

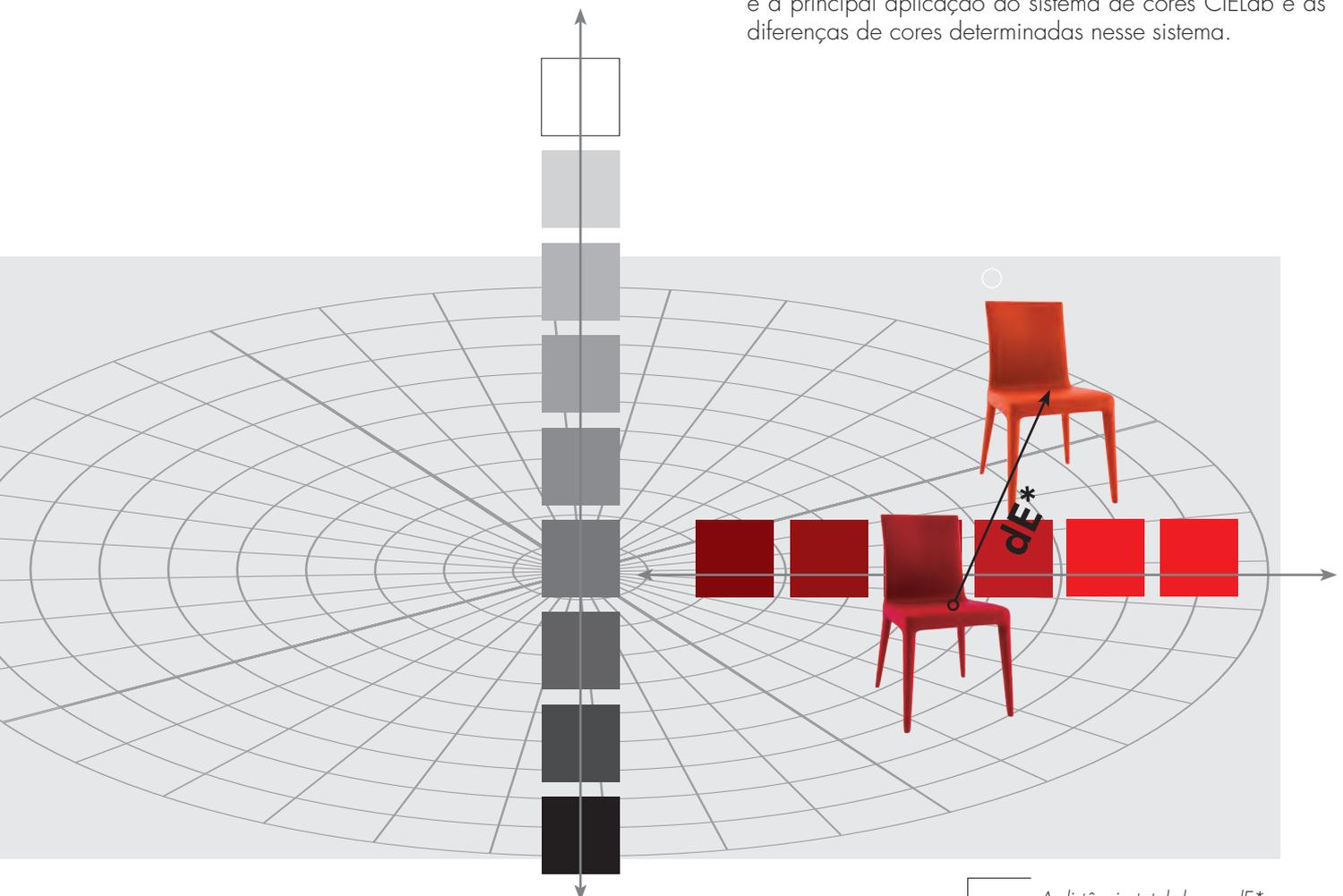
Distâncias de cores, metamerismo  
e equações práticas de cores

# Distâncias de cores e sua aceitabilidade

## Introdução

A maioria das indústrias demanda que seus produtos possuam uma consistência em suas cores de um lote para o outro. Por exemplo, ao pintar-se um quarto e ficar sem tinta, espera-se que não haja diferenças visíveis entre os dois produtos utilizados. Há também produtos para os quais se demanda a consistência de cores em seus diversos componentes. Um automóvel contém partes da mesma cor, como apoios de plástico para os braços, carpetes, estofamento, entre outros, que são feitos de materiais diferentes e em processos distintos. Com frequência esses componentes podem exibir pequenas diferenças de cores quando postos lado a lado, mas geralmente são aceitáveis se elas forem pequenas. Em todo caso, quando a cor for muito inconsistente, o produto provavelmente será considerado defeituoso.

Na prática, é geralmente impossível reproduzir a cor de um produto com 100% de exatidão; como no exemplo abaixo, a camiseta exibiria diferenças mínimas de cor em alguns locais, mesmo que não possamos enxergar essas diferenças. Usando a colorimetria, essas diferenças podem ser medidas e registradas. A medição das cores e a avaliação das diferenças de cores são um grande auxílio para um empresário aderir às especificações negociadas entre cliente e fornecedor. Para determinar a diferença entre as cores de duas amostras, as coordenadas cromáticas da amostra padrão e a de reconstrução são aplicadas ao espaço de cores; a distância entre esses dois pontos de cores mostra a diferença de cor entre as amostras. A distância entre os dois pontos é calculada com uma relação baseada em sua projeção espacial em cada uma das três variáveis principais do sistema de cores. Essa é a principal aplicação do sistema de cores CIE Lab e as diferenças de cores determinadas nesse sistema.



A distância total de cor  $dE^*$  (Delta E) entre as duas amostras vermelhas

## As diferentes cores no espaço de cores CIELab

A distância de cores entre duas cores é especificada como dE (anotações alternativas: Delta E, E). Ela pode ser calculada com uma fórmula desenvolvida em 1976. Assim, o espaço de cores CIELab permite que diferenças de cores sejam calculadas usando os seguintes métodos:

- Usando-se as coordenadas perpendiculares L\*, a\* e b\*, a fórmula é:

$$dE^* = \sqrt{dL^{*2} + da^{*2} + db^{*2}}$$

onde

- dL\* representa a variação de luminosidade no eixo L\*
- da\* representa a variação vermelho-verde no eixo a\*
- db\* representa a variação amarelo-azul no eixo b\*

- Usando-se as coordenadas cilíndricas L\*, C\* e h, a fórmula é:

$$dE^* = \sqrt{dL^{*2} + dC^{*2} + dH^{*2}}$$

onde

- dL\* representa a variação de luminosidade no eixo L\*
- dC\* representa a variação de saturação no raio C\*
- dh (em graus) representa a variação do ângulo de tom em h

Padrão (S<sub>0</sub>)                      Amostra (E<sub>1</sub>)

L* <sub>0</sub> = 52.15	dL* = +3.40	L* <sub>1</sub> = 55.55
a* <sub>0</sub> = +51.72	da* = +2.60	a* <sub>1</sub> = +54.32
b* <sub>0</sub> = +19.29	db* = +1.80	b* <sub>1</sub> = +12.09

$$dE^* = \sqrt{dL^{*2} + da^{*2} + db^{*2}}$$

$$dE^* = \sqrt{3.40^2 + 2.60^2 + 1.80^2} = 4.64$$

Em D65 / 10°

Espaço de cores CIELab. Distâncias de cores em L\* a\* b\*

Padrão (S<sub>0</sub>)                      Amostra (E<sub>1</sub>)

L* <sub>0</sub> = 52.15	dL* = +3.40	L* <sub>1</sub> = 55.55
C* <sub>0</sub> = 55.20	dC* = +3.06	C* <sub>1</sub> = 58.26
h <sub>0</sub> = 20.45°	dh = 0.77°	h <sub>1</sub> = 21.22°

$$dE^* = \sqrt{dL^{*2} + dC^{*2} + dH^{*2}}$$

$$dE^* = \sqrt{3.40^2 + 3.06^2 + 0.77^2} = 4.64$$

Em D65 / 10°

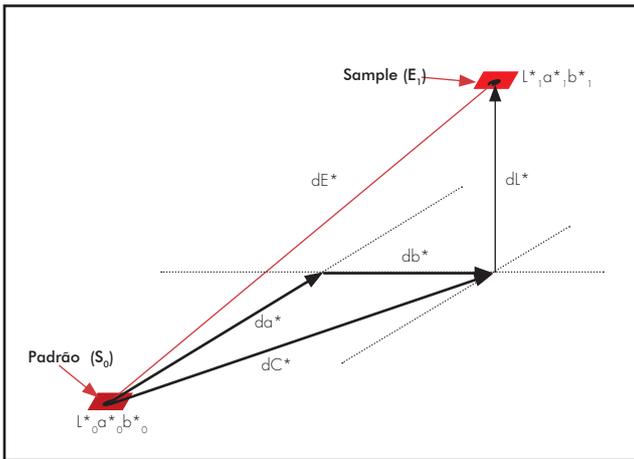
Espaço de cores CIELab. Distâncias de cores em L\* a\* b\*

Como a equação para o cálculo da distância (para o parâmetro dh) pode ser expressa apenas em unidades de comprimento, a distância do ângulo tom dh (expresso na realidade em °) é convertida para uma unidade de comprimento. Essa distância de tom é representada por dH\*, em conjunto com o raio do círculo cromático C\*, o qual representa a saturação.

