

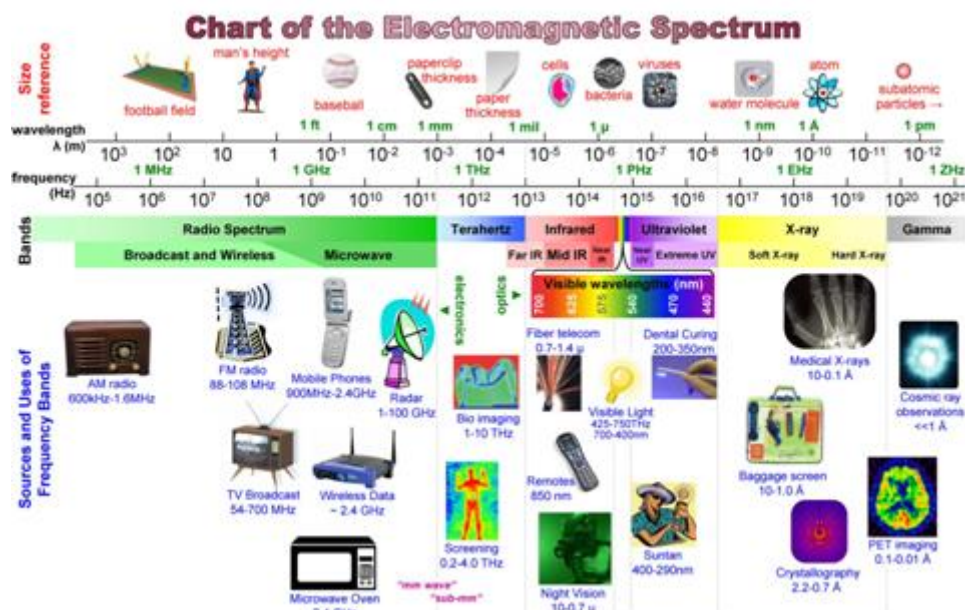
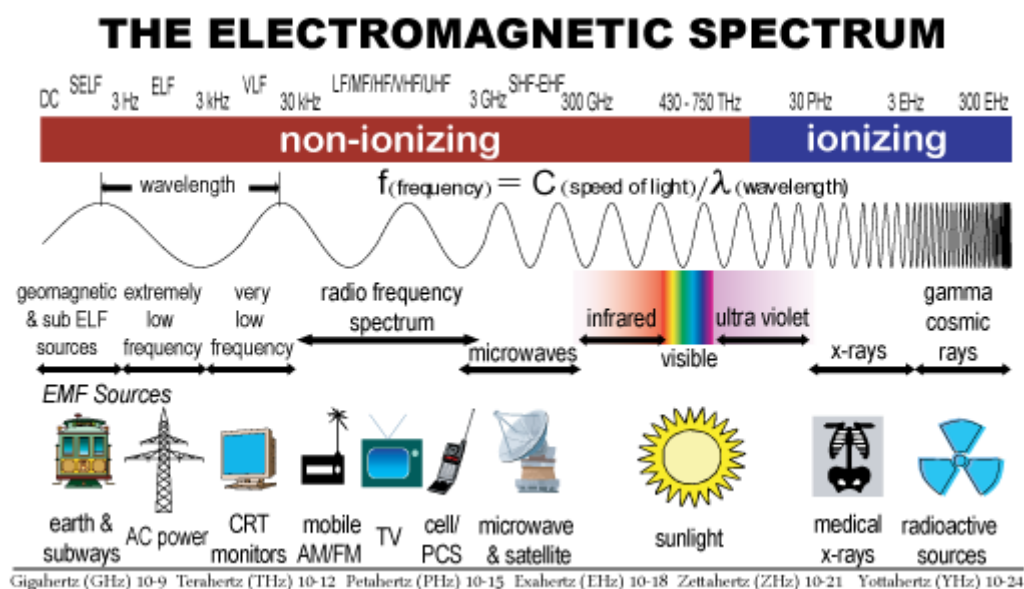
Fundamentos de Cor

