

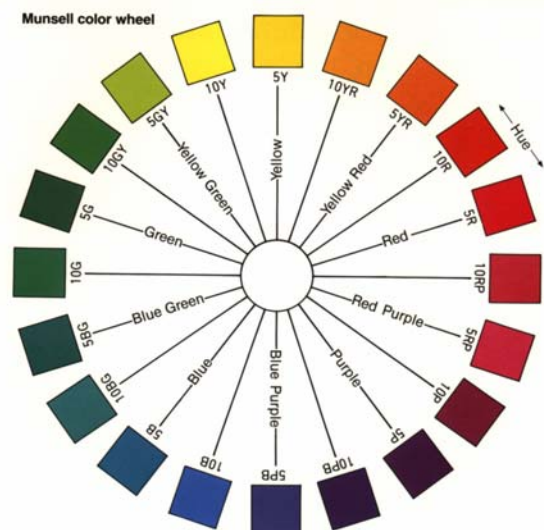
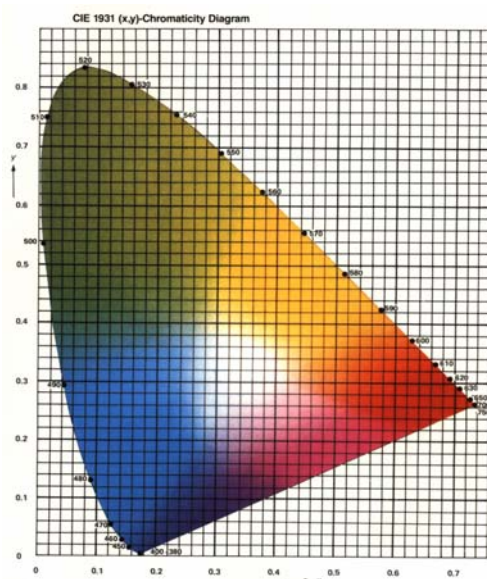
PROCESSOS QUÍMICOS TÊXTEIS

VOLUME II – Ciência da Cor

Por

Prof. Dr. Rasiah Ladchumananandasivam, M.Sc, PhD, CText FTI.

Professor Adjunto IV, Centro de Tecnologia,
UFRN, Natal-RN, Brasil.



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE

CENTRO DE TECNOLOGIA

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA TÊXTIL

NATAL, RN - BRASIL.

2004

CIÊNCIA DA COR

ficha catalográfica

Ladchumananandasivam, Rasiah, 2002

Série - Processos Químicos Têxteis.

Volume II – Ciência da Cor

PREFÁCIO

A cor fascinou o homem desde o início da civilização, como podemos ver que foi o povo da idade da pedra que pintou figuras dos animais em várias cores de vermelho, amarelo, marrom, e preto em tamanhos vivos nas paredes das cavernas. Durante a idade do bronze, o tingimento foi descoberto e os pigmentos e corantes apareceram na maioria das cores manufaturadas no mundo.

O interesse científico pelas cores é, provavelmente, tão antigo quanto a história, e os cientistas do mundo todo investigaram exaustivamente os seus mistérios. Em termos industriais a ciência teve seu auge com a invenção dos computadores digitais nos anos sessenta. A disponibilidade de computadores mais baratos deu um impulso ao sistema de controle da cor, comunicação direta entre o computador e o usuário, como também espectrometria controlada por computadores. Os desenvolvimentos destes equipamentos tiveram avanço nas áreas de formulação das cores, assessoramento nas diferenças das cores, técnicas de separação das cores e percepção das cores.

A presente apostila mostra os aspectos científicos básicos necessários para os alunos da área têxtil, com relação à avaliação do dia a dia na manufatura e controle dos produtos coloridos.

Este trabalho faz parte da série das apostilas preparadas pelo Professor Rasiah Ladchumananandasivam como apoio às aulas ministradas no Curso de Engenharia Têxtil da Universidade Federal do Rio Grande do Norte.

CONTEÚDO

	Página	
1	A natureza da luz e a sua interação com a matéria	1
1.1	Natureza da radiação eletromagnética	1
1.1.1	Teoria da onda	1
1.1.2	Teoria quântica ou corpuscular	2
1.2	Excitação molecular	3
1.2.1	Transições eletrônicas	5
1.2.2	Transições vibracionais	6
1.2.3	Transições rotacionais	7
1.3	Espectro eletromagnético e a sua utilidade na química orgânica / físico química.	7
1.4	Fonte de luz natural	8
1.4.1	Radiação do corpo negro	9
1.4.2	Lei da radiação de Planck	10
1.5	Fontes de luz artificial	11
1.5.1	Incandescência	12
1.5.2	Temperatura e cor	12
1.5.3	Temperatura da cor correlata	13
1.5.4.	Lâmpada com filamento tungstênio	13
1.5.5	Lâmpada de tungstênio - halogênio	13
1.5.6	Outras fontes semelhantes de radiação corpo negro	13
1.5.7	Tubos com descarga de gás	14
1.5.8	Lâmpadas de descarga de arco de xenônio	15
1.5.9	Lâmpadas fluorescentes	16
1.5.10	Lâmpadas das cores primárias	17
1.6	Fontes padrões de CIE	18
1.7	Propriedades das fontes de luz artificiais	20
1.7.1	Eficiência da lâmpada	21
1.8	Absorção e dispersão da luz	22
1.8.1	Reflexão da luz	23
1.8.2	Absorção da luz	25
1.8.3	Dispersão da luz	27
1.8.4	Análise Kubelka – Munk	28
1.8.4.1	As limitações da teoria Kubelka – Munk	30
1.8.5	Abordagens alternativas	30
1.8.6.1	Teoria da transferência radiativa	30
1.9	Curvas espectrofotométricas e suas relações à cor percebida	31
1.9.1	Absorção / transmissão	31
1.9.2	Refletância	33
2	Instrumentos para mensuração da luz absorção / refletância	35
2.1	Calorímetros	35
2.1.1	Primeiros calorímetros fotoelétricos	36
2.2	Os princípios da espectrofotometria	37
2.2.1	Fontes da luz	38
2.2.2	Monocromadores	38
2.2.2.1	Os tipos de grades	39
2.2.3	Exemplo de um monocromador moderno	40
2.3	Aplicação de espectrofotometria de transmissão nas indústrias de fabricação de corantes e naqueles que usam.	41
2.3.1	Padronização dos corantes	41
2.3.2	Espectrofotômetros de refletância	42

3	Calorimetria e o sistema CIE	45
3.1	Aspectos fundamentais	45
3.2	Misturas aditiva e subtrativa das cores	46
3.3	Propriedades da mistura aditivas das luzes	50
3.3.1	Observador padrão – funções de combinação da cor	51
3.3.2	Calculo dos valores triestimulus dos valores da refletância	52
4	Cor	55
4.1	A expressão da cor	56
4.2	Os nomes comuns das cores e os nomes gerais das cores.	56
4.3	Cor, valor e croma.	58
4.3.1	Hue	59
4.3.2	Valor	59
4.3.3	Croma	59
4.4	Visualização tridimensional das cores em termos de matiz, valor e croma.	60
4.5	Comunicação numérica da cor	62
4.6	Expressão numérica de diferenças minúsculas da cor	65
4.7	Expressão numérica da cor: o sistema fundamental psicofísico da cor chamado sistema da cor Yxy.	68
4.7.1	Diagrama da cromaticidade	69
4.8	Sistema de cor Munsell	70
4.8.1	O que é notação Munsell	70
4.8.2	A roda da cor do Munsell	
4.9	Conversão dos códigos numéricos da cor para a notação Munsell	73
4.9.1	Sistema L^* , a^* , b^* para notação Munsell	74
4.10	Metamerismo	76
4.10.1	O metamerismo do iluminante	76
4.10.2	O metamerismo do observador	76
4.10.3	O metamerismo geométrico	76
	Bibliografia.	78

1. A natureza da luz e a sua interação com a matéria

1.1 Natureza da radiação eletromagnética:

- Radiação é uma forma de energia;
- Quando é absorvida ela produz calor.

Numa forma concentrada ela é capaz de gerar vapor suficiente para rodar grandes turbinas ou cortar metais.

Ela ainda tem um potencial sem limite na área militar.

Os cientistas conhecem e entendem sobre as propriedades da radiação eletromagnética e principalmente o tipo em que a retina humana pode detectar (que aqui será referido como luz).

Dois teorias que tentam descrever a natureza da luz

1.1.1 Teoria da onda

Esta teoria descreve a radiação em termos de campos *elétricos e magnéticos*. Ele foi postulado principalmente em uma forma de descrever as propriedades da luz. Isto é: interferência, difração e fenômeno da polarização.

Os primeiros protagonistas desta teoria incluindo Huyghens, Fresnel, Maxwell, Hertz e Einstein acreditavam que a radiação consiste de uma série de ondas que originaram das diferentes partes de um átomo ou de uma molécula de acordo com o tipo:

Origem da radiação

Radiação	Centro de distúrbio
Raio- γ	Núcleo
Raios-X	Elétron (camadas internas)
U.V (ultravioleta) – Visível.	Elétron (camadas externas)
I.V (infravermelho)	Todo átomo ou molécula.

A luz tem velocidade finita (C). Num espaço vazio ela tem uma velocidade de $2,997925 \times 10^8 \text{ ms}^{-1}$ ou cerca de 170.000 Km/s. Este valor permanece constante, dependendo do tipo da radiação que está sendo medida ou a sua intensidade. Ela é devagar quando a luz tem que passar através de um meio, de acordo com a equação 1.1.

Velocidade da luz no meio = C/n

$$\frac{C}{n_{ar}} = \frac{C}{n_{vacuo}} \quad (1.1)$$

Onde n = índice refrativo do meio.

A distância entre dois picos de ondas, ou qualquer outra característica recorrente, é definido como o comprimento da onda (λ). Ex. – AB na figura 1.1.

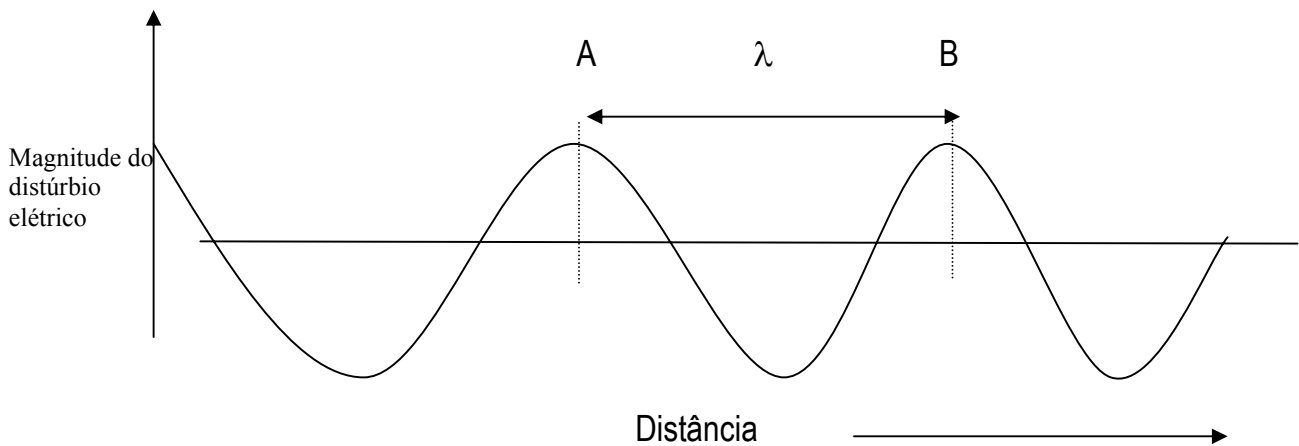


Figura 1.1 comprimento da onda

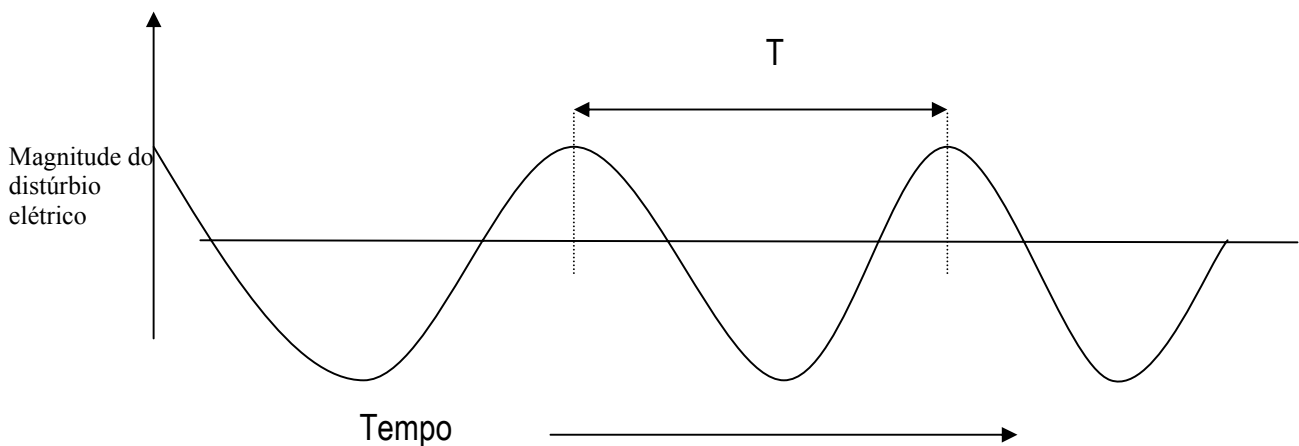


Figura 1.2 Período de radiação

Um outro parâmetro importante, a frequência (ν) é o número de ondas completas que ocorrem por segundo e é expresso em hertz (s^{-1}). O comprimento de onda e a frequência da radiação são relacionados a sua velocidade pela equação 1.2.

$$\text{Velocidade, } C = \nu \lambda \quad (1.2)$$

Outras medidas comuns de radiação incluem o período (T) (Figura 1.2) que é o tempo gasto entre o recorrente de uma característica de uma onda (equação 1.3);

$$T = 1/\nu \quad (1.3)$$

é o número da onda (ν'), que é o número de ondas por metro, isto é, o recíproco do comprimento da onda (equação 1.4)

$$\nu' = 1/\lambda \quad (1.4)$$

É costume se expressar a maioria de formas de radiação, principalmente ultravioleta (U. V) e visível, em termos de seus comprimento de onda. Na região infravermelha (I. V) a radiação também pode ser descrita pelo seu comprimento da onda (μm) ou numero de comprimento (m^{-1}). [$1\mu = 10^{-4} \text{ cm}$; $1\mu\text{m} = 10^{-7} \text{ cm}$; $1\mu = 10.000$; $A = 1000 \text{ m}\mu$].

A unidade de comprimento que é selecionada para o comprimento da onda depende largamente da região do aspecto eletromagnético que está em estudo.

A luz azul-verde podia ser dito que tem um comprimento de onda de 5×10^{-7} ou $0,0000005\text{m}$, que é complicado. Conseqüentemente os comprimentos de onda na região visível são normalmente medidos em unidades de fácil calculo, o nanômetro (nm), com $1\text{nm} = 10^{-9}\text{m}$. Então a cor mencionada acima terá o comprimento de 500nm .

Surpreendentemente, a radiação nem sempre é descrita pela sua freqüência, que tem uma maior importância do que o comprimento da onda, nas mudanças de energia que ocorrem durante a absorção e emissão (equação-1.5). Este possivelmente que não pode ser medido diretamente, isto é, ela tem que ser deduzido através da medição do comprimento da onda.

1.1.2 Teoria Quântica ou Corpuscular

Muitas propriedades da luz, principalmente aquelas relacionadas à absorção e emissão, não podem ser bem explicadas pela teoria da onda e existem muitos aspectos que reforçam o conceito em que a luz existe, em uma série de pacotes de energia, comumente conhecidas como fótons com energia (E), equação 1.5:

$$E = h \nu \quad (1.5)$$

Onde, $h =$ constante de Planck = $6,626176 \times 10^{-34} \text{ Js}$.

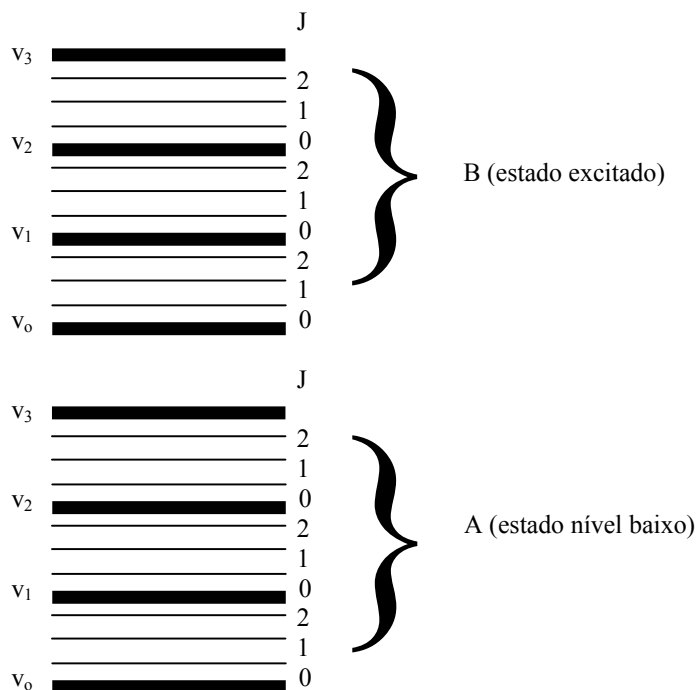
Então a luz de baixa freqüência tem energia menor (equação 1.5) e maior comprimento de onda (equação 1.2) isto é, que os comprimentos de ondas grandes tem baixa energia.

Energia é medida em Joules (J) no sistema SI, todavia, o elétron volt (eV), isto é, a quantidade de energia adquirida por uma partícula que carrega uma carga eletrônica unitária, quando ela cair através de uma diferença potencial de 1V, pode ser proveitoso ($1\text{eV} = 1,602 \times 10^{-19} \text{ J}$), que é equivalente a $96,47 \text{ kJ/mol}$.

1.2 Excitação Molecular

Quando um átomo ou molécula absorve a radiação ele é “excitado” por uma quantidade que depende da energia da radiação e ela se desloca para um nível de

maior energia. Esta energia é emitida quando ela retorna ao seu estado original. Somente certos tipos destas transições podem ocorrer, isto é, aqueles que estão entre níveis de energia estável. Na Figura 1.3, A e B são níveis de energia.



B = níveis elétrons quânticos

v_0, v_1, v_2 e v_3 = são níveis vibracionais quânticos (onde v é o número vibracional quântico).

J_0, J_1 e J_2 = níveis rotacionais quânticos (onde J é número rotacional quântico).

Figura 1.3 (a) e (b) Níveis de energia eletrônico vibracional e rotacional.

Até para o átomo de hidrogênio, existem vários níveis de energia possíveis, com o próton no centro. Os valores de níveis de energia correspondem com os números quânticos principais (n), 1, 2, 3, 4 e 5 são E_1, E_2, E_3, E_4 e E_5 respectivamente. Se a molécula de hidrogênio está no meio de uma descarga elétrica, algumas moléculas vão separar em átomos, e alguns destes átomos podem atingir um estado eletrônico excitado, isto é, assume valores maior que 1.

Alguns destes átomos perdem toda energia excedente, retornando ao nível mais baixo ($n = 1$) e emite radiações com frequências $\nu_1, \nu_2, \nu_3, \nu_4$, por exemplo.

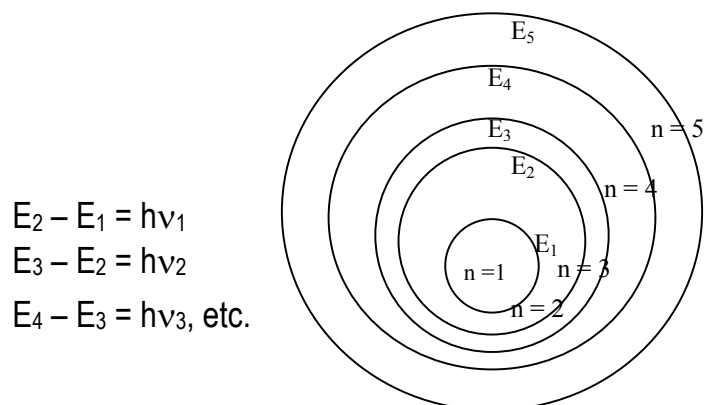


Figura 1.3 (c) Níveis de energia no átomo de hidrogênio.

Essas diferentes freqüências são separadas através da passagem por um prisma ou Linhas de grade “diffraction grating”. A separação da radiação nos seus comprimentos de freqüências forma o espectro do elemento.

Uma transmissão eletrônica ocorre quando um elétron absorve energia e se move para um estado de maior energia (excitado). O nível normal A é conhecido como estado baixo de energia; o próximo nível B é o primeiro nível excitado e dependendo da complexidade do átomo mais níveis eletrônicos excitados podem existir acima deste nível.

Transições vibracionais entre níveis de energia $v_0 - v_3$ ocorre quando a energia absorvida causa as ligações entre os átomos para curvar ou estender, enquanto a radiação absorvida pode também causa a molécula rodar sobre diferentes eixos, com $J_0 - J_2$ representando os diferentes níveis de energia rotacional. Então, se uma transição ocorre de B_0 para A_0 , a freqüência da radiação emitida e dada pela equação 1.6:

$$E_{B_0} - E_{A_0} = \Delta E = hv \quad (1.6)$$

Todas estas transições são quantificadas, isto é, somente pacotes de energia de certas freqüências podem ser efetivos em causar estas mudanças. Todas estas transmissões são acompanhadas pela absorção ou emissão de energia que dar a linha característica do espectro, mas por causa de várias ocorrências dentro de pequena diferença de energia, muitas linhas ficam bem perto de uma da outra são produzidas que para uma banda no espectro.

1.2.1 Transições Eletrônicas.

Transições eletrônicas são produzidas quando o elétron σ (sigma), π (pi), ou n não ligante (“non-bonding”) é elevado do nível baixo para um nível alto de energia é conhecido como o orbital antiligante (“antibonding”) denominado por σ^* ou n^* . Estes princípios podem ser ilustrados pelo estudo do grupo carbonil mostrado na Figura 1.4.

Os tipos de transições eletrônicas que ocorrem comumente na região do espectro U.V / Visível / I.V em ordem decrescente de energia necessária são as seguintes:

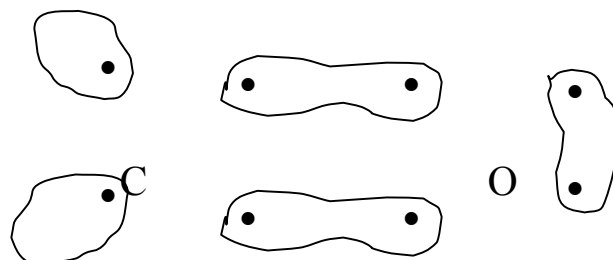
(a)	$\sigma - \sigma^*$	Necessita de radiação de alta energia de U. V distante.
(b)	$n - \sigma^*$	Necessita de radiação de baixa energia (250 - 300 nm) e claro, a molécula deve conter elétrons.
(c)	$\pi - \pi^*$ } }	Geralmente estas transições necessitam ainda baixa energia na ordem de 200-800 nm.
(d)	$n - \pi^*$	

Em geral, 100–12.000 KJ/mol (1–120eV) de energia é necessária para efetuar a transição eletrônica dos tipos acima mencionados. A entrada de (a introdução de) energia destas proporções é suficiente para distúrbio das maiores ligações covalentes (que tem a força em torno de 200–600kJ/mol) e a relação fotoquímica pode resultar, por exemplo, no descobrimento dos corantes.

1.2.2 Transições Vibracionais.

Existem dois tipos de transições vibracionais, isto é, estiramento, onde a distancia entre dois átomos aumenta e diminui periodicamente, e encolhimento, onde a posição dos átomos muda com relação ao eixo original da ligação. Quando a molécula perde energia e volta para o estado original, evolui radiação em forma de calor.

Dois orbitais do carbono capaz de formar ligações σ e $\sigma - \sigma^*$ e $n - \sigma^*$ transições.



Elétrons não-ligante do oxigênio pode surgir $n - \sigma^*$ e $n - \pi^*$ transições.

Ligação π entre o carbono e oxigênio pode dar $\pi - \pi^*$ e $n - \pi^*$ transições.

Fig 1.4 – Ligações no grupo carbonil.

1.2.3 Transições Rotacionais.

Transição por causa da rotação do átomo ou molécula sobre eixos diferentes oferece um tipo de espectro molecular mais simples. Efetivamente estas transições só podem ser estudadas no I.V. distante e regiões de microondas. Elas podem ser efetuadas sobre uma pequena quantidade de energia ($\sim 0,005$ eV) e então as linhas ficam muito próximas.

1.3 Espectro Eletromagnético e a sua utilidade na química orgânica / físico química.

Existem vários tipos de radiação com comprimentos de ondas variando de 10^{-14} m para ondas cósmicas até ondas de rádio que são alguns metros de comprimento (Figura 1.5). A tabela 1.2 oferece um sumário dos mais comuns nas quais os vários comprimentos de espectro eletromagnético são aplicados.

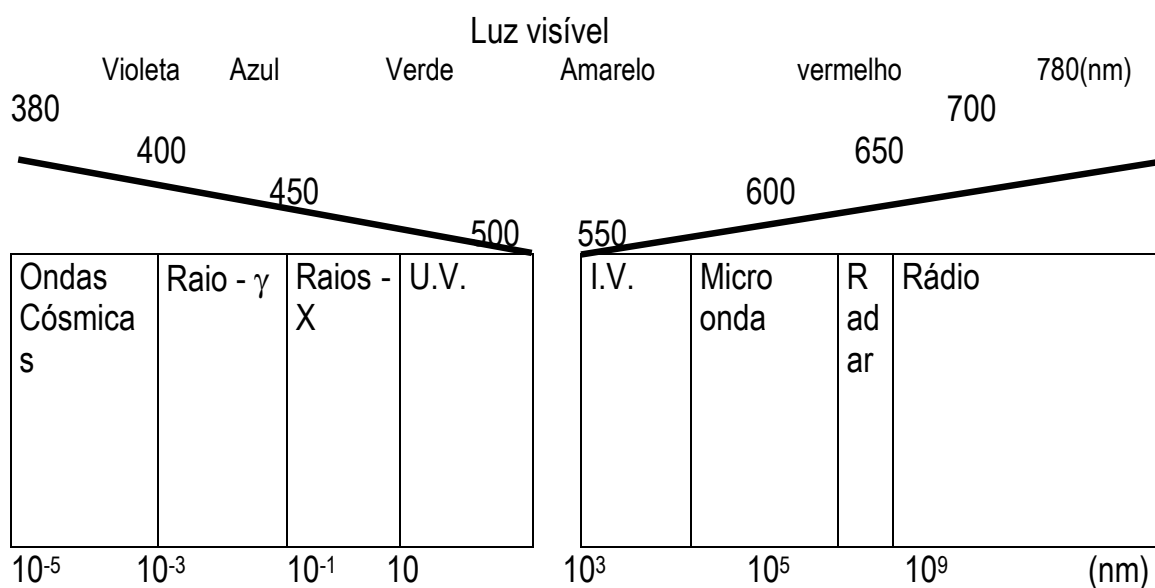


Figura 1.5 Espectro Eletromagnético.

Tabela 1.2 Uso das diferentes partes do espectro eletromagnético

Radiação	Técnica	Informação em
Raio-X	Difração Fluorescência	Posição dos átomos em lâminas Análise dos elementos
U.V visível	Espectrofotometria Espectrofotometria	Grau de conjugação / cor. Distribuição espectral de energia das fontes.
I.V	Espectro-radiometria	Estrutura molecular
Microondas	Ressonância de rotação do elétron	Radicais livres
Radio	Ressonância Magnética Nuclear - NMR	Estrutura molecular

1.4- Fontes de Luz Natural.

A luz solar nos atinge após uma quantidade significativa sendo removida pelo espalhamento e processos de absorção na atmosfera da terra devido ao seu contato com ozônio, vapor de água, ar e lixos industriais, etc. A natureza da luz solar varia de acordo com:

- A latitude do local da medição e a estação do ano
- Local e condições climáticas

(c) Tempo do dia.

Todos afetam o grau em que os raios solares são espalhados e absorvidos.

Como visto na terra, até as radiações emitidas das diferentes partes do sol são diferentes, sendo mais considerável no centro do que nas periferias. Também variando de acordo com o tempo, ao nível de saída da superfície, variando em torno de um ciclo de 11 anos. Por causa das variações que ocorrem dentro da fonte e das condições atmosféricas, as curvas da distribuição da energia espectral (SED), isto é, a proporção da energia total emitida em cada comprimento de onda visível e perto do espectro U.V, das diferentes formas da luz solar varia gradativamente, como ilustrado na Figura 1.6. Esta mostra que o céu claro no apogeu é mais azul, porque é mais espalhado, horas este azul diminui significativamente quando o céu se torna mais nublado.

