

# Medindo cores especiais

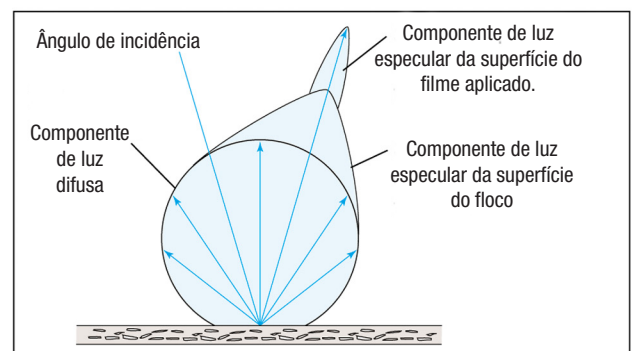
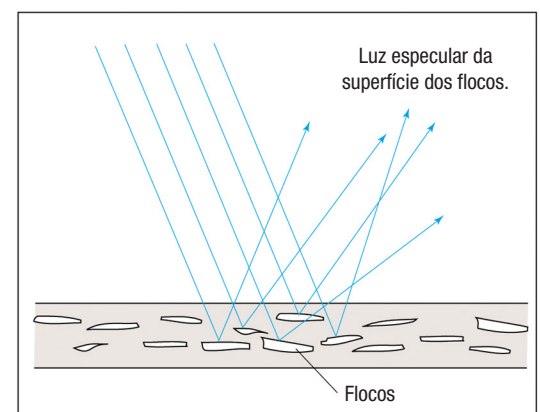
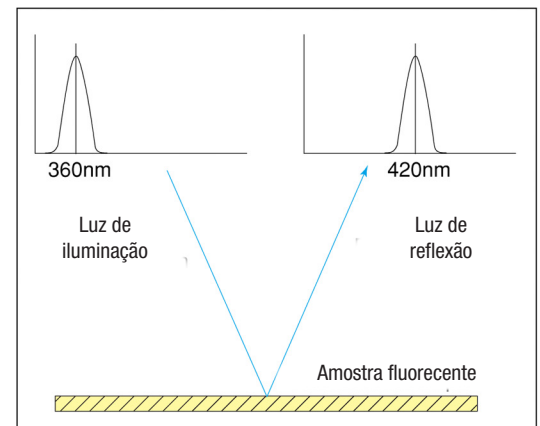
## Cores fluorescentes

Quando vemos uma cor fluorescente, parece que ela tem luz própria, apesar de não ser uma fonte de luz. Quando a luz é aplicada sobre um material fluorescente, os raios ultra violeta são absorvidos e emitidos em outras regiões do espectro, normalmente em comprimentos de onda mais longos.

Como explicado na página 31, a luz visível é uma radiação eletromagnética entre 380nm e 780nm. Nesse caso, a radiação a 360nm é absorvida e emitida a 420 nm, sendo que o valor medido em 420nm excederá 100%. Uma vez que uma quantidade de luz maior que a normal é vista, a cor parecerá ter luz própria aos olhos humanos. Na medição de amostras não fluorescentes, o elemento de dispersão (como uma grade de difração) pode ser colocado entre a fonte de iluminação e a amostra ou entre a amostra e o receptor. Porém na medição de amostras fluorescentes, o elemento de dispersão deve ser colocado entre a amostra e o detector, sendo a amostra iluminada por todo o espectro da fonte de iluminação. Quando uma cor fluorescente é medida com um espectrofotômetro, devemos controlar a distribuição de energia espectral da fonte de luz, incluindo as regiões ultravioleta.