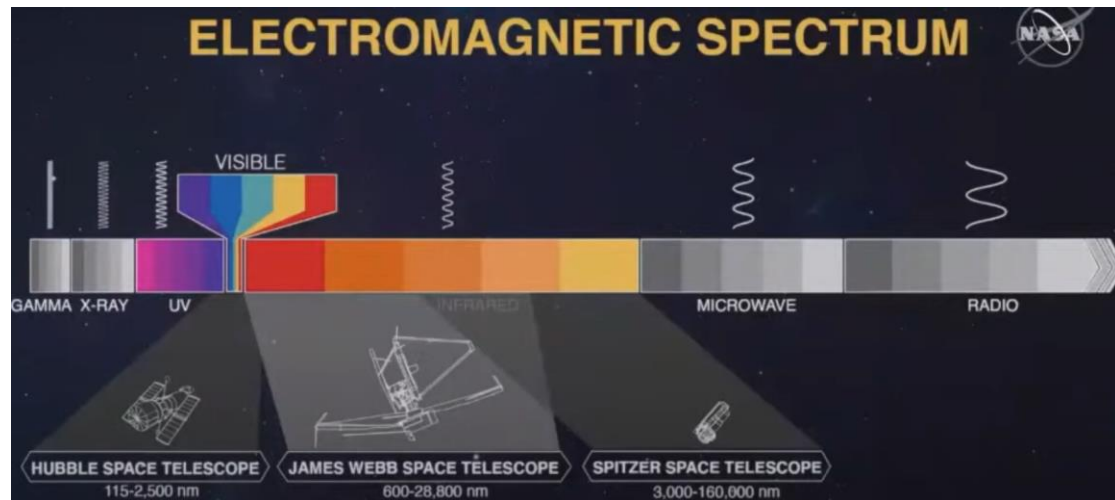
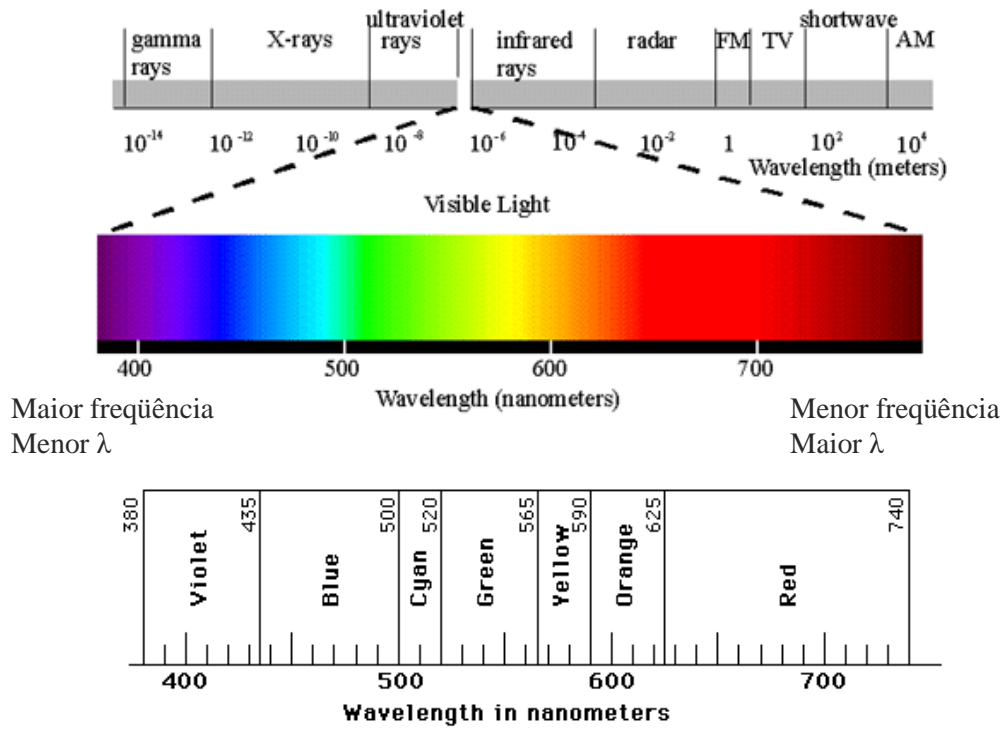
1. Cor

Do ponto de vista do universo físico, a cor é produzida por uma radiação eletromagnética cujo comprimento de onda λ está na faixa visível do espectro - aproximadamente entre $\lambda_a=400$ (**Violeta**) e $\lambda_b=800$ nanômetros (**Vermelho**). Para detalhes sobre teoria de cores, consulte:

<http://geocities.yahoo.com.br/anacanella/dicas.html>

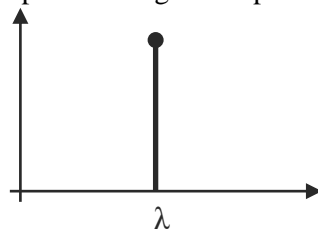
<http://omnis.if.ufrj.br/~coelho/DI/texto.html>



