

# Percepção da cor

## Percepção visual

S. Mogo

Departamento de Física  
Universidade da Beira Interior

2017 / 18

- 1 Definição de cor
- 2 Sistemas de especificação de cores
  - Sistema Munsell de especificação de cores
  - Sistema CIE de especificação de cores
- 3 Teorias sobre a visão das cores
  - Teoria tricromática
  - Teoria das cores oponentes
  - Modelos actuais de visão das cores
- 4 Aparência da cor
  - Discriminação de c.d.o.
  - Efeitos cromáticos
  - Adaptação cromática
  - Constância da cor

- 1 Definição de cor
- 2 Sistemas de especificação de cores
  - Sistema Munsell de especificação de cores
  - Sistema CIE de especificação de cores
- 3 Teorias sobre a visão das cores
  - Teoria tricromática
  - Teoria das cores oponentes
  - Modelos actuais de visão das cores
- 4 Aparência da cor
  - Discriminação de c.d.o.
  - Efeitos cromáticos
  - Adaptação cromática
  - Constância da cor

## Definição de cor



## O que é a cor?



# Definição de cor

## Defin. de cor

## Orden. cores

Sistema Munsell  
Sistema CIE

## Th. visão cor

Tricromática  
Cores oponentes  
Modelos actuais

## Aparência cor

Discrimin. c.d.o.  
Efeitos cromáticos  
Adaptação cromática  
Constância da cor

**cor** → resposta sensorial que é provocada pela observação de estímulos produzidos por radiações de diferentes c.d.o..



sensação  
percepção  
≠ para cd indivíduo

# Tonalidade, saturação e brilho

## Defin. de cor

## Orden. cores

Sistema Munsell  
Sistema CIE

## Th. visão cor

Tricromática  
Cores oponentes  
Modelos actuais

## Aparência cor

Discrimin. c.d.o.  
Efeitos cromáticos  
Adaptação cromática  
Constância da cor

Dizer que um estímulo é p.ex. azul, é uma descrição muito incompleta da sua **cor**: é necessário + detalhe, já que existem muitas variantes de azul.

- **Tonalidade** → c.d.o. dominante.



- **Saturação** → pureza colorimétrica.



- **Brilho** → luminância do estímulo.



# Tonalidade, saturação e brilho

## Tonalidade

**Tonalidade** → parte da percepção directamente relacionada com o c.d.o..



- Estímulo de 400 nm possui tonalidade azul; estímulo de 570 possui tonalidade amarela;
- Cuidado com os termos: cor  $\neq$  tonalidade.

# Tonalidade, saturação e brilho

## Saturação

**Saturação** → uma cor desaturada é percebida como se lhe tivesse sido adicionado branco (parece descorada).

- É medida através de uma propriedade física denominada **pureza colorimétrica**,  $p$ :

$$p = \frac{L_{\lambda}}{L_{\lambda} + L_W}$$

$L_{\lambda}$  — luminância da amostra

$L_W$  — luminância da luz branca adicionada;

- $p$  quantifica a luz branca que se adicionou à amostra;
- $p = 1 \Rightarrow$  não se adicionou nenhum branco.



# Tonalidade, saturação e brilho

## Brilho

**Brilho** → sensação produzida pela luminância do estímulo.



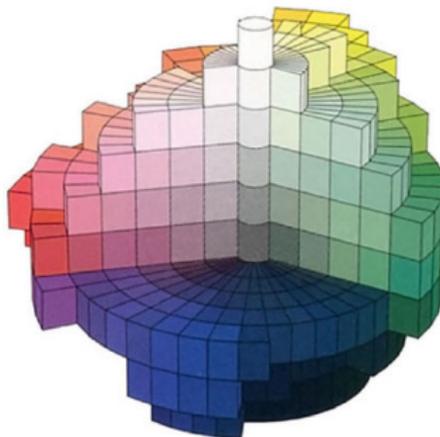
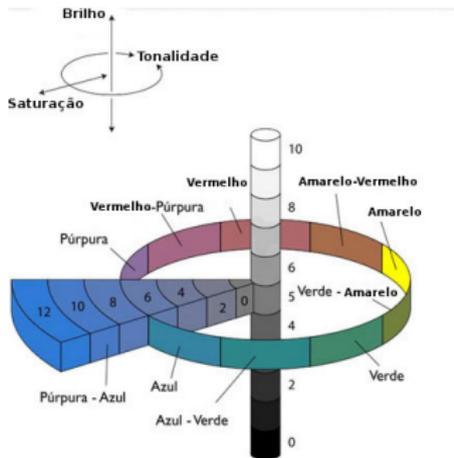
- Unidade de medida: **bril**;
- cuidado com os termos: **brilho**  $\neq$  luminância;
- o brilho é apenas um conceito psicológico subjectivo cuja curva é muito parecida com a curva de sensibilidade espectral,  $V(\lambda)$ .

- 1 Definição de cor
- 2 **Sistemas de especificação de cores**  
Sistema Munsell de especificação de cores  
Sistema CIE de especificação de cores
- 3 Teorias sobre a visão das cores  
Teoria tricromática  
Teoria das cores oponentes  
Modelos actuais de visão das cores
- 4 Aparência da cor  
Discriminação de c.d.o.  
Efeitos cromáticos  
Adaptação cromática  
Constância da cor

# Sistema Munsell

**Sistema Munsell:** (descreve a cor em função de 3 parâmetros)

- tonalidade,  $H$  (*hue*);
- saturação,  $C$  (*chroma*) [1-14];
- brilho,  $V$  (*value*) [0-10].



Pode ser visto como um cilindro em que a tonalidade varia de modo contínuo com o seu perímetro.

# Sistema CIE

- Baseia-se na **teoria tricromática** da visão das cores;
- cada cor é descrita com base na quantidade relativa de 3 **primários** que se misturam:  $R$ ,  $G$ ,  $B$ ;
- os primários CIE não são números *reais* mas sim *imaginários*,  $X$ ,  $Y$ ,  $Z$ .

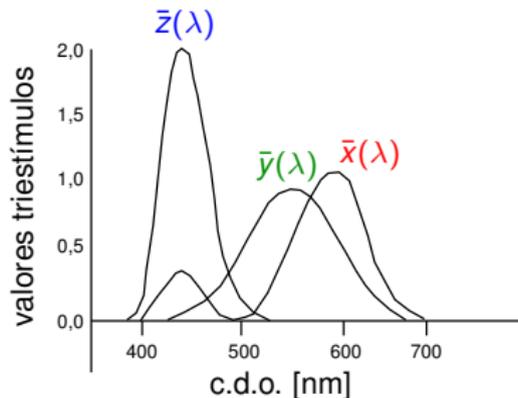




# Sistema CIE

## Funções de ajuste de cor - primários imaginários

Para resolver este problema, o sistema CIE utiliza álgebra matricial para transformar o conjunto de funções de ajuste de cor,  $\bar{r}(\lambda)$ ,  $\bar{g}(\lambda)$ ,  $\bar{b}(\lambda)$ , num novo conjunto de funções de ajuste de cor,  $\bar{x}(\lambda)$ ,  $\bar{y}(\lambda)$ ,  $\bar{z}(\lambda)$ .



$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \text{matriz} \\ \text{de} \\ \text{transformação} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix}$$

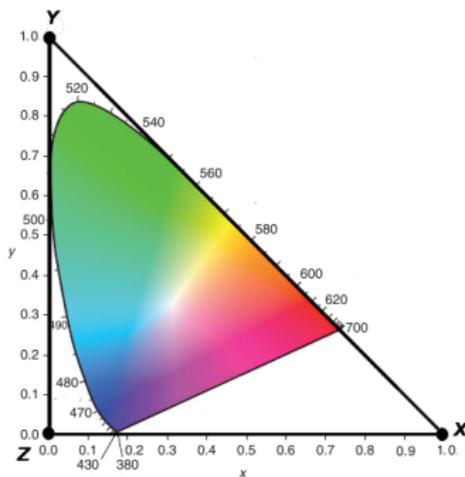
- $\bar{r}(\lambda)$ ,  $\bar{g}(\lambda)$ ,  $\bar{b}(\lambda)$  referem-se a **primários reais**,  $R$ ,  $G$ ,  $B$ ; (valores triestímulos  $R$ ,  $G$ ,  $B$ )
- $\bar{x}(\lambda)$ ,  $\bar{y}(\lambda)$ ,  $\bar{z}(\lambda)$  referem-se a **primários imaginários**,  $X$ ,  $Y$ ,  $Z$ ; (valores triestímulos  $X$ ,  $Y$ ,  $Z$ )

Notar que todos os c.d.o. do espectro visível se podem obter com quantidades positivas dos primários  $X$ ,  $Y$ ,  $Z$ .

# Sistema CIE

## Diagrama de cromaticidade (x, y) da CIE

Com base nos primários X, Y, Z pode-se construir o diagrama de cromaticidade (x, y) da CIE.