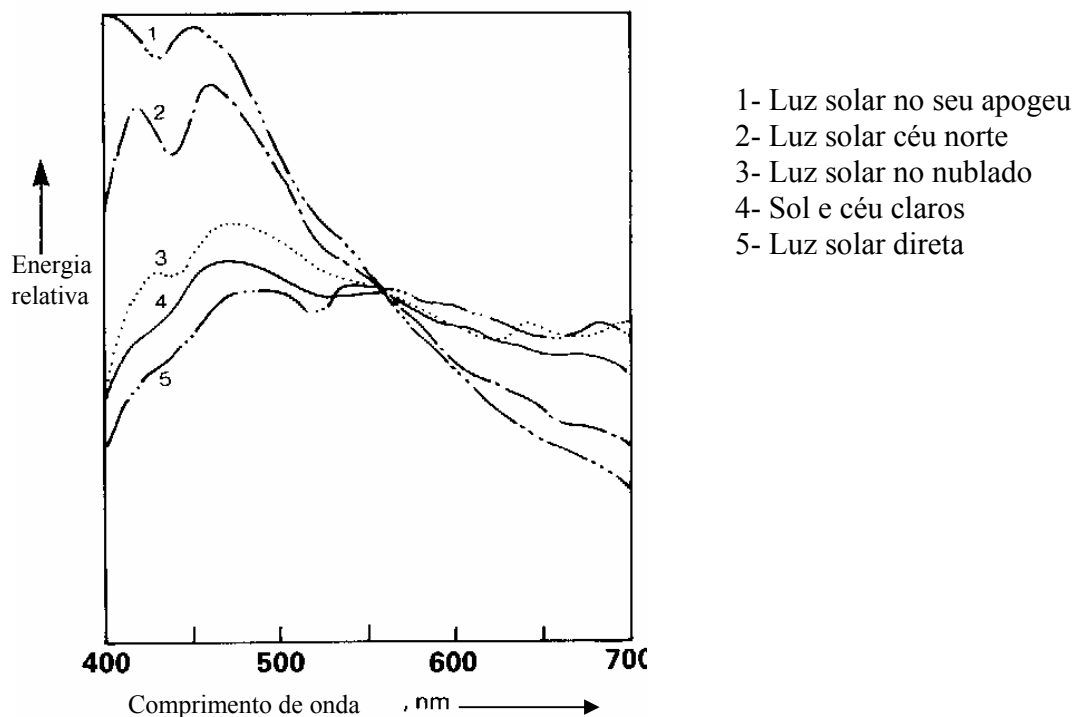


Figura 1.6 – SED das diferentes formas da luz solar.

1.4.1 Radiação do Corpo Negro (“Black Body”)

A temperatura do radiador Corpo Negro pode ser usado como um meio de quantificar a distribuição de energia de um iluminante. O Corpo Negro pode ser considerado como um corpo vazio, coberto por uma jaqueta através da qual, um líquido pode ser passado para elevar a temperatura do corpo, com isso, qualquer

temperatura pode ser atingida dentro do corpo, a radiação térmica desenvolvida está sujeita ao processo repetido de absorção e reflexão não seletiva. Se um orifício, com um pequeno furo no corpo, qualquer radiação que entra é rapidamente absorvida (por isso o nome de Corpo Negro). Então a quantidade da radiação que emergir do orifício, depende somente da temperatura do corpo e não de sua composição.

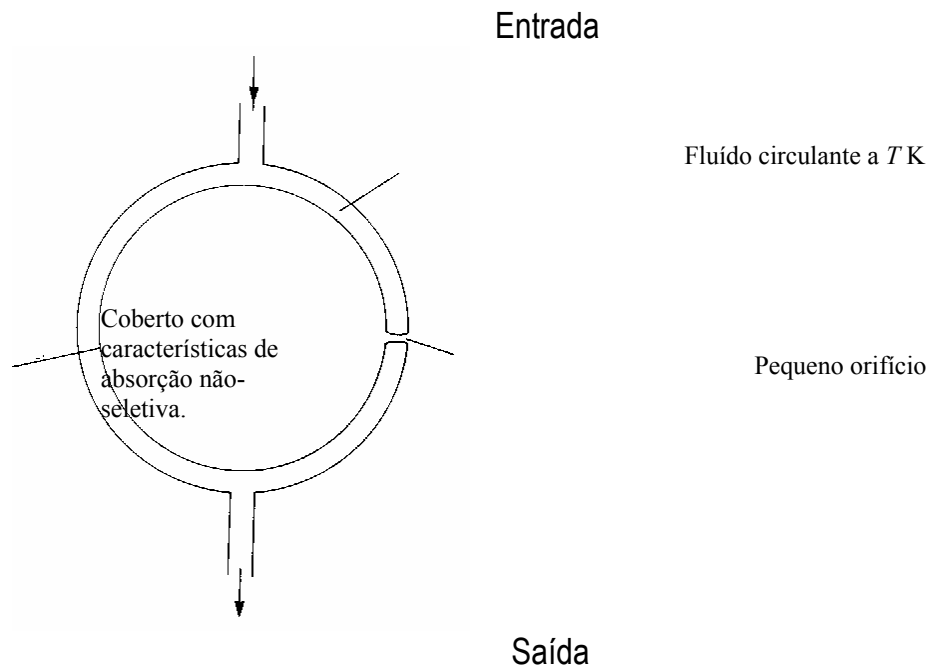


Figura 1.7 Radiador Corpo Negro simples (um fluido numa dada temperatura é usado para aquecer o corpo a temperatura do fluido controla a quantidade de radiação que é sugada pelo orifício).

1.4.2 Lei da Radiação de Plank.

O radiador Corpo Negro, freqüentemente é referido como total ou radiador Plankiano e é difícil de obter na prática, devido a maioria dos materiais tenderem a absorver a luz, seletivamente em alguns pontos na região U.V visível ou I.V. Todavia, a distribuição da energia teórica nessa região pode ser calculada em uma dada temperatura com o uso da lei da radiação de Plank, Equação 1.7.

$$M_{\lambda} = \frac{C_1}{\lambda^5 \cdot [\exp(C_2 / \lambda T) - 1]} \quad (1.7)$$

Onde M_{λ} = emissão espectral de um Corpo Negro, Wm^{-3}
 T = Temperatura absoluta, K
 λ = comprimento da radiação, m

$$C_1 = 2 \cdot \pi \cdot c^2 h = 3,7415 \times 10^{-16} \text{ Wm}^2$$

$$C_2 = 1,4388 \times 10^{-2} \text{ mK}$$

Esse facilita o cálculo do comprimento de onda Vs emissão espectral para um verdadeiro Corpo Negro numa dada temperatura (Figura 1.8).

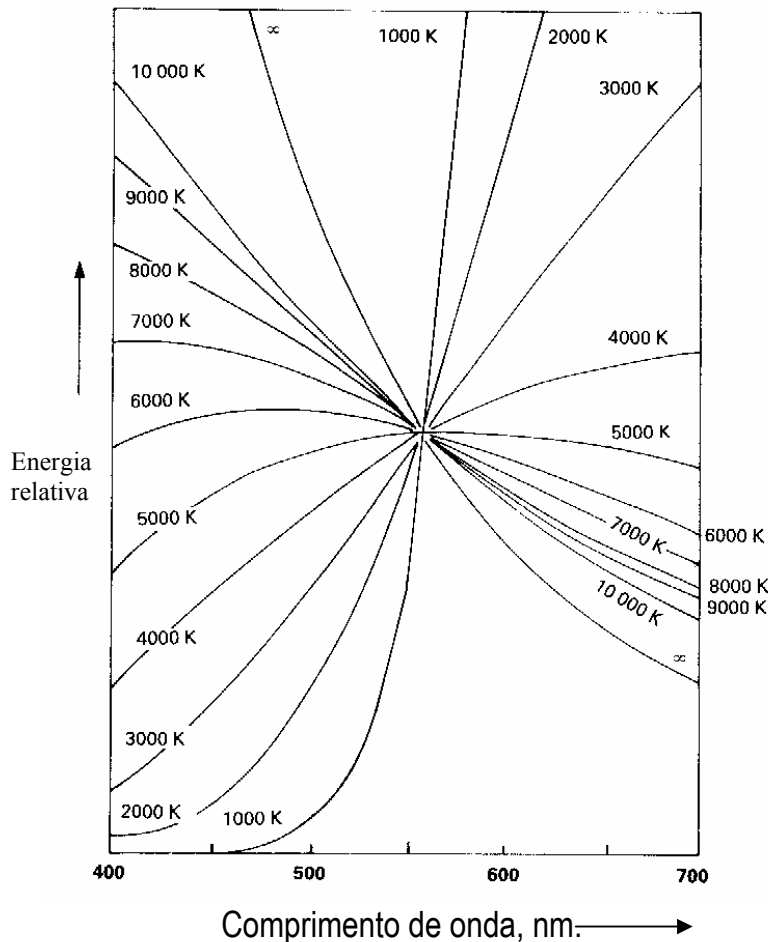


Figura 1.8 Curva de energia relativa contra O comprimento de onda de Corpo Negro nas diferentes temperaturas (todas as curvas foram normalizadas em 560 nm para facilitar a comparação).

1.5 – Fontes de Luz Artificial

A luz artificial é produzida de duas formas. O primeiro método é pelo aquecimento de um material, até o ponto em que os seus átomos ou moléculas se excitam e colidam, subseqüentemente de excitarem e emitem radiação visível. Este fenômeno é conhecido como incandescência, produz um espectro contínuo com a presença de radiação de todos os comprimentos de onda de uma certa faixa.

Aleatoriamente, a luz pode ressaltar numa descarga elétrica; aqui o espectro da linha é obtido (radiação de comprimentos de onda singelos separados pelas regiões em que não é emitida energia radiante).

1.5.1 Incandescência

Se um objeto metálico, um bastão é aquecido, após um certo tempo ele se tornará muito quente para ser tocado, isto é, porque da radiação I.V está sendo emitida, se continuarmos aquecendo o bastão, todavia, o objetivo começa a brilhar, primeiro uma luz vermelha fosca e em seguida uma luz vermelha brilhante, depois amarela e branca, e até azul em temperaturas alta. Então o comprimento de onda média da luz que é emitida diminui de acordo com o aumento da temperatura do metal. A distribuição da energia da radiação, e sua cor da luz emitida do objeto, é controlada pela sua temperatura.

1.5.2 Temperatura e Cor

Algumas fontes incandescentes, ex. lâmpada de filamento tungstênio, tem distribuição da energia espectral (SED) mais perto de um radiador Corpo Negro. Esta semelhança oferece um meio de descrever a cor da radiação da lâmpada por meio de um valor, isto é, a temperatura do Corpo Negro da qual o SED se assemelha ao valor da produção descrita. Infelizmente, o SED de todos as fontes em alguma maneira diferem dos seus radiadores Corpo Negro, formando qualquer descrição com valores aproximados.

O problema é resolvido pela definição da cor no meio em teste em termos do radiador Corpo Negro que tem a mesma “cromaticidade”, um conceito descrito como uma combinação da nuance (matiz) e a saturação da cor da lâmpada. Todavia, se a lâmpada (o meio da luz) tem uma cromaticidade que difere significativamente daquela do Corpo Negro, radiador mais perto, ele não pode ser descrito em termos da cor, não deve ser usado para descrever a cor de todas as lâmpadas com um espectro contínuo, e definitivamente aquelas com espectro contínuo, e dificilmente aquelas com espectro de linha, tendo a produção (rendimento) que é convenientemente diferente daquelas dos radiadores totais.

Deve-se notar que, nos pontos em que a fonte e o radiador Corpo Negro tenham a mesma cromaticidade, a temperatura real do filamento é sempre menor que a temperatura da cor associada. A temperatura deve ser expressa usando unidades do SI, o Kelvin (K).

1.5.3 Temperatura da Cor Correlata

A luz dos tubos fluorescentes, e das combinações das lâmpadas incandescentes e filtros não tem cromaticidade que se aproxima de qualquer radiador Corpo Negro. Conseqüentemente, a cor destas lâmpadas não pode ser descrita em termos de temperatura de cor convencional. Em lugar disso, cada um é definido pela temperatura da cor correlata, a qual é a temperatura do Corpo Negro onde a cor desta temperatura mais perto da lâmpada. Ele não fornece qualquer informação da distribuição de energia da lâmpada.

As lâmpadas fluorescentes emitem muito pouco calor e as reais temperaturas de operação são consideravelmente mais baixas do que os radiadores totais com a mesma cor.

1.5.4 – Lâmpada com Filamento de Tungstênio.

Algumas fontes (de luz) mostram pequenos desvios da distribuição Plankiana e as lâmpadas são ótimos exemplos. A radiação é derivada principalmente do aquecimento do fio de tungstênio pela passagem da corrente elétrica. Esse processo é normalmente feito em dentro de um bulbo que contém um gás inerte ou pressão do ar reduzida para manter a oxidação do filamento no mínimo. A radiação que foi emitida (e então a temperatura da cor) cor relacionada a temperatura é controlada na maioria das vezes pela voltagem aplicada. Na prática a voltagem deve ser alterada quando possível para produzir uma proporção maior de radiação visível, mas suficientemente branco para oferecer uma vida mais longa da lâmpada. Na realidade, lâmpadas de tungstênio são produzidas com grande variedade de temperaturas de cores, variando das lâmpadas comuns com 2.800K até lâmpadas fotográficas com 3.400K.

1.5.5 Lâmpadas de Tungstênio – Halogênio.

Foi mostrado que quando é adicionado um pouco de iodo ou bromo dentro de uma lâmpada há re-deposição do tungstênio vaporizado no filamento reduzindo consideravelmente a deposição do tungstênio nas paredes da lâmpada. Isto permite fazer mudanças na geometria da lâmpada que resulta no aumento da eficiência e a vida útil. Por causa de alto filamento e temperatura das cores, tais lâmpadas podem oferecer alta promoção na região de U.V.

1.5.6 Outras fontes semelhantes de radiação Corpo Negro

A distribuição de energia do sol na atmosfera da terra também pode-se aproximar ao do Corpo Negro à 6575K mas na superfície da terra ela pode variar dependendo do tempo e das condições das nuvens.

Chamas de velas e fósforos têm SED bem próxima a de um radiador Corpo Negro à 1800K.

1.5.7 Tubos com Descarga de Gás.

Corpos incandescentes emitem luz na forma de energia contínua por causa do aquecimento. A luz também pode ser obtida se os átomos de um vapor são bombardeados com elétrons numa corrente elétrica. Quando os átomos resultantes excitados retornam aos seus estados originais, eles emitem radiações com bandas estreitas, característica da consistência do vapor, na forma de espectro de linha. Este pode ser mostrado pelas lâmpadas de descarga de mercúrio de alta pressão que é um produto inicialmente comercializado. As suas cores azul e verde são por causa dos picos 405, 436, 546 e 577 nm. A intensidade e o tamanho (largura) dos picos são controlados, na maioria pela corrente aplicada e a pressão de vapor dentro do tubo. Nas lâmpadas de pressão baixa, as linhas são extremamente estreitas, mas, um aumento na pressão alonga as linhas.

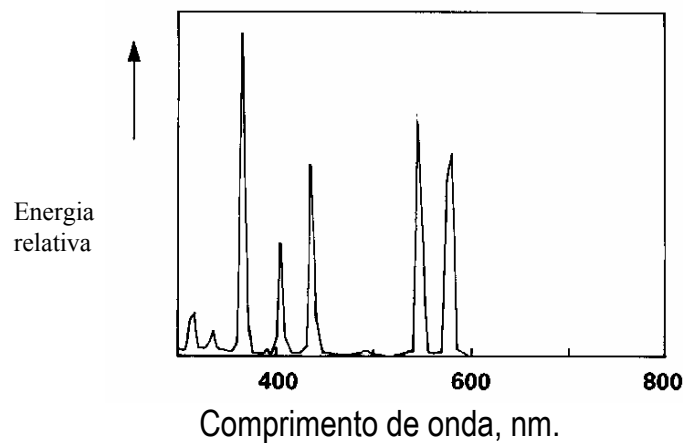


Figura 1.9 SED de uma lâmpada de mercúrio de alta-pressão.

No início de 1960 as lâmpadas de sódio de alta pressão foram desenvolvidas. Ainda, quando foi aumentada a pressão da operação dentro do tubo, alargou as linhas de sódio substituídas por uma banda larga (Fig.1.10).

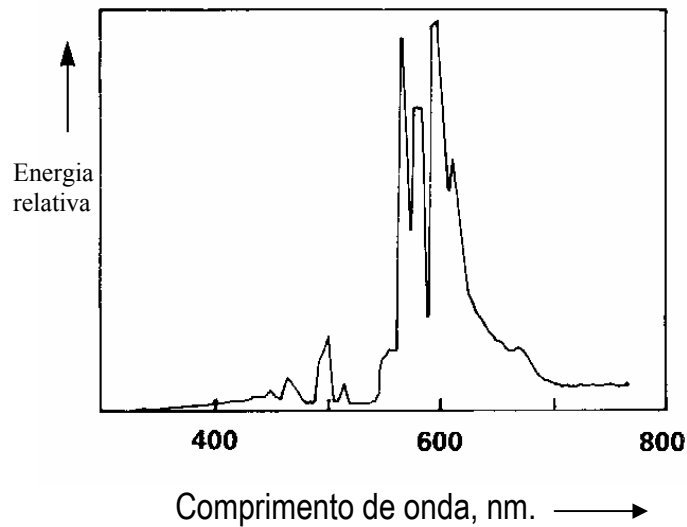


Fig. 1.10 – SED da lâmpada de sódio de alta-pressão.

Ambas as lâmpadas de mercúrio e sódio são largamente usadas na iluminação de ambientes externos, mas até recentemente não tinha outras aplicações. Isto por causa da cor dos objetos vistos nesta lâmpada (luz), na maioria dos casos, é completamente diferente quando for visto à luz do dia, por causa da falta de algumas cores na produção da lâmpada. Então, a carne, por exemplo, não parece vermelha se não tiver vermelho na fonte da iluminação.

Desenvolvimentos recentes nas lâmpadas de sódio facilitaram sua operação com vapor de sódio numa alta temperatura e pressão, para produzir luz branca com melhor rendimento da cor cara iluminação de interiores.

1.5.8 – Lâmpada de descarga de arco de Xenônio.

Principalmente pela sua distribuição espectral, que quando filtrado apropriadamente, assemelha-se a luz do dia e com boas propriedades de distribuição da cor, lâmpadas com descarga de arco de xenônio de alta pressão, tornou-se importante nos últimos anos. Ele tem produção contínua em todas as partes visíveis e partes significantes do espectro U.V e I.V e é usado extensivamente em cinematografia, aplicações laboratoriais e científicas.

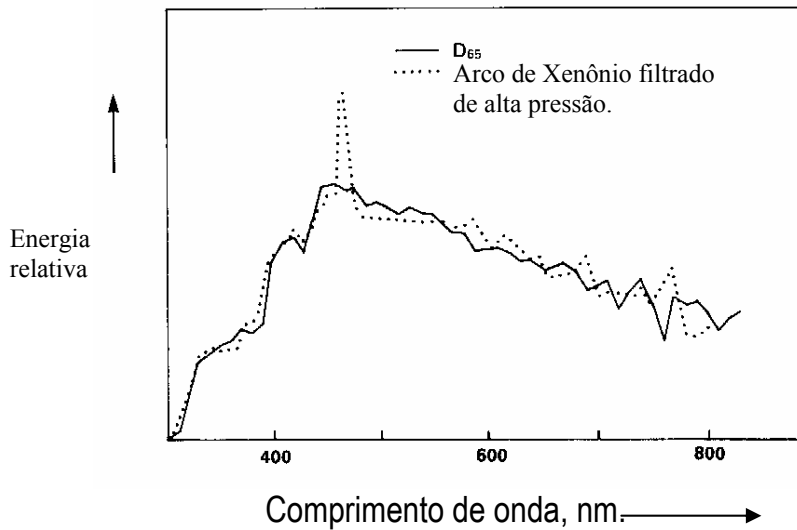


Figura 1.11 SED para arco de xenônio filtrada e alta pressão, comparada com a “luz do dia média”, iluminante CIE D_{65} .

1.5.9 Lâmpadas Fluorescentes

Lâmpadas de descargas emitem radiação sobre regiões pequenas do espectro de U.V visível e I.V. Além disso, pelo aumento da pressão do corpo dentro da lâmpada, é possível aumentar a quantidade da radiação visível que é emitida por unidade de potência elétrica. Isto é, a eficiência da luminosidade, pela cobertura da parede dentro da lâmpada com um material fluorescente. Esta camada absorve a radiação U.V e re-emite na região visível como um espectro contínuo.

O espectro assim produzido é dependente do tipo de composto fluorescente da cobertura. Alguns exemplos destes ingredientes ativos conhecidos como fósforos incluem tungstos metálicos, silicatos, boratos, arsenatos e com importância especial, o halofosfato que emite a região do espectro verde-amarelo onde o olho do observador é mais sensível.

Os tubos fluorescentes que utilizaram as linhas de U.V. na descarga da radiação do mercúrio na baixa pressão (à 254, 313 e 365nm) eram disponíveis comercialmente em 1930. Desde então foram desenvolvidos vários trabalhos nas lâmpadas por usos específicos com alta eficiência de luminosidade e/ou melhoria das propriedades nos rendimentos das cores. A lâmpada de halofosfato com branco gelo (“cool white”) alta eficiência na produção mas sofre deficiência do vermelho. A lâmpada branca de lux morno é fabricada para superar essa deficiência. A lâmpada de luz do dia artificial foi desenvolvida na tentativa de obter luz com qualidade semelhante daquela da iluminação do D_{65} em termos da temperatura e conteúdo da U.V da cor, de um tubo simples fluorescente (1963).

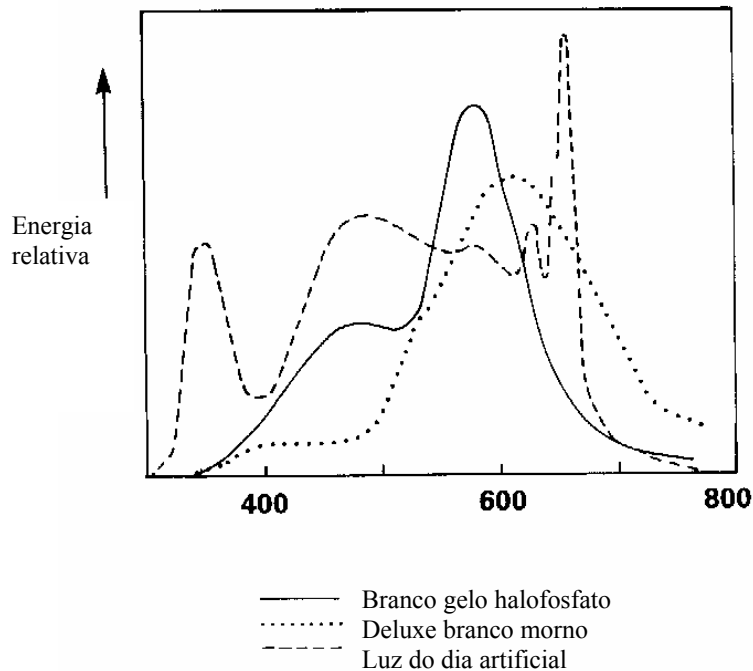


Figura 1.12 SED dos alguns dos tubos fluorescentes.

1.5.10 Lâmpadas das cores Primárias

Recentemente foi mostrado que é possível obter melhor equilíbrio da cor e eficiência da luminosidade pelo uso das misturas das linhas de vermelho, verde e azul para ajudar a luz do dia. Foi calculado que as λ para essas linhas ideais seria: 450 nm para azul 540 nm para verde e 610 nm para vermelho. Estas cores são referidas como cores primárias.

Quando os fósforos apropriados foram desenvolvidos e para colocar esta teoria em funcionamento, as lâmpadas resultantes que foram comercializadas como ultralume (Westing house) nos EUA e TL84 (Philips) na Grã Bretanha e mostraram que estas lâmpadas tiveram melhor equilíbrio entre o mantimento da cor e a eficiência da luminosidade do que as lâmpadas fluorescentes convencionais. A posição da lâmpada TL84 ilustra as melhorias que foram atingidas.

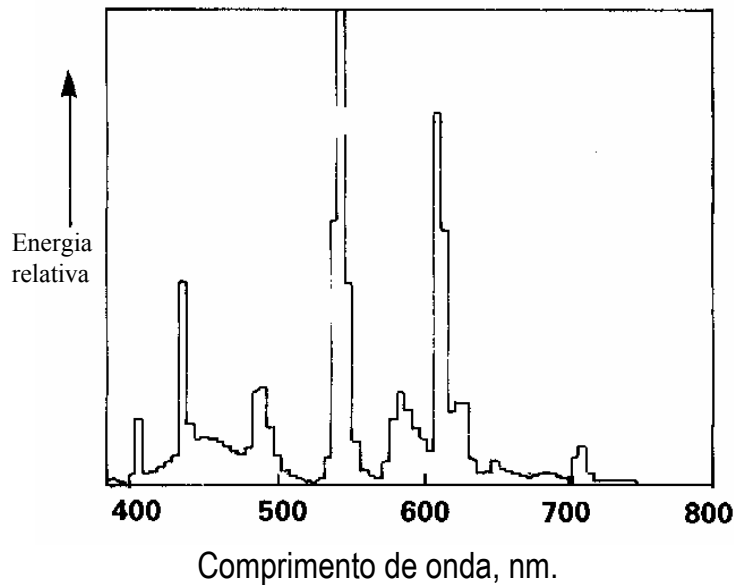


Figura 1.13 SED da lâmpada TL84.

Estas lâmpadas foram introduzidas como iluminantes para economizar energia, mas causaram um grave problema, onde o SED destas lâmpadas difere totalmente da luz do dia. Então, dois artigos que aparecem similar a estas lâmpadas podem dar uma diferença na lâmpada de tungstênio ou na luz do dia e conseqüentemente deve tomar cuidados especiais na seleção dos corantes.

1.6 - Fontes Padrões do CIE.

Como explicada antes, a luz do dia varia de acordo com as estações do ano e dia, condições climáticas, localidade geográfica, etc. Até a radiação de fontes artificiais como filamento de tungstênio aquecido depende de fatores como tempo de duração da lâmpada, dimensões e voltagem aplicada. Todavia é desejável conduzir comparações reprodutíveis com exatidão da cor, visualmente ou invisivelmente, a fonte de sua distribuição de energia devem ser definidas. Esta tarefa foi organizada pela Comissão Internacional de l'Éclairage (CIE) que em 1931 propôs o uso de uma série de iluminantes padronizados, com características espectrais de duas fontes principais do dia que são lâmpadas de luz do dia e de tungstênio.

É importante diferenciar a fonte e o iluminante. A fonte é o material físico que emite luz, ex: uma lâmpada ou uma vela, enquanto essencialmente o iluminante é uma tabela de energias relativas em cada comprimento de onda no espectro visível e perto da U.V, por ex: as condições medias de iluminação. Conseqüentemente ele tem uma saída teórica que nem sempre é percebida por a própria fonte.

O iluminante A do CIE foi desenvolvido como um meio de definir a luz típica daquela de uma lâmpada de tungstênio, cheia de gás. A produção saída dela é similar ao do radiador Corpo Negro a 2856 K. O iluminante B foi desenvolvido para simular a luz do dia da tarde e o iluminante C foi projetado para representar a luz do dia média. Existem divergências significantes entre os SED's dos iluminantes B e C e daqueles que possuem valores mais perto dos radiadores totais. Estas diferenças são significativamente grandes para assegurar que suas cromaticidades também são diferentes e conseqüentemente as cores dos iluminantes B e C.

São descritas por temperaturas das cores a correlatas de 4874 K e 6774 K respectivamente. Estas fontes são obtidas pela correlação de filtros líquidos azuis, com constituições deferentes na frente de uma lâmpada de filamento de tungstênio.

Todos estes iluminantes podem ser realizados pelas fontes físicas (tungstênio aquecido com e sem filtros azuis).

O iluminante D do CIE, D_{65} com a temperatura da cor correlato aproximado à 6500 K foi a principal adição no serie dos iluminantes padronizados. Este contém o SED que tem uma boa aproximação com a luz do dia.

- (a) Bem cedo até a tarde
- (b) De céu claro azul até condições nubladas.
- (c) Nas diferentes latitudes.