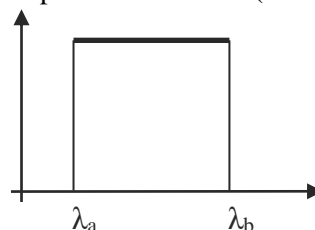


A cor que percebemos é resultado da combinação da energia de diferentes comprimentos de onda. A cor branca é mistura de radiação eletromagnética com igual energia em todas as faixas do espectro. Portanto, a cor fica definida por sua função de distribuição espectral.

Cor espectral pura: possui energia em apenas um comprimento de onda (COR MONOCROMÁTICA)



Cor espectral pura

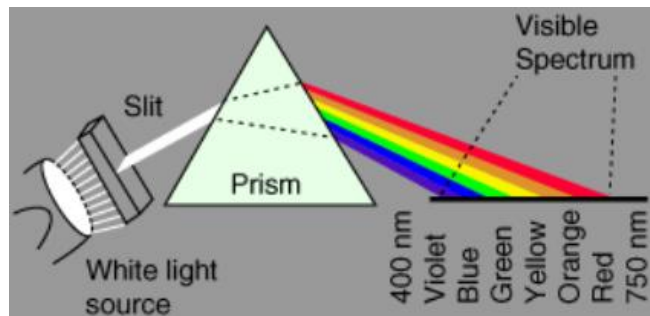


Cor branca

2. Distribuição Espectral

O espectro de radiação de uma fonte é a distribuição de intensidades das ondas em diferentes comprimentos de onda. Cor é uma sensação produzida pelo nosso sistema visual como resultado da composição espectral da luz.

Em um arco-íris, ou pela separação de cores em um prisma, pode-se ver o intervalo contínuo das cores espectrais (espectro visível). Dependendo do comprimento de onda que compõem a luz, diferentes fatores de refração são obtidos, como mostrado na seguinte figura.



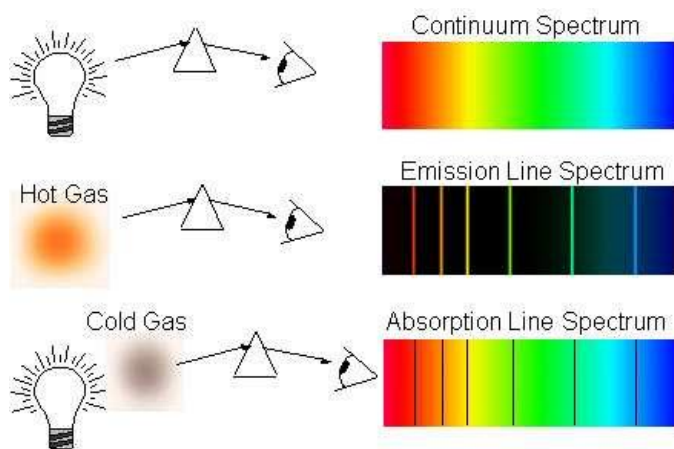
Esta mudança de direção é um problema enfrentado por quem produz **lentes para máquinas fotográficas**, por exemplo. A luz que passa pelas lentes sofre diferentes refrações dependendo do comprimento de onda (frequência). Para resolver isso, podem ser usados materiais com baixa dispersão na construção das lentes, que visam reduzir aberrações cromáticas. Outra solução é usar lentes adicionais para corrigir estas aberrações.

Cores como marrom, cor de rosa, cinza, dentre outras são cores multi-espectrais, isto é, são compostas por ondas com várias cores espectrais.

