

Processamento Digital de Imagens

Compressão de Imagens

Prof: Emília Alves Nogueira
Ciência da Computação
Universidade Federal de Goiás
E-mail: emiliacdc@hotmail.com

Compressão de imagens

- ▶ Formas de diminuir a área de armazenamento dos dados, reduzindo a quantidade de bits para representar os dados (imagem, texto, ou arquivo qualquer).
- ▶ Em compressão de imagem define-se a forma (algoritmos e métodos) de armazenar informações visuais mais compactamente.

Compressão de imagens

- ▶ A compressão de imagens é a arte e a ciência de reduzir o volume de dados necessários para representar uma imagem.
- ▶ As técnicas de compressão surgiram devido à necessidade de se reduzir o espaço requerido para o armazenamento e o tempo necessário para a transmissão de imagens.
- ▶ Exemplos: Imagem colorida com dimensões 1024 x 1024 pixels, cada pixel representado por 24 bits, requer para armazenamento:

$$1024 \times 1024 \times 24 = 25.165.824 \text{ bits} \approx 3 \text{ Mbytes}$$

Compressão de Vídeos

- ▶ Vídeo (Filme) → Sequência de quadros de vídeo (frames) onde cada quadro é uma imagem estática.
- ▶ Suponha um vídeo com resolução 720 x 480 x 24bits (Padrão Standard Definition – SD)
- ▶ Os reprodutores de vídeo devem exibir os quadros a uma taxa de 30 fps (quadros por segundo – frames per second).

Compressão de Vídeos

- ▶ Assim, os dados de vídeo digitais devem ser acessados em:

$$(30 \text{ frames/s}) \times (720 \times 480 \text{ pixels/frames}) \times (3 \text{ bytes/pixel}) \\ = 31.104.000 \text{ bytes/s}$$

- ▶ Um filme de duas horas consiste em:

$$31.104.000 \text{ bytes/s} \times (60 \times 2 \text{ h}) \approx 2,24 \times 10^{11} \text{ bytes} \\ \text{ou } 224 \text{ GB}$$

Finalidade da compressão

- ▶ O termo compressão de dados refere-se ao processo de reduzir o volume de dados necessários para representar dada quantidade de informações.
- Como várias quantidades de dados podem ser utilizadas para representar a mesma quantidade de informações, dizemos que representações que contêm informações irrelevantes ou repetidas possuem **dados redundantes**.

Redundância

- ▶ Seja R a redundância relativa de dados da representação com b bits

$$R = 1 - 1/C$$

onde: $C = b/b' \rightarrow$ taxa de compressão

b e $b' \rightarrow$ número de bits em duas representações das mesmas informações


- ▶ Se $C = 10$ (taxa de compressão 10:1) significa que a maior representação tem 10 bits de dados para cada 1 bit na representação menor

Redundância (R) é igual a 0.9 \rightarrow indica que 90% de seus dados são redundantes

Redundância

- ▶ As redundâncias de dados que podem ser identificadas e exploradas em compressão de imagens são:
 - Redundância de codificação
 - Redundância interpixel
 - Redundância psicovisual

Redundância de Codificação

- ▶ Um código é um sistema de símbolos (letras, números, bits e assim por diante) utilizados para representar um corpo de informações ou conjunto de eventos.
 - ▶ Atribui-se a cada parcela da informação ou evento uma sequência de símbolos de código, denominados palavra de código.
 - ▶ O número de símbolos em cada palavra-código é o seu comprimento ou tamanho.
 - ▶ Os códigos de 8 bits usados para representar as intensidades contêm mais bits do que o necessário para representar estas intensidades.
- 

Redundância de Codificação

- Decorre da representação ineficiente para os valores de pixels, uma vez que é atribuído o mesmo número de bits (ex. m bits) tanto ao valor de intensidade mais provável quanto ao menos provável.

$$p_r(r_k) = \frac{n_k}{MN} \quad k = 0, 1, 2, \dots, L - 1$$

r_k é a intensidade de cada pixel

p_r é a probabilidade de ocorrência de r_k

n_k quantidade de pixel de intensidade k

MN quantidade total de pixels da imagem

Redundância de Codificação

- ▶ Se o número de bits utilizados para representar cada valor de r_k for $l(r_k)$, o número médio de bits necessários para representar cada pixel é:

$$L_{med} = \sum_{k=0}^{L-1} l(r_k) p_r(r_k)$$

Se for utilizado um código de tamanho fixo de m bits:

$$L_{med} = m$$

- O número total de bits necessários para representar uma imagem $M \times N$ é: **MNL_{med}**

Redundância de Codificação

- Exemplo: Ilustração simples da codificação de tamanho variável.

