

Vendo cores

(A visão de cores em primatas)

Juliana Guimarães Martins Soares

Lab. Fisiologia da Cognição, Instituto de Biofísica Carlos Chagas Filho, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil. [jmsoares@biof.ufrj.br](mailto:jmsoares@biof.ufrj.br).

Vivemos em um mundo colorido onde as cores têm um forte apelo emocional. A percepção de cor está ligada à nossa experiência e as cores têm um impacto diferente em cada pessoa. Em primatas, a cor é uma característica fundamental da visão. Além de enriquecer nossa experiência visual, é importante para detectar objetos e padrões que de outras maneiras não seriam vistos. Para distinguir um objeto numa cena, nós exploramos, além de outros atributos da visão, como brilho e movimento, as diferenças no comprimento de onda entre a luz refletida do objeto e a luz refletida da cena. Podemos perceber a importância da visão de cores quando comparamos uma cena colorida, como esta fotografia de arranjos de pimentas expostos em uma feira livre, com a sua reprodução em preto e branco (Fig. 1). Com a ausência das cores muitas nuances são perdidas. A percepção de cor serve para aumentar o contraste e discriminar superfícies uniformes que possuam o mesmo brilho. Experimentos psicofísicos, nos quais se testa a memória dos sujeitos através do reconhecimento de cenas, mostram os benefícios da cor para o reconhecimento mais rápido de objetos e para a lembrança desses objetos.

A cor é uma percepção visual provocada pela ação de um feixe de fótons sobre células especializadas da retina, chamadas de fotorreceptores. Os fotorreceptores fazem a fototransdução, ou seja, a transformação do sinal eletromagnético (luz) em um sinal bioelétrico que é transmitido, passando por diversos níveis de processamento, para o córtex visual no nosso cérebro onde se completa esta percepção. A cor está relacionada com os diferentes comprimentos de onda do espectro eletromagnético. O olho humano é sensível a comprimentos de onda de 400 a 700 nm (Fig. 2). Os fotorreceptores responsáveis pela visão das cores são os cones. Os cones do tipo S são mais sensíveis ao comprimento de onda curto (azul), o tipo M ao comprimento de onda médio



Figura 1 – Fotografia de arranjos de pimentas expostos em uma feira livre.  
Cedida por William Soares Filho.



Figura 2 – Espectro de luz visível.

(verde) e o tipo L ao longo (vermelho).

As composições de espectro de luz são percebidas pela combinação de proporções das três cores primárias – azul, verde e vermelho (Não devemos confundir a cor luz, obtida aditivamente, com a cor pigmento, obtida subtrativamente). Quando as três cores são combinadas, de forma que os fotorreceptores são igualmente ativados, nós percebemos o branco. A sensibilidade espectral de um fotorreceptor é determinada pela seqüência de aminoácidos que formam a opsina que ele expressa. Mudanças pequenas nesta seqüência levam a uma mudança na efetividade do comprimento de onda. Sempre que um cone absorve um fóton, ele responde da mesma forma, não importando o comprimento de onda do fóton. O que varia com o comprimento de onda é a probabilidade do fóton ser absorvido. Assim, individualmente os cones não transmitem a informação sobre o comprimento de onda. O sistema visual não pode determinar, através da resposta de um único cone L, por exemplo, se ele está sendo estimulado por uma luz vermelha ou por uma luz azul muito mais intensa. Por essa razão, uma pessoa com apenas um tipo de fotorreceptor é incapaz de perceber as cores. Ela consegue distinguir um objeto do seu background através do brilho, se os dois tiverem brilhos diferentes, mas não percebe a cor do objeto.

Para que ocorra a visão de cor portanto, é necessário pelo menos dois tipos de fotorreceptores com sensibilidades espectrais diferentes. Este sistema divariante nos dá dois valores de brilho, e através da comparação desses dois valores o cérebro é capaz de distinguir a cor. Porém, se o objeto refletir igualmente um comprimento de onda longo e um curto, não haverá distinção de cor. Para resolver este problema é necessário um sistema trivariante. Com o sistema trivariante podemos perceber o laranja (amarelo

avermelhado), o magenta (azul avermelhado), o lima (amarelo esverdeado) e o ciano (verde azulado). Vermelho e verde se misturam de maneira que os traços das cores originais são perdidos e vemos um amarelo puro e não um verde avermelhado. Amarelo e azul, da mesma forma, produzem o branco e não um amarelo azulado. Esse cancelamento perceptual é chamado de oponência de cores. Hering em 1877 propôs uma teoria para explicar este cancelamento. De acordo com essa teoria, as seis cores principais são processadas por canais de pares antagônicos ou oponentes: vermelho-verde, azul-amarelo e preto-branco.

Outra propriedade importante é o contraste de cor que ocorre quando cores oponentes provenientes de pontos vizinhos no espaço, como o objeto e seu fundo (background) chegam à retina. Por exemplo, um objeto azul é visto melhor sobre um fundo amarelo, enquanto um verde realça mais contra um fundo vermelho que contra um azul. Nesta situação, os mecanismos dos cones parecem mais facilitar que cancelar um ao outro. Esses fenômenos podem ser explicados em parte pelas propriedades das células com oponência para cores da retina e do córtex que recebem sinais antagônicos provenientes dos cones vermelhos e verdes. Outro canal leva a oponência azul-amarelo. Esta propriedade é muito utilizada por artistas e designers que a usam para realçar objetos em uma cena ou palavras em um texto. A cor de fundo pode também mudar a aparência de cor de um objeto. Um objeto branco pode parecer rosa ou verde claro dependendo do seu background.