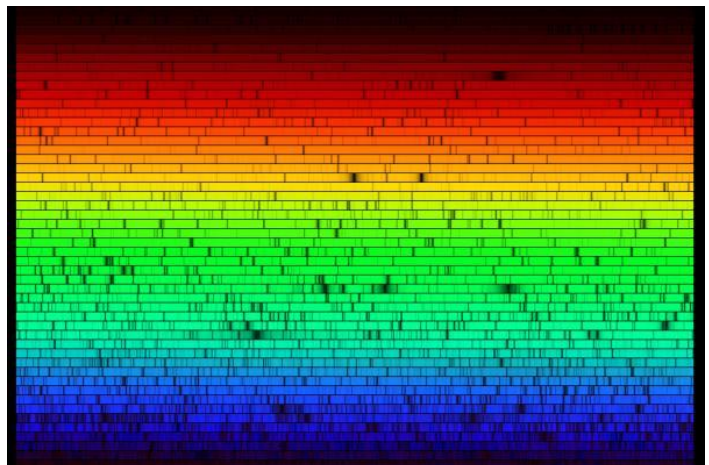
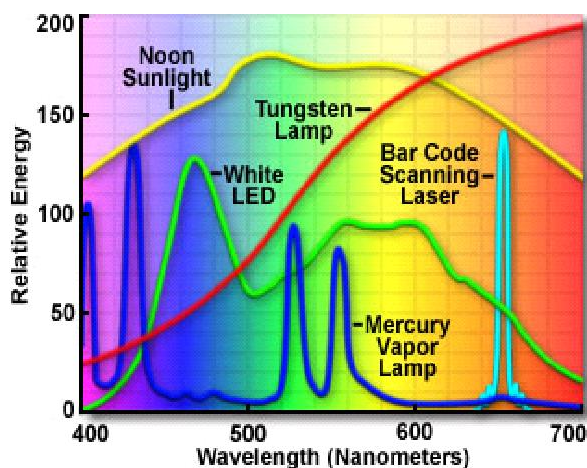
(<http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/hframe.html>)

O espectro de uma fonte de luz pode ser

- Contínuo (ter qualquer comprimento de onda no intervalo)
- Composto por linhas (comprimentos de onda discretos e não conectados)
- Ter intervalos (ausência de certos comprimentos de onda)



(<http://micro.magnet.fsu.edu/primer/lightandcolor/lightsourcesintro.html>)



Espectros de vários tipos de luz. No espectro solar (direita), intervalos resultam da absorção da luz por gases.

3. Cor - Representação

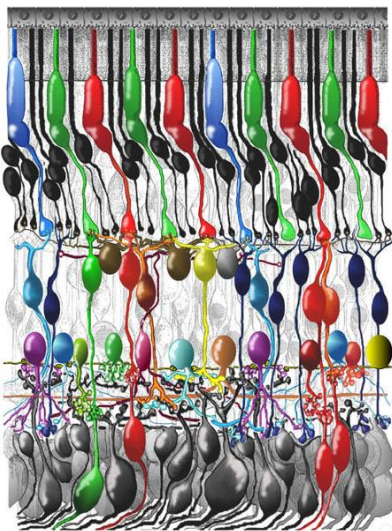
A cor, do ponto de vista matemático, é dada por uma função contínua ($f: \mathbb{R} \rightarrow \mathbb{R}$), com um intervalo infinito (contínuo) de frequências e de intensidades.

Para fazer a representação, deve-se amostrar o sinal em comprimentos de onda estabelecidos. Este processo é chamado **amostragem** pontual da função de distribuição espectral ϵ .

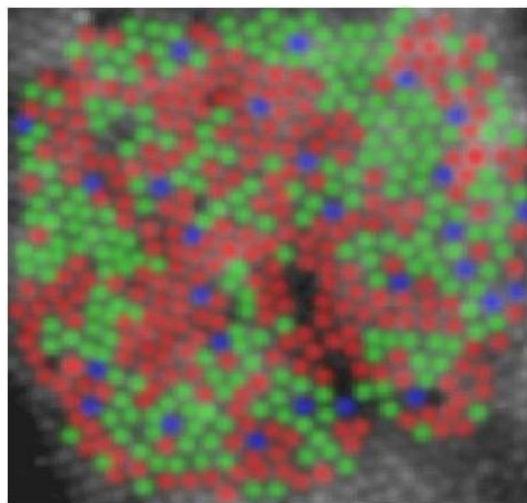
Número de amostras: Como o olho humano tem células fotossensíveis em **3 pontos distintos do espectro**, utilizam-se 3 amostras: uma em baixa frequências (R), uma em média (G) e uma em alta (B) – Sistema RGB. Após o olho fazer a amostragem, o espectro obtido é processado e enviado ao cérebro. Este modelo tricromático foi proposto pelos físicos Young e Helmholtz no século XIX.

Cor - Sistema Receptor

- Olho humano (**Cones e Bastonetes**)
- Scanner
- Câmeras de vídeo
- Possuem número finito de sensores s_1, s_2, \dots, s_n que fazem amostragem em n faixas do espectro
- Sensores ideais fazem amostragem pontual da cor espectral $C(\lambda)$.



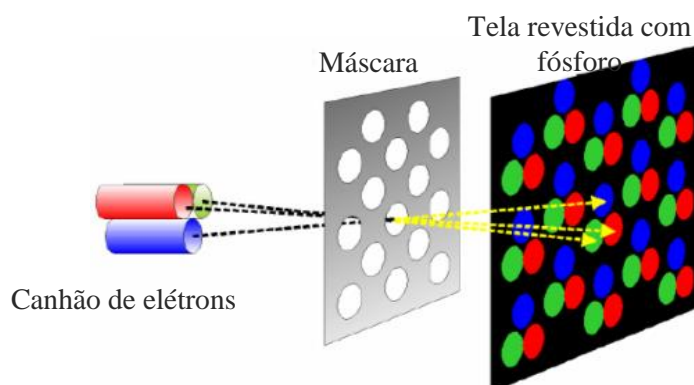
Seção vertical da retina humana

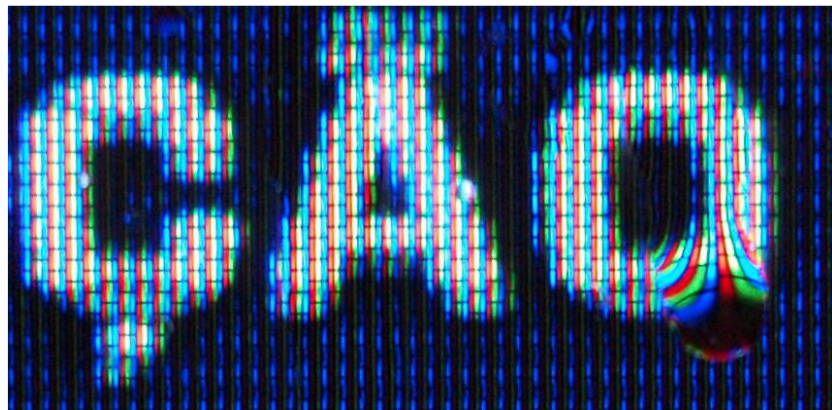
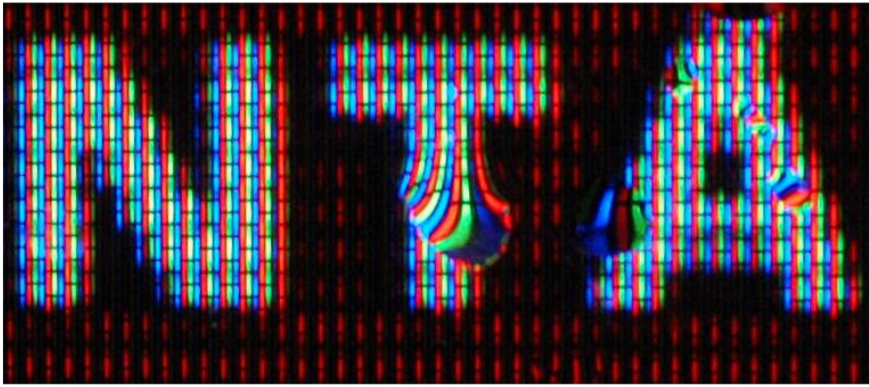


Distribuição dos sensores

Cor – Sistema Emissor

A TV ou monitor são sistemas emissivos que fazem combinações lineares de cores primárias para a reconstrução das cores visíveis.





Imagens fotografadas de uma TV Panasonic exibindo a tela inicial do DVD “Os Incríveis”. Gotas de água estão sobre a tela da TV para realçar os pixels. [Cesar Pozzer]

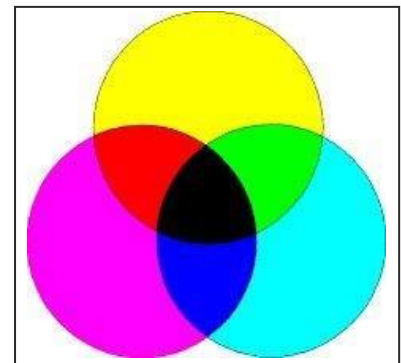
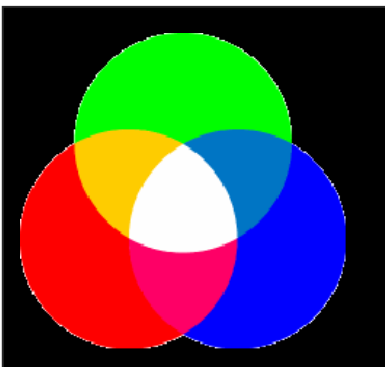
4. Cores primárias

Uma **cor primária** é uma cor que não pode ser decomposta em outras cores. Essas cores se mesclam entre si para produzir as demais cores do espectro. Quando duas cores primárias são misturadas, produz-se o que se conhece como cor secundária, e ao mesclar uma cor secundária com uma primária surge uma cor terciária [Wikipedia].

