

Quantização de Cores Aplicada a Segmentação de Imagens Coloridas

Pedro Paulo Libório Lima do Nascimento¹, César Alberto Bravo pariente¹,
Gabriel de Mello Loureiro¹, Luiz Mauricio Nascimento Silva¹, Rui Barbosa dos
Santos Júnior¹

¹Departamento de Ciências Exatas e Tecnológicas – Universidade Estadual de Santa Cruz (UESC) – Ilhéus, BA – Brasil.

pedroliborio@live.com, cesarabravop@ieee.org,
gabrielmello@loureiro@hotmail.com, {zuil.mauriciocomp, rui.comp}@gmail.com

Abstract. *The color quantization is an important technique in many graphics and image processing. The most common application of the quantization process is to reduce the number of colors that represent an image with minimal perceptual loss. However, in this paper, we propose the use of this technique in order to segmentation a set of images consisting of transverse slices of an adult human being belonging to the project Visible Human Project. The grouping of similar colors allowed us to get some structures of the human body. We apply different algorithms known in the literature and get different results which were discussed.*

Resumo. *A quantização de cores é uma técnica importante em muitas aplicações gráficas e de processamento de imagens. A aplicação mais comum do processo de quantização consiste em reduzir o número de cores que representam uma imagem com a mínima perda perceptual. Porém, neste artigo, nós propomos o uso desta técnica com a finalidade de segmentar um conjunto de imagens que consistem em fatias transversais de um ser humano adulto pertencentes ao projeto Visible Human Project. O agrupamento de cores semelhantes nos permitiu obter algumas estruturas do corpo humano. Nós aplicamos diferentes algoritmos conhecidos na literatura e obtemos diferentes resultados que foram discutidos.*

1. Introdução

As imagens obtidas do mundo real tipicamente contêm milhares de cores que tornam o processo de armazenamento e representação problemáticos. Neste contexto a quantização de cores é usada como uma etapa de pré-processamento em várias tarefas e aplicações de processamento gráfico e de imagens [Sharma 2003]. O processo de quantização de cores consiste em reduzir o número de cores em uma imagem digital com a mínima distorção possível.

No passado a quantização era muito usada devido às limitações dos dispositivos de exibição de imagens. Estes dispositivos não tinham a capacidade de manipular mais de 16 milhões de cores em imagens de 24 bits. Atualmente dispositivos de exibição que manipulam imagens de 24 bits se tornaram mais comuns, no entanto, a quantização de cores ainda possui seu valor como etapa de pré-processamento de imagens [Burger and

Burge 2009]. Este processo diminui os requisitos de espaço para armazenamento de dados e transmissão (recursos de aplicações multimídia).

As aplicações utilizam a quantização de cores para diferentes fins como: compressão [Yang and Tsai 1998], segmentação [Deng and Manjunath 2001], localização/detecção de texto [Sherkat et al. 2005], análise de texturas coloridas [Sertel et al. 2008], watermarking [Kuo and Cheng 2007], renderização de imagens sintetizadas por computador [Wang et al. 2010], e recuperação baseada em conteúdo [Deng et al. 2001].

Neste trabalho nós propomos a aplicação de diferentes algoritmos de quantização de cores com a finalidade de segmentar um conjunto de imagens que consistem em fatias transversais de um ser humano adulto, pertencentes ao projeto Visible Human Project [Ackerman 1995]. Revisamos a literatura de quantização em busca dos principais algoritmos de quantização de cores, e verificamos qual deles possui melhores resultados em termos de segmentação de imagens coloridas.

O resto do artigo está organizado como segue. A seção 2 descreve a revisão da literatura existente de quantização de cores em imagens digitais. A seção 3 apresenta os materiais e métodos utilizados. A seção 4 aborda uma discussão dos resultados obtidos. A seção 5 descreve as conclusões e os trabalhos futuros. Finalmente, a seção 6 apresenta as referências.

2. Revisão da Literatura

Nesta seção abordamos as principais técnicas de quantização existentes e a sua colaboração para o campo de pesquisa de quantização de cores. Somente na seção de métodos que serão abordadas cada técnica a fundo, elucidando os conceitos matemáticos envolvidos e suas peculiaridades.