Informações de uma imagem gerada por computador.

rk	$pr(rk)$	Código 1	$l1(rk)$	Código 2	$l2(rk)$
87	0.25	01010111	8	01	2
128	0.47	10000000	8	1	1
186	0.25	11000100	8	000	3
255	0.03	11111111	8	001	3
Demais rk	0	-	8	-	0

$L_{med} = 8 \text{ bits}$

L'_{med}

Redundância de Codificação

- ▶ Exemplo: Ilustração simples da codificação de tamanho variável.
- ▶ $L'_{med} = 0.25(2) + 0.47(1) + 0.25(3) + 0.03(3) = 1.81 \text{ bits}$
- ▶ $C = (M \times N \times L_{med}) / (M \times N \times L'_{med}) = (256 \times 256 \times 8) / (256 \times 256 \times 1.81) = 4.42$
- ▶ $R = 1 - 1 / 4.42 = 0.774$

77,4% dos dados do arranjo de intensidade 2D original de 8 bits são redundantes.

Redundância Interpixel

- ▶ Como os pixels da maioria dos arranjos de intensidade 2D são correlacionados no espaço (isto é, cada pixel é similar aos pixels vizinhos ou dependente deles), as informações são desnecessariamente replicadas nas representações dos pixels correlacionados.

Redundância Interpixel

- ▶ Enquanto a redundância de codificação explora a proporção desbalanceada de cada símbolo, a redundância interpixel explora a característica de que pixels vizinhos em uma imagem normalmente possuem alguma relação ou similaridade.

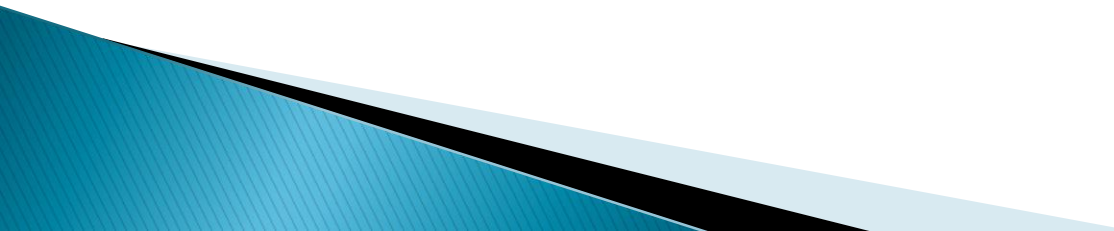
Redundância Interpixel

- ▶ Tipicamente, a maioria dos pixels possui valores não muito diferentes de seus vizinhos, com isso:
 - Valor de cada pixel é previsível a partir dos valores de seus vizinhos;
 - A informação que cada pixel carrega é relativamente pequena;
 - Muito da contribuição visual de um único pixel para uma imagem é redundante, pois ela poderia ser prevista com base nos valores dos pixels adjacentes.

Redundância Interpixel

- ▶ Para aproveitar essa característica, a representação da imagem por uma matriz bidimensional de pixels já não é mais um modelo eficiente, sendo necessário utilizar um formato mais adequado.
- Duas possíveis representações que poderiam ser usadas para reduzir a redundância interpixel, são:
 1. Armazenar apenas a diferença entre pixels adjacente.
 2. Codificação por comprimento de corrida (run-length)

Redundância Interpixel

- ▶ Armazenar apenas a diferença entre pixels adjacente:
 - ▶ Devido à tendência de pixels vizinhos possuírem valores próximos, essa diferença entre eles geraria, em sua maioria, valores pequenos.
 - ▶ Esse fato aliado a algum método de redução da redundância de codificação, tal como a utilização de códigos de comprimento variável, reduziria ainda mais o número de bits necessários para armazenar uma imagem.
- 