Deve-se observar que existem dois tipos de cores

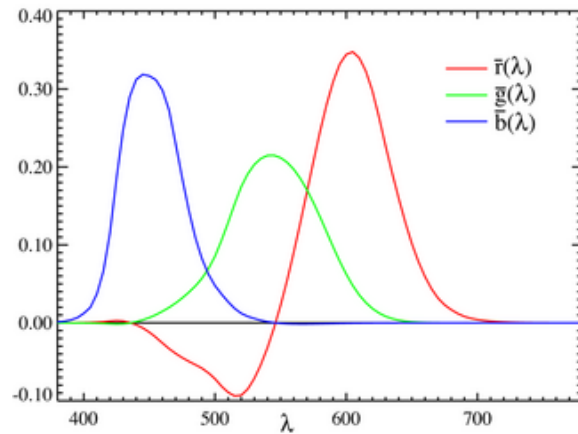
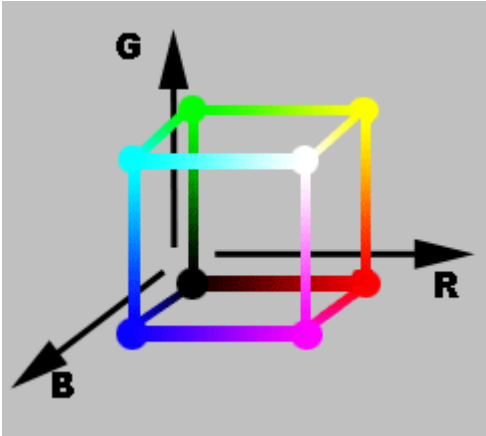
- Cor Luz e
- Cor Pigmento. http://www.arq.ufsc.br/~labcon/arq5661/trabalhos_2001-2/iluminacao/cores.htm

Na cor Luz, as primárias são o RGB, e na cor Pigmento, são o ciano, magenta e amarelo. Como mostrado na seguinte figura, misturando-se as primárias da luz obtém-se o branco (sistema aditivo) e misturando-se as cores pigmento, obtém-se a cor preta (cores subtrativas).



Sistema CIE-RGB

- Cores aditivas
- Usa 3 cores primárias básicas. As demais são combinações destas
- Estas funções são definidas por **experimentos práticos**.
- Não pode gerar todas as cores do espectro (cores onde o valor da função $r(\lambda)$ é negativo).

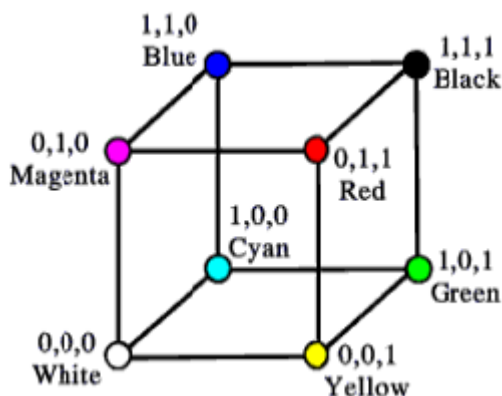


Conversões

- Luminância: Medida da densidade da intensidade de uma luz
 - $Y = 0.299 R + 0.587 G + 0.114 B$
 - Pode ser usado para transformar imagens coloridas em monocromática

Sistema CMYK

- Cores subtrativas
- Usa 3 cores primárias básicas. As demais são combinações destas
- Usos: impressoras