- O diagrama é construído convertendo os valores triestímulos, X, Y, Z, para unidades relativas, denominadas **coordenadas de cromaticidade**:  
$$x = \frac{X}{X+Y+Z}; y = \frac{Y}{X+Y+Z}; z = \frac{Z}{X+Y+Z}$$

- a soma das coordenadas de cromaticidade é 1:  
$$x + y + z = 1$$



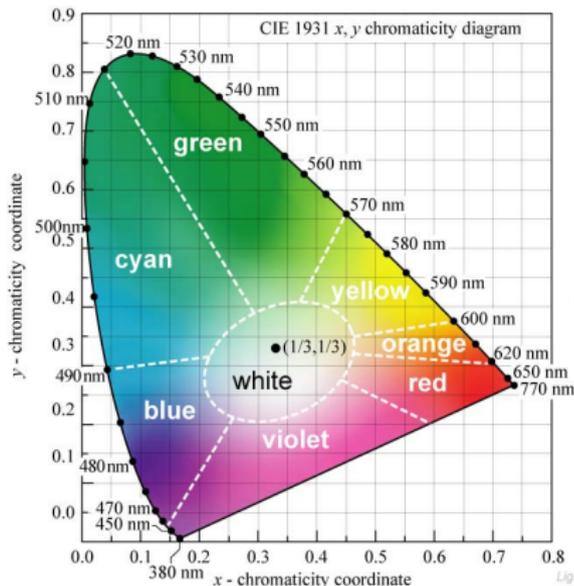
Se 2 coordenadas forem conhecidas,  
a 3ª pode ser calculada.  
(por isso o diagrama mostra apenas as  
coordenadas de cromaticidade x e y)



# Sistema CIE

## Mistura de cores

Vamos supor que pretendemos misturar quantidades iguais de 510 nm e 560 nm.

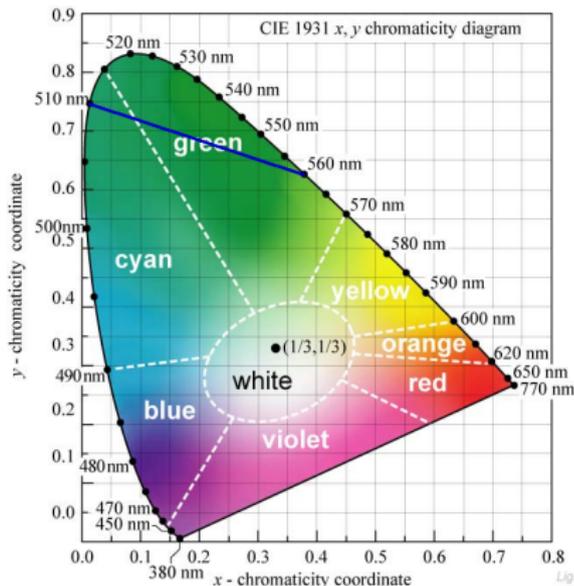


Como saber a cor resultante?

# Sistema CIE

## Mistura de cores

Vamos supor que pretendemos misturar quantidades iguais de 510 nm e 560 nm.

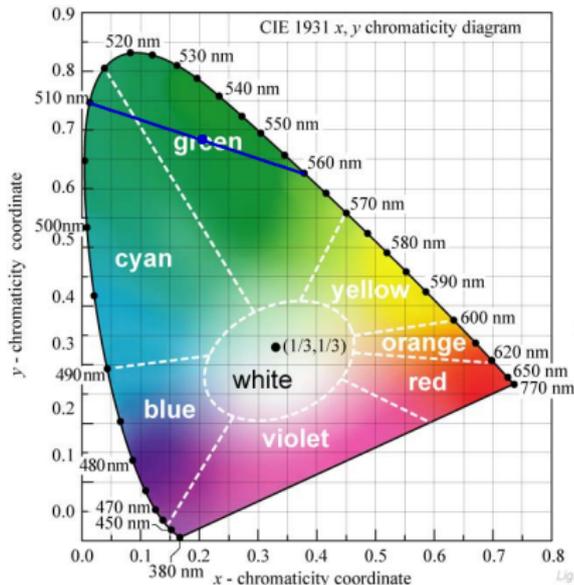


Conectar os 2 pontos do *spectrum locus* com uma linha recta.

# Sistema CIE

## Mistura de cores

Vamos supor que pretendemos misturar quantidades iguais de 510 nm e 560 nm.

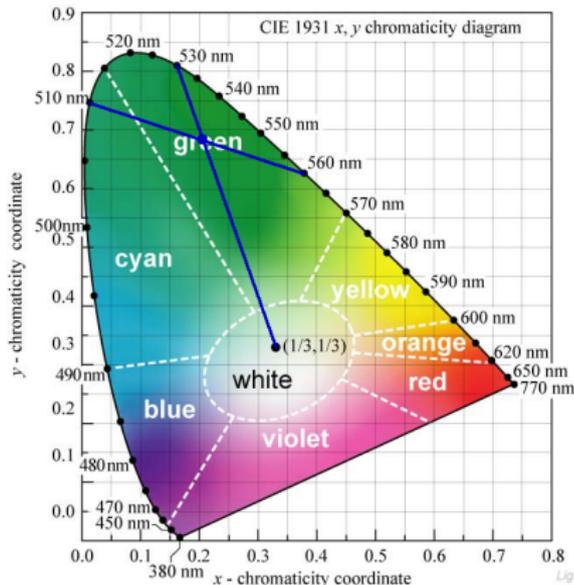


Encontrar o ponto médio do segmento de recta.

# Sistema CIE

## Mistura de cores

Vamos supor que pretendemos misturar quantidades iguais de 510 nm e 560 nm.



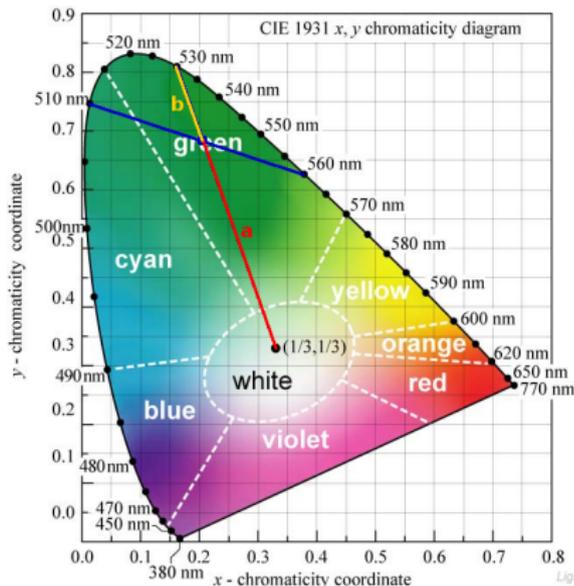
Unir o ponto correspondente ao branco,  $W$ , com o ponto médio do segmento de recta e prolongar até intersectar o *spectrum locus*.

O ponto desta intersecção corresponde ao **c.d.o. dominante** da mistura: neste caso 530 nm.

# Sistema CIE

## Mistura de cores

Vamos supor que pretendemos misturar quantidades iguais de 510 nm e 560 nm.



A distância relativa da amostra até  $W$  é uma medida da sua pureza colorimétrica:

$$\frac{a}{a+b} \simeq 0,75.$$

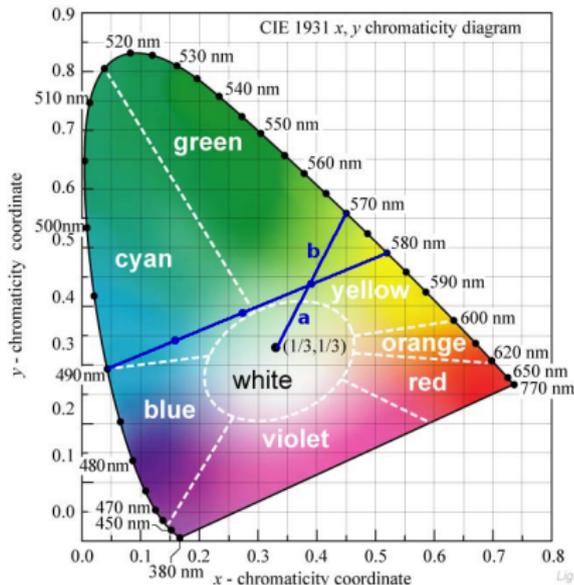
★

$\lambda = 530 \text{ nm}$  e  $p = 0,75$  são os dois parâmetros da mistura que é necessário especificar.

# Sistema CIE

## Mistura de cores - outro exemplo

Vamos supor agora que pretendemos misturar 490 nm e 580 nm mas temos 3x mais quantidade de 580 nm.



Em vez de usar o ponto médio, usamos 3/4.

