

CAP 3. COMPRESSÃO DE DADOS MULTIMÍDIA

Aula 6: Padrões de compressão multimídia - JPEG

INE5431 Sistemas Multimídia
Prof. Roberto Willrich (INE/UFSC)
roberto.willrich@ufsc.br

Compressão de Dados Multimídia

Conteúdo:

- Necessidade de compressão
- Princípios da compressão
- Classificação das técnicas de compressão
- Medição do desempenho de compressão
- Técnicas de compressão sem perdas
 - RLE, Huffman, LZW (GIF), Codificação Preditiva
- Técnicas de compressão de áudio, vídeo e imagens
- Padrões de compressão multimídia
 - JPEG, MPEG, MPEG-4, H.261, H.263

Padrões de Compressão Multimídia

Várias técnicas e produtos para compressão são disponíveis

- Utilização de padrões promove a compatibilidade entre diferentes equipamentos/aplicações (interoperabilidade)

Exemplos de padrões

- TIFF: padrão independente de fabricante para imagens
- PNG: padrão de imagens alternativo ao GIF
- ISO JPEG para compressão de imagens;
- ISO JBIG para compressão sem perda de imagens bi-níveis (1 bit/píxel) para transmissão fac-símile
- ITU-TS H.261 para videofonia e aplicações de teleconferências na taxa de bits múltiplos de 64 Kbps;
- ITU-TS H.263 para aplicações de videofonia na taxa abaixo de 64 Kbps;
- ISO MPEG para compressão de vídeo e áudio associado;

Padrão de Compressão de Imagens JPEG

JPEG colaboração entre a ISO/IEC e a ITU-TS (1992)

- Uma das melhores tecnologia de compressão de imagem
- Implementado em software e hardware
- Codificação/decodificação JPEG tempo-real tem sido implementada para vídeo (Motion JPEG - MJPEG)

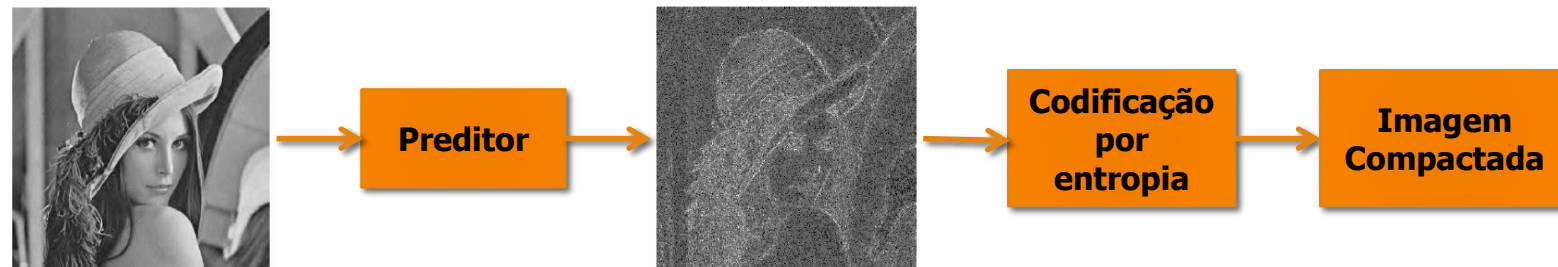
Possui versões diferentes:

- Versões para compressão sem perdas
- Versões para compressão com perdas

Padrão de Compressão de Imagens JPEG

Codificação JPEG sem perda

- Reprodução é exata
- Necessária em aplicações que não toleram perdas (médicas e legais)
- Existem variações
 - JPEG sem perdas original, que se baseia no DPCM e o uso de codificação por entropia (de Huffman ou aritmética)
 - JPEG-LS utiliza a técnica de codificação de Golomb-Rice e RLE
 - JPEG 2000 utiliza técnica de compressão wavelets



Padrão de Compressão de Imagens JPEG

JPEG com perdas (híbrida)

- Se baseia nas limitações da percepção humana e na codificação por entropia
- Compressão parametrizável
 - JPEG cobre grande faixa de qualidades de imagens e permite especificar o comportamento do codificador a partir de parâmetros
 - Quatro modos de operação:
 - Codificação sequencial (baseline)
 - Codificação progressiva
 - Codificação sem perda
 - Codificação hierárquica

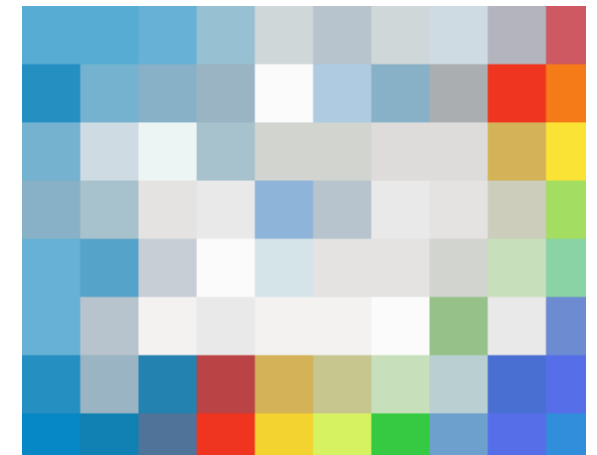
Padrão de Compressão de Imagens JPEG

Codificação Sequencial (baseline)

- Suportado por toda implementação JPEG
- Modo com perdas baseada em DCT (Transformada Discreta do Cosseno)
- Componentes de imagem são codificados em uma única varredura da esquerda para direita e de cima para baixo

Codificação progressiva

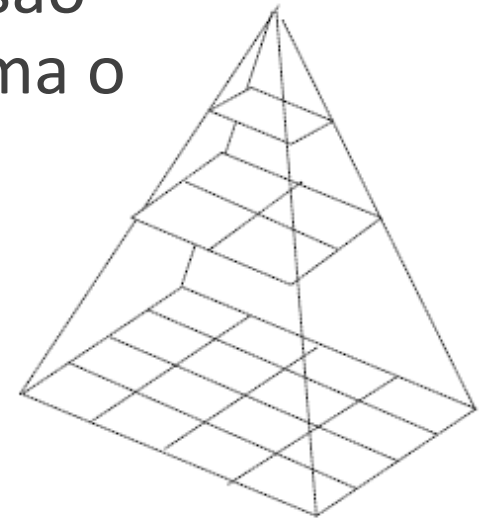
- Com perdas baseada em DCT expandido
 - Fornece avanços ao modo baseline
- Varreduras sucessivas
 - imagem é compactada em um processo de múltiplas linhas de varredura
- Geralmente utilizada em arquivos que são transmitidos pela Internet
 - pois possibilita a visualização da imagem inteira, em menor resolução, enquanto o restante da imagem esta sendo enviada



Padrão de Compressão de Imagens JPEG

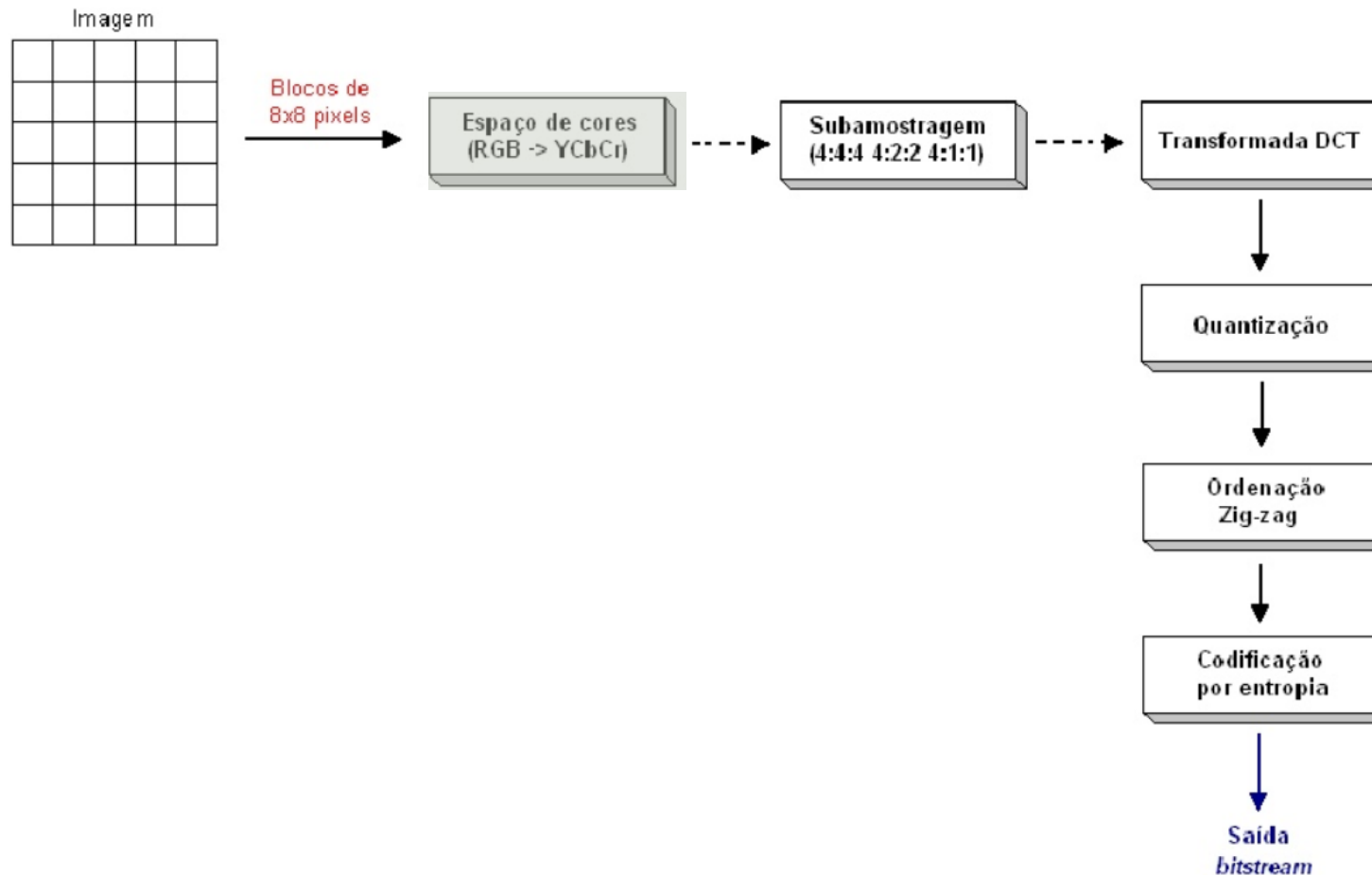
Codificação hierárquica

- Oferece uma codificação progressiva que aumenta de resolução espacial entre estágios progressivos
- Versões podem ser acessadas sem a necessidade de primeiro descompactar a imagem na resolução completa
- Os elementos de imagem das resoluções já recebidas são utilizados na próxima resolução, diminuindo desta forma o tamanho do arquivo
- Taxa de compressão é mais baixa que ter uma resolução única