## Variações e tolerâncias de cor no espaço de cores CIELab $L^* a^* b^*$

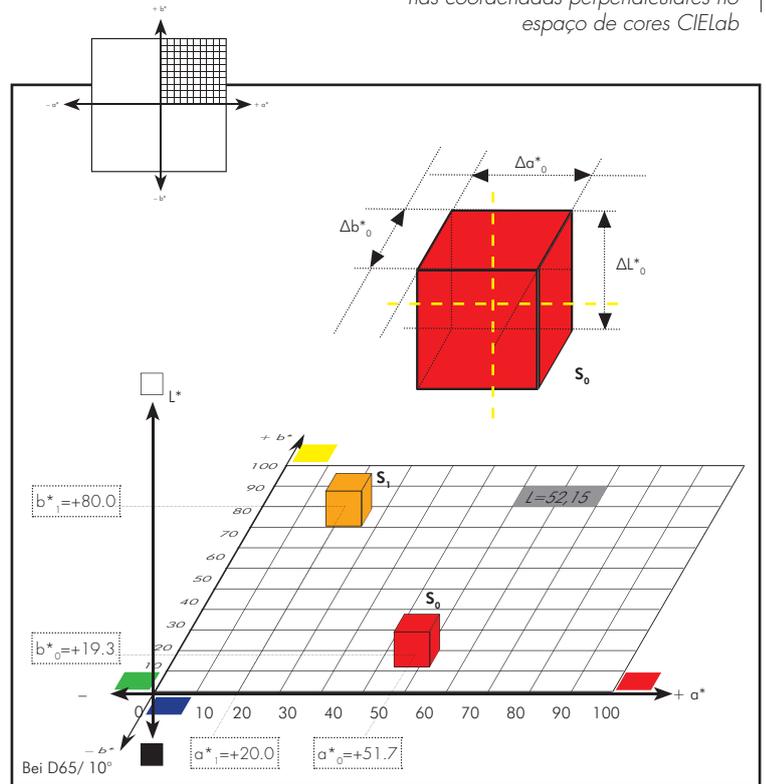
A descrição de uma variação de cores por meio das coordenadas perpendiculares  $L^*$ ,  $a^*$  e  $b^*$ , em termos da física da percepção, segundo a teoria de oposição das cores:

- Variação vermelho/verde: projeção da distância no eixo  $a^*$
- Variação amarelo/azul: projeção da distância no eixo  $b^*$



Variações cromáticas  $dL^*$   $da^*$   $db^*$  expressas nas coordenadas perpendiculares

Tolerâncias  $dL^*$ ,  $da^*$  e  $db^*$  expressas nas coordenadas perpendiculares no espaço de cores CIELab



**$dE^*$  distância cromática total**

**$dL^*$  diferença na luminosidade (  $\ominus$  = mais escuro;  $\oplus$  = mais claro )**

**$da^*$  diferença da cor verde  $\Leftrightarrow$  vermelho (  $\ominus$  = mais verde;  $\oplus$  = mais vermelho )**

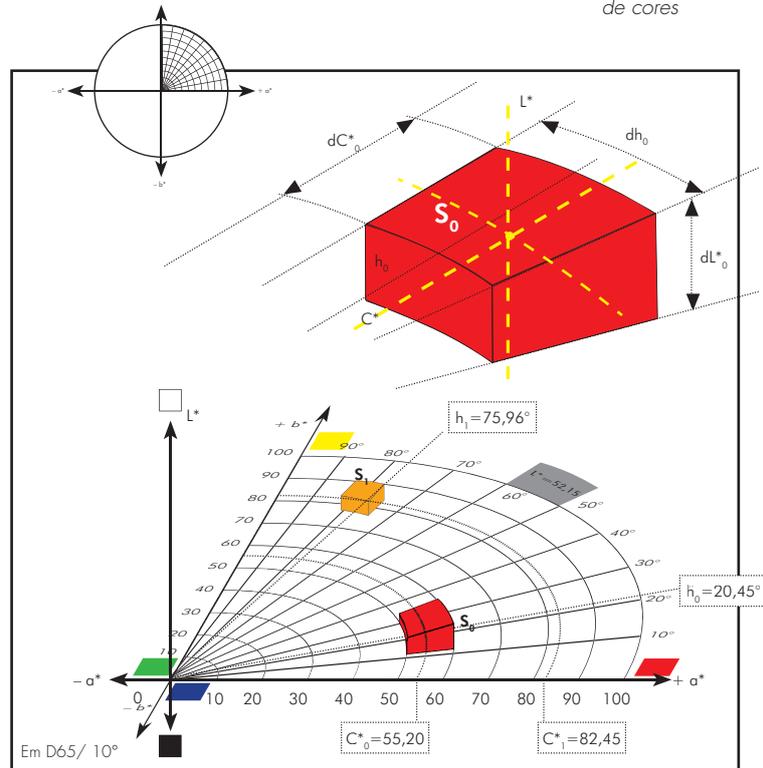
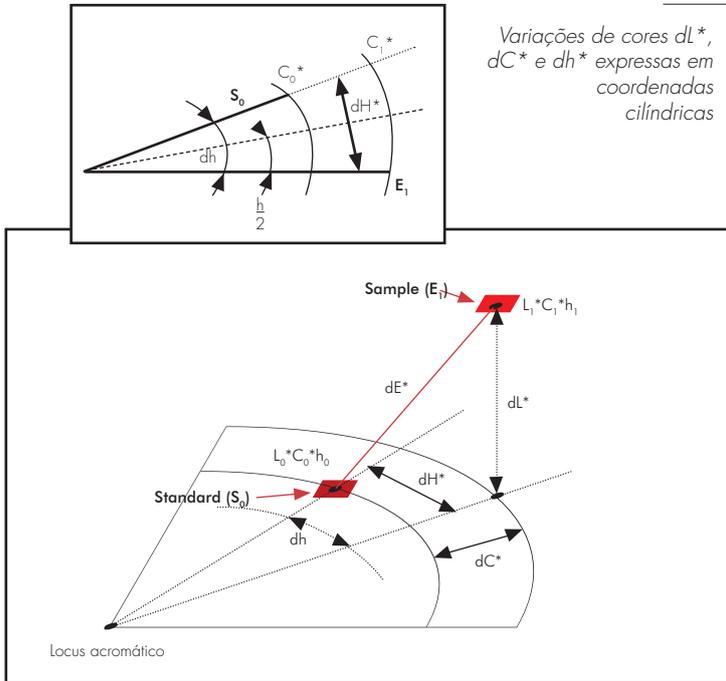
**$db^*$  diferença de cor amarela  $\Leftrightarrow$  azul (  $\ominus$  = mais azul;  $\oplus$  = mais amarela )**

## Variações e tolerâncias de cor no espaço de cores CIELab $L^* C^* h$

Em contraste com o sistema teórico  $L^*a^*b^*$ , as cores no espaço real de percepção não se comportam linearmente uma em relação à outra. O olho humano não interpreta distâncias de cores (verde, vermelho, amarelo e azul) da mesma forma que as diferenças entre saturação e luminosidade. Normalmente, uma pessoa

interpretará primeiro distâncias em tonalidades de cores, depois em saturação e, por fim, em luminosidade. Uma distância de cores de, por exemplo,  $dE = 1$  é uma diferença aceitável para tons amarelos brilhantes ou verdes, mas para tons acromáticos cinzas,  $dE = 1$  representa uma cor diferente que não é aceitável.

