

# ANÁLISE COMPARATIVA DE IMAGENS 16 BITS CODIFICADAS POR MÉTODOS LOSSLESS JPEG2000 E MrSID

Ricardo Kwiatkowski da Silva (UEPG) E-mail: ricardoks@live.com  
Selma Regina Aranha Ribeiro (UEPG) E-mail: selmar.aranha@gmail.com

**Resumo:** Determinados métodos de compressão de dados possibilitam a obtenção de imagens com ausência de degradação digital, obtendo-se benefícios como a transmissão digital mais rápida e menor utilização de memória para armazenamento. A ausência de degradação da imagem pode ser considerada um fator desejado para realizar-se mapeamentos mais fidedignos em processos automáticos de classificação pixel a pixel que utilizam-se dos valores digitais da imagem para determinação de regiões específicas ou classes espectrais. Por meio da avaliação denominada Índice IQI, analisa-se os resultados dos processos de descompactação de imagens compactadas pelos métodos lossless JPEG 2000 e MrSID quando aplicados a imagens multispectrais 16 bits. Também são comparadas as imagens temáticas geradas pelo classificador ISODATA (*SELF-ORGANIZING DATA ANALYSIS TECHNIQUE*) partir de imagens não compactadas e compactadas. O método IQI (*IMAGE QUALITY INDEX*) mostrou-se eficiente na avaliação dos resultados dos processos.

**Palavras-chave:** Compressão Wavelet, Isodata, Image Quality Index.

## COMPARATIVE ANALYSIS OF IMAGES 16 BITS CODED BY LOSSLESS JPEG2000 AND MrSID METHODS

**Abstract:** Certain data compression methods allow the obtention of images without digital degradation, resulting in benefits such as faster digital transmission and lower memory utilization for storage. The absence of image degradation can be considered a desired factor to perform more reliable mapping in automatic pixel-to-pixel classification processes that use the digital image values to determine specific regions or spectral classes. Through the evaluation named IQI (Image Quality Index, Wang and Bovik, 2002), the results of the decompression processes of images compressed by the lossless JPEG2000 and MrSID methods are analyzed when applied to multispectral images 16 bits. Are also compares the thematic images generated by the ISODATA (*SELF-ORGANIZING DATA ANALYSIS TECHNIQUE*) classifier from uncompressed and compressed images. The IQI method was shown efficient to evaluate results of the processes.

**Keywords:** Compressão Wavelet, Isodata, Image Quality Index

### 1. INTRODUÇÃO

Apesar do constante aumento da capacidade dos recursos de *hardware* e *software* determinados produtos obtidos com o processamento de imagens digitais podem implicar em soluções ou resultados não esperados ou adequados, devido à grande quantidade de dados que este processa. Imagens de sensoriamento remoto compactadas apresentam imensa vantagem no sentido que exigem menores espaços de armazenamento e recursos do sistema computacional durante o processo de análise.

Os processos de compressão de imagens reduzem o volume de dados necessário para representar uma certa quantidade de informação. De acordo com esta premissa, entende-se que, dados são os meios pelos quais a informação pode ser representada ou transmitida e que, diferentes quantidades de dados podem corresponder a uma mesma quantidade de informação, fato que implica em redução de custos com sistemas de armazenamento e de transmissão (GONZALES e WOODS, 2010).

O objetivo deste artigo é apresentar os resultados dos processos de descompactação e compactação Wavelet lossless JPEG2000 e MrSID quando aplicados à imagens de alta resolução radiométrica 16 *bits*, obtidas a partir do sensor orbital QuickBird, além de avaliar a possibilidade de utilização de imagens codificadas no processo de classificação automática ISODATA.

Tendo em vista o exposto, este artigo está organizado, além desta seção introdutória, como segue. Na Seção 2 é descrita a teoria da Transformada Discreta Wavelet utilizada no desenvolvimento da arquitetura dos métodos de codificação JPEG2000 e MrSID. Na Seção 3 e 4 apresenta-se respectivamente, a base de implementação do algoritmo ISODATA a formulação do Índice IQI, utilizado nas avaliações quantitativas. A seção 5 demonstra a metodologia utilizada para obtenção dos resultados demonstrados na seção 6. Por fim, a seção 7 contempla a conclusão deste trabalho.