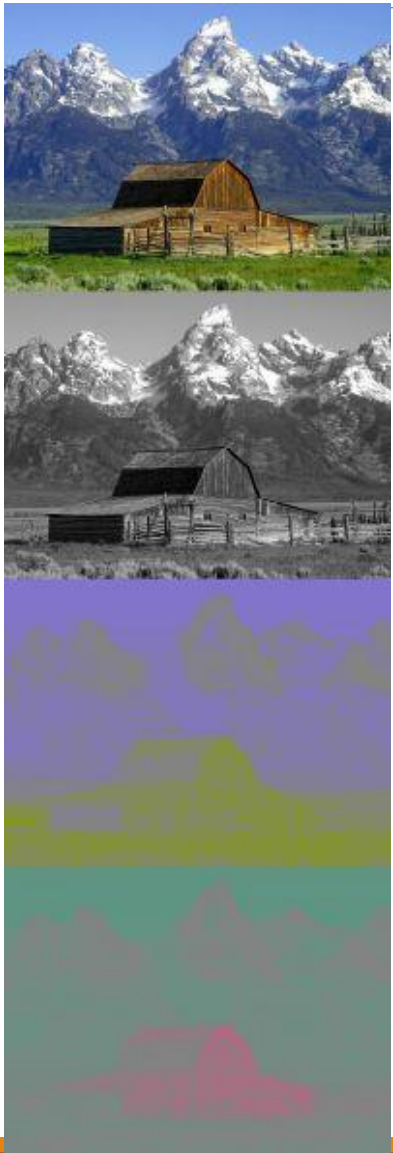


Algoritmo de compressão JPEG

Operações a compressão JPEG (Sequencial)



Algoritmo de compressão JPEG



Transformação do espaço de cores para YCrCb

- Componentes “RGB” da imagem são convertidos para componentes de luminância (“Y”) e crominância (“Cr” e “Cb”)
- Y: Luminância é uma escala de representação numérica do cinza,
- CrCb: Crominância são duas escalas numéricas, que juntas representam as cores.

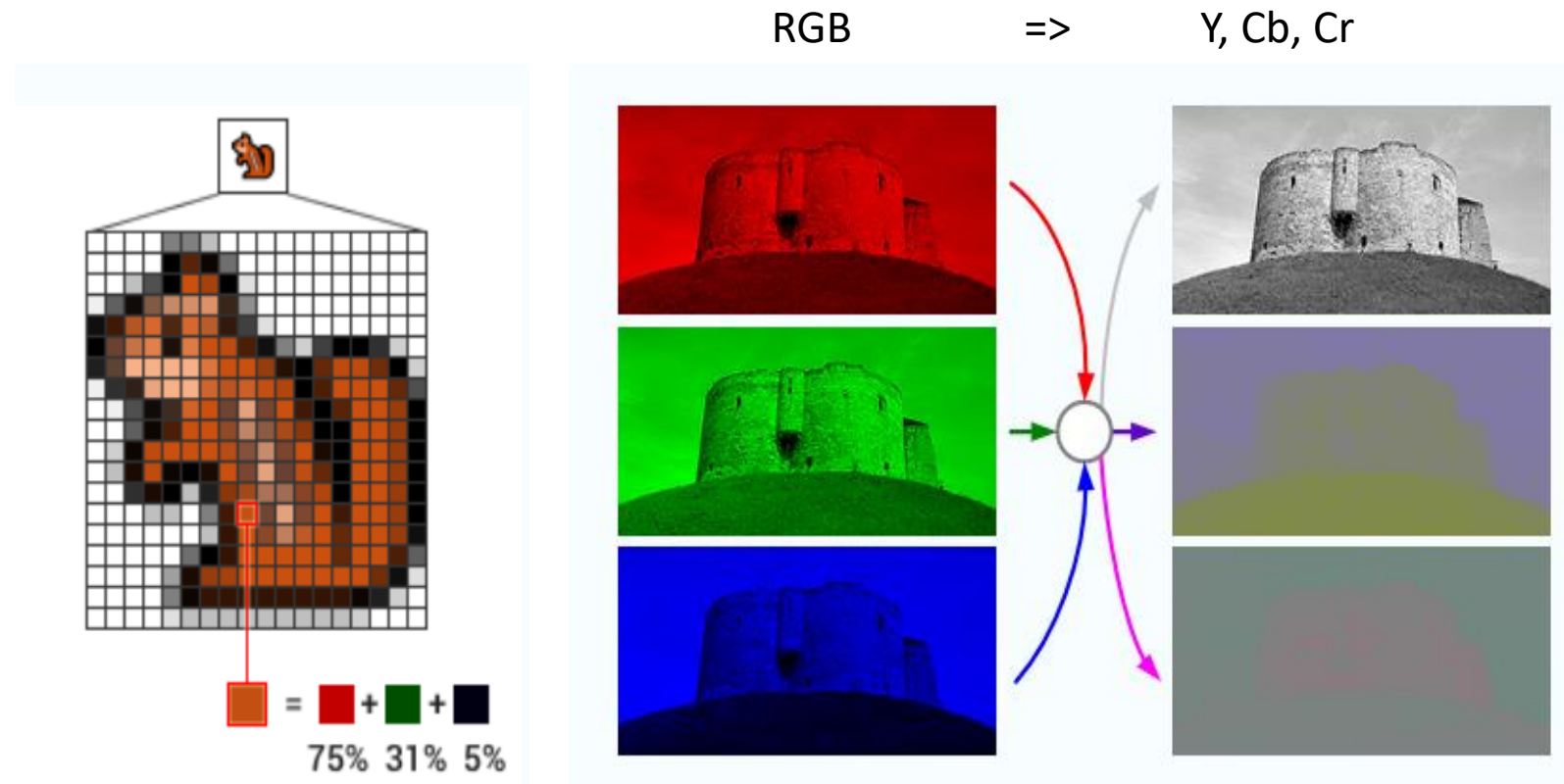
$$\begin{bmatrix} Y \\ U \\ V \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.2990 & 0.5870 & 0.1140 \\ -0.1687 & -0.3313 & 0.5000 \\ 0.5000 & -0.4187 & -0.0813 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix}$$

- YCbCr permite uma maior compressão sem um efeito significativo na qualidade da imagem percebida.

Algoritmo de compressão JPEG

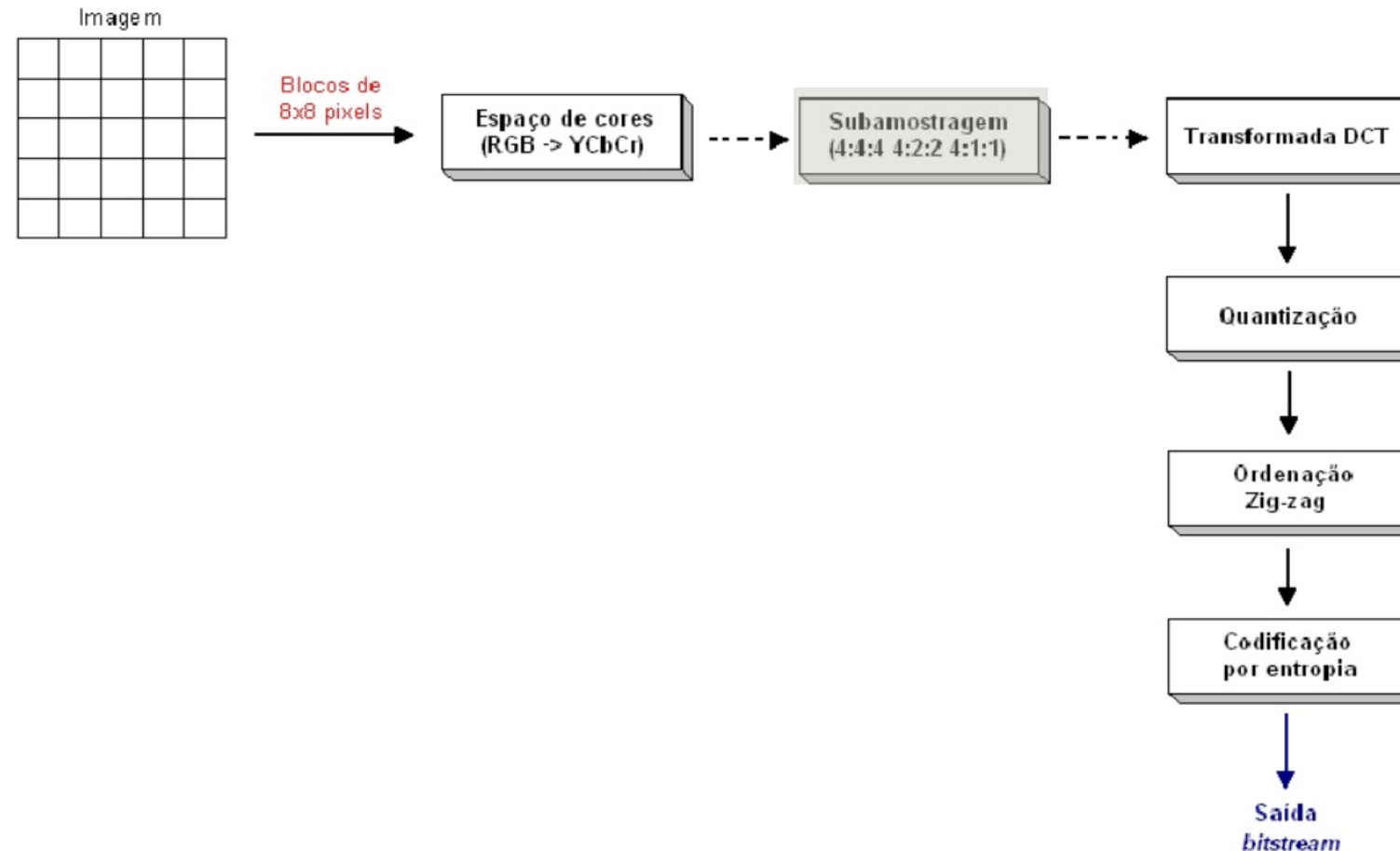
Transformação do espaço de cores para YCrCb

