

# Adaptação de Cor para Dicromatas na Visualização de Imagens

Madalena Ribeiro

Escola Superior de Artes Aplicadas, Instituto Politécnico de Castelo Branco  
Quinta da Sr.<sup>a</sup> de Mércules, 6000-909 Castelo Branco  
mribeiro@ipcb.pt

Abel Gomes

Departamento de Informática da Faculdade de Engenharia, Universidade da Beira Interior / Instituto de Telecomunicações  
Rua Marquês d'Ávila e Bolama, 6201-001 Covilhã  
email3@dominio.pt

## Abstract

*The increasing use of visual information in the new media brought to the color a new and relevant role. Internally, the color is fundamental in discriminating the contents, providing the global understanding of things. However, some people have a visual impairment designated color vision defective (CVD), which restrains the vision of color in a proper way, so compromising the correct perception of the visual contents.*

*In order to overcome the referred handicap, on this article is proposed an algorithm which can be used to adapt the color to dichromats to improving the way they see the images. Consequently, the images become more readable and the discernment and comprehension of its components is enhanced.*

## Keywords

*Daltonismo, dicromacia, protanopia, deuteranopia, deficiente visão da cor, adaptação de cor, mapeamento de cor, recoloração.*

## 1. INTRODUÇÃO

A difusão de conteúdos visuais em ambientes computacionais veio conceder à cor uma preponderante posição como componente comunicacional. Além do seu inerente carácter de signo e da sua função no design, a cor é ainda uma componente fundamental na destrição dos conteúdos gráficos. No caso particular das imagens, sobre as quais recai a atenção no presente artigo, são as cores dos diversos elementos que constituem a imagem que possibilitam a distinção entre eles, permitindo perceber o que a imagem contém e entender a mensagem subjacente.

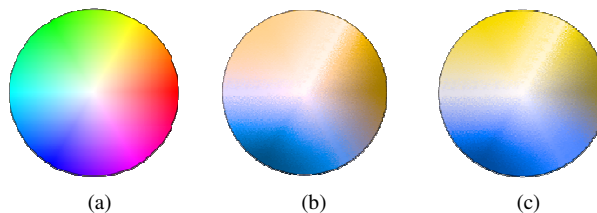
Embora a grande maioria da população seja portadora de uma normal visão da cor, a deficiente visão da cor (DVC), correntemente conhecida como daltonismo, atinge cerca de 5% da população. Sendo que esta insuficiência visual leva à redução da gama cromática visualizada, são várias as cores que, embora tendo matizes bastante distintos, sejam vistas de igual forma, levando à ambiguidade na interpretação de conteúdos nas imagens.

Neste contexto, neste artigo vem apresentar-se uma proposta de um algoritmo de recoloração para os casos mais frequentes de dicromacia (deuteranopia e protanopia, por esta ordem), mostrando os resultados obtidos na adaptação de cor em imagens.

## 2. VISÃO DA COR

Ao nível do olho humano, a visão da cor é possibilitada pela existência de células, designadas cones (L-cones, M-cones e S-cones), que existem ao nível da retina, sendo

que a cor percebida resulta da mistura da informação recolhida pelos 3 tipos de cones. Pelo facto da cor resultar da combinação de 3 canais distintos, a normal visão da cor designa-se tricromacia [Paterson'03]. Existem, no entanto, casos em que um (ou eventualmente mais que um) tipo de cones apresenta falha total ou parcial de sensibilidade, com consequente adulteração na percepção da cor. Quando um tipo de cones apresenta malfuncionamento, designa-se tricromacia anómala e quando um tipo de cones não funciona, de todo, designa-se dicromacia. Designa-se monocromacia (quando dois ou os três tipos de cones não funcionam, de todo) [Birch'01], [Case'03].



**Figura 1. Círculo cromático<sup>1</sup> quando visto por uma pessoa com (a) normal visão da cor; (b) deuteranopia e (c) protanopia.**

<sup>1</sup> A imagem em (a) foi gerada usando Processing 1.5.1 e as imagens em (c) e (d) foram obtidas a partir da imagem (a), por via de simulação cujo algoritmo vem referido em [Vienot et al.'99].