## 2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### 2.1 TRANSFORMADA DISCRETA WAVELET (DWT)

Define-se a Transformação Wavelet como sendo um método para decompor um sinal de interesse em um conjunto de formas de ondas elementares chamadas Wavelets. Por meio de funções matemáticas os dados, funções ou operadores são separados em diferentes componentes de frequência, seguindo-se uma análise com uma resolução que corresponde a sua escala (DAUBECHIES, 1992).

Pode-se adotar para o procedimento de análise Wavelet, uma função protótipo  $\phi(x)$ . Esta função define por translações e dilatações a base wavelet que utiliza-se das variáveis  $s$  (escala) e  $l$  (índice de localização), para decompor o sinal e ocorrer a geração das Wavelets (GRAPS, 1995).

De forma prática, para o processamento dos coeficientes wavelet em imagens, aplicam-se filtragens passa-alta e passa-baixa baseadas na wavelet protótipo, por meio de *kernels* móveis aplicados de forma recursiva via Algoritmo Piramidal ou banco de filtros (ERDAS INC, 2013). A transformada também pode ser calculada por meio da bordagem complementar baseada na implementação Lifting (GONZALES e WOODS, 2010). O algoritmo piramidal e o esquema *Lifting* referem-se respectivamente as implementações da DWT rápida de Mallat e Daubechies (STRANG e NGUYEN, 1997).

### 2.2 ALGORITMO PIRAMIDAL

Calculando-se a DWT Rápida Direta por meio de um banco de filtros, obtém-se como resultado a função escala representada pela equação (1). Esta define outras três wavelets cada uma com um nível de resolução, demonstradas respectivamente por (2), (3) e (4) (GONZALES e WOODS, 2010). A seguir, representa-se as equações (1) escala e (2), (3) e (4), referentes as sub-imagens vertical, horizontal e diagonal.

$$\phi(x, y) = \phi(x)\phi(y) \quad (1) \quad \psi^H(x, y) = \psi(x)\phi(y) \quad (3)$$

$$\psi^V(x, y) = \phi(x)\psi(y) \quad (2) \quad \psi^D(x, y) = \psi(x)\psi(y) \quad (4)$$

Conforme demonstrado na figura 1, efetua-se a filtragem das linhas com  $h_\phi(-n)$  e  $h_\psi(-n)$ . Segue-se a sub-amostragem, gerando-se duas sub-imagens com resoluções horizontais reduzidas por fator 2. Essas sub-imagens passam por filtragem e sub-amostragem

ao longo das colunas, gerando-se quatro sub-imagens de saída com um quarto do tamanho  $W_\varphi, W_\psi^H, W_\psi^V, W_\psi^D$ . As informações das variações resultantes dos filtros passa alta, aplicados recursivamente, são utilizados para restauração da imagem (ERDAS INC, 2013). A reversão do processo ocorre por meio de um banco de filtros de síntese de forma e ordem inversa. A figura 1, representa o esquema de aplicação recursiva das filtragens passa-alta e passa-baixa em um banco de filtros direto.

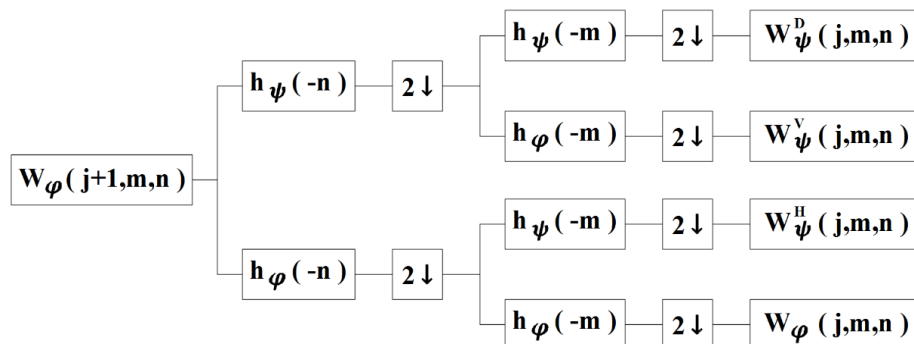


Figura 1 - Esquema de aplicação da DWT Direta (FONTE: GONZALES e WOODS, 2010).

### 2.3 IMPLEMENTAÇÃO LIFTING

Na implementação *Lifting*, os coeficientes wavelets não são necessariamente computados a partir de translações e dilatações de uma Wavelet protótipo. As matrizes elementares são geradas pela fatorização da matriz polifásica da DWT (DAUBECHIES e SWELDENS, 1996).

A forma polifásica é uma implementação onde a filtragem é executada depois da decimação (*downsampling*). O sinal original é dividido em dois subsinais que representam os componentes polifásicos cada um com metade da taxa de amostragem original. Segue-se a decimação das componentes antes da filtragem, o que evitará que sejam computados coeficientes que seriam descartados do processo. Os componentes polifásicos do sinal são filtrados em paralelo pelos coeficientes dos filtros passa-alta e passa-baixa correspondentes (ANGELOPOULOU et al, 2008). A figura 1, demonstra o esquema lifting 5/3.

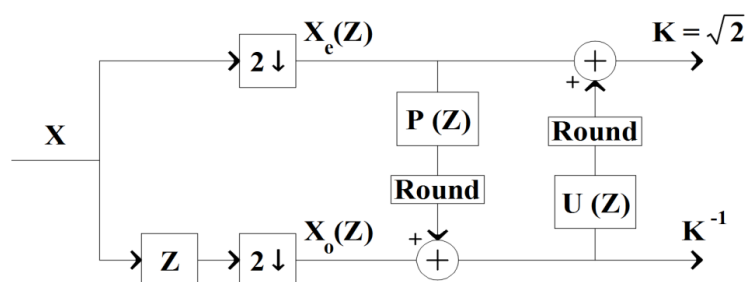


Figura 2 - Esquema *Lifting* direto (FONTE: Adaptado de CHEN et al, 2017).

### 2.4 FILTROS

De acordo com a formulação clássica para reconstrução perfeita, os filtros de análise e síntese devem ser adaptados entre si para que o processo tenha como resultado um sinal de

saída  $\hat{X}$  igual ao sinal de entrada  $X$  (STRANG e NGUYEN, 1997). Desta forma, diz-se que o sistema permite reconstrução perfeita, implicando-se assim que os filtros de síntese são versões moduladas dos filtros de análise (filtros de entrada) (GONZALES e WOODS, 2010).

O padrão JPEG2000 utiliza-se da forma polifásica e recomenda o uso do filtro de tamanho 5/3 (LE GALL e TABATABAI, 1988), constituídos por um filtro passa-baixa com 5 coeficientes  $\tilde{h} = (-1/8, 1/4, 3/4, 1/4, -1/8)$  e um passa-alta com 3 coeficientes  $g = \phi(x)$ . Formulam-se os filtros de escala conforme as formulações (5) e (6). Estes constituem o menor par simétrico biortogonal de fator 2 (UNSER e BLU, 2003). Segue-se a representação das as equações 5 e 6:

$$\tilde{h}(z) = \frac{1}{8}z(1+z^{-1})^2(-z-z^{-1}+4) \quad (5)$$

$$h(z) = \frac{1}{2}z(1+z^{-1})^2 \quad (6)$$

## 2.5 REDUÇÃO DA REDUNDÂNCIA DE DADOS

Obtém-se a forma mais simples de compressão de imagens, livre de erros, por meio da construção de um código de comprimento variável que atribui as menores palavras possíveis aos níveis de cinza mais prováveis, buscando-se que, cada nível digital não utilize mais símbolos do que o absolutamente necessário (GONZALES e WOODS, 2010).

Existem inúmeras técnicas que objetivam a redução da redundância de dados, como a Codificação de Huffman e a Codificação Aritmética, que se referem a redução da redundância de codificação, e a Codificação Run-Length e Codificação baseada em dicionários, que promovem a redução da redundância interpixel.

## 3. CLASSIFICAÇÃO ISODATA

Inclui-se o método ISODATA, no grupo dos algoritmos de classificação não supervisionada, onde a divisão do espaço multispectral é implementada usando-se métodos de agrupamento estatísticos. Neste processo, classificam-se os pixels segundo o critério de distância mínima euclidiana com base em sua similaridade espectral, formando-se *clusters* (CENTENO, 2004). A forma clássica de funcionamento do algoritmo contempla basicamente os seguintes passos (EL-ZAART, 2010):

- a) Um valor arbitrário “T” inicial é atribuído como uma média da imagem;
- b) Na etapa seguinte, classificam-se os pixels na imagem para a classe mais próxima, por meio do critério da distância mínima. Ocorre a separação de uma região não-homogênea em duas sub-regiões: C1 consistindo dos pixels com valores digitais  $<T$  e C2 consistindo dos pixels com valores  $\geq T$ ;
- c) Segue-se o cálculo dos valores médios dos níveis digitais  $\mu_1$  e  $\mu_2$  respectivamente para as regiões C1 e C2 usando uma distribuição Gaussiana;
- d) Calcula-se um novo T:  $T = (\mu_1 + \mu_2)/2$ ;
- e) Executa-se iterativamente o primeiro e o quarto passo até que a diferença de  $T$  seja menor do que o parâmetro especificado.

A literatura apresenta variações do processo ISODATA, mas que são equivalentes se considerarmos a estrutura (MOIK, 1980; MEMARSADEGHI et al, 2007).

#### 4. ÍNDICE IMAGE QUALITY INDEX (IQI)

O índice IQI (WANG e BOVIK, 2002) avalia de forma estatística a qualidade geral de uma imagem. Um resultado final é gerado a partir do produto da combinação de três fatores: perda de correlação, distorção da luminosidade e distorção de contraste. Neste teste a qualidade de uma imagem é avaliada mediante uma combinação de fatores e seus produtos, obtidos matematicamente pela fórmula 7.

$$Q = \frac{\sigma_{xy}}{\sigma_x \sigma_y} \cdot \frac{2\bar{x}\bar{y}}{(\bar{x})^2 + (\bar{y})^2} \cdot \frac{2\sigma_x \sigma_y}{\sigma_x^2 + \sigma_y^2} \quad (7)$$

Onde (RIBEIRO et al, 2013):

$\sigma_{xy}$  = covariância de x e y

$\sigma_x$  e  $\sigma_y$  = variância de x e y  $\bar{x}$  e  $\bar{y}$  = média de x e média de y

$\sigma_x^2$  e  $\sigma_y^2$  = desvio padrão de x e desvio padrão de y

Desta forma, avalia-se matematicamente os resultados dos processos de descompactação de imagens MrSID e JPEG2000, por meio da análise mediante o índice IQI, numa rotina do programa MATLAB ©, considerando-se como referência para avaliação as imagens originais e as imagens compactadas por meio dos processos supracitados e posteriormente descompactadas.

#### 5. METODOLOGIA

##### 5.1 MATERIAIS

- Imagens multiespectrais do satélite QuickBird, com resolução radiométrica de 16 *bits*.
- Software ERDAS IMAGINE © ERDAS Inc.
- Software MATLAB © The MathWorks Inc.

As figuras 3 e 4, representam por meio de composições verdadeira cor (R banda 3, G banda 2 e B banda 1), as duas imagens utilizadas nas análises realizadas neste trabalho.



Figura 3 - Composição R3G2B1: Área 1



Figura 4 - Composição R3G2B1: Área 2

##### 5.2. MÉTODOS

Inicialmente as 2 imagens multiespectrais originais do satélite QuickBird foram separadas em suas diferentes bandas espectrais: infravermelho próximo (banda 4), vermelho

(banda 3), verde (banda 2) e azul (banda 1), por meio do software ERDAS IMAGINE ©, seguindo-se a compactação lossless destes diferentes canais utilizando-se dos processos JPEG2000 e MrSID. Posteriormente, as imagens compactadas foram transformadas para o formato de origem “.tif”. Nos primeiros experimentos realizados, as imagens referência (imagens separadas originais) foram comparadas mediante o índice IQI, com as imagens teste (imagens compactadas e posteriormente exportadas para “.tif”). Esta avaliação, denominada de “Análise 1”, foi realizada conforme o diagrama de blocos demonstrado na Figura 5.