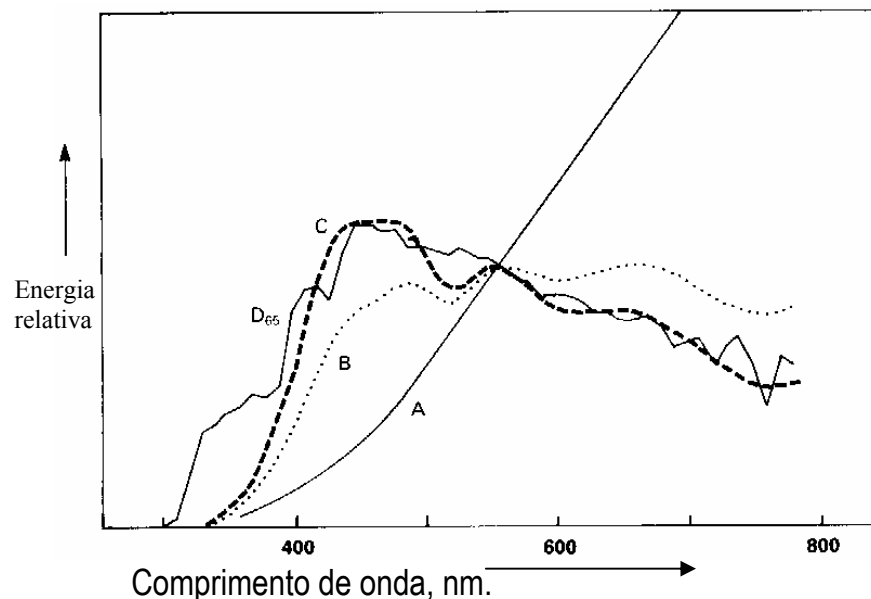


Figura 1.14 SED dos iluminantes A, B, C, e D_{65} do CIE.

CIE recomenda também o uso dos iluminantes com cores de 6000 e 25000 K mas força que dois iluminantes D_{55} ou D_{75} devem ser usados quando

for possível. Estes iluminantes representam temperaturas de cores correlatas de 5500 K e 7500K respectivamente.

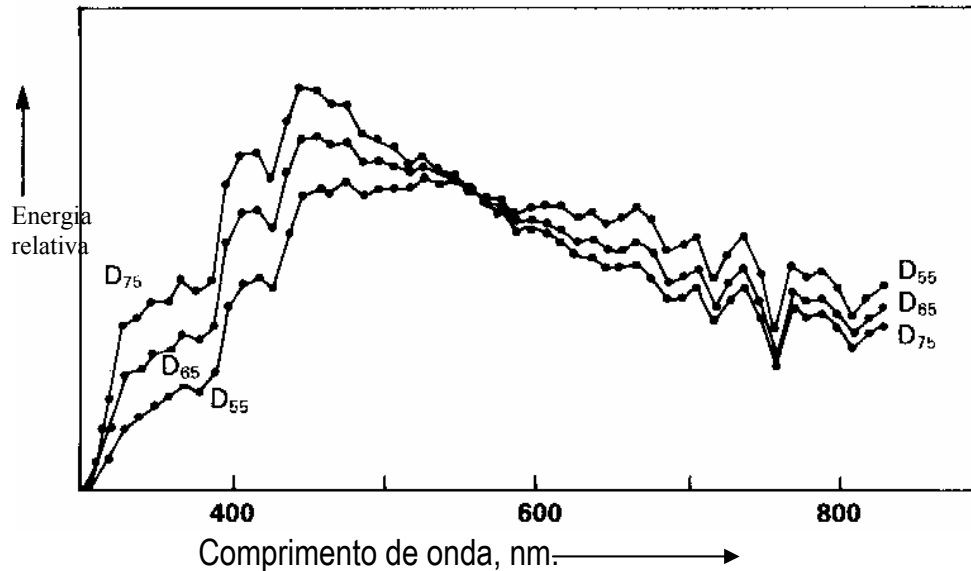


Figura 1.16 SED dos iluminantes do CIE, D₅₅, D₆₅ e D₇₅ (as curvas foram normalizadas a 560 nm).

1.7 – Propriedades das Fontes de Luz Artificiais.

Existem dois tipos de fontes de luz artificiais que interessam os cientistas da cor:

- (a) A eficiência da lâmpada, que é controlada pela quantidade da luz que ela emite por uma quantidade de entrada da potência elétrica e com qual facilidade esta luz pode ser detectada pôr um observador qualquer.
- (b) As características do rendimento da luz da lâmpada. Este é o grau em que a lâmpada altera a cor de um conjunto de padrões de tonalidade (matiz, nuance) acreditado como representativa do ambiente médio prático, de uma “verdadeira cor” dentro da fonte de referência escolhida. O rendimento geral da cor Ra é freqüentemente usado para descrever esta propriedade. Quando o valor do Ra é 90-100, a fonte do teste pode ser considerada de ter propriedades da cor de rendimento que são quase idênticas ao da fonte de referência. Fonte com valores de Ra na faixa de 80-90 são também consideradas como satisfatórias nos índices de 70 e os mais baixos, pode indicar que existe diferença significativa entre a referencia e a fonte em teste.

1.7.1 Eficiência da Lâmpada.

Alguns tipos da luz podem ser vistos mais fácil do que outras. É mostrado na Figura 1.17; a maneira fácil em que um observador pode ver a luz plotada como uma função de seu comprimento de onda. Então pra um dado fluxo radiante (“radiant flux” – pode ser definido como a energia radiante emitida de, transferida para ou recebida por uma superfície por um intervalo de tempo). Luz verde a 555 nm pode ser vista facilmente enquanto o azul ou vermelho com o mesmo fluxo radiante aparece meio fosco pela comparação.

Esta curva V_λ descreva a sensibilidade relativa do olho humano para radiação visível: pela modificação do fluxo radiante (p) da lâmpada (que para uma fonte contínua, pode conter radiação maior, que não pode ser vista pelo observador humano) à cada comprimento de onda, com valores da curva V_λ , a saída pode ser convertida em fluxo luminoso (F em lumens, lm).

$$F = K_n \int P_\lambda V_\lambda d_\lambda \tag{1.8}$$

Onde K_n = eficiência luminosa da radiação à 555 nm, onde V_λ é máxima sobre 680 $lm W^{-1}$.

Então K é a medida da eficiência da transferência da potencia elétrica (P em Watts) para fluxo luminoso por uma dada lâmpada, como na expressão:

$$K = F/P \tag{1.9}$$

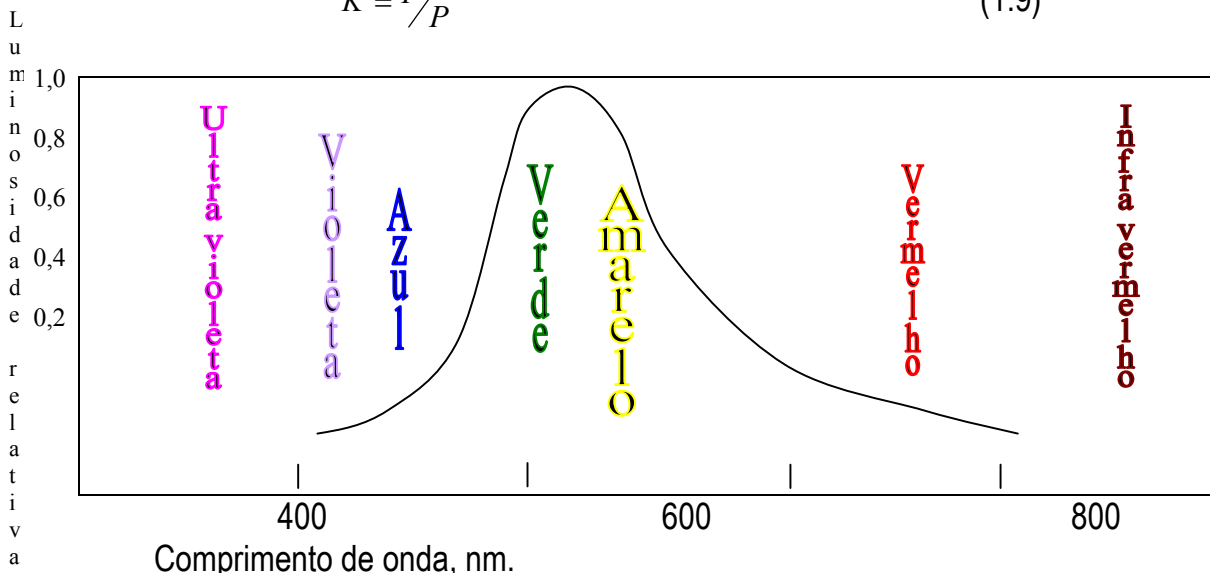


Figura 1.17 Função da Luminosidade (V_λ).

Os limites da integral na expressão 1.8 são idealmente fronteiras acima e abaixo do espectro visível, isto é, aproximadamente 380 e 770 nm.

1.8 Absorção e Dispersão da luz

Vamos considerar a passagem da luz do ar numa superfície de um filme pintado, que pode variar de um acabamento com brilho total até um acabamento fosco, para estudar o fenômeno de absorção e dispersão. Dali, a luz continua até o interior do filme, que contém partículas coloridas de pigmentos de tamanhos variados. No final, após uma dispersão múltipla, absorção e reflexão ela retorna ou, se a substância for transparente, passa através da face inferior do filme (Figura 1.18). Os processos diferentes e as leis que os controlam são descritos abaixo, iniciando do ponto onde a luz toca o filme pintado.

Existem dois fenômenos possíveis quando a luz encontra a superfície pintada: ela pode ser refletida ou refratada.

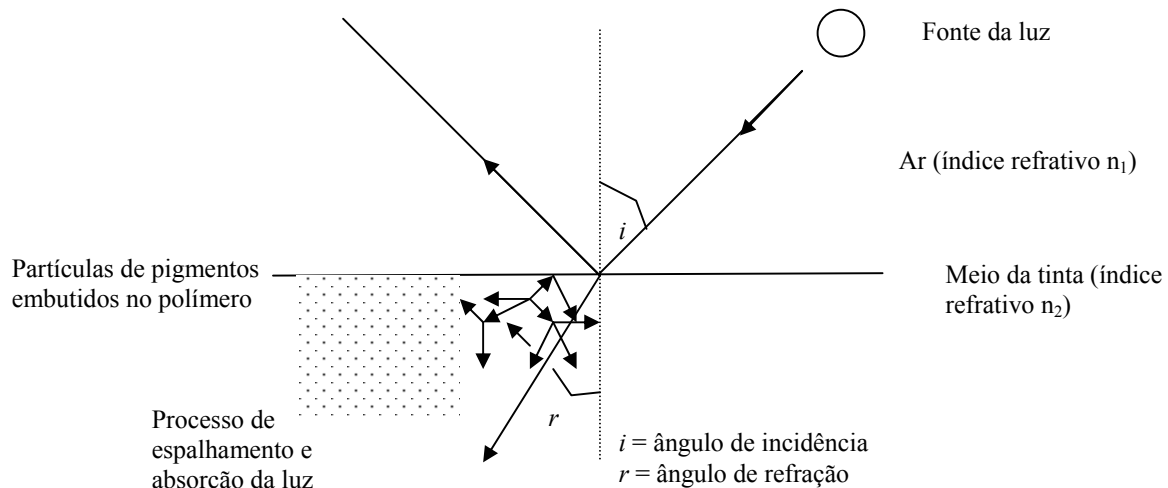


Figura 1.8 Absorção e Dispersão da luz.

1.8.1 Refração da luz

A refração no interior do filme ocorre de acordo com a lei de Snell, que diz que quando a luz viaja através de um meio de índice refrativo n_1 encontra-se e entra num meio de índice refrativo n_2 , então a relação 1.10 é válida:

$$\frac{\text{sen } o \cdot i}{\text{sen } o \cdot r} = \frac{n_2}{n_1} \quad (1.10)$$

onde $i = \text{ângulo da incidência}$
 $r = \text{ângulo de refração}.$

O índice refrativo de cada material é dependente do comprimento de onda da luz no qual ele é empregado. No vidro, por exemplo, ele diminui com o aumento do comprimento de onda, isto é, a luz azul é desviada mais forte do que a vermelha.

Como resultado um espectro é produzido quando uma luz branca passa através de um prisma.

1.8.2 Reflexão da luz

A luz, ou uma porção dela pode ser refletida de volta para dentro do mesmo meio. Esta luz não estará sujeita ao processo de absorção e dispersão que poderia ter ocorrido se ela tivesse continuada dentro do meio, e conseqüentemente, ela seria da mesma cor da radiação incidente. A quantidade em que passa no segundo meio é controlada em grande escala pelos índices refrativos dos dois meios. Então para uma luz não polarizada, quando o ângulo da incidência é normal para a superfície (0°), a refletância (ρ) pode ser determinada pela lei do Fresnel (equação 1.11):

$$\rho = \left(\frac{n_2 - n_1}{n_2 + n_1} \right)^2 \quad (1.11)$$

Os índices refrativos do ar e uma resina de tinta típica são 1,0 e 1,5 respectivamente. (Então a quantidade da luz que seria refletida quando ela encontra um filme pintado a 90° será $[(1,5 - 1,0) / 1,5 + 1,0]^2 = 0,04$ ou 4% da radiação incidente. Quando o ângulo de incidência é elevado acima de 30° , todavia, a proporção da luz refletida aumenta até o ponto onde, nos ângulos que se tocam levemente ($i \cong 90^\circ$), toda radiação incidente é refletida, isto é, $\rho = 1,0$).

A direção desta luz refletida torna-se uma parte importante na aparência da superfície do filme pintado. Se ela fosse concentrada numa região muito pequena num ângulo igual ao ângulo de incidência, a superfície aparecerá brilhosa, isto é, que ela terá uma alta refletância especular.

Inversamente, se a luz for refletida indiscriminadamente em todos os ângulos entre $+90^\circ$ e -90° , ela terá uma aparência fosca, isto é, ela terá alta refletância difusa. A proporção de a reflexão especular a difusa é governada pela superfície do filme pintado (Figura 1.19).

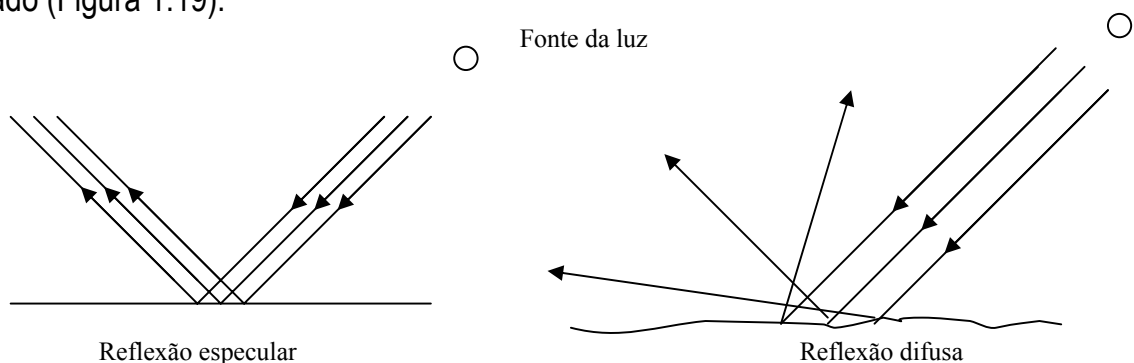


Figura 1.19 – Reflexão Especular e Difusa.

Este aspecto pode ser bem ilustrado na forma de diagramas polares que descrevem a intensidade da luz refletida de $+90^\circ$ a -90° com linhas de comprimentos variadas do ponto em que o raio da luz toca a superfície (figura 1.20).

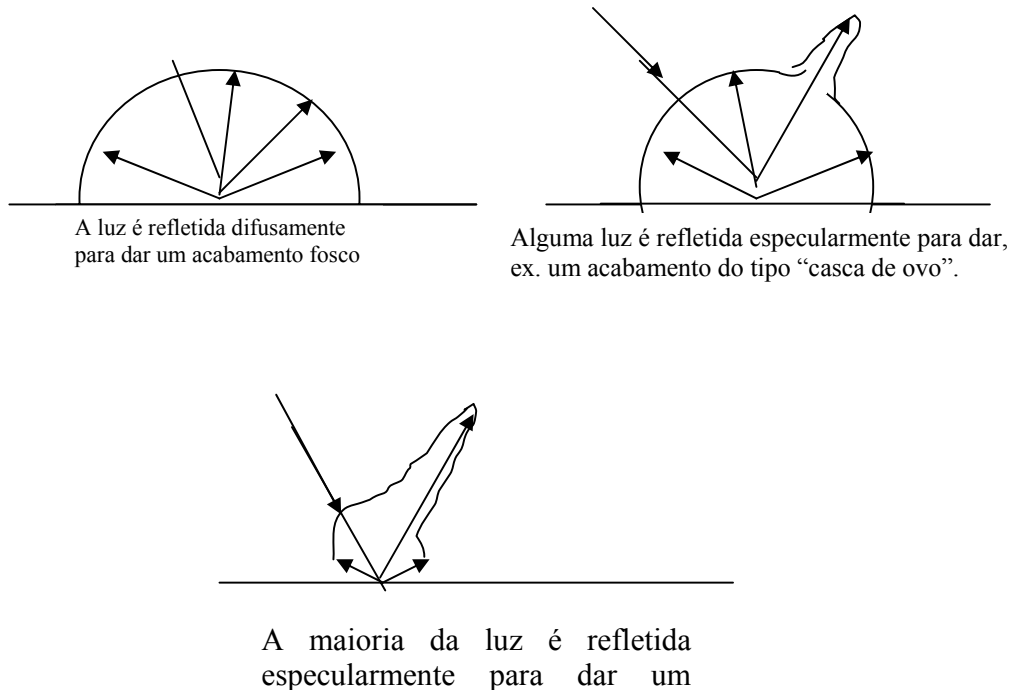


Figura 1.20 Distribuição polar da luz refletida.

Então, a rugosidade da superfície e o ângulo no qual é vista ditam o brilho do filme. Todavia, estes mesmos fatores também afetam a profundidade aparente ou a intensidade da gradação/sombra. O brilho e a sombra aparentes só podem ser bem avaliados sob condições diferentes de visualização. Então, a disposição para visualização é mostrada na figura 1.21, e deve ser observado na avaliação do brilho da superfície. Entretanto não pode ser usada para avaliar as propriedades das cores, principalmente com padrões de alto brilho, pois o observador verá somente uma imagem da fonte da luz.

A figura 1.22 mostra a disposição usada para essa avaliação e é muito melhor para esse fim.. Nesta posição o observador evita a luz branca refletida da superfície branca que tem um efeito de diluição da luz colorida que sai do interior do filme pintado. Com materiais foscos a luz refletida desta superfície não pode ser evitada pelo observador. Conseqüentemente, não é possível obter nuances fortes nas emulsões foscas como é possível com tintas brilhosas.

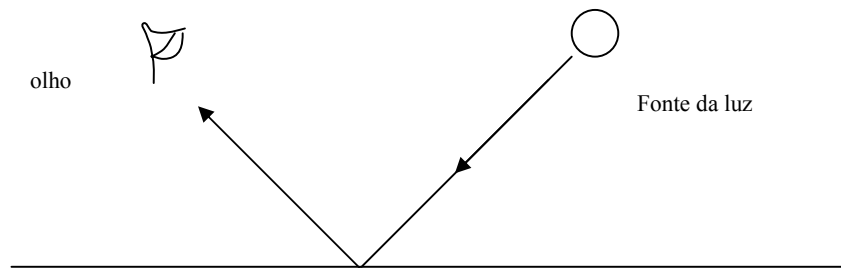


Figura 1.21 Arranjo para avaliação da superfície brilho

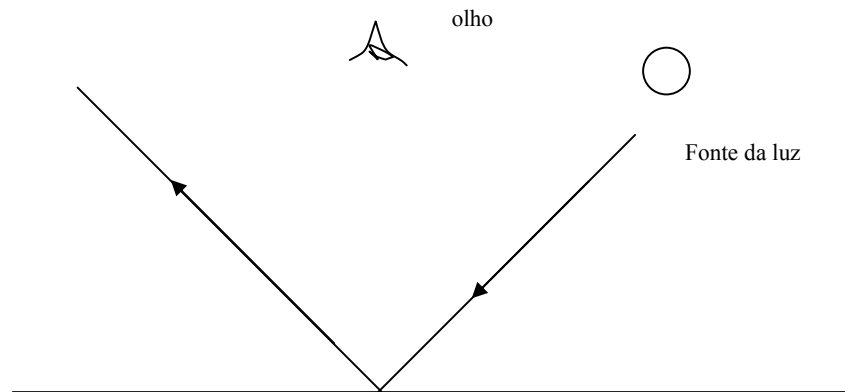
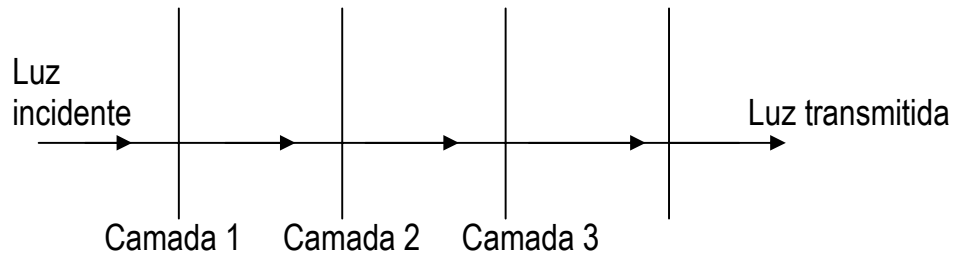


Figura 1.21 Arranjo para avaliação da superfície brilho

1.8.3 Absorção da luz

Voltando à figura 1.18, podemos considerar o que aproximadamente acontece com 96% da luz que penetra na superfície. Dentro do filme pintado, ele passa através de uma matriz polimérica que contém partículas de pigmento de tamanhos diferentes (principalmente, 0,1 – 1,0 μm) com propriedades variadas de dispersão. Algumas partículas são tão pequenas, < 0,2 μm que podem ser consideradas como estando efetivamente na solução e elas podem ser tratadas da mesma maneira que uma solução de corante que absorve, mas não dispersa a luz.

As soluções de corantes e as partículas de pigmentos pequenos são governadas por duas leis. A primeira é a lei de Lambert (às vezes é referida como lei de Bouguer) que estabelece que as camadas da mesma espessura de uma substância transmitem a mesma fração da luz incidente, num dado comprimento de onda, de qualquer intensidade. Então se I_0 é a intensidade da radiação incidente, e I_1 , I_2 , e I_3 , etc., representam a intensidade da radiação após a passagem através das camadas 1, 2, 3, etc., de camadas de mesma espessura, então a mesma fração de radiação será absorvida por cada camada (Figura 1.23).



Se $I_0 = 1,000$ unidade arbitrária

Então $I_1 = 0,500$

$I_2 = 0,250$

$I_3 = 0,125$ (transmitância)

Figura 1.23 Lei de Lambert.

A outra lei que governa a absorção, Lei de Beer, estabelece que a absorção da luz é proporcional ao número de moléculas absorventes no seu caminho (isto é, a concentração da solução absorvente).

Estas leis podem ser combinadas para formar a Lei Beer-Lambert, que pode ser expressa, matematicamente, como na equação 1.12:

$$I = I_0 \cdot 10^{-\epsilon c l} \quad (1.12)$$

Onde, I = intensidade da radiação da transmitida

I_0 = intensidade da radiação incidente

ϵ = coeficiente da extinção molar, $1 \text{ mol}^{-1} \text{ cm}^{-1}$

c = concentração do soluto absorvente, mol l^{-1}

l = comprimento do caminho ou espessura da camada absorvente, cm

Fazendo que $T = I / I_0$, a equação 1.12 pode ser reescrito na forma de equação 1.13:

$$\text{Log } 1/T = \epsilon c l = D \quad (1.13)$$

Onde, T = transmitância

D = absorvância

Absorvância representa uma quantidade muito útil porque é aditiva; se três filtros tendo valores de absorvância de D_1 , D_2 e D_3 , são colocados juntos num contato ótico (para que nenhuma luz é espalhada em cada interface) a absorvância total (D) é dada pela equação 1.14:

$$D = D_1 + D_2 + D_3 \quad (1.14)$$

Também tem uma relação linear com a concentração dentro de certo limite. Conseqüentemente, uma plotagem de c contra D produz uma linha reta que passa através da origem com um ângulo de coeficiente (gradiente) ϵl .

As limitações principais da Lei Beer-Lambert consistem em que ela relaciona-se estritamente a radiação monocromática e se aplica apenas às soluções corantes que não dispersam a luz, em concentrações suficientemente baixas a fim de assegurar que o corante esteja presente na forma mono-molecular. As espécies de corante presentes como formas bi-molecular ou tri-molecular, por exemplo, produzem uma absorvência mais baixa do que produziriam se estivessem presentes como moléculas separadas (Figura 1.24).

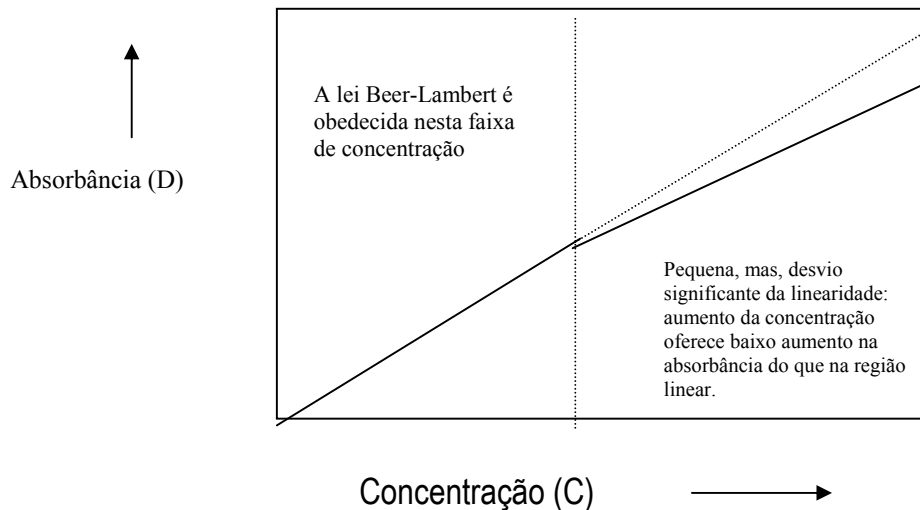


Figura 1.24 Desvio da Lei Beer-Lambert.

1.8.4 Dispersão da luz

Quando a luz passa num meio e encontra partículas com diâmetros dez vezes maiores que seu comprimento de onda, ela é difundida numa quantidade que depende da diferença do índice refrativo entre o pigmento e o meio, de acordo com a equação de Fresnel. Essa diferença, e conseqüentemente o nível de dispersão pode alterar com o comprimento da onda.

Normalmente um pigmento difunde a luz com mais eficiência em uma região do espectro enquanto tem sua absorção principal numa outra banda. Isto explica porque os filmes transparentes e translúcidos podem ter diferentes tons quando forem vistos pela luz refletida em lugar da luz transmitida. Esta diferença no índice refrativo entre o pigmento e o meio também é a razão principal pela qual o dióxido de titânio e outros pigmentos inorgânicos (ex. óxidos de ferro, sulfetos de cádmio, cromatos de chumbo, etc.) que têm os índices refrativos acima de 2,0 mostram melhores propriedades de dispersão e poder de opacidade, enquanto os pigmentos orgânicos, que têm índices refrativos perto das maiorias das resinas de revestimento superficial (cerca de 1,5) são comparativamente transparentes. A luz que não é refletida ou difundida pelos

pigmentos entra no interior da partícula e é sujeita aos processos normais de absorção. A parte que emerge continua até atingir outras partículas e deste modo é “difundida” à todos os pontos no filme tinto.

Existem leis que tentam caracterizar este processo de absorção e dispersão da mesma maneira que a lei de Beer-Lambert caracteriza os meios coloridos não difusos.

1.8.5 – Análise Kubelka-Munk

Se considerarmos o simples caso da luz passando através de uma camada pigmentada muito fina num filme pintado (Fig. 1.25) num fluxo difuso para baixo (fluxo = i) e fluxo difuso para cima (fluxo = j) então as mudanças que ocorrem representada por di e dj respectivamente, descrito como a seguir:

Fluxo para baixo

Diminuição pela absorção = $-K i dx$

Diminuição pela dispersão = $-S i dx$

Aumento pela dispersão de retorno da radiação procedente para cima = $+S j dx$

Isto é. $di = -K i dx - S i dx + S j dx$

ou $di = -(K + S) i dx + S j dx$

onde, K e S são os coeficientes de absorção e dispersão para o colorante.

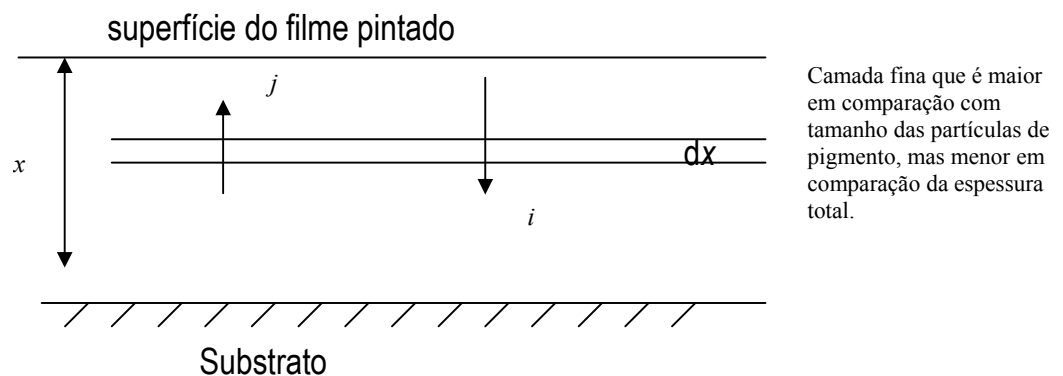


Figura 1.25 Análise Kubelka-Munk

Estas equações diferenciais oferecem uma série de soluções para K e S , usando dados de refletância para a camada colorida em substratos branco e preto (com valores de refletância conhecidos). Os valores de K , S e K/S mostram as funções que são aditivas e linearmente relacionadas a concentração dentro de uma certa faixa.

Todavia, como a lei de Beer-Lambert há limitações maiores para este tipo de análise. A teoria pode apenas ser usada com relação à radiação monocromática. Ela não se aplica a luz que é perdida na interface ar/meio, devido as reflexos de Fresnel quando esta entrando ou saindo desta fronteira. Presume-se também que as partículas de pigmentos são orientadas aleatoriamente e que os valores de K e S são constantes em todo o filme. Nenhum sistema pigmentado pode verdadeiramente esta de acordo com estes requisitos devido à possibilidade do ar ser introduzido nas camadas superiores ou floculação, separação sedimentação ou alinhamento das partículas do pigmento. Todavia, a maior limitação desta teoria é que ela compreende apenas dois fluxos, isto é, luz difusa que passa para cima ou para baixo.

A luz que é deixada após os processos de absorção e difusão pode emergir do filme pintado e ser vista pelo observador em duas direções principais: para cima e para baixo.

Se a luz incidente passa através da camada colorida e ao alcançar um suporte transparente, ex. vidro ou filme polimérico claro, ela emergirá como transmissão difusa se houver alguma difusão, ou como transmissão especular se não tiver ocorrido nenhum outro desvio além da refração nas interfaces (Figura 1.26).

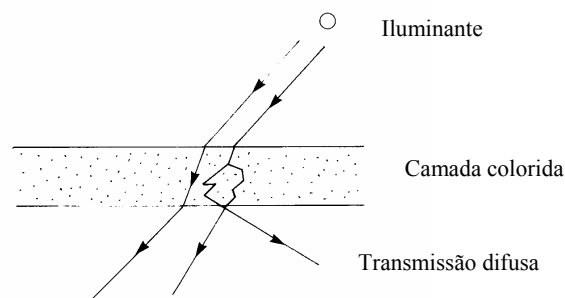


Figura 1.26 Luz transmitida

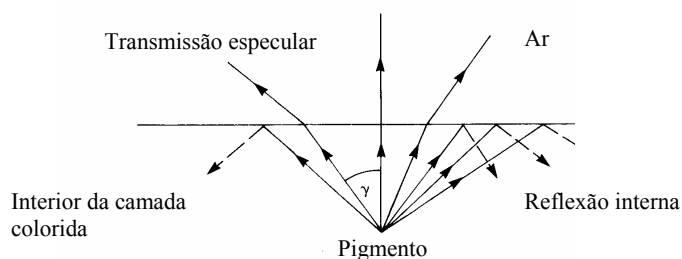


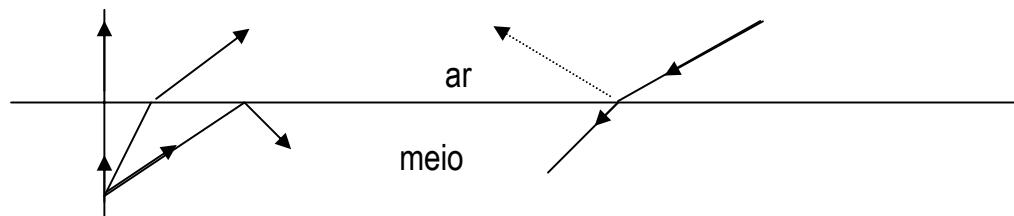
Figura 1.27 Luz refletida

Quando a luz é difundida na camada colorida até o ponto em que ele retorna e/ou é refletida do suporte para encontrar o fundo da superfície pintado num ângulo mais baixo do que o ângulo crítico (γ , na figura 1.27) uma porção dela é refletida de volta na camada colorida, seguindo exatamente o mesmo processo de Fresnel

(Fresnel reflexão) que a luz incidente sofreu na camada superior da superfície. A intensidade da luz que emerge será 4% menor do que quando ela estava no fundo da superfície pintado (Figura 1.27).

1.8.5.1 As Limitações da Teoria Kubelka-Munk

1. Em altas concentrações de cores acontece uma importante interação partícula/partícula e há um significativo desvio da linearidade.
2. Não se leve em consideração a perda de luz nas interfaces ar/meio ou meio/ar.



3. Suponhamos que a difusão-absorção seja mesma no total das camadas coloridas. Todavia isto não se aplica a muitos sistemas pigmentados.
4. Aplica-se a um comprimento de onda cada vez porque S e K dependem do comprimento da onda.
5. Não é possível irradiar e visualizar as camadas superiores difusamente.

1.8.6 Abordagens Alternativas

As deficiências da teoria Kubelka-Munk, principalmente para padrões translúcidos motivaram a adoção da teoria de Mie. A teoria tenta descrever o que acontece quando a luz colimada, ao oposto da luz difusa, usada na análise Kubelka-Munk, encontra uma partícula de pigmento esférica singela.

As seguintes informações são necessárias para efetuar a análise:

1. Distribuição do diâmetro e tamanho das partículas do pigmento, ex. determinado pela microscopia eletrônica.
2. Índice refrativo do meio, ex. obtido usando um refratômetro.
3. Absorção e índices refrativos do pigmento.

1.8.6.1 Teoria da transferência radiativa

A teoria de transferência radiativa, esboçada por Chandrasekhar usa os resultados obtidos da teoria de Mie para dar o mesmo tipo de informação que obtida da análise de Kubelka-Munk, mas sem algumas das restrições, ex. radiação direta ou difusa pode ser feita. A teoria é útil uma vez que permite que os números de fluxos que podem ser analisados sejam estendidos de dois (na teoria Kubelka-Munk) para tantos quantos o tempo e as facilidades computacionais permitam.

1.9 Curvas Espectrofotométricas E Suas Relações à Cor Percebida

É possível medir a cor de um meio transparente ou opaco irradiando com, por exemplo, de luz de tungstênio e medindo a quantidade que é transmitida ou refletida, respectivamente como uma função do comprimento da onda. Um espectrofotômetro é usado para este fim e a curva produzida é chamada de curva espectrofotométrica, que uma vez que não tenha havido nenhuma fluorescência, oferece a “impressão digital” dessa cor.

1.9.1 Absorção/Transmissão

1.9.2

As curvas espectrofotométricas não difusas podem ser de dois tipos: absorção ou transmissão (Fig. 1.28).

Absorvência zero ou transmissão 100% através do espectro visível são produzidas por meios que não podem ser afetados pela luz e produzem as bases transparentes ou incolor mostrada na Fig. 1.28. Se a luz for absorvida completamente e/ou difundida pelo meio, ela produz as linhas “opacas”. Todavia, se parte da luz for apenas preferencialmente absorvida, então a cor será produzida como descrito na Tabela 1.4.

Cores predominantes absorvidas pelo meio colorido

Cor do meio	Cor predominante da luz que é absorvida
Magenta	Verde (450-570 nm)
Amarelo	Violeta azulada (400-460 nm)
Azul	Verde-amarelado, amarelo, laranja, avermelhado.

Então a forma da curva e a posição da absorção máxima descrevem a cor do meio. Se, por exemplo, uma solução de corante azul produzir uma curva de absorção semelhante aquela mostrada na figura 1.28, mas com o pico com comprimento de onda mais longo, teria uma aparência mais verde uma vez que estaria absorvendo menos verde e mais vermelho. Por outro lado, se o pico fosse de comprimentos de onda mais baixos teria uma aparência mais vermelha.

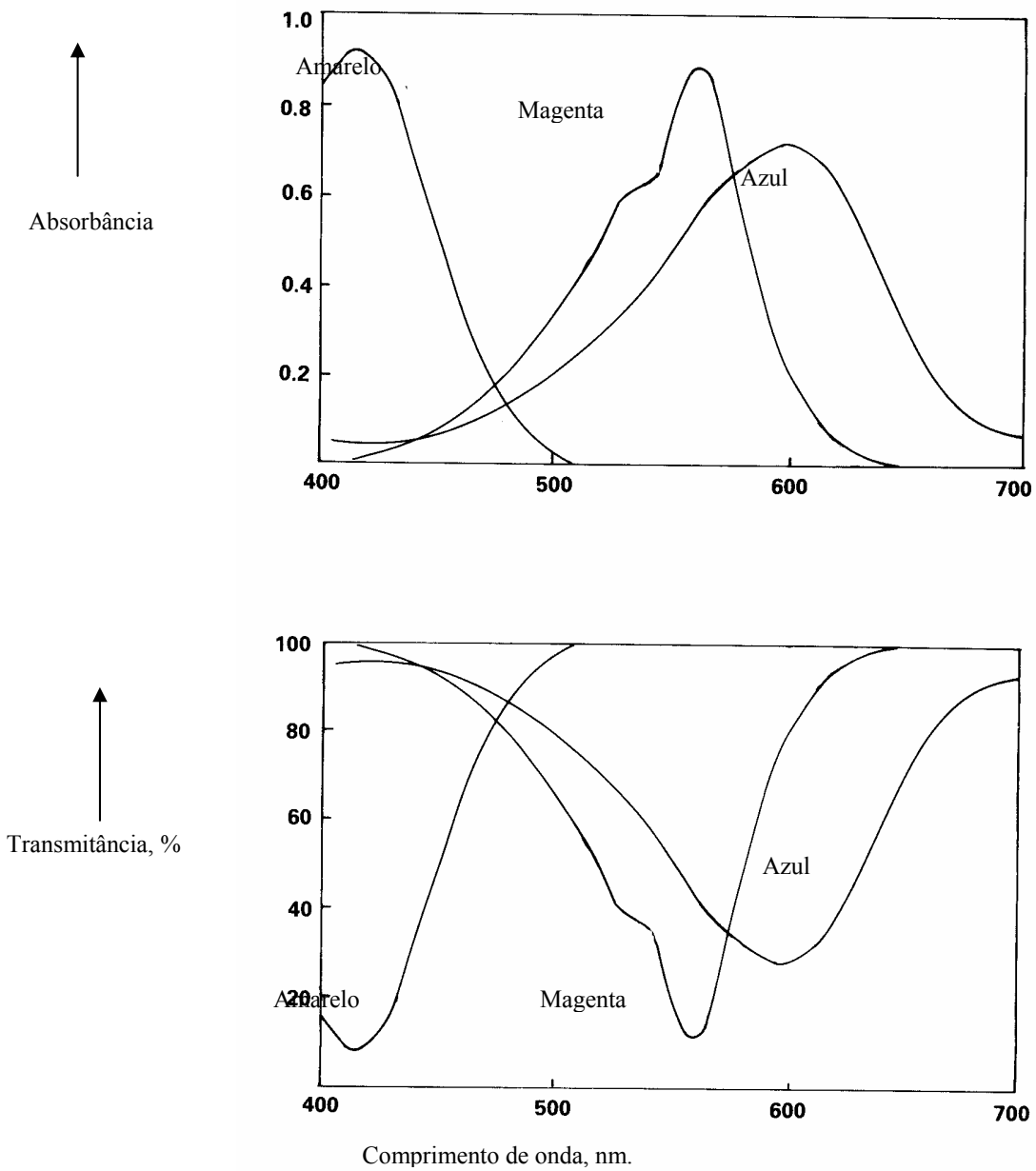


Figura 1.28 Curvas de absorvância e transmitância contra o comprimento de onda para corante amarelo, magenta e azul.

A profundidade, concentração ou intensidade da cor pode ser avaliada da altura da curva acima da linha da base da absorção. Para as medições da absorção

isto é diretamente proporcional a concentração da cor, até um certo limites. A porcentagem da transmissão ou absorção no pico da curva, combinado com sua largura, apresentam um aspecto importante num outro aspecto dar cor percebida. Isto pode ser ilustrada pelas cores imaginárias mostradas na curva de transmissão da figura 1.29. Em (a) apenas a luz vermelha esta sendo transmitida. A luz tem uma aparência rica ou pura uma vez que não foi adulterada por outras cores. A medida que a curva se alarga para (b) uma significativa quantidade de verde esta sendo transmitida, o vermelho original perde um pouco da sua pureza e ele se torna distintamente amarelado (misturas aditivas de vermelho e verde resultam em amarelo). Em (c) a luz azul esta sendo transmitida para dar a cor uma aparência amarronzada. Assim a cor torna-se mais fosco a medida que a curva de transmissão se alarga.

Em geral quanto mais confinada for a faixa de transmissão mais limpa, mais pura ou mais saturada será sua aparência.

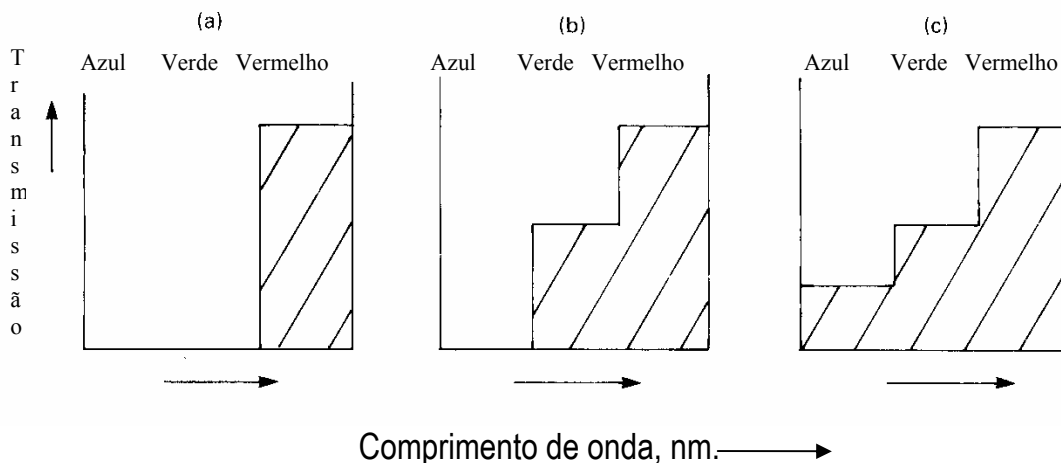


Figura 1.29 Pureza da cor percebida

1.9.3 Refletância

Com relação as espécies difusão da luz (ex. produtos têxteis coloridos ou tintas) a cor pode ser representada pelas curvas de refletância (figura 1.30) como acontece as curvas de absorção e transmissão, suas formas oferecem uma descrição completa da cor. Assim, por analogia com as curvas de absorção usadas para descrever a cor da luz transmitida, podemos chegar as seguintes conclusões:

- a. O comprimento de onda da refletância mínima oferece uma excelente indicação da tonalidade principal, ex: 400 – 450 nm para amarelos, 530 – 580 nm para vermelhos e 600- 660 para azuis.

- b. O valor da refletância mínima oferece uma vasta indicação da profundidade da nuance; a figura 1.31 ilustra esse caso e mostra as curvas de refletância de três superfícies amarelas que aumentam em profundidade de fraca para forte.
- c. A largura da curva informa sobre a pureza (também chamada de brilho ou saturação) da cor. A medida que ela diminui com relação a altura, a pureza ou grau de “absorção seletiva” aumenta e vice versa.

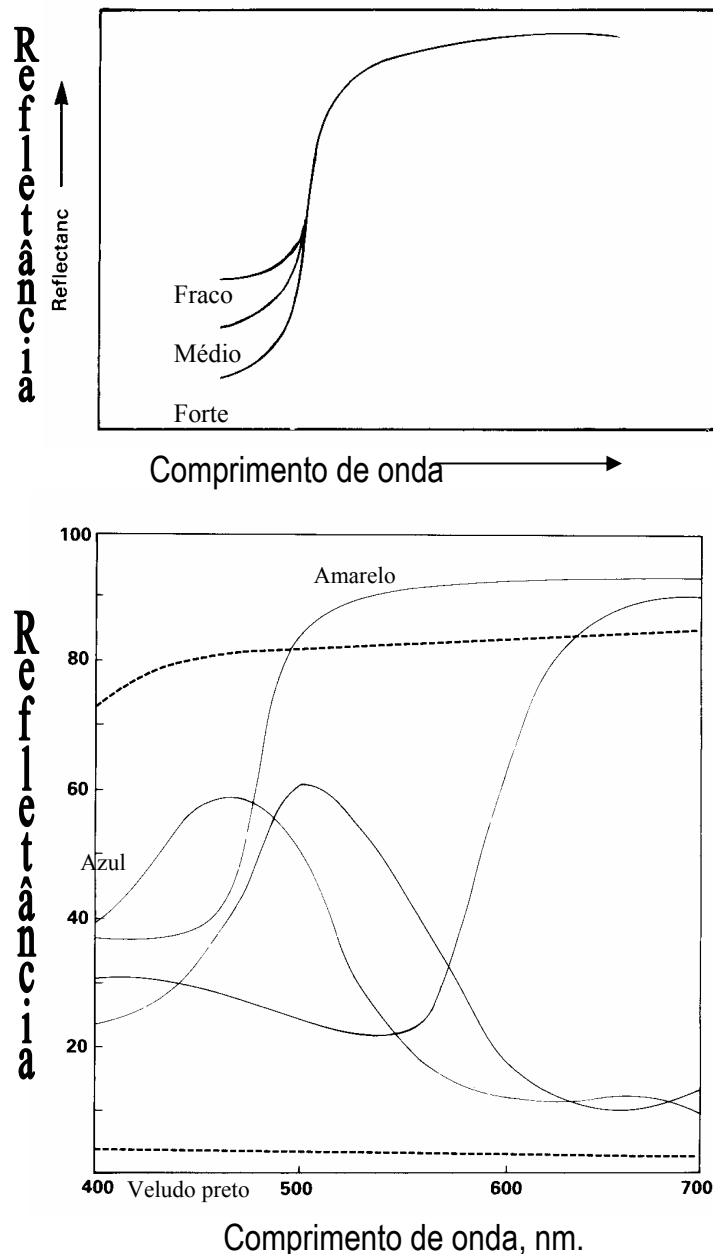


Figura 1.30 Curvas de refletância Vs. Comprimento de onda.

2 Instrumentos para mensuração da luz absorção/refletância

Os instrumentos que são usados na mensuração da cor podem ser divididos em dois grupos:

1. Aqueles que são usados para objetos transparentes, onde o único processo que ocorre é a absorção da radiação;
2. Aqueles que são usados na medição da cor de objetos opacos pela reflexão.

Na prática, todavia, os objetos reais não se classificam dentro destas categorias definidas, e entre os objetos opacos e transparentes existem objetos que variam de soluções de corantes de pouca turvação até filmes parcialmente transparentes.

A propriedade que muda dentro desta faixa é a extensão na qual a luz é difundida:

1. Um objeto completamente transparente não mostra nenhuma difusão, enquanto que um objeto completamente opaco não transmite nenhuma luz.
2. Os objetos brancos e pretos constituem casos especiais.
3. Brancos: difundem, mas não absorvem nenhuma luz;
4. Pretos: absorvem toda luz que cai neles, e esta propriedade mascara qualquer difusão que pode estar presente.

Os objetos coloridos transparentes exibem absorção, mas nenhuma difusão, enquanto que os objetos coloridos opacos exibem ambas a absorção e a difusão.

Com relação aos instrumentos envolvidos é importante usar o grupo correto. Resultados incorretos podem ser obtidos se o instrumento designado para medição da transmissão for usado para uma solução turva, porque tais instrumentos objetivam amostras que são homogêneas do ponto de vista ótico.

Com objetos completamente opacos não haverá problemas quando forem usados instrumentos destinados para reflexão, além de usar as considerações especiais de usar os iluminantes padrões e condições de observação.

Se as amostras são turvas ou translúcidas, deve-se tomar cuidados especiais quando interpretar as medidas tiradas, usando instrumentos de refletância, para que, junto com quaisquer instrumentos de refletância não haja também diferenças na translucidez, isto é, a quantidade de transmitida por difusão.

2.1 Calorímetros

Os primeiros instrumentos que foram usados na medição das cores eram absorciômetros. O uso deles foi confinado principalmente na medição das soluções transparentes ou com pouca turvação. Eles dependem do olho e um detector da luz para efetuar ajustagens da identificação da de duas soluções. Os vidros de Nessler são de bom exemplo. A luz de uma fonte, inicialmente luz solar, é organizada para passar verticalmente através de dois tubos de vidro com fundo chato. Os tubos contêm duas soluções coloridas, uma delas com concentração conhecida. Um ocular especial permite a luz transmitida pela cada solução ser vista lado a lado no campo do ocular. Pela ajustagem da profundidade da solução até que as cores das soluções aparecem iguais, a concentração desconhecida da solução pode ser encontrada pela simples aplicação da lei Beer-Lambert.

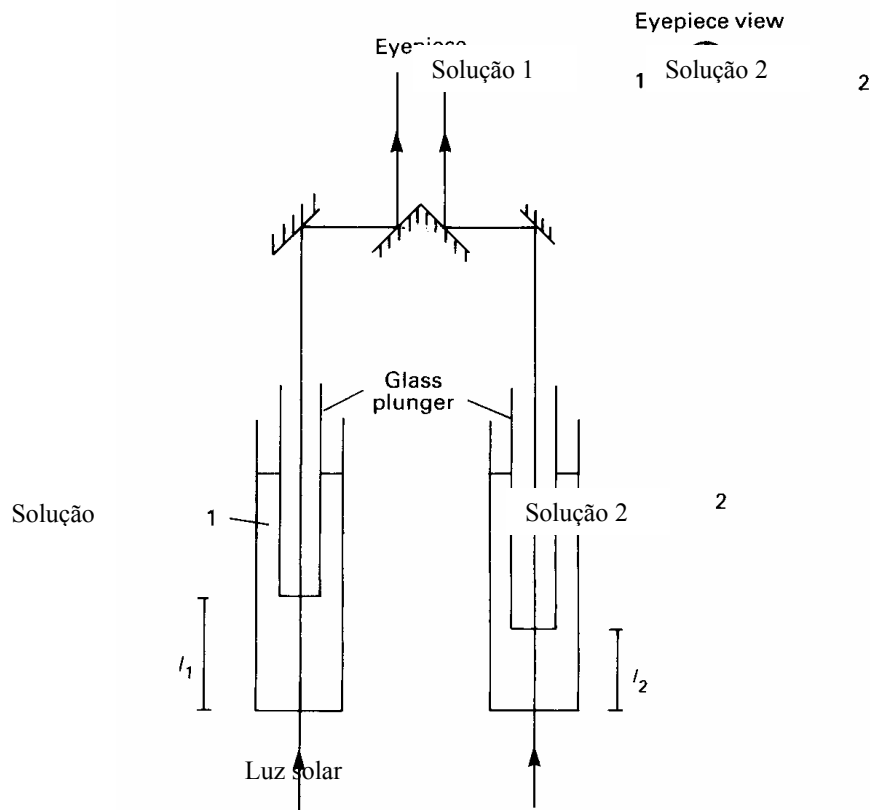


Figura 2.1 Vidros de Nessler

2.1.1 Primeiros Calorímetros Fotoelétricos .

O desenvolvimento de fotocélulas em 1930 proporcionou a oportunidade para substituir o olho do operador por um detector de luz objetivo.. Uns pares de fotocélulas

emparelhados substituíram o olho como o detector balanceado no Absorciómetro Hilger Spekker.

Neste caso, em lugar de ajustar o comprimento da passagem da luz da solução absorvente, um dispositivo calibrado (que é operado dentro de um princípio de área variável) foi ajustado até que a saída das duas fotocélulas fosse igual.

Este equipamento saiu de uso por causa do desenvolvimento dos detectores de luz mais sensíveis que podem trabalhar nos níveis de luz mais baixos possíveis.

Os instrumentos modernos para medição da cor, quer seja por transmissão ou reflexão na região visível do espectro, agora são baseados no uso de radiação monocromática de acordo com os requisitos da lei Beer-Lambert.

Os espectrofotômetros são largamente usados na medição nas regiões de u.v e i.v do espectro, e os princípios baseados no seu desenho são os mesmos para estas regiões espectrais, assim como para a região visível. O que difere entre os instrumentos destinados para diferentes regiões espectrais é o material usado na construção das várias peças dos instrumentos.

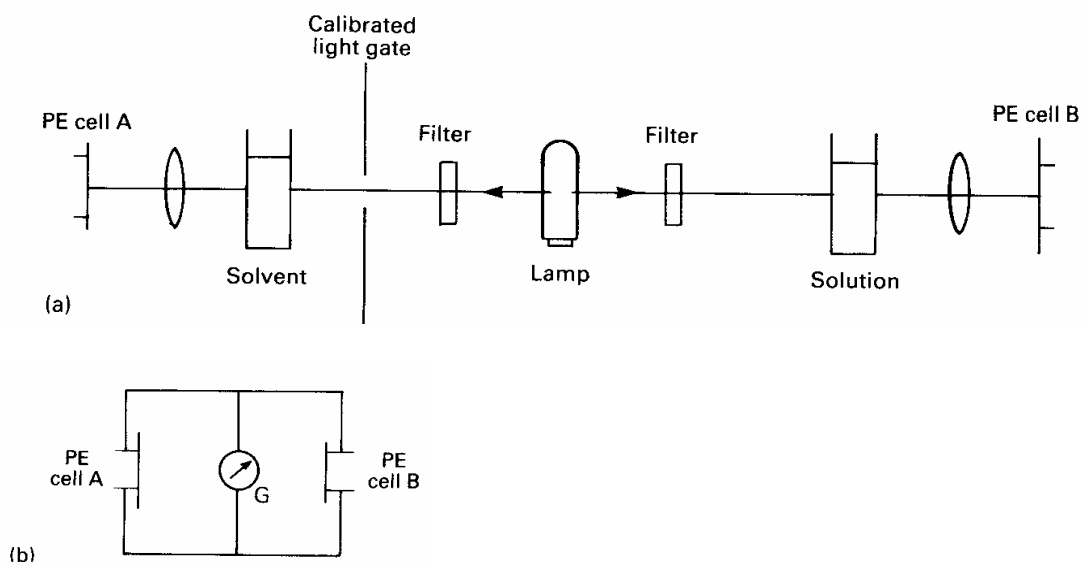


Figura 2.2 Absorciómetro Hilger Spekker (a) arranjo ótico (b) circuito elétrico.

2.2 Os princípios da espectrofotometria

O espectrofotômetro consiste de duas seções. A primeira é a fonte da luz e o monocromador, que em conjunto fornecem o meio de produzir radiação monocromática, e o segundo é o fotômetro. O fotômetro é o meio de medição da razão da radiação que emerge da passagem do absorvente (I) e o não-absorvente

(I_0). Desta razão a porcentagem de transmitância é calculada como $I/I_0 \times 100$ e absorvância como $\log I_0/I$

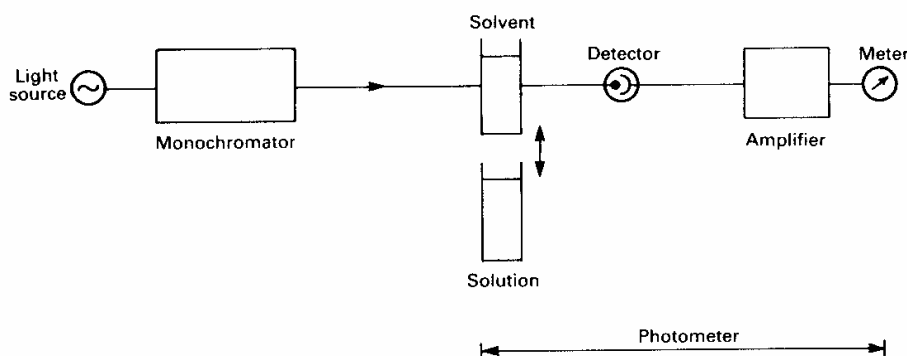


Figura 2.3 Diagrama de bloco de Espectrofotômetro (com o solvente no caminho da luz, o medidor dá a medição de I_0 , com a solução no caminho, a medição é de I)

2.2.1 Fontes da luz

O monocromador é fixado a uma fonte da luz que libera radiação dentro de uma variação de comprimentos de onda. A fonte da luz mais comumente usada para regiões visíveis do espectro é a lâmpada de filamento de tungstênio ou um tipo especializado conhecido como iodo quartzo ou lâmpada halogênio. A lâmpada halogênio tem a vantagem que o filamento pode ser aquecido pela corrente elétrica nas temperaturas altas para que a saída de energia /curva do comprimento de onda não suba marcadamente do lado do espectro azul até ao lado do espectro vermelho. Isto porque o envelope de quartzo neste tipo de lâmpada tem o ponto de fusão mais alto do que os vidros convencionais usados nas lâmpadas comuns. Além disso, a presença de pequenas quantidades de iodo no envelope, em conjunto com a alta temperatura, remove do lado interior do envelope o tungstênio que é depositado durante a vida útil da lâmpada. Isto evita o enegrecimento da lâmpada, com a perda conseqüente da saída da luz que é uma característica das lâmpadas de filamento de tungstênio.

No espectrofotômetro de u.v, as fontes de luz usadas são de lâmpadas de descarga de hidrogênio ou gás deutério. Para o espectro i.v, existe um grande numero de fontes. Para o comprimento de ondas curtas, às vezes as lâmpadas de filamento de tungstênio são usadas, mas para comprimentos longos, filamentos Nernst, Globars, ou elementos de cerâmica cobertos de fio Nichrome podem ser usados.

2.2.2 Monocromadores

A peça mais importante do monocromador é o elemento de dispersão. Este seleciona o comprimento de onda monocromática necessária de uma série de comprimentos de ondas (radiação heterocromática) emitidas pela fonte. Ele pode ser um prisma ou uma grade (gradeamento).

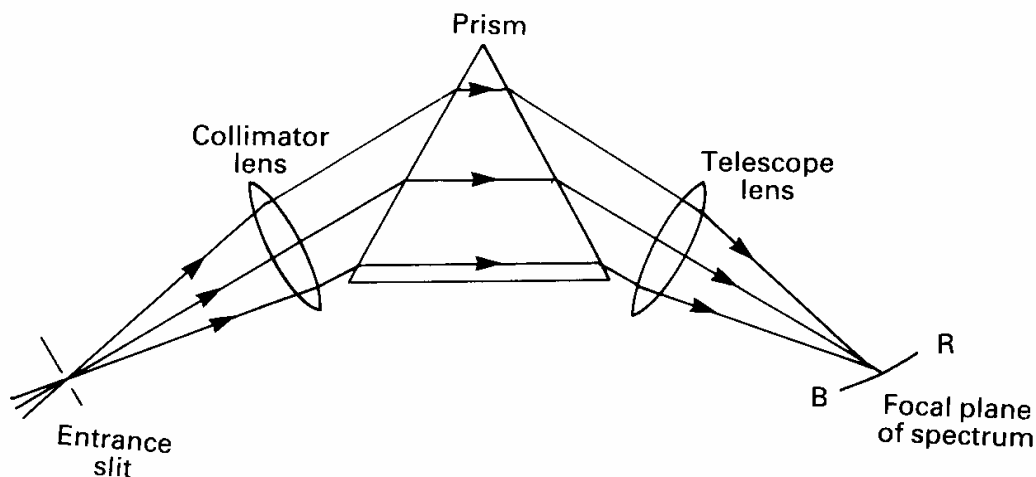


Figura 2.4 Monocromador de prisma básico.

2.2.2.1 Os tipos de grades (gratings)

As considerações mencionadas acima aplicam-se para todos os tipos de monocromadores, quer sejam baseados em prismas ou grades (grating). Na prática, os prismas foram usados nos equipamentos que estão obsoletos nos dias atuais. Por causa do problema de encontrar grandes cristais naturais livres de impurezas, manchas para fazer os prismas e lentes de quartzo para radiação u.v e sal de pedra (cloreto de sódio) e sylvine (cloreto de potássio) para radiação i.v., foram desenvolvidos métodos para criar cristais grandes em escala industrial. Subseqüente, o método de fazer marcação de grade, e também o desenvolvimento de métodos para produção de réplicas de grades mestras, resultou no uso em grande escala das grades, em lugar de prismas, nos espectrofotômetros, como agente de dispersão. Além de custo baixo em oferecer a mesma abertura ótica, o poder de dispersão das grades é independente do comprimento da onda.

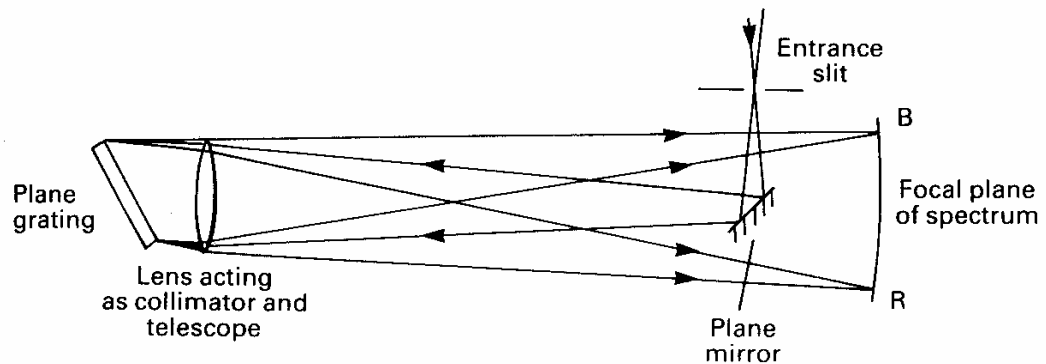


Figura 2.5 Monocromador de grade simples usando a grade de plano numa montagem Littrow.

2.2.3 Exemplo de um tipo de monocromador moderno

Este é fornecido pela Pye Unicam PU8800, que é mostrado na figura 2.6. Duas fontes de luz são fornecidas, uma lâmpada de tungstênio e uma lâmpada de descarga de deutério. Qualquer uma pode ser selecionada pelo movimento do espelho M1 na posição apropriada. Um dos filtros é de azul que remove radiações com comprimento de onda acima de 550nm para que o espectro de segunda ordem não seja produzido pela grade. O outro filtro reduz a dispersão da luz nas faixas de 285-390 e 700-850nm. Um único espelho côncavo, M3 serve para as funções de colimação e telescópica, enquanto o espelho plano M4, é usado para direcionar a radiação monocromática produzida pela grade à seção de fotômetro. A placa defletora evita que a luz dispersada atravesse a grade e sofra difração múltipla. O espelho e a grade são cobertos de sílica e o monocromador é fechado para proteger das mudanças atmosféricas do laboratório.

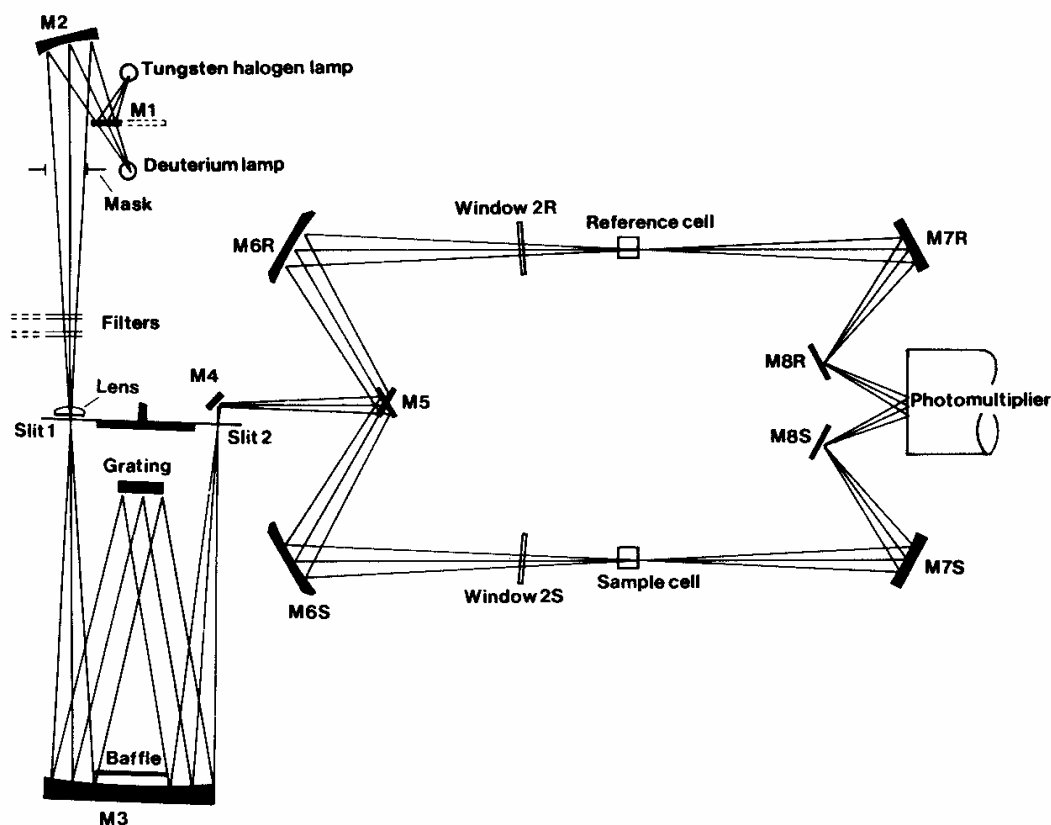


Figura 2.6 Diagrama esquemático do Pye Unicam PU8800 espectrofotômetro de dupla-faixa para medição de transmissão.

2.3 A aplicação de espectrofotometria de transmissão nas indústrias de fabricação de corantes e naquelas que o usam.

2.3.1 Padronização dos corantes

Quando o uso dos corantes extraídos das plantas e animais deu lugar aos corantes orgânicos sintéticos as leis da absorção de luz encontraram outra aplicação nos procedimentos da padronização necessários a produção dos corantes. A padronização é necessária porque quando os corantes orgânicos são sintetizados, os produtos raramente consistem de simples compostos químicos puros. Frequentemente, os produtos contêm intermediários não reagentes, outros isômeros e compostos relacionados talvez com menor número de grupos substituintes na molécula do que o corante desejado.

Quaisquer que sejam as fontes destas impurezas, o resultado prático é que diferentes lotes do corante que foi sintetizado assim têm propriedades diferentes, que são reveladas como diferenças na tonalidade e intensidade quando os tingimentos são feitos. Tais diferenças nem beneficiam o fabricante nem o consumidor.

As diferenças na intensidade entre lotes podem ser ajustadas pela adição de quantidades variadas de diluentes não-coloridos (ex. sal ou dextrina) para cada uma até que atinja sua força de coloração com base no peso seja igual. Variações na tonalidade entre lotes podem ser eliminadas pela adição de quantidades apropriadas de outros colorantes que se chamam componentes de tonalidade, para correção ou mistura dos lotes. Por exemplo, um lote de corante vermelho que produz um tingimento muito amarelo pode ser misturado com um outro lote que produz tingimentos muito azuis a fim de produzir uma mistura “na tonalidade”. O resultado de tudo isso é que os corantes comerciais geralmente não são compostos orgânicos simples e puros como listado no Colour Index da Society of Dyers and Colourists.

Desde que os corantes, por definição, são solúveis ou podem-se tornar solúvel a espectrofotometria das soluções dos corantes representa uma importante parte no processo de padronização dos corantes. Todavia, as medidas de refletância visível dos corantes reais, ou espectrofotometria i.v, dos discos de brometo de potássio, no qual pequenas quantidades de corantes sólidos foram dispersas podem ser necessárias de suplementar as medidas da solução em casos particulares.

2.3.2 Espectrofotômetros de Refletância

A fim de medir a cor de uma amostra opaco com o espectrofotômetro de refletância é necessário medir apenas a curva de refletância / comprimento da onda da amostra de 400 – 700nm. As diferenças na especificação numérica da cor objetivando notar aparência diferente da cor sob fontes diferentes e condições de visualização podem ser aceitas usando as tabelas de padronização apropriadas das características da fonte e o observador.

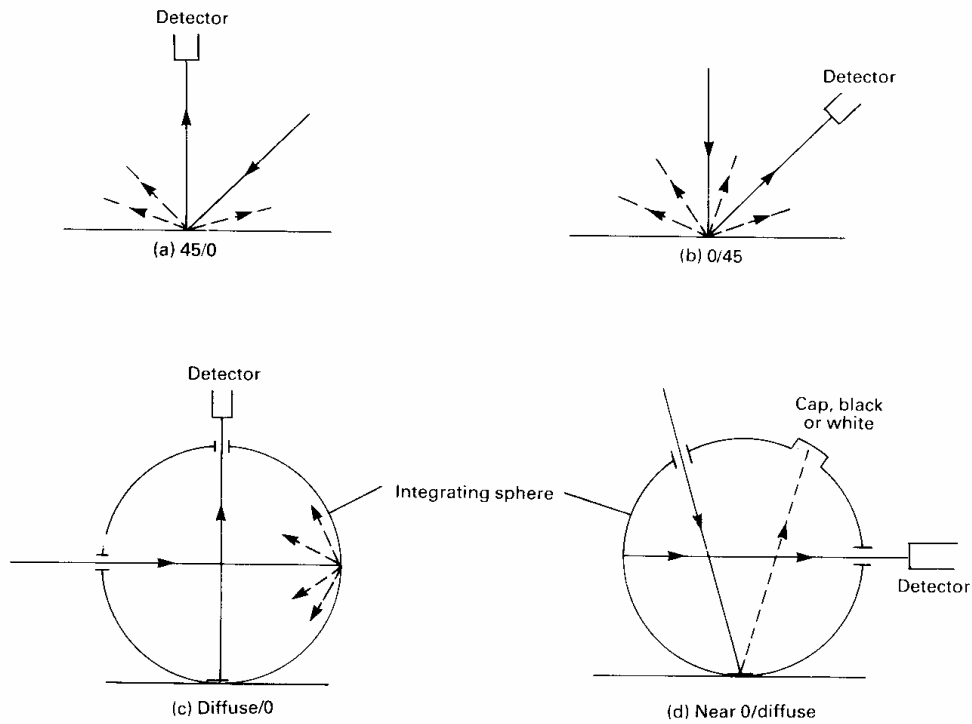


Figura 2.7 Condições de iluminação e visualização recomendadas pela CIE para medições de refletância.

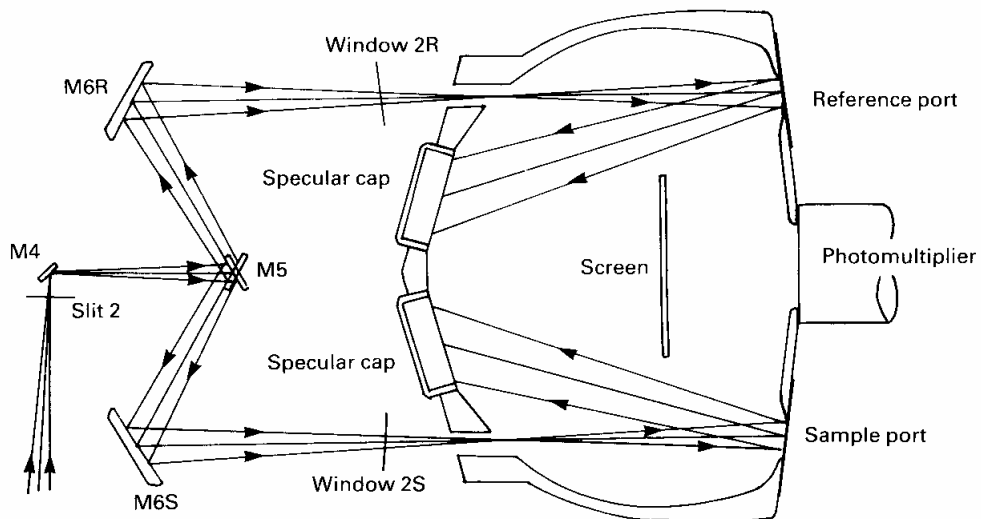


Figura 2.8 Espectrofotômetro Pye Unicam PU8800 equipado para medição da refletância (o feixe de luz monocromático que entra na abertura 2 é produzido por uma fonte de luz e o monocromador do tipo mostrado na figura 2.6)

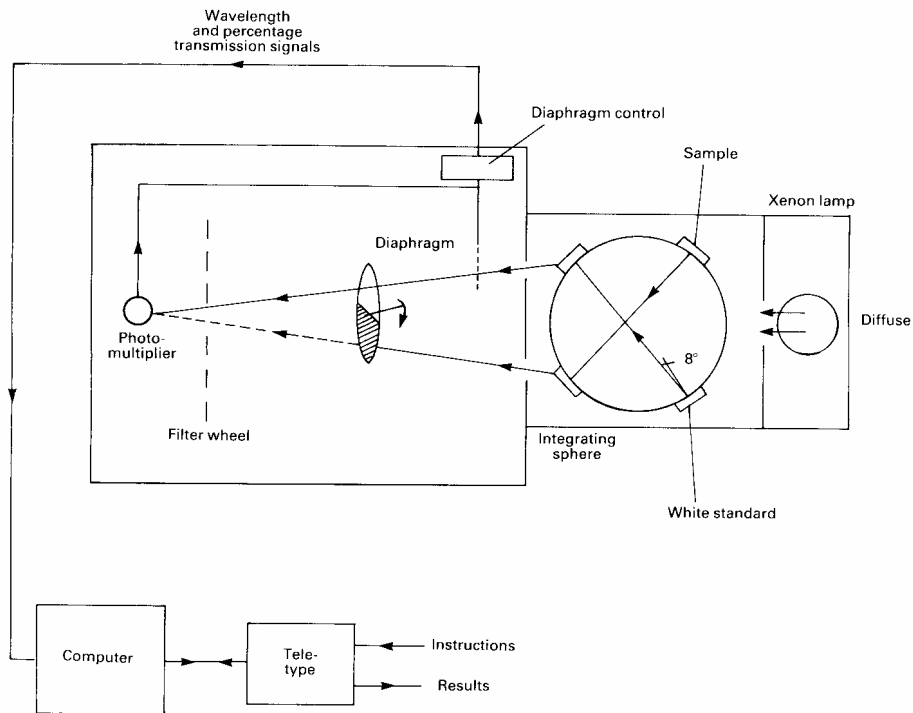


Figura 2.9 Espectrofotômetro de refletância Zeiss RFC3

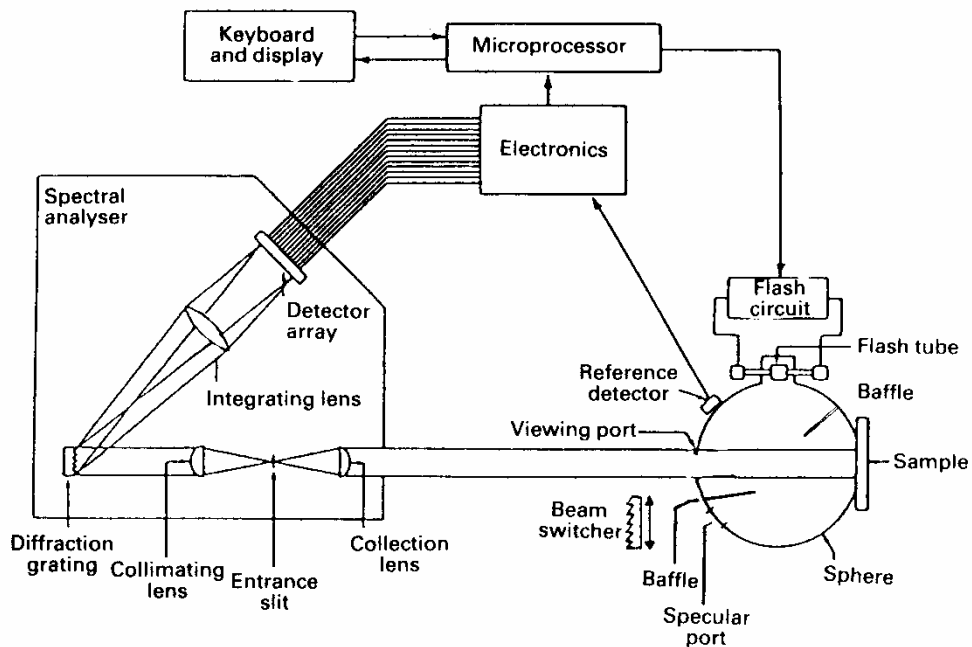


Figura 2.10 Espectrofotômetro Macbeth MS200

3 Calorimetria e o sistema CIE

Aspectos Fundamentais

A cor é extremamente importante no mundo moderno. Nós precisamos ver ao nosso redor as cores variadas produzidas nos têxteis, tintas, papeis e plásticos. Em maiores dos casos, a cor é um fator importante na produção do material e é vital para sucesso comercial do produto. Em alguns casos, como os alimentos usamos a cor para julgar a qualidade do mesmo e em outros casos, como embalagem a cor é importante em atrair os consumidores. Neste caso, a cor exata pode não ser crítica, mas é importante que a cor seja uniforme constante de um artigo para outro. Qualquer variação poderia ser perseguida como falta de cuidado na preparação ou armazenagem da embalagem e pode também compreender um descuido correspondente com relação aos conteúdos.

Em todos os ramos de ciências e engenharia, a mensuração ocupa uma parte importante. De maneira semelhante, no comércio, os materiais são normalmente comprados e vendidos por peso ou volume. Sem sistemas padronizados para medir a massa, volume e tempo a vida seria muito difícil. É obvio ter um sistema padronizado para medição e especificação da cor seja necessária. Todavia, há diferenças importantes entre cor, e, por exemplo, comprimento. O comprimento de um metro padrão, que até 1960 era usado como padrão do comprimento, permanecia constante apenas enquanto as condições tais como temperatura fossem adequadamente controladas. A cor de um objeto depende de muitos fatores tais como iluminação, tamanho da amostra e o ambiente e as cores circundantes. É muito mais importante dizer que a cor é um fenômeno subjetivo e depende de observador. A mensuração de fenômenos subjetivos tais como a cor, gosto e odor são, obviamente, mais difíceis do que a mensuração dos fenômenos objetivos tais como massa, comprimento e tempo. Ao se fazer uma medição devemos ter cuidado para considerar o objetivo que é a base para esta medição. É possível medir o tempo até uma fração de segundo. Basicamente nós precisamos obter medidas suficientemente exatas para os nossos objetivos. Uma maior exatidão será possível, mas, custará mais e será um desperdício. Todavia, com relação a cor nunca devemos esquecer que o objetivo final é produzir algo que seja agradável ou satisfatória para o observador. Se a cor parecer errada, ela está “errada”.

Quando a cor é discutida em geral, podemos considerar as lâmpadas coloridas, soluções coloridas ou superficiais coloridas, tais como tintas, plásticos e têxteis. Em quase todos as situações práticas, nossa consideração é com as superfícies coloridas, todavia, as propriedades das lâmpadas coloridas são usadas na especificação da cor das superfícies. É importante observar que a cor de um objeto depende do iluminante usado para iluminar a superfície, o observador e as

propriedades superficiais. Obviamente a natureza da superfície é o fator mais importante.

É naturalmente muito difícil projetar um sistema de medição de cor que tente descrever a cor que nós vemos. Precisamos pensar como devemos descrever uma cor. O que parece rosa (rose) para uma pessoa, pode ser chamado de rósea (pink) por outra. O sistema CIE basicamente tenta dizer como a cor poderá ser reproduzida em lugar de descrita e acontece que para muitas aplicações é só isto que é necessário.

Sabe-se bem que a cor é tridimensional. Isto é aparente em muitos casos. Atlas de cores tais como o Munsell Atlas, organiza as cores usando três escalas (hue (tonalidade), value (valor) e chroma (croma) no sistema Munsell). Em contraste com os corantes, as lâmpadas coloridas são mais fáceis de definir e reproduzir. Imagine a luz vermelha obtida pelo isolamento do comprimento de onda de 750nm do espectro. Todos os laboratórios no mundo capazes de medir o comprimento de onda com exatidão (uma medição física objetiva) poderiam produzir a mesma cor vermelha. Uma cor verde correspondente a 546,1nm poderia ser produzida mais facilmente. Uma lâmpada de mercúrio emite luz em apenas de quatro comprimentos de ondas na região visível (404,7, 435,8, 546,1 e 577,8 nm). Filtrando as outras três, pode-se obter o comprimento de onda de verde requerida. Os comprimentos de onda 404,7 e 435,8 nm podem ser obtidos de maneira semelhante. Pequenas variações nas condições de operação não tem efeitos significativos nos comprimentos de ondas emitidos pela lâmpada de mercúrio. Assim, três lâmpadas poderiam ser definidas simplesmente como comprimentos de ondas apropriadas e facilmente reproduzidas.

A mistura de três cores coloridas pode ser produzida de várias maneiras, mas a maneira mais simples é imaginando-se três refletores iluminando uma mesma área uma tela branca, Figura 3.1. A cor produzida poderia ser a mistura das três cores e é possível produzir uma grande variedade de cores pela variação da quantidade das três cores primárias.

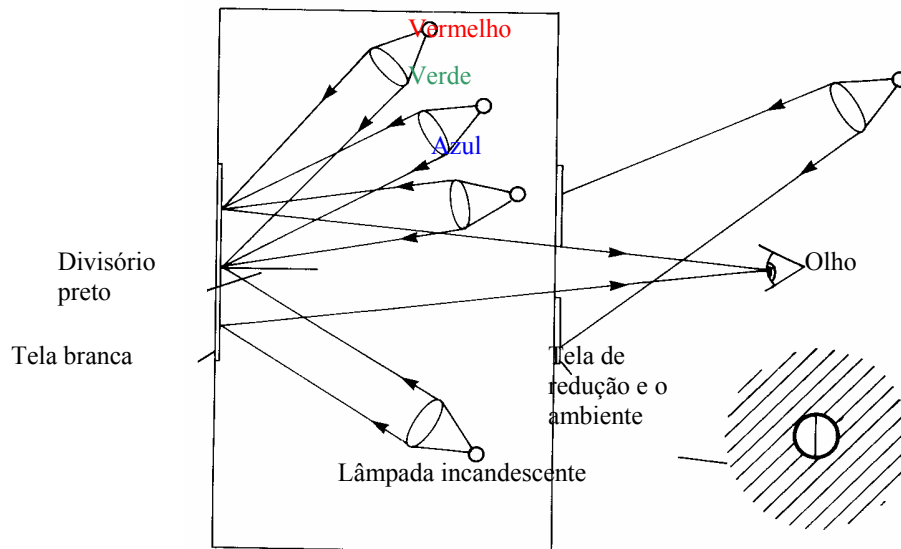


Figura 3.1 Mistura aditiva das cores usando três luzes coloridas, o detalhe mostra o campo visual do observador; a metade esquerda do campo circular interior é o estímulo da cor que tem origem na lâmpada incandescente, a metade direita é a mistura do estímulo vermelho, verde e azul; cada lâmpada é conectada em série com um resistor variável para controlar a quantidade de cada estímulo.

Misturas Aditiva e Subtrativa das Cores

Para aqueles acostumados a misturas os corantes ou pigmentos, a produção de cores pela mistura das luzes seria uma surpresa em alguns casos. Por exemplo, uma luz azul misturada com uma luz amarela pode produzir uma luz branca, enquanto luzes vermelha e verde podem ser misturadas para produzir amarelo. (a mistura de corantes amarelo e azul dariam verde, enquanto os corantes vermelho e verde provavelmente produziriam uma cor marrom sujo). Obviamente há algo fundamentalmente diferente com relação a mistura dos corantes (e pigmentos) e a mistura das luzes coloridas. Normalmente considera-se esta como um exemplo da mistura aditiva, enquanto a mistura do corante ou tinta é um exemplo da mistura subtrativa.

As misturas aditivas ocorrem quando duas ou mais luzes coloridas são projetada ao mesmo tempo de modo que vemos as duas luzes juntas. Considere as luzes vermelha e verde numa tela branca usando um dispositivo semelhante ao que mostrado na figura 3.1. A tela refletirá quase toda a luz incidente e a mistura de vermelho e verde nas proporções apropriadas serão visualizadas. Se a cor vista (amarelo) é surpreendente isto acontece simplesmente porque não estamos acostumados a misturar as cores dessa maneira. Note que as cores não interagem

entre si de maneira nenhuma. Se o vermelho e verde forem comprimentos de onda simples, ambos os comprimentos de onda são visualizados e uma não interfere com a outra de maneira nenhuma. Nós vemos o comprimento de onda vermelho mais o comprimento de onda verde que são chamadas de mistura aditiva.