No caso do algoritmo proposto neste artigo, são considerados os casos de dicromacia em que os cones afetados são os L-cones (protanopia) ou os M-cones (deuteranopia), pelo facto de constituírem os casos com maior taxa de incidência para esse tipo de DVC e ainda pelo facto de sendo um nível de severidade média, representarem uma limitação na percepção muito mais incapacitante que a tricromacia anómala (que pode até ser ligeira).

### 3. ALGORITMOS DE RECOLORAÇÃO

Desde há cerca de uma década e meia, têm vindo a surgir tentativas de promover a melhorias da forma como os daltónicos veem as cores, particularmente algoritmos de recoloração para serem aplicados em imagens estáticas. A grande maioria dos algoritmos propostos na literatura tem por alvo a dicromacia (por ser mais incapacitante que a tricromacia anómala), especialmente a deuteranopia e protanopia, pela sua taxa de incidência.

Os algoritmos usam estratégias distintas e, em função disso, é adotado o espaço de cor que melhor se adequa ao processo de ajustamento da cor. Uma vez que as imagens se encontram armazenadas sob o formato RGB, na maioria dos casos, a cor é convertida de RGB para o espaço de cor, no qual a cor é alterada/adaptada e, depois reconvertida novamente para o formato de cor RGB. São vários os espaços de cor usados e, nos quais é feita a adaptação da cor. Outros casos existem em que são usados os parâmetros de sensibilidade dos cones à luz, os seja, os valores LMS, nomeadamente em [Yang et al.'04], [Ma et al.'06], [Jefferson et al.'06] e [Jefferson et al.'07], assim como em [Lee et al.'11].

À semelhança do algoritmo apresentado neste artigo, em [Yang et al.'03], [Iaccarino et al.'06] e em [Huang'08] são usados espaços de cor (respetivamente, os espaço HSI, HSL e HSV) similares ao HSV, a seguir apresentado.

### 4. ALGORITMO PROPOSTO

O algoritmo proposto leva em conta a forma como os deuteranopes e tritanopes vêem as cores (que é deveras semelhante): apenas conseguem ver dois tons vivos, os amarelos e os azuis. Todas as outras cores são vistas como pardas. Por esse motivo, o objetivo principal do algoritmo é o de transformar os matizes vivos na área dos rosas, vermelhos e laranjas (que são confundidos pelos daltónicos com verdes e azuis descolorados), em outros matizes igualmente vivos (considerando a forma como estes dicromatas os veem).

#### 4.1 Representação da Cor

O HSV (representado geometricamente por um cone invertido, conforme ilustra a Figura 2) foi o espaço de cor escolhido para representar a cor, dado o seu carácter intuitivo na forma de variação das cores em função da variação dos parâmetros, respetivamente *hue* (matiz), *saturation* (saturação) e *value* (valor/luz) [Smith'78], [Foley'91].

As cores são representadas por um triplo, i.e.,  $C = (H, S, V)$ , onde  $0 \leq H \leq 360$  e  $0 \leq S, V \leq 1$ . **H** representa o matiz, e permite distinguir o verde do amarelo e do azul (como ilustra a figura 2). A saturação **S** relaciona-se com a pure-

za versus adição de cinza e o **V** (valor) corresponde à luminosidade da cor.

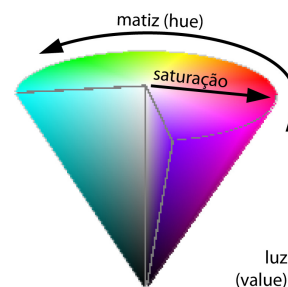


Figura 2. Representação geométrica<sup>2</sup> do espaço de cor HSV (hue, saturation, value).

#### 4.2 Alteração da Cor

Com base na especificação da cor no espaço de cor HSV,  $C = (H, S, V)$ , sendo que a alteração dessa cor leva à obtenção da cor  $C' = (H', S', V')$ , onde:

$$H' = H + \Delta H \quad S' = S + \Delta S \quad V' = V + \Delta V \quad (1)$$

Neste contexto, o problema foca-se na forma como os fatores  $\Delta H$ ,  $\Delta S$  e  $\Delta V$  são encontrados, de forma a que a nova cor seja mais conveniente quando observada por um detentor de DVC.

#### 4.3 Estratégia do Algoritmo

A estratégia adotada para a recoloração faz um tratamento distinto entre as cores muito escuras e as restantes. As primeiras são ainda mais escurecidas, através do decremento do parâmetro **V** (valor). Para as outras cores, o procedimento é o seguinte:

- As cores cujo matiz se encontra na zona dos amarelos alaranjados, amarelos e verdes, permanecem inalteradas;
- Às cores cujo matiz se encontra na zona dos azuis é-lhes incrementada a saturação;
- Os matizes na zona dos magenta-vermelho-laranja são mapeadas em zuis e violetas, sendo-lhes ainda reduzida a saturação.

O mapeamento das cores vivas que se encontram na zona dos magentas, vermelhos e laranjas em azuis prende-se com o facto de os amarelos e os azuis serem as únicas cores vívidas que podem ser discernidas pelos deuteranopes e tritanopes. Sendo que os amarelos têm uma área de diversidade cromática mais reduzida (como pode ser visto pela figura 3), considerou-se o domínio de azuis como uma área destinatária mais conveniente no mapeamento.

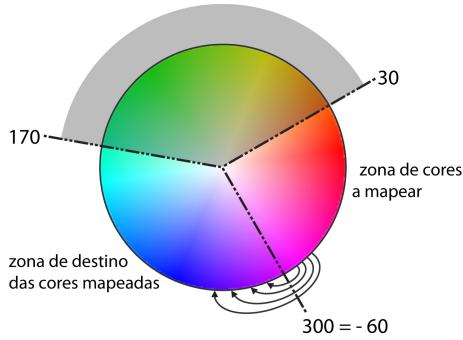
No entanto, importa garantir que a distinção entre as cores que são originalmente azuis e as que destrinça entre os azuis. A garantia dessa distinção é proporcionada pela alteração da saturação: a saturação é incrementada para as cores originalmente azuis e decrementada para as cores mapeadas em azuis. Este esquema evita, quase totalmente, a sobreposição de cores.

<sup>2</sup> Imagem gerada usando Processing 1.5.1.

#### 4.4 Mapeamento dos Matizes da Área Magenta-Vermelho-Laranja

O mapeamento em azuis, das cores da zona magenta-vermelho-laranja é efetuado através de uma simetria de matizes, criada na linha dos 300°, onde se encontra o magenta.

Por meio desta simetria, à medida que os matizes se afastam do magenta (no sentido contrário aos ponteiros do relógio), são mapeados em violetas e azuis, cada vez mais distantes do magenta (mas no sentido dos ponteiros do relógio).



**Figura 3. Mapeamento de matizes da zona magenta-vermelho-laranja em matizes da zona ciano-azul-violeta.**

Sendo que a área de origem (magenta-vermelho-laranja) é menor que a área de destino (violeta-azul-ciano), é usado o teorema de Thales (eq. (2)) para possibilitar uma distribuição ajustada e obter uma correspondência uniforme.

$$\frac{\alpha - \alpha_{\min}}{\alpha_{\max} - \alpha_{\min}} = \frac{\beta - \beta_{\min}}{\beta_{\max} - \beta_{\min}} \quad (2)$$

$\alpha$  é um valor pertencente ao intervalo  $[\alpha_{\min}, \alpha_{\max}]$  e  $\beta$  é o valor correspondente no intervalo  $[\beta_{\min}, \beta_{\max}]$ .

Aplicando a eq. (1) e considerando o domínio de matizes a transformar  $[h_{D1\_min}, h_{D1\_max}]$  e o domínio de matizes de destino  $[h_{D2\_min}, h_{D2\_max}]$ , obtém-se a equação que possibilita o mapeamento do matiz original no matiz adaptado (respectivamente  $h_{orig}$  e  $h_{final}$ , na eq. (3)).

$$h_{final} = \frac{(h_{orig} - h_{D1\_min})(h_{D2\_max} - h_{D2\_min})}{h_{D1\_max} - h_{D1\_min}} + h_{D2\_min} \quad (3)$$

Mais especificamente,  $[-60, 30]$  é o domínio de matizes a transformar e  $[300, 170]$  é o conjunto de destino desses matizes, conforme ilustrado na figura 3.

Note-se que o domínio de destino do mapeamento é maior do que o domínio de origem. Este facto é vantajoso, na medida em que é possível dispersar os matizes mapeados pela área de destino, evitando a sua concentração, o que ajuda à sua destriça (como se pretende).

Além disso, o valor de início do domínio de destino é mais elevado que o valor de final, o que possibilita a simetria (relativamente ao ponto de 300°). Assim, os matizes ligeiramente superiores a 300 são mapeados em

matizes ligeiramente inferiores a 300, e à medida que os matizes se tornam gradualmente superiores a 300, são mapeados em matizes proporcionalmente inferiores a 300.

#### 5. EXPERIÊNCIAS

O algoritmo de recoloração foi implementado com recurso ao HTML5 (e javascript), na medida em que o objetivo final é a aplicação do método na recoloração de páginas web, na perspectiva de melhor a acessibilidade de pessoas com DVC, fomentando a inclusão.

O novo elemento *canvas*, facultado pelo HTML5, permite alterar a imagem, pixel a pixel, à semelhança de outros sistemas gráficos existentes (e.g., o Processing ou OpenGL).

#### 6. RESULTADOS

Quando um deuteranope ou um protanope vê a imagem original, não vê as flores rosas, lilases e vermelho corretamente, sendo vistos como cores pardas, por vezes, com a mesma tonalidade que a verdura de cor verde. No caso do vermelho intermédio, as flores são completamente confundidas com o verde (ver canto inferior esquerdo da figura 4).

Após a recoloração, as flores que são originalmente azuis assumem um tom forte conferido pela saturação, que se torna mais alta. Em contrapartida, as flores cujas cores foram mapeadas em azul, têm uma tonalidade algo moderada, controlada pela redução na saturação. O algoritmo possibilita a coerência perceptual após a recoloração, para duas cores com o mesmo matiz original e com luminosidade diferente (e.g. vermelho claro e escuro).

Após a recoloração da imagem, a legibilidade aumentou, havendo uma clara destriça entre a verdura e as flores.

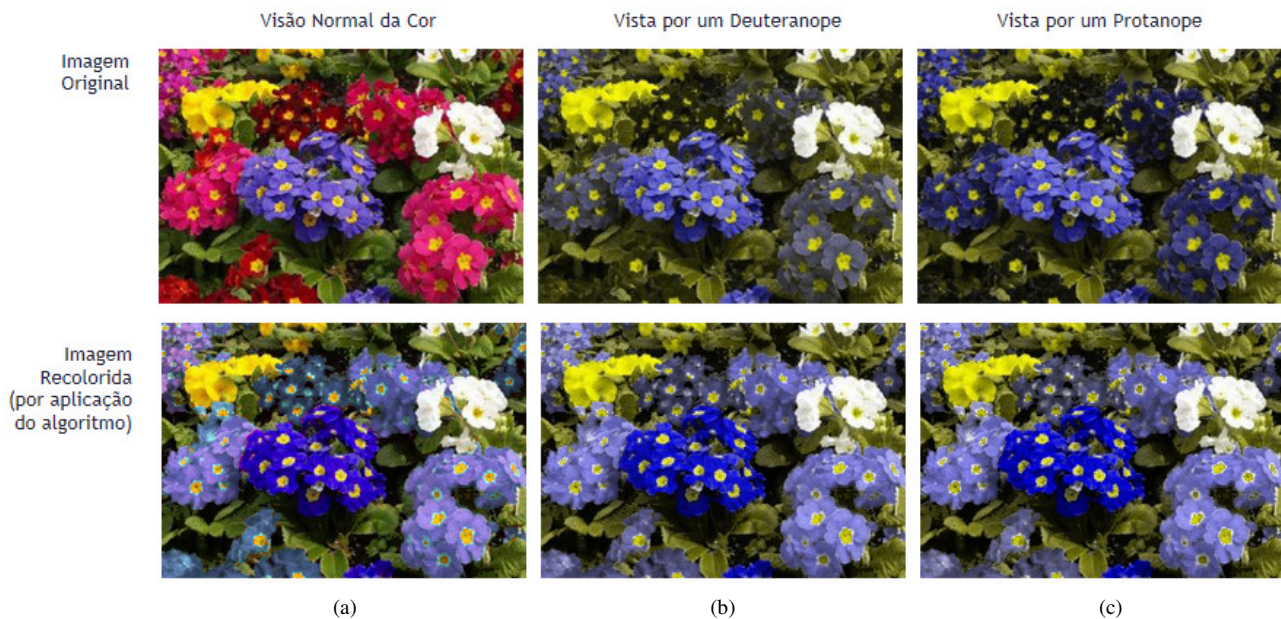
#### 7. CONCLUSÃO

A deficiente visão da cor apresentada por deuteranopes e protanopes, reduz a sua visão da cor a apenas dois matizes de cor, o azul e o amarelo, sendo que todos os outros matizes vistos pelas pessoas com normal visão da cor se reduzem a um verde ou azul pardo. Assim, na adaptação que foi realizada foi considerada a impossibilidade de visualização de determinados tons e considerando o domínio cromático que as pessoas detentoras da condição de DVC conseguem ver.

Sendo que a maior parte dos verdes que existem se relacionam com a natureza, a forma descolorada como são vistos não interfere com a perceção. Por esse motivo, poderão permanecer inalterados. As cores vibrantes na área do magenta, laranja e são mapeadas em cianos/azuis e violetas, tendencialmente vibrantes, possibilitando que assim sejam percebidas.

No global, após a adaptação de cor, a legibilidade das imagens aumenta, promovendo uma perceção mais próxima do real, para os deuteranopes e para os protanopes, melhorando a sua condição como observador.





**Figura 4** – Na 1ª linha vê-se a imagem original quando vista por uma pessoa com (a) visão normal<sup>3</sup>; (b) deuteranopia e (c) protanopia. Na 2ª linha vê-se a imagem original recolorida pelo algoritmo proposto, quando vista por uma pessoa com (a) visão normal; (b) deuteranopia e (c) protanopia. A simulação foi implementada com recurso a [Vienot et al.'99].

<sup>3</sup> Tirada de <http://www.flickr.com/photos/>, com cortesia de [Dave - aka Emptybelly](#) (licença da imagem: CC Attribution-NonCommercial 2.0).

## 8. REFERENCIAS

- [Birch'01] Birch, Jennifer. *Diagnosis of Defective Colour Vision*. Second edition. Edinburgh: Elsevier Science, 2001.
- [Case'03] Case, B. *Color Blindness*. 2003.
- [Foley'91] Foley, James, Van Dam, Andries, Feiner, Steven, Hughes, John. *Computer Graphics, Principles and Practice*. second edition. 1991.
- [Huang'08] ECCV Workshop on Computer Vision Applications for the Visually Impaired, 2008, Enhancing Color Representation for the Color Vision Impaired. City 2008.
- [Iaccarino et al.'06] Iaccarino, Gennaro [et al.]. Efficient edge-services for colorblind users: Proceedings of the 15th international conference on World Wide Web. Edinburgh, Scotland: ACM, 2006.
- [Jefferson et al.'06] Jefferson, Luke, Harvey, Richard. Accommodating color blind computer users: Proceedings of the 8th international ACM SIGACCESS conference on Computers and accessibility. Portland, Oregon, USA: ACM, 2006.
- [Jefferson et al.'07] Jefferson, Luke, Harvey, Richard. An interface to support color blind computer users: Proceedings of the SIGCHI conference on Human factors in computing systems. San Jose, California, USA: ACM, 2007.
- [Lee et al.'11] Lee, Jinmi Lee, Santos, Wellington Pinheiro Dos. An adaptive fuzzy-based system to simulate, quantify and compensate color blindness. *Integrated Computer-Aided Engineering*. Vol. 18, n.º 1 (2011), 29-40.
- [Ma et al.'06] Ma, Y., Gu, X. D., Wang, Y. Y. - A new color blindness cure model based on BP neural network. In: Wang, J. [et al.]. *Advances in Neural Networks - Isnn 2006, Pt 3, Proceedings*. Berlin: Springer-Verlag Berlin, 2006. 740-745.
- [Paterson'03] Paterson, Ian. *A dictionary of Colour*. London: Thorogood, 2003.
- [Smith'78] Smith, Alvy Ray. *Color Gamut Transform Pairs: SIGGRAPH 78*. Atlanta, USA, 1978.
- [Vienot et al.'99] Vienot, F., Brettel, H., Mollon, J. D. Digital video colourmaps for checking the legibility of displays by dichromats. *Color Research and Application*. Vol. 24, n.º 4 (1999), 243-252.
- [Yang et al.'03] Image Processing, 2003. ICIIP 2003. Proceedings. 2003 International Conference on, 2003, Visual Contents Adaptation for Color Vision Deficiency. City 2003. 453-456.
- [Yang et al.'04] Yang, Seungji [et al.]. Improving visual accessibility for color vision deficiency based on MPEG-21. *Etri Journal*. Vol. 26, n.º 3 (2004), 195-202.