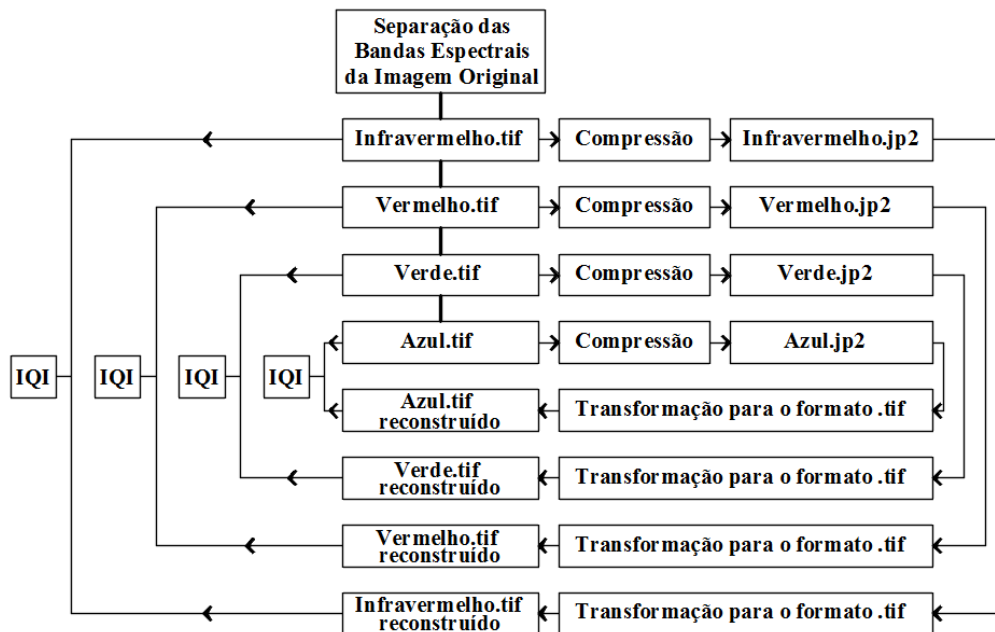


Figura 5 - Análise 1 (Comparação IQI das imagens recuperadas).

Seguiu-se a análise comparativa entre as imagens temáticas geradas pelo processo ISODATA a partir das imagens não codificadas e imagens codificadas JPEG2000. O processo ISODATA caracteriza-se pela utilização dos valores digitais numéricos para formações de *clusters* com base na distância espectral mínima e a consequente classificação automática da imagens, como detalhado no referencial teórico.

Desta forma escolheu-se este classificador para esta avaliação que realizou-se conforme o diagrama de blocos demonstrado na Figura 6. Desta forma representa-se o fluxo de “Análise 2”.

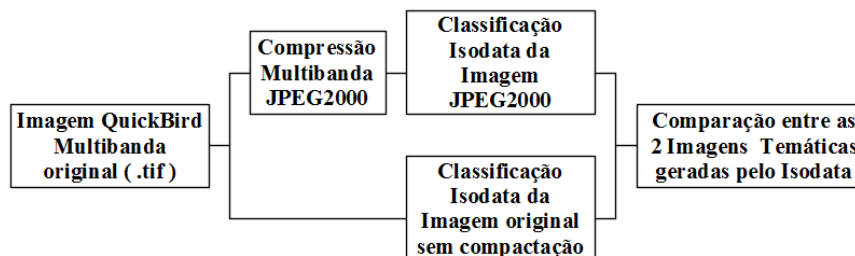


Figura 6 - Análise 2 (Comparação entre as imagens temáticas).

Assim, as imagens QuickBird representadas nas Figuras 3 e 4 foram compactadas, partindo-se das matrizes no formato “.tif” originais multiespectrais. Posteriormente, o processo ISODATA implementado pelo software ERDAS IMAGINE © foi aplicado a imagem .tif multibanda original sem compactação e a imagem multibanda compactada, utilizando-se de parâmetros iguais para classificação. Os resultados gerados pelo classificador foram submetidos a comparação IQI em ambiente MATLAB ©.

## 6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 6.1 ANÁLISE 1

Os resultados obtidos com o processamento da rotina IQI no programa MATLAB © foram iguais a 1 em todos os testes. O valor máximo para o IQI é 1 e demonstra coincidência total em relação aos três fatores da formulação desenvolvida por Wang e Bovik (2002), que são a correlação, a perda de luminosidade e a distorção do contraste.

Desta forma demonstra-se a ausência de degradação numérica digital e correlação total, obtendo-se imagens sem perda de informação. Nestes processos caracteriza-se a utilização de filtros que permitem uma compressão sem perdas e a realização de um processo de mudança de codificação de dados das matrizes.

Como resultado, um processo de recuperação sem perdas, apresenta-se em forma de gráfico conforme demonstra-se na Figura 7. As dimensões X e Y, podem variar de acordo com as dimensões das matrizes em análise.

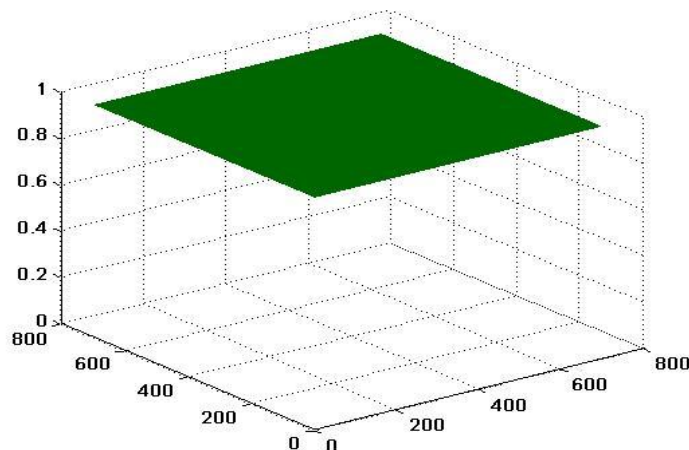


Figura 7 - Gráfico resultante das comparações em ambiente Matlab.

A tabela 1, demonstra o tamanho dos arquivos gerados pelos processos *lossless* JPEG2000 e MrSID. Verifica-se que as compactações aplicadas apresentam diferentes capacidades de codificação da informação original com diferentes tamanhos de arquivos.

Tabela 1 - Tamanhos dos arquivos compactados

	16 bits Fig. 3 - Área 1				16 bits Fig. 4 - Área 2			
	I	R	G	B	I	R	G	B
.sid	42,01 MB	27,85 MB	30,39 MB	23,66 MB	0,67 MB	0,57 MB	0,58 MB	0,50 MB
.jp2	41,28 MB	26,87 MB	29,45 MB	22,50 MB	0,66 MB	0,562 MB	0,566 MB	0,49 MB

Fonte: Os autores (2018)

## 6.2 ANÁLISE 2

Em relação aos resultados obtidos com a aplicação dos testes apresentados no fluxograma representado na figura 6, obteve-se o valor igual a 1 para todas as comparações. Com o índice igual a 1, demonstra-se que a correlação entre as imagens temáticas que resultaram das classificações ISODATA das imagens multibanda originais e as imagens temáticas resultantes das imagens multibanda codificadas “.jp2” é total.

Adicionalmente, realizaram-se avaliações por meio da técnica “Compare” no programa ERDAS IMAGINE © e “Compare” no programa MATLAB ©, que retornaram respectivamente em todos os casos: “FILES ARE EQUAL!” e “The files are identical”.