Um método simples de demonstrar a mistura aditiva é pelo uso do disco de Maxwell. Este disco é feito de setores de várias cores e é rodado numa velocidade crescente. Acima uma certa velocidade as cores se fundem de maneira aditiva. As cores produzidas podem ser variadas alterando-se as áreas de setores coloridos separadas.

As misturas subtrativas ocorrem com maior freqüência, mas normalmente se constitui no processo mais complicado. O caso mais simples ocorre quando projetamos uma luz através de dois filtros de vidro coloridos como mostrado na figura 3.2. A luz passa através dos filtros em sucessão. Note que apenas a luz transmitida pelo primeiro filtro (F1) alcança o segundo filtro (F2). Cada filtro “subtrai” a luz e a única luz vista é aquela que passou através de ambos os filtros. Essa situação é completamente diferente da situação discutida acima com relação a mistura aditiva, na qual a luz transmitida por cada um dos filtros é visualizada.

Os exemplos mais importantes de mistura subtrativa acontecem quando misturamos tintas ou fazemos tingimento com uma mistura de corantes. Os resultados são freqüentemente previsíveis com base na experiência diária, mas os detalhes do processo são muito mais complicados.

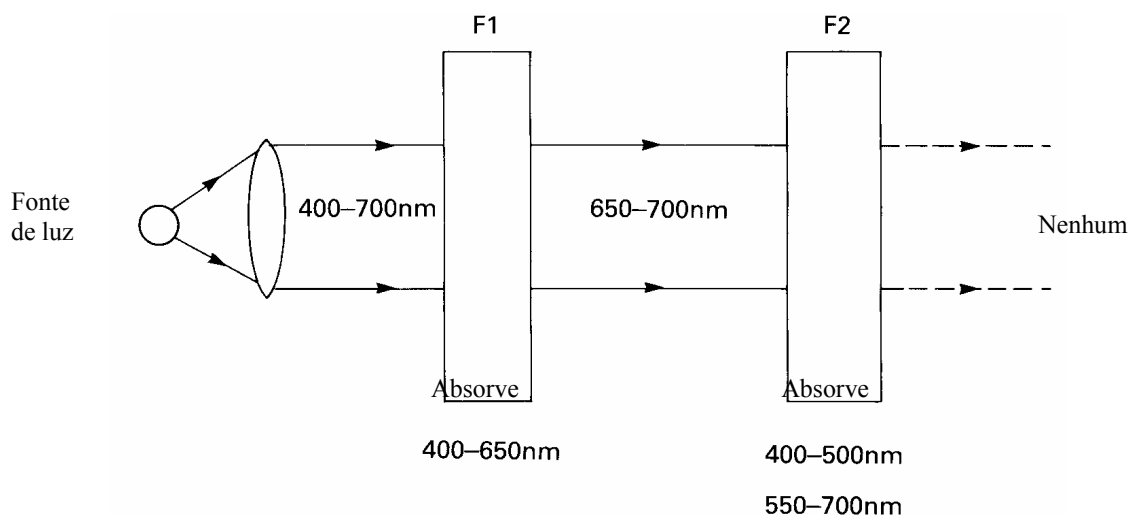


Figura 3.2 Efeito subtrativo dos filtros coloridos.

Vermelho

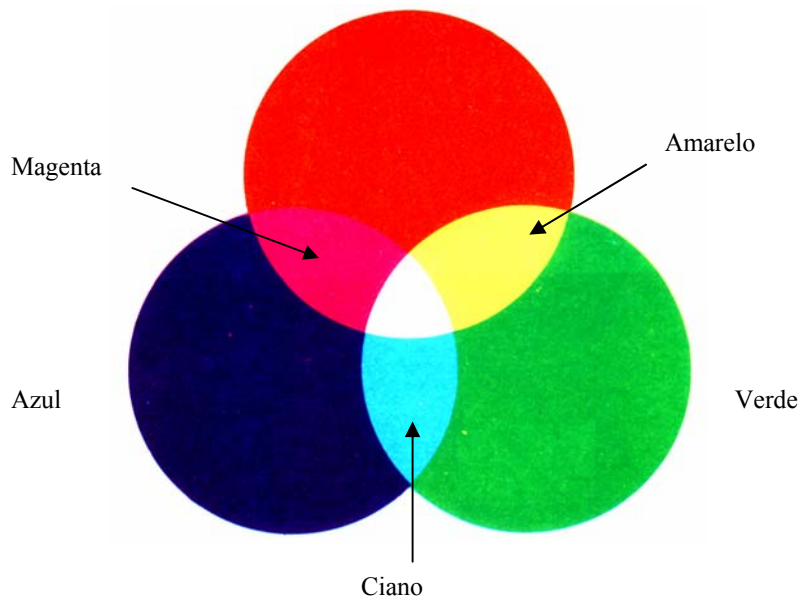


Figura 3.3 Sistema de Aditivo das cores

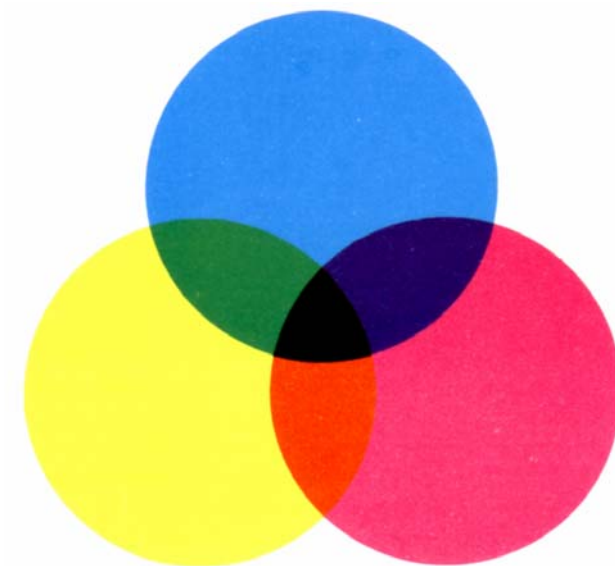


Figura 3.4 Sistema Subtrativo das cores

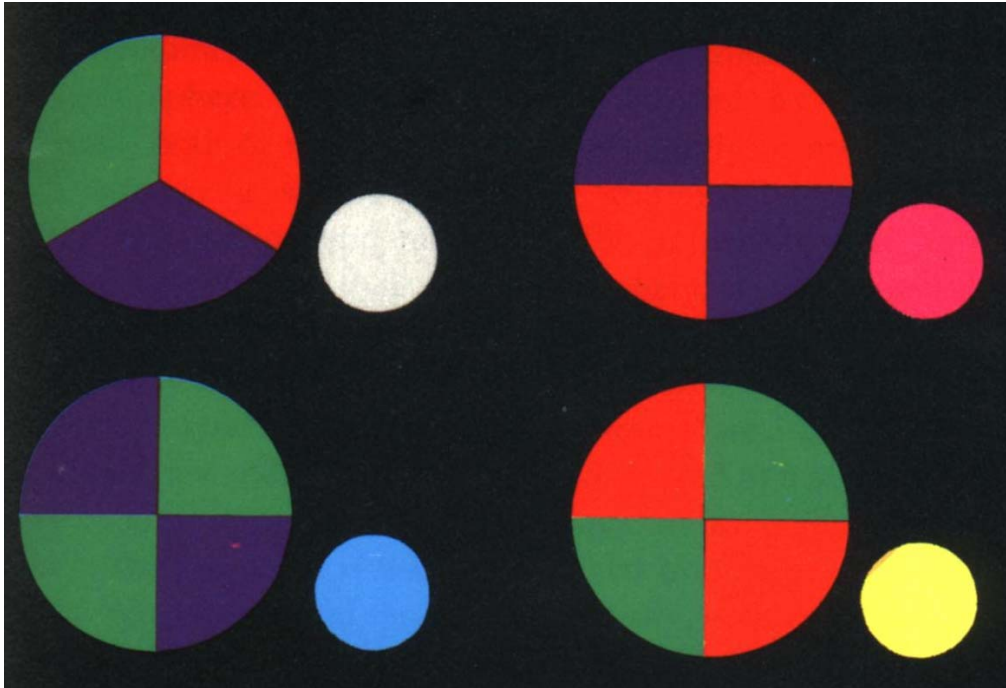


Figura 3.5 Discos de mistura ótica. Discos segmentados com as respectivas cores.

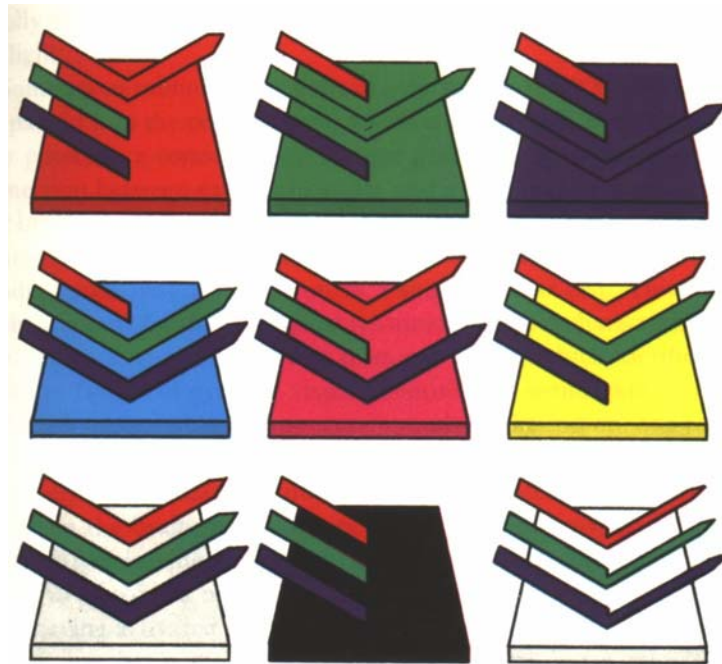


Figura 3.6 Absorção seletiva pelas superfícies coloridas

Propriedades da mistura aditiva das luzes

Foi mostrado anteriormente que podemos combinar (colour matching – combinação das cores) uma variedade de cores usando uma mistura digamos de primárias de vermelho, verde e azul. Supondo que as primárias são de comprimentos singelos e se usarmos para combinar com a luz branca contendo uma mistura de todos os comprimentos de onda na região visível usando a o arranjo como mostrado na figura 3.1. Todavia a mistura é fisicamente diferente da luz branca, com a ajustagem das quantidades das primárias podemos combinar com a luz branca. Isto é, que podemos produzir com a mistura uma cor branca idêntica daquela.

Este foi reconhecido pela Grassman que citou que “Estimulo da mesma cor (isto é , mesma cor, mesma intensidade e mesma saturação) produz efeitos idênticos na mistura sem nenhuma importância da sua composição espectral. Então, podemos tratar com as cores sem considerar suas composições espectrais, pelo menos em muitas aplicações. A lei de Grassman também implica, que se a cor A combina com a cor B e a cor C combina com a cor D, então a cor A misturado aditivamente com C combina com a cor B mistura do coma cor a cor D. Este é importante quando confederarmos que as cores normais são misturas aditivas de todos os comprimentos de onda no espectro visível”.

Supondo que representamos as fontes das luzes primárias, Vermelho, verde e azul pelo [R], [G] e [B]. Se usarmos estes para combinar com a cor [C] usando a

mistura das primárias, nos podemos representar as quantidades das primárias pelo R, G e B respectivamente. Nos podemos escrever a equação 3.1:

$$C[C] \equiv R[R] + G[G] + B[B] \quad (3.1)$$

Que é equivalente em dizer que C unidades da cor [C] pode ser combinado pela R unidades da primária vermelha [R] misturada aditivamente com G unidades da primária verde [G] junto com B unidades da primária [B]. Deve ter cuidado para distingui claramente entre as primárias entre si, ex. [R], e as quantidades das primárias usadas numa combinação, isto é R. As quantidades usadas de cada primária, isto é, R, G e B são conhecidos como os valores *tristimulus* da cor [C]. Estes valores dependem da cor [C]. Se os valores sendo conhecidos, eles deram a indicação da cor. Então, se R e B são altas e G é baixo, a cor pode ser combinada com muita Vermelha e azul e pouca Verde. Neste caso a cor seria mais ou menos de púrpura. A cor exata depende obviamente da natureza exata das primárias [R], [G] e [B], e se eles são mais puras a cor seria púrpura saturada.

Em maioria dos casos a equação 3.1 pode ser tratada como uma equação algébrica ordinária. Então se:

$$C_1[C_1] \equiv R_1[R] + G_1[G] + B_1[B] \quad (3.2)$$

$$C_2[C_2] \equiv R_2[R] + G_2[G] + B_2[B] \quad (3.3)$$

Então uma mistura aditiva de unidades C_1 unidades de $[C_1]$ com C_2 unidades de $[C_2]$ pode ser combinado com R_1 mais R_2 unidades da primária [R] aditivamente misturada com G_1 mais G_2 unidades da primária verde [G], junto com B_1 mais B_2 unidades da primária azul [B], isto é.

$$C_1[C_1] + C_2[C_2] \equiv (R_1 + R_2) [R] + (G_1 + G_2) [G] + (B_1 + B_2) [B] \quad (3.4)$$

Se precisarmos selecionar e definir três primárias específicas [R], [B] e [G], as quantidades de cada uma desta necessária para combinar qualquer cor (isto é, os valores tristimulus, R, G e B) poderia usado para especificar a cor. Cada cor diferente terá conjunto de valores tristimulus diferentes e na prática podemos deduzir a aparência da cor dos valores tristimulus. Todavia tal sistema sofre de um número de defeitos:

- Uso de primárias selecionadas aleatoriamente
- Inadequação das primárias reais
- Inadequação da observação visual

3.3.1 Observador Padrão – Funções de combinação da cor

Se imaginar um calorímetro visual tristimulus semelhante ao mostrado na figura 3.1, no qual uma metade do campo de visão consiste uma mistura de [R], [G] e [B] primárias, enquanto a cor na outra metade é um comprimento de onda singela. Para produzir uma combinação experimentalmente, é preciso de adicionar alguma de [R], [G] ou [B] ao comprimento de onda a ser combinado.

O CIE adaptou três primárias não reais [X], [Y] e [Z] e as funções da combinação da cor em termos destas primárias são denominadas pela \bar{x} , \bar{y} e \bar{z} e sempre são positivos.

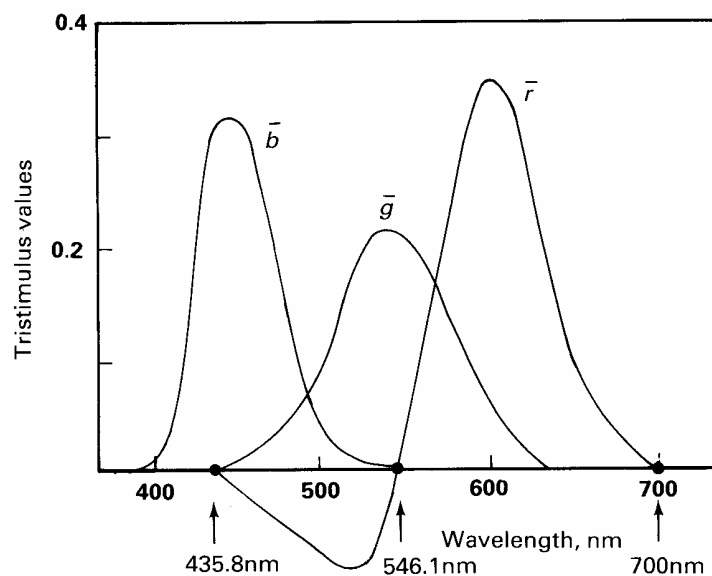


Figura 3.7

Valores tristimulus \bar{r} , \bar{g} , \bar{e} , \bar{b} dos estímulos espectrais em comprimentos de ondas diferentes, mas, a radiação constante medido pelo observador médio com visão de cor normal usando os primários como [R] à 700nm, [G] à 546,1 e [B] à 435,6 nm.

3.3.2 Calculo dos valores tristimulus dos valores da refletância

Supondo que temos uma superfície de uma amostra, ex. uma superfície pintada, e já foi medida a fração da luz refletida de cada comprimento de onda. Se denotarmos esta fração como R_λ (maioria dos instrumentos dá a porcentagem da luz refletida, isto é, 100 vezes). Desde que a amostra não é fluorescente, os valores serão completamente independentes da luz usada na amostra. Por exemplo, uma tinta branca, reflete 90% da luz incidente (isto é, $R_\lambda \approx 0,9$) vamos dizer, à 500nm

iluminado por luz do dia forte ou uma lâmpada de tungstênio fraca. Todavia, a quantidade real refletida será diferente para diferentes fontes de luz. Se a quantidade da luz usada na superfície no comprimento λ é E_λ então, a quantidade da luz refletida no mesmo comprimento de onda será E_λ vezes R_λ .

Se considerarmos somente um comprimento de onda λ , uma unidade de energia de λ pode ser combinada pela uma mistura aditiva de \bar{x}_λ unidades de [X] com \bar{y}_λ unidades de [Y] e \bar{z}_λ unidades de [Z]. Os valores de $E_\lambda R_\lambda$ pode ser escrito como:

$E_\lambda \bar{x}_\lambda R_\lambda[X] + E_\lambda \bar{y}_\lambda R_\lambda[Y] + E_\lambda \bar{z}_\lambda R_\lambda[Z]$ em concordância com as propriedades da luz. Também das propriedades da mistura aditiva das luzes que a luz refletida nos dois comprimentos de ondas λ_1 e λ_2 , isto é, $E_{\lambda_1} R_{\lambda_1} + E_{\lambda_2} R_{\lambda_2}$ pode ser combinado com $E_{\lambda_1} \bar{x}_{\lambda_1} R_{\lambda_1}$ mais $E_{\lambda_2} \bar{x}_{\lambda_2} R_{\lambda_2}$ unidades de [X] misturados com $E_{\lambda_1} \bar{y}_{\lambda_1} R_{\lambda_1}$ mais $E_{\lambda_2} \bar{y}_{\lambda_2} R_{\lambda_2}$ unidades de [Y] misturado com $E_{\lambda_1} \bar{z}_{\lambda_1} R_{\lambda_1}$ mais $E_{\lambda_2} \bar{z}_{\lambda_2} R_{\lambda_2}$ unidades de [Z].

A quantidade de energia total refletida sob o espectro visível é a somatória das quantidades refletidas em cada comprimento de onda. Este pode ser representado simplesmente,

$$\sum_{\lambda=380}^{760} E_\lambda R_\lambda$$

Onde o sigma significa que os valores de $E_\lambda R_\lambda$ para cada comprimento de onda através da região visível deve ser adicionada e os limites de $\lambda = 380$ e 760nm são as fronteiras da região visível. Estritamente, o espectro deve ser dividido em infinitesimalmente pequenos intervalos do comprimento de onda ($d\lambda$) e a total quantidade da luz é dada por:

$$\int_{380}^{760} E_\lambda R_\lambda d\lambda$$

mas na prática a somatória é usada.

Representando as quantidades de [X], [Y] e [Z] na mesma maneira, a luz refletida da superfície pintada pode ser combinada pela:

$$\sum E_\lambda \bar{x}_\lambda R_\lambda + \sum E_\lambda \bar{y}_\lambda R_\lambda + \sum E_\lambda \bar{z}_\lambda R_\lambda \cdot$$

Desde que a luz refletida da superfície pintada também pode ser combinada pelo:

$$X[X] + Y[Y] + Z[Z]$$

Que segue,

$$X = \sum E_{\lambda} \bar{x}_{\lambda} R_{\lambda}$$

$$Y = \sum E_{\lambda} \bar{y}_{\lambda} R_{\lambda}$$

$$Z = \sum E_{\lambda} \bar{z}_{\lambda} R_{\lambda}$$

Desde que E , \bar{x} , \bar{y} , \bar{z} e R_{λ} sendo conhecidos, os valores tristimulus X, Y e Z podem ser calculados.

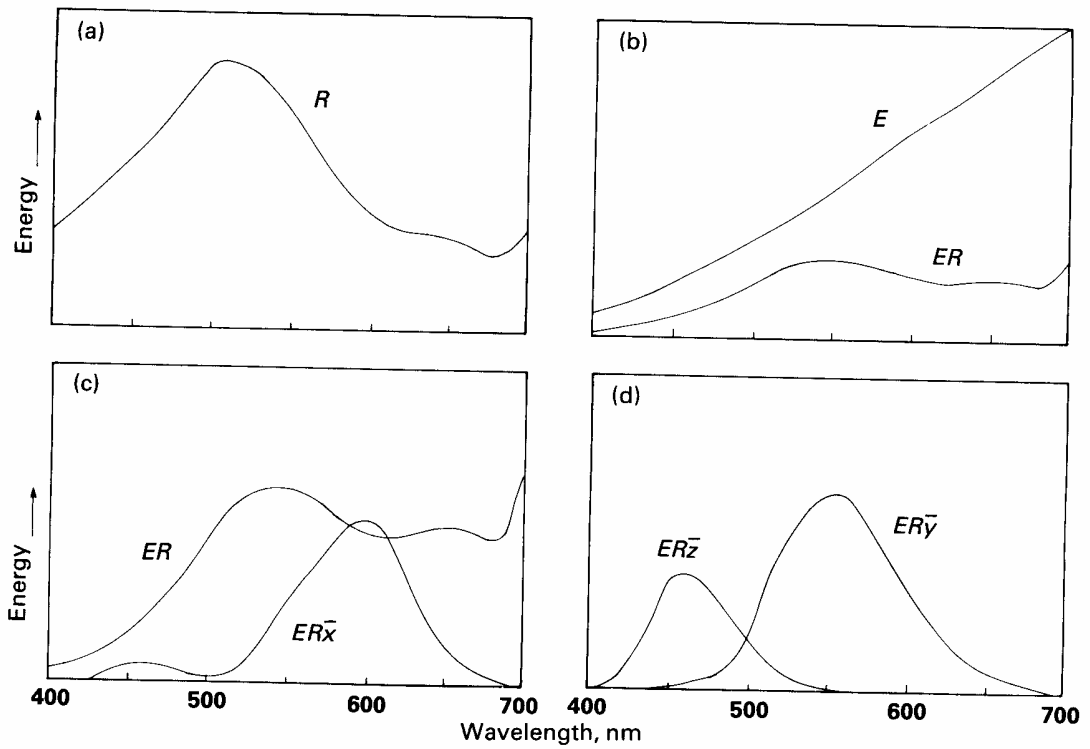


Figura 3.8 Cálculo dos valores tristimulus

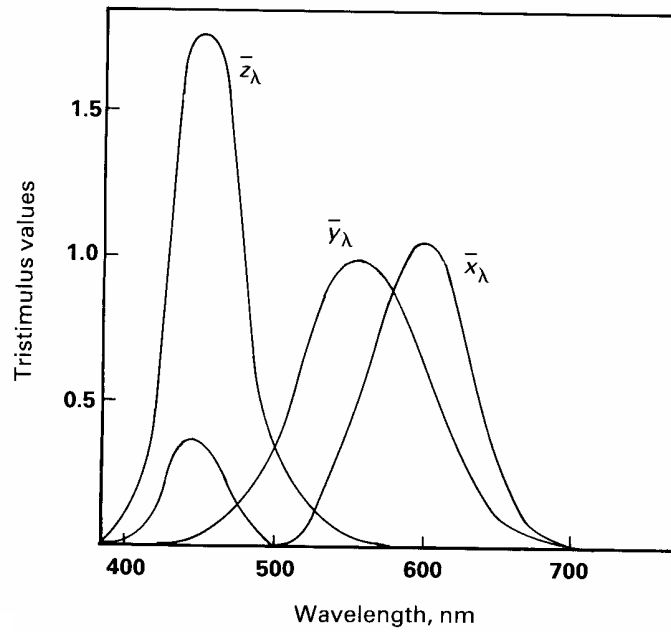


Figura 3.9 – Tristimulus values \bar{x} , \bar{y} and \bar{z} derived by a linear transformation from the tristimulus values \bar{r} , \bar{g} and \bar{b} shown in Figure 3.4; the values \bar{x} , \bar{y} and \bar{z} refer to imaginary primaries [X], [Y] and [Z] and define the colour matching properties of the 1931 standard observer

4. COR

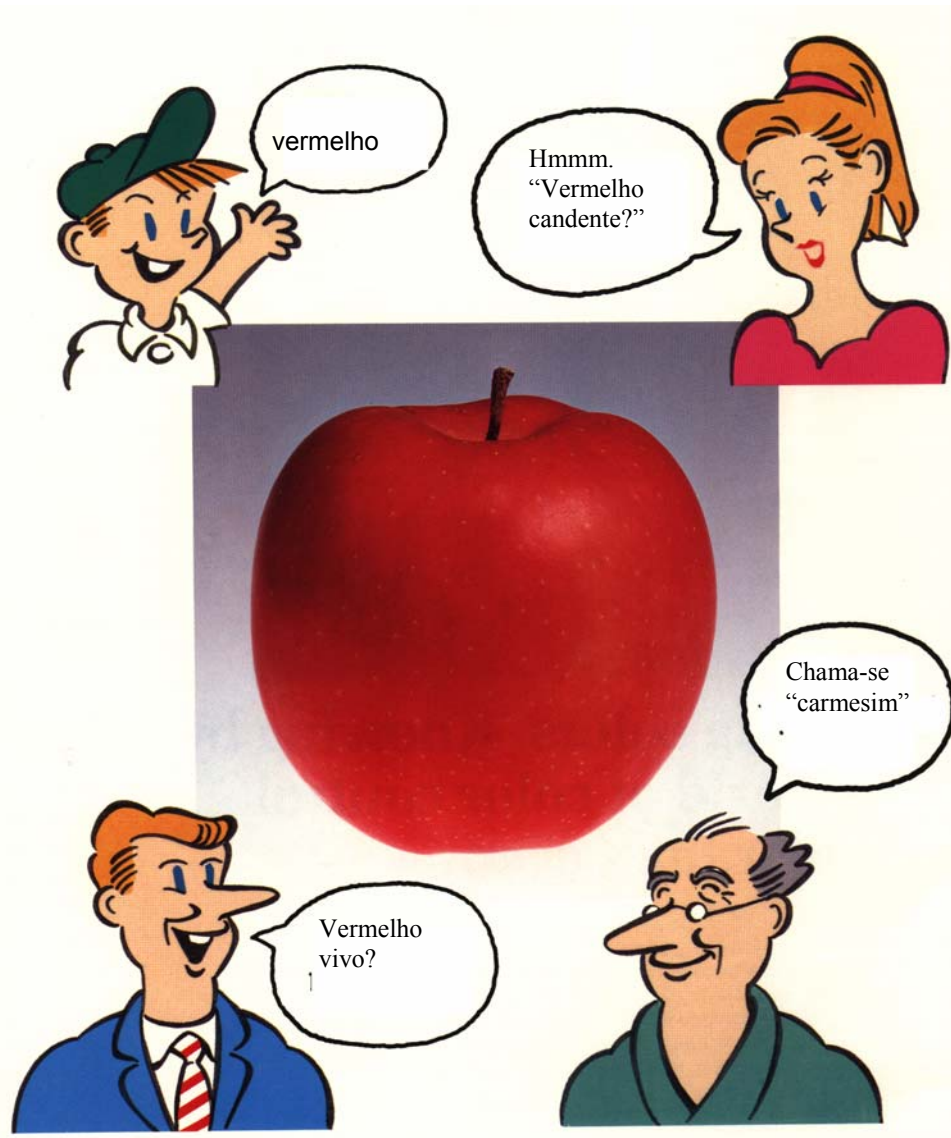


Figura 4.1 A cor da maçã.

4.1 A expressão da cor na maioria das vezes significa dez cores diferentes para dez pessoas. “A cor é” um tópico muito difícil.

Se você mostrar uma maçã para quatro ou cinco pessoas diferentes, você receberia quatro ou cinco respostas diferentes com relação a sua cor.

A cor é uma questão de percepção e interpretação subjetiva. Para expressar a mesma cor, várias pessoas terão percepções diferentes dessa cor e usaram palavras diferentes para se referir à mesma cor. Porque há grande variedade de expressões é que a identificação de uma cor específica é tão difícil e vaga. Podemos dizer a alguém que “a cor da maçã é vermelho vivo” e esperar essa pessoa reproduza essa mesma cor? A expressão verbal da cor é simplesmente muito complicada e difícil. Mas, se existissem métodos padronizados pelos quais as cores pudessem ser expressas corretamente, a identificação da cor tornar-se-ia mais simples e mais clara. A identificação precisa, em outras palavras, simplesmente eliminaria os problemas referentes à identificação da cor.