- Veja o tutorial em <https://cgjennings.ca/articles/jpeg-compression/>



Algoritmo de compressão JPEG

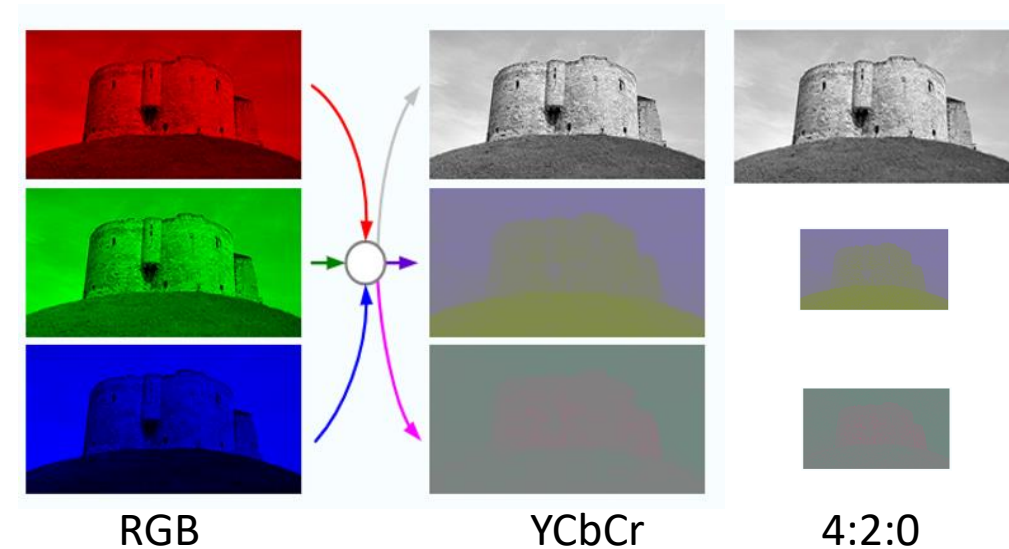
Operações a compressão JPEG (Sequencial)



Algoritmo de compressão JPEG

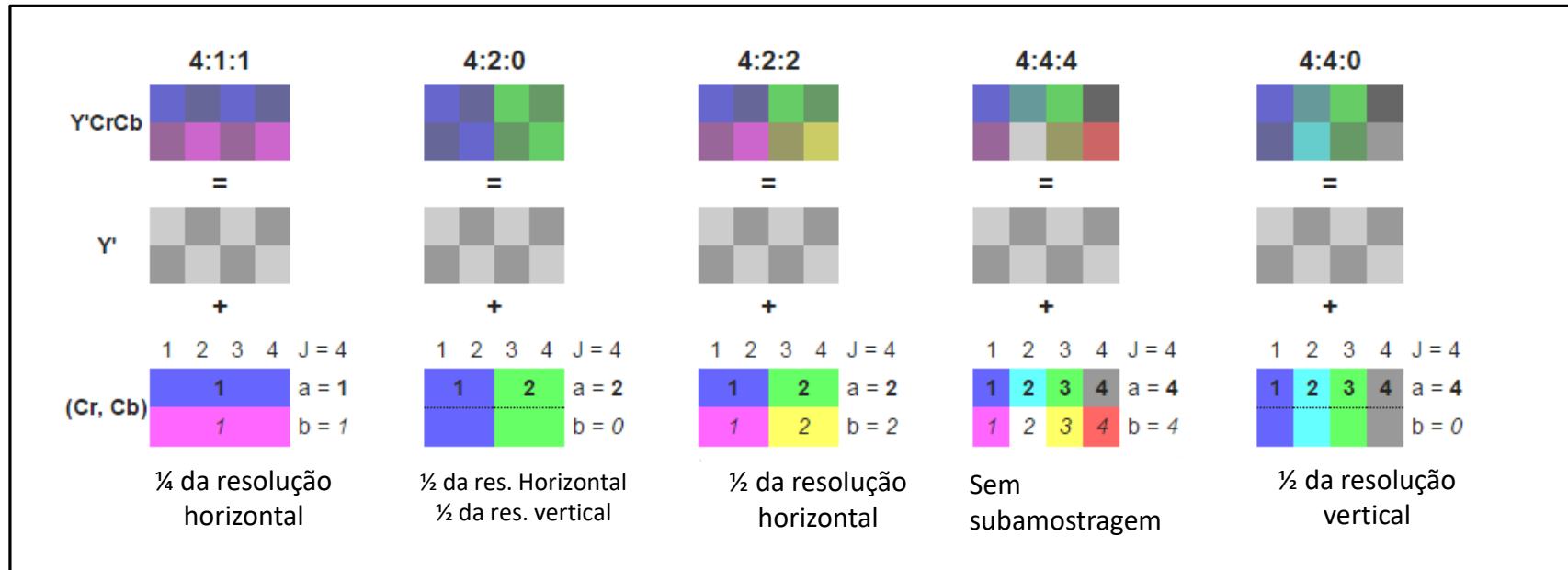
Subamostragem

- Onde é feita uma redução da resolução das matrizes YCbCr.
- Taxas de subamostragem que são normalmente aplicados no JPEG
 - 4:4:4 (sem subamostragem)
 - 4:2:2 onde as matrizes de croma são reduzidas na taxa de 2:1 horizontalmente (cada duas linhas é convertida em uma),
 - 4:2:0 mais comumente adotada, onde há uma redução do fator 2 nas direções horizontais e verticais.
- A matriz de luminância geralmente não é reduzida
 - pois o olho humano é mais sensível à luminância (tonalidade de cinza) do que à croma (tonalidades das cores), o que permite maior taxa de perda de croma sem que esta perda seja percebida
- No resto do processo de compressão, Y, Cb e Cr são processadas separadamente de maneira muito similar.



Padrão ISO/IEC MPEG-1 Vídeo

Subamostragens YCbCr



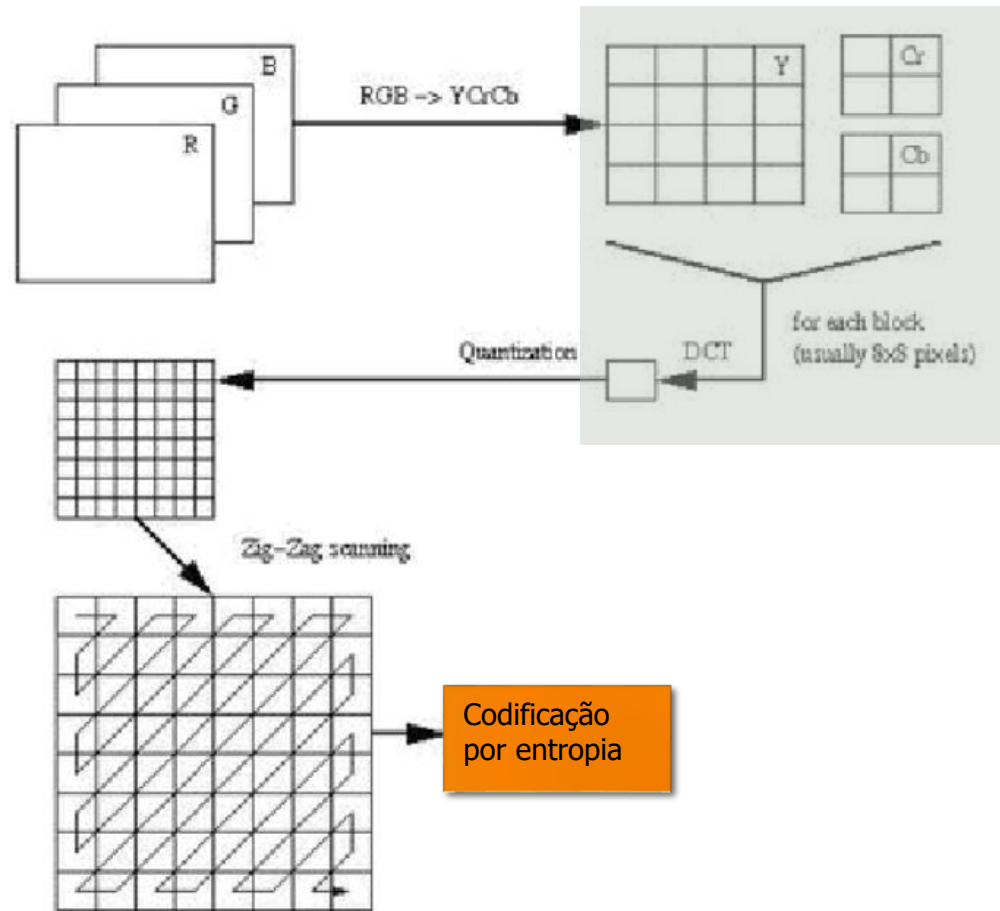
Original sem sub-amostragem de crominância, 200% de zoom