Redundância Interpixel

- ▶ Codificação por comprimento de corrida (run-length):
- ▶ Essa representação explora o fato de que algumas imagens possuem regiões com muitos pixels vizinhos idênticos, como a imagem abaixo:

linha 100 →



Redundância Interpixel

- ▶ Considerando a imagem binária anterior, a codificação por comprimento de corrida percorre cada linha da imagem e, em vez de armazenar o valor preto(0) ou branco(1) para cada pixel:
 - armazena apenas a intensidade ou cor e o numero de pixels iguais para cada grupo de pixels idênticos.
- ▶ As primeiras linhas, que possuem apenas pixels pretos, seriam representadas por (0,320) em que 0 e a cor preta e 320 e o numero de pixels com essa cor

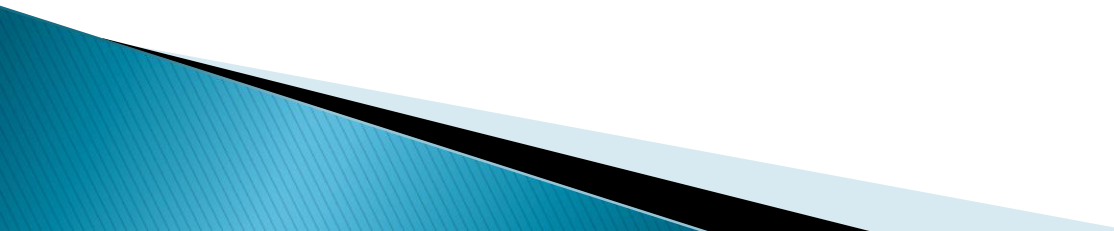
Redundância Interpixel

- ▶ A codificação por comprimento de corrida, para a linha 100 corresponderia a sequencia dada por:
(1,29) (0,9) (1,55) (0,4) (1,8) (0,3) (1,79) (0,5) (1,9) (0,5) (1,7) (0,10) (1,97)
- ▶ Portanto, mais compacta que a codificação que armazenaria um símbolo para cada um dos 320 pixels desta linha, dada por:

Redundância Psicovisual

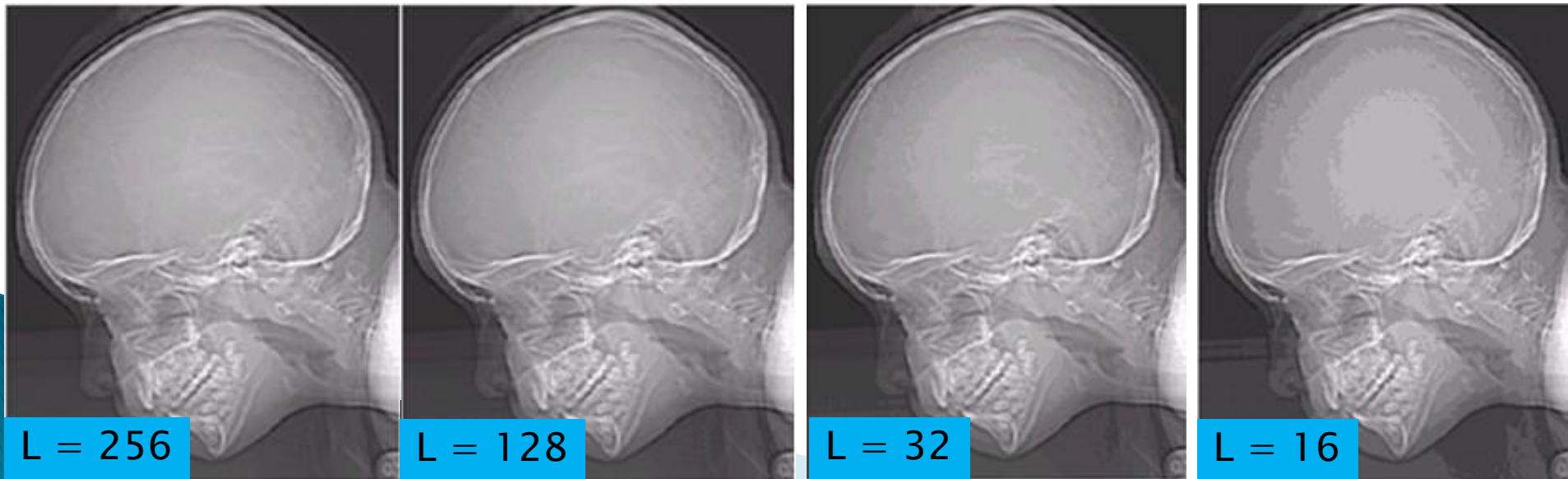
- ▶ A maioria dos arranjos de intensidade 2D contém informações ignoradas pelo sistema visual humano e/ou irrelevantes para a utilização pretendida da imagem. As informações são redundantes no sentido de não serem utilizadas.

Redundância Psicovisual

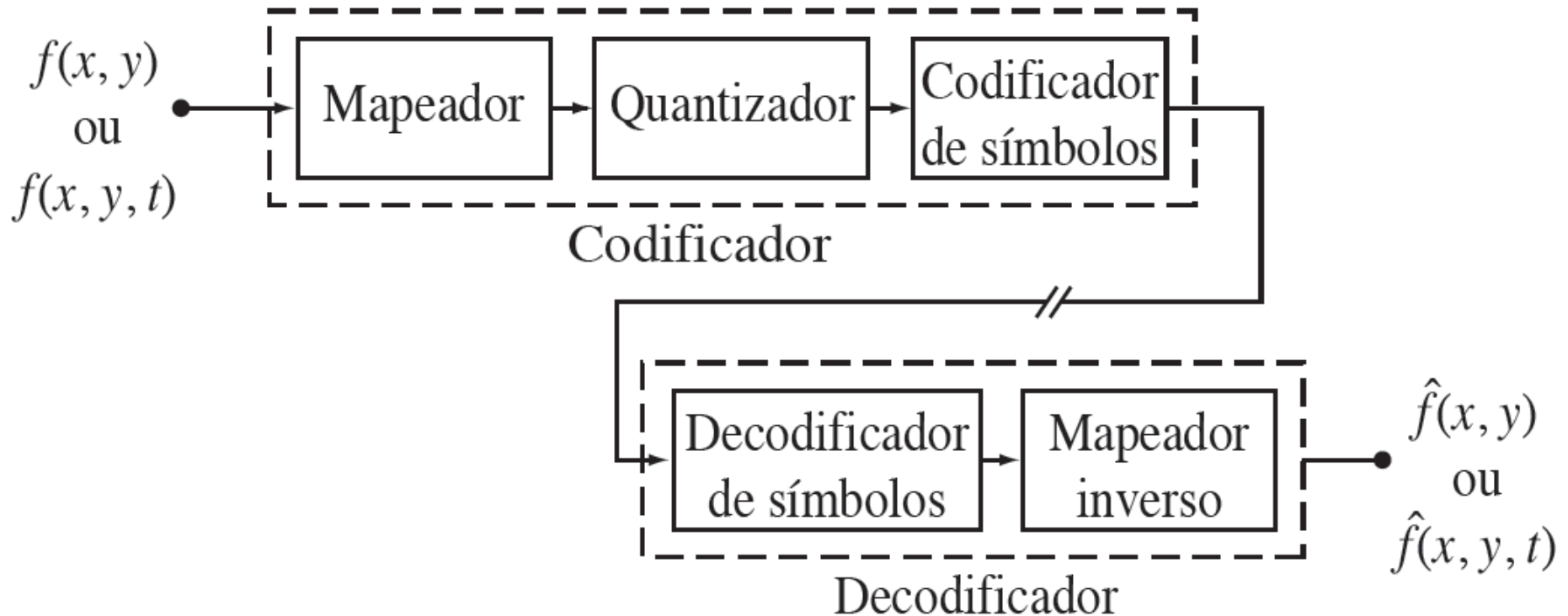
- ▶ A compressão baseada na redundância psicovisual explora a imprecisão do sistema visual humano em perceber certos detalhes em uma imagem.
 - ▶ Essas imprecisões resultam no fato de que o sistema visual humano não responde com a mesma sensibilidade a todas as informações visuais.
 - ▶ As informações que possuem menor importância relativa no processamento visual, denominadas psicovisualmente redundantes, podem ser eliminadas sem prejudicar significativamente a percepção da imagem.
- 

Redundância Psicovisual

- ▶ Essa redundância difere das demais por permitir que dados presentes na imagem possam ser eliminados de forma **irreversível**.
- ▶ Consequentemente, a imagem recuperada não é igual a imagem original.