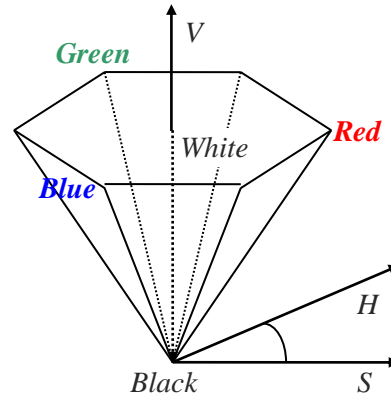
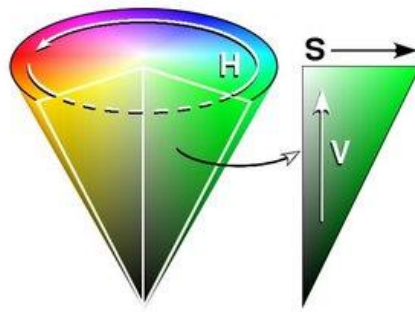
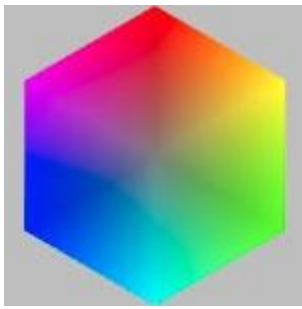


$$\begin{pmatrix} C \\ M \\ Y \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} R \\ G \\ B \end{pmatrix}$$



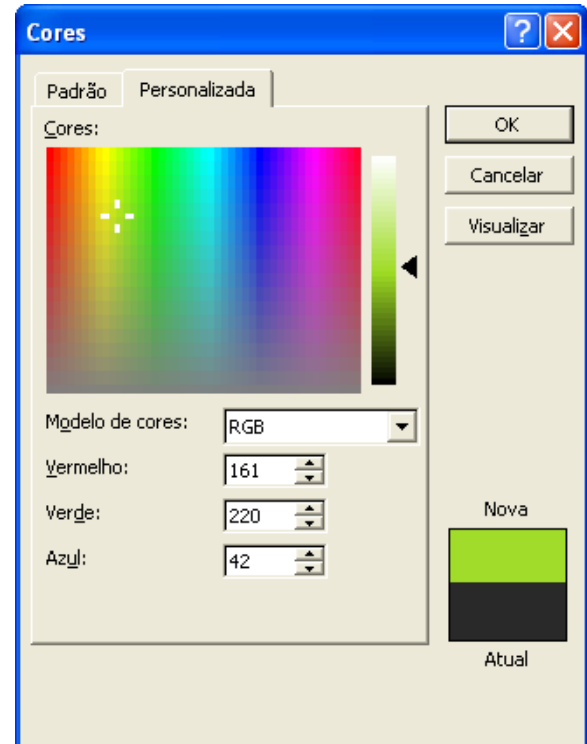
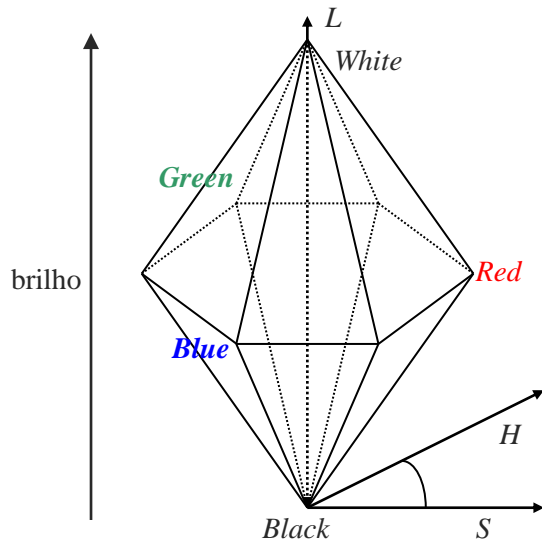
Sistema HSV

- HSV – Hue, Saturation, Value
- Saturação é a pureza da cor
- A cor não é definida em função de primárias
- Definido por um hexágono, derivado do cubo RGB (visto da diagonal BW)
- Facilidade para especificar cores