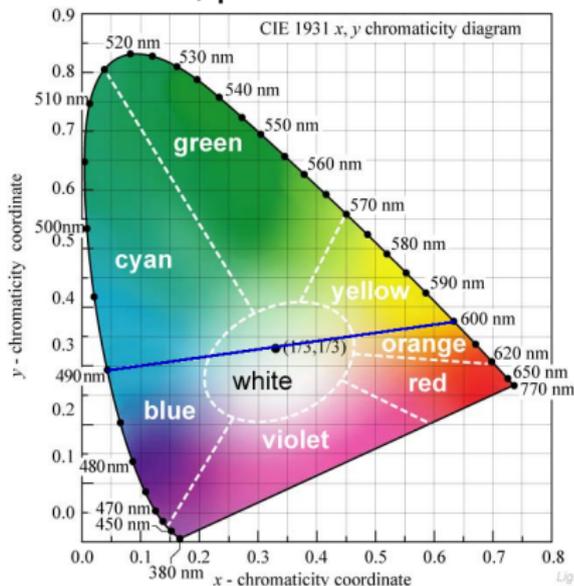
★

$\lambda = 570 \text{ nm}$  e  $p = 0,45$ .

# Sistema CIE

## Cores complementares

cores complementares → são aquelas que quando se misturam, produzem branco.



Dado um determinado c.d.o., para encontrar o seu complementar basta traçar uma linha recta até ao lado oposto do *spectrum locus* e que passe por *W*.



# Outline

- 1 Definição de cor
- 2 Sistemas de especificação de cores
  - Sistema Munsell de especificação de cores
  - Sistema CIE de especificação de cores
- 3 Teorias sobre a visão das cores
  - Teoria tricromática
  - Teoria das cores oponentes
  - Modelos actuais de visão das cores
- 4 Aparência da cor
  - Discriminação de c.d.o.
  - Efeitos cromáticos
  - Adaptação cromática
  - Constância da cor

# Teorias sobre a visão das cores

Defin. de cor

Orden. cores

Sistema Munsell

Sistema CIE

Th. visão cor

Tricromática

Cores oponentes

Modelos actuais

Aparência cor

Discrimin. c.d.o.

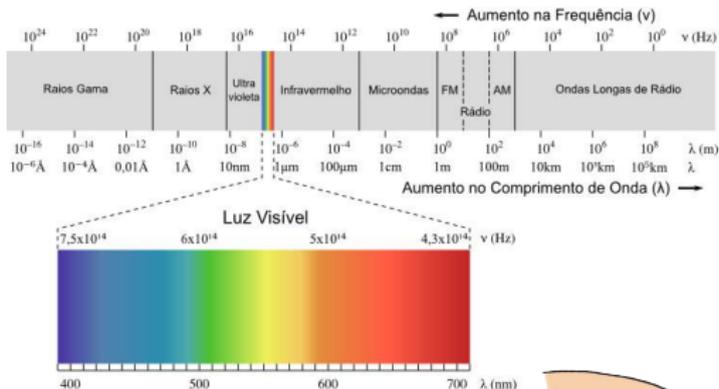
Efeitos cromáticos

Adaptação cromática

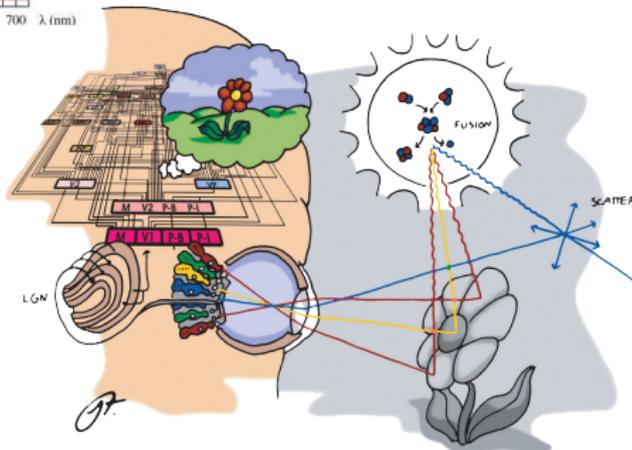
Constância da cor

- Teoria tricromática: Thomas Young (1802);
- Teoria das cores oponentes: Ewald Hering (1920);
- Modelos actuais de visão das cores.

# Teoria tricromática



<http://dan-scientia.blogspot.pt>



# Teoria tricromática

Defin. de cor

Orden. cores

Sistema Munsell  
Sistema CIE

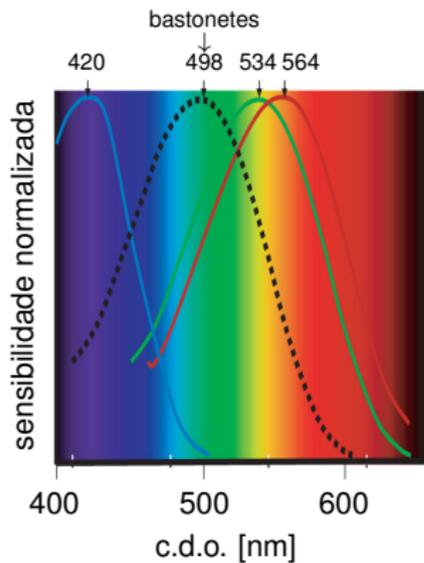
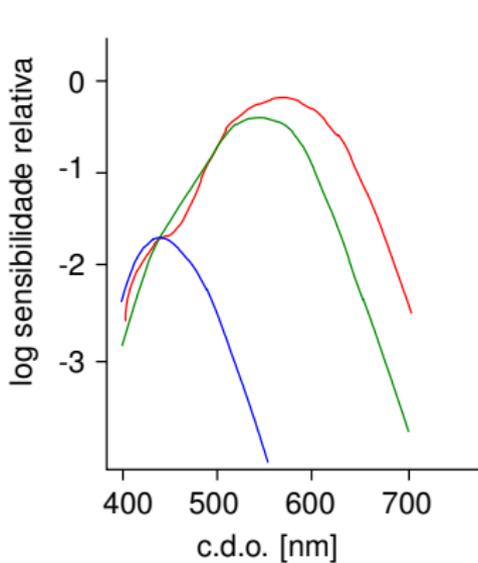
Th. visão cor

Tricromática

Cores oponentes  
Modelos actuais

Aparência cor

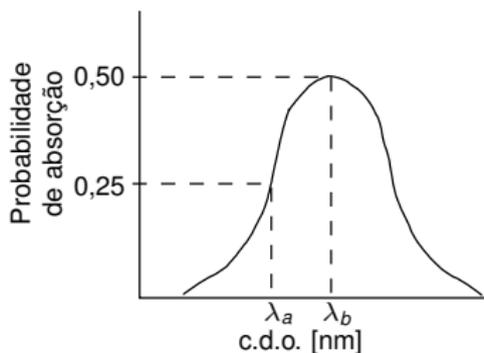
Discrimin. c.d.o.  
Efeitos cromáticos  
Adaptação cromática  
Constância da cor



# Teoria tricromática

## Monocromata

Vamos considerar um indivíduo que só possui um tipo de fotopigmento — **monocromata**.



O gráfico mostra a probabilidade de absorção de *quanta* de energia em função do c.d.o. — **curva de absorção do fotopigmento**.

- 1 *quantum* de  $\lambda_b$  tem 50% de probabilidade de ser absorvido;
- 1 *quantum* de  $\lambda_a$  tem 25% de probabilidade de ser absorvido.



# Teoria tricromática

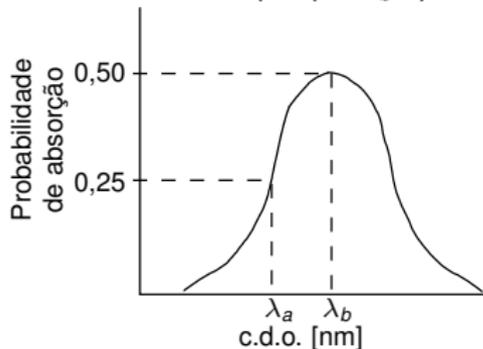
Consegue um monocromata distinguir 2 fontes luminosas com  $\neq$  c.d.o.?

**Caso 1:**  $\lambda_a$  e  $\lambda_b$  emitem a mesma energia luminosa, p.ex., 100 *quanta*

- $\lambda_a$  emite 100 *quanta*  $\Rightarrow$  25 *quanta* são absorvidos;
- $\lambda_b$  emite 100 *quanta*  $\Rightarrow$  50 *quanta* são absorvidos.



Consegue diferenciar as fontes porque  $\lambda_b$  aparece + brilhante.



# Teoria tricromática

Consegue um monocromata distinguir 2 fontes luminosas com  $\neq$  c.d.o.?

**Caso 2:**  $\lambda_a$  emite o dobro da energia luminosa de  $\lambda_b$

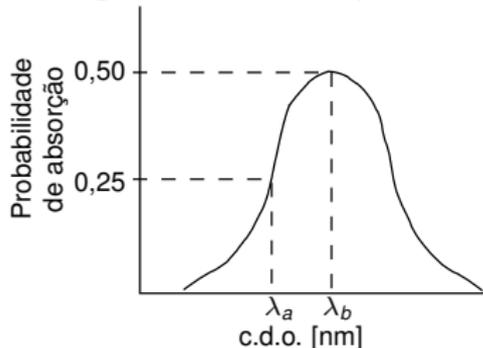
- $\lambda_a$  emite 200 *quanta*  $\Rightarrow$  50 *quanta* são absorvidos;
- $\lambda_b$  emite 100 *quanta*  $\Rightarrow$  50 *quanta* são absorvidos.