Sistema Geral de Compressão de Imagens



Métodos de Compressão de Imagens

- ▶ Compressão *sem* perdas
 - A imagem, após sua decodificação, deve permanecer exatamente igual a imagem original.
 - Exploram principalmente a redundância de codificação e redundância interpixel.
 - Imagens medicas, imagens de satélites, documentos digitalizados
 - Pequena variação na intensidade dos pixels, mesmo que imperceptível ao olho humano, pode afetar o processamento de imagens

Métodos de Compressão de Imagens

- ▶ Compressão *com* perdas
 - A imagem, após sua decodificação, não permanece exatamente igual a imagem original.
 - Exclusão irreversível de parte da informação contida na imagem.

Métodos de Compressão de Imagens

- ▶ Exemplos:
 - Codificação de Huffman
 - Codificação de Shannon–Fano
 - Codificação Aritmética
 - Codificação de Lempel–Ziv–Welch (LZW)
 - Codificação *Run–Length* (RLE)

Codificação *Run-Length* (RLE)

- ▶ Em português: Codificação por Comprimento de Corrida
 - Explora a redundância interpixel de modo a armazenar, para cada sequência de pixels iguais, apenas seu valor e o número de ocorrências.
- ▶ Ex: Codificação RLE de uma linha → (20,29) (35,9) (170,55) (220,4) (15,8) (20,3).
- ▶ É utilizada nos formatos CCITT, JBIG2, JPEG, M-JPEG, M-PEG, BMP.

Codificação *Run-Length* (RLE)

- ▶ Mais apropriada para imagens cujos símbolos se repetem com grande frequência, por exemplo, em imagens binárias.
- ▶ Para imagens binárias:
 - Por haver apenas duas intensidades possíveis (preto e branco), os pixels adjacentes têm mais chance de serem idênticos.
 - Cada linha da imagem pode ser representada apenas por uma sequência de tamanhos – em vez de pares de tamanhos e intensidades.

Codificação *Run-Length* (RLE)

- Duas abordagens de codificação RLE para imagens binárias:

1ª) Requer as posições iniciais e os comprimentos das corridas com valor 1;

2ª) Utiliza apenas os comprimentos das corridas, iniciando-se com o comprimento das corridas de valor 1.

Exemplo 1: Codificação RLE de três linhas de uma imagem binária.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
1	1	1	1	0	0	0	1	1	0	0	0	1	1	1	1	0	1	1	0	1	1	1
2	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1
3	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1

1ª Abordagem:

Linha 1 → (1,3),(7,2),(12,4),(17,2),(20,3)

Linha 2 → (5,13),(19,4)

Linha 3 → (1,3),(17,6)

Codificação *Run-Length* (RLE)

- ▶ Duas abordagens de codificação RLE para imagens binárias:
 - 1ª) Requer as posições iniciais e os comprimentos das corridas com valor 1;
 - 2ª) Utiliza apenas os comprimentos das corridas, iniciando-se com o comprimento das corridas de valor 1.

Exemplo 1: Codificação RLE de três linhas de uma imagem binária.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
1	1	1	1	0	0	0	1	1	0	0	0	1	1	1	1	0	1	1	0	1	1	1
2	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1
3	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1

2ª Abordagem:

Linha 1 → 3, 3, 2, 3, 4, 1, 2, 1, 3

Linha 2 → 0, 4, 13, 1, 4

Linha 3 → 3, 13, 6

Codificação *Run-Length* (RLE)

- ▶ **Exemplo 2:** Codificação RLE de uma imagem monocromática não binária.
- ▶ Supondo que cada nível da imagem digital esteja codificado com 1 byte (8bits), o dado da imagem original X, abaixo, está representado com 28 bytes.

	Imagem original	Codificação RLE
X=	15 12 12 10 12 12 15	01 15 02 12 01 10 02 12 01 15
	12 12 10 10 10 12 12	Y= 02 12 03 10 03 12
	12 10 10 10 10 10 12	05 10 01 12
	10 10 10 10 10 10 10	07 10
	28 bytes	22 bytes

Formato de Arquivo BMP

- ▶ O formato BMP foi projetado para sistemas operacionais que rodem sobre a plataforma INTEL (Windows e OS/2).
- ▶ Arquivos BMP são armazenados no formato DIB (**Device-Independent Bitmap**) que permite exibir a imagem em qualquer dispositivo;
- ▶ ou seja, o bitmap especifica a cor do pixel numa forma independente do método usado pelo dispositivo para representá-la.

