

Formação das cores

Um dos experimentos de Isaac Newton presentes em (Newton, 1714) utilizou de uma sala escura e um feixe de luz solar incidindo em um prisma polido que resultou em uma decomposição de cores como as contidas no arco-íris. A princípio acreditava-se que a luz oriunda do sol era pura e que as impurezas do vidro faziam com que houvessem variações nas cores (SANTOS, 2018). Para comprovar que a luz branca era uma composição de diversas cores e não fruto de impurezas da refração, Newton utilizou um segundo prisma para refratar as cores decompostas pelo primeiro prisma, desta forma, ele obteve como resultado a luz branca (Aleodin, 2011). Com isso, demonstrou-se que a luz branca na verdade é uma composição com todos os espectros de cores visíveis e que cada cor possui um comprimento de onda diferente dentro do espectro eletromagnético.

O olho humano é sensível a apenas uma pequena faixa de onda do espectro eletromagnético e as ondas visíveis possuem de 400nm a 700nm de comprimento, conforme ilustrado pela Figura 2 (SOUTO, 2000). A percepção da cor de um objeto é equivalente ao comprimento de onda que este objeto reflete quando ele é submetido ao processo de iluminação.

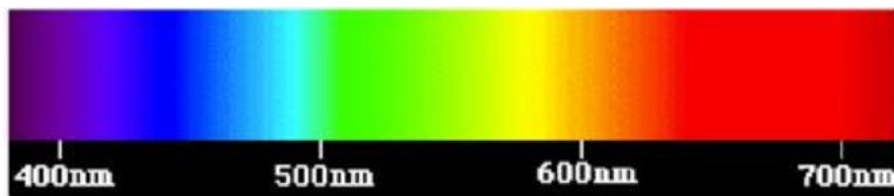


Figura 1: Espectro eletromagnético visível – Fonte (SOUTO, 2000)

Espaços de Cor

A visualização das cores são as respostas do cérebro a estímulos visuais. Porém, é possível mensurar uma cor medindo a dimensão espectral de um feixe de luz. A retina ocular processa uma cor por meio de três faixas de cores por meio de células específicas chamadas de cones (a grosso modo: Vermelho, Verde e Azul). Os sinais destas células, em conjunto com os bastonetes, sensíveis a intensidade da cor, resultam na “sensação” da cor. Estas sensações, segundo (Ford & Roberts, 1998), podem ser definidas como:

- Brilho: Percepção de mais ou menos luz;
- Matiz: Percepção de que uma área ser similar a outra;
- Coloração: Percepção humana da aparência da cor em exibir mais ou menos Matiz;

- Luminância: Percepção de uma área ser mais brilhante comparado a uma referência branca na imagem;
- Croma: A coloração de uma área comparada ao brilho do branco;
- Saturação: A coloração de uma área comparada a seu brilho.

A teoria tri-cromática de cor, descreve como três luzes separadas (vermelho, verde e azul) combinadas resultam em qualquer imagem visível. E esta é a base para a composição das imagens fotográficas e impressas (Ford & Roberts, 1998).

Os espaços de cor, são combinações de cores pelas quais podemos especificar, criar e visualizar cores. Na percepção humana, pode-se definir cor por seus atributos de brilho, matiz e coloração. Os diferentes espaços de cor existentes são transformações que alteram a percepção de uma cor em três parâmetros distintos. Neste estudo, os espaços de cor estudados são: RGB, YCbCr, YUV, HSI, HSL, HSV e CIEL*a*b*. A seguir, as transformações provenientes do espaço RGB são mostradas para cada um dos canais estudados.

Espaço de Cor – RGB

Uma imagem digital no espaço de cor RGB possui três canais: vermelho (R), verde (G) e azul (B). A combinação destas três cores possibilita a representação de uma cor em um ambiente digital (Ford & Roberts, 1998).