$\lambda_a$  e  $\lambda_b$  produzem o mesmo efeito.



O indivíduo não consegue diferencia-las apenas com base no c.d.o..



# Teoria tricromática

Consegue um monocromata distinguir 2 fontes  
luminosas com  $\neq$  c.d.o.?

## Conclusão:

Para um indivíduo monocromata as fontes luminosas  
podem sempre ser ajustadas em intensidade de modo que  
lhe pareçam iguais.



# Teoria tricromática

Consegue um monocromata distinguir cores?

Mas afinal, um monocromata percebe ou não as cores?

- Não se pode responder com facilidade a esta questão;
- afinal, nem sequer é possível garantir que eu e vocês percebamos a mesma cor quando olhamos para um tomate vermelho.

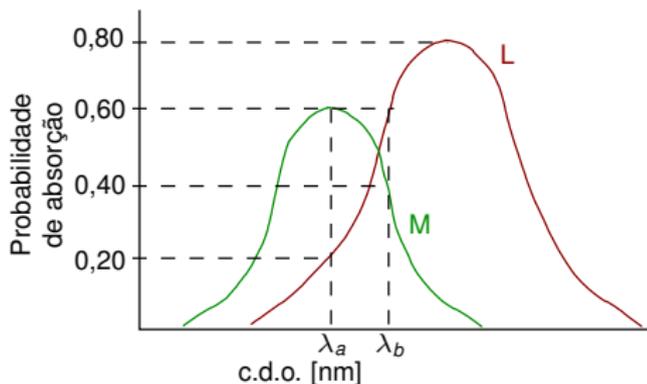


<http://www.freebievectors.com>

# Teoria tricromática

## Dicromata

Consideremos agora um indivíduo com dois fotopigmentos (p.ex., M e L) e picos de sensibilidade em dois c.d.o. diferentes — **dicromata**.



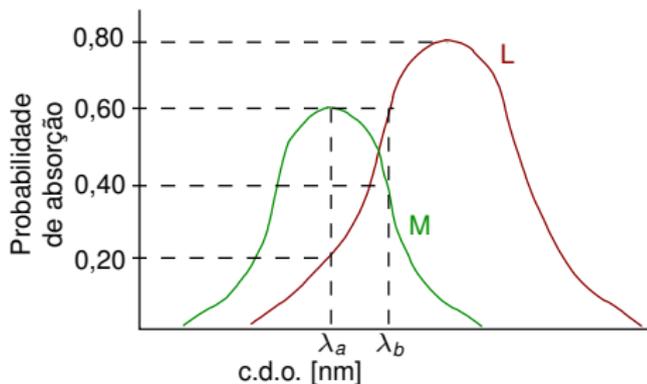
É possível este indivíduo distinguir entre 2 fontes a emitir em  $\lambda_a$  e  $\lambda_b$  respectivamente?

# Teoria tricromática

## Dicromata

**Caso 1:**  $\lambda_a$  e  $\lambda_b$  emitem a mesma energia luminosa, p.ex., 100 *quanta*

- $\lambda_a$  emite 100 *quanta*  $\Rightarrow$  60 *quanta* são absorvidos pelo fotopigmento M;  
 $\Rightarrow$  20 *quanta* são absorvidos pelo fotopigmento L;
- $\lambda_b$  emite 100 *quanta*  $\Rightarrow$  40 *quanta* são absorvidos pelo fotopigmento M;  
 $\Rightarrow$  60 *quanta* são absorvidos pelo fotopigmento L.



⇓

Não é possível variar a intensidade de uma das fontes de modo a que produzam a mesma sensação luminosa.

⇓

Então, se o indivíduo consegue distinguir entre as 2 fontes só pode ser com base no seu c.d.o..

# Teoria tricromática

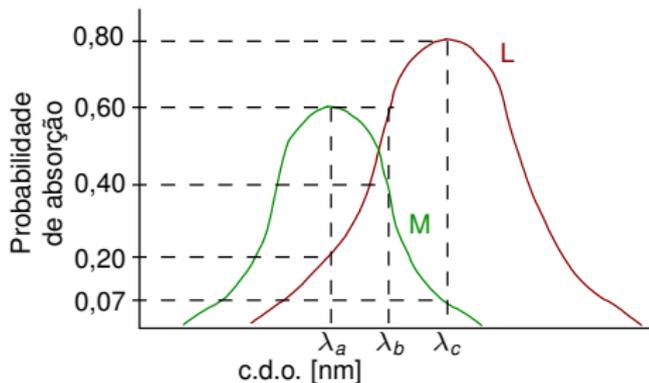
## Dicromata

**Caso 2:** as fontes consideradas são  $\lambda_b$  (emitindo 500 *quanta*) e outra que consiste numa mistura aditiva de  $\lambda_a$  e  $\lambda_c$  (emitindo 300 *quanta* em cada c.d.o.)

- Fonte  $\lambda_b$ : emite 500 *quanta* em  $\lambda_b \Rightarrow$  200 *quanta* são absorvidos pelo fotopigmento M  
 $\Rightarrow$  300 *quanta* são absorvidos pelo fotopigmento L

- Fonte  $\lambda_a + \lambda_c$ : emite 300 *quanta* em  $\lambda_a \Rightarrow$  180 absorvidos por M  
 $\Rightarrow$  60 absorvidos por L  
emite 300 *quanta* em  $\lambda_c \Rightarrow$  21 absorvidos por M  
 $\Rightarrow$  240 absorvidos por L

201 *quanta* absorvidos por M  
300 *quanta* absorvidos por L



É possível ajustar as intensidades de  $\lambda_a$ ,  $\lambda_b$  e  $\lambda_c$  de modo que as fontes  $\lambda_b$  e  $\lambda_a + \lambda_c$  produzem a mesma sensação de cor.



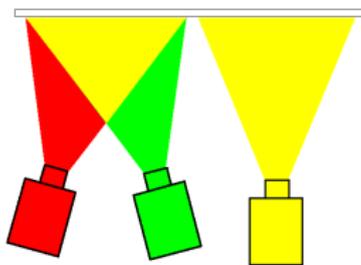
Então, o dicromata possui algum grau de discriminação das cores, no entanto, ele é limitado.

# Teoria tricromática

## Metameros

**Metameros** → estímulos fisicamente diferentes mas que produzem a mesma sensação visual.

Exemplo: fonte  $\lambda_b$  e fonte  $\lambda_a + \lambda_c$  do caso anterior.



$$\lambda_a + \lambda_c \rightleftharpoons \lambda_b$$



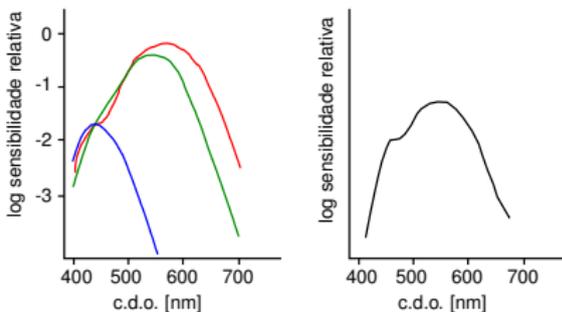
Este símbolo significa igualdade em termos de percepção.

A maioria dos seres humanos é **tricromata**.



Consegue ajustar em termos de intensidade 2 fontes luminosas compostas por 4 c.d.o. de modo que as 2 fontes lhe pareçam iguais:

$$\lambda_a + \lambda_b \Leftrightarrow \lambda_c + \lambda_d$$



Com apenas 3 c.d.o., o tricromata não consegue igualar a percepção de 2 fontes.



> capacidade que o dicromata mas mesmo assim, capacidade limitada.

# Teoria tricromática

## Leis de Grassman do metamerismo

Descrevem as características gerais da visão tricromática.

- **Propriedade aditiva:** quando se adiciona a mesma radiação a 2 metameros, eles permanecem metameros;

$$\lambda_a + \lambda_b \Rightarrow \lambda_c + \lambda_d$$

$$\lambda_a + \lambda_b + \lambda_x \Rightarrow \lambda_c + \lambda_d + \lambda_x$$

- **Propriedade escalar:** se aumentarmos ou diminuirmos a intensidade de 2 metameros na mesma quantidade, eles permanecem metameros;

$$\lambda_a + \lambda_b \Rightarrow \lambda_c + \lambda_d$$

$$x \lambda_a + \lambda_b \Rightarrow x \lambda_c + \lambda_d$$

- **Propriedade associativa:** o metamerismo mantém-se se um metamero for substituído por outro.

$$\lambda_a + \lambda_b \Rightarrow \lambda_c + \lambda_d$$

$$\lambda_f + \lambda_g + \lambda_h \Rightarrow \lambda_b$$

$$\lambda_a + \lambda_f + \lambda_g + \lambda_h \Rightarrow \lambda_c + \lambda_d$$

# Teoria das cores oponentes

Defin. de cor

Orden. cores

Sistema Munsell  
Sistema CIE

Th. visão cor

Tricromática

Cores oponentes  
Modelos actuais

Aparência cor

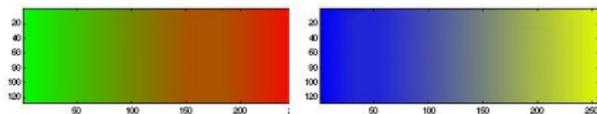
Discrimin. c.d.o.  
Efeitos cromáticos  
Adaptação cromática  
Constância da cor

A teoria tricromática não consegue explicar alguns processos:

- **aparência da cor**: pq razão é que uma mistura de cores verde e vermelha é percebida como amarela e não como verde-avermelhado? Ou porque é que uma mistura de azul com amarelo é percebida como verde e não como azul amarelado?
- **pós-imagens**: estímulos cromáticos produzem pós-imagens que apresentam a sua cor oponente:
  - estímulo vermelho produz uma pós-imagem verde;
  - estímulo azul produz uma pós-imagem amarela.

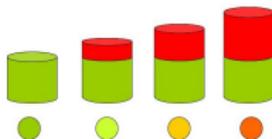
# Teoria das cores oponentes

Aparência da cor

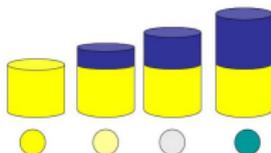


## Experiência de neutralização da tonalidade:

O observador é instruído para ajustar uma mistura de luzes verde e vermelha até que o resultado não lhe parece ser, nem esverdeado nem avermelhado:



A mesma experiência pode ser repetida com azul e amarelo:



# Teoria das cores oponentes

Pós-imagens

Defin. de cor

Orden. cores

Sistema Munsell

Sistema CIE

Th. visão cor

Tricromática

Cores oponentes

Modelos actuais

Aparência cor

Discrimin. c.d.o.

Efeitos cromáticos

Adaptação cromática

Constância da cor

## Teste do contraste sucessivo:

Se um observador fixar durante alguns segundos um estímulo verde e depois olhar repentinamente para um fundo branco, perceberá um objecto com a forma do estímulo mas com cor vermelha.

Explicação: adaptação cromática ao verde



saturação do cone + sensível a estes c.d.o.

∴ ao cessar o estímulo e dp olhar para o branco,  
a resposta do sistema visual é inversamente proporcional  
ao grau de saturação

Exemplo: cor da bata dos médicos durante cirurgia.

# Teoria das cores oponentes

## Pós-imagens

Defin. de cor

Orden. cores

Sistema Munsell

Sistema CIE

Th. visão cor

Tricromática

**Cores oponentes**

Modelos actuais

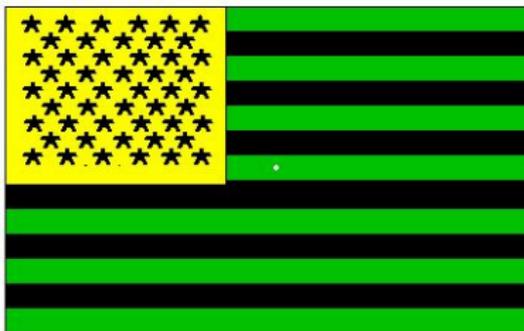
Aparência cor

Discrimin. c.d.o.

Efeitos cromáticos

Adaptação cromática

Constância da cor



# Teoria das cores oponentes

## Pós-imagens

.

# Teoria das cores oponentes

## Pós-imagens

Defin. de cor

Orden. cores

Sistema Munsell  
Sistema CIE

Th. visão cor

Tricromática

**Cores oponentes**

Modelos actuais

Aparência cor

Discrimin. c.d.o.

Efeitos cromáticos

Adaptação cromática

Constância da cor



# Teoria das cores oponentes

## Pós-imagens

Defin. de cor

Orden. cores

Sistema Munsell  
Sistema CIE

Th. visão cor

Tricromática

**Cores oponentes**

Modelos actuais

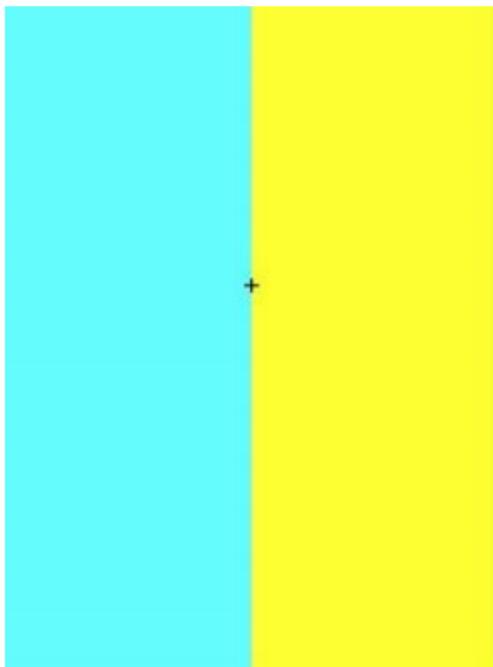
Aparência cor

Discrimin. c.d.o.

Efeitos cromáticos

Adaptação cromática

Constância da cor



# Teoria das cores oponentes

Defin. de cor

Orden. cores

Sistema Munsell

Sistema CIE

Th. visão cor

Tricromática

**Cores oponentes**

Modelos actuais

Aparência cor

Discrimin. c.d.o.

Efeitos cromáticos

Adaptação cromática

Constância da cor

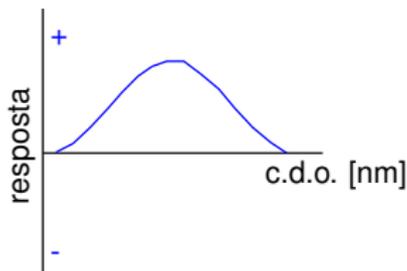
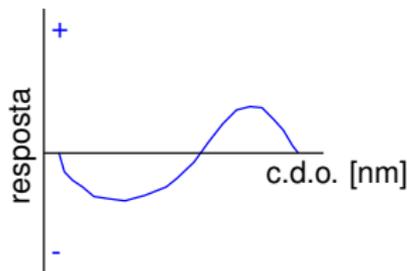
A teoria das cores oponentes consegue explicar estes fenómenos considerando que existem 3 processos oponentes:

- verde / vermelho;
- azul / amarelo;
- preto / branco.

# Teoria das cores oponentes

Até meados do século XX, considerava-se que a teoria tricromática e a teoria das cores oponentes eram incompatíveis. No entanto, hoje sabemos que ambas são correctas nos seus aspectos + fundamentais.

- Descobriu-se que algumas células (neurónios) respondem a certos c.d.o. do espectro excitando-se, e respondem a outros c.d.o. inibindo-se — **cores oponentes**;
- outras células respondem com excitação a estímulos ao longo de todo o espectro — **cores não oponentes**.



# Teoria das cores oponentes

Defin. de cor

Orden. cores

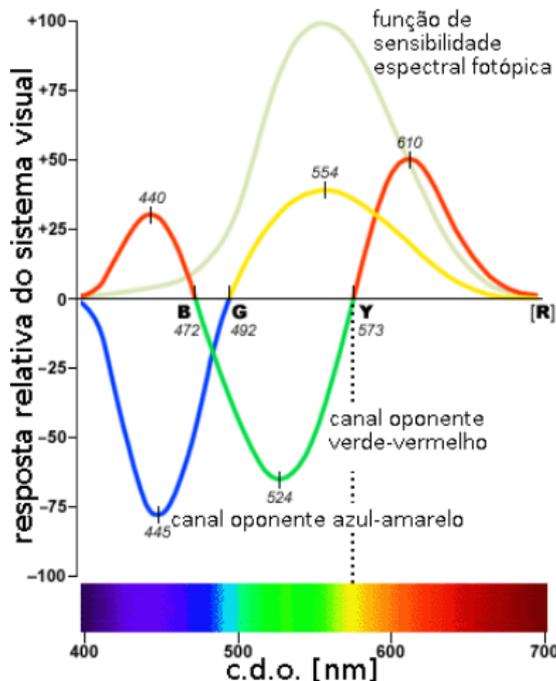
Sistema Munsell  
Sistema CIE

Th. visão cor

Tricromática  
Cores oponentes  
Modelos actuais

Aparência cor

Discrimin. c.d.o.  
Efeitos cromáticos  
Adaptação cromática  
Constância da cor



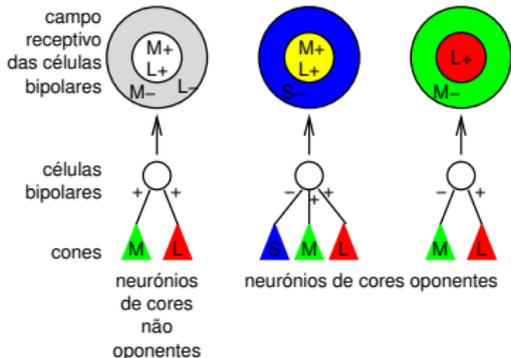
Adaptado de <http://www.handprint.com/HP/WCL/color2.html>

Representação da resposta dos canais oponentes ao longo do espectro.