Original após sub-amostragem de crominância, 200% de zoom

Algoritmo de compressão JPEG

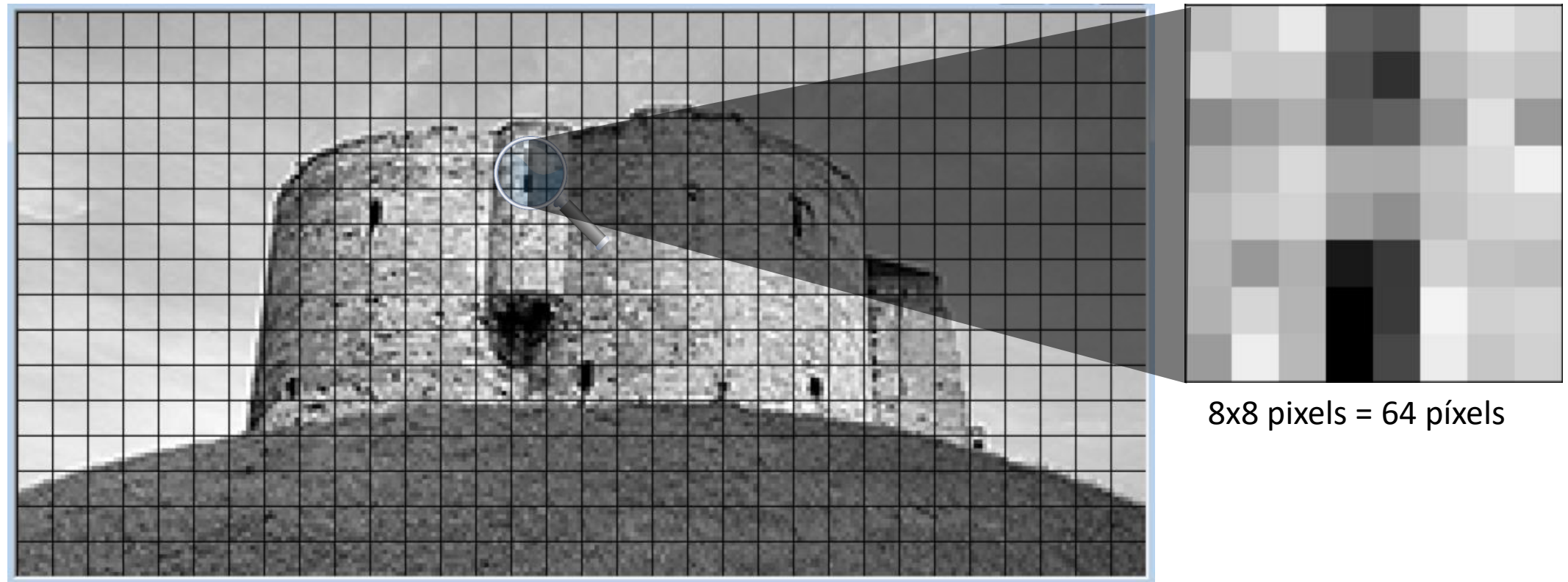
Operações a compressão JPEG



Algoritmo de compressão JPEG

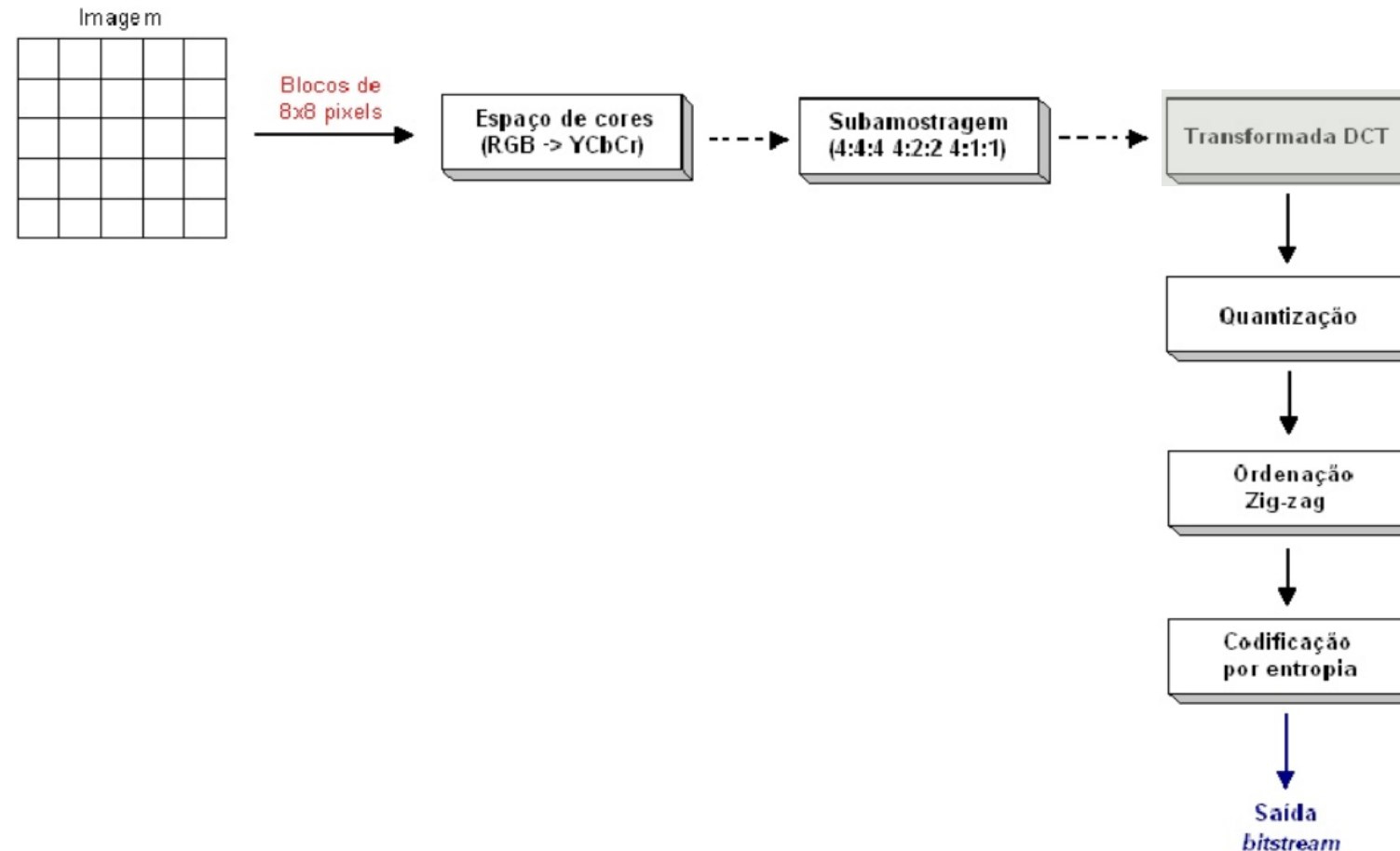
Decomposição das matrizes Y,Cb,Cr

- Decompostas em blocos de 8x8 píxels



Algoritmo de compressão JPEG

Operações a compressão JPEG (Sequencial)



Algoritmo de compressão JPEG

Transformação discreta de co-seno (DCT) dos blocos

- Blocos 8x8 são transformado para o domínio da frequência espacial usando a transformada DCT
- Similar a transformada de Fourier (representação de sinal com somatório de senos de diferentes frequências, fases e amplitudes)

No espaço bidimensional de uma imagem de 8x8 pixels, a transformada discreta de co-senos (*FDCT: Forward Discrete Cosine Transform*) é dada por:

$$F(u,v) = \frac{1}{4} C(u)C(v) \sum_{x=0}^7 \sum_{y=0}^7 f(x,y) \cos\left[\frac{(2x+1)u\pi}{16}\right] \cos\left[\frac{(2y+1)v\pi}{16}\right]$$

$$C(w) = \frac{1}{\sqrt{2}} \text{ para } w = 0$$

$$C(w) = 1 \text{ para } w = 1, 2, \dots, 7$$

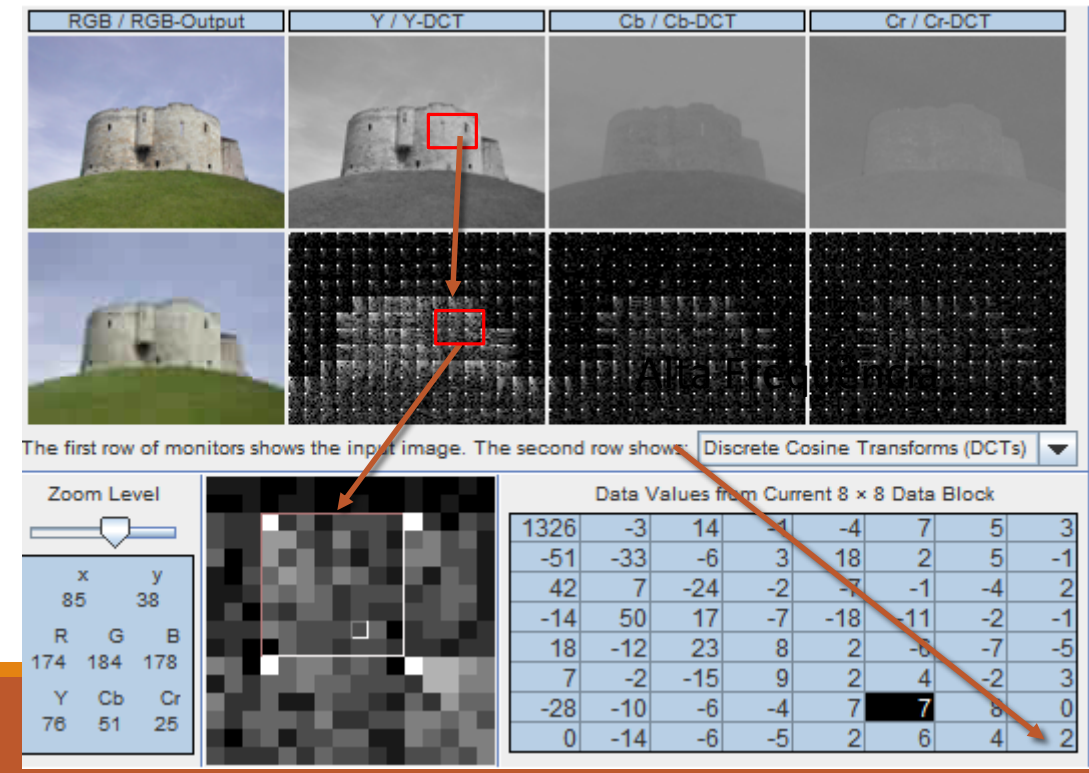
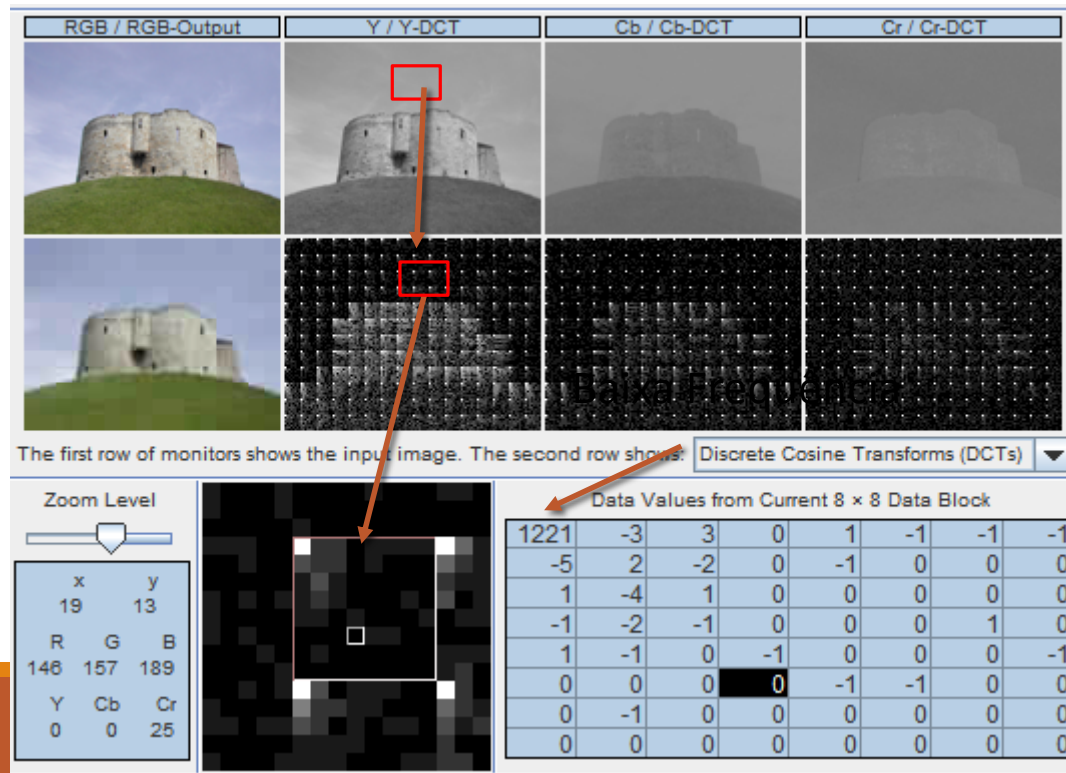
E a transformada inversa (*IDCT: Inverse Discrete Cosine Transform*) por:

$$f(x,y) = \frac{1}{4} \sum_{u=0}^7 \sum_{v=0}^7 C(u)C(v) F(u,v) \cos\left[\frac{(2x+1)u\pi}{16}\right] \cos\left[\frac{(2y+1)v\pi}{16}\right]$$

Algoritmo de compressão JPEG

Transformação discreta de co-seno (DCT) dos blocos

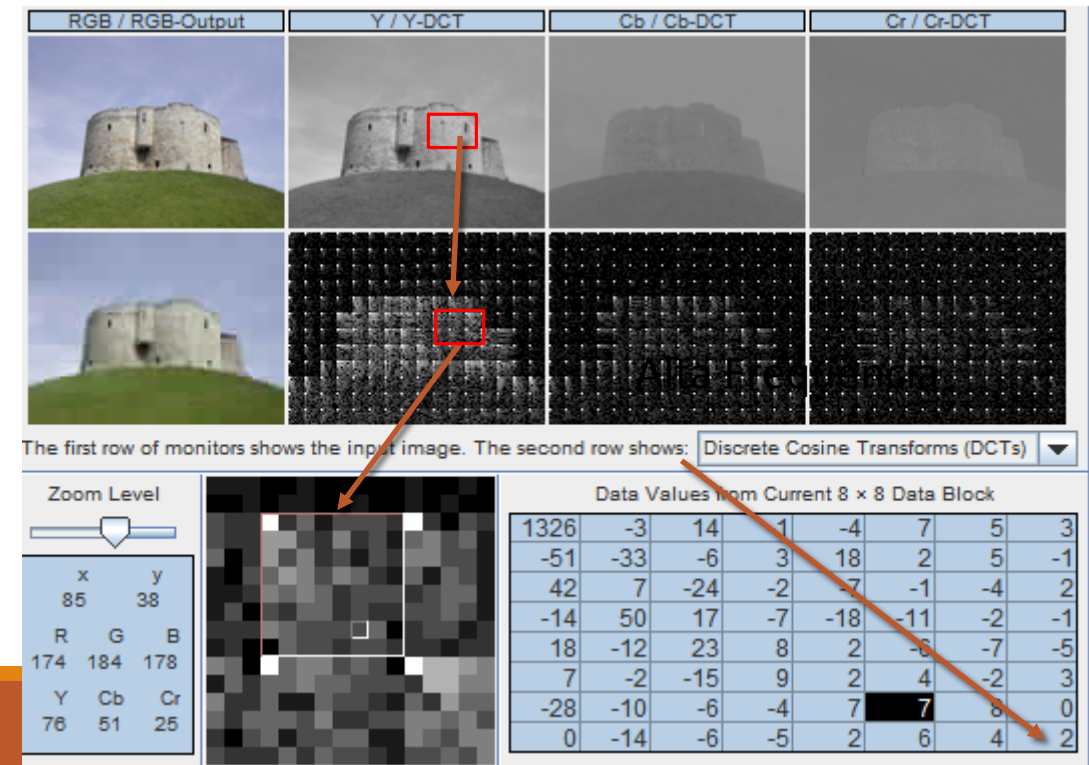
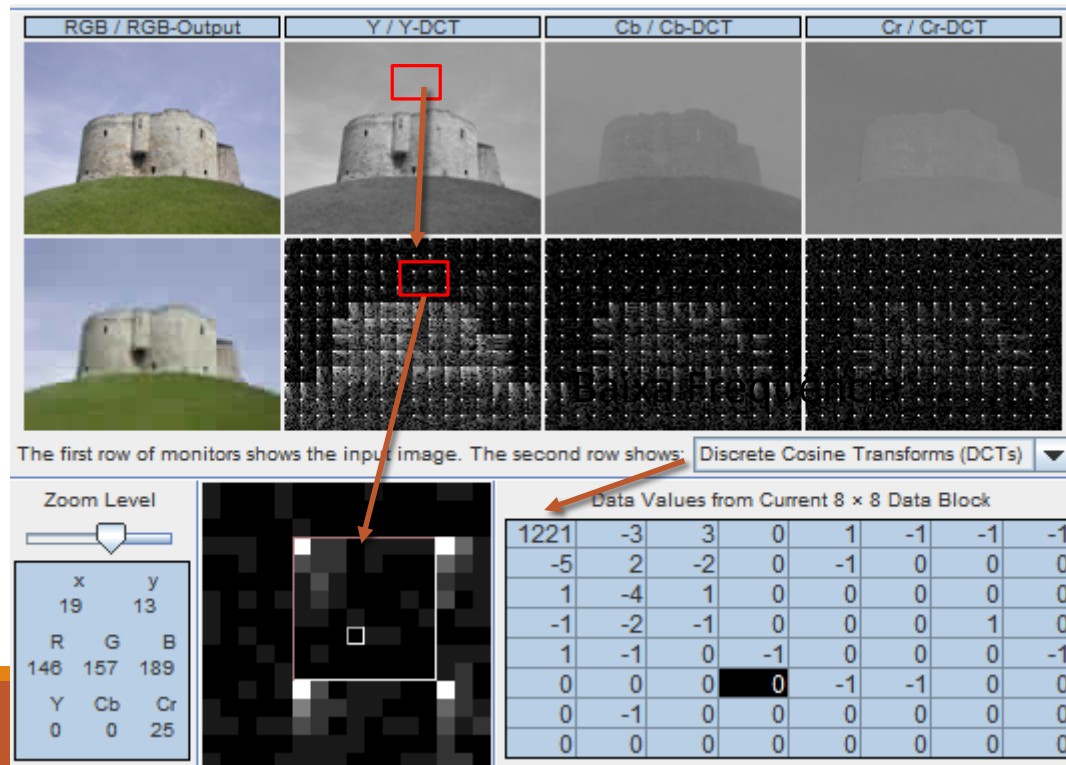
- Sinal discreto de 64 pontos (um para cada bloco) transformado é uma função de duas dimensões espaciais, x e y
 - estas componentes são chamadas de frequências espaciais ou coeficientes DCT



Algoritmo de compressão JPEG

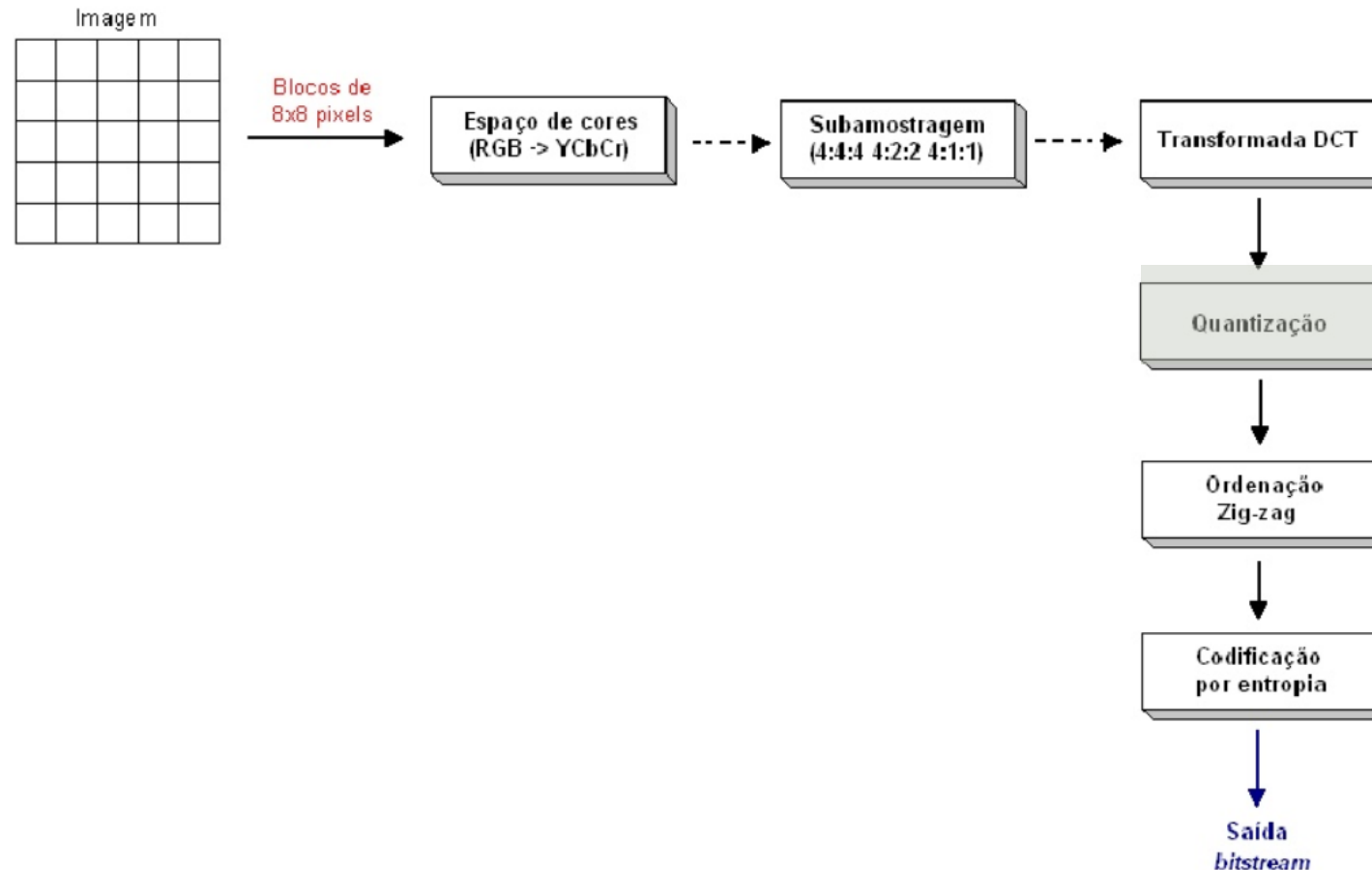
Transformação discreta de co-seno (DCT) dos blocos

- Mudanças abruptas que acontecem nos contornos de uma figura estão concentradas nas frequências mais altas.
- uma imagem com poucos contornos concentra seus coeficientes nas frequências baixas.
- Coeficientes das frequências altas são menos importantes e perdas nesses coeficientes podem diminuir um pouco a nitidez da imagem, mas para muitas aplicações isto pode ser aceitável



Algoritmo de compressão JPEG

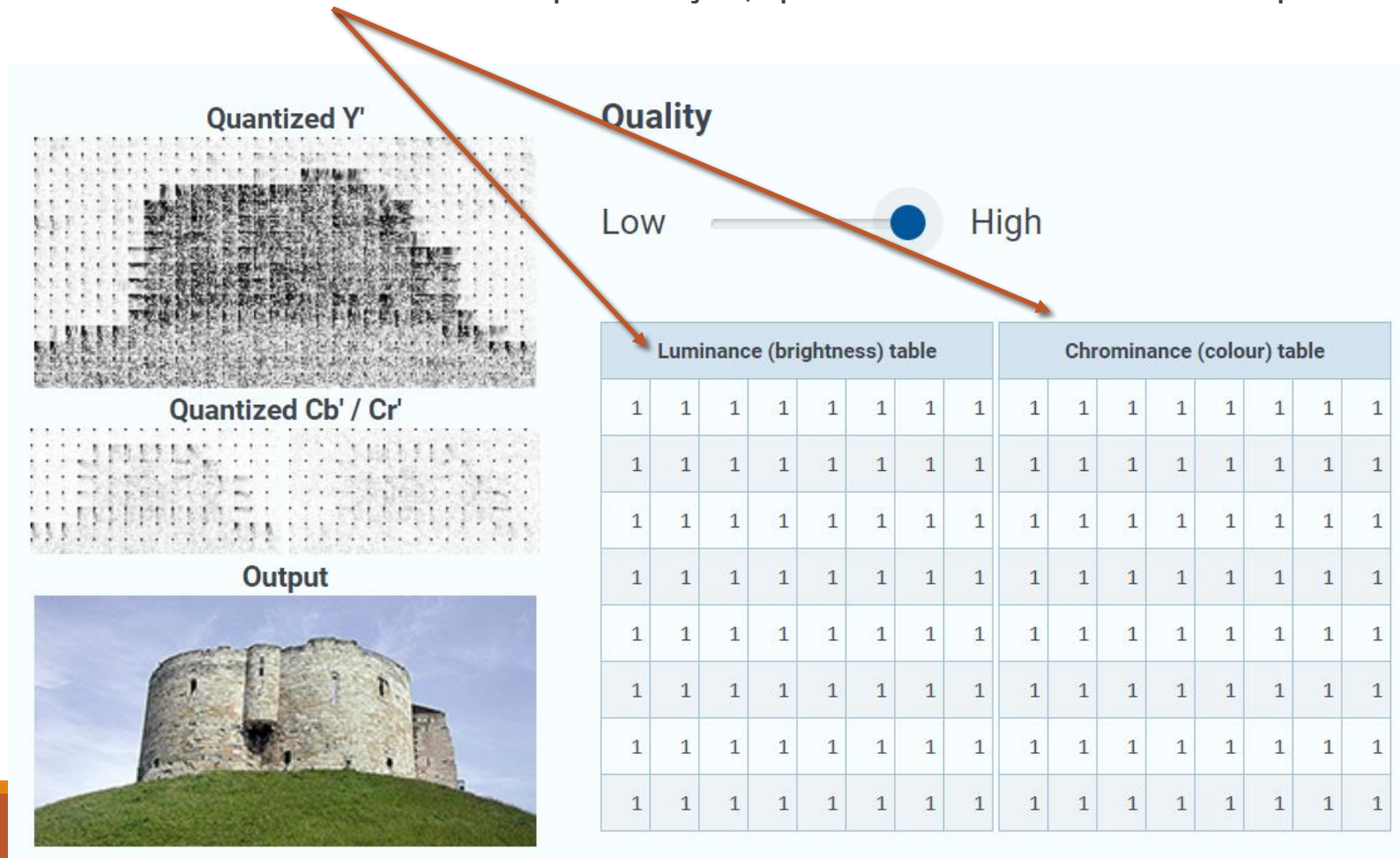
Operações a compressão JPEG



Algoritmo de compressão JPEG

Quantificação (escolha da qualidade)

- Alta frequência é desprezada de acordo com a taxa de compressão desejada:
- Utilizando duas tabelas de quantização, que variam de acordo com a qualidade desejada



Algoritmo de compressão JPEG

Quantificação (escolha da qualidade)

- **Tabelas de quantização são divisores:** Em cada bloco 8x8 terá seus coeficientes DCT divididos pelo número correspondente em sua tabela de quantização.
- O resultado de cada divisão é arredondado para o número inteiro mais próximo e as partes fracionárias são jogadas fora
- Na decodificação, o coeficiente DCT quantizado é multiplicado pelo número correspondente na tabela de quantização

Coeficientes DCT

55	50	45	20	12	2	2	1
55	48	...	...	...	...	...	...
...
...
...
...
...
...

Tabela de quantização

1	2	3	3	3	6	6	12
1	3	...	...	...	...	...	...
...
...
...
...
...
...

Coeficientes DCT quantizado

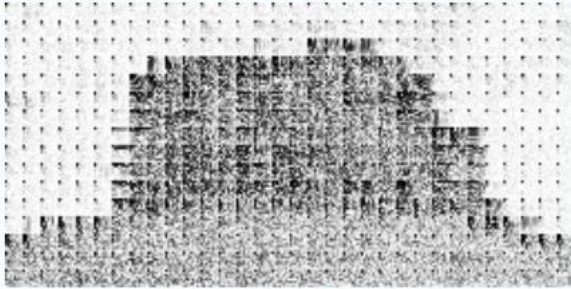
55	25	15	20	6	0	0	0
55	16	...	...	...	...	...	...
...
...
...
...
...
...

Algoritmo de compressão JPEG


Quantificação (escolha da qualidade)

- Alta frequência é desprezada de acordo com a taxa de compressão desejada:
 - maior é taxa de compressão, maior é o número de componentes de alta frequência desprezados


Quantized Y'



Quantized Cb' / Cr'



Output



Quality

Low ☐ High

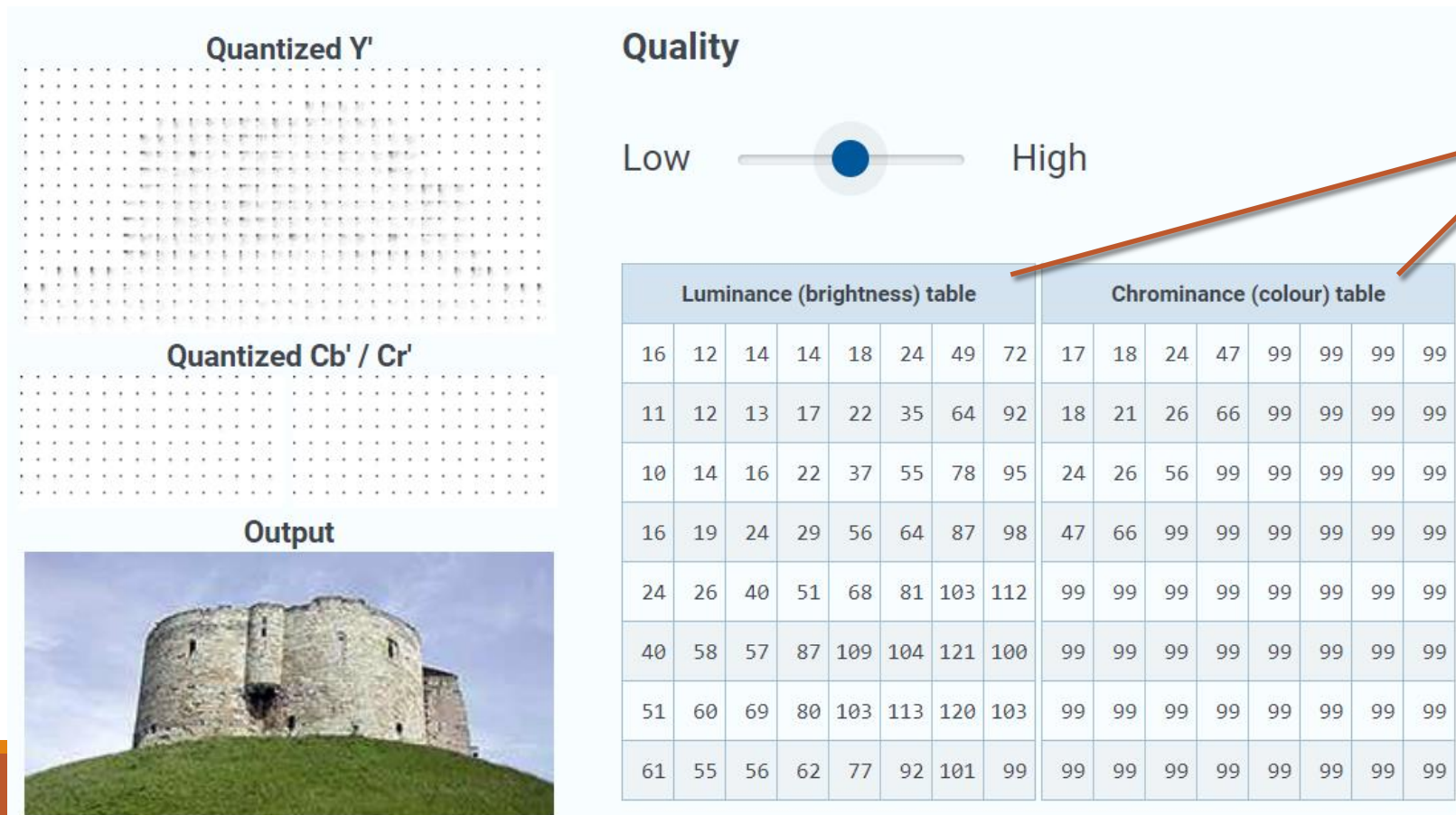
Luminance (brightness) table								Chrominance (colour) table							
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	

Alta qualidade preserva os coeficientes de alta e baixa frequência

Algoritmo de compressão JPEG

Quantificação (escolha da qualidade)

- Alta frequência é desprezada de acordo com a taxa de compressão desejada:
 - maior é taxa de compressão, maior é o número de componentes de alta frequência desprezados



Média qualidade descarta coeficientes de mais alta frequência

Algoritmo de compressão JPEG

Quantificação (escolha da qualidade)

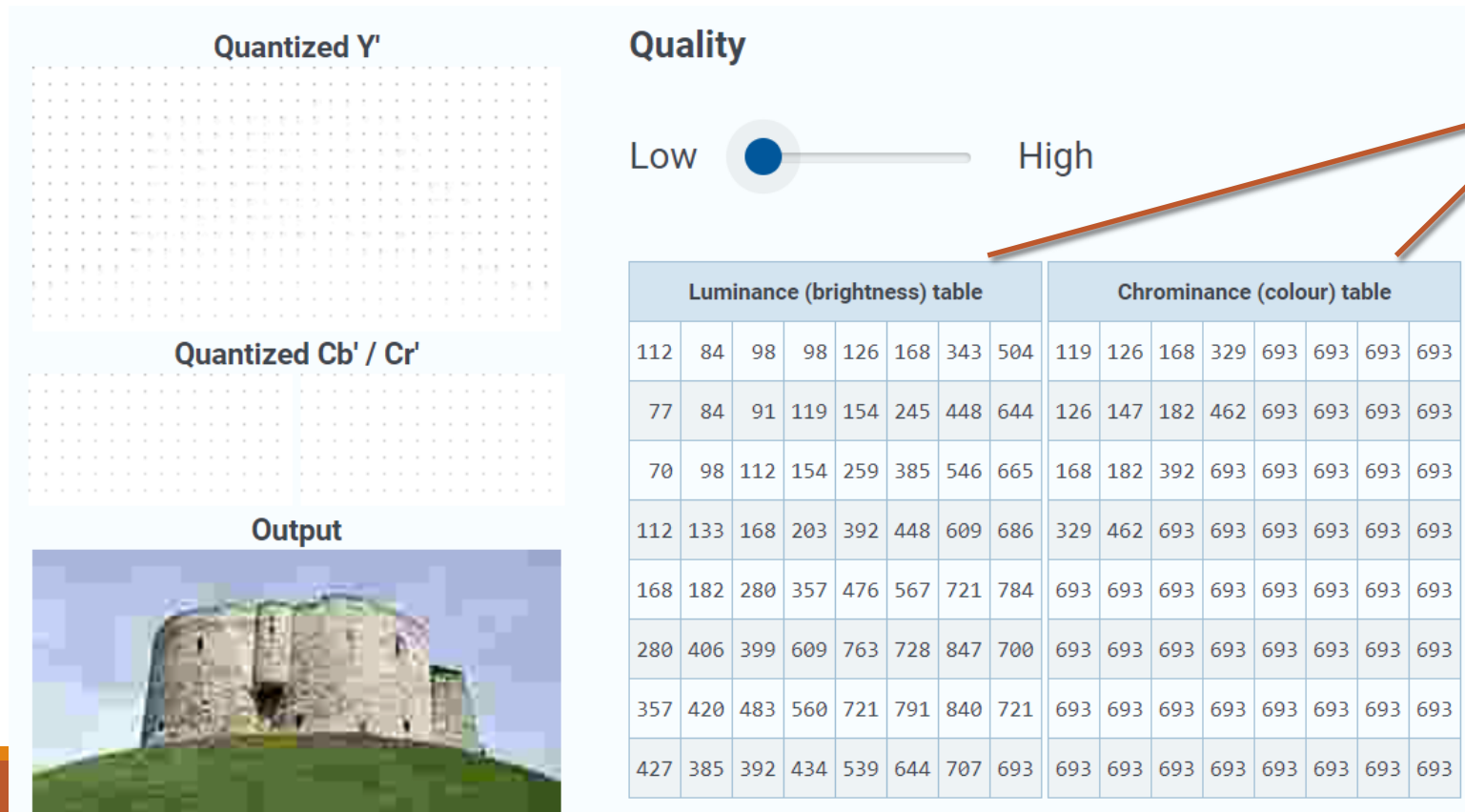
- Quantificação prioriza a baixa frequência
 - os coeficientes gerados são quantizados de forma diferenciada, usando uma maior precisão para as frequências mais baixas.

Coeficientes DCT								Coeficientes DCT quantizados							
51	49	30	21	18	8	3	1	51	19	5	1	0	0	0	0
48	40	32	15	9	5	1	0	13	10	6	1	0	0	0	0
39	36	24	13	9	6	3	0	4	6	3	1	0	0	0	0
30	28	21	20	8	5	2	1	2	2	1	1	0	0	0	0
23	19	18	13	7	0	3	1	1	1	0	0	0	0	0	0
15	9	7	7	6	4	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0
9	4	3	4	3	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	1	2	3	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Algoritmo de compressão JPEG

Quantificação (escolha da qualidade)

- Alta frequência é desprezada de acordo com a taxa de compressão desejada:
 - maior é taxa de compressão, maior é o número de componentes de alta frequência desprezados



Algoritmo de compressão JPEG

Quantificação (escolha da qualidade)

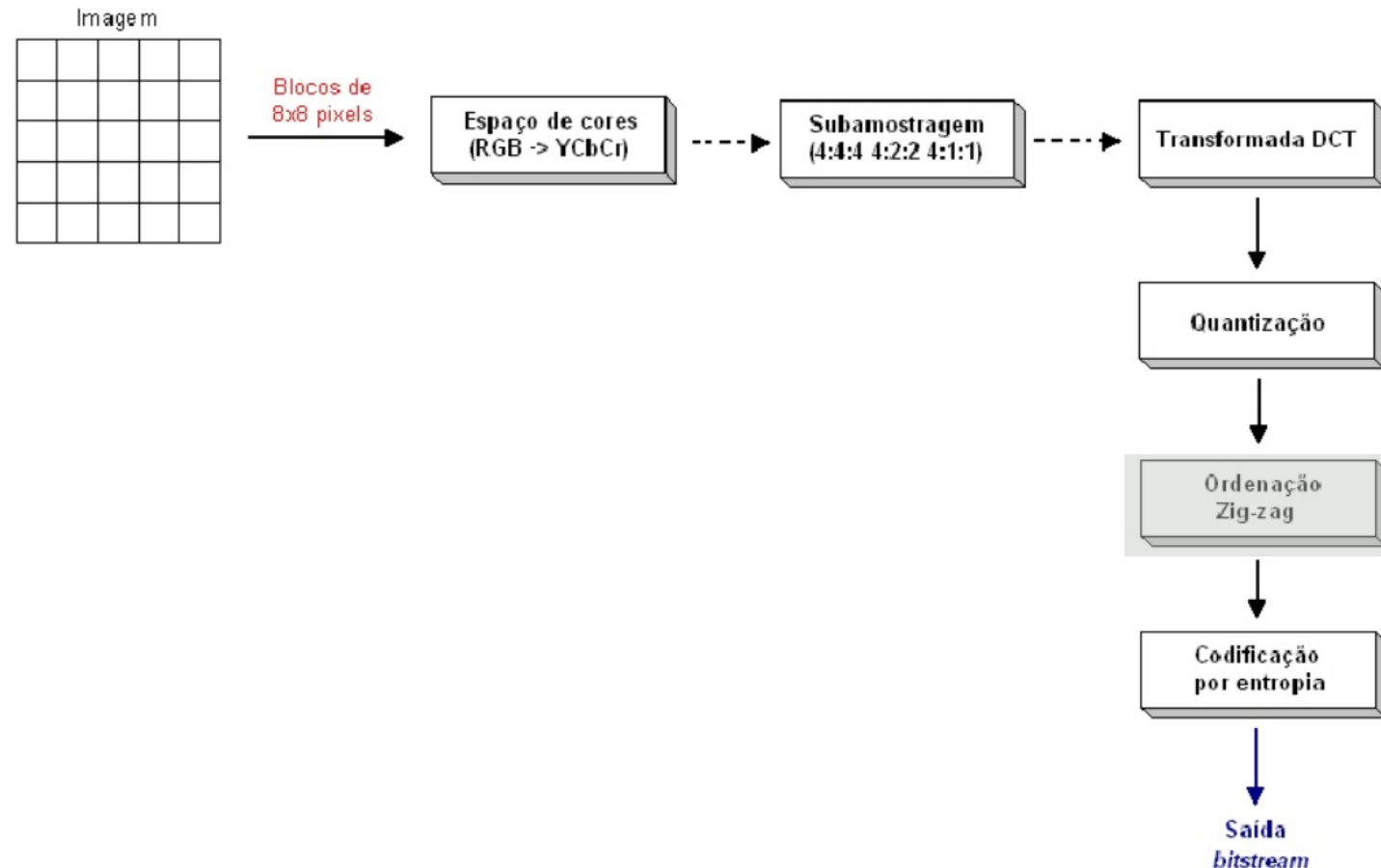
- Alta frequência é desprezada de acordo com a taxa de compressão desejada:
 - maior é taxa de compressão, maior é o número de componentes de alta frequência desprezados



Baixa qualidade descarta muitos coeficientes DCTs, gerando o efeito bloco

Algoritmo de compressão JPEG

Operações a compressão JPEG



Ordenação dos coeficientes DCT

- coeficiente 0



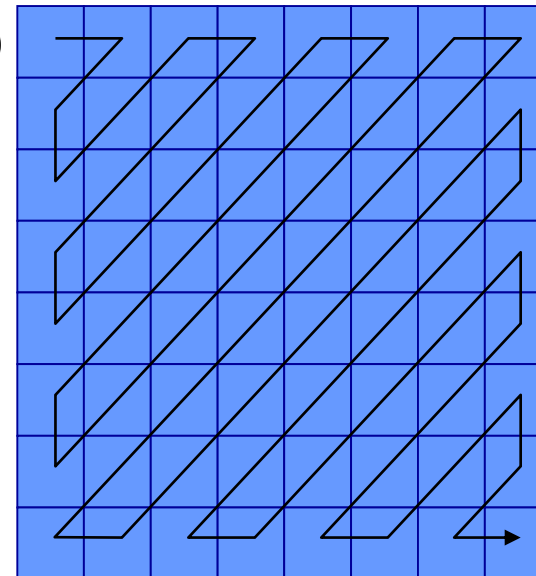
Algoritmo de compressão JPEG

Ordenação dos coeficientes DCT

- Propósito do escaneamento zig-zag é ordenar os coeficientes em ordem decrescente de frequências espectral
 - coeficientes de alta frequências (no canto direito inferior) tem valores mais próximos a zero
 - isto leva a uma maior eficiência da codificação por entropia

1055	86	40	22	15	10	7	5
53	37	25	17	11	8	6	4
21	21	19	13	9	7	5	4
12	12	11	9	7	5	4	3
7	7	7	7	5	4	3	3
5	5	5	4	4	3	3	3
3	3	3	3	3	3	3	3
3	3	3	3	3	3	3	2

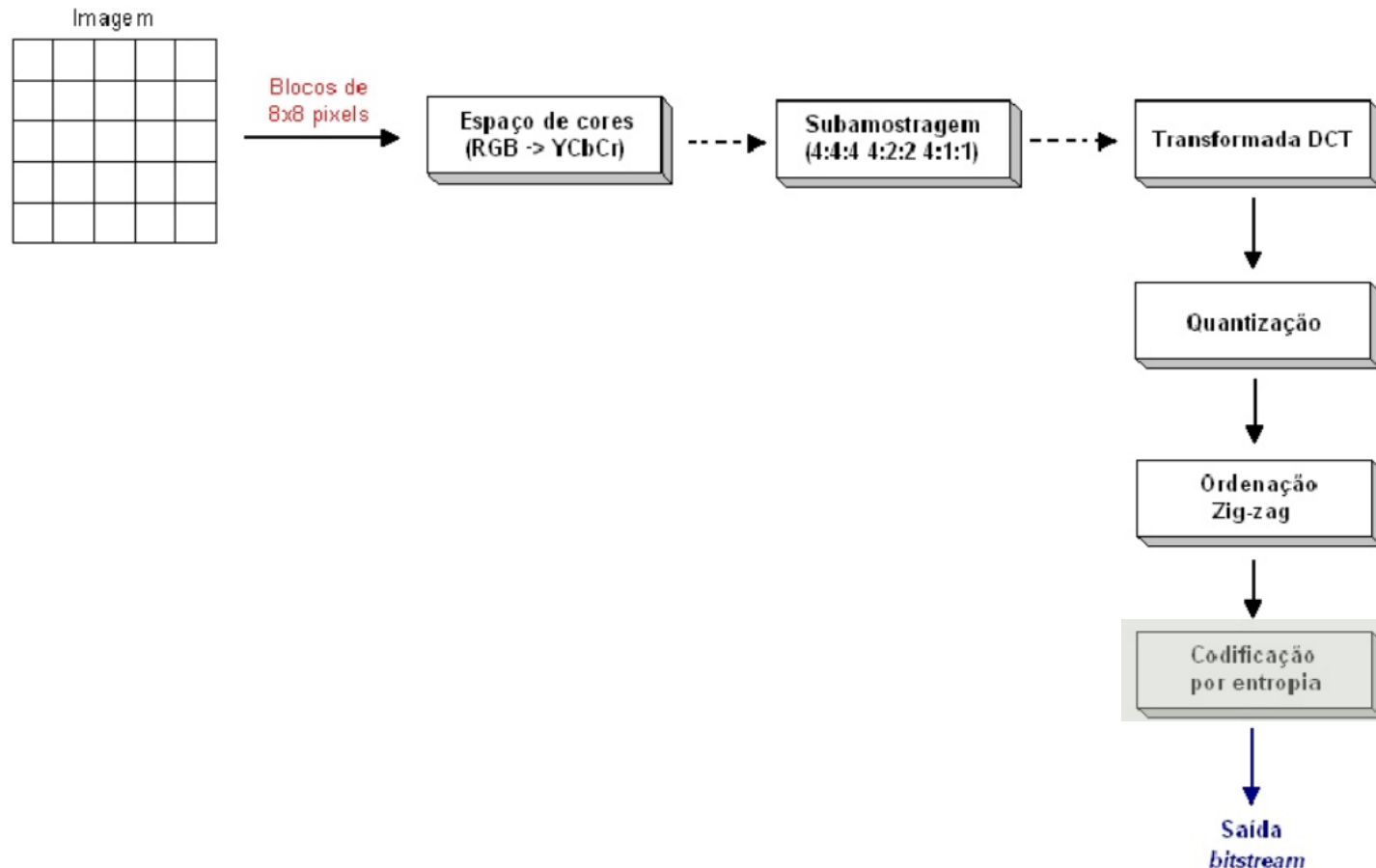
coeficiente 0



coeficiente 63

Algoritmo de compressão JPEG

Operações a compressão JPEG



Algoritmo de compressão JPEG

Codificação por entropia

- Esta etapa fornece uma compressão adicional
- JPEG define dois métodos de codificação por entropia
 - Codificação de Huffman
 - única especificado no modo baseline
 - Codificação aritmética
 - normalmente 10% mais eficiente que a codificação de Huffman

Padrão de Compressão de Imagens JPEG

Taxas de compressão obtidas

- Quanto maior for a taxa de compressão maior será o número de componentes de alta frequência desprezados
 - para obter taxas de compressão muito elevadas é descartado um número significativo de componentes de alta frequência
 - levando ao aparecimento do efeito de bloco (perda de definição nos contornos das imagens).
- Valores médios
 - Taxas de compressão de 10:1 a 20:1 – Alta qualidade de imagem
 - Taxas de compressão de 30:1 a 50:1 – Média qualidade de imagem
 - Taxas de compressão de 60:1 a 100:1 – Fraca qualidade de imagem

Algoritmo de compressão JPEG

Taxas de compressão obtidas e qualidades

- Alta qualidade

- Taxa de 2.6:1



- Boa qualidade

- Taxa de 15:1



Algoritmo de compressão JPEG

Taxas de compressão obtidas e qualidades

- Qualidade média

- Taxa de 23:1



- Baixa qualidade

- Taxa de 46:1



Algoritmo de compressão JPEG

Taxas de compressão obtidas e qualidades

- Mais baixa qualidade
 - Taxa de 144:1



Demonstração:

- <https://cgjennings.ca/articles/jpeg-compression/>

Padrão de Compressão de Imagens JPEG

JPEG é para imagens fotográficas

- JPEG apresenta ótimas taxas de compressão para imagens fotográficas naturais multitonais
- Qualidade diminui consideravelmente quando aplicado a
 - imagens gráficas com contornos e áreas bem definidas de cor, ou
 - imagens com texto, como é o caso dos logotipos

Padrão de Compressão de Imagens JPEG

JPEG é para imagens fotográficas

- JPEG apresenta ótimas taxas de compressão para imagens fotográficas naturais multitonais

JPEG (50kB)



PNG (177KB)



Padrão de Compressão de Imagens JPEG

JPEG é para imagens fotográficas

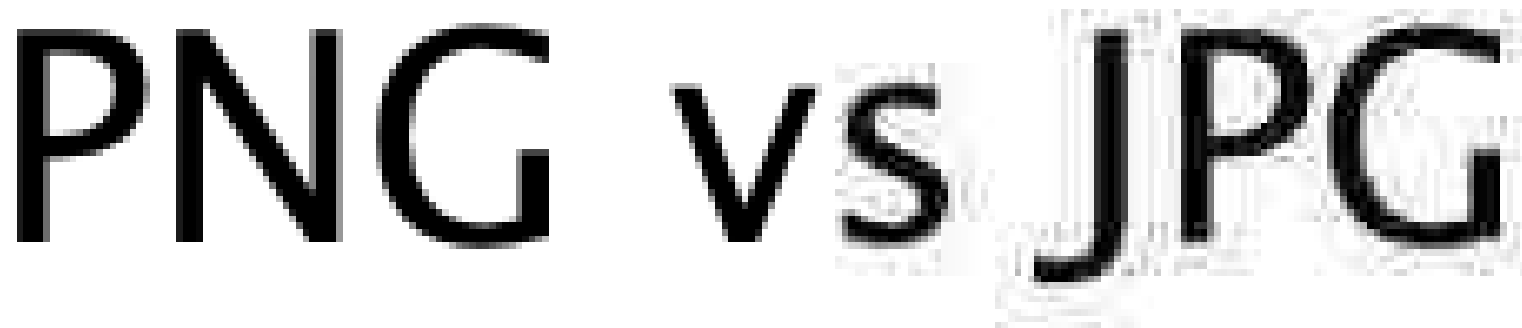
- Qualidade diminui consideravelmente quando aplicado a
 - imagens gráficas com contornos e áreas bem definidas de cor, ou
 - imagens com texto, como é o caso dos logotipos

PNG vs JPEG

Padrão de Compressão de Imagens JPEG

Para imagens gráficas e com texto

- JPEG introduz ruído nas zonas de imagem compostas por cores sólidas
 - pode distorcer o aspecto geral da imagem
- Imagem PNG compactam mais eficazmente que JPEG e apresenta uma melhor definição dos contornos do texto

The image shows the text 'PNG vs JPEG' in a large, bold, black font. The 'PNG' part is sharp and clear, while the 'JPEG' part is heavily distorted with significant blockiness and noise, illustrating the quality difference between the two formats. The 'vs' is in a smaller, regular font between the two words.

PNG vs JPEG

Pontos Importantes

Algoritmo JPEG

- Saber descrever cada etapa do algoritmo de compressão JPEG