Nas imagens digitais, os valores de R, G e B são distribuídos em 256 níveis (8 bits por plano de cor) para cada canal. As cores resultantes são combinações dos valores de cada canal, por exemplo, branco é representado pelos valores máximos de R, G e B e preto é representado pelos valores mínimos de R, G e B.

Uma imagem colorida é composta de pixels, onde, cada pixel é representado por uma localização espacial baseada na grade retangular (x, y) e um vetor de cor (R(x, y), G(x, y), B(x, y)) correspondendo a localização espacial nos pontos (x, y). Na Figura 2, os canais estão quantificados com valores entre 0 e 1 em 3 planos: R, B; R, G e B, G.

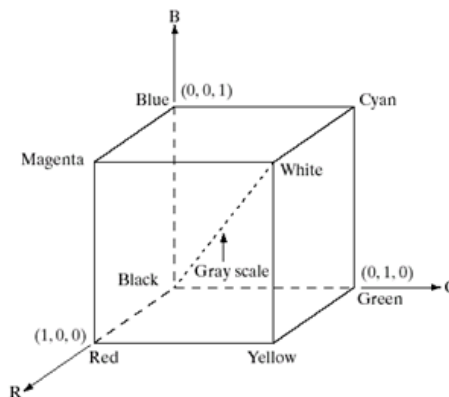


Figura 2: Planos do espaço de cor RGB

Espaços de Cor – YCbCr e YUV

Segundo (Ford & Roberts, 1998), este grupo de espaços de cor representam os espaços de cor utilizados pelo sistema de transmissão de televisão, sendo que o espaço YUV é o utilizado nos sistemas PAL e o sistema YCbCr é o sistema para o padrão digital.

No espaço de cores YCbCr, Y indica a luminância, enquanto Cb indica a Crominância Azul e Cr a Crominância Vermelha. A seguir, é mostrada a fórmula de

conversão de RGB para YCbCr:

$$\begin{bmatrix} Y \\ Cb \\ Cr \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0,2568 & 0,5041 & 0,0979 \\ -0,1482 & -0,2910 & 0,4392 \\ 0,4392 & -0,3678 & -0,0714 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 16 \\ 128 \\ 128 \end{bmatrix} \quad (1)$$

Já no espaço de cor YUV, o canal Y também representa a Luminância, e os canais UV representam a cromaticidade. A fórmula de transformação deste espaço de cor a partir do espaço RGB é:

$$\begin{bmatrix} Y \\ U \\ V \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0,299 & 0,587 & 0,114 \\ -0,147 & -0,289 & 0,436 \\ 0,615 & -0,515 & -0,100 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} \quad (2)$$

Espaços de Cor – HSI, HSV e HSL

Os espaços de cor HSI, HSV e HSL possuem como característica principal a similaridade com a separação existente na interpretação das cores da visão humana, de tal forma, que este espaço reflete a maneira como os seres humanos veem a cor. Os canais de cor comuns aos três espaços de cor são Matiz (Hue) e a Saturação. Tendo como base um duplo cone como apresentado na Figura 3 a seguir, a Matiz corresponde ao ângulo em que a tonalidade da cor se encontra na circunferência do plano em relação a um ponto que corresponde à cor (0° corresponde a cor vermelha) e a saturação indica a distância do centro do plano até a extremidade (Ford & Roberts, 1998).

Para o espaço de cor HSI, o canal I indica a intensidade da cor, e na Figura 3 é mostrado que este é um eixo perpendicular a Matiz. Já o espaço de cor HSV, o canal V representa o Valor (Value) da cor, este é responsável por regular o brilho da cor, onde a cor preta possui brilho zero. No espaço de cor HSL, o canal L representa a Luminosidade da cor.