# Modelos actuais de visão das cores

- Aceitam-se muitos modelos sem que nenhum explique a totalidade das situações;
- aceita-se a teoria tricromática que nos diz que existem 3 tipos de cones mas não diz nada sobre a interpretação da informação a nível do sistema nervoso;
- aceita-se a teoria das cores oponentes que nos diz que a informação é codificada a nível do sistema nervoso em 3 canais oponentes.

# Modelos actuais de visão das cores



## Esquema de gravação da informação tricromática em termos de canais oponentes:

- 1 canal responsável pela percepção de verdes e vermelhos — canal oponente; (sensibilidade espectral = à diferença dos sinais dos cones  $\Delta$  e  $\Delta$ )
- 1 canal responsável pela percepção de azuis e amarelos — canal oponente; (sensibilidade espectral = a uma combinação do tipo  $\Delta$  e  $\Delta + \Delta$ )
- 1 canal responsável pela percepção acromática — canal não oponente. (sensibilidade espectral = à soma dos sinais dos cones  $\Delta$  e  $\Delta$ )

# Outline

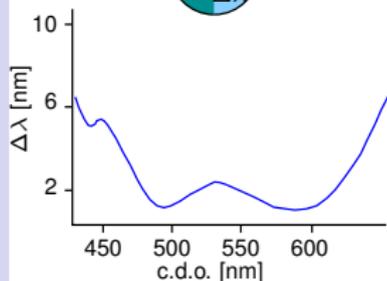
- 1 Definição de cor
- 2 Sistemas de especificação de cores
  - Sistema Munsell de especificação de cores
  - Sistema CIE de especificação de cores
- 3 Teorias sobre a visão das cores
  - Teoria tricromática
  - Teoria das cores oponentes
  - Modelos actuais de visão das cores
- 4 Aparência da cor
  - Discriminação de c.d.o.
  - Efeitos cromáticos
  - Adaptação cromática
  - Constância da cor

# Discriminação de c.d.o.

## Curva W de discriminação da cor

A capacidade de distinguirmos 1 c.d.o. de outro é maior em certas regiões do espectro.

### Demo:



- experiência de campo bipartido em que um dos lados apresenta o c.d.o. de teste  $\lambda_t$ ;
- o outro lado, inicialmente apresenta o mesmo c.d.o.  $\lambda_t$  mas depois é feito variar de uma quantidade  $\Delta\lambda$ , de modo que as duas metades do campo já não aparentem a mesma tonalidade; ( $\Delta\lambda$  — mínima quantidade de estímulo que produza diferente percepção de tonalidade)
- repetindo este procedimento para todos os c.d.o. do espectro, obtém-se uma curva denominada **curva W da discriminação da cor**.

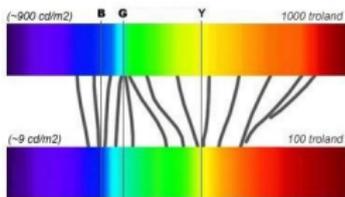
Regiões de maior capacidade de discriminação:  $\sim 495$  nm e  $\sim 590$  nm.  
(nestas regiões, uma pequena variação no c.d.o. equivale logo a uma diferença na tonalidade percebida)

Exemplo:

- Estímulos 490 nm e 495 nm são percebidos como tendo diferentes tonalidades;
- estímulos 410 nm e 415 nm são percebidos como tendo a mesma tonalidade.

# Efeito de Bezold-Brücke

A maioria dos estímulos monocromáticos muda ligeiramente a sua tonalidade à medida que a sua intensidade varia.



Adaptado de:

<http://www.handprint.com/HP/WCL/color4.html>

## Demo:

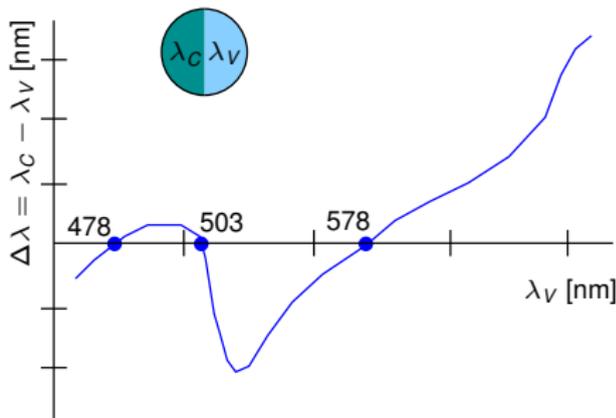
- experiência de campo bipartido em que um dos lados apresenta o c.d.o.  $\lambda_c$  (luminância constante) e o outro lado apresenta o c.d.o.  $\lambda_v$  (luminância variável);
- inicialmente o c.d.o. e a luminância são iguais em ambos lados;
- aumenta-se progressivamente a luminância de  $\lambda_v$  até que o observador perceba uma mudança na tonalidade;
- ajusta-se o c.d.o. de  $\lambda_c$  até que a tonalidade percebida volte a ser igual nas 2 metades do campo.





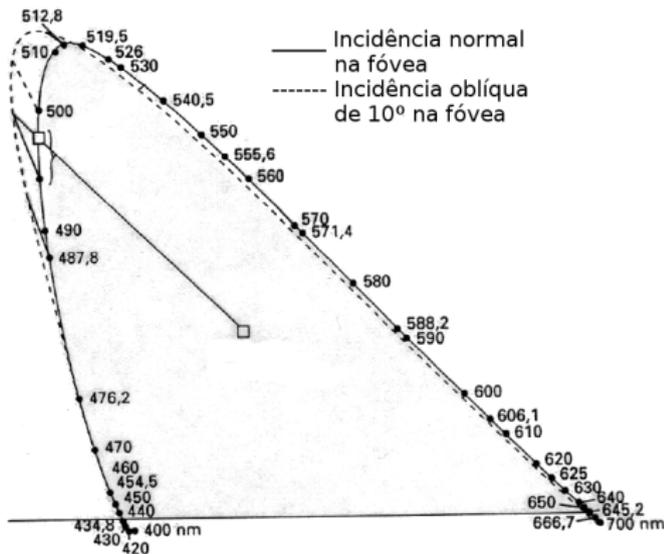
# Efeito de Bezold-Brücke

Representando num gráfico as variações de c.d.o. que temos de fazer para que a tonalidade seja percebida igual, obtemos uma curva com o seguinte aspecto:



Notar os 3 pontos onde  $\Delta\lambda = 0$ .

## Efeito de Stiles-Crawford de 2º grau



Ao variar a direcção de incidência sobre a pupila de um feixe monocromático, a sua tonalidade também varia.



A sensibilidade do sistema visual humano é direccional.  
(produzem-se variações na resposta visual segundo a direcção de incidência)

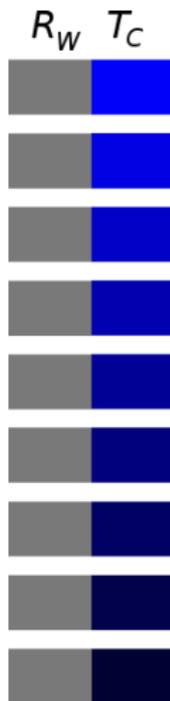




# Efeito de Helmholtz-Kohlrausch

Experiências de equalização de brilho

Para a mesma luminância, ao variar a tonalidade de um estímulo, o seu brilho aparente também muda.





# Adaptação cromática

Já falámos de **adaptação ao escuro** e de **adaptação à claridade**:

- processos em que o sistema visual adapta a sua sensibilidade em consequência da intensidade das luzes que observa.

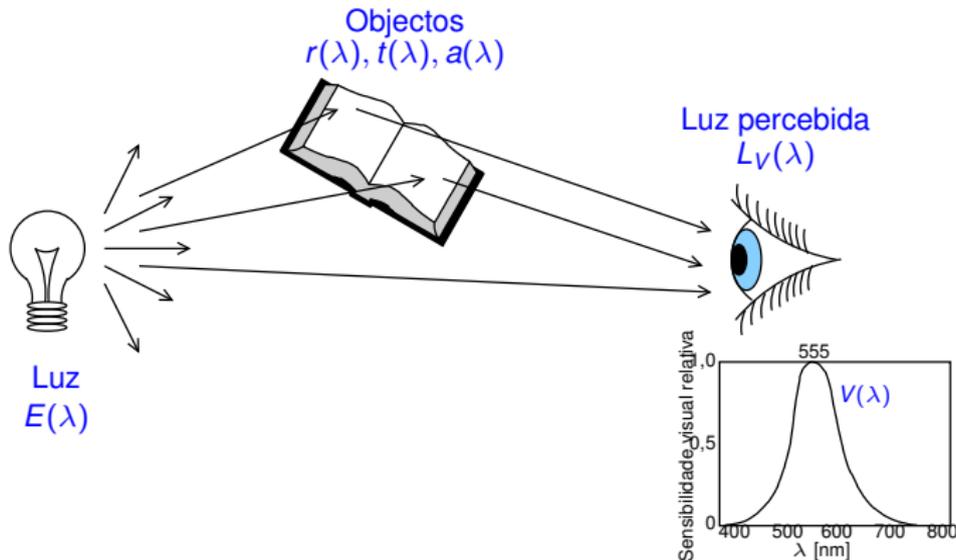
Esta mudança de sensibilidade também pode ser consequência da composição espectral da luz e não da sua intensidade — neste caso fala-se de **adaptação cromática**.