Em um caso geral, a imagem original I é constituída de um conjunto de m cores diferentes $C = \{c_1, c_2, \dots, c_m\}$ onde m pode ser algumas ou milhares de cores. De modo geral o máximo valor possível de $m = 2^{24}$ para imagens coloridas 3x8 bits. O objetivo principal é substituir as cores originais por um conjunto $C' = \{c'_1, c'_2, \dots, c'_n\}$ de n cores onde $n < m$. Em muitos trabalhos o conjunto de cores é denominado paleta de cores [Burger and Burge 2009] ou gamute de cores [Gomes and Velho 2008]. A dificuldade está em propor uma técnica que reduza a paleta de cores C para C' com o menor dano a imagem resultante.

Na literatura existente os algoritmos são desenvolvidos seguindo duas concepções: métodos dependentes da imagem e métodos independentes da imagem. Os métodos dependentes da imagem utilizam uma paleta de cores definida a partir da distribuição de cores da imagem. Os métodos independentes da imagem definem uma paleta de cores que não possui qualquer relação com distribuição de cores da imagem [Sharma 2003].

2.1 Métodos Independentes da Imagem

As técnicas que independem da imagem podem ser concebidas como uma generalização da quantização uniforme onde as escolhas das regiões de quantização não possuem o mesmo tamanho, mas não dependem da imagem. O método de [Kurz 1983] subdivide o espaço de cor RGB de modo que a distância entre duas regiões adjacentes são constantes quanto à percepção.

De modo geral estes métodos são computacionalmente mais eficientes e mais simples de implementar do que os métodos que dependem da imagem, isto porque a escolha da paleta de cores representativa é realizada independente da frequência ou outras

características da imagem. No entanto, estes métodos são pouco eficazes, uma vez que estes tem uma tendência a associar tons a regiões onde poucos tons residem na imagem original. Por esta razão métodos dependentes da imagem são mais utilizados [Sharma and Trussell 1997].

2.2 Métodos Dependentes da Imagem

Neste escopo, os algoritmos de quantização podem ser divididos em duas famílias: métodos post-clustering que definem um conjunto de k cores representativas e as aperfeiçoam através de um processo iterativo; métodos pré-clustering que definem uma partição do conjunto C em K clusters e associam uma cor representante $c \in C$ a cada cluster. Cada cluster $(C_i)_{i \in \{1, \dots, K\}}$ de uma partição é definido baseado em propriedades estatísticas como a média, variância ao longo de um dos eixos coordenados, ou sua matriz de covariância.

Nas últimas três décadas foram desenvolvidos diversos algoritmos e técnicas de quantização de cores. Na categoria de algoritmos pré-clustering existem diversos algoritmos como median-cut [Heckbert 1982], populosity [Heckbert 1982], octree [Gervautz and Purgathofer 1988], variance-based [Wan et al. 1990].

Recentemente, muitas pesquisas têm sido desenvolvidas sobre os algoritmos post-clustering. Um trabalho denominado pairwise clustering [Velho et al. 1997] foi desenvolvido por pesquisadores do IMPA e apresentou resultados satisfatórios sendo amplamente citado nas pesquisas recentes na área. Celebi tem desenvolvido diversas pesquisas com respeito ao uso do k-means e suas diversas formas de inicialização como um método de quantização de cores [Celebi 2011]. Em um trabalho mais recente Celebi alterou o modo como as partições são selecionadas utilizando o modelo de algoritmo do k-means, isso permitiu a diminuição da soma do erro quadrático, do inglês (Sum Squared Error - SSE) [Marshall and Celebi 2012]. Estes métodos retornam resultados de maior qualidade comparado aos algoritmos pré-clustering, porém com um tempo de processamento maior.

3. Materiais e Métodos

3.1 Materiais

3.1.1 Conjunto de Imagens

O conjunto de dados utilizado neste trabalho é o resultado do projeto Visible Human Project desenvolvido pela United States National Library of Medicine – NLM, (Biblioteca Nacional de Medicina dos Estados Unidos). Este material está disponível através da assinatura de um acordo para fins de pesquisa. As imagens axiais anatômicas possuem resolução de 2048 pixels por 1216 pixels, e cada pixel possuem uma profundidade de 24 bits, 8 bits por canal (RGB). Cada imagem possui 7,5 MB de tamanho [Ackerman 1995].

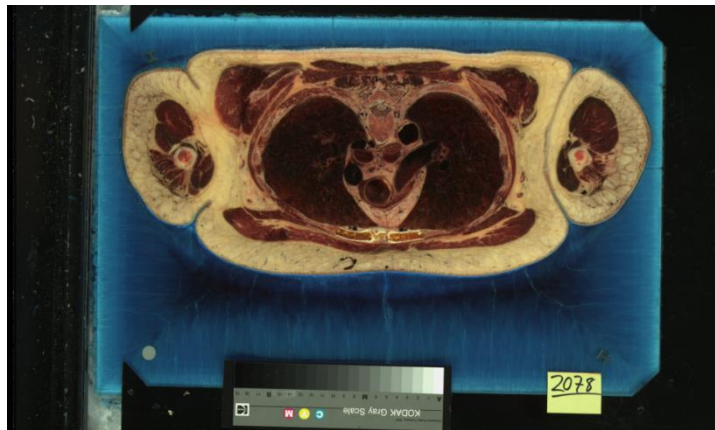


Figura 1. Fatia 2078 do conjunto de dados Visible Human Project.

3.1.2 Implementação dos Algoritmos e Hardware

Os algoritmos de quantização foram implementados com a linguagem de programação C# e a biblioteca GDI+. Esta biblioteca é estruturada com métodos que possibilitam acesso e manipulação das características dos pixels das imagens tais como as cores associadas, e a taxa de bits utilizados na representação por canal (RGB). Estas são as informações básicas utilizadas pelos métodos de quantização. Os algoritmos foram executados em uma máquina Intel(R) Core(TM) i7-3632QM E5520 2.20 GHz.

3.2 Métodos

3.2.1 Popularity

Este algoritmo seleciona as K cores mais frequentes na imagem de entrada como as cores representativas do conjunto de cores C' . É o algoritmo mais simples de implementar e também o mais popular. No entanto, uma cor menos frequente (mas possivelmente importante) pode se perder quando não é suficientemente semelhante a qualquer uma das n cores mais frequentes [Heckbert 1982].

3.2.2 Median-cut

Este método utiliza uma etapa de pré-quantização na qual um histograma $32 \times 32 \times 32$ é construído contendo os valores dos pixels reduzidos de 8 para 5 bits por canal através de uma quantização uniforme. Este histograma é recursivamente dividido até K caixas serem obtidas. Em cada passo, a caixa que contém o maior número de pixels associados é dividida no eixo de maior tamanho no ponto médio, ao final restam subcaixas de aproximadamente o mesmo número de pixels [Heckbert 1982]. Os centroides das K caixas são definidos no conjunto C' de novas cores da imagem.

3.2.3 Octree

Este método consiste de duas fases. Primeiro uma octree (estrutura de dados em árvore em que cada nó interno possui até oito nós filhos) é construída para representar a distribuição de cores da imagem de entrada. [Gervautz and Purgathofer 1988] Partindo da base da árvore os nós são fundidos até que K cores são obtidas.

3.2.4 Greedy Orthogonal Bipartioning

Este método possui características semelhantes ao algoritmo Median-cut com a diferença que em cada iteração a caixa com a maior variação ponderada é dividida pelo eixo que minimiza a soma da variância em ambos os lados [Wu 1991].

3.2.5 NeuQuant

Este método utiliza um self-organizing map (rede neural de Kohonen) com 256 neurônios. Um subconjunto aleatório de N/f pixels é usado para a fase de treinamento e aos pesos finais dos neurônios são selecionados como as cores da nova paleta [Dekker 1994]. Nos experimentos utilizamos a configuração de maior qualidade ($f = 1$).

3.2.6 Bisecting K-means

É um algoritmo de clusterização hierárquica. O algoritmo começa com um único cluster que contém todas as N cores da imagem de entrada. Em cada iteração, o cluster com o maior valor SSE é dividido em dois subclusters pela seleção aleatória de dois centros a partir do conjunto de pontos iniciais e, em seguida, algumas iterações do k-means são aplicadas até que K subclusters sejam obtidos [Marshall and Celebi 2012].