4.2 Os nomes comuns das cores e os nomes gerais das cores: Até que ponto as palavras podem expressar uma cor?

As palavras que expressam as cores sempre mudam com o tempo. Se considerarmos, por exemplo, o vermelho do qual estamos falando teremos vários termos para expressar a mesma cor “vermelhão”, “rubro”, “carmesim”, “escarlate”. Estes termos são chamados de “nomes comuns da cor”.

Hoje uma expressão um tanto mais precisa é obtida pelo uso de adjetivos como, “vivo”, “fosco” e “profundo”. Termos como “vermelho vivo” usado pelo homem na figura acima, são chamados de “nomes gerais da cor”.

Todavia, existem muitos dispositivos usados para uma melhor definição, as pessoas ainda interpretarão os termos “carmesim” ou “vermelho vivo” em formas diferentes. Obviamente isto ainda não está muito claro.

Como as cores devem ser verbalizadas sem confundi-las?

Vemos na Figura 4.2, duas bolas vermelhas. Agora diga a diferença entre elas.

Para entender melhor o termo que melhor expressa a cor, vamos dar uma olhada na cor:

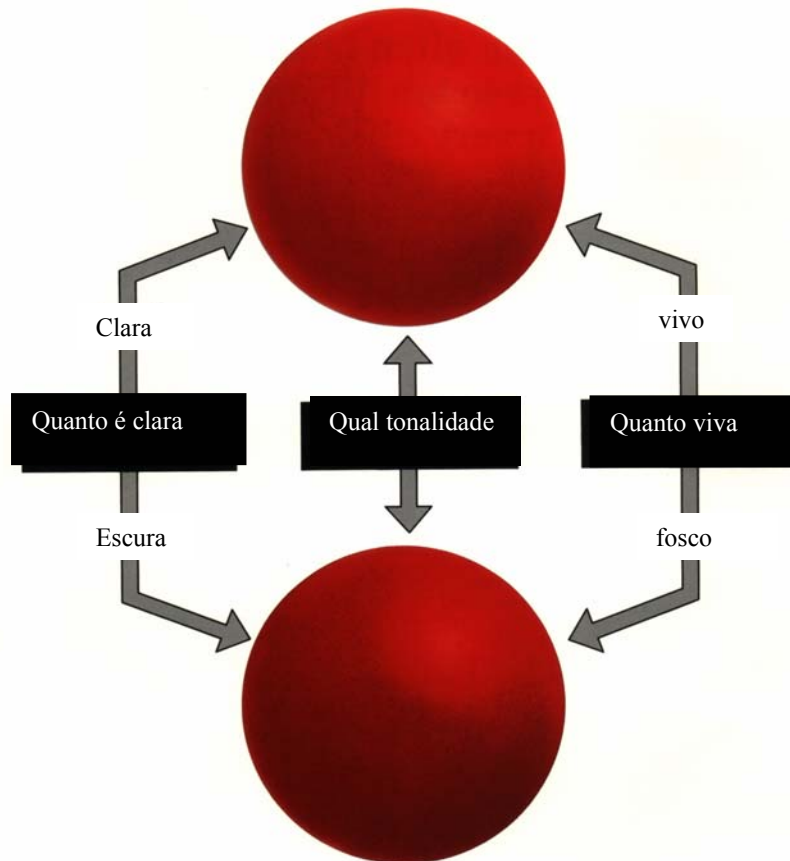


Figura 4.2 Duas bolas vermelhas.

Vermelho é a cor das bolas. Elas são extremamente semelhantes, então qual a diferença entre elas?

A primeira vista as duas bolas vermelhas da Figura 4.2, parecem iguais, mas após um exame mais profundo sabemos que elas são diferentes. Mas, em quantas vezes? A COR das duas bolas é vermelha, mas, a bola de cima é um pouco mais CLARA do que a bola de baixo – e a bola de baixo é mais escuro. No mesmo tempo, a bola de cima aparece mais VIVA, onde a bola de baixo certamente não é. Quando

as cores são classificadas, elas podem ser quebrados em três elementos primários delas “cor (hue)”, “brilho (lightness)” e “saturação (saturation)”.

4.3 Cor, Valor e Croma (Hue. Value. Chroma).
O mundo da cor é uma combinação destes três elementos.

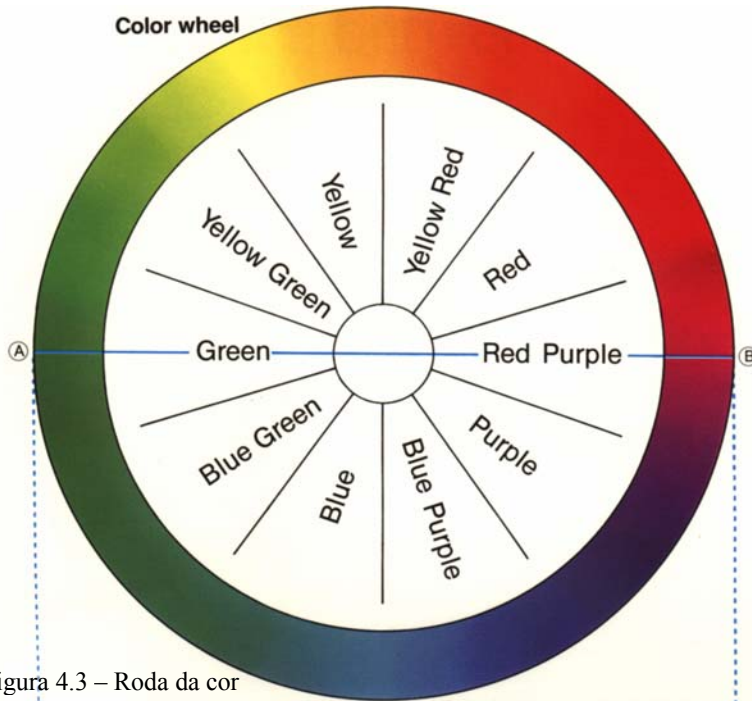


Figura 4.3 – Roda da cor

Mudanças no valor e croma da púrpura avermelhada e da

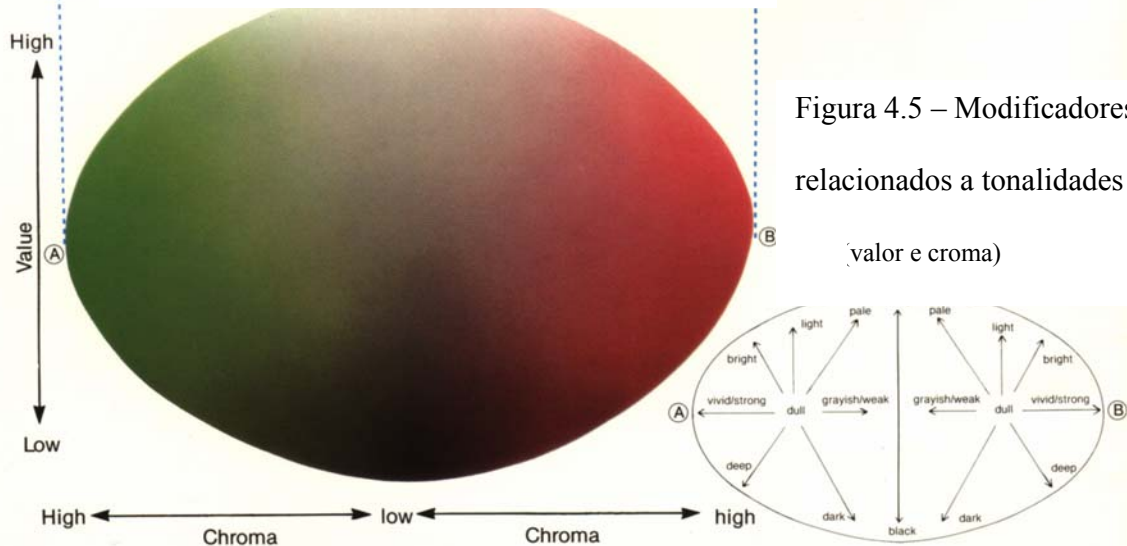


Figura 4.5 – Modificadores relacionados a tonalidades da (valor e croma)

Figura 4.4

A cor é “hue”
Brilho é “valor”
Saturação é “croma”:
Este é o mundo da cor.
“Vermelho”, “amarelo”, “verde”, “azul”

4.3.1 Hue – “cor” forma a roda da cor.

As maçãs são vermelhas, limões são amarelos, o céu é azul – e como assim que nos percebemos a cor na linguagem do dia a dia. O termo usado para distinguir estas cores vermelhas, amarelo, e azul é chamado “cor (hue)”. Claro, o que nos chamamos de “vermelho”, e “amarelo” são cores completamente diferentes, mas se você misturar duas tintas de vermelho e amarelo, você terá amarelo-vermelho, com amarelo e verde, amarelo-verde; azul com verde, azul-verde e diante. A continuidade a continua destas cores cria a roda como mostrado na Figura 4.3.

Cores claras, cores escuras.

4.3.2 Valor (Value) – O brilho (lightness) das cores muda verticalmente.

As cores podem ser separadas em cores “claras” e “escuras”, quando os seus valores são comparados. Se tirarmos como um exemplo a cor amarela de um limão e de uma toranja, sem dúvida o amarelo do limão é mais claro. Se for o caso, qual seria a relação entre o amarelo do limão e o vermelho de uma cereja doce? Ainda, o amarelo do limão é claro, e esta cor clara, que pode ser medida independentemente da cor (hue), é o valor (value). Agora podemos observar a figura 4.4, que corresponde a secção transversal da Figura 4.3 quando é cortado entre [Ⓐ] (verde) e [Ⓑ] (vermelha púrpura). Como a figura indica, que o valor aumenta para cima e diminui para baixo.

Cores vivas, cores foscas.

4.3.3 Cromo (chroma) - “Saturação” (saturation) varia horizontalmente.

Quando voltamos ao exemplo do amarelo, como você compararia a cor de um limão e a cor de uma banana? Você pode dizer que o limão é mais claro como foi dito anteriormente, mas a ponto de vista desta vez, ele é “vivo” mas da banana é “fosco” – outra diferença grande, mas desta vez a intensidade da cor, ou a clareza. A terceira propriedade da cor que pode ser distinguida de valor (value) e cor (hue) é o “cromo” (chroma). Como o valor varia verticalmente na Figura 4.4, o cromo varia horizontalmente. As cores no centro são cores apagadas. A Figura 4.5 mostra as tonalidades da cor que indica o valor e cromo de uma cor específica. Para uma melhor expressão exata da cor com palavras, refere-se ambas as Figuras 4.4 e 4.5.

4.4. Visualização tridimensional das cores em termos de matiz, valor e croma.

Se você combina a roda das cores com o eixo vertical de valor e um eixo horizontal de croma a partir do centro.

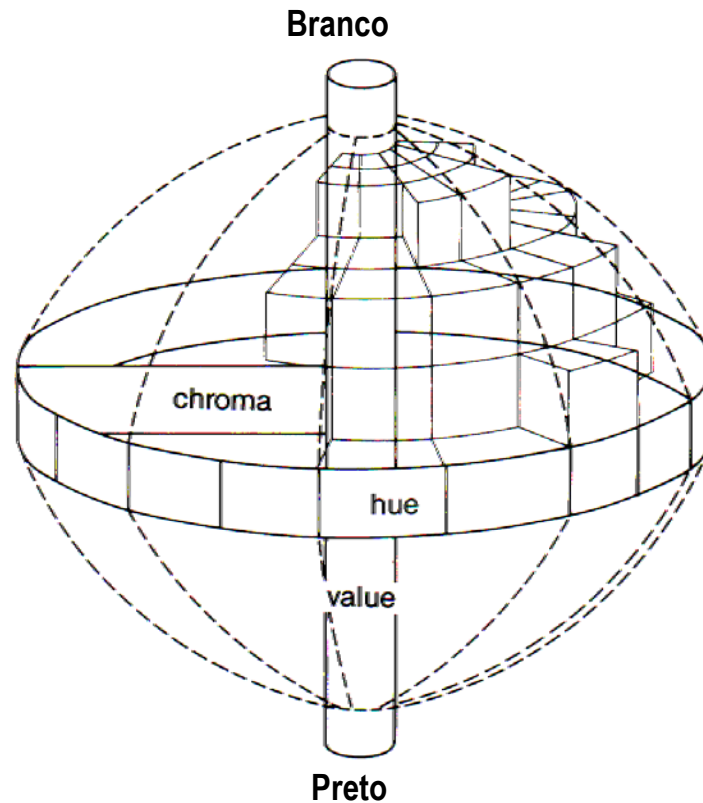


Figura 4.6 Sistema 3D das cores

Matiz, valor e croma. Estes três elementos são as três características da cor, e podem ser visualizados em três dimensões como é mostrado na figura 4.6. Os matizes das cores encontram-se na parte exterior ao redor do eixo central, com o valor formando o eixo vertical e o croma o eixo horizontal a partir do centro. Se os três atributos mostrados na figura 4.6, fossem realmente combinados em um sistema tridimensional, eles apareceriam como um sólido de cor como mostrado na figura 4.7. Por que o croma passa no eixo horizontal e varia com cada matiz e valor, o sólido final assume uma configuração um pouco complicada. Quando é expressa numa figura como esta, a relação entre matiz, valor e croma torna-se muito mais clara.

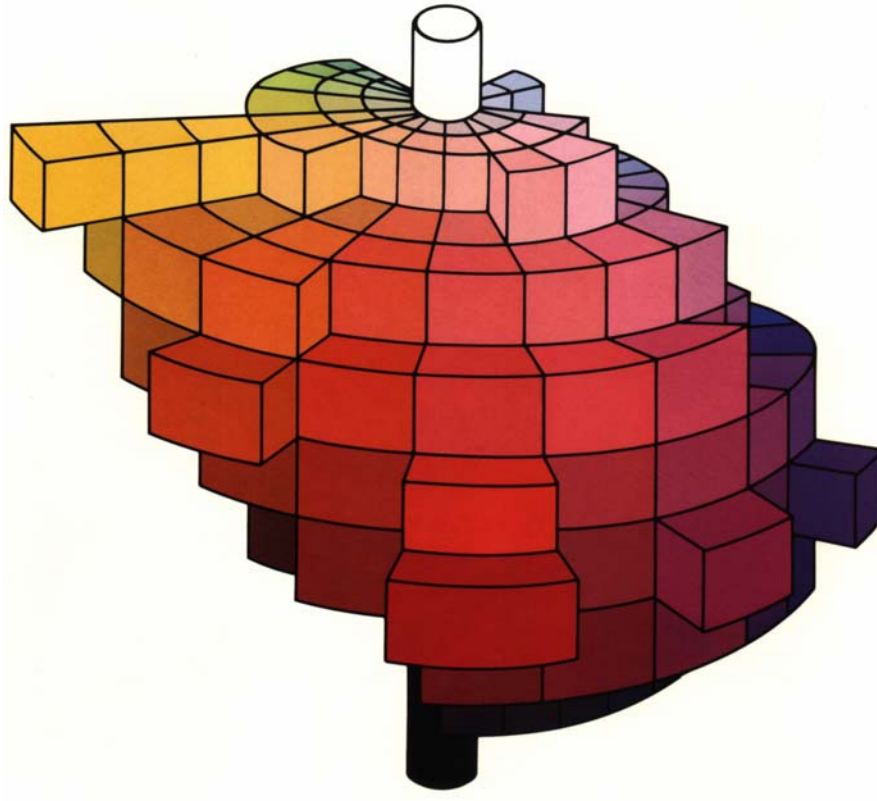


Figura 4.7 Sólido da cor

4.5 Expressando as cores mais precisa do que com as palavras: Comunicação numérica da cor

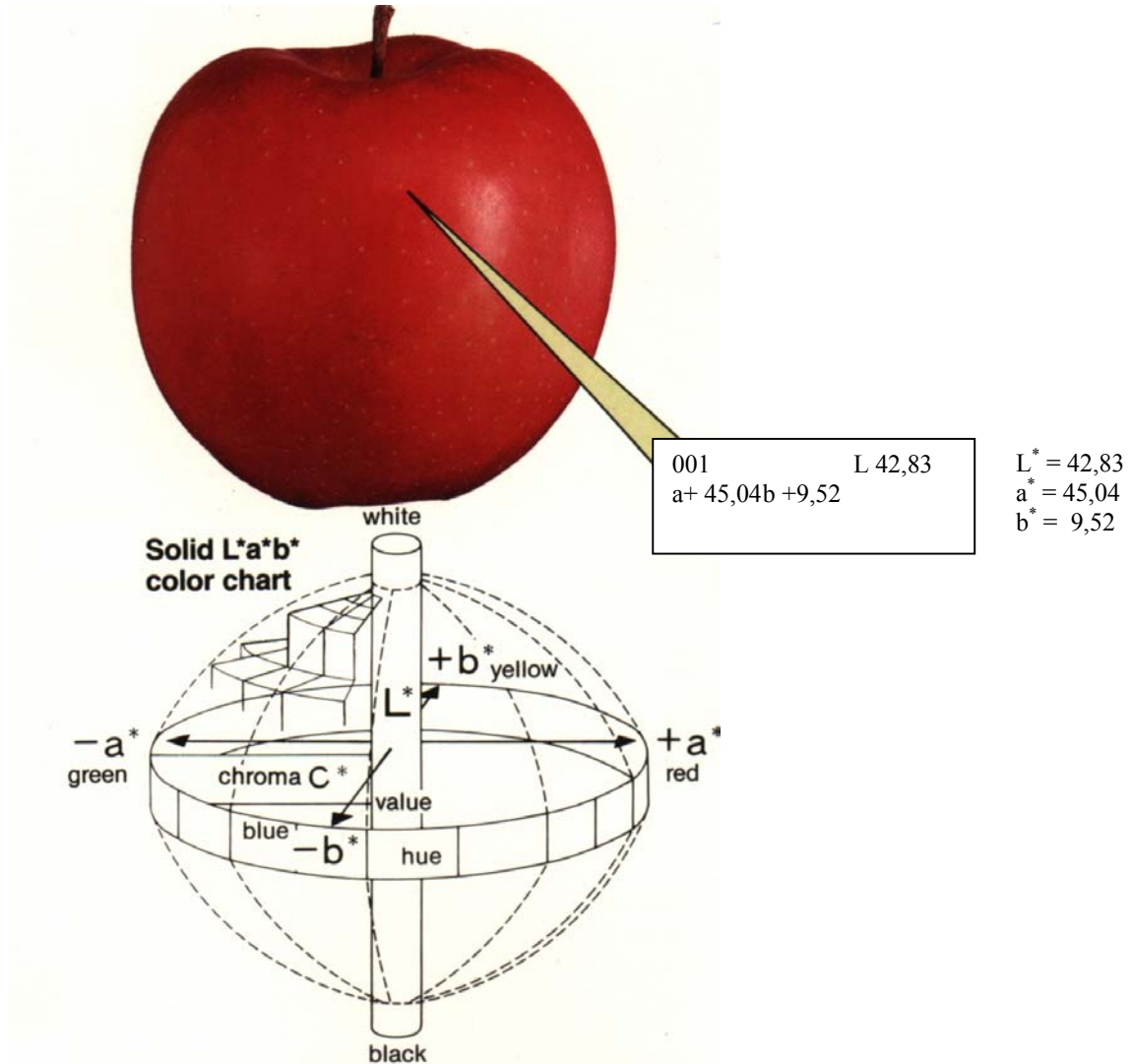


Figura 4.8 Tabela do Sólido de cor $L^* a^* b^*$

Se a cor da maçã fosse expresso numericamente, ela seria:

$$L^* = 42,83 \quad a^* = 45,04 \quad b^* = 9,52$$

Algumas pessoas podem rapidamente chegar a conclusão que se a cor pode ser dividida em matiz (ou cor) (hue), valor (value) e croma (chroma), então deve haver ainda uma maneira mais precisa para expressar-la. Eles estão certos. O aparelho Minolta Chroma Meter CR-200 converte todas as cores dentro da faixa da percepção humana, em códigos numéricos comuns para que finalmente qualquer pessoa seja capaz de dizer exatamente de qual cor ela esta falando. Para ter uma idéia de como

isto funciona, veja a Figura 4.8 que mostra o sistema de notação da cor $L^* a^* b^*$ (dito como L-estrela, a-estrela e b-estrela).

Quando uma cor é expressa neste sistema, o valor torna-se " L^* ", enquanto a matiz e croma são expressos como a^* e b^* .

a^* e b^* indicam os dois eixos da cor, como o eixo vermelho-verde a^* , e o eixo amarelo-azul b^* . Se voltarmos à maçã no início desta discussão, a sua cor vermelha poderá ser quantificada como: [$L^* = 42,83$ $a^* = 45,04$ $b^* = 9,52$], e o que esses números significam? Se observamos a figura 4.9: o ponto no qual $a^* = 45,04$ e $b^* = 9,52$, que interpreta é a cor desta maçã. Ao mesmo tempo, croma C^* é adicionado para que quando os eixos de croma e valor quando forem comparados como na Figura 4.10, a tonalidade de cor final seja obtida. Se isto fosse expresso em terminologia geral, tornar-se-ia "púrpura vermelha viva".

Croma C^* é descrito pela equação $C^* = \sqrt{a^{*2} + b^{*2}}$

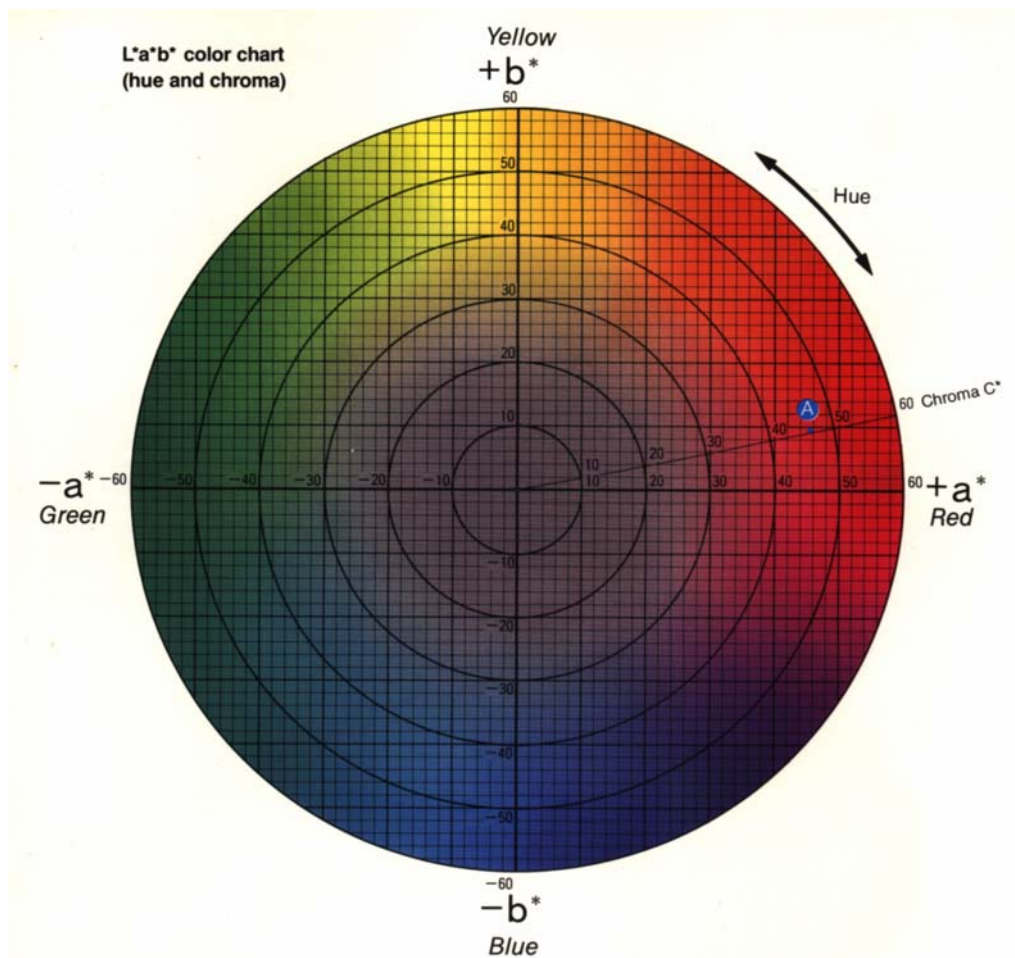


Figura 4.9 Gráfico da cor $L^* a^* b^*$ (matiz e croma)

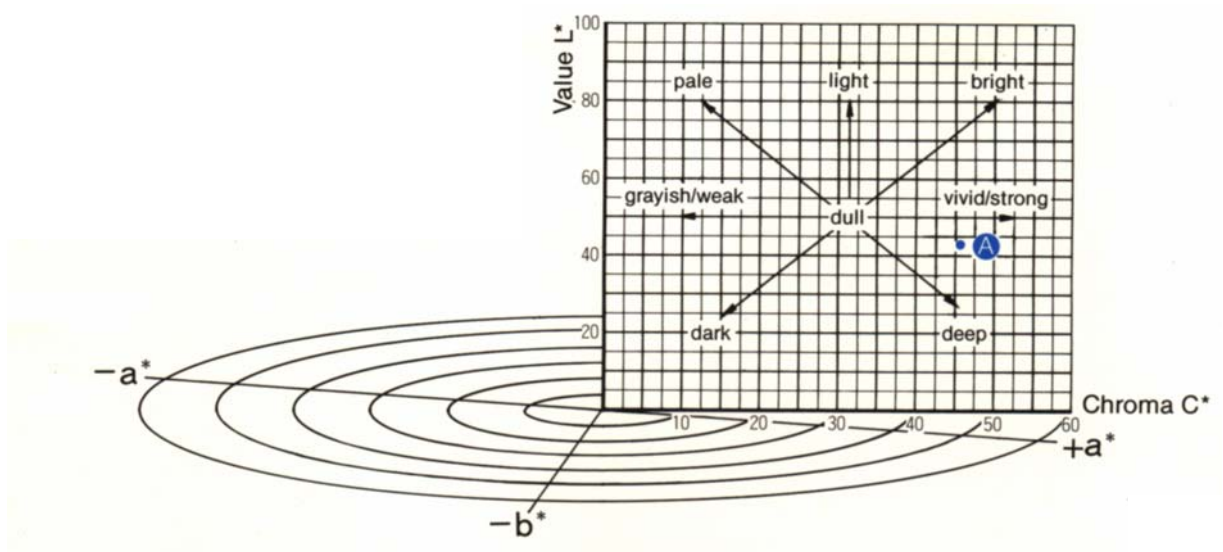
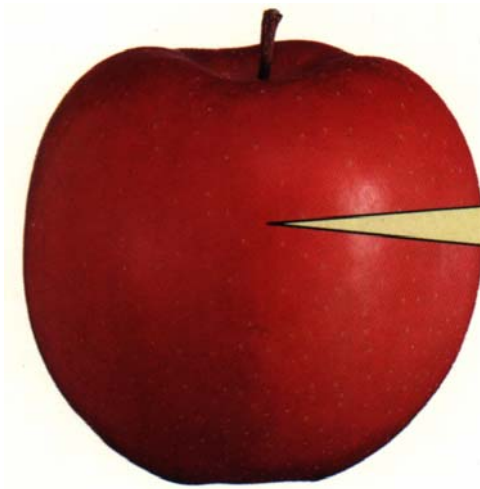


Figura 4.10 Modificadores relacionados da cor (Figura 4.9) girado 90° com valor L^* estendido acima da linha traçada do centro através da cromia.

4.7 Expressão numérica da cor: o sistema fundamental psicofísico da cor chamado sistema da cor Yxy.

Lembra-se que Y é a luminosidade e xy é a tonalidade (matiz e saturação) quando é mostrado no Cromo Meter CR200.

O Minolta Chroma Meter emprega o sistema de notação da cor Yxy além do sistema $L^* a^* b^*$ para aumentar a faixa de aplicações. A maçã que nos vimos antes no sistema $L^* a^* b^*$ é expresso como seguinte no sistema Yxy:



002	Y 13,05
x . 4601	y . 2873

Y = 13,05
x = 0,4601
y = 0,2873

Neste sistema, x e y expressam a tonalidade da cor como mostrado na Figura 4.15. O matiz e o croma podem ser determinados dos valores x e y, enquanto a luminosidade, ou o valor Y, é expresso como uma porcentagem. Claro que as diferenças da cor podem ser determinadas do valor Yxy.

Observação:

- O sistema Yxy possui uma limitação causada por seu espaçamento visual não uniforme; esta limitação é corrigida pelas equações de transformações simples que resulta no sistema $L^* a^* b^*$.

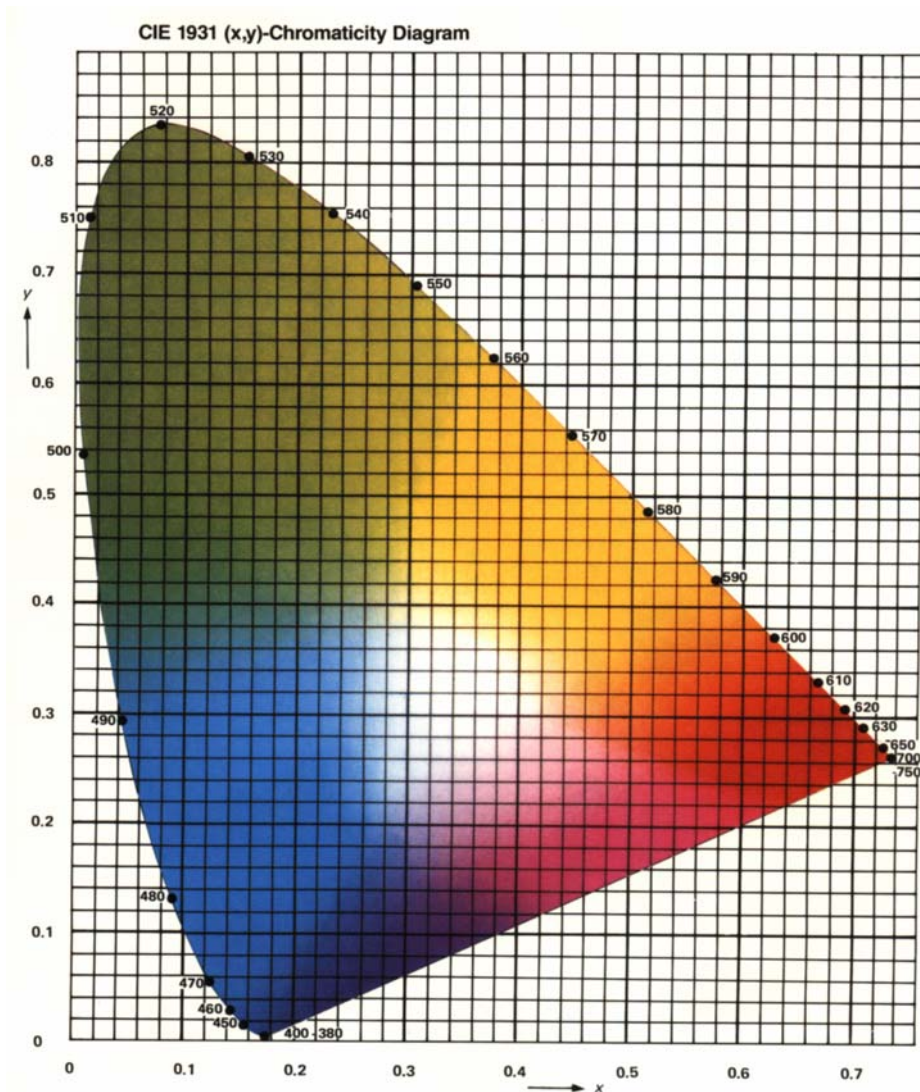
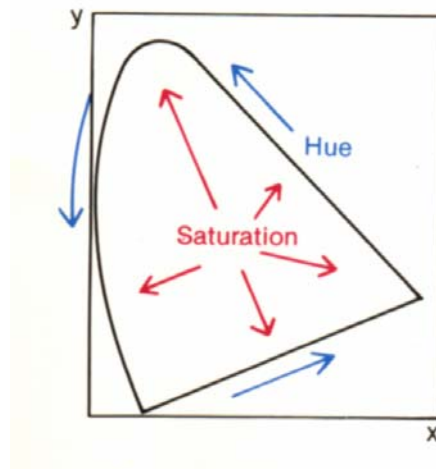


Figura 4.15 Diagrama de Cromaticidade (x, y) do CIE 1931.



4.8 O sistema de cor Munsell - (Munsell color system) usa abreviaturas para diferenciar as cores. - Nem todas as palavras nem todos os números.

4.8.1 O que é a notação Munsell?

As cores também podem ser identificadas pela designação de letras e números aos vários estágios numa tabela tridimensional. Inicialmente desenvolvido pela Munsell, um artista norte americano A. H. Munsell. Esta tabela apropriadamente, foi chamado de tabela (mapa) de cor de Munsell (Munsell color chart).

Na figura 4.16, se observamos o “5R” (para vermelho), abreviatura para matiz (também 10R para vermelho, 5YR para amarelo vermelho, etc.). Os números de valor e croma são designados de acordo com a figura 4.17, com o valor correndo verticalmente e croma correndo horizontalmente. As notações de Munsell são designadas pela combinação destas duas tabelas e são amplamente utilizadas no trabalho de desenho.

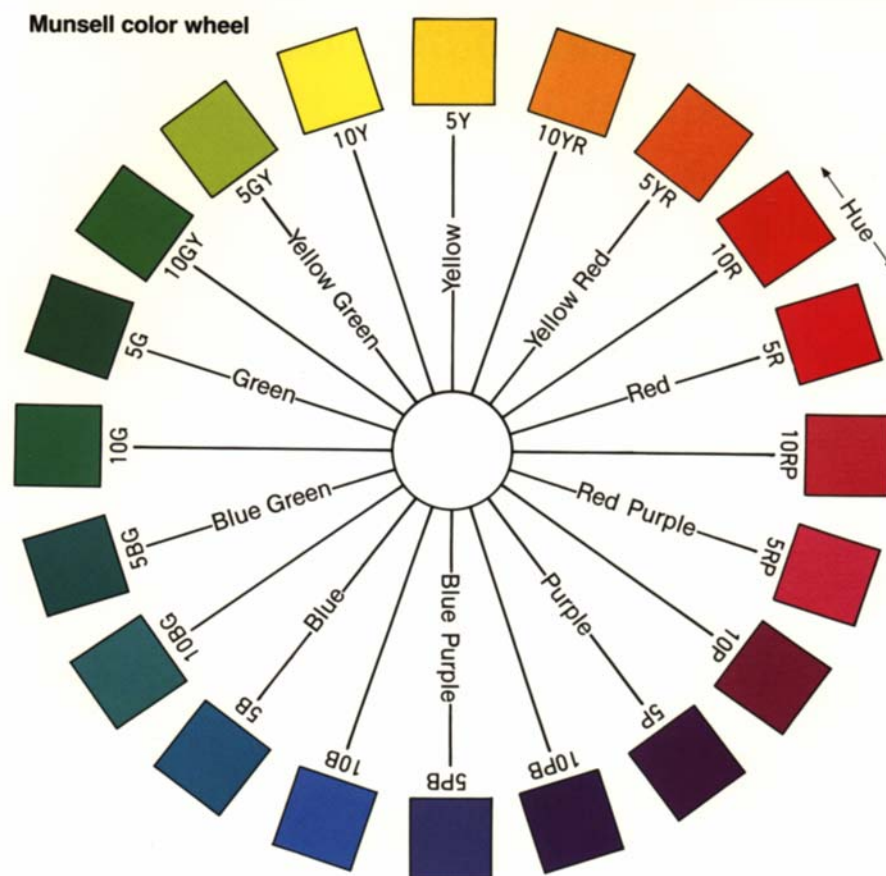


Figura 4.16 A roda da cor do Munsell

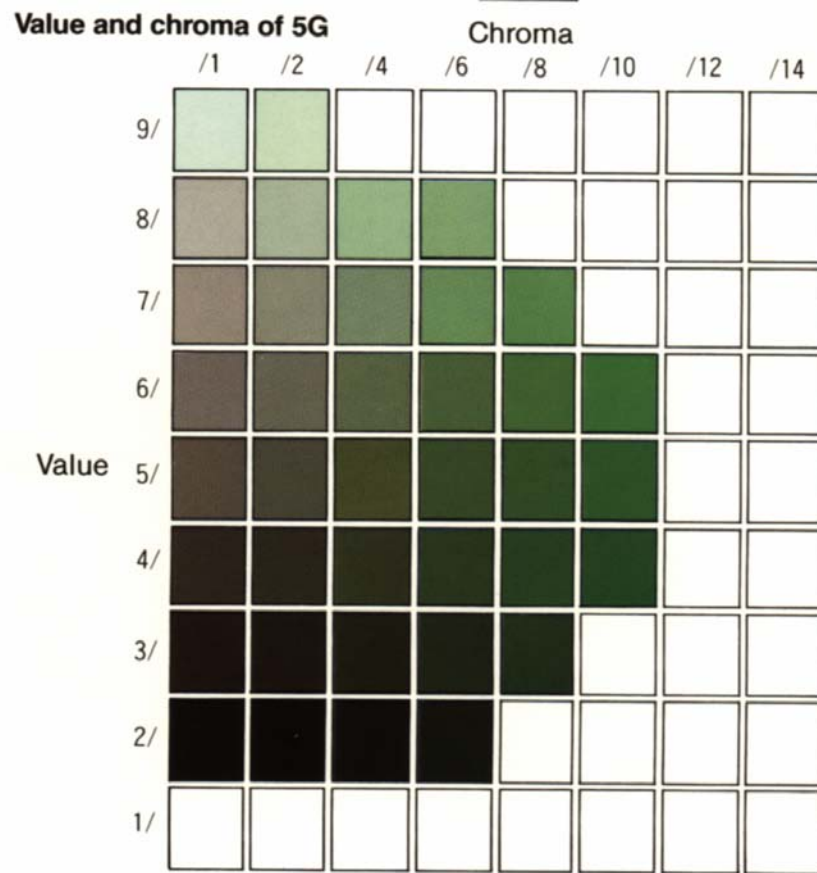


Figura 4.17 Valor e Cromo do 5G

A cor deste copo é “5G 5/10”

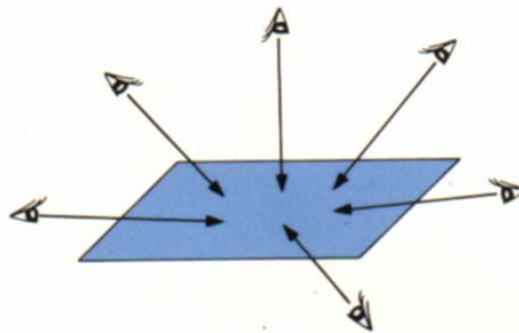


Figura 4.18 Copos coloridos

Como a cor do copo verde na Figura 4.18 pode ser descrito na notação Munsell? Bem, primeiramente examine a cor bem. Depois, localiza a cor mais próxima a ela na roda na Figura 4.16 e observe a notação dada, 5G neste exemplo. Em seguida veja a Figura 4.17 para obter o valor e o croma da cor - 5 e 10 respectivamente. Agora simplesmente combina as duas notações, e este verde torna-se "5G 5/10". Este é o mais simples e mais usado dos três sistemas que foram discutidos.

Observa-se

- Confira se o objeto a ser medido não tem cores apagadas ou mudadas, e não está sujo;
- Confira se o iluminante é apropriado para a medição;
- Observa também que qualquer cor pode variar muito dependendo do ângulo no qual ele é medido. Os ângulos de medição impróprios resultarão em medições inexatas. Diferente do olho humano, os medidores (chrome meters) são dispositivos mais precisos que fornecem valores de croma exatos quando as medições são feitas corretamente.



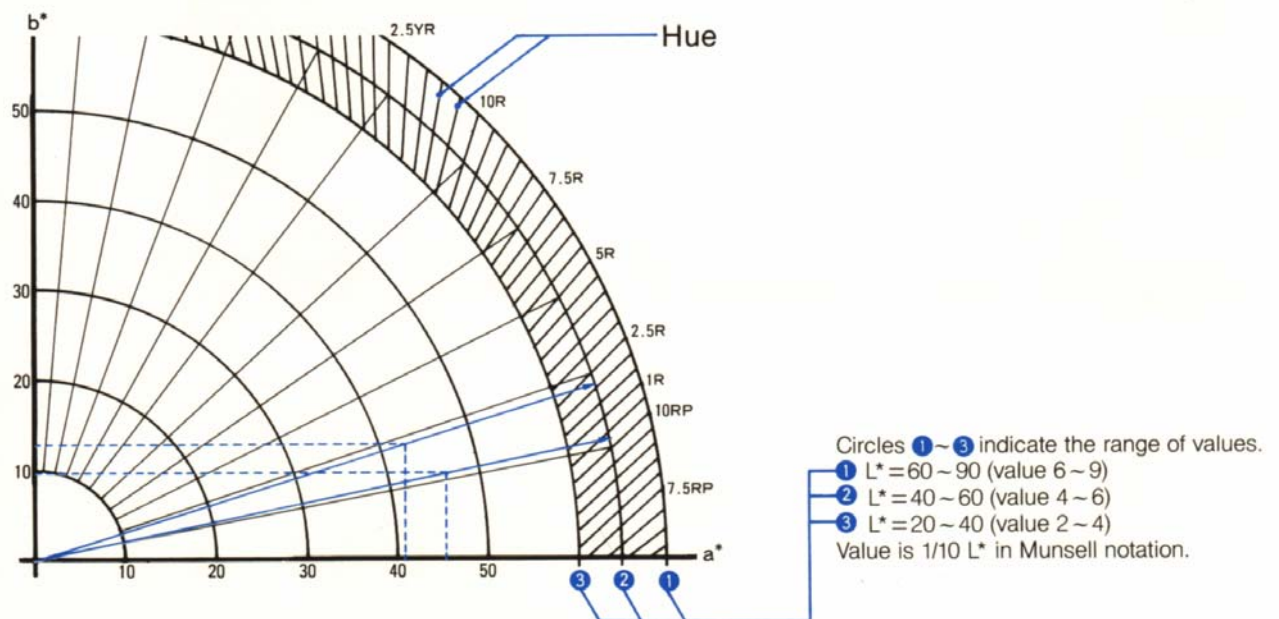
4.9 Conversão dos códigos numéricos da cor para a Notação Munsell.

4.9.1 Do sistema $L^* a^* b^*$ para a notação Munsell.

Quando os códigos numéricos da cor são usados nas industriais de estampa e desenho, normalmente eles devem ser convertidos para o sistema de cor mais comumente usado, a notação Munsell. Para fazer isto veja Figura 4.19 e a tabela 1, visando uma conversão rápida e fácil.

Na discussão seguinte consideraremos a conversão entre o código $L^* a^* b^*$ e a notação Munsell com relação a maçã ^(A).

A Figura 4.19 é uma combinação da Figura 4.9, página 54, e as notações Munsell (ver 4.8.1, página 61) usadas para uma conversão fácil dos valores medidos (numéricos) para a notação Munsell.



Com base no que foi dito acima, vamos converter os valores medidos da maçã ^(A) para a notação Munsell. A maçã ^(A) foi medida como: $L^* = 42,83$; $a^* = 45,04$; $b^* = 9,52$ e $C^* = 46,04$.

1. Localize a interseção de $a^* = 45,04$ e $b^* = 9,52$ na Figura 4.19;
2. Desde que $L^* = 42,83$ é o valor do círculo ② faça uma linha a partir do centro através da interseção de a^* e b^* para o valor do círculo ②;

3. Se olharmos no ponto onde esta linha intersecta o valor do círculo ②, veremos que a linha do matiz indica uma notação Munsell 10RP. (Se as linhas traçadas intersectarem o valor do círculo ② entre duas linhas do matiz, escolha a linha mais próxima);
4. Desde que croma $C^* = 46,04$, refira-se à coluna do matiz RP na Tabela 1 e localize o número mais próximo ao croma. Neste caso, seria 44, assim leia tabela horizontalmente para obter a notação croma de Munsell de 10.

Com os valores acima determinados como: matiz = 10RP; valor = 4 e croma = 10, a notação Munsell agora pode ser escrita como: 10RP 4/10.

Agora siga o mesmo procedimento para determinar a notação Munsell referente à maçã ③, que foi medida como:

$L^* = 48,95$; $a^* = 40,53$; $b^* = 12,32$ e $C^* = 42,36$.

1. Localize a interseção de $a^* = 40,53$ e $b^* = 12,32$ na Figura 4.19.
2. Desde que $L^* = 48,95$ (aproximadamente 50) é o valor no círculo ②, trace uma linha a partir do centro, através da intersecção de a^* b^* até o valor do ②.
3. Se olharmos para o ponto onde esta linha intersecta o valor do círculo ②, veremos que a linha do matiz indica uma notação Munsell de aproximadamente 2,5R.
4. Desde que o croma $C^* = 42,36$, refira-se a coluna R na Tabela 1 e localize o valor mais próxima ao croma. Neste caso ficaria entre 37,46 na coluna da esquerda, assim leia o croma na notação Munsell como 9.

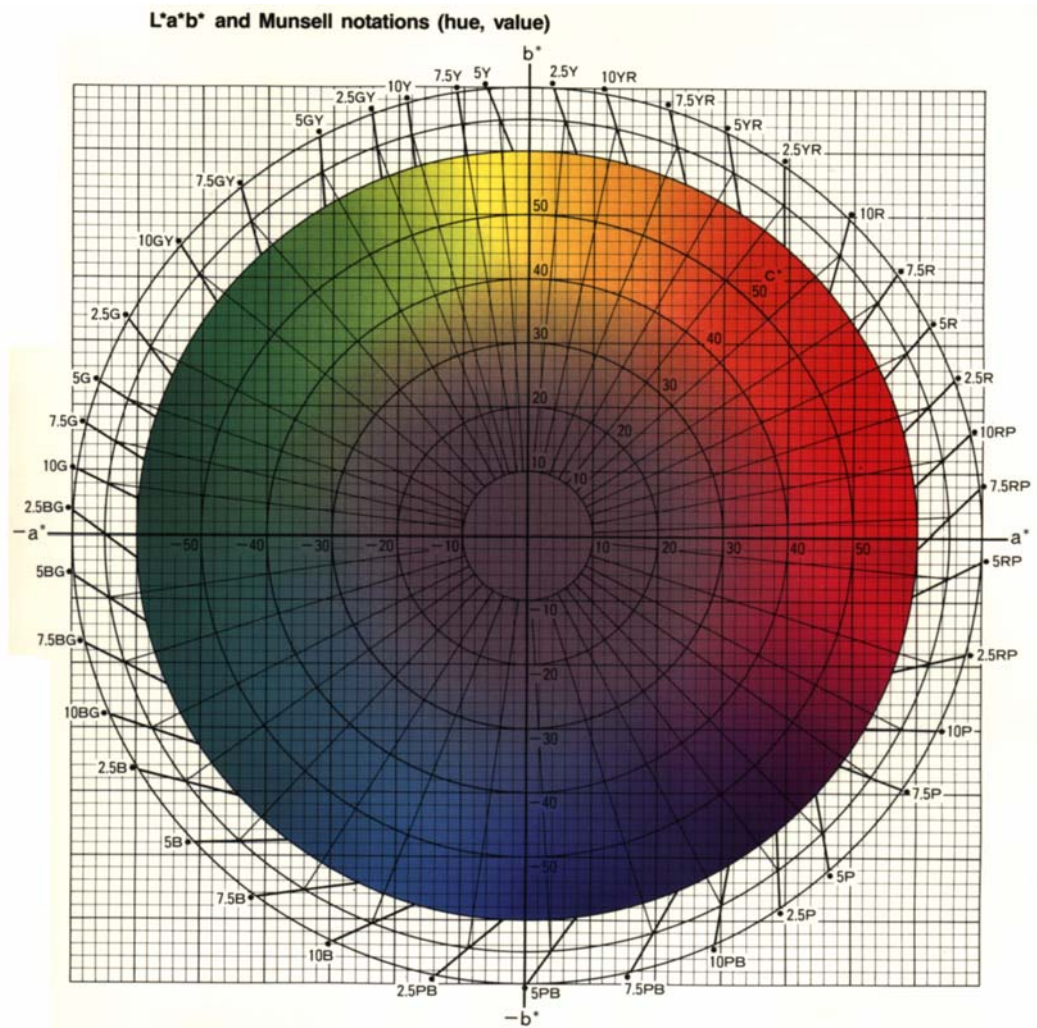


Figura 4.19 Notações $L^* a^* b^*$ e Munsell (matiz e valor)

Tabela 1 Notações Munsell (croma C) e $L^* a^* b^*$ (croma C^*)

Munsell hue notation L*a*b* chroma Munsell chroma	R		YR		Y		GY		G		BG		B		PB		P		RP	
1	5		7		8		7		6		5		4		4		4		4	
2	9		12		15		13		11		10		9		9		9		9	
3	15		17		22		22		19		16		15		13		13		13	
4	19		22		25		29		29		25		22		20		17		17	
6	27		30		34		38		42		45		43		39		34		31	
8	37		41		46		50		56		59		58		51		45		42	
10	46		51		57		63		70		74		73		65		56		53	
12	55		62		68		76		84		88		87		77					
14	64		73		79		90		98											
16	84		94		101		109													

As colunas com dois dígitos: os valores na esquerda são para as cores (hue) 1-5 e valores a direita para as cores 6-10

Observa-se:

- O aparelho CR200 pode converter códigos numéricos da cor para notação Munsell automaticamente.
- Para valores extremamente pequenos ou valores grandes do $a^* b^*$, multiplique-os ou divida-os por um valor apropriado antes de plotar e ler os valores do matiz.

4.10 METAMERISMO

A palavra metamerismo é usada para descrever o fenômeno observado, quando duas superfícies apresentam cor semelhante, dentro de um conjunto de condições visuais, mas na realidade essas cores são diferentes se essas superfícies forem visualizadas em outras condições. Isso ocorre porque os coeficientes triestímulos, X, Y e Z de uma superfície colorida dependem de uma combinação de três fatores - a refletância espectral da superfície, a cor do iluminante e a sensibilidade do detector. Então, é possível que duas superfícies tenham valores idênticos de X, Y e Z, apesar de serem produzidas por fatores diferentes.

Existem quatro manifestações básicas de metamerismo dependendo da possibilidade de ser feita uma má combinação de cores a partir de uma combinação pré-existente. Isto ocorre em consequência da mudança do iluminante, ou do observador, ou ainda pelo reflexo observado na superfície iluminada.

1. Metamerismo do iluminante
2. Metamerismo do observador
3. Metamerismo do tamanho do campo
4. Metamerismo geométrico

4.10.1 O *Metamerismo do iluminante* é o tipo mais importante e ocorre quando os valores triestímulos para um par metamérico são calculados usando dois ou mais iluminantes, ou quando nos observamos um par metamérico iluminado sucessivamente pelos dois ou mais fontes da luz. Um problema similar pode ocorrer se o par metamérico combina com, vamos dizer, o iluminante padrão D_{65} , mas falha de combinar quando for observadas sob a fonte “as luzes do dia” com a distribuição da energia espectral diferente daquele do D_{65} .

4.10.2 O *Metamerismo do observador* ocorre quando, sob um dado iluminante, uma combinação da cor feita por um observador não é confirmada por um outro. Isto deve-se à diferença entre as sensibilidades espectrais dos dois “detectores”, e torna-se muito marcante quando um observador tem uma visão normal da cor e o outro é um tricromato anômalo. Também é observado quando dois observadores possuem diferentes graus de amarelamento da esclerótica.

4.10.3 O *Metamerismo geométrico* resulta numa mudança na superfície do reflexo, e pode ocorrer quando a disposição do iluminante, as amostras e o observador são alterados.

4.10.4 Outro tipo de metamerismo que parece ser uma combinação do metamerismo do observador e metamerismo geométrico depende do tamanho das amostras e da distância em que elas são vistas. É possível que duas superfícies ofereçam uma combinação melhor quando forem vistas numa distância, quando o

ângulo sujeito visão for menor, mas as mesmas superfícies apresentarão uma má combinação quando forem observadas de perto. No caso anterior, somente a região central da retina participa do processo de visualização, enquanto que numa observação mais próxima a região periférica também está envolvida no processo de visualização. Uma vez que a distribuição dos elementos foto sensíveis nas duas regiões é diferente, e também por causa do pigmento amarelo muscular na região central da retina, há, de fato dois observadores.

EXEMPLO DO METAMERISMO

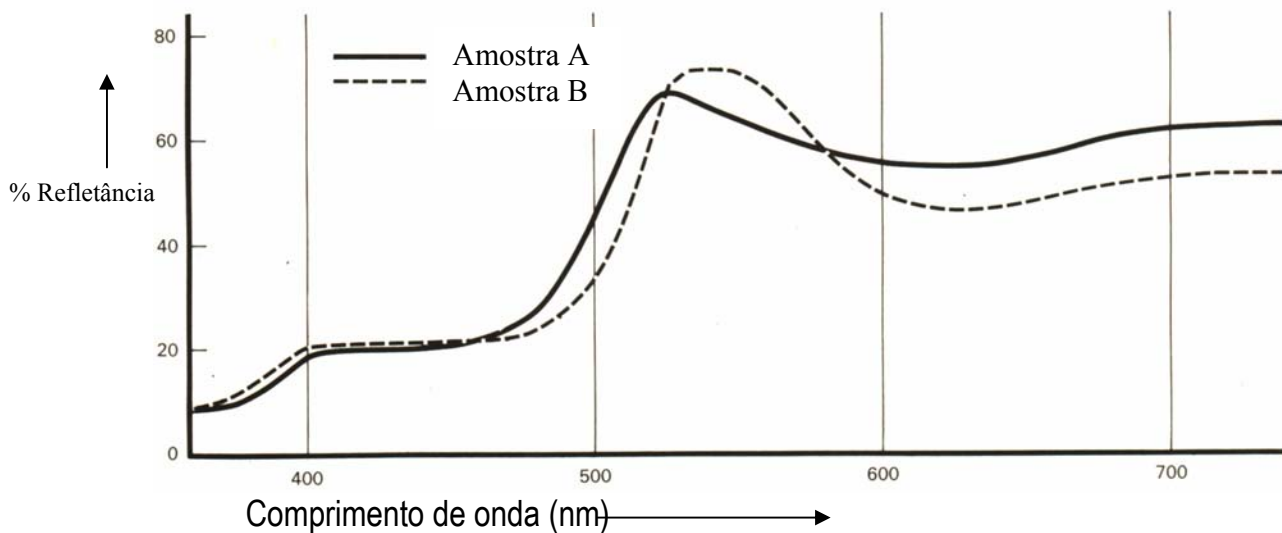
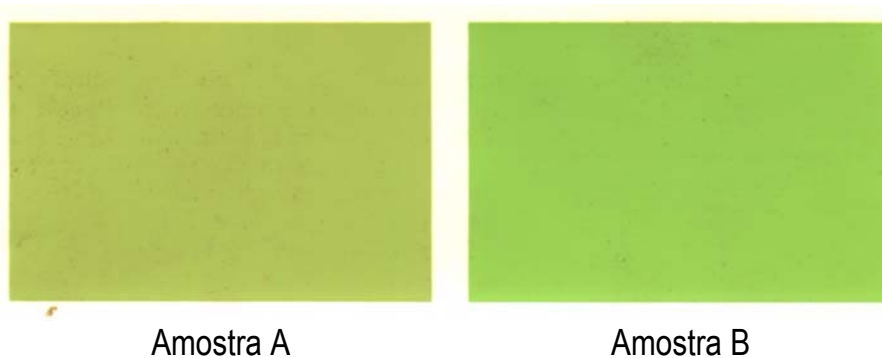


Figura 4.20 Curvas Espectrofotométricas

Coeficientes Triestimulos

Iluminante	Amostra A		Amostra B		ΔE^*
	x	y	x	y	
Iluminante A	0,472	0,455	0,460	0,468	7,5
Iluminante D65	0,358	0,447	0,363	0,438	3,5
Fluorescente (branco)	0,437	0,469	0,431	0,476	5,0

ΔE^* = A diferença da cor entre as amostras na unidade CIELAB.

Bibliografia:

1. Judd, D. B. and Wyszecki, G.: “Color in Business Science and Industry”, 3rd edition (John Wiley and Sons, New York, 1975), 535pp.
2. Wright, W. D.: “The Measurement of Colour”, 4th edition (Adam Hilger, London, 1969), 340pp.
3. Wyszecki, G and Stiles, W. S.: “Color Science” (J. Wiley, New York, 1967) 628pp.
4. Blakey, R. R. “Measuring Colour”, Tioxide, Titanium Pigments, Tioxide Group Limited, England, 1978.
5. Precise Color Communication, Minolta Camera Co. Ltd., 3-13, 2-Chome, Azuchi-Machi, Chuo-ku, Osaka 541, Japan.
6. Rodrick McDonald.: “Colour Physics” (Society of Dyers and Colourists, Huddersfield, England, 1987) 301pp.
7. Roy Osborne.: “Lights and Pigments” (John Murray (Publishers) Ltd., London, 1980) 163pp.
8. Measurement and Control of the Optical Properties of Paper, Technidyne Corporation, Albany, Indiana, USA, 1987.
9. Introducing Colour, Society of Dyers and Colourists, 1975, 49pp.
10. Trotman, E. R.: “Dyeing and Chemical Technology of Textile Fibres”, 5th edition (Charles Griffin & Company, England, 1975), 709pp.