

TOLERÂNCIA DE COR NA INDÚSTRIA TÊXTIL

Gutemberg Bruno da Silva

Centro de Análises de Sistemas Navais - Praça Barão de Ladário, s/n - Ilha das Cobras

Arsenal de Marinha do Rio de Janeiro - Ed. N^o 8 – 3^o andar CEP 20091-000

gberg@casnav.mar.mil.br

Resumo

Tolerância de Cor na Indústria Têxtil apresenta algumas considerações necessárias ao entendimento dos aspectos de especificação de pedidos a fabricantes de produtos têxteis e de aceitação, especialmente na área de fardamento, onde são feitas encomendas de grandes quantidades para a confecção de uniformes. Prossegue com comentários sobre o processo de produção e mostra o estudo de tolerâncias industriais, concluindo com apresentação de resultado prático do controle da concentração de corantes.

Palavras-chave: Colorimetria; Tolerância industrial; Simulação; Incerteza da Medição.

Abstract

Color Tolerance in Textile Industry presents some considerations necessary to understand the specifications aspects to place orders to textile manufacturer and acceptance, specially about regimentals, where large demands are made to making military uniforms. Some comments are made about the production process, the industrial acceptance study is presented and a conclusion with a practical result about concentration control of dyes.

Keywords: Colorimetry; Industrial Tolerance; Simulation; Uncertainty in Measurement.

1 FUNDAMENTOS

1.1 A COR

A visão é um processo perceptivo, no qual o olho humano capta as radiações eletromagnéticas com comprimento de onda na faixa de 380nm a 760nm e as transforma em impulsos nervosos. Os impulsos chegam ao cérebro, onde são analisados e interpretados como luz [1].

Devido ao seu caráter abstrato, a cor pode ser definida de várias formas [2]. No nível visual ou perceptual, as cores são apresentadas por sistemas de ordenação e caracterizadas em termos dos seus atributos básicos. Como exemplos, podemos citar o sistema Munsell, o sistema NCS e o sistema Ostwald.

No nível físico, a cor é a distribuição espectral da radiação emitida. Nesse contexto, encontramos variáveis como a refletância (R_λ), a dispersão (S_λ) e a absorbância (K_λ), para um determinado comprimento de onda λ .

No nível psicofísico, ela é a reação do olho humano provocada pela radiação. Aqui, temos os valores triestímulos (X, Y e Z) e os valores das coordenadas de cromaticidade x, y e z.

No nível psicométrico, a cor é a melhor representação do espaço visual em números baseados em medição instrumental. Aqui surgem os sistemas de representação de cor, que expressam por números as cores dos objetos. Como exemplo, temos as variáveis L^* , a^* , b^* do sistema CIELAB [1].

1.2 FATORES FUNDAMENTAIS

Para que a cor exista, são necessários três fatores [2]: a fonte de luz, o objeto e o observador. Da experiência do cotidiano, percebemos que alguns objetos mudam de cor quando se muda a iluminação. Por exemplo, uma camisa azul, na luz do dia, apresenta-se quase preta quando iluminada por lâmpada de vapor de sódio. Também, a cor é o resultado de uma avaliação subjetiva e, portanto, ela muda de acordo com quem está vendo o objeto. Por último, depende do próprio objeto, que reflete raios de comprimento de onda correspondentes à cor apresentada.

1.3 ATRIBUTOS BÁSICOS

Os atributos básicos da cor são: tonalidade, luminosidade e croma [2].

Tonalidade é a qualidade da cor que descrevemos como azul, amarelo, vermelho etc. Este é o atributo de mais fácil entendimento porque é baseado na seqüência das cores do espectro.

Luminosidade é a qualidade da cor que descrevemos como claro ou escuro, relacionando-a a um cinza de similar luminosidade.

Croma é a qualidade que está relacionada com a quantidade de cor e descreve a extensão pela qual a cor difere de um cinza de mesma luminosidade.

A figura 1 ilustra as definições apresentadas. É interessante notar que ela representa uma única tonalidade, vermelho, com três diferentes linhas de luminosidade, do cinza mais claro ao cinza mais escuro. E, partindo-se da esquerda para a direita, vemos seis colunas de croma crescente.

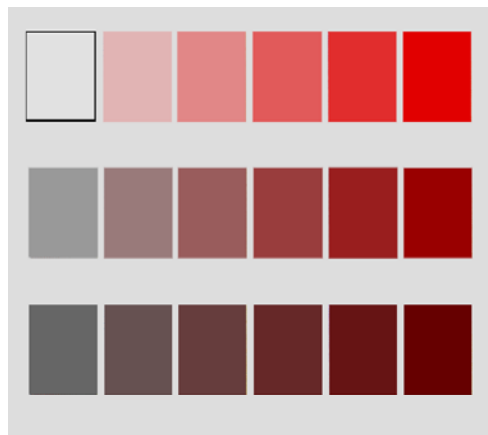


Figura 1 – Atributos básicos da cor. Fonte: Hirschler (2003)

1.4 COMBINAÇÃO DE LUZES OU PIGMENTOS E FILTROS COLORIDOS

A combinação de luzes coloridas acontece de duas formas diferentes:

- Misturas aditivas de cores; e
- Misturas subtrativas de cores.

As cores primárias da mistura aditiva são o vermelho, o verde e o azul, como pode ser visto na figura 2. Esse tipo de combinação acontece quando misturamos luzes projetadas.

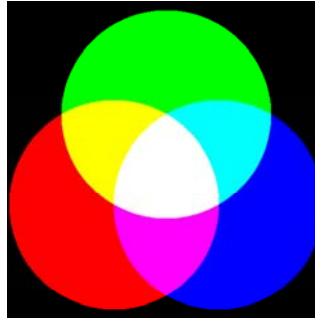


Figura 2 – Mistura aditiva de cores. Fonte: Hirschler (2002)

As cores primárias da mistura subtrativa são o amarelo, o magenta e o ciano, como mostra a figura 3. Esse tipo de combinação acontece quando superpomos filtros ou quando efetuamos misturas de tintas. Nesse processo, subtrai-se do branco as cores primárias RGB (vermelho, verde e azul).