Tolerâncias  $dl^*$ ,  $dC^*$  e  $dh$  expressas em coordenadas cilíndricas no espaço de cores



A fórmula é:

$$dE^* = \sqrt{(dl^*)^2 + (dC^*)^2 + (dh^*)^2}$$

### L\* eixo de luminosidade

$dl^*$  = diferença luminosa: valor e interpretação são idênticos aos do sistema  $L^*a^*b^*$

### C\* Saturação

$dC^*$  = Diferença em saturação: representa a diferença nas distâncias entre cada ponto de cores no eixo de luminosidade

$dC^* = C^*_1 - C^*_0$   
 onde  $C^*_0$  = saturação do padrão e  
 $C^*_1$  = saturação da amostra

- se  $dC^*$  for positiva, a amostra possui maior cromaticidade que o padrão
- se  $dC^*$  for negativa, a amostra possui menor cromaticidade que o padrão

### H° tonalidade da cor (ângulo)

$dh$  = diferença do ângulo de tom: representa a diferença angular (em graus) entre os caminhos dos vetores associados com as duas cores (padrão e amostra). A diferença angular  $dh$  é convertida em uma distância de comprimento  $dh^*$  usando-se a seguinte fórmula de transformação:

$$dh^* = 2 \sqrt{C^*_0 C^*_1} \cdot \sin\left(\frac{dh}{2}\right)$$

A fragmentação do total da diferença de cores  $dE^*$  em  $dl^*$ ,  $dC^*$  e  $dh^*$  dessa maneira coloca-o em um nível de descrição de variação de cores utilizando avaliação visual na classificação natural. Por ser mais simples e prático, esse é o método mais frequentemente aplicado.

**Especialistas de cor com frequência usam  $dl^*$ ,  $da^*$  e  $db^*$  como a forma de expressar as variações de cores, se  $C^* \leq 5$  e a distância de cores é avaliada de acordo com  $L^*C^*H^* > 5$ . Se  $C^* \leq 5$ , então as coordenadas  $L^*a^*b^*$  devem ser utilizadas para a avaliação. Se o valor for  $C^* > 5$ , então as coordenadas  $L^*C^*H^*$  devem ser utilizadas para avaliação.**

## Sistema de uniformização do CMC

As fórmulas de distâncias entre cores nos espaços de cores CIE Lab  $L^*a^*b^*$  e  $L^*C^*h$  possuem a vantagem de serem relativamente simples e práticas em sua aplicação.

Sua desvantagem é que o sistema de cores CIE Lab não é uma escala visual uniforme. As distâncias entre cores calculadas não correspondem às distâncias interpretadas ou sentidas para todas as cores. Na prática, isso significa que para as cores acromáticas, o olho humano consegue distinguir a menor diferença possível de tonalidade. Conseqüentemente, o menor valor numérico possível  $dE^*_{ab}$  deveria ser determinado aqui. Quanto mais brilhante forem as tonalidades avaliadas, ou seja, quanto maior forem os valores C, mais distantes são as cores no sistema CIE Lab, e menor a sensibilidade com a qual o olho reage às distâncias entre cores. Aqui, entre outras, uma diferença  $dE^*_{ab}$  numericamente maior não é reconhecida pelo olho. O olho também é melhor em avaliar diferenças em tonalidades de cores que as de luminosidade ou de saturação (brilho).

Para evitar a necessidade de determinar as tolerâncias de cores por cor no sistema CIE Lab, e para torná-la mais parecida com o olho humano, a fórmula de distância entre cores  $dE^*_{ab}$  foi aprimorada ainda mais, desenvolvendo-se, por exemplo, a fórmula CMC, que é amplamente empregada na indústria têxtil.

A fórmula CMC vem da Grã-Bretanha, onde se tem realizado pesquisas contínuas desde 1970. Ela foi testada baseando-se em milhares de avaliações visuais e, finalmente, padronizada pela organização britânica de padronização, a Instituição de Normas Britânicas. O nome original, JPC70, foi depois mudado para CMC (de Comitê de Medição de Cores da Sociedade de Tingidores e Coloristas). A fórmula CMC foi publicada em 1984.

Os "componentes" da  $dE$ , principalmente  $dL$ ,  $dC$  e  $dH$ , são ponderados com fatores de correção  $S_L$ ,  $S_C$  e  $S_H$ , que por sua vez são dependentes da luminosidade, saturação e tom.  $S_L$ ,  $S_C$  e  $S_H$  são essencialmente funções hiperbólicas, garantindo que  $dL$  e  $dC$  aumentem conforme as cores tornam-se mais escuras e acromáticas (mais cinzas). O  $dH$  também diminui conforme a saturação aumenta. Uma correção também é feita dependendo da situação do círculo cromático.

A fórmula CMC para distância entre cores é:

$$dE_{CMC} = \sqrt{\left(\frac{dL^*}{S_L}\right)^2 + \left(\frac{dC^*}{S_C}\right)^2 + \left(\frac{dH^*}{S_H}\right)^2}$$

$S_L$  fator luminosidade

$S_C$  fator saturação

$S_L$  função de L

$S_C$  função de C

$S_H$  função de H e C

■ Válido para  $S_L$ :

Se  $L^* < 16$   $S_L = 0.511$

Se  $L^* \geq 16$   $S_L = \frac{0.040975L^*}{1 + 0.01765L^*}$

Essa correção melhora a avaliação dos valores de  $dE$  em quase 200% no caso de cores muito escuras!

■ Válido para  $S_C$ :

$S_C = \frac{0.0638C^*}{1 + 0.0131C^*} + 0.638$

Com o parâmetro  $S_C$ , valores  $dC$  próximos do eixo acromático são ponderados aproximadamente 60% maiores. Para cores brilhantes (altos valores de saturação), o CMC diminui valores existentes de  $dC$ .

■ Válido para  $S_H$ :

$S_H = (FT + 1 - F) S_C$

onde  $F = \sqrt{\frac{C^{*4}}{C^{*4} + 1900}}$

e  $T = 0.36 + |0.4 \cos(35 + h)|$

a não ser que  $164^\circ < h < 345^\circ$

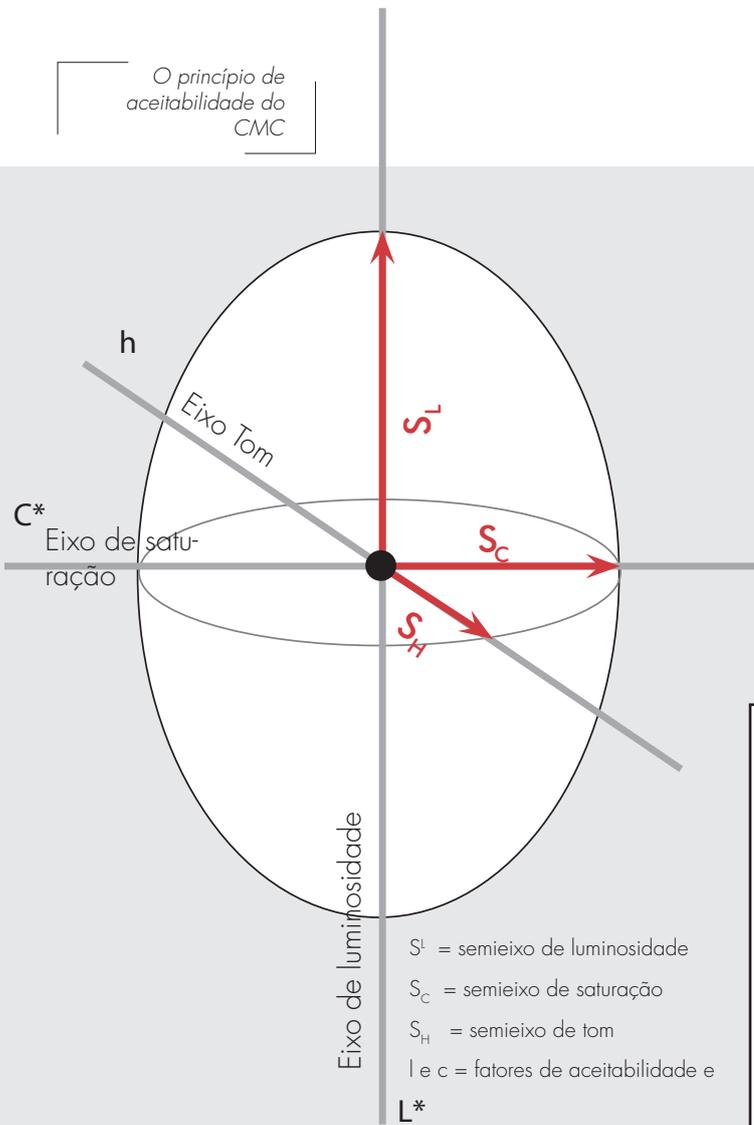
ou  $T = 0.56 + |0.2 \cos(168 + h)|$

**Observação:**  $|$  representa um valor absoluto

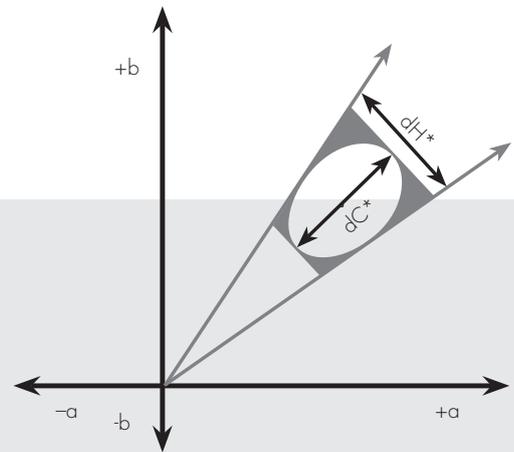
Dada a influência do  $S_C$ , determinados valores de  $dH$  próximos do eixo acromático possuem valores mais altos, mas não tão altos quanto o  $S_C$  sozinho, por causa da influência do fator  $f$ . De acordo com a fórmula CMC, o  $dH$  aumenta nas áreas laranja e violeta, e diminui nas áreas verde para azul e roxo para vermelho.

A fórmula CMC para distância entre cores é baseada em aproximadamente 2.000 amostras têxteis que foram

O princípio de aceitabilidade do CMC

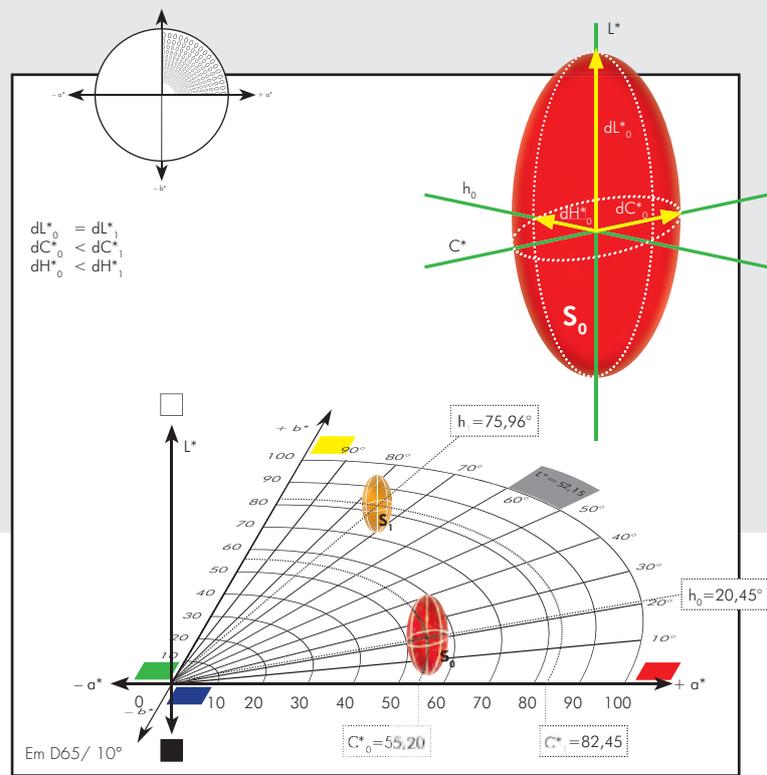


- S<sub>L</sub> = semieixo de luminosidade
- S<sub>C</sub> = semieixo de saturação
- S<sub>H</sub> = semieixo de tom
- l e c = fatores de aceitabilidade e
- L\*



$$dE_{CMC} = \sqrt{\left(\frac{dL^*}{l S_L}\right)^2 + \left(\frac{dC^*}{c S_C}\right)^2 + \left(\frac{dH^*}{S_H}\right)^2}$$

CMC – tolerância = elipsoide



combinadas sob iluminação D65 e medidas usando a função do observador padrão 10° CIE64.

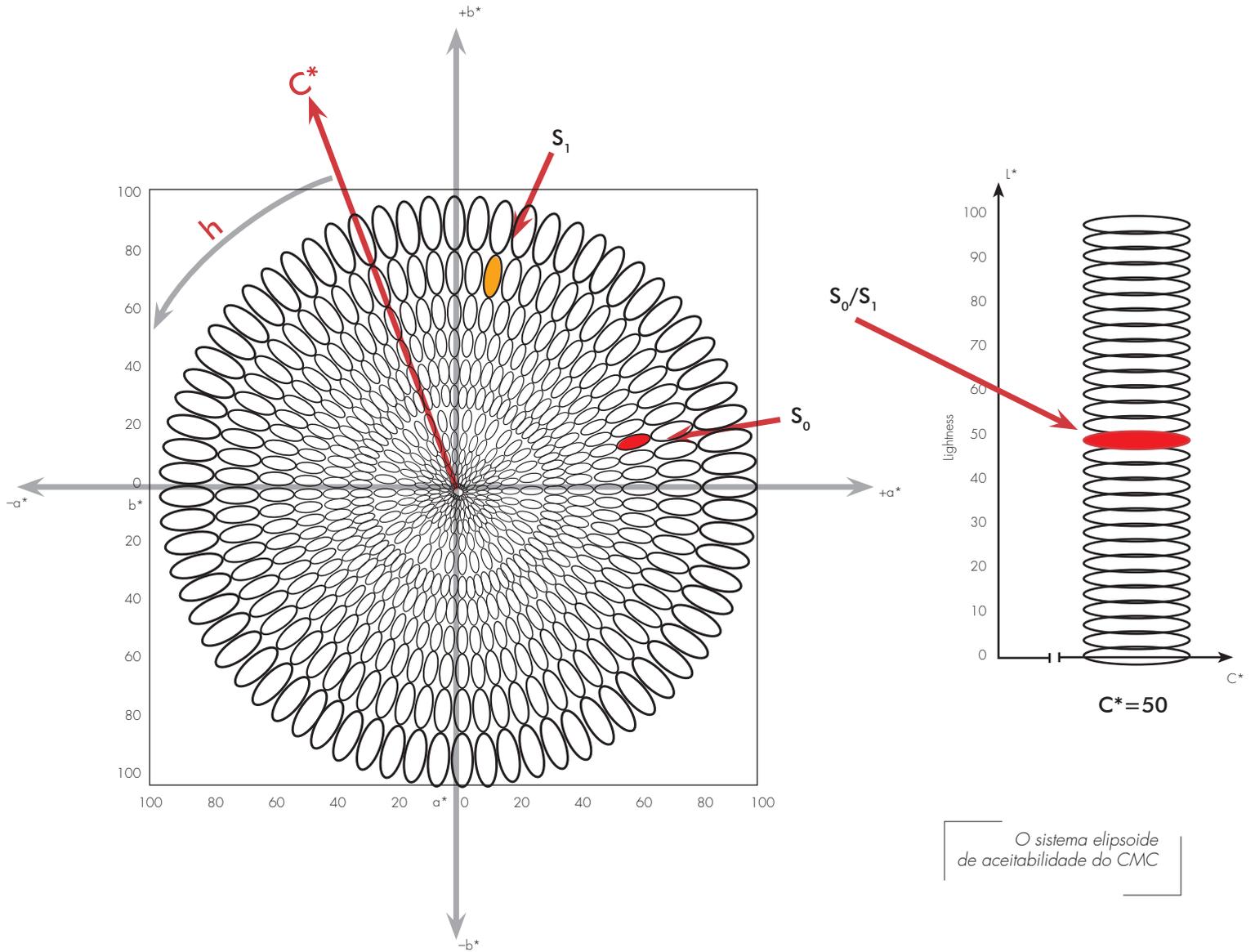
Portanto, os parâmetros de correção (S<sub>L</sub> – S<sub>C</sub> – S<sub>H</sub>) têm sido avaliados empiricamente e estão disponíveis em fórmulas que permitem seu cálculo prévio. Além disso, os dois fatores adicionais l (“luminosidade”) e c (“saturação”) podem influenciar os resultados dependendo de como um problema – especialmente a aceitabilidade de uma variação – é posicionado.