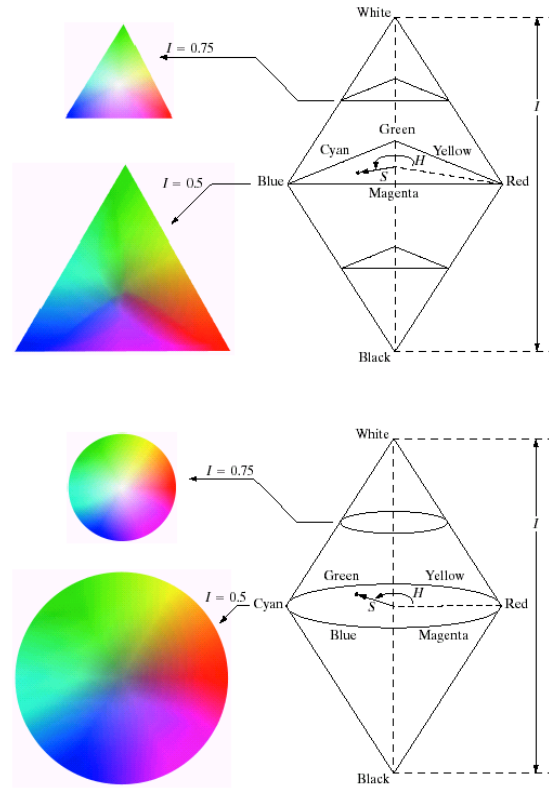


Figura 3: Representações geométricas do espaço de cor HSI

Segundo (Ford & Roberts, 1998), na transformação do canal RGB (normalizados em valores entre 0 e 1) para o canal HSI, temos as fórmulas (3), (4), (5) e (6):

$$\theta = \cos^{-1} \left\{ \frac{\frac{1}{2}[(R - G) + (R - B)]}{[(R - G)^2 + (R - B)(G - B)]^{\frac{1}{2}}} \right\} \quad (3)$$

$$H = \begin{cases} \theta & \text{se } B \leq G \\ 360^\circ - \theta & \text{se } B > G \end{cases} \quad (4)$$

$$I = \frac{R + G + B}{3} \quad (5)$$

$$S = 1 - \frac{3}{R + G + B} * [\min(R, G, B)] \quad (6)$$

Seguem as transformações do canal RGB (normalizados em valores entre 0 e 1) para o canal HSV:

Dado que $MAX = \max(R, G, B)$ e $MIN = \min(R, G, B)$, então:

$$H = \begin{cases} 60 * \left(\frac{G - B}{MAX - MIN} \right) + 0, se MAX = R e G \geq B \\ 60 * \left(\frac{G - B}{MAX - MIN} \right) + 360, se MAX = R e G < B \\ 60 * \left(\frac{B - R}{MAX - MIN} \right) + 120, se MAX = G \\ 60 * \left(\frac{R - G}{MAX - MIN} \right) + 240, se MAX = B \end{cases} \quad (7)$$

$$S = \frac{MAX - MIN}{MAX} \quad (8)$$

$$V = MAX \quad (9)$$

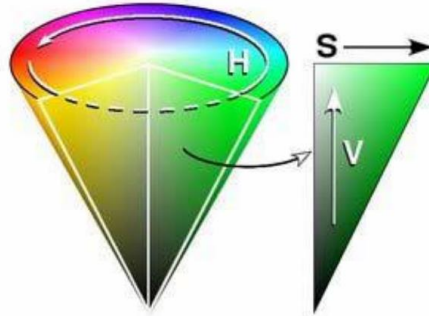


Figura 4: Representação geométrica do espaço de cor HSV

Na transformação do canal RGB (normalizados em valores entre 0 e 1) para o canal HSL, segundo (Ford & Roberts, 1998), ocorre somente a mudança do valor do canal L, dado que os valores da matiz H, da saturação S e do Valor (Value) foram calculados pelas fórmulas 3, 4 e 5 respectivamente, o canal L é calculado a partir da seguinte fórmula:

$$L = V - \frac{S}{2} \quad (10)$$

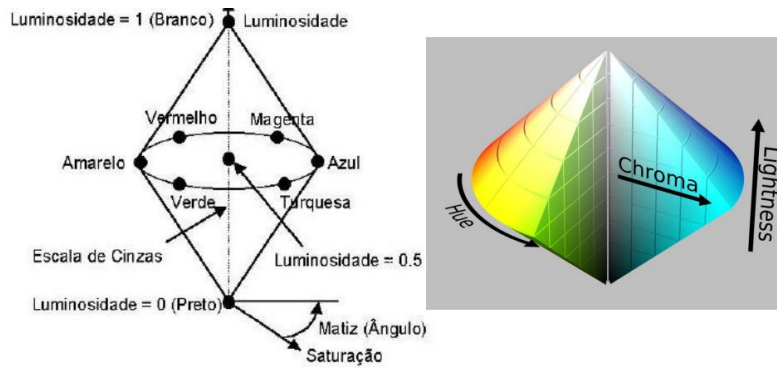


Figura 5: Representação geométrica do espaço de cor HSL

2.2.4 Espaço de Cor – CIE L*a*b*

Para realizar a transformação do espaço de cor RGB para o CIE L*a*b*, primeiro é necessária a conversão para o espaço XYZ. Este é um espaço de cor que busca representar a imagem de uma maneira independente do dispositivo utilizado. É composto de três canais (X, Y e Z).

A formulação matemática empregada para a conversão do espaço RGB para o XYZ foi a seguinte:

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0,4125 & 0,3576 & 0,1804 \\ 0,2125 & 0,7154 & 0,0721 \\ 0,0193 & 0,1192 & 0,9502 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} \quad (11)$$

A formulação matemática utilizada na conversão do espaço de cor XYZ para o espaço de cor CIELab é como segue (segundo (Ford & Roberts, 1998)):

$$L = f(n) = \begin{cases} \text{Se } n > 0,008856 \text{ então } f(n) = 116 * n^{\frac{1}{3}} - 16 \\ \text{Senão } f(n) = 903,3 * n \end{cases} \quad (12)$$

$= \frac{Y}{Y_n}$

$$a = 500 * \left[g\left(\frac{X}{X_n}\right) - g\left(\frac{Y}{Y_n}\right) \right] \quad (13)$$

$$b = 200 * \left[g\left(\frac{Y}{Y_n}\right) - g\left(\frac{Z}{Z_n}\right) \right] \quad (14)$$

$$\text{Onde, função } g(t) = \begin{cases} \text{caso } t > 0,008856 \text{ então } g(t) = t^{\frac{1}{3}} \\ \text{senão, } g(t) = 7,787 * t + \frac{16}{116} \end{cases} \quad (15)$$

X, Y e Z são os valores já calculados pela conversão de RGB para XYZ. Os valores X_n , Y_n , Z_n são conhecidos como *tristimulus* e fazem referência ao valor branco usado de referência, cujo valores são:

$$\begin{aligned} X_n &= 0,95047 \\ Y_n &= 1,0 \\ Z_n &= 1,08883 \end{aligned}$$

Bibliografia

Aleodin, D. (2011). Luz por Isaac Newton. Retrieved August 7, 2018, from <https://naturezadafisica.com/2011/03/03/luz-por-isaac-newton/>

Ford, A., & Roberts, A. (1998). *Colour space conversions*. Westminster University, London (Vol. 1998). <https://doi.org/ColourSpaceConversions>

Newton, I. (1714). *Opticks: treatise of the reflexions, refraxions, inflexions end colours of light*. (S. Smith & B. Walford, Eds.) (Royal Soci).

SANTOS, M. A. da S. (2018). A Dispersão da Luz Branca. Retrieved August 7, 2018, from <https://brasilecola.uol.com.br/fisica/a-dispersao-luz-branca.htm>

SOUTO, R. P. (2000). *Segmentação de imagem multiespectral utilizando-se o atributo matiz*. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais.