

A INFLUÊNCIA DO ESPAÇO DE CORES NA COMPRESSÃO JPEG DE IMAGENS ORBITAIS

Cassio A. Carvalho¹
Messias Meneguette Junior²
Erivaldo Antonio Silva³

¹ **Faculdades THATHI**
Araçatuba - SP
cassio@coc.com.br

² **FCT/UNESP**
Presidente Prudente - SP - Depto Matemática
messias@prudente.unesp.br

³ **FCT/UNESP**
Presidente Prudente - SP - Depto de Cartografia
erivaldo@prudente.unesp.br

RESUMO

Existe necessidade de compressão para o armazenamento de imagens orbitais não apenas pelo tamanho mas também pela quantidade de imagens. Este trabalho avalia o uso do padrão JPEG que é bastante robusto e que fornece taxas elevadas de compressão. Para esta avaliação foi desenvolvida uma implementação do padrão JPEG que faz uso de três espaços de cores: RGB, HSI e $Y_C_B C_R$ e compara quatro diferentes algoritmos para a transformada do cosseno: usando a expressão da transformada (S), usando o produto de matrizes (P.M), usando fatorização da matriz dos cossenos e que denominamos otimizada (O) e também a codificação progressiva (P) da imagem transformada. Os resultados mostram que o uso do espaço $Y_C_B C_R$ é o mais apropriado. A codificação progressiva é apenas ligeiramente mais lenta, mas a visualização dos resultados acontece de maneira muito mais amigável em relação ao usuário. Isto confirma a potencialidade desse padrão para uso na Internet. Um pequeno resumo sobre imagens orbitais e espaço de cores faz parte do trabalho para facilitar o entendimento.

Palavras Chave: Compressão; DCT; JPEG; Imagens Orbitais.

ABSTRACT

There must be a comprehension for the storage of orbital images, not only because of its size, but also because of the amount of images. This work evaluates the use of JPEG pattern which is very robust and that gives a high rate of compression. For this evaluation, an implementation of the JPEG pattern has been developed which uses three space of colors: RGB, HIS and $Y_C_B C_R$ and compares four different algorithms for the transformed of the cosine: using the expression of the transformed (S), using the product of matrix (PM), using factorization of the matrix of cosine which we call optimized (O) and also the progressive codification (P) of the transformed image. The results show that the use of the space $Y_C_B C_R$ is the most appropriate. The progressive codification is lightly slower, however the visualization of the results is much more friendly in relation to the user. That confirms the potentiality of this pattern for the Internet use. A small summary of the orbital images and space of colors takes part of this work to facilitate the comprehension.

Keywords: Compression; DCT; JPEG; Orbital Images.

1. INTRODUÇÃO

Com o uso cada vez maior de todo tipo de documento eletrônico, por uma quantidade cada vez maior de pessoas, das mais variadas áreas e com diferentes aplicações, descobriu-se rapidamente que os usuários enfrentariam dificuldades para armazenar, manipular e transmitir imagens digitais.

De forma específica, cita-se as imagens digitais obtidas através de alguns satélites (orbitais) em que todas as informações passam por algum tipo de processamento computacional. Chama atenção o tamanho do espaço requerido para o armazenamento das imagens orbitais, da ordem de milhões de bytes. Parte deste problema pode ser resolvido quando se faz uso de técnicas de compressão de dados.

No processo de compressão objetiva-se a redução da quantidade de dados necessários para representar uma imagem digital, e a base para que esta redução ocorra está na remoção de dados redundantes, a qual deve ser feita antes do armazenamento ou transmissão da imagem.

Dentre os sistemas de compressão mais populares pode-se destacar o padrão definido pelo *Joint Photographic Experts Group* (JPEG), que é um sistema de compressão baseado na Transformada Discreta do Cosseno (DCT, do inglês, *Discrete Cosine Transform*). O JPEG é um dos mais difundidos entre os usuários de imagens.

No que segue serão descritos os aspectos fundamentais das imagens orbitais, espaço de cores e da teoria da compressão de imagens. O método que produz a imagem armazenada em extensão jpg será detalhado, bem como apresentado um estudo comparativo sobre a influência que diferentes espaços de cores podem ter sobre a compressão de imagens orbitais.

1.1 - Características das Imagens

Uma imagem orbital tem natureza digital e discreta, sendo constituída por um arranjo de elementos sob a forma de uma matriz, de dimensões: x linhas por y colunas. Cada elemento desta matriz representa um *pixel* que possui um atributo z, indicando um nível de cinza, comumente variando de 0 (preto) a 255 (branco) e representa a intensidade da energia eletromagnética (refletida ou emitida) medida por um sensor, para a área da superfície terrestre correspondente ao tamanho do *pixel*.

Deve-se, no entanto, ressaltar que a escala de tons, que atualmente ainda é mais comum com a variação de 0 a 255 pode chegar a representar milhares de tons, o que certamente proporcionará um material de melhor qualidade visual, às custas é claro, de um maior espaço de armazenamento.

Com o lançamento dos primeiros satélites, os diversos aspectos da superfície terrestre passaram a ser monitorados. Três sistemas orbitais destacam-se como os mais populares Landsat, Spot e Ikonos. A quantidade de dados coletados por estes sistemas é imensa.

Um exemplo do espaço requerido por uma imagem Landsat em pixels pode ser encontrado em GALO[2001]: "...o sistema sensor TM/Landsat-5 dispõe de 7 (sete) bandas espectrais com resolução radiométrica de 8 bits, sendo 6 delas com resolução espacial de 30 metros, e uma banda termal de 120 metros de resolução espacial. Uma imagem inteira abrange uma área de 185 x 185 km no terreno, e representa 2,377 milhões de pixels na banda termal e 38 milhões em cada uma das 6 bandas do espectro refletivo (totalizando $2,28 \times 10^8$ pixels). Como uma imagem em cada uma das 7 bandas TM ocupa 8 bits/pixel, então uma imagem inteira em todas as bandas precisa de $1,844 \times 10^9$ bits ou 1,844 Gbits ou 231 Mbytes para ser armazenada". Outros sistemas sensores podem exigir ainda mais, por obterem imagens com melhores resoluções radiométrica e espacial.



Fig. 1: Composição Landsat - Brasília DF (Brasil)

1.2 - A Cor no Processamento de Imagens Digitais

A compressão de imagens está fundamentada na eliminação de redundâncias irrelevantes para a representação de dada informação. A percepção das cores pelo mecanismo de visão do ser humano tem papel importante no estabelecimento destas redundâncias.

Devido à estrutura do olho humano, todas as cores são vistas como combinações variáveis das três chamadas *cores primárias*: vermelho (R, do inglês "red"), verde (G, do inglês "green") e azul (B, do inglês "blue"). Variando a quantidade relativa de vermelho, verde e azul é possível produzir uma enorme variedade de cores, incluindo diversos tons para cada uma. Fato este da maior importância, pois enquanto o número de tons de cinza discernidos pelo olho humano não passa de duas dúzias, a cor além de um poderoso descritor de objetos é discernida em milhares de tons e intensidades, sendo, portanto decisiva na análise de imagens por seres humanos (GONZALEZ e WOODS, 2000).

Existem muitas formas de se representar cores numericamente. Um sistema para representar cores é chamado de modelo de cores e a maioria dos modelos de cores em uso objetiva uma maior vantagem sobre um

tipo específico de *hardware* ou facilidade de manipulação de cores em imagens coloridas.

Os modelos mais populares são o RGB(*red, green, blue*) para monitores coloridos, e o CMY(*cyan, magenta, yellow*) para impressoras coloridas; são modelos orientados para o *hardware*. Outros modelos existentes como HSI(*hue, saturation, intensity*) ou (matiz, saturação, intensidade) e o HSV(matiz, saturação e valor), por exemplo, são modelos orientados para a manipulação de cores. Deve-se destacar, ainda, o modelo $Y C_B C_R$, de particular interesse para o estudo da compressão JPEG, em que Y representa luminância, componente que representa a intensidade da imagem e pelas componentes C_B , cromaticidade azul e C_R , cromaticidade vermelha (MIANO, 1999).

1.3 Redundâncias

Diferentes quantidades de dados podem ser utilizadas para transmitir uma mesma informação. Esta diferença consiste na redundância de dados. Os tipos de redundância encontrados são:

Redundância de codificação - ocorre quando os níveis de cinza de uma imagem são codificados com mais símbolos de codificação do que o necessário.

Redundância interpixel - ou *redundância espacial*, são as correlações resultantes das relações geométricas ou estruturais entre os objetos na imagem.

Redundância espectral - em imagens com mais de uma faixa espectral, os valores espectrais para a mesma posição na matriz de *pixels* de cada banda, são geralmente correlacionados.

Redundância psicovisual - o olho humano não responde com a mesma sensibilidade a todas as informações visuais. Certas informações simplesmente têm menos importância relativamente a outras no processamento visual normal. Tais informações são ditas psicovisualmente redundantes e podem ser eliminadas sem prejudicar significativamente a qualidade de percepção da imagem.

A eliminação de dados psicovisualmente redundantes resulta numa perda de informação e é comumente denominada quantização. Como essa operação é irreversível, ou seja, informação visual é perdida, a quantização resulta em compressão de dados com perda (GONZALEZ e WOODS, 2000).

2. COMPRESSÃO DE IMAGENS

Compressão de dados é a arte ou ciência de representar informações em uma forma compacta. Cria-se essas representações por identificação e uso de estruturas que existem nos dados. Dados podem ser caracteres em um arquivo texto, números que são amostrados de várias formas como palavras ou imagens, ou seqüências de números que são gerados por outros processos (SAYOOD, 1996).

2.1 Técnicas de Compressão

Um algoritmo de compressão é aquele em que para determinado dado de entrada A, deseja-se uma representação A_c , que requiera menos *bits*, e que através de um algoritmo que opere sobre A_c , seja obtida uma reconstrução B a mais próxima possível de A. Portanto, sempre que se falar em que técnica de compressão ou algoritmo de compressão, serão considerados dois algoritmos.

Baseado no que se aceite na reconstrução, os métodos de compressão de dados podem ser divididos em duas grandes categorias: método de compressão sem perda (*lossless*), às vezes tratado como compactação de imagens (MENEQUETTE e BARBOSA, 1998), em que B é idêntico a A, e, método de compressão com perda (*lossy*), em que geralmente se obtém as maiores taxas de compressão, porém B será uma aproximação de A.

Várias são as técnicas desenvolvidas na tentativa de eliminar os efeitos das redundâncias descritas anteriormente, a maioria delas, porém, não atingem a necessária taxa de redução que imagens orbitais requerem, e que é obtida pela compressão JPEG.

Na compressão por transformada, uma transformação linear inversível é usada para mapear a imagem a um conjunto de coeficientes, que são então quantizados e codificados. Na maioria das imagens, um número significativo de coeficientes tem pequenas magnitudes, podendo ser quantizados (descartados) sem causar distorção significativa. A meta do processo de transformada é descorrelacionar os *pixels* de cada imagem, ou compactar o máximo possível a informação em um número menor de coeficientes (da transformada). O estágio de quantização elimina os coeficientes que carregam menos informação. Esses coeficientes apresentam menor impacto na qualidade da imagem reconstruída. O processo termina pela codificação (normalmente usando um código de tamanho variável, por exemplo, Huffman) dos coeficientes quantizados. A compressão é alcançada durante a quantização dos coeficientes e não durante a transformada.

No caso particular da compressão JPEG, a transformação utilizada é a transformada discreta do cosseno (DCT, do inglês, *Discret Coseno Transform*). Esta transformada tem a importante característica de reduzir a redundância espectral dos *pixels* da imagem, além de consistir em algoritmo relativamente fácil de ser implementado.

2.2 Quantização

No processo de compressão JPEG a quantização é aplicada nos coeficientes gerados pela transformada do cosseno. Uma matriz de *pixels* original é composta de elementos inteiros, mas após a transformada tem-se uma matriz de coeficientes reais. Para reduzir o espaço necessário para armazenar esses valores aplica-se a quantização, que é o processo de

redução do número de *bits* necessários para armazenar um valor reduzindo sua precisão para um inteiro. É nesta redução da precisão que acontece o processo irreversível de perda da informação (NELSON, 1991). Esse processo é obtido por meio de uma matriz de quantização que vai produzir redução de precisão em cada elemento. Cada elemento da matriz de coeficientes é dividido pelo elemento correspondente da matriz de quantização e seu valor arredondado para o inteiro mais próximo.

O padrão JPEG utiliza uma matriz de quantização $Q[i,j]$ que gera um nível estável e bom de compressão. Uma das possibilidades é dada pela expressão:

$$Q[i, j] = 1 + (1 + i + j) * \text{fator_de_quantização} \quad (1)$$

O fator_de_quantização é considerado entre 2 e 25 e os índices iniciam no zero.

Quanto maior o valor do fator_de_quantização, maiores serão as perdas. Para valores maiores que 25, haverá um comprometimento muito severo na qualidade da imagem reconstruída. Dessa maneira é feita uma quantização por zona, sendo os coeficientes associados às mais altas frequências quantizados com mais severidade. Abaixo tem-se uma ilustração dos efeitos da quantização em um exemplo hipotético.

3	5	7	9	11	13	15	17
5	7	9	11	13	15	17	19
7	9	11	13	15	17	19	21
9	11	13	15	17	19	21	23
11	13	15	17	19	21	23	25
13	15	17	19	21	23	25	27
15	17	19	21	23	25	27	29
17	19	21	23	25	27	29	31

Fig. 2: Matriz de quantização para fator 2

6	11	16	21	26	31	36	41
11	16	21	26	31	36	41	46
16	21	26	31	36	41	46	51
21	26	31	36	41	46	51	56
26	31	36	41	46	51	56	61
31	36	41	46	51	56	61	66
36	41	46	51	56	61	66	71
41	46	51	56	61	66	71	76

Fig. 3: Matriz de quantização para fator 5

92.1	45	-32	-7.3	1.1	-1	0	1.9
68.5	-87	49.8	28.1	11.3	-1.3	2.7	1.3
-49	69.1	-61	-13	10.1	1.7	1.9	0
23.5	-52	33.4	45.4	-17	2	0.1	23
-41	19.4	-5.9	7.8	19.2	-5.1	-1.3	0
17.3	-5.2	11.7	2.9	-13	11.3	2.5	-1.7
-41	1.7	3.2	-1.1	5.3	2.5	-0.7	0
0	-1.9	2.1	0	5.2	0	1.2	-1

Fig. 4: Coeficientes gerados pela transformada do cosseno, antes da quantização com fator 5

90	44	-32	0	0	0	0	0
66	-80	42	26	0	0	0	0
-48	63	-52	0	0	0	0	0
21	-52	31	36	0	0	0	0
-26	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0
36	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0

Fig. 5: Coeficientes reconstruídos depois de quantização com fator 5

Após a quantização é feita uma ordenação dos coeficientes em ziguezague, indo da posição (0,0) até (7,7) com o objetivo de melhorar a codificação, pois mais coeficientes nulos são alcançados na mesma corrida.

2.3 Codificação de Huffman

O algoritmo de Huffman é uma técnica de compressão de dados que reduz aproximadamente 25% do tamanho de arquivos de imagem, e em alguns casos específicos (pouca variação de tons ou cores) atinge de 50% a 60% de redução (BRANDALIZE, 1999).

A redundância de codificação pode ser eliminada com base numa codificação como a de Huffman, que produz um código de tamanho variável atribuindo os menores códigos aos níveis de cinza mais prováveis e maiores para os menos prováveis.

Como exemplo, considere uma sub-imagem de tamanho 10x10, ou seja, com 100 pixels e 6 tons de cinza (c_1 c_2 c_3 c_4 c_5 c_6), tendo o seguinte número de ocorrências: 40 de c_2 , 30 de c_6 , 10 de c_1 e c_4 , 6 de c_3 e 4 de c_5 e portanto (c_1 c_2 c_3 c_4 c_5 c_6) tem respectivamente as probabilidades de ocorrer: (0.1, 0.4, 0.06, 0.1, 0.04, 0.3). Após ordenar estas probabilidades, o algoritmo vai produzir os códigos (011, 1, 01010, 0100, 01011, 00).

Na prática, entretanto, é mais adequado o uso de tabelas previamente calculadas (GONZALEZ e WOODS, 2000, pág.283). Esse é o padrão JPEG que foi implementado na ferramenta desenvolvida para os fins deste trabalho. Um exemplo é dado abaixo.

```
// Determinação da categoria para código DC
if pos=0 then
  case abs(ele) of
    ...
    128..255: cat:= 8;
    64..127: cat:= 7;
    32..63: cat:= 6;
    ...
// Determinação do Código Base para um código DC
if pos=0 then begin
  case cat of
    ...
    2: begin cod_base:='100'; comp_cod:=5 end;
    3: begin cod_base:='00'; comp_cod:=5 end;
    4: begin cod_base:='101'; comp_cod:=7 end;
    5: begin cod_base:='110'; comp_cod:=8 end;
    6: begin cod_base:='1110'; comp_cod:=10 end;
    ...
```

Fig. 6: Parte de código de programa, contendo tabelas Huffman

2.4 Transformada Discreta do Cosseno (Dct)

A função DCT ajuda a separar a imagem em partes (ou sub-bandas espectrais) de diferentes importâncias (relativamente à qualidade visual). Ela transforma a imagem do domínio espacial para o domínio de frequência (BRANDALIZE, 1999).

No algoritmo JPEG, a função de transformação DCT é aplicada sobre blocos de imagem de 8×8 pixels e os valores devem ser amostrados para serem representados usando-se 8 bits, ou seja, valores na faixa de 0 a 255. O JPEG requer, ainda, que o valor 128 seja subtraído de cada valor de entrada, para que cada valor seja levado para a faixa de -128 até 127 antes de serem feitos os cálculos da DCT. Isto causa um efeito de redução de magnitude no primeiro coeficiente da DCT (chamado DC), mas não afeta o valor deste e nem dos outros coeficientes (chamados AC's). Feita a IDCT deve-se adicionar o valor 128 para levar o resultado obtido para o valor correto.

A transformada discreta do cosseno 2-D aplicada nas sub-imagens de 8×8 pixels pode ser vista a seguir:

$$T[i, j] = c(i, j) \sum_{x=0}^{N-1} \sum_{y=0}^{N-1} V[y, x] \cos \frac{(2y+1)i\pi}{2N} \cos \frac{(2x+1)j\pi}{2N} \quad (2)$$

para,

$$c(i, j) = \sqrt{\frac{2}{N}}, \text{ para } i \text{ e } j \neq 0 \quad \text{e} \quad c(i, j) = \sqrt{\frac{1}{N}}, \text{ para } i \text{ e } j = 0.$$

A IDCT 2-D é dada por,

$$V[y, x] = \sum_{i=0}^{N-1} \sum_{j=0}^{N-1} c(i, j) T[i, j] \cos \frac{(2y+1)i\pi}{2N} \cos \frac{(2x+1)j\pi}{2N} \quad (3)$$

Na compressão JPEG padrão o valor de N é sempre 8, valor este utilizado neste trabalho. Nada impede a utilização de outros valores, como N igual a 16 ou 32, por exemplo.

Na forma matricial a DCT é obtida por $T = MVM^T$ e a IDCT por $V = M^T T M$, em que V é um bloco 8×8 e M é a matriz de cossenos (Fig. 7). Por meio de fatoração baseada nas simetrias de M é possível obter o cálculo da DCT de maneira otimizada (MIANO, 1999, pág. 121-148). Denominada FDCT, a DCT otimizada reduz os cálculos, ou seja, na forma original, multiplicar uma linha de T pela matriz M exige 56 adições e 64 multiplicações. Na forma otimizada são feitas apenas 26 adições e 14 multiplicações.

$$M = \begin{bmatrix} \alpha & \alpha & \alpha & \alpha & \alpha & \alpha & \alpha & \alpha & \alpha \\ \lambda & \gamma & \mu & \rho & -\rho & -\mu & -\gamma & -\lambda & \\ \beta & \delta & -\delta & -\beta & -\beta & -\delta & \delta & \beta & \\ \gamma & -\rho & -\lambda & -\mu & \mu & \lambda & \rho & -\gamma & \\ \alpha & -\alpha & -\alpha & \alpha & \alpha & -\alpha & -\alpha & \alpha & \\ \mu & -\lambda & \rho & \gamma & -\gamma & -\rho & \lambda & -\mu & \\ \delta & -\beta & \beta & -\delta & -\delta & \beta & -\beta & \delta & \\ \rho & -\mu & \gamma & -\lambda & \lambda & -\gamma & \mu & -\rho & \end{bmatrix} \quad \begin{matrix} \alpha = \cos(\pi/4) \\ \beta = \cos(\pi/8) \\ \delta = \sin(\pi/8) \\ \lambda = \cos(\pi/16) \\ \gamma = \cos(3\pi/16) \\ \mu = \sin(\pi/16) \\ \rho = \sin(3\pi/16) \end{matrix}$$

Fig. 7: Matriz de cossenos

2.5 Compressão Jpeg

O padrão JPEG é razoavelmente complexo porque, mais que definir um formato de arquivo de imagem, ele define um grande número de relacionamentos entre técnicas de compressão de imagens. No JPEG padrão pode-se encontrar quatro modos de se efetuar a compressão dos dados: seqüencial, progressivo, hierárquico e sem perdas (do inglês, *lossless*) (MIANO, 1999).

No JPEG seqüencial, cada componente de cor é completamente codificado em uma simples varredura (do inglês, *scan*) - um bloco de dados comprimido de uma só vez, diretamente da imagem, para um ou mais componentes.

No JPEG progressivo, os componentes das imagens são codificados em múltiplas varreduras. A compressão de dados de cada componente é feita no mínimo em duas varreduras. A varredura inicial cria uma versão com pouca definição da imagem, enquanto varreduras subseqüentes fazem o seu refinamento. Imagens progressivas vão sendo visualizadas conforme são decodificadas, dando ao usuário uma idéia do conteúdo da imagem após uma pequena quantidade de dados ter sido transmitida. Mais difícil de ser implementado é mais recomendado quando a velocidade de processamento é relativamente mais rápida, excedendo a velocidade de transmissão da imagem através de uma rede.

O JPEG hierárquico é tido como um modo super-progressivo em que a imagem é subdividida em um certo número de sub-imagens chamadas *frames*. Um *frame* é uma coleção de uma ou mais varreduras. No modo hierárquico, o primeiro *frame* cria uma versão de baixa resolução da imagem. Os *frames* restantes refinam a imagem por incremento da resolução. Os principais obstáculos do modo hierárquico são: a complexidade de sua implementação, mais processamento, maior quantidade de dados a serem transmitidos e, portanto, menor taxa de compressão.

O JPEG sem perdas preserva de forma exata a imagem original apresentando baixa taxa de compressão. Na maioria dos casos não é competitivo.

A Fig. 8 fornece as operações envolvidas no sistema de compressão JPEG implementado. Inicialmente a imagem deve ser convertida do espaço de cores RGB para o espaço de cores que se quer avaliar, depois é subdividida em blocos de 8×8 pixels, aplica-se a DCT, a quantização, a ordenação em zig-zague e a

codificação de Huffman, fornecendo então a imagem comprimida.

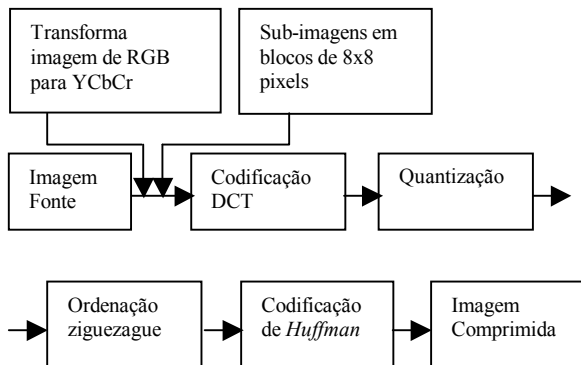


Fig. 8: Operações da compressão JPEG

3. RESULTADOS

Os testes foram efetuados sobre imagens orbitais, composições coloridas do sistema LANDSAT, para diferentes localidades brasileiras, feitas as devidas separações em canais de cores, comprimidas, descomprimidas e analisados os resultados. Utilizou-se também, uma imagem IKONOS, cuja compressão foi ainda melhor. Em um *software* de autoria foram implementadas as técnicas de compressão que mais interessavam para os testes, como: diferentes formas de compressão JPEG seqüencial, otimizado, progressivo, espaços de cores diferentes, que resultaram em diferentes formas para o cálculo da DCT e da IDCT.

3.1 Imagens Utilizadas

Para as imagens LANDSAT, tem-se diferentes composições coloridas para Brasília - DF4r5g3b e DF5r4g3b, Cuiabá - MT4r5g3b e MT5r4g3b, e Rio de Janeiro - RJ4r5g3b e RJ5r4g3b. A imagem RJIKONOS, a única do sistema IKONOS, já foi obtida como composição colorida.

Sobre a nomenclatura utilizada para compor o nome das imagens: as duas primeiras letras exprimem o local ou região de onde as imagens foram obtidas, RJ refere-se ao Rio de Janeiro, MT ao Mato Grosso e DF a Brasília. Os números que compõem os nomes, referem-se às bandas espectrais utilizadas, ou seja, banda 3, na região do visível e bandas 4 e 5 na região do infravermelho próximo. As letras referem-se aos canais de cores R, G e B, utilizados para a composição colorida das imagens. Assim, RJ5r4g3b refere-se a uma imagem do Rio de Janeiro (RJ), com banda 5 no canal vermelho, banda 4 no canal verde e banda 3 no canal azul.

O tamanho das imagens foi limitado a um máximo de 480x480 *pixels*. Todas as imagens utilizadas nos testes, denominadas imagens originais, são composições coloridas de 8 *bits* e espaço de cores RGB, padrão de vídeo e do *software* utilizado para compressão.



Fig. 9: Imagem DF4r5g3b, utilizada nos testes



Fig. 10: Imagem DF5r4g3b, utilizada nos testes

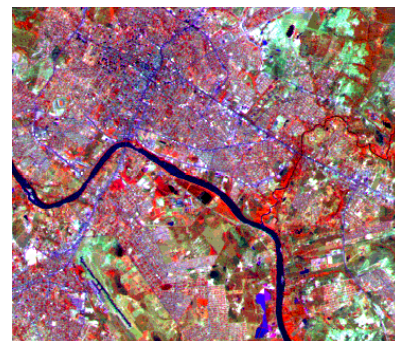


Fig. 11: Imagem MT4r5g3b, utilizada nos testes



Fig. 12: Imagem MT5r4g3b, utilizada nos testes

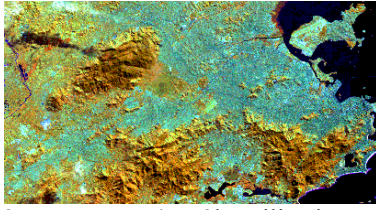


Fig. 13: Imagem RJ4r5g3b, utilizada nos testes



Fig. 14: Imagem RJ5r4g3b, utilizada nos testes

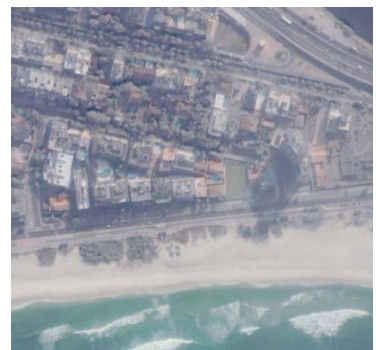


Fig. 15: Imagem RJKONOS, utilizada nos testes

3.2 Compressão e Descompressão das Imagens

Para a obtenção dos resultados apresentados nas TABELAS 1 e 2, utilizou-se sempre o fator-de-quantização 5, escolhido aleatoriamente. No entanto, uma vez escolhido o fator 5, pode-se fazer algumas observações sobre os resultados obtidos. Pouca perda, e boa qualidade visual (o que não quer dizer sem perdas), pois não distanciou-se muito de seu valor mínimo 2 (que causaria menores perdas e portanto melhor qualidade visual).

Sobre os itens encontrados nas tabelas, observa-se: o nome da imagem, espaço de cores, DCT (tipo da transformada), IDCT (tipo da inversa), o tempo gasto nas transformadas, além do tamanho dos arquivos, em que Arq.Orig. refere-se ao tamanho do arquivo texto que contém os códigos da imagem para um determinado espaço de cores, Arq.Cmp. refere-se ao tamanho do arquivo texto que contém os códigos da imagem comprimida e % Cmp. refere-se à porcentagem de compressão aferida entre Arq.Orig. e Arq.Cmp. Como tipo para transformada ou inversa, tem-se O. - Otimizada, P.M. - por Produto Matricial, S. - por Série e P. - Progressivo.

TABELA 1 - RESULTADOS DOS TESTE COM VARIAÇÃO DOS ESPAÇOS DE CORES

Imagem	Espaço de Cores	DCT	IDCT	Tempo		Tamanho(Kb)		
				DCT	IDCT	Arq.Orig.	Arq.Cmp	% Cmp
DF4r5g3b	YCbCr	O.	O.	2:17,92	1:10,41	1276	550	56
DF4r5g3b	HSI	O.	O.	2:18,47	2:12,37	1120	835	25
DF4r5g3b	RGB	O.	O.	2:16,60	1:15,19	1190	777	34
DF5r4g3b	YCbCr	O.	O.	2:18,74	1:12,29	1306	534	59
DF5r4g3b	HSI	O.	O.	2:20,39	2:34,61	1119	998	10
DF5r4g3b	RGB	O.	O.	2:19,51	2:07,70	1190	777	34
MT4r5g3b	YCbCr	O.	O.	1:42,16	1:12,94	956	608	36
MT4r5g3b	HSI	O.	O.	1:43,97	2:27,75	784	976	0
MT4r5g3b	RGB	O.	O.	1:44,24	2:13,25	927	859	7
RJ5r4g3b	YCbCr	O.	O.	1:22,16	1:13,87	726	499	31
RJ5r4g3b	HSI	O.	O.	1:24,15	1:42,54	631	751	0
RJ5r4g3b	RGB	O.	O.	1:22,60	1:34,91	673	694	0
RJKONOS	YCbCr	O.	O.	2:15,72	1:00,69	1374	167	87
RJKONOS	HSI	O.	O.	2:16,00	1:13,54	1120	339	69
RJKONOS	RGB	O.	O.	2:15,55	1:02,51	1365	297	78

TABELA 2 - RESULTADOS DOS TESTES COM VARIAÇÃO DE DCT E IDCT

Imagem	Espaço de Cores	DCT	IDCT	Tempo		Tamanho(Kb)		
				DCT	IDCT	Arq.Orig.	Arq.Cmp	% Cmp.
DF4r5g3b	YCbCr	O.	O.	2:17,92	1:10,41	1276	550	56
DF4r5g3b	YCbCr	P.M.	P.M.	2:17,81	1:34,20	1276	550	56
DF4r5g3b	YCbCr	S.	S.	3:06,74	2:52,52	1276	550	56
DF4r5g3b	YCbCr	P.	P.	2:22,47	2:40,49	1276	566	55
DF5r4g3b	YCbCr	O.	O.	2:18,74	1:12,29	1306	534	59
DF5r4g3b	YCbCr	P.M.	P.M.	2:20,60	1:15,74	1306	534	59
DF5r4g3b	YCbCr	S.	S.	3:06,25	2:51,31	1306	534	59
DF5r4g3b	YCbCr	P.	P.	2:23,63	2:15,60	1306	550	57
MT4r5g3b	YCbCr	O.	O.	1:42,16	1:12,94	956	608	36
MT4r5g3b	YCbCr	P.M.	P.M.	1:44,97	1:37,11	956	608	36
MT4r5g3b	YCbCr	S.	S.	2:17,92	2:08,69	956	608	36
MT4r5g3b	YCbCr	P.	P.	1:48,53	2:40,88	956	615	35
MT5r4g3b	YCbCr	O.	O.	1:38,21	1:29,92	888	582	34
MT5r4g3b	YCbCr	P.M.	P.M.	1:38,37	1:31,12	888	582	34
MT5r4g3b	YCbCr	S.	S.	2:14,13	2:26,82	888	582	34
MT5r4g3b	YCbCr	P.	P.	1:49,52	2:11,50	888	589	33
RJ4r5g3b	YCbCr	O.	O.	1:18,76	1:11,68	689	500	27
RJ4r5g3b	YCbCr	P.M.	P.M.	1:19,81	1:12,11	689	500	27
RJ4r5g3b	YCbCr	S.	S.	1:46,61	1:57,38	689	500	27
RJ4r5g3b	YCbCr	P.	P.	1:29,90	2:01,82	689	505	26
RJ5r4g3b	YCbCr	O.	O.	1:22,16	1:13,87	726	499	31
RJ5r4g3b	YCbCr	P.M.	P.M.	1:22,17	1:15,30	726	499	31
RJ5r4g3b	YCbCr	S.	S.	1:50,12	2:01,00	726	499	31
RJ5r4g3b	YCbCr	P.	P.	1:26,40	2:03,80	726	504	30
RJKONOS	YCbCr	O.	O.	2:15,72	1:00,69	1374	167	87
RJKONOS	YCbCr	P.M.	P.M.	2:17,48	1:03,88	1374	167	87
RJKONOS	YCbCr	S.	S.	3:05,82	2:22,75	1374	167	87
RJKONOS	YCbCr	P.	P.	2:16,60	2:07,98	1374	195	85

3.3 Discussão dos Resultados

Observa-se claramente através dos testes que o espaço de cores $YCbCr$, conforme especificações do JPEG padrão, é o que realmente apresenta as melhores taxas de compressão e portanto é o que deve ser utilizado também no caso de imagens orbitais. Veja os resultados obtidos na TABELA 1, em que manteve-se fixo a forma de calcular a DCT e a IDCT, variou-se os espaços de cores e as imagens, e gerou-se arquivos de compressão menores e mais rapidamente quando utilizou-se o espaço de cores $YCbCr$.

Na TABELA 2, visto que, manteve-se fixo o espaço de cores $YCbCr$ e variou-se a forma de calcular a DCT e a IDCT no modo seqüencial, além dos testes efetuados para o modo progressivo, e os seguintes resultados puderam ser observados.

Quanto a forma de se fazer a composição colorida, alternando as bandas espectrais com os canais de cores, não foi observada diferença significativa na porcentagem de compressão e, portanto, acredita-se que a forma de composição não apresente influência significativa sobre a taxa de compressão.

No JPEG seqüencial conforme esperado, houve um ganho significativo de performance no cálculo da DCT, quando os cálculos foram efetuados por produto matricial em relação aos cálculos por série. Independente da imagem utilizada, os ganhos foram significativos, onde a DCT por produto matricial foi 25 por cento mais rápida que a por série e a IDCT foi 42 por cento mais rápida, ambas médias aproximadas.

Surpreendentemente, o ganho significativo de performance, esperado do otimizado em relação aos anteriores não se confirmou em nenhum dos testes efetuados. Dado que no método otimizado as operações de multiplicação são na sua maioria substituídas por adições, acredita-se que tal método, se implementado via *hardware*, apresentaria resultados significativos.

Quanto ao JPEG Progressivo, como esperado, o tempo gasto é maior tanto na compressão quanto na descompressão e os arquivos das imagens comprimidas ficaram de 1 a 2 por cento maiores que os arquivos gerados nas formas de cálculo anteriormente utilizadas. Mas deve-se estar atento quanto ao uso deste método, pois sua aplicação não se destina unicamente à compressão dos dados, mas a possibilidade de permitir uma visualização mais rápida da imagem, mesmo que

inicialmente esta visualização seja obtida com pouca nitidez e somente melhorada ao longo do processo de descompressão.

O fator-de-quantização utilizado igual a 5, permitiu boa taxa de compressão, variando em torno de 30 a 50 por cento, para as imagens LANDSAT, surpreendendo somente no caso da imagem IKONOS, que atingiu 87 por cento na taxa de compressão. Ao se adquirir outras imagens IKONOS novos testes poderão ser efetuados, em que se poderá confirmar está performance.

4. CONCLUSÕES

Através dos resultados, facilmente observa-se as vantagens de se utilizar o espaço de cores $Y C_B C_R$, deve-se destacar ainda que técnicas existentes permitem uma performance ainda melhor para este padrão, como é caso da técnica conhecida como entrelaçamento, que permite a codificação não de todos os elementos de uma imagem, mas apenas daqueles que apresentam maior influência sobre esta, ou seja, no momento de codificar-se a imagem, o elemento Y da luminância seria codificado totalmente, por apresentar maior influência sobre a qualidade imagem, enquanto os canais de cromaticidade poderiam ter apenas alguns elementos codificados, resultando em uma compressão ainda maior para este espaço de cores.

Quanto ao fator-de-quantização igual a 5, escolhido aleatoriamente para a realização dos testes, além de observar-se boa taxa de compressão, permitiu obter boa qualidade visual das imagens após a descompressão, não comprometendo a análise e interpretação dos alvos contidos nas imagens utilizadas. Obviamente, para uma escala que vai até 25, valores de quantização maiores que 5 poderiam ser escolhidos e novos testes efetuados até que limites entre taxa de compressão e qualidade visual das imagens pudessem ser estabelecidos e utilizados em aplicações posteriores. Deve-se no entanto observar que a variedade de testes possíveis é imensa e certamente dependerá do enfoque que se pretende dar aos estudos realizados.

Consequentemente, trata-se de um assunto inesgotavelmente interessante, um desafio imposto àqueles que se embrenham no propósito de dominá-lo e desenvolvê-lo e que certamente será motivo de muito avanço e de muitas discussões.

No entanto, espera-se que fique claro, que muitas são as possibilidades de avanço e contribuições a serem dadas até o completo domínio destas e de outras técnicas de compressão. Assim, muito pode ser feito em termos de trabalhos futuros, o próprio software desenvolvido pode ser otimizado, com a eliminação dos espaços de cores diferentes de $Y C_B C_R$, por exemplo, provado que este realmente apresenta ganho de performance em relação aos demais. Além da implementação de outras técnicas de compressão como é o caso do JPEG2000, JPEG-LS, compressão por *Wavelets* entre outros, que podem ser implementadas e certamente trarão uma enorme contribuição para o

assunto estudado, garantindo enormes benefícios para a comunidade como um todo.

5. BIBLIOGRAFIA

BRANDALIZE, A. A. Compressão em arquivos digitais de imagens: onde estamos e para onde vamos? In: **GIS BRASIL 99**, Curitiba, 1999. 36 p.

GALO, M. L. B. T. **Sensoriamento Remoto**. Unesp-Prudente, 1º semestre de 2001. 126 p. Notas de aula.

GONZALEZ, R. C.; WOODS, R. E. **Processamento de imagens digitais**. Tradução de Roberto M. C. Junior, Luciano da F. Costa. São Paulo: Edgard Blücher, 2000. 509 p.

MENEGUETTE, M.; BARBOSA R. L. Uma retrospectiva sobre compressão de imagens usando a transformada discreta do cosseno. **Colloquium: revista científica da UNOESTE**, Presidente Prudente, UNOESTE, v.1, n.3, p.11-23, junho 1998.

MIANO, J. **Compressed image file formats: JPEG, PNG, GIF, XBN, BMP**. Massachusetts: Addison Wesley, 1999. 264 p.

NELSON, M. **The data compression book**. Redwood City: M&T Books, 1991. 527 p.

NOVO, E. M. L. M. **Sensoriamento remoto: Princípios e aplicações**. São Paulo: Edgard Blücher, 1995. 308 p.

PENNEBAKER, W. B.; MITCHELL J. L. **JPEG Still image data compression standard**. New York: ITP, 1993. 638 p.

SANTOS, A. C. **Uma técnica por transformada para compressão de imagens**. São Carlos, 1994. 84 p. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Instituto de Ciências Matemáticas de São Carlos, Universidade de São Paulo.

SAYOOD, K. **Introduction to data compression**. San Francisco: Morgan Kaufmann, 1996. 475 p.

SCHOWENGERDT, R. A. **Techniques for image processing and classification in remote sensing**. New York: Academic Press, 1983. 249 p.

VELDHUIS, R.; BREEUWER, M. **An introduction to source coding**. Eindhoven: Printice Hall, 1993. 264 p.

Recebido em 14 de abril de 2003 – Aceito para publicação em 05 de dezembro de 2003.