Sistema HSL

- HSL – *Hue, Saturation, Lightness*
- A cor não é definida em função de primárias
- Definido por um hexágono duplo
- Facilidade para especificar cores



```
void RGBtoHLS(float r, float g, float b, float hls[])
{
    float max, min, dif;
    float r_dist, g_dist, b_dist;
    r/=255.0;
    g/=255.0;
    b/=255.0;
    max = Math.max(r, Math.max(g,b));
    min = Math.min(r, Math.min(g,b));
    dif = max-min;
    hls[1] = (max+min)/(float)2.0;
    if(Math.abs(dif)<(float)0.00000001)
    {
        hls[2] = (float)0.0;
        hls[0] = (float)0.0;
        //System.out.println("erro na cor ...");
    }
    else
    {
        if(hls[1]<=(float)0.5)
            hls[2] = dif/(max+min);
        else
            hls[2] = dif/(2-max-min);
    }
}
```

```

        r_dist = (max-r)/dif;
        g_dist = (max-g)/dif;
        b_dist = (max-b)/dif;
        if(r == max)    hls[0] = b_dist-g_dist;
        else if(g==max) hls[0] = 2+r_dist-b_dist;
        else if(b==max) hls[0] = 4+g_dist-r_dist;
        hls[0] *= 60.0;
        if(hls[0] < (float)0.0)
            hls[0] += (float)360.0;
        hls[0]/=(float)360.0;
    }
}

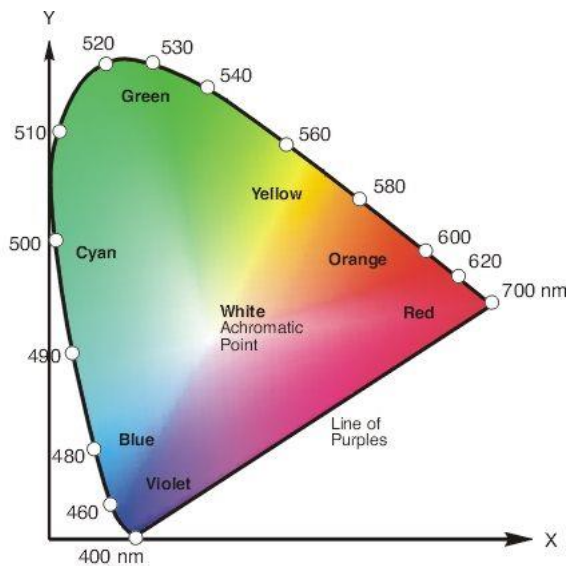
Color HLStoRGB(float h, float l, float s)
{
    float p1, p2, r,g,b, H;
    H=h*360;
    if(l<=(float)0.5)
        p2 = l*(1+s);
    else
        p2 = l+s-l*s;
    p1=(float)2.0*l-p2;
    if(s==0)
    {
        r=l; g=l; b=l;
    }
    else
    {
        r = RGB(p1, p2, H+120);
        g = RGB(p1, p2, H);
        b = RGB(p1, p2, H-120);
        if(r>1 || g>1 || b>1)
            System.out.println(r+" "+g+" "+b);
    }
    return (new Color((int)(r*255.0), (int)(g*255.0), (int)(b*255.0)));
}

float RGB(float q1, float q2, float hue)
{
    if(hue>(float)360.0) hue-=(float)360.0;
    if(hue<(float)0.0)    hue+=(float)360.0;
    if(hue<(float)60.0)    return (q1+(q2-q1)*hue/(float)60.0);
    else if (hue<(float)180.0) return q2;
    else if (hue<(float)240.0) return (q1+(q2-q1)*(240-hue)/(float)60.0);
    else return q1;
}

```

Diagrama de Cromaticidade – CIE-XYZ

- Sistema que reconstrói todas as cores visíveis (**Gamut de cores**)
- A base do sistema são 3 cores não visíveis.
- Coordenadas positivas
- Para encontrar todas as variações entre duas cores basta traçar uma reta entre as cores. Isso também pode ser aplicado em uma área do diagrama, como ocorre com o espaço RGB



$$\begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0,49 & 0,31 & 0,2 \\ 0,17 & 0,81 & 0,01 \\ 0 & 0,01 & 0,99 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} R \\ G \\ B \end{pmatrix}$$

5. Exercícios

1. Faça um programa para converter cores de formato RGB para HSL. Compare o resultado com um software comercial.
2. Desenvolva uma interface gráfica para fazer um color picker no sistema HSL, semelhante a interface presente em aplicativos Windows.

Referências

- [1] Gomes, J., Velho, L. *Computação Gráfica, Volume 1*. IMPA, 1998.
- [2] Hearn, D., Baker, M. *Computer Graphics, C Version*. Ed. Prentice Hall, 1997.
- [3] Azevedo, E., Conci, A. *Computação Gráfica, Teoria e Prática*. Ed. Campus, 2003.
- [4] Glassner, A. *Principles of Digital Image Synthesis*. Ed. Morgan Kaufmann, 1995.
- [5] <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/hframe.html>
- [6] <http://micro.magnet.fsu.edu/primer/lightandcolor/lightsourcesintro.html>