A visão cromática amplia o universo das informações visuais, representando uma grande vantagem para os animais de atividade diurna. Alguns animais, como os peixes, os insetos e as aves, possuem uma visão a cores bastante complexa. A visão de cores nos peixes é muito variada e parece ser importante para a atração da fêmea pelo macho durante o acasalamento. As abelhas têm visão de cores do ultravioleta ao amarelo, mas são cegas para o vermelho. A visão a cores nas abelhas assegura a polinização de determinados tipos de plantas. Algumas espécies de beija-flor são capazes de perceber uma coloração alaranjada das flores das bromélias que denunciam uma concentração maior de néctar.

Entre os mamíferos, alguns são monocromatas, enxergando apenas preto, branco e tons de cinzas, e outros são dicromatas, com visão também para o azul e amarelo. Os

primatas são os únicos mamíferos que apresentam visão tricromática, porém nem todos os primatas são tricromatas. Humanos e macacos do Velho Mundo, chamados catarrinos, possuem as três classes diferentes de cones (S, M e L). Entretanto, entre os primatas do Novo Mundo, os platirrinos, este fenótipo é mais variável. Existem espécies como o *Aotus* (macaco da noite) nas quais todos os indivíduos são monocromatas. Outras espécies como o *Alouatta* (bugio) são tricromatas, e em outras espécies como o *Cebus* (macaco prego) e o *Saimiri* (macaco esquilo), todos os machos e algumas fêmeas são dicromatas, enquanto algumas fêmeas são tricromatas.

O gene que codifica a opsina para o cone azul está presente no cromossomo 7, sendo uma herança não ligada ao sexo. Já os genes que codificam as opsinas para os cones verdes e vermelhos estão localizados no cromossomo X. Diferente dos homens e macacos do Velho Mundo que têm dois ou mais genes de fotopigmentos no cromossomo X, a maioria dos macacos do Novo Mundo tem somente um gene para a opsina por cromossomo X. A variação tricromática nas fêmeas é baseada na diversidade dos genes localizados no cromossomo X. Desta forma, as fêmeas heterozigotas apresentam dois genes que codificam dois tipos diferentes de fotopigmentos, sendo portanto tricromatas.

Em pesquisa no nosso laboratório, em colaboração com pesquisadores da Universidade de São Paulo (USP), da Universidade Federal do ABC (UFABC) e do Medical College de Wisconsin nos Estados Unidos, mostramos, através de registros de eletroretinograma e da análise genética, a variedade de fotopigmentos dos cones presentes nos macacos prego (*Cebus apella*) (Fig. 3). Encontramos nesta espécie 5 classes de cones com picos de absorção em torno de 434 (cones S), 531 (cones M), 545 e 550 (2 tipos de cones M/L), and 562 nm (cones L). Todos os macacos *Cebus* apresentam o cone para o comprimento de onda curto (azul), mas existem variações individuais quanto à presença dos cones para os comprimentos de onda médio (verde) e longo (vermelho). Todos os machos são dicromatas e apresentam, além do cone S, um dos 4 tipos de cones de comprimento mais longo. As fêmeas podem ser di- ou tricromatas. As fêmeas tricromatas possuem, além do cone S, mais dois tipos diferentes de cones sensíveis aos comprimentos de onda mais longos.



Figura 3 – Fotografia de um macaco prego (*Cebus apella*).

Cedida por Ruben Ernesto Navarrete.

Os macacos tricromatas têm uma percepção para cor semelhante à apresentada pelos humanos normais. Já a percepção dos animais dicromatas pode ser comparada ao padrão de visão apresentado pelas pessoas que possuem uma alteração na visão conhecida como daltonismo. O daltonismo é a forma mais comum de cegueira para cor e é muito mais frequente nos homens que nas mulheres. Esta cegueira para o verde ou vermelho é causada por mutações genéticas no cromossomo X, que levam a defeitos nos pigmentos dos cones verdes e vermelhos cujos genes estão localizados muito próximos um do outro. Os indivíduos acometidos apresentam dificuldades em discriminar entre as cores vermelho, amarelo e verde. Os indivíduos protanopos (cegos para o vermelho) se assemelham aos macacos dicromatas que apresentam apenas cones sensíveis aos comprimentos de onda curto (azul) e médio (verde), enquanto os deuteranopos (cegos

para o verde) se assemelham aos macacos com cones para os comprimentos curto (azul) e longo (vermelho). As mutações dos cones azuis são mais raras e não são ligadas ao sexo.

Apesar da sua grande importância, e do grande número de estudos já realizados, ainda existe muito a ser esclarecido sobre a visão de cores. A multiplicidade de fenótipos presente no macaco *Cebus* faz com que ele seja um valioso modelo para o estudo da visão de cores nos diversos níveis de processamento, da retina ao córtex visual, e também de grande importância para o entendimento da evolução da visão de cores nos primatas.

Você pode fazer um teste para saber se tem um padrão de visão tricromático nos sites abaixo:

<http://colorvisiontesting.com/ishihara.htm>

<http://colorvisiontesting.com/online%20test.htm>

#### Bibliografia:

SOARES, Juliana G.M.; FIORANI, Mario; ARAUJO, Eduardo A.; ZANA, Yossi; BONCI, Daniela M.O.; NEITZ, Maureen; VENTURA, Dora F.; GATTASS, Ricardo. “Cone photopigment variations in *Cebus apella* monkeys evidenced by electroretinogram measurements and genetic analysis.” *Vision Research*. 2010, 50. pp. 99–106.

<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3057362/pdf/nihms272456.pdf>

JACOBS, Gerald H. “Primate color vision: A comparative perspective.” *Visual Neuroscience*. 2008, 25. pp. 619–633.

LENT, Roberto. *Cem Bilhões de Neurônios*. Cap. 10. Editora Atheneu. 2ª Edição, 2010.