## Cores metálicas

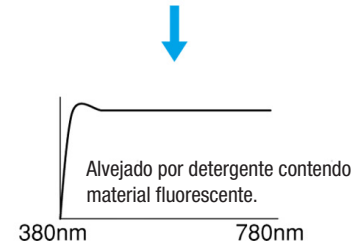
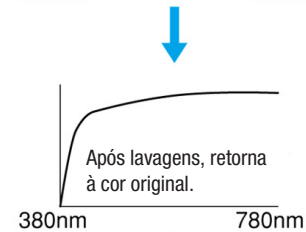
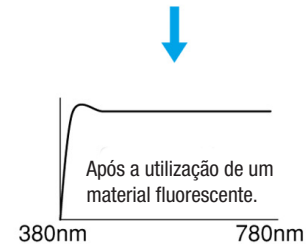
Muitos revestimentos, especialmente os utilizados em aplicações automotivas, usam uma combinação de pigmentos e flocos metálicos para obter uma coloração com efeitos. Em uma tinta metálica por exemplo, a luz é refletida em ângulos diferentes devido à orientação dos flocos de metal da tinta; mesmo estando os flocos alinhados na mesma direção. A Figura 25 ilustra a interação entre a refletância especular e a refletância difusa em uma amostra metálica. Uma vez que a cor refletida dos flocos varia em função do ângulo, a aparência, ao olho humano, também sofrerá variação. Em ângulos próximos à reflexão especular, veremos uma cor clara pela influência dos flocos metálicos. Em ângulos não influenciados pelos flocos metálicos, uma cor mais escura será vista. Geralmente devemos medir cores metálicas com espectrofotômetros, pois estes podem medir e avaliar cores em ângulos múltiplos.



# Luz negra e material fluorescente

Você já deve ter ido a um local aparentemente escuro ou iluminado com uma luz violeta, onde as camisas brancas e certos objetos pareciam ter luz própria.

Esse tipo de local é iluminado com uma fonte de iluminação chamada de luz negra. A luz negra é uma iluminação que utiliza comprimentos de onda normalmente fora da região visível do espectro. Ela é vendida por exemplo, para a iluminação de minerais fluorescentes. Na verdade, a luz negra emite energia na região ultravioleta e se utilizam materiais fluorescentes, que absorvem essa energia e a emitem como luz na região visível, para se obter esse efeito. Esses materiais parecem brilhar quando iluminados pela luz negra. Um objeto parece branco quando reflete quase 100% de luz em todos os comprimentos de onda visíveis. Se houver menos refletância nos comprimentos de onda azuis, os objetos parecerão amarelados. Em muitos casos, um material fluorescente (também chamado de alvejante óptico) é adicionado ao produto. Esse material fluorescente proporciona um aumento de refletância nos comprimentos de onda azuis, fazendo o objeto parecer mais branco. Como resultado, uma camisa branca parece brilhar quando iluminada por uma luz negra e parece mais branca quando vista na luz do dia. Quando as roupas brancas são lavadas repetidamente ficam amareladas. Isso não ocorre porque elas são manchadas por uma cor amarela, e sim porque os materiais fluorescentes são eliminados durante a lavagem e a cor original se torna aparente. É uma prática comum a utilização de detergentes que contenham alvejantes ópticos para eliminar o amarelado dos tecidos tornando-os mais brancos.



# Notas sobre a medição de diversos materiais e diversas condições

## Medição de materiais em pó

Quando medimos um pó com um espectrofotômetro, os valores de medição variam de acordo com densidade e a superfície do material. Para evitar erros de medição, são necessários métodos especiais, como por exemplo, fixar o recipiente utilizado e a quantidade de pó, além de manter a qualidade da superfície constante.

## Medição de objetos semi-transparentes

A medição de objetos semi-transparentes requer uma consideração especial, pois a luz pode passar através do material e a medição pode ser influenciada por algo que esteja atrás do objeto. Para resolver esse problema, devemos aumentar a espessura do material para evitar completamente a passagem da luz, ou devemos colocar um objeto branco e opaco atrás da amostra a ser medida.

## Medição de objetos que contém desenhos

Quando medimos objetos que têm desenhos ou texturas, os valores de medição variam de acordo com o local, se a área é pequena. A maior área de medição possível deveria ser usada ou a medição deveria ser feita várias vezes em diferentes locais e depois o valor médio de medição deveria ser calculado.

## Influência das condições de temperatura

Algumas vezes, quando a temperatura de um objeto muda, sua cor também muda. Esse fenômeno é chamado de termocromismo. Para um espectrofotômetro efetuar uma medição precisa, as medições devem ser efetuadas em uma sala com temperatura e umidade controladas, aguardando que o objeto seja estabilizado pelo ambiente.

Mudança da cor de cerâmicas coloridas medidas com 10°C de diferença de temperatura -  $\Delta E^*_{ab}$  (de acordo com as condições de teste da Konica Minolta)

| Cor          | $\Delta E^*_{ab}$ |
|--------------|-------------------|
| Branco       | 0.01              |
| Cinza Claro  | 0.02              |
| Cinza Médio  | 0.05              |
| Cinza Dif    | 0.05              |
| Cinza Escuro | 0.05              |
| Rosa Escuro  | 0.60              |
| Laranja      | 1.52              |
| Vermelho     | 1.32              |
| Amarelo      | 0.92              |
| Verde        | 0.92              |
| Verde Dif    | 0.91              |
| Ciano        | 0.46              |
| Azul Escuro  | 0.17              |
| Preto        | 0.02              |

# TERMOS DE COR UTILIZADOS

Mais detalhes sobre os termos, padrões e espaços de cores discutidos nesse livro.

## Nova Fórmula de Diferença de cor (CIE 2000)

Os medidores de cor nos permitem fazer a comunicação e a diferenciação de cor usando dados numéricos da cor. Todavia, nos locais onde o gerenciamento de cores é feito, nem sempre os resultados obtidos combinam com as inspeções visuais. Existe uma forma de resolver esse problema? Sim, existe. É a nova fórmula de diferença de cor "CIE 2000" que será apresentada na próxima seção.

## Problemas com o CIE Lab (Espaço de cor L\*a\*b\*)

O Espaço de cor CIE Lab representa as cores usando coordenadas em um espaço de cor uniforme que consiste da variável de luminosidade L\* e das coordenadas cromáticas a\* e b\*. Apesar do cálculo da fórmula ter sido baseado na visão de cor do olho humano, algumas diferenças são avaliadas diferentemente entre as diferenças de cor  $\Delta E_{ab}$  e o olho humano. Isso ocorre porque a área de percepção de cor do olho humano difere muito da faixa de diferença de cor,  $\Delta E_{ab}$  e  $\Delta a^*b^*$ , definida pela CIE Lab.

## Discriminação de cor do olho humano

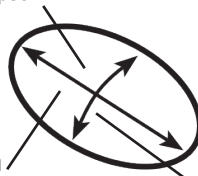
O olho humano não pode diferenciar algumas cores de outras, mesmo que elas sejam diferentes. A área dessas cores no diagrama de cromaticidade é chamada de área de percepção do olho humano.

A figura à direita é parte do diagrama de cromaticidade a\*b\*, representando o espaço de cor CIE Lab. As elipses brancas no diagrama representam os limites de percepção de cor do olho humano em relação à saturação e tonalidade. Em outras palavras, o olho humano não consegue diferenciar as cores dentro de uma mesma elipse. Olhando as elipses mais de perto vemos quatro características na habilidade do olho humano na diferenciação de cores no diagrama de cromaticidade CIE Lab (Espaço de cor L\*a\*b\*).

- 1) A sensibilidade para a diferenciação de cores é menor para cores com alta saturação. Conseqüentemente tais cores são dificilmente diferenciadas, (Alta dependência da saturação).

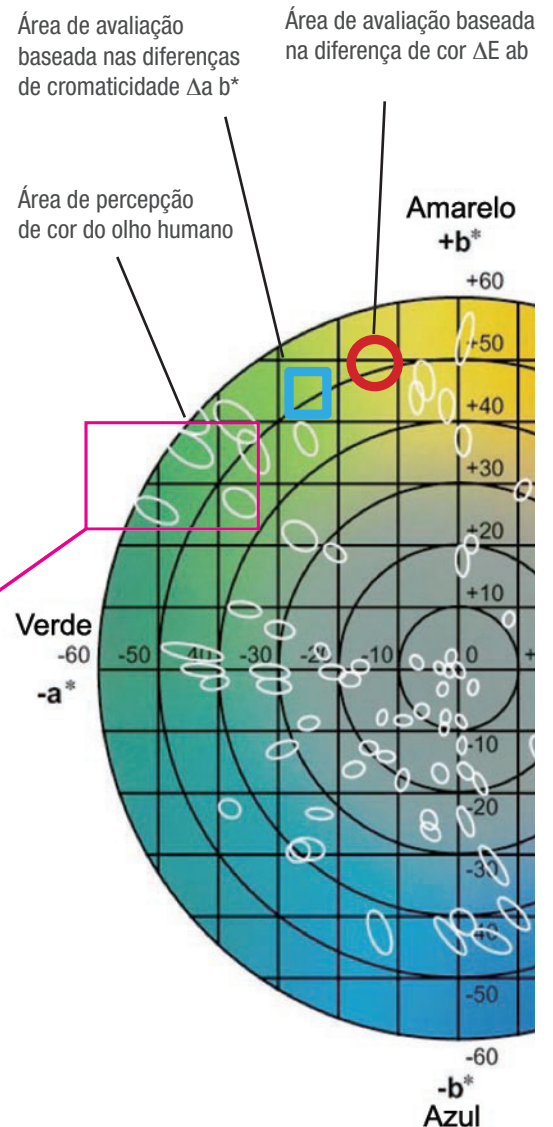
O formato das elipses se torna circular em baixa saturação tornando-se alongados na direção da saturação e estreitos na direção da tonalidade em cores com alta saturação. Isso significa que o olho humano não consegue diferenciar cores com alta saturação ainda que a diferença de cor seja relativamente grande.

O olho humano não consegue diferenciar cores dentro da elipse



As cores são difíceis de serem diferenciadas na direção da saturação

As cores são fáceis de serem diferenciadas na direção da tonalidade

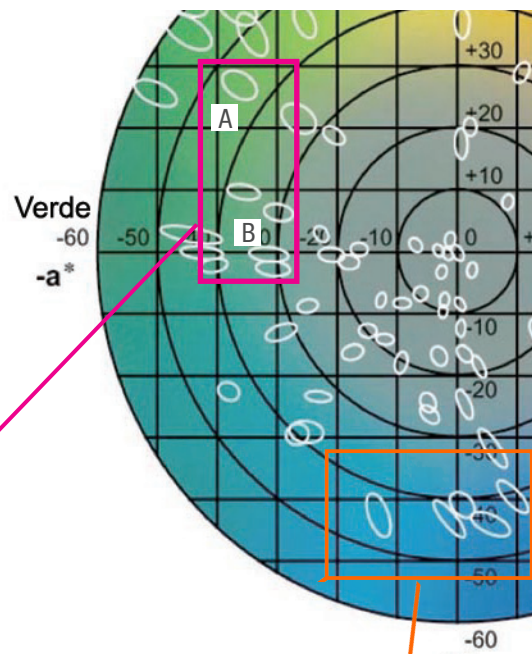
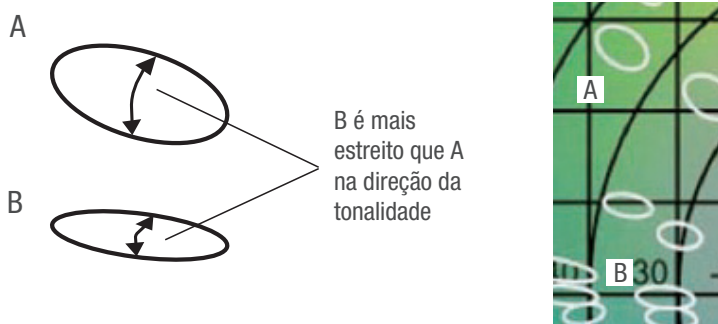


Nota: as figuras mostrando as elipses brancas de percepção do olho humano usadas nas páginas 50 e 51 foram tiradas de um trabalho intitulado "The Development of the CIE 2000 Colour-Difference Formula: CIEDE2000" escrito por M.R. Luo, G. Cui e B. Rigg, que aparece na página 341, volume 26, publicada em Outubro de 2001 no Volume No. 5 do Jornal de Aplicação e Pesquisa de Cor com direitos autorais de John Wiley & Sons, Inc.



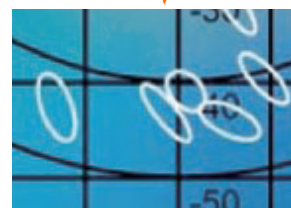
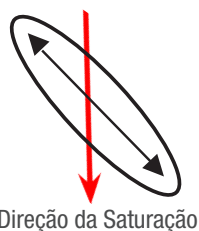
2) A sensibilidade para a diferença de cor varia de acordo com a tonalidade.

Veja as elipses A e B do diagrama. A está localizada próximo ao ângulo de tonalidade de 120 graus (verde amarelado) e B está localizada próximo ao ângulo de tonalidade 180 graus (verde). Apesar de terem saturações similares, A é mais larga na direção da tonalidade, enquanto B é mais estreito. Isso significa que a sensibilidade para a diferenciação de cor relacionada à tonalidade é maior em B do que em A.



3) A sensibilidade da cor na direção da luminosidade também varia, de acordo com a luminosidade.

Infelizmente a luminosidade não pode ser vista na figura uma vez que é representada por uma linha perpendicular ao diagrama. Sabe-se que a sensibilidade aumenta próximo de 50 de luminosidade e diminui com o aumento e a diminuição da luminosidade.

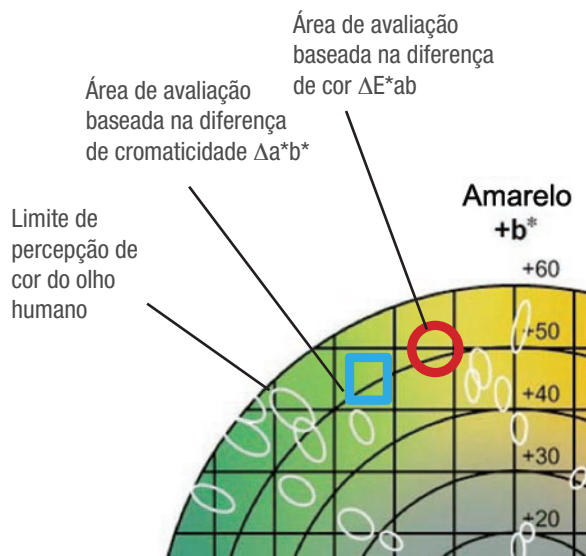


O principal eixo da elipse branca, representando a percepção visual de cor do olho humano na região azul não está no sentido da saturação

4) A direção da área de percepção muda na região azul.

A figura mostra que os principais eixos das elipses para as cores azuis não combinam com a direção da saturação que deriva do centro. Essa é a discrepância que causa diferenças entre as avaliações de cor visuais e os sistemas colorimétricos.

A diferença de cor  $\Delta E_{ab}$ , normalmente utilizada nas avaliações com CIE Lab (Espaço de Cor  $L^*a^*b^*$ ) é representada por um círculo perfeito em todas as saturações e tonalidades conforme o círculo vermelho mostrado na figura à direita. A diferença de cromaticidade  $\Delta a^*b^*$ , outro método comum usado na avaliação, é representado por um retângulo azul, mostrado na figura. Ambas as formas diferem consideravelmente da forma da percepção de cor do olho humano (elipse branca). As diferenças nessas formas mostram por si só as diferenças entre os cálculos efetuados pelos instrumentos e o olho humano.



O PADRÃO EM MEDIÇÃO DE

COR 56

# Características da Fórmula de Diferença de Cor “CIE 2000”

A fórmula de diferença de cor CIE 2000 foi desenvolvida para resolver o problema das diferenças entre as avaliações instrumentais e o olho humano, causadas pela diferença no formato e tamanho dos limites de percepção do olho humano.

A fórmula de diferença de cor CIE 2000 não é uma tentativa de criação de um espaço de cor no qual os limites de percepção de cor do olho humano sejam uniformes. Ao invés disso, ela define um cálculo para que as diferenças calculadas pelos instrumentos se aproximem dos limites de percepção de cor do olho humano dentro do espaço do CIE Lab (Espaço de cor  $L^*a^*b^*$ ). Índices específicos podem ser atribuídos às diferenças de luminosidade  $\Delta L$ , saturação  $\Delta C$ , e tonalidade  $\Delta H$ , pelo uso dos coeficientes  $S_L, S_C$  e  $S_h$  respectivamente. Esses coeficientes incluem os efeitos de luminosidade  $L^*$ , saturação  $C^*$  e tonalidade  $h$ . Consequentemente, os cálculos incorporam as características dos limites de percepção de cor do olho humano no espaço CIE Lab (Espaço de cor  $L^*a^*b^*$ ): 1) Dependência da Saturação, 2) Dependência da Tonalidade, 3) Dependência da Luminosidade.

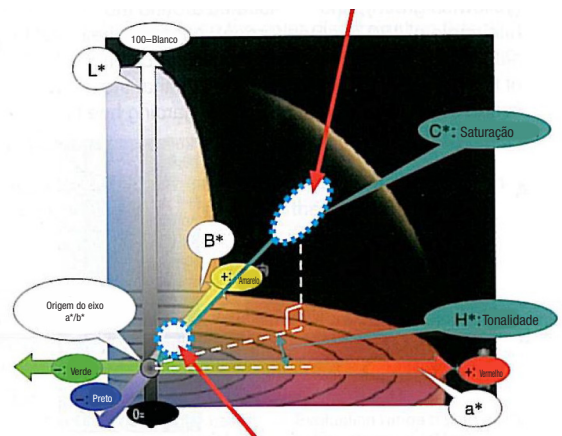
*\* Para as fórmulas de cálculo específicas, ver o capítulo “Termos de Cor Utilizados”.*

Com a fórmula de diferença de cor CIE Lab (Espaço de Cor  $L^*a^*b^*$ ) a diferença de cor  $\Delta E_{ab}$  ou a diferença de cromaticidade  $\Delta a^*b^*$  eram um círculo perfeito ou um retângulo no espaço de cor  $L^*a^*b^*$ . Com o CIE 2000, a diferença de cor  $\Delta E_{00}$  é representada por uma elipse com o maior eixo na direção da saturação, que é a forma do limite de percepção do olho humano. Na região com baixa saturação, o peso dos coeficientes  $S_L, S_C$  e  $S_h$  se aproximam respectivamente de 1, fazendo a elipse ficar mais circular. Na região com maior saturação, o peso do coeficiente  $S_C$  se torna maior, comparado com os coeficientes  $S_L$  e  $S_h$  alongando a elipse na direção da saturação (menor sensibilidade pela diferença de saturação).

Com a fórmula de diferença de cor CIE 2000 o efeito do ângulo de tonalidade também é considerado, Como resultado a fórmula abrange outra característica dos limites de percepção do olho humano no CIE Lab (Espaço de Cor  $L^*a^*b^*$ ): 4) Mudança de direção na percepção de cor em ângulos próximos a 270 graus (azul) (desvio na direção da saturação).

O cálculo da fórmula também inclui as constantes  $k_L, k_C$  e  $k_h$ , chamadas de coeficientes paramétricos. Os usuários podem especificar seus valores conforme suas necessidades obtendo assim flexibilidade no gerenciamento das cores dos mais variados objetos.

Na região de alta saturação, a elipse se torna mais longa na direção da saturação

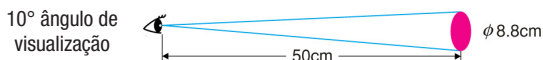
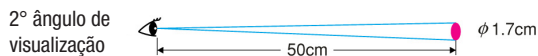


Na região de baixa saturação a forma da elipse se aproxima de um círculo perfeito.



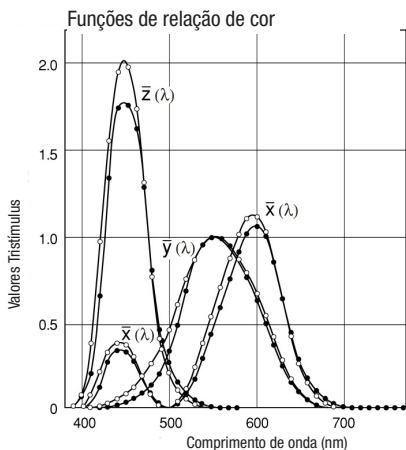
## Observador Padrão 2° e Observador Padrão Suplementar 10°

A sensibilidade de cor do olho muda de acordo com o ângulo de observação (tamanho do objeto). Originalmente a CIE definiu o Observador Padrão em 1931 usando um campo visual de 2°, daí o nome Observador Padrão 2°. Em 1964, a CIE definiu um Observador Padrão adicional, desta vez baseado em um campo visual de 10°, que ficou conhecido como Observador Padrão Suplementar 10°. Para termos uma idéia do que seria um campo de visualização de 2°, comparado com um campo de visualização de 10° à uma distância de 50cm, o campo de visão de 2° seria um círculo de Ø1,7cm, enquanto que o campo de visão de 10° seria um círculo de Ø8,8cm. A maior parte das informações deste livro estão baseadas no Observador Padrão 2°. O observador Padrão 2° deve ser utilizado para ângulos de visualização entre 1° a 4°, enquanto que o Observador Padrão 10° deve ser utilizado para ângulos de visualização maiores que 4°.



## Funções de relação de cor

As funções de relação de cor são os valores utilizados em cada comprimento de onda para a determinação dos valores tristímulus. Essas funções correspondem à sensibilidade do olho humano. São especificados, três conjuntos individuais de funções de relação de cor para os Observadores Padrão 2° e 10°



- Observador Padrão 2°
- Observador Padrão Suplementar 10°

## Valores tristímulus XYZ (CIE 1931)

Os valores tristímulus são baseados nas funções de relação de cor  $x(\lambda)$ ,  $y(\lambda)$ , e  $z(\lambda)$  definidas em 1931 pela CIE; também são conhecidos como Valores Tristímulus XYZ 2°. São indicados para ângulos de visualização iguais ou menores que 4° e são definidos pela seguinte fórmula:

$$X = K \int_{380}^{780} S(\lambda) \bar{x}(\lambda) R(\lambda) d\lambda$$

$$Y = K \int_{380}^{780} S(\lambda) \bar{y}(\lambda) R(\lambda) d\lambda$$

$$Z = K \int_{380}^{780} S(\lambda) \bar{z}(\lambda) R(\lambda) d\lambda$$

$$K = \frac{100}{\int_{380}^{780} S(\lambda) \bar{y}(\lambda) d\lambda}$$

onde:

$S(\lambda)$  : Distribuição de energia espectral do iluminante.

$x(\lambda)$ ,  $y(\lambda)$ ,  $z(\lambda)$  : Funções de relação de cor do Observador Padrão 2° CIE (1931).

$R(\lambda)$  : Refletância espectral da amostra

## Valores Tristímulus $X_{10}$ $Y_{10}$ $Z_{10}$ (CIE 1964)

Os valores tristímulus são baseados nas funções de relação de cor  $x_{10}(\lambda)$ ,  $y_{10}(\lambda)$ , e  $z_{10}(\lambda)$  definidas em 1964 pela CIE; também são conhecidos como Valores Tristímulus XYZ 10°. São indicados para ângulos de visualização iguais ou maiores que 4° e são definidos pela seguinte fórmula:

$$X = K \int_{380}^{780} S(\lambda) \bar{x}_{10}(\lambda) R(\lambda) d\lambda$$

$$Y = K \int_{380}^{780} S(\lambda) \bar{y}_{10}(\lambda) R(\lambda) d\lambda$$

$$Z = K \int_{380}^{780} S(\lambda) \bar{z}_{10}(\lambda) R(\lambda) d\lambda$$

$$K = \frac{100}{\int_{380}^{780} S(\lambda) \bar{y}_{10}(\lambda) d\lambda}$$

onde:

$S(\lambda)$  : Distribuição de energia espectral do iluminante.

$x_{10}(\lambda)$ ,  $y_{10}(\lambda)$ ,  $z_{10}(\lambda)$  Funções de relação de cor do Observador Padrão Suplementar 10° CIE (1964).

$R(\lambda)$  : Refletância espectral da amostra

## Coordenadas cromáticas xyz

As coordenadas cromáticas xyz são calculadas com os valores tristímulus XYZ através da seguinte fórmula:

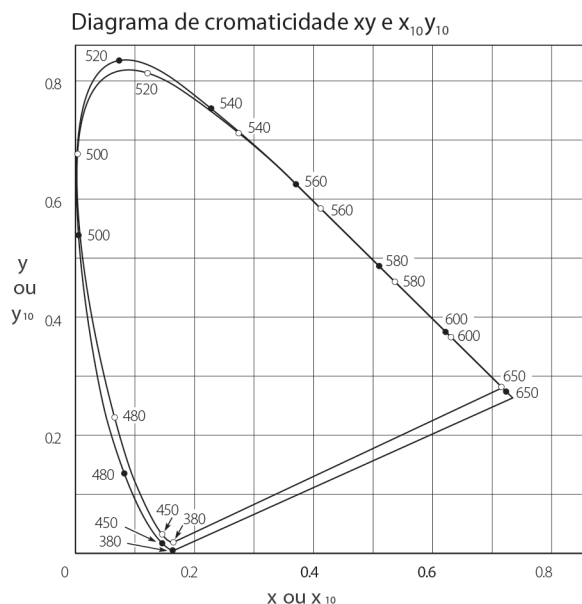
$$x = \frac{X}{X+Y+Z}$$

$$y = \frac{Y}{X+Y+Z}$$

$$z = \frac{Z}{X+Y+Z} = 1 - x - y$$

Se na fórmula acima utilizarmos os valores tristímulus  $X_{10}$ ,  $Y_{10}$ ,  $Z_{10}$ , as coordenadas cromáticas então serão  $x_{10}$ ,  $y_{10}$ ,  $z_{10}$

Diagrama de cromaticidade xy e  $x_{10}$ ,  $y_{10}$   
Podemos plotar um diagrama bidimensional baseados nas coordenadas de cromaticidade xy ou  $x_{10}$ ,  $y_{10}$



- Observador Padrão 2° (CIE 1931)
- Observador Padrão Suplementar 10° (CIE 1964)

## Espaço de Cor $L^*a^*b^*$

O espaço de cor  $L^*a^*b^*$  (também conhecido como espaço de cor CIELAB) é um dos espaços uniformes de cor definido pela CIE em 1976. Os valores de  $L^*$ ,  $a^*$  e  $b^*$  são calculados de acordo com a fórmula:

Variável de luminosidade  $L^*$ :

$$L^* = 116 \left( \frac{Y}{Y_n} \right)^{1/3} - 16$$

Coordenadas de cromaticidade  $a^*$  e  $b^*$ :

$$a^* = 500 \left[ \left( \frac{X}{X_n} \right)^{1/3} - \left( \frac{Y}{Y_n} \right)^{1/3} \right]$$

$$b^* = 200 \left[ \left( \frac{Y}{Y_n} \right)^{1/3} - \left( \frac{Z}{Z_n} \right)^{1/3} \right]$$

onde:

$X, Y, Z$ : Valores tristímulus XYZ (Observador Padrão 2°) ou  $x_{10}, y_{10}$  e  $z_{10}$  (Observador Padrão Suplementar 10°) da amostra.

$X_n, Y_n, Z_n$ : Valores tristímulus XYZ (Observador Padrão 2°) ou  $X_{10}, Y_{10}, Z_{10}$  (Observador Padrão Suplementar 10°) de um difusor de reflexão ideal.

Se  $X/X_n, Y/Y_n$ , ou  $Z/Z_n$  for menor que 0.008856, então, as equações acima são mudadas para as equações abaixo descritas:

$$\left( \frac{X}{X_n} \right)^{1/3} \text{ é substituído por } 7.787 \left( \frac{X}{X_n} \right) + \frac{16}{116}$$

$$\left( \frac{Y}{Y_n} \right)^{1/3} \text{ é substituído por } 7.787 \left( \frac{Y}{Y_n} \right) + \frac{16}{116}$$

$$\left( \frac{Z}{Z_n} \right)^{1/3} \text{ é substituído por } 7.787 \left( \frac{Z}{Z_n} \right) + \frac{16}{116}$$

A diferença de cor  $\Delta E^*_{ab}$  no espaço de cor  $L^*a^*b^*$ ; a qual indica o grau de diferença de cor, mas não a direção; é definida pela seguinte equação:

$$\Delta E^*_{ab} = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2}$$

onde:

$\Delta L^*, \Delta a^*, \Delta b^*$ : Diferenças entre a amostra e o padrão nos valores de  $L^*, a^*$  e  $b^*$

## Espaço de Cor Uniforme

Um espaço de cor no qual distâncias iguais nas coordenadas do diagrama correspondem a igual percepção de diferença de cor.