3.2.7 Eficácia da Quantização: MSE

A eficácia da quantização envolve a computação da distorção entre a imagem original e a imagem quantizada. Na literatura é comum utilizar métricas de distância. A medida de distorção mais comum na literatura é o erro médio quadrático, (Mean Squared Error - MSE). Em suma, o MSE fornece a distorção média baseada na norma euclidiana L_2^2 [Sharma 2003].

$$MSE(I_o, I_Q) = \frac{1}{HW} \sum_{h=1}^H \sum_{w=1}^W \|i(h, w) - q(h, w)\|_2^2$$

Onde, I_o e I_Q são respectivamente a imagem original e a quantizada; HW fornece o total de pixels das imagens I_o e I_Q , $i(h, w)$ e $q(h, w)$ fornecem os valores RGB de um pixel na posição (h, w) , da imagem original e quantizada respectivamente.

3.2.8 Quantização de Cores no Contexto da Segmentação

O processo de segmentação consiste em dividir uma imagem em regiões que possuem o mesmo conteúdo no contexto de uma aplicação. Para isto a segmentação pode ser baseada em descontinuidades ou em similaridades dos diferentes aspectos da imagem [Azevedo and Conci 2003]. Neste trabalho nós utilizamos como aspecto de similaridade a propriedade da cor associada a um dado pixel da imagem do conjunto de dados. O modo como às cores semelhantes são associadas varia, a depender do método de quantização utilizado.

Aplicamos os algoritmos de quantização que desenvolvemos juntamente com os algoritmos mais relevantes da literatura, em uma das imagens do Visible Human Project segmentando estruturas, como pulmões, coração, costelas e a camada da gordura.

4. Resultados

Conseguimos segmentar regiões como coração, pulmões, costelas, e a camada de gordura. Aplicamos o processo de quantização em toda a imagem da Figura 1 utilizando todos os algoritmos acima citados, no entanto, devido à alta resolução das imagens deste trabalho isolamos a região do coração e a apresentamos como resultado principal.

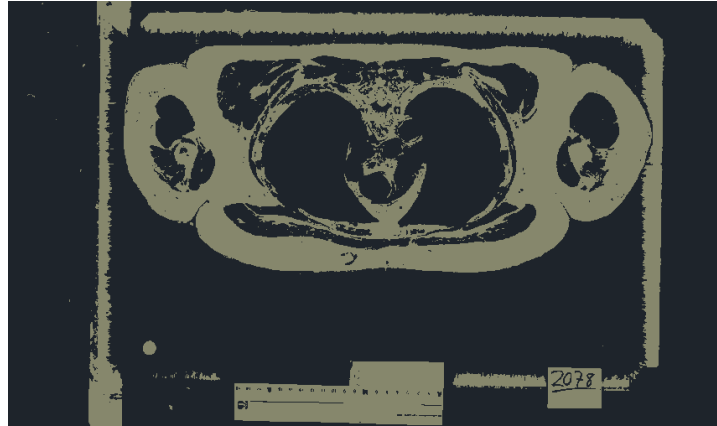


Figura 2. Resultado da aplicação do algoritmo de Wu's GOB (subseção 3.2.4).

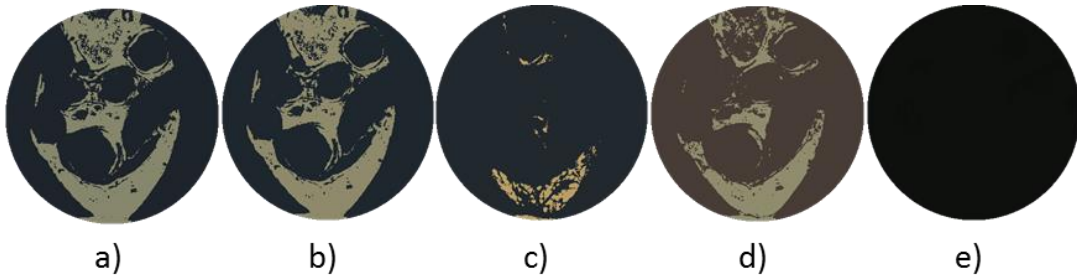


Figura 3. Quantização a 2 cores: a) Wu'sGOB, b) BK-means, c) Octree, d) Median-Cut, e) Populosity

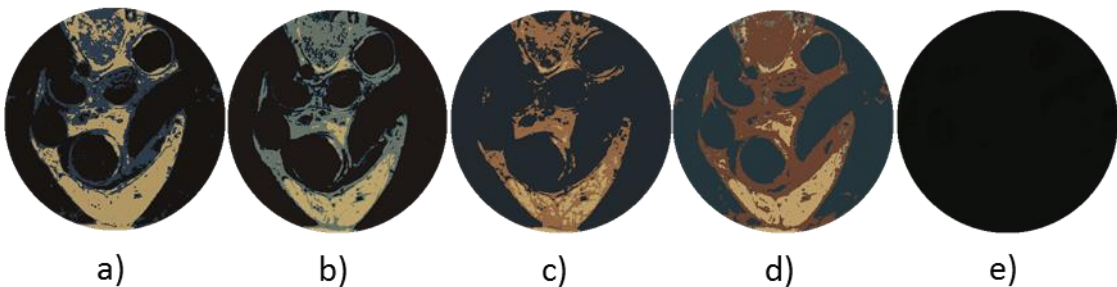


Figura 4. Quantização a 4 cores: a) Wu'sGOB, b) BK-means, c) Octree, d) Median-Cut, e) Populosity

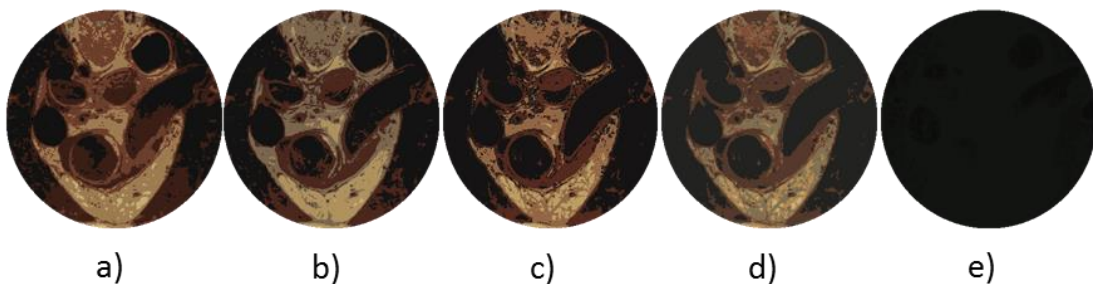


Figura 5. Quantização a 8 cores: a) Wu'sGOB, b) BK-means, c) Octree, d) Median-Cut, e) Populosity

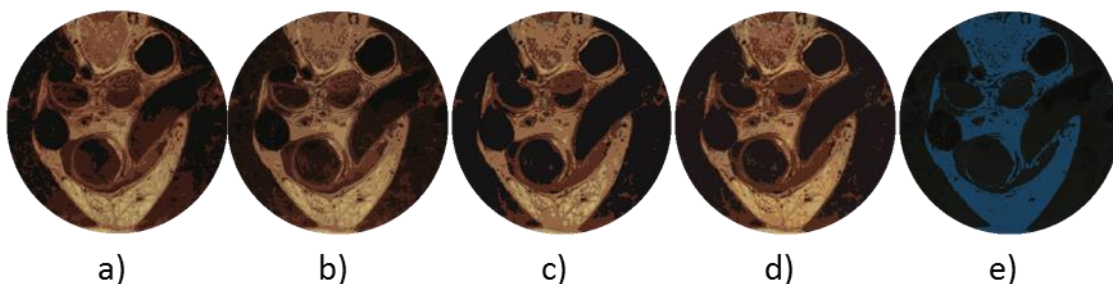


Figura 6. Quantização a 16 cores: a) Wu'sGOB, b) BK-means, c) Octree, d) Median-Cut, e) Populosity

O cálculo do MSE nos permitiu eleger o melhor quantizador em termos de segmentação, uma vez que, um baixo valor de MSE indica maior fidelidade a imagem original. Um outro fator que utilizamos para definir o melhor quantizador é a quantidade de pixels detectada (o que define a área segmentada). Os algoritmos Wu'sGOB e o BK-means destacaram-se como quantizadores para fins de segmentação.

Tabela 1. Valores MSE dos algoritmos para uma quantização a K cores.

Métodos	K = 2	K = 4	K = 8	K = 16	K = 32	K = 64	K = 128	K = 256
Wus'GOB	21,35	33,28	56,82	109,29	227,65	557,06	1.408,58	3.460,83
BK-Means	22,58	35,86	61,94	121,34	246,69	638,13	1.458,07	3.426,28
Octree	64,88	116,89	192,12	405,16	438,98	3.364,69	4.368,86	5.780,94
MedianCut	68,5	100,18	174,1	310,48	532,2	1.085,24	2.616,27	4.919,68
Populosity	326,75	1.232,59	2.111,69	2.492,21	7.555,85	14.969,99	16.132,89	16.134,20

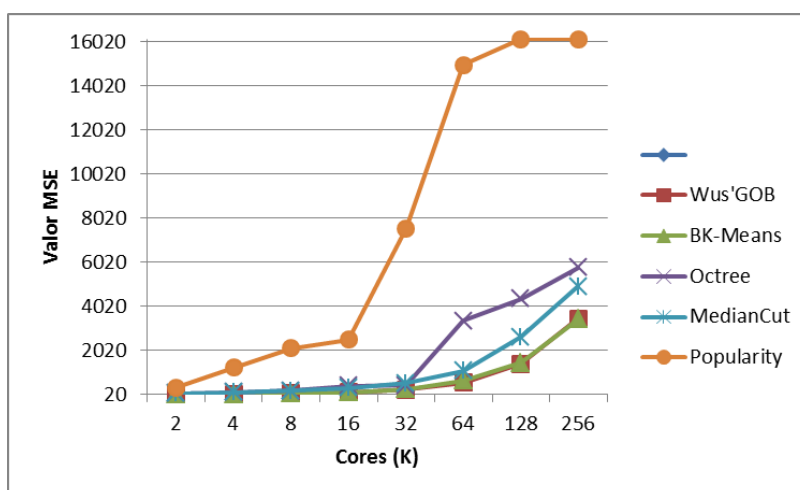


Figura 7. Eficácia dos algoritmos medida em termos do MSE.

Em termos da quantidade de pixels observamos que um baixo valor de MSE juntamente com um alto valor de pixels detectados, desconsiderando os tons expúrios (próximos do preto); permitiram mensurar a eficácia da quantização. Novamente os algoritmos Wu's

GOB e BK-means destacaram-se mapeando uma quantidade relevante de pixels como mostrado na tabela 2.

Tabela 2. Pixels Detectados para quantizações a 2, 4, 8 e 16 cores.

Métodos	K = 2	K = 4	K = 8	K = 16	Média
Wus'GOB	24479	37038	61629	61659	46201,25
BK-Means	24471	27545	50793	79550	45589,75
Octree	3608	19695	37124	134242	48667,25
MedianCut	15476	40079	43483	45656	36173,5
Populosity	84397	83016	84967	84967	337347

O algoritmo de populosity possui uma característica ruim devido a sua forma de seleção direta. Como mencionado na subseção 3.2.1 observamos que para poucas cores o algoritmo não consegue diferenciar cores de alta frequência, porém distantes. Os resultados mostraram que para segmentar a região do coração o algoritmo necessita de 16 cores. Enquanto os demais algoritmos apresentam resultados com apenas 2 cores.

5. Conclusões e Trabalhos Futuros

Observamos que os algoritmos de quantização de fato podem ser utilizados como bons segmentadores devido a sua forma eficiente de associar cores semelhantes. Isso só foi possível graças ao uso de bons critérios de relevância como a distância entre as cores no espaço RGB, estatísticas como a média, variância ao longo de um dos eixos coordenados, ou sua matriz de covariância. Como trabalhos futuros, vamos comparar os algoritmos de quantização aplicados à segmentação com os algoritmos de segmentação existentes e de maior importância na literatura de segmentação em termos de eficácia e eficiência.