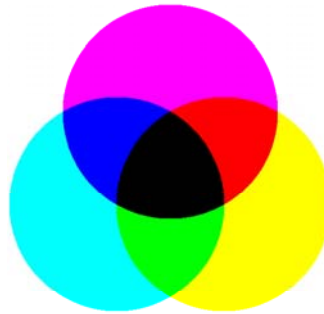


Figura 3 – Mistura subtrativa de cores. Fonte: Hirschler (2002)

1.5 DEFINIÇÕES

Ao estudarmos a cor, nos defrontamos com diferentes tipos de materiais. Assim, temos o material opaco, que reflete e absorve uma certa quantidade de raios incidentes. Temos o material translúcido, que deixa passar uma parte dos raios incidentes. Temos também o material fluorescente, que reflete os raios incidentes em um comprimento de onda diferente e, finalmente, o material pigmentado, ou seja, aquele cuja superfície é recoberta por pigmentos. Dentre esses, temos o material têxtil.

Colorimetria é a ciência da medição e da avaliação das cores [3]. O órgão mundial responsável pela emissão de normas de padronização de procedimentos nessa área é a Comissão Internacional de Iluminação e Cor, conhecida como CIE, do francês Commission Internationale de l'Éclairage.

Um parâmetro muito utilizado em colorimetria é a refletância (R_λ), que representa a relação entre os raios de luz refletidos pelo objeto e os raios de luz refletidos por uma amostra de branco padrão, identicamente iluminados, para os diversos comprimentos de onda (λ) do espectro [1]. Aproximações práticas para a amostra de branco padrão são o sulfato de bário e o já obsoleto óxido de magnésio. Modernamente, usa-se o teflon.

Absorbância (K_λ) é a capacidade que tem o objeto de absorver os raios luminosos [4]. Normalmente, os raios absorvidos transformam-se em calor. No caso de corantes fluorescentes, parte dos raios eletromagnéticos absorvidos são convertidos em raios com comprimentos de onda maiores.

Dispersão (S_λ) é a capacidade que tem o objeto de mudar a direção dos raios de luz [4].

Formulação de receita é a determinação da quantidade de corantes ou pigmentos necessária para matizar (chegar a) uma determinada cor.

1.6 O ESPECTROFOTÔMETRO

O espectrofotômetro é o equipamento que apresenta a curva de refletância de uma amostra em função do comprimento de onda. O seu princípio de funcionamento, ilustrado na figura 4, é o seguinte: uma luz policromática e difusa ilumina a amostra. Os raios luminosos passam por um prisma ou por uma grade e sofrem uma difração. Os componentes monocromáticos, então, atingem detectores espectrais, cada um localizado no ponto correspondente ao seu comprimento de onda. Cada um desses detectores manda, para um processador de sinais, o sinal correspondente à energia relativa recebida e o fator de refletância (R_λ) é, então, registrado e apresentado em forma de gráfico.

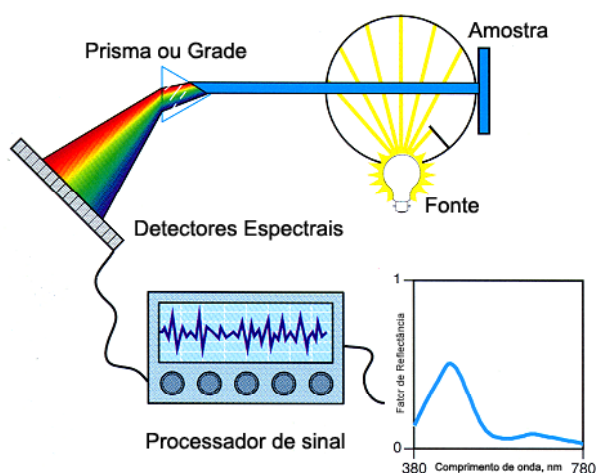


Figura 4 – Diagrama esquemático de um espectrofotômetro. Fonte: Berns (2000)

Uma informação importante na análise de amostras é a geometria do instrumento. Os ângulos pelos quais a amostra é iluminada e observada podem afetar a sua cor. A CIE recomenda quatro diferentes geometrias de instrumentos para a medição de cor, que podem ser vistas na figura 5.

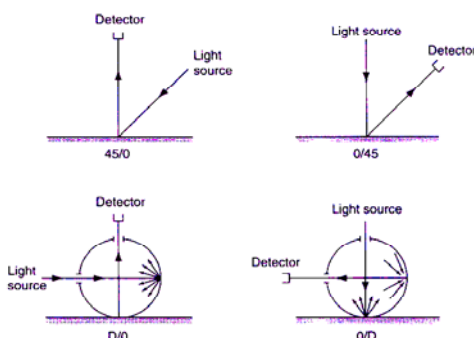


Figura 5 - Geometrias de iluminação e de observação recomendadas pela CIE. Fonte: Judd-Wyszecki

Para que se tenha uma idéia mais precisa, a figura 6 apresenta o diagrama de um espectrofotômetro real.

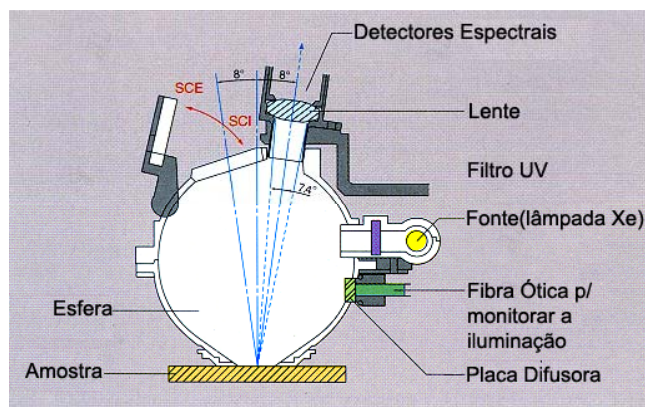


Figura 6 – Diagrama do espectrofotômetro MINOLTA CM-3200d. Fonte: Folheto Minolta www.minolta.com.

2 A TEORIA DE KUBELKA – MUNK

A submissão de uma amostra ao espectrofotômetro fornece a curva de refletância. Essa curva não apresenta características adequadas à visualização e ao tratamento matemático, pois não é linear nem aditiva. Para superar os problemas decorrentes, emprega-se a fórmula de Kubelka-Munk.

A cor de um material opaco é função de suas propriedades de absorção e de dispersão da luz visível. Enquanto a dispersão modifica a direção dos raios luminosos, a absorção converte-os em calor. Uma relativamente simples teoria foi desenvolvida, em 1939, por Kubelka e Munk [5]. A figura 6 ilustra a explicação que é dada por Kuehni [4].

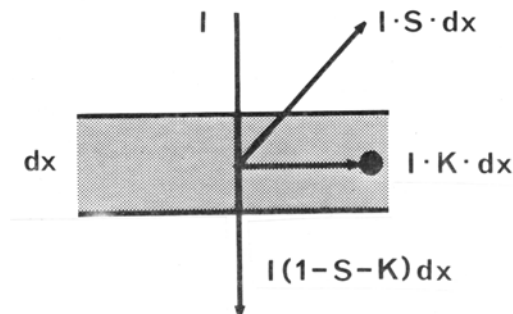


Figura 6 – O modelo simplificado de Kubelka e Munk. Fonte: Kuehni (1975).

O feixe incidente de luz I penetra em uma camada colorida de material opaco, de espessura dx . As frações parcialmente absorvidas ($I \cdot K \cdot dx$), parcialmente dispersas ($I \cdot S \cdot dx$) e parcialmente transmitidas [$I(1-K-S) \cdot dx$] são proporcionais ao fluxo I e à espessura da camada dx .

O fator de refletância espectral R_λ de um filme de espessura x colocado sobre um fundo de refletância R_G é dado pela seguinte equação geral:

$$R = \frac{1 - R_G (a - b \coth bSx)}{a - R_G + b \coth bSx} \quad (1)$$

onde:

R_G é o fator de refletância espectral do fundo;

K é o coeficiente de absorção;

S é o coeficiente de dispersão; e

$$a = 1 + K/S \quad (2)$$

$$b = (a^2 - 1)^{1/2} \quad (3)$$

Para uma camada de espessura “infinita”, isto é, aquela em que toda a luz é refletida ou absorvida, temos:

$$R_\infty = 1 + (K/S) - [(K/S)^2 + 2K/S]^{1/2} \quad (4)$$

Resolvendo para K/S , temos a equação familiar de Kubelka-Munk

$$K/S = (1 - R^2) / 2R \quad (5)$$

Portanto, obtivemos uma grandeza, relacionada à refletância, que é muito mais fácil de manipular, matematicamente. O K/S é que vai permitir a elaboração da receita.

3 O ESPAÇO CIELAB

Como vimos, a cor tem o observador, a fonte de luz e o próprio objeto como fatores fundamentais. Padronizando-se o observador e o iluminante, é possível, por meio da composição desses parâmetros com a curva de refletância do objeto, quantificar a cor.

O observador foi padronizado pela CIE que, em 1931, adotou o observador padrão de 2° e, em 1964, adotou o observador padrão de 10°. Observador padrão significa a definição da sensibilidade do olho humano com a mistura das três cores primárias.

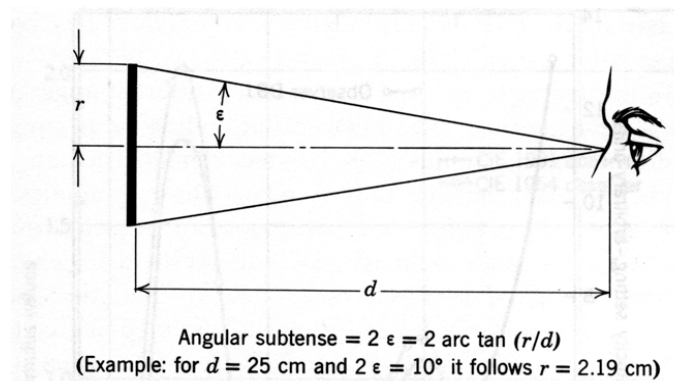


Figura 7 – O observador padrão. Fonte: Judd-Wyszecki

A padronização do campo visual do observador significa a escolha de duas áreas distintas na retina: a parte central (fóvea), menor que dois graus e a parte geral, com campo maior que dez graus. Para materializá-los, torna-se constante a distância (d , na figura 7) do olho ao plano e toma-se um ângulo de 2° ou de 10°. A área definida pelo cone assim formado é o campo visual do observador padrão. A figura 8 apresenta campos visuais bipartidos de diferentes subtensos angulares.

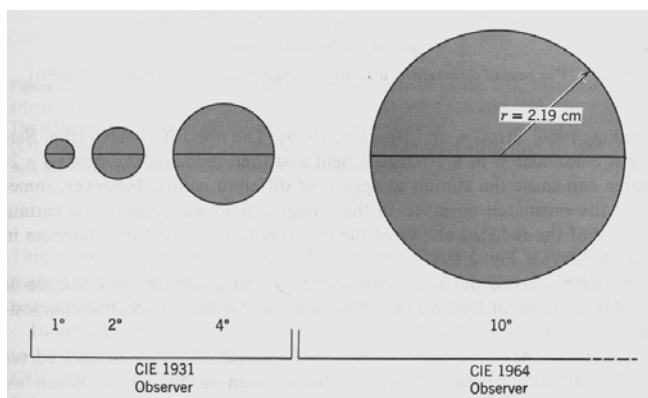


Figura 8 – Campos visuais dos observadores. Fonte: Judd-Wyszecki

Dessa forma, a definição de observador padrão está embutida nas curvas apresentadas na figura 9, que mostram os valores espectrais triestímulos para os dois tipos de observadores estudados. As linhas contínuas referem-se ao observador de 2°.

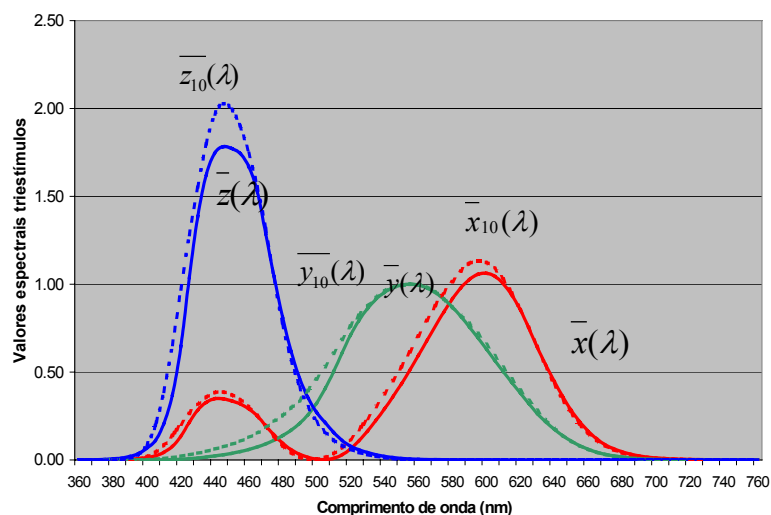


Figura 9 – Valores espectrais triestímulos. Fonte: Dados da Norma CIE/ISO.

Quando o sistema internacional de medição e especificação de cor foi fundado pela CIE, percebeu-se que era fundamental a definição de fontes de iluminação padronizadas. A figura 10 apresenta as curvas de quatro iluminantes. O iluminante de tungstênio nada mais é que a lâmpada incandescente que conhecemos.

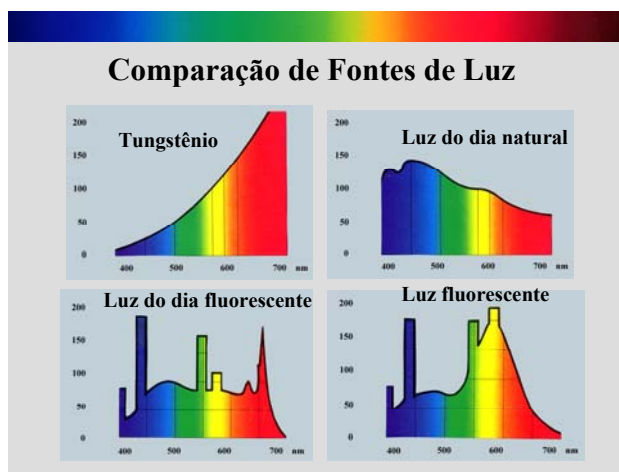


Figura 10 – Diferentes tipos de iluminantes. Fonte: Folheto Gretag-MacBeth

Como resultado de inúmeros experimentos e após muitas observações, os estudiosos chegaram aos valores espectrais triestímulos que são, em termos bastante simplificados, uma composição dos valores do iluminante, do objeto e do observador, como mostra a figura 11.

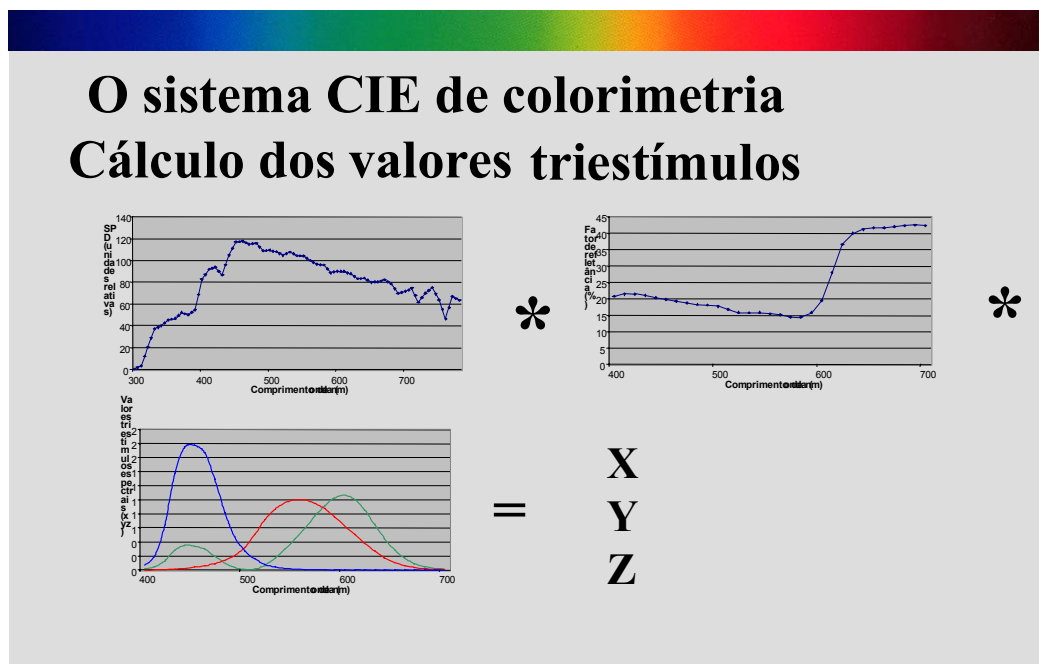


Figura 11 – Valores espectrais triestímulos. Fonte: Hirschler (2003).

Os valores triestímulos deram origem ao diagrama de cromaticidade, que é apresentado na figura 12.

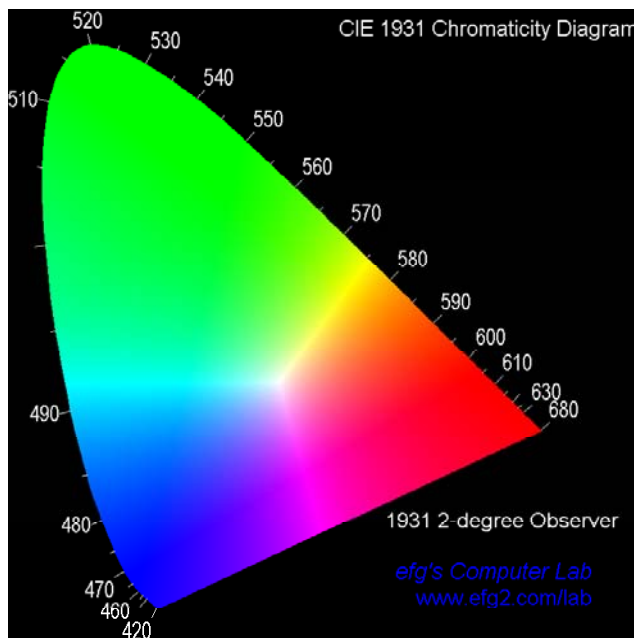


Figura 12 – Diagrama de cromaticidade. Fonte: Software da efg's Computer Lab. www.efg2.com/lab.

Esse espaço de cores apresenta um sério inconveniente: a diferenças iguais de cores não correspondem diferenças iguais de distâncias, como pode ser visto na figura 13.

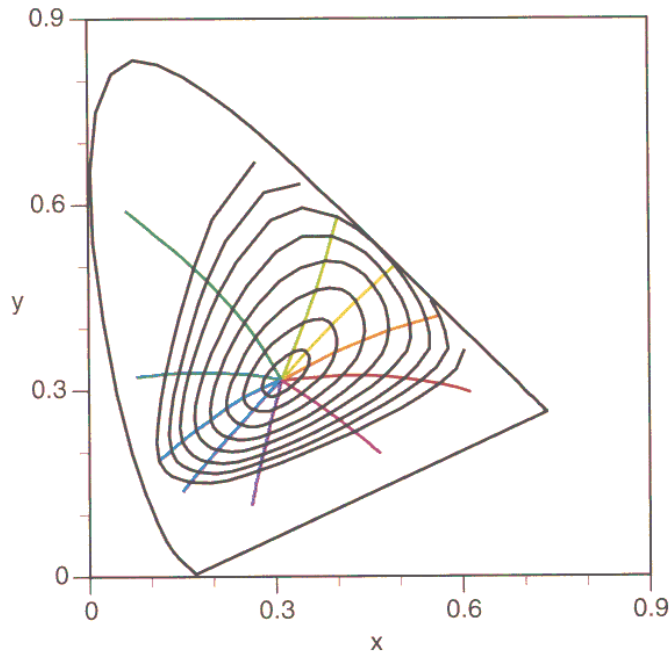


Figura 13 – A não-uniformidade do diagrama. Fonte: Software da efg's Computer Lab. www.efg2.com/lab.

Se ele fosse visualmente uniforme, as linhas de tonalidade constante seriam retas e as cores de croma constante formariam círculos concêntricos, o que não acontece. Para superar essa dificuldade, foi criado o espaço CIELAB, cuja disposição é apresentada na figura 14.

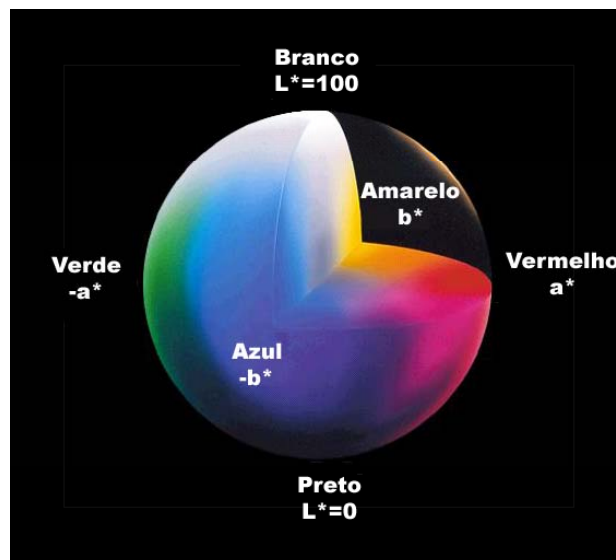


Figura 14 – O espaço CIELAB. Fonte: Folheto Minolta. www.minolta.com

Nesta figura, observamos que o espaço CIELAB é representado por uma esfera que contém três eixos. O vertical, que representa a luminosidade e varia de 100 (branco) a zero (preto). O eixo a varia de $+a$ (vermelho) a $-a$ (verde), assumindo valores para cores de objetos reais de, aproximadamente, -170 a $+110$. O eixo b varia de $+b$ (amarelo) a $-b$ (azul), assumindo valores para cores de objetos reais de cerca de -110 a $+160$.

A figura 15 apresenta uma seção da esfera, perpendicular ao eixo L . Nela, um ponto pode ser representado por meio de coordenadas cartesianas (a^* , b^*) ou por meio de

coordenadas polares (C^* , H°). Portanto, escolhido o plano que representa a luminosidade, podemos definir uma cor por meio das coordenadas cartesianas ou polares.

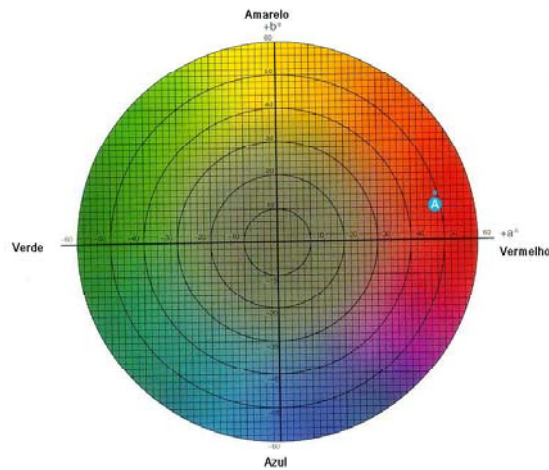


Figura 15 – Seção do espaço CIELAB, perpendicular ao eixo L. Fonte: Minolta. www.minolta.com

A definição exata das coordenadas CIELAB em função dos valores triestímulos é a seguinte:

$$L^* = 116[f(Y/Y_n) - 16/116] \quad (6)$$

$$a^* = 500[f(X/X_n) - f(Y/Y_n)] \quad (7)$$

$$b^* = 200[f(Y/Y_n) - f(Z/Z_n)] \quad (8)$$

onde:

$$f(X/X_n) = (X/X_n)^{1/3} \text{ para } X/X_n > 0,008856 \quad (9)$$

ou $7,787(X/X_n) + 16/116$ caso contrário

$$f(Y/Y_n) = (Y/Y_n)^{1/3} \text{ para } Y/Y_n > 0,008856 \quad (10)$$

ou $7,787(Y/Y_n) + 16/116$ caso contrário

$$f(Z/Z_n) = (Z/Z_n)^{1/3} \text{ para } Z/Z_n > 0,008856 \quad (11)$$

ou $7,787(Z/Z_n) + 16/116$ caso contrário

onde (X/X_n) , (Y/Y_n) e (Z/Z_n) são a relação entre os valores triestímulos da amostra e os do branco da fonte.

A diferença de cor entre dois estímulos – do padrão e da amostra – pode ser quantificada no diagrama $L^* a^* b^*$, da seguinte forma:

Sabendo-se que:

$$\Delta L^* = L^*_{amostra} - L^*_{padr\tilde{a}o} \quad (12)$$

$$\Delta a^* = a^*_{amostra} - a^*_{padr\tilde{a}o} \quad (13)$$

$$\Delta b^* = b^*_{amostra} - b^*_{padr\tilde{a}o} \quad (14)$$

A distância entre as duas posições (que representam duas cores) é definida por:

$$\Delta E_{ab}^* = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2} \quad (15)$$

A figura 16 mostra a diferença de duas cores próximas.

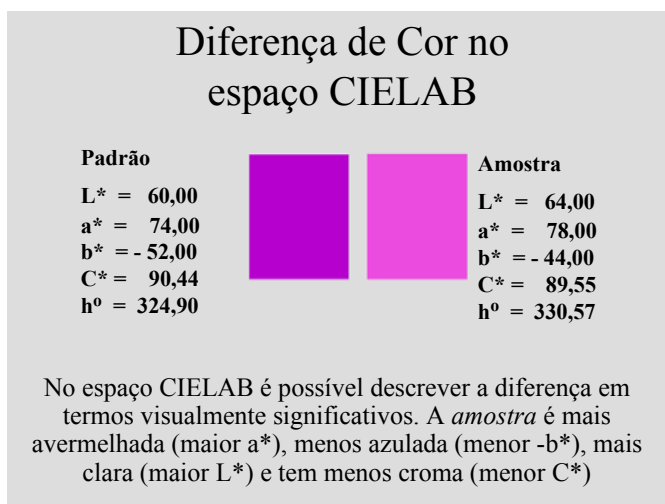


Figura 16 – Diferença de cor no espaço CIELAB. Fonte: Hirschler (2002).

A figura 17 mostra a diferença entre duas cores próximas, em termos vetoriais.

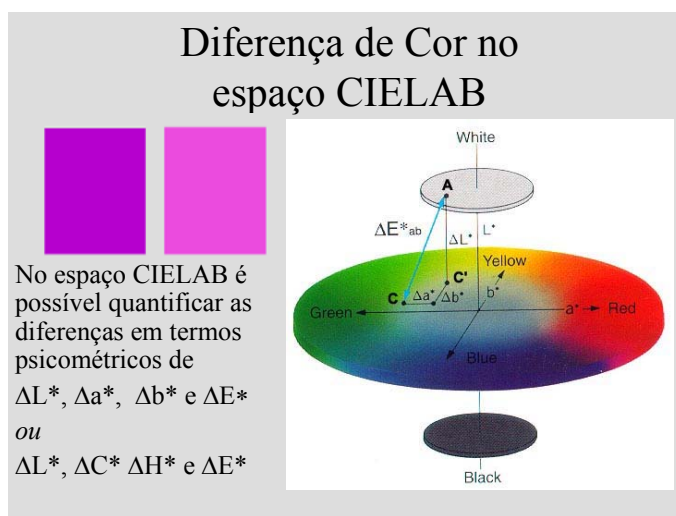


Figura 17 – Diferença de cores em termos vetoriais. Fonte: Hirschler (2002).

4. TOLERÂNCIAS INDUSTRIAIS

A tolerância industrial, que surge da comparação entre a cor padrão, ou seja, aquela que se deseja reproduzir, e a cor obtida pela tentativa de reprodução, pode ser definida por meio de um elipsóide, cujos eixos são os valores de Δa^* e Δb^* . Como a representação é feita no plano, o eixo da luminosidade é apresentado em separado, aparecendo como uma barra vertical, à direita da elipse. A figura 18 mostra um exemplo de elipse de tolerância.

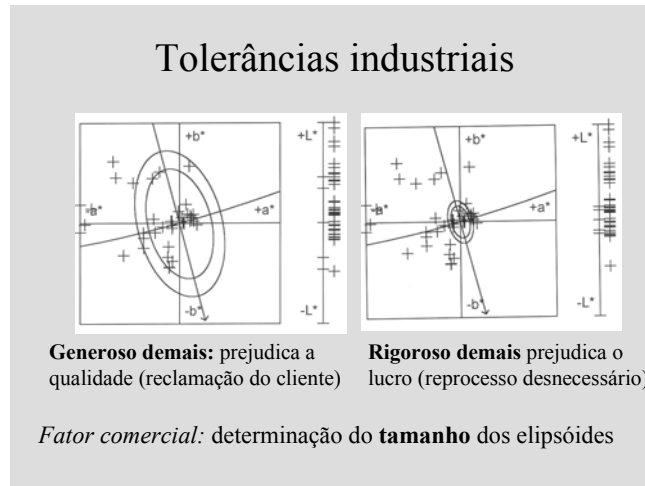


Figura 18 - Elipse de tolerância. Fonte: Hirschler (2003).

O tamanho da elipse é definido pelo fator comercial. Se ela for muito grande, o produto terá um preço baixo, mas as reclamações dos clientes serão muitas. Por outro lado, se a elipse for muito pequena, teremos um produto de alta qualidade, porém com um alto custo. O desejável é que o maior número possível de pontos se enquadre na elipse. A figura 19 ilustra o efeito do melhoramento do controle do processo, apresentando duas situações decorrentes da submissão de amostras ao espectrofotômetro.

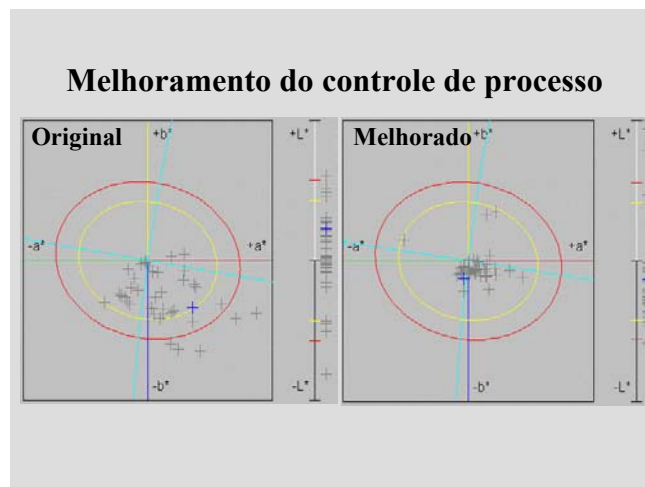


Figura 19 – Efeito da correção do processo e/ou da receita. Fonte: Hirschler (2003).

5 RESULTADOS

Este estudo utilizou dois procedimentos diferentes para chegar ao resultado mostrado na tabela 1. A diferença de cor foi obtida por meio de cálculos matemáticos, empregando-se o conceito da incerteza da medição e da propagação de erro e por meio de simulação, pelo uso do método de Monte Carlo.

5.1 CÁLCULO

Abordando primeiramente o cálculo, sabe-se que a propagação de erro sistemático através de uma seqüência de medidas é dada pela expressão (16). Se $V = f(x, y, z)$, então o erro sistemático ΔV é:

$$\Delta V = \left(\frac{\partial V}{\partial x} \Delta x + \frac{\partial V}{\partial y} \Delta y + \frac{\partial V}{\partial z} \Delta z \right) \quad (16)$$

Segundo Hirschler, Goreczky et al [6], o parâmetro que melhor representa a incerteza da medição no processo colorimétrico é a variância. Aplicando a definição de ΔV da fórmula (16) nas fórmulas (6) a (11), temos:

$$\sigma_{L^*}^2 = \sigma_X^2 \left(\frac{\partial L^*}{\partial X} \right)^2 + \sigma_Y^2 \left(\frac{\partial L^*}{\partial Y} \right)^2 + \sigma_Z^2 \left(\frac{\partial L^*}{\partial Z} \right)^2 \quad (17)$$

$$\sigma_{a^*}^2 = \sigma_X^2 \left(\frac{\partial a^*}{\partial X} \right)^2 + \sigma_Y^2 \left(\frac{\partial a^*}{\partial Y} \right)^2 + \sigma_Z^2 \left(\frac{\partial a^*}{\partial Z} \right)^2 \quad (18)$$

$$\sigma_{b^*}^2 = \sigma_X^2 \left(\frac{\partial b^*}{\partial X} \right)^2 + \sigma_Y^2 \left(\frac{\partial b^*}{\partial Y} \right)^2 + \sigma_Z^2 \left(\frac{\partial b^*}{\partial Z} \right)^2 \quad (19)$$

Após alguns cálculos, chegamos a:

$$\sigma_{L^*}^2 = \sigma_{c_i}^2 (k/S)_{\lambda,i}^2 \left(\frac{2R_{(\lambda)}^2}{1-R_{(\lambda)}^2} \right)^2 (kS_{(\lambda)} \bar{Y}_{(\lambda)})^2 \left(\frac{7,787}{Y_n} \right)^2 \quad (20)$$

$$\sigma_{a^*}^2 = \sigma_{c_i}^2 (k/S)_{\lambda,i}^2 \left(\frac{2R_{(\lambda)}^2}{1-R_{(\lambda)}^2} \right)^2 \left[(kS_{(\lambda)} \bar{x}_{(\lambda)})^2 \left(\frac{\partial a}{\partial X} \right)^2 + (kS_{(\lambda)} \bar{Y}_{(\lambda)})^2 \left(\frac{\partial a}{\partial Y} \right)^2 \right] \quad (21)$$

$$\sigma_{b^*}^2 = \sigma_{c_i}^2 (k/S)_{\lambda,i}^2 \left(\frac{2R_{(\lambda)}^2}{1-R_{(\lambda)}^2} \right)^2 \left[(kS_{(\lambda)} \bar{Y}_{(\lambda)})^2 \left(\frac{\partial b}{\partial Y} \right)^2 + (kS_{(\lambda)} \bar{z}_{(\lambda)})^2 \left(\frac{\partial b}{\partial Z} \right)^2 \right] \quad (22)$$

que são os valores que estamos procurando, ou seja, os erros em cada uma das coordenadas do espaço L^* , a^* , b^* . Nas equações(21) e (22), as derivadas parciais não estão explicitadas porque elas podem ser calculadas de duas formas diferentes, de acordo com (9), (10) e (11).

Com os valores de σ_L^2 , σ_a^2 e σ_b^2 determinados, pode-se calcular o valor do erro.

$$\Delta E_{RMS}^* = (\sigma_L^2 + \sigma_a^2 + \sigma_b^2)^{1/2} \quad (23)$$

Esse cálculo foi feito sem levar em consideração a correlação existente entre os valores consecutivos de R_λ , ao longo do espectro. Porém, para o que se deseja, esse procedimento é aceitável.

5.2 SIMULAÇÃO

A simulação desenrolou-se com base no fato de que os erros de concentração de corantes acontecem segundo uma distribuição normal. Admitindo-se uma receita formada por três corantes com iguais concentrações (nesse caso, as concentrações utilizadas foram de 1%, 2%, 3%, 4% e 5%), realizaram-se 5.000 repetições com o auxílio do programa de simulação “Insight”, para planilha Excel. Foram obtidos os resultados para ΔE_{RMS} mostrados na tabela 1.

Erro na concentração do corante(%)	Concentrações do corante (%)				
	1	2	3	4	5
0,1	0,022	0,024	0,023	0,021	0,020
0,2	0,044	0,048	0,045	0,042	0,039
0,5	0,108	0,120	0,114	0,104	0,098
1,0	0,218	0,240	0,228	0,209	0,198
2,0	0,441	0,484	0,451	0,417	0,400
3,0	0,657	0,716	0,683	0,622	0,599
4,0	0,876	0,986	0,907	0,835	0,794
5,0	1,094	1,200	1,136	1,044	0,990
10,0	2,205	2,402	2,265	2,086	2,005
15,0	3,321	3,633	3,449	3,168	3,049

Tabela 1 – Valores de ΔE em função da concentração e dos erros de concentração do corante. Fonte: Autor

Esta tabela diz qual o erro que se pode cometer na concentração dos corantes para um ΔE_{RMS} máximo. Por exemplo, se estamos trabalhando com concentração de corantes de 1% e aceitarmos um valor máximo de ΔE_{RMS} próximo de 1 (na tabela, 1,094), podemos cometer um erro de até 5% na concentração dos corantes.

O gráfico da figura 20 mostra a linearidade da relação entre os valores de erro percentual de concentração de corante e a diferença de cor ΔE , com os valores obtidos por meio da simulação.

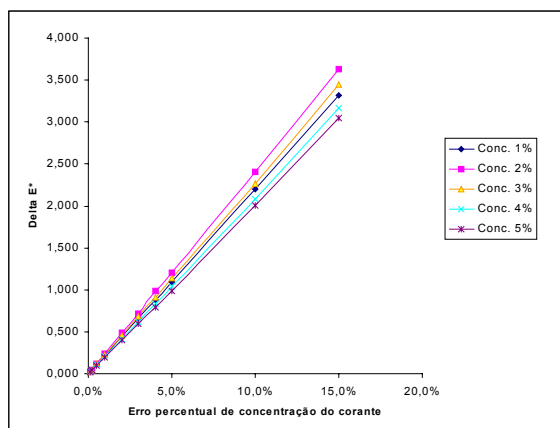


Figura 20 - Relação entre erro percentual e diferença de cor. Fonte: autor.

5.3 COMPARAÇÃO

A comparação entre os valores de erro obtidos pelos dois procedimentos utilizados mostra que ambos são compatíveis com os resultados esperados e confirmados pela experiência de prática laboratorial. A figura 21 mostra os erros obtidos por simulação (“Simulação”) e por cálculo (“Propagação”), ao longo do comprimento de onda.

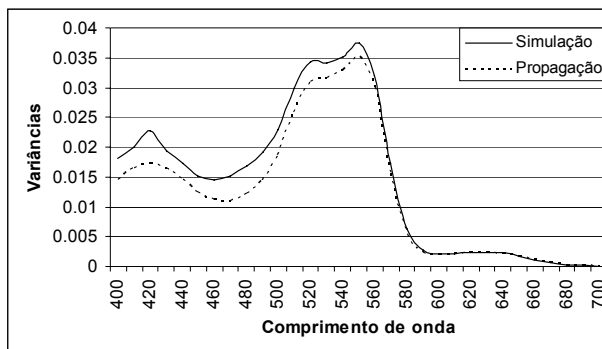


Figura 21 – Erros obtidos por cálculo e por simulação, em função do comprimento de onda. Fonte: Hirschler (2004).

6 CONCLUSÕES

A indústria têxtil trabalha com um conjunto de ações que dá margem ao aparecimento de muitos erros, sejam eles sistemáticos ou aleatórios. Além das incertezas do espectrofotômetro, existem aquelas provenientes do processo. Dentre várias, destacam-se a temperatura do banho, o peso do substrato e a concentração de corantes e produtos químicos. Atendo-se ao problema da formulação de receita, é válido questionar qual o controle necessário, dos corantes, para que o resultado fique dentro da tolerância. O efeito da correção do processo, da receita ou de ambos é levar os resultados das medições para dentro da elipse de tolerância, sem alterar-lhe o tamanho.

Portanto, podemos utilizar os números apresentados na tabela 1 para aprimorar a qualidade do processo têxtil e atingir a especificação a um custo menor, na medida em que se reduz a rejeição dos tingimentos efetuados.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. McDonald, Roderick – *Color Physics for Industry* – Second Edition – Edited by Roderick McDonald – 1997.
2. Hirschler, Robert – *Apostila de Colorimetria Aplicada na Indústria Têxtil* – FaSeC – Faculdade SENAI/CETIQT – 2002.
3. Zwinkels, Joanne C. – *Errors in Colorimetry Caused by the Measuring Instrument* – Color Measuring – February 1988.
4. Kuehni, Rolf G. – *Computer Colorant Formulation* – Lexington Books – D. C. Heath and Company – 1975.
5. Kubelka, Paul and Munk, Franz - *Uma Contribuição à Óptica das Camadas Pigmentadas* (publicado em alemão: *Ein Beitrag zur Optik der Farbanstriche*) Z. Tech. Phys., **12** 593-601, 1931.
6. Hirschler, Robert, Goreczky, László e Winkler, István – *Computer Colorant Formulation – Some Considerations for Dyestuff Selection* – 12th Congress of the International Federation of Associations of Textile Chemists and Colourists – Budapest 1981.