Km

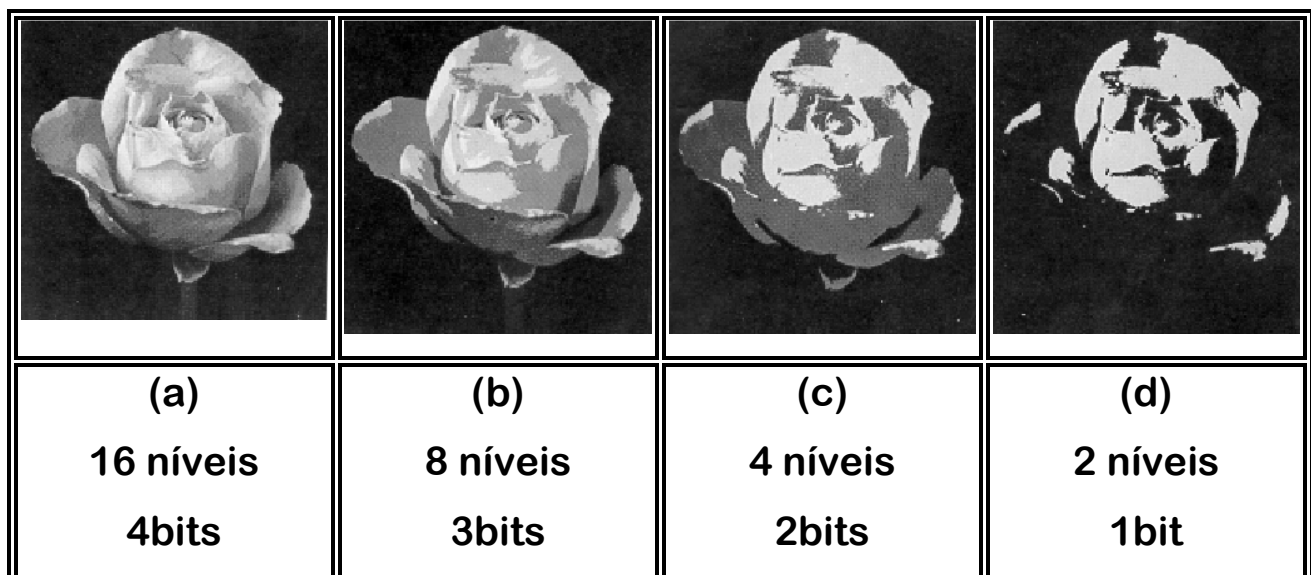
→ a imagem (b) tem resolução de 10km/pixel e a cratera seria medida em 550Km

Quais os efeitos das variações de níveis de cinza e número de pixels sobre a qualidade da imagem?

Efeitos da redução na resolução espacial



Efeitos da redução nos níveis de quantização



3.9. Tamanho da Imagem

→ Cálculo para armazenar uma imagem digitalizada:

$\text{bits} = (\text{resolução}) \times (\text{número de bits/pixel})$

$\text{Bytes} = \text{bits}/8$

$\text{KBytes} = \text{Bytes}/1024$

$\text{MBytes} = \text{KBytes}/1024$

→ **Exemplo 1:** uma imagem de 128x128 pixels com 64 níveis de cinza (6bits/pixel) exige $128 \times 128 \times 6 = 98304$ bits/8 = 12288 bytes/1024 = **12KBytes** para armazenamento

→ Qual é o tamanho do bitmap para um terminal monocromático de 1024 x 1024 pixels?

1024 bits = 1Kbit = 2^{10} bits, então, $1024 \times 1024 \times 1 = 2^{20}$ bits → **1Mbit de tamanho** (1Mb = 2^{20} bits)

→ Calcular o tamanho do arquivo para armazenar uma imagem com 640x480 pixels e 8 bits por pixel

$640 \times 480 \times 8 \rightarrow 2.457.600$ bits = 307.200 bytes = **300 KBytes**

→ Calcular o tamanho do arquivo para uma imagem colorida de 1024x1024 pixels com 16 bits por pixel

$1024 \times 1024 \times 16$ bits = 16.777.216 bits /8 = 2.097.152 bytes /1024 = 2048 KBytes/1024 = **2 MBytes**

→ Calcular o tamanho do arquivo para uma imagem colorida de 2048x2048 pixels e 3 bytes por pixel (24bits)

$2048 \times 2048 \times 24$ bits = $2^{11} \times 2^{11} \times 2^3 \times 3$ = 100.663.296 bits /8 = 12.582.912 bytes = 12288 Kbytes/1024 = **12 MBytes**