Os parâmetros de correção l e c podem ser mudados pelo usuário, sendo ambos iguais a 1, o que corresponde ao caso mais comum quando se avalia a perceptibilidade da variação das cores. Para avaliar a aceitabilidade, os valores l e c podem ser aumentados ou diminuídos. Por exemplo, a combinação CMC (2,1) é utilizada na indústria têxtil, onde l = 2 e c = 1. Nela, l = 2 significa que apenas metade da distância luminosa é levada em consideração no cálculo da distância total de cores.

A diferença luminosa (dL\*) varia apenas de acordo com a luminosidade. Ela aumenta para valores menores de luminosidade e diminui para valores maiores.

As diferenças em saturação (dC\*) são mudadas somente pela saturação. Elas são geralmente menores quando comparadas com as do sistema CIE Lab, exceto valores de saturação menores que 6.

As variações de tom (dH\*) são mudadas apenas pelo ângulo de tom e a saturação. Pode ser visto, especialmente para tons laranjas, que as variações de cores ficam maiores em relação a tons de verdes, e que os efeitos da variação de cores com referência ao sistema CIE Lab reduzem consideravelmente se as cores estiverem relativamente saturadas.



Os efeitos desses parâmetros de correção podem ser vistos no gráfico acima. As diferenças determinadas visualmente da mesma magnitude são especificadas como elipses para a área  $a^*/b^*$  para uma luminosidade constante. As diferenças dentro de uma elipse são igualmente percebidas pelo olho humano. O lado direito do gráfico mostra as elipses de aceitabilidade no eixo  $L^*$  (para uma saturação constante  $C^* = 50$ , mas uma luminosidade variável  $L^*$  de 0 a 100).

Esse gráfico mostra algo com clareza: A fórmula CMC não proporciona um sistema de representação uniforme ou forma um espaço de cores, mas permite o cálculo de variações cromáticas e aceitabilidade baseadas em uma avaliação empírica de qualquer ponto no espaço de cores CIElab.

No contexto do aprimoramento das fórmulas de aceitabilidade e distância entre cores, a CIE desenvolveu as fórmulas de distância de cores CIE94 e CIE2000.

## A fórmula CIE94 para distância entre cores

Em 1994, a CIE publicou a fórmula de distância entre cores CIE94. Ela baseia-se em uma abordagem similar à fórmula CMC, mas proporciona três parâmetros de correção ( $k_L$ ,  $k_C$  e  $k_H$ ) que podem ser otimizados de acordo com a área de aplicação. Condições de observação também foram adicionadas à fórmula, a qual serve de base para a apresentação e observação de amostras.

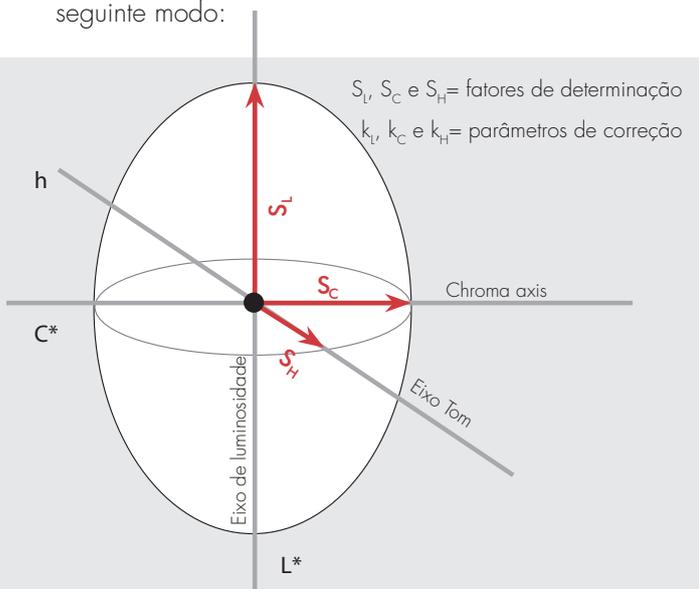
A fórmula CIE94 para distância entre cores é:

$$dE_{94} = \sqrt{\left(\frac{L_2^* - L_1^*}{k_L S_L}\right)^2 + \left(\frac{C_2^* - C_1^*}{k_C S_C}\right)^2 + \left(\frac{dH_{ab}^*}{k_H S_H}\right)^2}$$

$$L_2^* - L_1^* = dL^*$$

A distância total entre cores  $dE^*_{94}$  representa a distância no entre duas amostras de cores espaço de cores (CIElab) que foi determinado e ajustado pelo usuário. Sob condições específicas de referência, a fórmula considera os componentes dessa distância entre cores, como as diferenças de luminosidade ( $dL^*$ ), as de saturação ( $dC^*$ ) e as de tom ( $dH^*$ ).

Os fatores  $S_L$ ,  $S_C$  e  $S_H$  representam os respectivos pesos dos fatores para as diferenças em luminosidade, saturação e tonalidade. Eles são calculados e determinados do seguinte modo:



$$dE_{94} = \sqrt{\left(\frac{L_2^* - L_1^*}{k_L S_L}\right)^2 + \left(\frac{C_2^* - C_1^*}{k_C S_C}\right)^2 + \left(\frac{dH_{ab}^*}{k_H S_H}\right)^2}$$

Fórmula CIE94 para distância entre cores

Os fatores  $k_L$ ,  $k_C$  e  $k_H$  são parâmetros de correção relacionados às condições de observação das amostras. As condições de referência são determinadas experimentalmente como condições típicas para observação de cores de controle.

$$\begin{aligned} S_L &= 1 \\ S_C &= 1 + 0.045 C^* \\ S_H &= 1 + 0.0015 C^* \end{aligned}$$

### As condições de referência:

- Iluminação – fonte de luz: a fonte de luz estimula o iluminante padrão D65, que equivale à luz do dia
- Iluminação da amostra por uma intensidade luminosa de aproximadamente 1000 lux
- Ambiente: observação uniforme em segundo plano de uma cor neutra cinza e luminosidade  $L^* = 50$
- As superfícies a serem observadas (amostras) devem preencher ao máximo as seguintes condições:
  - O campo de observação e a distância devem ser iluminados de tal forma que o campo de visão seja maior que o fixo centralmente em  $4^\circ$
  - As amostras devem estar organizadas uma ao lado da outra; elas não podem estar separadas e devem estar em contato direto para que a linha de separação não seja visível, na medida do possível.
  - A estrutura, textura e cor devem ser o mais uniformes possíveis.

### Observação:

Os fatores de correção  $k_L$ ,  $k_C$  e  $k_H$  ainda são muito mal avaliados como pré-requisitos especiais. Os fatores de correção  $k_L$ ,  $k_C$  e  $k_H$  são iguais a 1 nas condições de referência. Na indústria têxtil, geralmente são usados os seguintes fatores:  $k_L = 2$  and  $k_C = k_H = 1$ .

A fórmula CIE para distância entre cores deve ser expressa na forma de  $dE^*_{94}$  e escrita usando a abreviação  $CIE_{94}$ . Os parâmetros de correção  $k_L$ ,  $k_C$  e  $k_H$  não precisam ser iguais a 1. Neste caso, eles devem seguir a abreviação  $dE^*_{94}$ . Um exemplo da indústria têxtil: para os fatores  $k_L = 2$  e  $k_C = k_H = 1$ , a notação é então  $CIE_{94}(2:1:1)$  com o símbolo  $dE^*_{94}(2:1:1)$ .

Diagrama de tolerância CIE94

## CIE2000 – a atual fórmula para distância entre cores da CIE

Apesar de ser uma melhoria na fórmula CMC, a CIE94 obteve pouca ou nenhuma aceitação da indústria. Portanto, ela foi aprimorada usando novos conjuntos de dados e substituída pela nova fórmula CIE2000. A

fórmula CIE2000 para distância entre cores é a fórmula que atualmente melhor combina com a percepção visual. Ela não contém apenas funções ponderadas para luminosidade, saturação e tom, mas também termos de mistura. Esses termos levam em consideração a dependência adicional da saturação pelo tom.

A fórmula CIE2000 para distância entre cores é:

$$dE_{00} = \sqrt{\left(\frac{dL^*}{k_L S_L}\right)^2 + \left(\frac{dC^*}{k_C S_C}\right)^2 + \left(\frac{dH^*}{k_H S_H}\right)^2 + R_T \left(\frac{dC^*}{k_C S_C}\right) \left(\frac{dH^*}{k_H S_H}\right)}$$

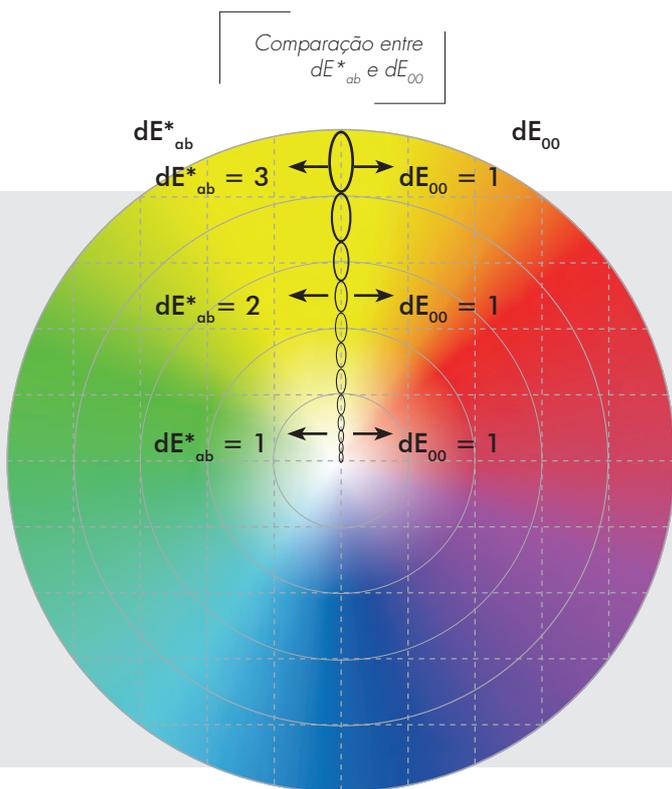
O último termo na equação é também referido como termo de rotação. Isso introduz uma ponderação adicional dependente do tom "rotatório" e deve corrigir casos particulares de falta de equivalência entre distâncias de cores visualmente interpretadas e calculadas na faixa da cor azul.

Todas as fórmulas de distância entre cores descritas até agora podem ser representadas pela equação acima. Então, para CIE94 e CMC,  $S_L = 1$ . O termo de rotação não existe nas fórmulas de distância entre cores CMC e CIE94, então, portanto, é igual a zero ( $R_T=0$ ).

A CIE2000 aproxima-se muito do objetivo de se obter uma distância entre cores equivalente para todas as tonalidades de cores.

### Resumo da avaliação das fórmulas CMC, CIE94 e CIE2000

Todas as correções à fórmula original CIE Lab dE representam uma significativa melhoria na avaliação da diferença de cores. Porém, enquanto não houver padrões DIN ou ISO, nenhuma fórmula dE corrigida ganhará aceitação prática. Portanto, o comitê para padrões técnicos cromáticos do DIN (em particular o comitê de trabalho 4), em paralelo com o desenvolvimento do CIE (CIE2000), teve a ideia de transformar o espaço de cores inteiro para uniformizar a escala em vez de modificar as fórmulas de distâncias cromáticas. O resultado foi um novo sistema de coordenadas cromáticas, que por sua vez definiu um espaço de cores com uma escala de cromaticidade uniforme para pequenas distâncias entre cores. Como as distâncias entre cores podem ser agora calculadas como vetores de distâncias a partir das diferenças das coordenadas cromáticas (aqui  $L^*$ ,  $a^*$  e  $b^*$ ), isso é denominado um "espaço de cores euclidiano". Em 1999, a fórmula revelante foi introduzida como a fórmula DIN 99.



### Diferenças relativas entre cores – comparação entre distâncias entre cores calculadas de formas diferentes

		$L^*$	$a^*$	$b^*$	$C^*_{ab}$	$dE^*_{ab}$	$dE_{94}$	$dE_{00}$	$dE_{99}$
Ciano (C)	1	54	-37	-50	62.2	6.00	3.54	2.29	2.16
	2	52	-41	-46	61.6				
Magenta (M)	1	47	75	-6	75.2	6.00	2.94	2.66	2.54
	2	45	79	-2	79.0				
Amarelo(A)	1	88	-6	95	95.2	6.00	2.77	2.69	2.54
	2	86	-10	91	91.5				
Preto	1	18	0	-1	1.0	6.00	5.78	6.28	4.76
	2	16	4	-5	6.4				
C+M	1	26	22	-45	50.1	6.00	3.73	4.56	3.97
	2	24	26	-41	48.5				
C+Y	1	49	-65	30	71.6	6.00	3.26	2.97	2.83
	2	47	-69	26	73.7				
M+Y	1	48	65	45	79.1	6.00	3.23	3.48	2.59
	2	46	69	41	80.3				
Papel	1	93	0	-3	3.0	6.00	5.45	6.13	4.09

## O espaço de cores DIN 99

A base para o espaço de cores DIN 99 é o espaço de cores CIE Lab e suas coordenadas  $L^*$ ,  $a^*$  e  $b^*$ .

A transformação de CIE Lab para DIN 99 aconteceu em duas etapas: A transformação da luminosidade para a nova luminosidade DIN 99  $L_{99}$  e uma transformação da saturação.

Após as transformações, os valores como saturação ( $C_{99}$ ), ângulo tom ( $h_{99}$ ) e distância entre cores ( $dE_{99}$ ) podem então ser calculados.

A fórmula DIN 99 foi designada para pequenas a médias distâncias entre cores. Sua aplicação é recomendada para pequenas distâncias cromáticas até 5 dE CIE Lab como aquelas lidadas em controle de qualidade e cálculo de receitas.

### Cálculo

#### Transformação da luminosidade

A luminosidade  $L^*$  é transformada para a luminosidade DIN 99  $L_{99}$ :

$$L_{99} = \left( \frac{1}{k_E} \right) \cdot (105.51 \cdot \ln(1 + 0.0158 \cdot L^*))$$

Essa transformação é para melhor reproduzir a habilidade de distinção de tonalidades mais escuras. A transformação se assemelha a uma função de poder com um expoente de 0,75. A área para as tonalidades escuras é expandida e a das tonalidades claras é comprimida. Valores médios de luminosidade são deslocados para cima no eixo de luminosidade.

A variável  $k_E$  descreve a influência das condições de observação modificadas.

Sob essas condições de referência,

$$k_E = 1.$$

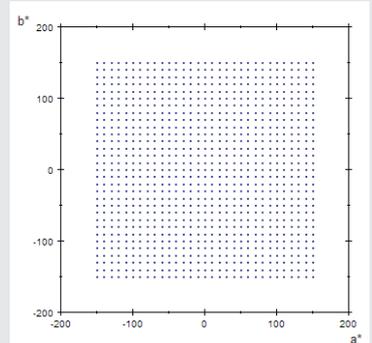
#### Transformação de saturação

A transformação das coordenadas de saturação ocorre em três passos:

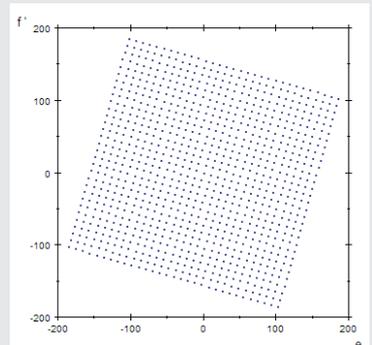
- O eixo de saturação é rodado em  $16^\circ$
- O eixo amarelo/azul é multiplicado pelo fator 0,7, sendo, portanto, comprimido
- Os valores de saturação são logaritmicamente comprimidos radialmente em volta do eixo  $L_{99}$

Ao contrário das fórmulas CIE94 e CIE2000, não é necessário determinar o ângulo de tom para calcular a distância entre cores.

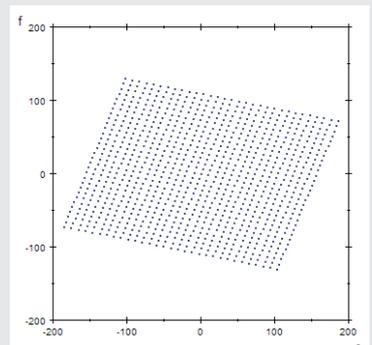
Situação inicial: plano  $a^*/b^*$ . Os pontos nestas e nas próximas ilustrações representam cada conjunto de coordenadas  $a^*/b^*$  que vão desde -150 a 150 em passos de dez



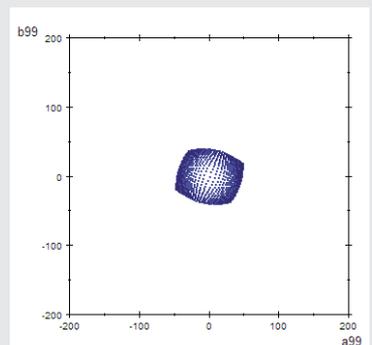
Passo 1: rotação do plano  $a^*/b^*$  em  $16^\circ$



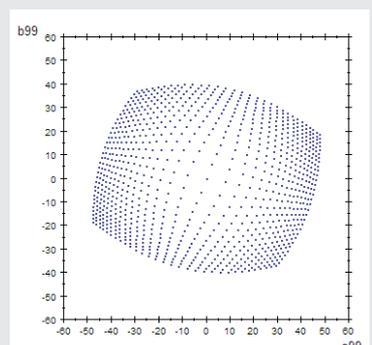
Passo 2: compressão do eixo f



Passo 3: compressão radial do plano e/f



Visão ampliada do plano  $a_{99}/b_{99}$



Os cálculos individuais são:

$a^*$  e  $b^*$  são transformados em: Valores de vermelhidão (eixo vermelho/verde)

$$e = (a^* \cdot \cos(16^\circ) + b^* \cdot \sin(16^\circ))$$

Valores de amarelamento (eixo amarelo/azul)

$$f = 0,7 \cdot (-a^* \cdot \sin(16^\circ) + b^* \cdot \cos(16^\circ))$$

Desses valores, o valor de saturação  $G$  é então calculado:

$$G = \sqrt{e^2 + f^2}$$

Com o fator de compressão

$$k = \frac{\ln(1 + 0.045 \cdot G)}{(k_{CH} \cdot k_E \cdot 0.045)}$$

isso resulta em

valores de tom

$$a_{99} = k \cdot \frac{e}{G}$$
$$b_{99} = k \cdot \frac{f}{G}$$

Caso  $a^* = b^* = 0$ , além de  $e = f = G = 0$ , então  $a_{99} = b_{99} = 0$ .

Uma vantagem desse método quando comparado

a outros de correção é que com os valores  $a_{99}$  e  $b_{99}$  transformados, é possível proceder exatamente como faria no CIElab, para agora calcular, por exemplo, um  $C_{99}$  (saturação corrigida) ou um  $dH_{99}$  (tom corrigido difference).

$$dH_{99} = \frac{(a_{99B} \cdot b_{99P}) - (a_{99P} \cdot b_{99B})}{\sqrt{0,5 \cdot ((C_{99B} \cdot C_{99P}) + (a_{99B} \cdot a_{99P}) + (b_{99B} \cdot b_{99P}))}}$$

o

$$dE_{99} = \sqrt{(dL_{99})^2 + (da_{99})^2 + (db_{99})^2}$$

onde

$$dE_{99} = \sqrt{(dL_{99})^2 + (dC_{99})^2 + (dH_{99})^2}$$

$$C_{99} = \sqrt{(a_{99})^2 + (b_{99})^2}$$

No sistema DIN 99, os valores  $dC$  e  $dH$  são calculados exatamente como no CIElab. O índice B representa a referência ou amostra de comparação, e P representa a amostra.

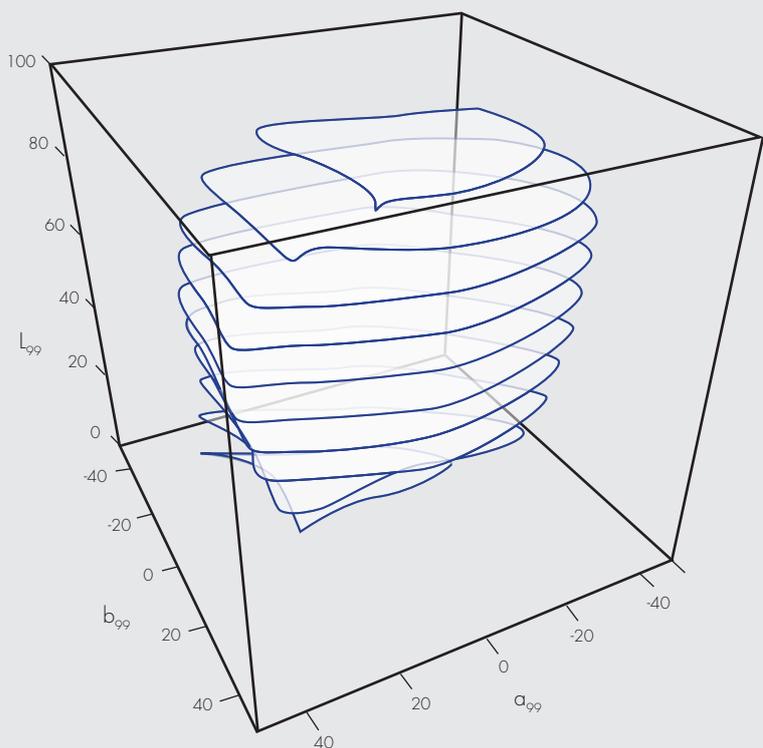
## Qualidade e desenvolvimento posterior

O espaço de cores DIN 99 é muito próximo da fórmula de distância entre cores CIE94 e possui características qualitativas similares, também comparáveis com o CMC(l:c). Uma grande vantagem oposta ao sistema CIE94 é a permutabilidade da amostra e a de comparação nos cálculos, fazendo a transformação completa e facilmente reversível.

A diferença do sistema CIElab é que, em relação aos cálculos, a equivalência com distâncias entre cores interpretadas foi melhorada. A fórmula DIN 99 é lidada da mesma maneira que a fórmula CIElab.

A modificação do eixo de luminosidade e a ponderação mais elevada das cores próximas do eixo acromático pela compressão de cores extremamente saturadas melhoram consideravelmente a uniformidade das distâncias entre cores interpretadas.

As categorias de avaliação dos eixos de luminosidade e tom (amarelo/azul e vermelho/verde) não mudaram em comparação com o CIElab. O cálculo da distância entre cores como uma simples distância euclidiana é uma grande vantagem comparada ao CMC(l:c), CIE94 e CIE2000, nos quais o cálculo é muito complicado.



Cor sólida otimizada  
DIN 99 - iluminante  
100 padrão D65

### Exemplo de um espaço de cores moderno:

Cores sólidas otimizadas DIN 99 em visualização transversal. Planos seccionais para luminosidade  $L = 5$  a  $95$  em dez passos  $a_{99}$  representa a direção amarelo/azul,  $b_{99}$ , a direção vermelho/verde. Distorções aparecem porque as conexões das cores com a luminosidade é um fator presente nos espaços de cores atuais. A área dessas cores sólidas é criada por espectros. Essa área representa todas as cores otimizadas (cores com os valores mais altos de saturação e brilho). O volume de cores sólidas representa todas as cores que são possíveis na teoria.

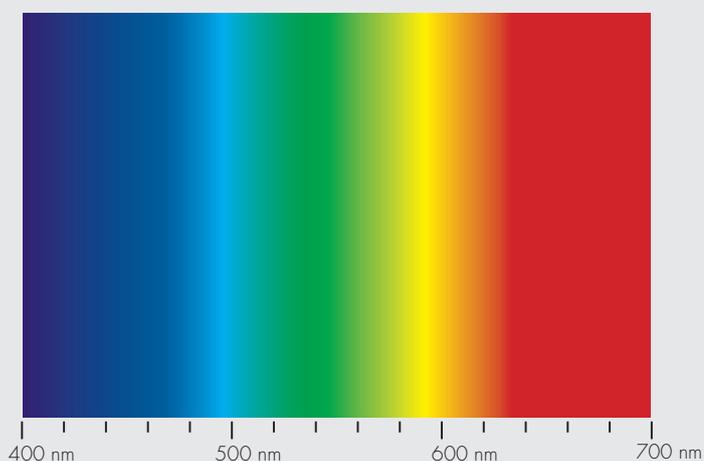
### Conclusões e perspectivas para o futuro

A medição de cor instrumental é essencial para auxiliar no controle de qualidade da indústria. Ela complementa a composição visual de cores e permite a introdução de valores numéricos como tolerâncias. O trabalho de cooperação entre fornecedores e clientes é então colocado em uma base reprodutiva usando medição tecnológica. Contudo, é importante que as medidas colorimétricas correspondam à percepção visual o máximo possível.

Os espaços de cores desenvolvidos ao longo dos anos agora aproximam-se muito de uma percepção visual cromática, mas também mostram fraquezas, já que a distância entre cores interpretadas visualmente em muitos casos não corresponde ao parâmetro para distância entre cores medida,  $dE^*$ .

Mais pesquisas são realizadas constantemente para o desenvolvimento de um espaço de cores completamente uniforme, de uma fórmula para distância entre cores e de uma simples aceitabilidade que da percepção, junto com pesquisa estatística, também estão guiando para a eficiência aprimorada das fórmulas de aceitabilidade e tornando seu uso automático mais confiável. Pode ser dito, então, que com o comando perfeito e o gerenciamento hábil dos modelos de cálculos matemáticos modernos na área de controle automático objetivo de cores e distância entre cores, atualmente a medição colorimétrica pode ser aplicada com grande exatidão para garantir a alta qualidade de produtos coloridos.

VISIBLE SPECTRUM



## Metamerismo

Metamerismo é uma característica de um par de amostras. Duas amostras combinam quando vistas por um observador específico sob uma lâmpada específica. Mas, quando a lâmpada ou o observador muda, as cores aparentemente não combinam mais. A escolha de corantes na receita influencia o grau de metamerismo entre as amostras. Sistemas de composição de cores computadorizados incluem opções para selecionar a fórmula menos metamérica possível para atingir uma cor. A fórmula selecionada pode ser a melhor escolha para a cor sob uma variedade de condições de iluminação e visão, e pode não ser possível detectar visualmente o metamerismo entre as amostras quando uma das condições é mudada.

Quando os mesmos ingredientes da amostra original são utilizados para atingir uma cor, é possível atingir a curva espectral do objeto, comprimento de onda por comprimento de onda. Porém, esse processo não é necessário para reproduzir uma cor. Em aplicações comerciais, é padrão praticar atingir a descrição colorimétrica de uma cor em particular. É preciso encontrar uma fórmula que contenha os valores de triestímulos de uma cor para condições específicas de iluminação e visão. Para encontrá-la não é preciso ter os corantes exatos utilizados para fazer a cor-alvo. É possível encontrar diversas receitas para atingir a cor. Contudo, esteja ciente de que mudanças nas condições de iluminação ou visão mudam a descrição colorimétrica da cor. Quando se atinge os valores de triestímulos, se alterar qualquer uma das condições, as cores podem não mais combinar.

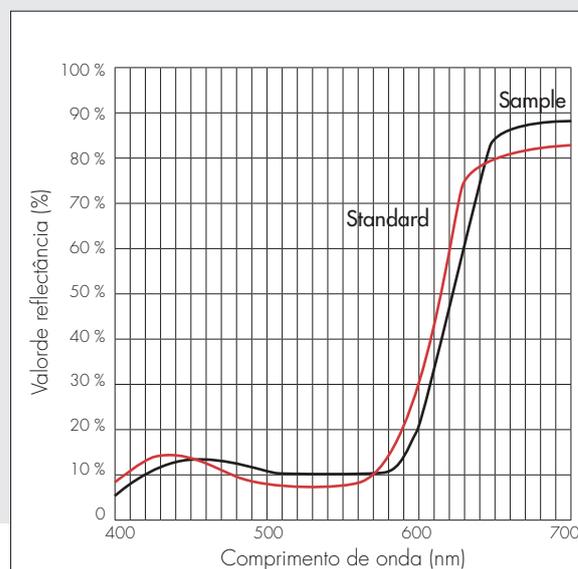


## Metamerismo

Especificações padrão (X-Y-Z) para o observador normal 10°

	Iluminante tipo D65 (Luz do dia)		Iluminante tipo A (Luz Artificial)	
	Standard STD.N	Padrão Amostra No. 2 ECH2.N	Standard STD.N	Padrão Amostra No. 2 ECH2.N
X	$X_{2D} = 31.28$	$X_{2D} = 31.28$	$X_{2A} = 47.88$	$X_{2A} = 52.66$
Y	$Y_{2D} = 20.28$	$Y_{2D} = 20.28$	$Y_{2A} = 27.57$	$Y_{2A} = 31.41$

Funções de composição de cores



# Lista de referências

- Farbe sehen, Corinna Watschke, 01.2009 [[www.planet-wissen.de](http://www.planet-wissen.de)],
- Farbmanagement in der Digitalfotografie (ISBN 3-8266-1645-6), 2006, Redline GmbH, Heidelberg
- Beschreibung und Ordnung von Farben, Farbmatrik, Farbmodelle, DMA Digital Media for Artists – Archiv 2006-2011, Kunstuniversität Linz, Gerhard Funk
- Messen – Kontrollieren – Rezeptieren, Dr. Ludwig Gall [[www.farbmatrik-gall.de](http://www.farbmatrik-gall.de)]
- Farbabstandsformeln, 2012, Fogra Forschungsgesellschaft Druck e.V. [[www.fogra.org](http://www.fogra.org)]
- Wikipedia, various articles about color and color measurement [<http://de.wikipedia.org/wiki/Farbe>]
- Various representations of color models and color spaces [[http://www.chemie-schule.de/chemieWiki\\_120](http://www.chemie-schule.de/chemieWiki_120)]
- Praktische Farbmessung, Anni Berger-Schunn, 2. überarbeitete Auflage, 1994, Muster-Schmidt Verlag, Göttingen – Zürich
- Farbabstandsformeln in der Praxis, SIP 01.2011
- Schläpfer, K.: Farbmatrik in der grafischen Industrie, 3. Aufl. St. Gallen; UGRA 2002 (Tabelle S. 48)

# Dados de publicação

## Editor:

Datacolor, Inc. 5 Princess Road, Lawrenceville, NJ 08648, USA

Telefone: 1-800-982-6497 | Fax: 609-895-7472 | [marketing@datacolor.com](mailto:marketing@datacolor.com) | [www.datacolor.com](http://www.datacolor.com)

## Texto:

Gabriele Hiller, Hiller Direct Marketing, Stühren 41, 27211 Bassum, Alemanha

[www.hiller-direct-marketing.de](http://www.hiller-direct-marketing.de)

Agosto 2019

© Copyright Datacolor. Todos os direitos reservados

# **datacolor**

## EUROPE

Datacolor AG Europe  
6343 Rotkreuz  
Telefone: +41 44.835.3800  
Email: [ecmarketing@datacolor.com](mailto:ecmarketing@datacolor.com)

## AMERICA

Datacolor Headquarters  
Lawrenceville, NJ  
Telefone: +1 609.924.2189  
Email: [marketing@datacolor.com](mailto:marketing@datacolor.com)

## ASIA

Datacolor Asia Pacific Limited  
Hong Kong  
Telefone: +852 24208283  
Email: [asiamarketing@datacolor.com](mailto:asiamarketing@datacolor.com)