

Recoloração de Imagens para Portadores de Deficiência na Percepção de Cores

Giovane R. Kuhn¹, Manuel M. Oliveira (Orientador)¹

¹Instituto de Informática – Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS)
Caixa Postal 15.064 – 91.501-970 – Porto Alegre – RS – Brasil

{grkuhn,oliveira}@inf.ufrgs.br

Abstract. *This work presents an efficient and automatic image-recoloring technique for dichromats that highlights important visual details that would otherwise be unnoticed by these individuals. A paired-comparison evaluation was performed with color vision deficient volunteers and its results indicate that the proposed technique produces superior results when compared to previous automatic recoloring techniques. Another contribution of this work is an efficient contrast-enhancement algorithm for color-to-grayscale image conversion that uses both luminance and chrominance information. It also introduces an error metric for evaluating the quality of color-to-grayscale transformations.*

Resumo. *Este trabalho apresenta um método eficiente e automático de recoloração de imagens para dicromatas que destaca detalhes visuais importantes que poderiam passar despercebidos por estes indivíduos. Os resultados desta técnica foram avaliados por voluntários com deficiência na percepção de cores utilizando o método de comparação par a par. Estas avaliações indicam que a técnica proposta produz resultados superiores quando comparados com os resultados das técnicas de recoloração anteriores. Outra contribuição deste trabalho é um método eficiente para realce de contraste durante a conversão de imagens coloridas para tons de cinza, que usa tanto informação de luminância como de crominância. O trabalho propõe ainda uma métrica de erro para avaliar a qualidade dos algoritmos de conversão de imagens coloridas para tons de cinza.*

1. Introdução

Indivíduos com visão normal de cores, chamados *tricromatas*, apresentam três tipos de cones (foto-receptores na retina que estão associados à sensação de cor). Pessoas com ausência de um dos tipos de cones são ditas *dicromatas*. Estas podem ser ainda classificadas como *protanópsicos*, *deuteranópsicos*, e *tritanópsicos*, caso os cones ausentes sejam aqueles mais sensíveis às componentes de baixas, médias, ou altas frequências do espectro visível, respectivamente. Variações naturais de proteínas podem resultar em alterações nos foto-pigmentos dos cones, fazendo com que estes apresentem maior sensibilidade a uma faixa diferente do espectro [Sharpe et al. 1999]. Indivíduos que apresentam alterações na sensibilidade dos foto-pigmentos são chamados *tricromatas anômalos* e podem ainda ser ainda classificados como *protanômicos*, *deuteranômicos*, e *tritanômicos*. Uma situação muito mais rara é caracterizada por indivíduos portadores de apenas uma classe de cones ou completamente desprovidos destes, os quais são chamados *monocromatas*.

Algumas estimativas indicam que para a população masculina, aproximadamente 8% dos descendentes europeus, 4,17% dos asiáticos, e 2,61% dos africanos têm algum tipo de deficiência na percepção de cores (DPC) [Sharpe et al. 1999]. Para a população feminina, estes números são menores: 0,50%, 0,58%, e 0,54%, respectivamente. De acordo com estes números, estima-se que 200.000.000 (duzentos milhões) de indivíduos apresentem alguma alteração quanto à capacidade de percepção de cores.

A deficiência na percepção de cores impõe diversas limitações, principalmente para os indivíduos dicromatas e monocromatas. No caso de crianças, estas tendem a sentir-se frustradas por não conseguirem distinguir cores que elas são solicitadas a utilizar, e adultos tendem a enfrentar dificuldades na realização de tarefas diárias. A Figura 1 apresenta alguns resultados de trabalhos recentes na área de visualização científica, além das respectivas imagens simulando a percepção de um indivíduo dicromata. Note a dificuldade para o dicromata distinguir as cores utilizadas na representação do conjunto de dados, e obter o significado associado à estes dados.

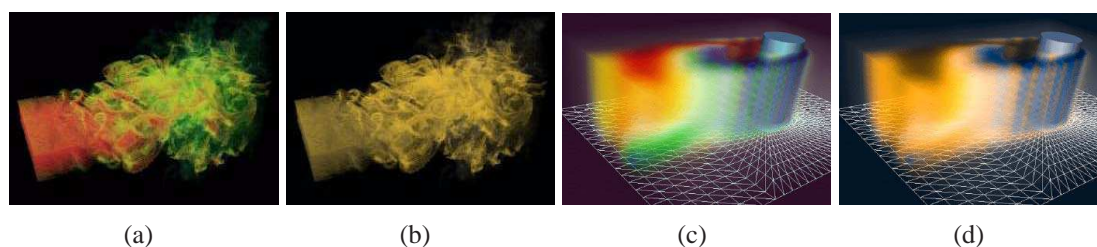


Figura 1. Exemplos em visualização científica: (a) Visualização da simulação de uma chama e (b) a percepção de um indivíduo deuteranópsico. (c) Simulação da dinâmica de um fluido e (d) como observada por um indivíduo protanópsico.

Recentemente, diversas técnicas foram propostas para recolorir imagem para dicromatas realçando os detalhes visuais não observados por estes indivíduos [Rasche et al. 2005]. Embora estas técnicas utilizem diferentes estratégias, elas abordam o problema potencialmente alterando todas as cores da imagem original. Por consequência, os resultados obtidos por estas técnicas têm aparência não natural para indivíduos com DPC. Além disso, elas apresentam alto custo computacional, não escalando em relação ao número de cores e tamanho das imagens de entrada. Este trabalho apresenta uma técnica eficiente e automática para recoloração de imagens para dicromatas que preserva, na medida do possível, a naturalidade das cores de entrada (Figura 2).

Apesar da baixa incidência de monocromatas na população mundial, a conversão de cores para escala de cinzas não deixa de ser um assunto importante. Por razões econômicas, boa parte dos livros e documentos ainda são impressos em “preto-e-branco”, fazendo com que as fotos e ilustrações incluídas sejam impressas em tons de cinzas. No entanto, os métodos tradicionais de conversão de cores para tons de cinzas consideram apenas a informação de luminância, desprezando toda a informação de crominância durante o processo. Como resultado, regiões claramente distinguíveis contendo cores isoluminantes são mapeadas para o mesmo tom de cinza. No intuito de minimizar estas limitações, algumas técnicas foram propostas para converter imagens coloridas em tons de cinza levando em conta tanto a informação de luminância quanto de crominância [Gooch et al. 2005,



Figura 2. Flores: (a) Imagem original. (b) Mesma imagem como percebida por um protanópsico. (c) Percepção de um protanópsico do resultado da técnica de Rasche et al. (2005). (d) Percepção de um protanópsico do resultado da nossa técnica. Note como a nossa técnica realça o contraste da imagem, alterando apenas as cores que são significativamente diferente entre tricromatas e dicromatas, preservando assim a naturalidade das cores (sob o ponto de vista dos dicromatas).

Grundland and Dodgson 2007, Neumann et al. 2007, Rasche et al. 2005]. Em geral, estas técnicas produzem bons resultados. Porém elas apresentam alto custo computacional e não preservam tons de cinzas originais [Gooch et al. 2005, Rasche et al. 2005], requirem intervenção do usuário [Neumann et al. 2007], ou realizam apenas uma análise local da imagem, não capturando assim diferenças entre cores espacialmente distantes [Grundland and Dodgson 2007]. Este trabalho apresenta um método eficiente para conversão de imagens coloridas em tons de cinzas que aborda estas limitações.

As principais contribuições deste trabalho incluem:

1. Uma técnica eficiente e automática de recoloração de imagem para dicromatas que preserva, na medida do possível, a naturalidade das cores da imagem original (Seção 3.1). Uma extensão desta técnica que exagera o contraste entre as cores, que pode ser útil em aplicações de visualização científica, bem como mapas e gráficos (Seção 3.2);
2. Uma técnica eficiente para realce de contraste durante o processo de conversão de imagem em cores para tons de cinza usando tanto a informação de luminância quanto de crominância (Seção 4);
3. Uma métrica de erro para avaliar a qualidade do resultados gerados por algoritmos de conversão de imagem em cores para tons de cinzas (Seção 4.1).

É importante ressaltar que, devido a restrição de espaço, este artigo não apresenta detalhadamente os algoritmos propostos e os resultados obtidos. O trabalho completo [Kuhn 2008], bem como publicações provenientes desta dissertação [Kuhn et al. 2008a, Kuhn et al. 2008b] podem ser encontrados em <http://www.inf.ufrgs.br/~grkuhn/cvd/>. Recomendamos que os vídeos presentes nesta página sejam assistidos para melhor compreensão das técnicas propostas.

2. Trabalhos Relacionados

As técnicas de recoloração de imagens para indivíduos com DPC têm por objetivo alterar as cores das imagens originais para que portadores de DPC possa perceber detalhes e contrastes que antes não lhes era possível. As abordagens utilizadas pelas técnicas de recoloração podem ser divididas em dois grandes grupos: *operações pontuais* e *métodos de otimização*.

Abordagens baseadas em operações pontuais alteram a cor de cada pixel de forma independente dos demais. Assim, estas técnicas não efetuam nenhuma análise na imagem para determinar o conjunto ótimo de cores da imagem recolorida. Apesar do baixo custo computacional e da possibilidade de execução em tempo real, o uso de operações pontuais pode fazer com que portadores de DPC passem a confundir outras cores na imagem resultante. No caso de recoloração de imagens para dicromatas utilizando operações pontuais podemos citar o trabalho [Yang and Ro 2003]. No caso específico de conversão de imagens para tons de cinzas podemos referenciar os trabalhos [Grundland and Dodgson 2007, Neumann et al. 2007].

As técnicas que utilizam métodos de otimização tendem a gerar resultados melhores e de forma automática (*i.e.*, sem a necessidade de intervenção do usuário). De modo geral, estas técnicas definem uma função erro que visa preservar, na imagem recolorida percebida pelo portador de DPC, o contraste de cores da imagem original. A função erro é minimizada utilizando algum método de otimização (*e.g.*, *multidimensional scaling*, gradiente-conjugado). É bastante comum as técnicas de recoloração baseadas em otimização utilizarem apenas um subconjunto de cores da imagem original durante o processo de otimização, devido ao seu alto custo computacional. Apesar desta simplificação, nenhuma das técnicas anteriores de recoloração reportam tempos viáveis para aplicações interativas. As técnicas propostas neste trabalho conseguem processar dezenas de imagens por segundo. Para o caso de métodos de otimização para recoloração de imagens para dicromatas podemos citar o trabalho [Rasche et al. 2005]. No casos de algoritmos de conversão de cores em tons de cinzas baseados em otimização podemos citar os trabalhos [Gooch et al. 2005, Rasche et al. 2005].

3. Algoritmo de Recoloração para Dicromatas

A técnica proposta de recoloração de imagens para portadores de DPC possui as seguintes características: (i) executa em tempo real, (ii) garante consistência global das cores (*i.e.*, todos os pixels com uma dada cor c_o na imagem original são mapeados para uma mesma cor c_r na imagem resultante), (iii) preserva as diferenças perceptuais entre as cores da imagem original na imagem resultante, e (iv) preserva a naturalidade das cores (*i.e.*, não altera uma cor percebida igualmente por um indivíduo com visão normal e um portador de DPC). A abordagem proposta utiliza uma etapa de otimização baseada em um sistema massa-mola, que consiste em um conjunto de partículas (cada uma com determinada massa) conectadas por um conjunto de molas (com determinado tamanho em estado relaxado). Estas partículas se movimentam guiadas pela resultante de forças externas (*e.g.*, gravidade, inércia, atrito) compensadas por forças restauradoras das molas. Em sua forma mais simples (*i.e.*, sem forças externas), quando comprimidas ou esticadas, as molas aplicam forças (que movimentam as partículas) na tentativa de restabelecer o seu tamanho relaxado.

3.1. O Algoritmo

O algoritmo proposto possui três grandes etapas. Na primeira etapa utiliza-se um processo de quantização para extrair um conjunto Q de cores quantizadas do conjunto de todas as cores da imagem de entrada. Nesta etapa pode ser utilizado qualquer algoritmo de quantização, *e.g.*, *k-means*, *median cut*, paleta de cores, etc.. Na segunda etapa, inicializa-se um sistema massa-mola com o conjunto Q de cores quantizadas, onde cada cor deste conjunto

é associada a uma partícula do sistema. Entre cada par de cores é criada uma mola que conecta as respectivas partículas associadas, sendo que o tamanho relaxado desta mola é definido pela diferença perceptual entre o par de cores (do ponto de vista de um indivíduo com visão normal). Durante o processo de otimização do sistema massa-mola, a posição atual de uma partícula é definida pela posição da sua cor associada (como percebida pelo indivíduo com DPC). Devido às forças restauradoras das molas, o sistema tende a estabilizar quando as molas voltam ao seu estado relaxado, *i.e.*, quando as distâncias perceptuais entre as partículas (do ponto de vista do portador de DPC) são iguais às diferenças perceptuais entre as cores do conjunto Q de cores quantizadas. Na terceira e última etapa do algoritmo, reconstrói-se a imagem final utilizando o conjunto de cores resultante do processo de otimização.

3.2. Contraste de Cores Exagerado

Para aplicações que envolvem o uso de imagens não naturais (*e.g.*, visualização científica e de informação), realçar o contraste entre as cores é mais importante do que preservar a naturalidade das mesmas. Em visualização científica, os detalhes presentes nos conjuntos de dados são explorados através de funções transferência. Até o momento, funções transferências têm ignorado completamente as limitações enfrentadas por portadores de DPC. Tais funções geralmente utilizam escalas de cores que variam de vermelho a verde, cores difíceis de serem distinguidas pela maioria dos portadores de DPC. Suportando a recoloração em tempo real de funções transferências para dicromatas, a nossa técnica pode auxiliar os indivíduos com DPC na exploração de conjuntos de dados em visualização científica. Este tipo de auxílio é feito com mínimas alterações no algoritmo proposto na Seção 3.1, sendo a principal delas, a mudança no tamanho relaxado das molas para que o contraste entre as cores seja exagerado durante o processo de otimização.

3.3. Resultados e Discussões

O algoritmo descrito foi implementado tanto para CPU quanto para GPU com as linguagens C++ e GLSL, e foi utilizado para recolorir uma série de imagens. Os tempos reportados foram mensurados em uma GeForce 8800 GTX com 768 MB de memória e num PC 2,2 GHz com 2 GB de memória. As Figuras 2 e 3 comparam os resultados da nossa técnica e da abordagem de Rasche et al. A Tabela 1 sumariza os tempos destes algoritmos, onde *MS-PC CPU* and *MS-PP GPU* são respectivamente as versões em CPU e GPU do nosso algoritmo baseado em sistema massa-mola.

Tabela 1. Comparação de performance entre a técnica de Rasche et al. e a técnica proposta utilizando imagens com diversas resoluções.

Imagem (resolução)	Tempos em segundos		
	Rasche et al.	MS-PC CPU	MS-PP GPU
Flores - Fig. 2 (839 × 602)	315,84	0,85	0,16
Pimentões - Fig. 3-topo (321 × 481)	114,63	0,27	0,09
Jardim - Fig. 3-abaixo (239 × 280)	44,06	0,23	0,08

A Figura 4 ilustra o uso da técnica proposta para contraste exagerado aplicada a uma imagem de visualização científica. As cores vermelho e verde representam diferentes temperaturas. Note a dificuldade para um indivíduo dicromata distinguir estas regiões

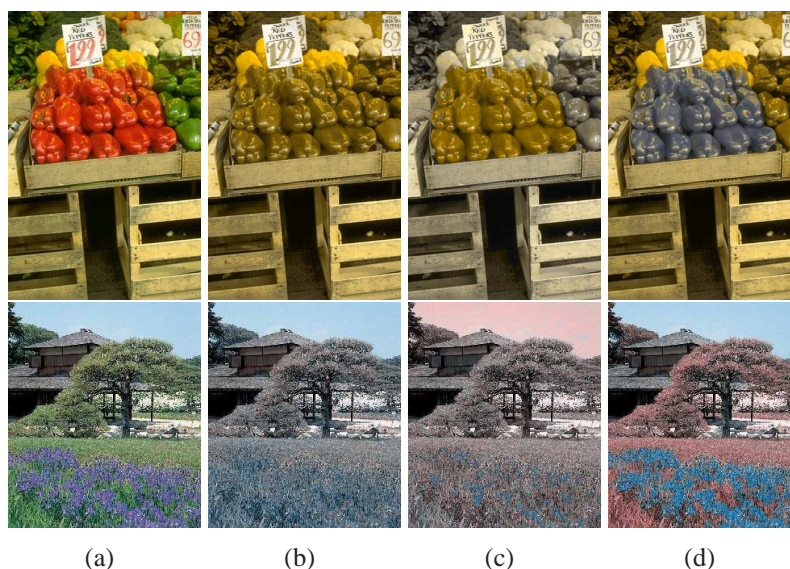


Figura 3. Exemplo de recoloração para dicromatas. (a) Imagem original. Simulação da percepção de um dicromata para: (b) imagem original, (c) resultado produzido pela técnica de Rasche et al, e (d) resultado gerado pela abordagem proposta. Note a preservação, na medida do possível, das cores percebidas por dicromatas.

(Figura 4 (b)). A Figura 4 (d) simula a percepção de um dicromata para a imagem recolorida. O contraste antes perdido pode ser agora percebido.

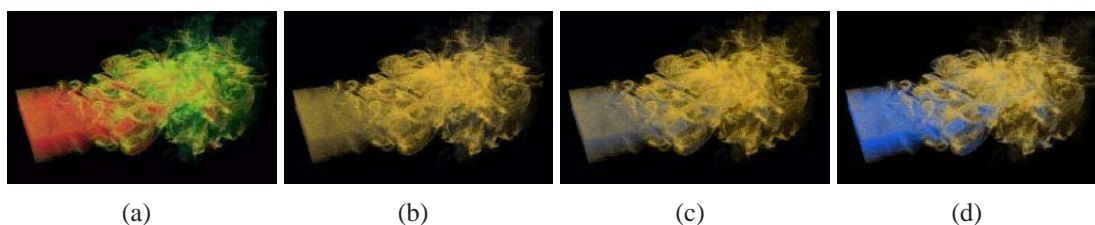


Figura 4. Simulação de uma chama: (a) Imagem original. Simulação da percepção de um dicromata para: (b) imagem original, (c) resultado produzido pela técnica proposta. (d) resultado gerado pela técnica proposta com contraste exagerado.

A eficácia da técnica proposta foi avaliada utilizando um método de comparação par a par, por quatorze portadores de deficiência na percepção de cores. As avaliações indicam que tanto para o conjunto de imagens naturais quanto para o conjunto de imagens sintéticas, a nossa técnica produz resultados superiores aos obtidos com técnicas de recoloração anteriores.

4. Algoritmo de Conversão de Cores para Tons de Cinza

O algoritmo proposto para conversão de imagens coloridas para tons de cinza constitui um caso especial do algoritmo de recoloração para dicromatas apresentado na Seção 3. Neste último, procura-se por um contraste de cores ótimo após projetar amostras de um espaço de cores 3D para o gamut de cores 2D de um dicromata. Já no caso de conversão

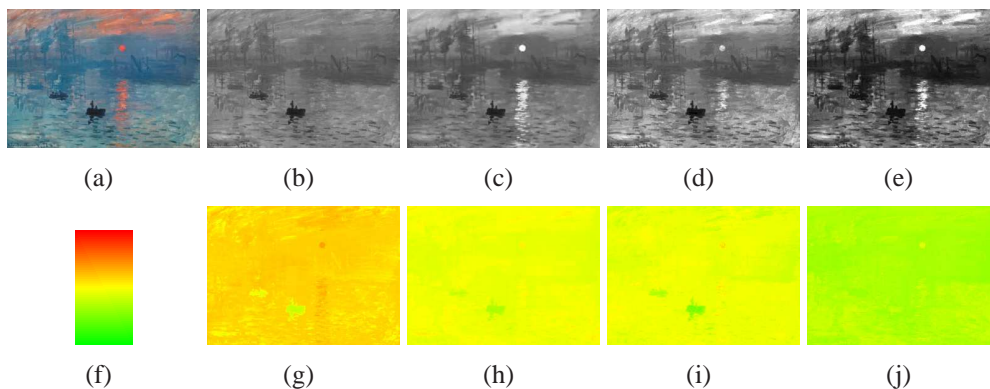


Figura 5. Resultado da conversão para tons de cinzas da imagem Impressionist Sunrise: (a) Imagem original, (b) até (e) são os resultados em tons de cinzas, (g) até (j) são as imagens correspondentes da métrica de erro para contrastes. (b) Imagem luminância. (c) Resultado produzido pelo método de Gooch et al. (d) Imagens em tons de cinzas produzida pela abordagem de Rasche et al. (e) Resultado produzido pela técnica proposta. (f) Escala de erro: vermelho significa maior erro.

para tons de cinza, busca-se o contraste ótimo após a projeção das cores em um espaço 1D. Para isto, todas as estratégias adotadas no algoritmo de recoloração são reutilizadas.

4.1. Métrica de Erro para Conversão de Cores para Tons de Cinza

A métrica proposta avalia se as diferenças entre pares de cores da imagem original são preservadas de forma apropriada nos pares de tons de cinza da imagem resultante. Em outras palavras, ela verifica se o contraste entre as cores da imagem original é preservado nos tons de cinza da imagem resultante. Esta métrica se baseia em uma média ponderada dos erros quadráticos (*weighted mean squared error*).

4.2. Resultados e Discussões

O algoritmo apresentado também foi implementado nas linguagens C++ e GLSL, com versões tanto para CPU quanto para GPU. A versão para CPU mostrou-se dezenas de vezes mais rápida que as técnicas anteriores de conversão de cores em tons de cinzas baseadas em processo de otimização. Já a versão para GPU mostrou-se três ordens de magnitude mais rápida que estas técnicas anteriores. As Figuras 5 b-e apresentam os resultados de quatro técnicas de conversão de cores para tons de cinzas da imagem *Impressionist Sunrise* de Claude Monet, com as suas respectivas imagens de erro obtidas com a métrica proposta. Considerando os resultados da métrica sugerida, o algoritmo proposto também se mostrou superior em relação às outras técnicas de conversão de cores em tons de cinza baseadas em otimização.

5. Conclusões

Este trabalho apresentou um algoritmo eficiente para recoloração de imagens para dicromatas baseado no método de otimização massa-mola. A técnica proposta permite que dicromatas se beneficiem das melhorias de contraste na imagem resultante, minimizando a perda de naturalidade das cores originais. Tanto as versões em CPU quanto em GPU do algoritmo proposto são significativamente mais rápidas que as técnicas anteriores. Os

resultados desta técnica foram avaliados por quatorze indivíduos com deficiência na percepção de cores utilizando um método de comparação par a par. Tal avaliação indica que a técnica proposta produz resultados superiores aos obtidos por técnicas de recoloração anteriores. Uma extensão que exagera o contraste das cores foi preferida por indivíduos com DPC para exploração de imagens de visualização científica.

Uma segunda contribuição deste trabalho é um método eficiente baseado em massa-mola para realce de contraste durante a conversão de imagens coloridas para tons de cinza. O método proposto é três ordens de magnitude mais rápido que as técnicas anteriores baseadas em otimização. Outra contribuição do trabalho é uma métrica de erro para avaliar a qualidade dos algoritmos de conversão de imagens coloridas para tons de cinza. Esta métrica mede quando a diferença entre qualquer par de cores na imagem original se reflete na imagem em tons de cinzas.

Nós acreditamos que as técnicas propostas neste trabalho possam ter impactos positivos na maneira com que os indivíduos com DPC virão a interagir com mídias digitais, uma vez que estas técnicas permitem minimizar a ambiguidade das cores sem contradizer, na medida do possível, com a percepção que estes indivíduos já possuem sobre o mundo. Nós esperamos que estes resultados inspirem o desenvolvimento de novas aplicações e interfaces para indivíduos com deficiência na percepção de cores.

Agradecimentos: Gostaríamos de agradecer aos voluntários que participaram dos nossos estudos. Também agradecemos ao Carlos Dietrich pelas discussões sobre sistemas massa-mola e base de código disponibilizada, além de Karl Rasche e Amy Gooch por disponibilizarem o seus códigos fonte. Este trabalho foi financiado pela CAPES e CNPq (processos 142627/2007-0, 305613/2007-3 e 476954/2008-8).

Referências

- Gooch, A. A., Olsen, S. C., Tumblin, J., and Gooch, B. (2005). Color2gray: salience-preserving color removal. *ACM Trans. Graph.*, 24(3):634–639.
- Grundland, M. and Dodgson, N. A. (2007). Decolorize: Fast, contrast enhancing, color to grayscale conversion. *Pattern Recogn.*, 40(11):2891–2896.
- Kuhn, G. R. (2008). Image recoloring for color-vision deficient. Master's thesis, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- Kuhn, G. R., Oliveira, M. M., and Fernandes, L. A. F. (2008a). An efficient naturalness-preserving image-recoloring method for dichromats. *IEEE Trans. Vis. Comput. Graph.*, 14(6):1747–1754.
- Kuhn, G. R., Oliveira, M. M., and Fernandes, L. A. F. (2008b). An improved contrast enhancing approach for color-to-grayscale mappings. *Vis. Comput.*, 24(7):505–514.
- Neumann, L., Cadik, M., and Nemcsics, A. (2007). An efficient perception-based adaptive color to gray transformation. In *Proc. Comput. Aesthetics*, pages 73–80.
- Rasche, K., Geist, R., and Westall, J. (2005). Re-coloring images for gamuts of lower dimension. *Comput. Graph. Forum*, 24(3):423–432.
- Sharpe, L. T., Stockman, A., Jägle, H., and Nathans, J. (1999). *Color Vision: From Genes to Perception*, chapter Opsin genes, cone photopigments, color vision, and color blindness, pages 3–51. Cambridge University Press.
- Yang, S. and Ro, Y. M. (2003). Visual contents adaptation for color vision deficiency. In *Proc. Int. Conf. Image Processing*, volume 1, pages 453–456.