Formato de Arquivo BMP

- ▶ A extensão padrão dos arquivos DIB do Windows é ".BMP".
- ▶ Versões de BMP quanto a quantidade de cores:
 - 1 bit/pixel ($2^1 = 2$ cores)
 - 4 bits/pixel ($2^4 = 16$ cores)
 - 8 bits/pixel ($2^8 = 256$ cores)
 - 24 bits/pixel (true color com até $2^{24} \approx 16$ milhões de cores)
 - 32 bits/pixels (true color com até $2^{32} \approx 4$ bilhões de cores)

Formato de Arquivo BMP

- ▶ **Compressão RLE de imagens BMP de 8 bits/pixel**
 - É muito raro, mas arquivos de formato BMP podem, nas versões de 4 e 8 bits/pixel, utilizar a compressão RLE (*Run-length encoding*), de forma a reduzir o tamanho do arquivo que armazena o Bitmap.
 - Neste formato o RLE tem 2 modos: *Encoded mode* e *Absolute mode*.

Formato de Arquivo BMP

▶ Encoded mode

- Este modo usa compressão RLE de 2 bytes.
- O 1º byte especifica o número de pixels consecutivos que serão desenhados usando o índice de cor contido no 2º byte.

Formato de Arquivo BMP

► Absolute mode

- Este modo é sinalizado pelo 1º byte do par a ser setado com ZERO.
- O 2º byte indica uma de quatro condições possíveis, mostradas na tabela abaixo:

Valor do 2º byte	Condição
0	Fim da linha
1	Fim da imagem
2	Delta → é entendido como um deslocamento do próximo pixel a ser representado na tela. Os 2 bytes seguintes (ao flag 2) contêm valores que indicam o deslocamento horizontal e vertical do próximo pixel a partir da posição corrente.
3 - 255	O valor do 2º byte representa o número de bytes seguintes que serão descritos na forma não comprimida isso é: cada qual com seu valor representando um índice de cor da paleta.

Formato de Arquivo BMP

- ▶ Exemplo: uso dos 2 modos de compressão RLE.
- ▶ Suponha que na área de dados da imagem, estejam:
03 04 05 06 00 03 45 56 67 02 78 00 02 05 01 02 78 00
00 09 1E 00 01
- ▶ Acompanhe na tabela abaixo o que seria representado na matriz de dados da imagem, quando os dados fossem expandidos:

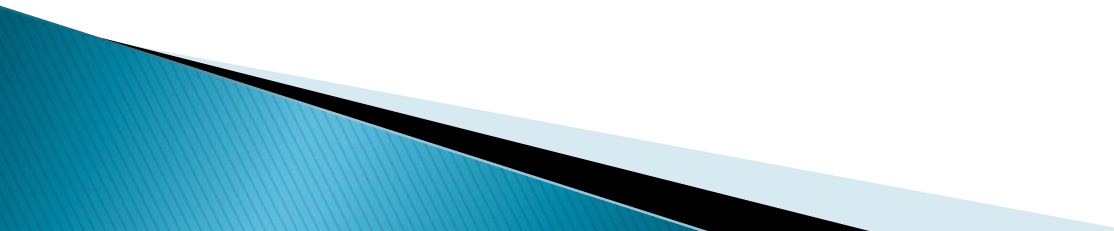
•Dados

03 04
05 06
00 03 45 56 67
02 78
00 02 05 01
02 78
00 00
09 1E
00 01

•Dados expandidos

04 04 04
06 06 06 06 06
45 56 67
78 78
delta de 5 pixels p/esquerda e 1 p/baixo
78 78
Fim de linha
1E 1E 1E 1E 1E 1E 1E 1E 1E
Fim da Imagem

Métodos de Compressão com Perda

- ▶ Utilizada quando o tamanho da imagem é mais importante que a qualidade.
 - ▶ Detalhes que a visão humana não percebe, ou percebe apenas com dificuldade.
 - ▶ Não há um limite previamente estabelecido para a taxa de compressão, pois quanto mais detalhes são excluídos, maior será a compressão.
 - ▶ Taxa de perda é um parâmetro da compressão.
- 

Métodos de Compressão com Perda

- ▶ Exemplos:
 - Codificação por transformada em blocos
 1. Transformada Discreta do Cosseno (DCT)
 2. Quantização
 3. Codificação