6. Referencias

- Ackerman, Mi. J. (1995). Accessing The Visible Human Project. *D-Lib Magazine*,
- Azevedo, E. and Conci, A. (2003). *Computação Gráfica: Geração de Imagens*. Rio de Janeiro: Campus.
- Burger, W. and Burge, M. J. (2009). *Principles of Digital Image Processing*. London: Springer London. p. 341
- Celebi, M. E. (mar 2011). Improving the performance of k-means for color quantization. *Image and Vision Computing*, v. 29, n. 4, p. 260–271.
- Dekker, A. (1994). Kohonen neural networks for optimal colour quantization. *Network: Computation in Neural Systems* 5 (3), p. 351–367.

- Deng, Y. and Manjunath, B. S. (2001). Unsupervised segmentation of color-texture regions in images and video. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, v. 23, n. 8, p. 800–810.
- Deng, Y., Manjunath, B. S., Kenney, C., Moore, M. S. and Shin, H. (jan 2001). An efficient color representation for image retrieval. *IEEE transactions on image processing : a publication of the IEEE Signal Processing Society*, v. 10, n. 1, p. 140–7.
- Gervautz, M. and Purgathofer, W. (1988). *A Simple Method for Color Quantization: Octree Quantization*. Springer Berlin Heidelberg. p. 219–231
- Gomes, J. and Velho, L. (2008). *Fundamentos de Computação Gráfica*. Rio de Janeiro: IMPA. p. 603
- Heckbert, P. (1 jul 1982). Color image quantization for frame buffer display. *ACM SIGGRAPH Computer Graphics*, v. 16, n. 3, p. 297–307.
- Kuo, C.-T. and Cheng, S.-C. (dec 2007). Fusion of color edge detection and color quantization for color image watermarking using principal axes analysis. *Pattern Recognition*, v. 40, n. 12, p. 3691–3704.
- Kurz (1983). Optimal color quantization for color displays. In *IEEE Computer Vision and Pattern Recognition Proceedings*.
- Marshall, S. and Celebi, M. E. (2012). Comparison of Conventional and Bisecting K-Means Algorithms on Color Quantization. In *Signal and Image Processing*. . ACTAPRESS. <http://www.actapress.com/PaperInfo.aspx?paperId=454643>, [accessed on Mar 20].
- Sertel, O., Kong, J., Catalyurek, U. V., et al. (8 may 2008). Histopathological Image Analysis Using Model-Based Intermediate Representations and Color Texture: Follicular Lymphoma Grading. *Journal of Signal Processing Systems*, v. 55, n. 1-3, p. 169–183.
- Sharma, G. (2003). *Digital Color Imaging Handbook*. London: CRC Press LLC. p. 816
- Sharma, G. and Trussell, H. J. (jan 1997). Digital color imaging. *IEEE transactions on image processing : a publication of the IEEE Signal Processing Society*, v. 6, n. 7, p. 901–32.
- Sherkat, N., Allen, T. and Wong, W. S. (22 jul 2005). Use of colour for hand-filled form analysis and recognition. *Pattern Analysis and Applications*, v. 8, n. 1-2, p. 163–180.
- Velho, L., Gomes, J. and Sobreiro, M. V. R. (1997). Color image quantization by pairwise clustering. In *Proceedings X Brazilian Symposium on Computer Graphics and Image Processing*. . IEEE Comput. Soc.

- Wan, S. J., Prusinkiewicz, P. and Wong, S. K. M. (feb 1990). Variance-based color image quantization for frame buffer display. *Color Research & Application*, v. 15, n. 1, p. 52–58.
- Wang, S., Cai, K., Lu, J., Liu, X. and Wu, E. (8 apr 2010). Real-time coherent stylization for augmented reality. *The Visual Computer*, v. 26, n. 6-8, p. 445–455.
- Wu, X. (1991). Efficient Statistical Computations for Optimal Color Quantization. *Graphics Gems Volume II*. Academic Press, Inc. p. 126–133.
- Yang, C.-K. and Tsai, W.-H. (feb 1998). Color image compression using quantization, thresholding, and edge detection techniques all based on the moment-preserving principle. *Pattern Recognition Letters*, v. 19, n. 2, p. 205–215.