# Adaptação cromática

## Descrição analítica do sinal de cor

A cor com que percebemos os objectos depende de:

- distribuição espectral da fonte que os ilumina;
- reflectividade / transmissividade / absorptividade espectral dos próprios objectos;
- curva de sensibilidade espectral do próprio observador;
- *estado de adaptação cromática do observador.*



# Adaptação cromática

Teoria de von Kries

A **teoria de von Kries** é amplamente aceite para explicar o fenómeno de adaptação cromática:

- *Quando o olho é exposto por um período de tempo a uma certa cor, perde parte da sua sensibilidade a essa cor.*

Considerando  $L$ ,  $M$  e  $S$  os sinais de resposta dos cones a um estímulo, a lei de von Kries expressa-se por:

$$L = \alpha L' \quad M = \beta M' \quad S = \gamma S'$$

$L'$ ,  $M'$ ,  $S'$  — sinais gerados pelos cones num estado de adaptação cromática;  
 $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$  — factores pelos que há que multiplicar a sensibilidade espectral de cada cone para passar de um estado de adaptação cromática a outro.



A redução de sensibilidade de cada cone não afecta a sua sensibilidade relativa, *i.e.*, a forma da sua curva espectral mantém-se.

# Adaptação cromática

## Contrastes simultâneos

Defin. de cor

Orden. cores

Sistema Munsell  
Sistema CIE

Th. visão cor

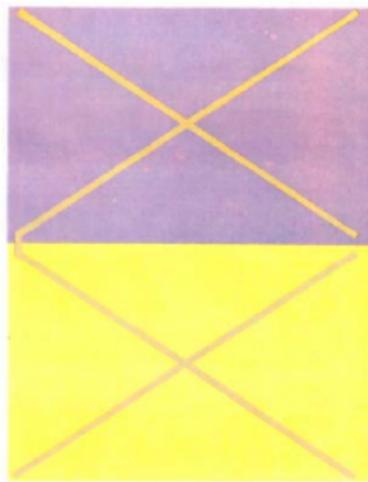
Tricromática  
Cores oponentes  
Modelos actuais

Aparência cor

Discrimin. c.d.o.  
Efeitos cromáticos

**Adaptação cromática**

Constância da cor



# Adaptação cromática

## Contrastes simultâneos

Defin. de cor

Orden. cores

Sistema Munsell  
Sistema CIE

Th. visão cor

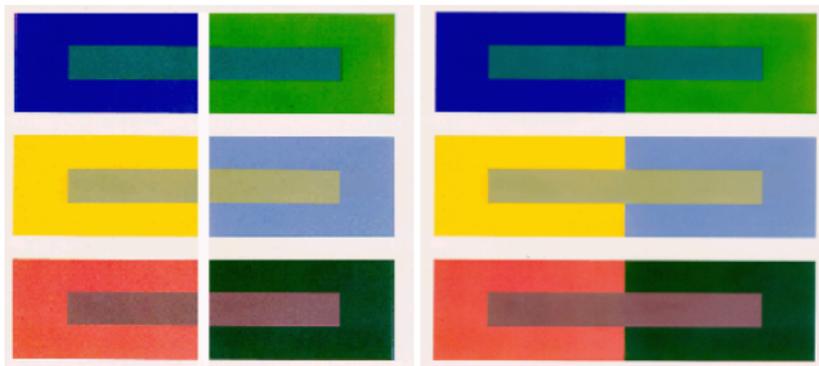
Tricromática  
Cores oponentes  
Modelos actuais

Aparência cor

Discrimin. c.d.o.  
Efeitos cromáticos

**Adaptação cromática**

Constância da cor



# Adaptação cromática

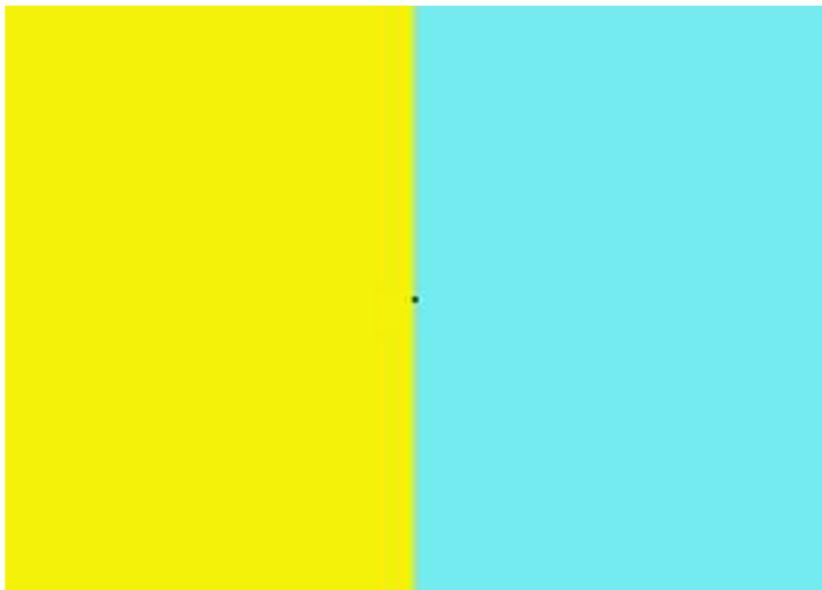
## Contrastes sucessivos: pós-imagens



<http://sunburst.usd.edu/~schieber/coglab/coloradapt.html>

# Adaptação cromática

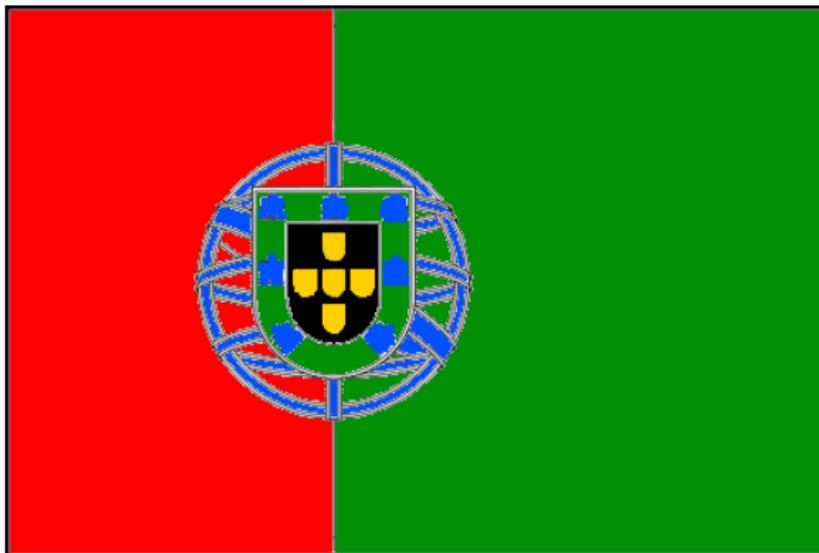
## Contrastes sucessivos: pós-imagens



<http://sunburst.usd.edu/~schieber/coglab/coloradapt.html>

# Adaptação cromática

## Contrastes sucessivos: pós-imagens



# Adaptação cromática

## Contrastes sucessivos: pós-imagens



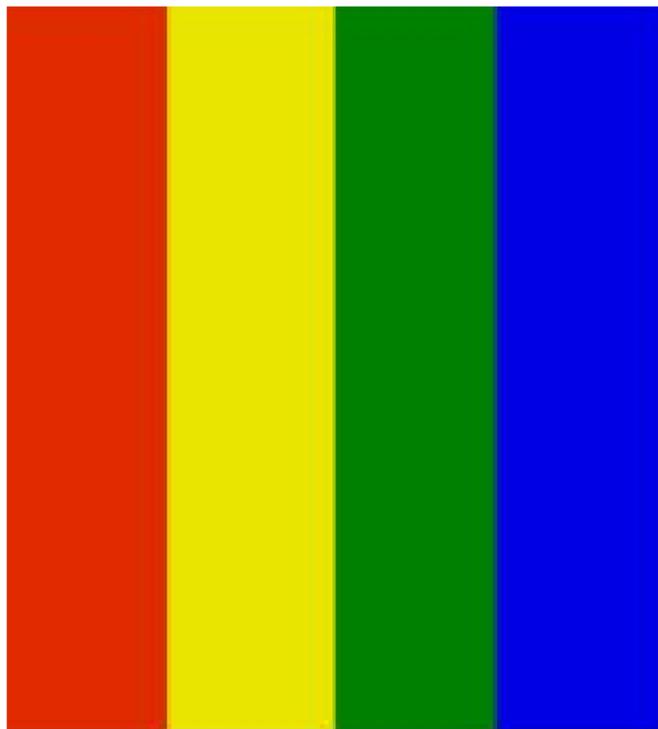
# Adaptação cromática

## Contrastes sucessivos



# Adaptação cromática

## Contrastes sucessivos



# Constância da cor

Defin. de cor

Orden. cores

Sistema Munsell  
Sistema CIE

Th. visão cor

Tricromática  
Cores oponentes  
Modelos actuais

Aparência cor

Discrimin. c.d.o.  
Efeitos cromáticos  
Adaptação cromática  
Constância da cor

Até este momento temos estado a ignorar um facto importante:

- Se a cor com que percebemos os objectos varia de acordo com a fonte que os está a iluminar, então porque não percebemos todos os objectos a mudar de cor ao longo do dia, à medida que a luz solar vai variando?