## 7. CONCLUSÕES

Processos de classificação pixel a pixel como o ISODATA utilizam-se dos valores digitais da imagem para determinação de regiões específicas ou classes espectrais. Assim, a ausência de alteração destes valores pode ser considerado um fator desejado para realizar-se mapeamentos mais fidedignos em processos automáticos. Com os resultados obtidos, conclui-se que o processo ISODATA pode ser aplicado partindo-se de uma imagem original ou de uma imagem original com codificação *lossless* JPEG2000, obtendo-se o mesmo resultado.

Os resultados da aplicação da rotina IQI estão em conformidade com os resultados obtidos nas implementações “Compare” do software ERDAS © e do software Matlab ©. Em ambos os casos demonstrou-se ausência de alteração dos valores digitais dos pixels das imagens após a recuperação do arquivo “.tif” ou nas imagens temáticas originadas nos processos de classificação. Desta forma valida-se os processos de reversão implementados, mantendo-se a radiometria 16 bits original.

O processo JPEG2000 apresentou maior capacidade de codificação quando comparada a tecnologia MrSID, para todas as análises realizadas, apresentando arquivos de tamanhos menores em MB, conforme a tabela 1 na seção resultados.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Universidade Estadual de Ponta Grossa, a Pontícia Universidade Católica do Paraná, ao professor Jorge da Silva Centeno e a empresa DigitalGlobe.



## REFERÊNCIAS

- ANGELOPOULOU, M.E., et al. *Implementation and Comparison of the 5/3 Lifting 2D Discrete Wavelet Transform Computation Schedules on FPGAs*. Journal of Signal Processing Systems archive, 2008, v. 51.
- CENTENO, J.A.S. *Sensoriamento Remoto e Processamento de Imagens Digitais*. Curitiba: Editora Universidade Federal do Paraná, 2004, 2 ed., 168 p.
- CHEN, D et al. *Invertible update-then-predict integer lifting wavelet for lossless image compression*. EURASIP Journal on Advances in Signal Processing, 2017:8
- DAUBECHIES, I. *Ten Lectures on Wavelets*. CBMS-NSF Regional Conference Series in Applied Mathematics, 1992, v. 61.
- DAUBECHIES, I., SWELDENS, W. *Factoring Wavelet Transforms Into Lifting Steps*. Journal Fourier Analysis Appl., 1996, v. 4.
- EL-ZAART, A. *Images Thresholding Using Isodata Technique with Gamma Distribution*. Pattern Recognition and Image Analysis, 2010, v. 20.
- ERDAS, Inc. *ERDAS Field Guide*. Technical Documentation, 2013.
- GONZALES, R.C.E., WOODS, R. E. *Processamento Digital de Imagens*. São Paulo: Editora Pearson Prentice Hall, 3. ed., 2010. 624p.
- GRAPS, A. *An Introduction to Wavelets*. IEEE Computational Science and Engineering, 1995, v. 2.
- LE GALL, D., TABATABAI A. *Sub-band Coding of Digital Images Using Symmetric Short Kernel Filters and Arithmetic Coding Techniques*. Int. Conf. Acoustic, Speech, Signal Processing, 1988.
- MEMARSADEGHI, N., et al. *A Fast Implementation Of The Isodata Clustering Algorithm*. International Journal of Computational Geometry & Applications, 2007, v. 17.
- MOIK, J.G. *Digital Processing of Remotely Sensed Images*. Washington, DC, U.S.: National Aeronautics and Space Administration, Government Printing Office, 1980. n. 431.
- RIBEIRO, S.R.A., et al; *Segmentação Multiresolução em Imagens de Alta Resolução Espacial*. Revista Brasileira de Cartografia, 2013, n. 65/1.
- STRANG, G. NGUYEN, T. *Wavelets and Filter Banks*. Wellesley-Cambridge Press, 1997.
- UNSER, M., BLU, T. *Mathematical Properties of the JPEG2000 Wavelet Filters*. IEEE Transactions On Image Processing, 2003, v. 12
- WANG, Z., BOVIK, A.C. *A Universal Image Quality Index*. IEEE Signal Processing Letters, 2002, v. 10.