[scienceblogs.com/startswithabang/2009/09/06/weekend-diversion-preparing-fo/](http://scienceblogs.com/startswithabang/2009/09/06/weekend-diversion-preparing-fo/)

## Constância da cor

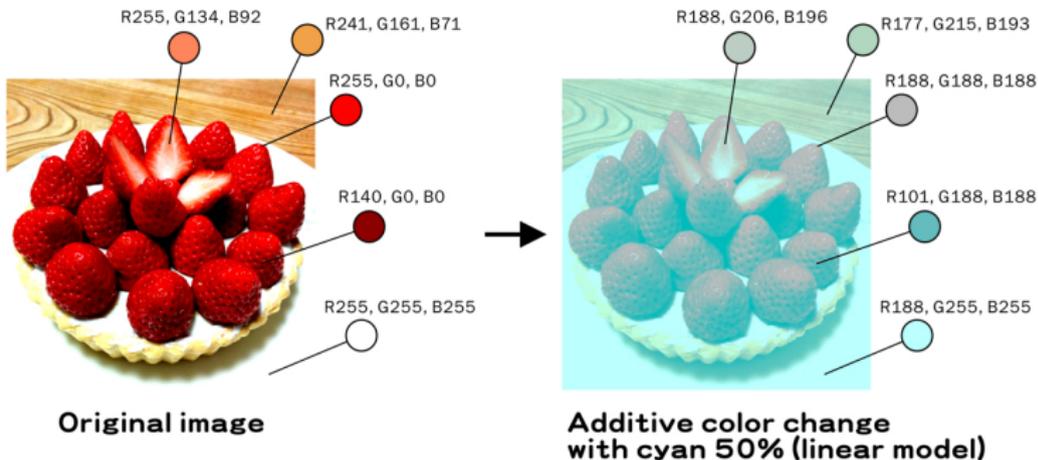
A adaptação cromática permite, dentro de certos limites, que algumas cores sejam percebidas como iguais, mesmo quando são iluminadas por diferentes iluminantes — **constância da cor**.



<http://www.psy.ritsumei.ac.jp/~kitaoka/colorconstancy6e.html>

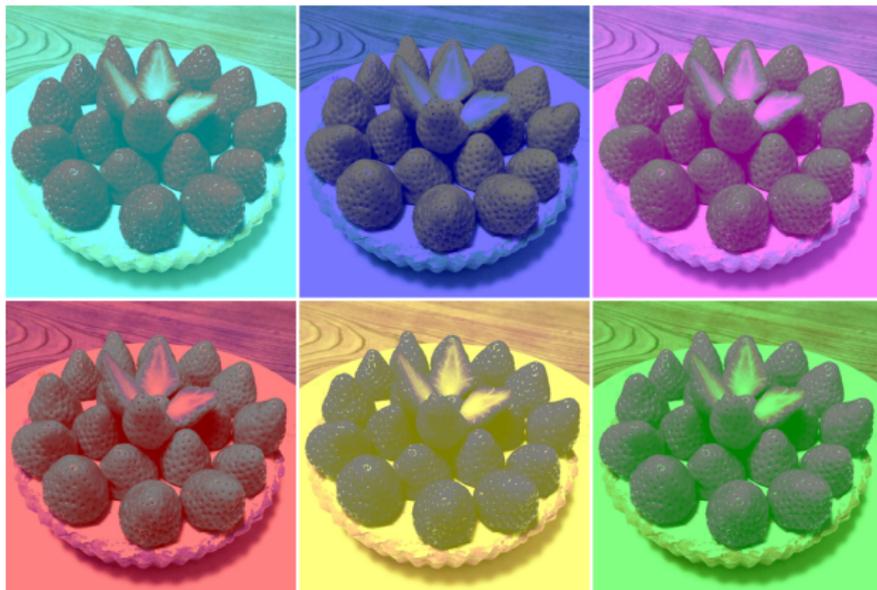
## Constância da cor

A adaptação cromática permite, dentro de certos limites, que algumas cores sejam percebidas como iguais, mesmo quando são iluminadas por diferentes iluminantes — **constância da cor.**

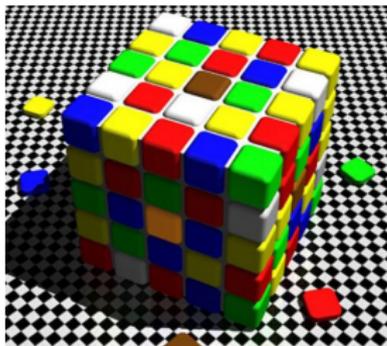


## Constância da cor

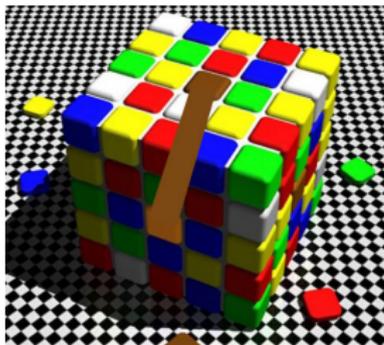
A adaptação cromática permite, dentro de certos limites, que algumas cores sejam percebidas como iguais, mesmo quando são iluminadas por diferentes iluminantes — **constância da cor**.



# Constância da cor



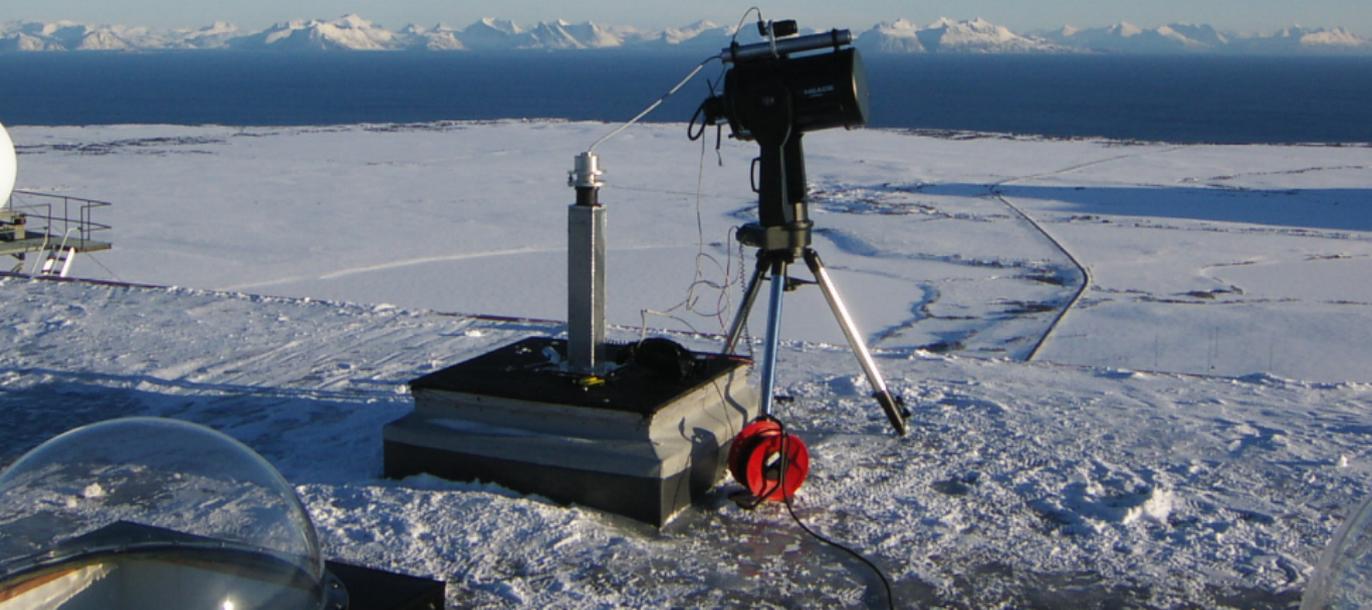
# Constância da cor



# Constância da cor



**Qual a cor da neve nesta paisagem Ártica?**



# Constância da cor

Defin. de cor

Orden. cores

Sistema Munsell  
Sistema CIE

Th. visão cor

Tricromática  
Cores oponentes  
Modelos actuais

Aparência cor

Discrimin. c.d.o.  
Efeitos cromáticos  
Adaptação cromática

Constância da cor



# Constância da cor

Defin. de cor

Orden. cores

Sistema Munsell  
Sistema CIE

Th. visão cor

Tricromática  
Cores oponentes  
Modelos actuais

Aparência cor

Discrimin. c.d.o.  
Efeitos cromáticos  
Adaptação cromática  
Constância da cor

