

**II Seminário de Corantes Naturais para Alimentos
I Simpósio Internacional de Urucum**

TEORIA DA COR

Vera Lúcia Pupo FERREIRA

TEORIA DA COR

Vera Lúcia Pupo FERREIRA

1. A IMPORTÂNCIA DA COR NA ACEITAÇÃO DOS ALIMENTOS (3)

A percepção do mundo ao nosso redor é dada pelos nossos sentidos. Destes, o impacto visual é o mais marcante, não sendo definido apenas pela forma e aspecto dos objetos, mas também pela cor. Dos três principais atributos de qualidade dos alimentos — cor, sabor e textura — a cor torna-se cada vez mais importante, à medida em que os alimentos são expostos e vendidos, como em supermercados.

Quando se escolhe, se seleciona ou simplesmente se observa um objeto qualquer, o impacto visual causado pela cor geralmente se sobrepõe ao causado pelos outros atributos e isto porque as cores caracterizam sobremaneira os objetos, constituindo-se no primeiro critério aplicado para a sua aceitação ou rejeição.

A cor relaciona-se com a qualidade: um diamante límpido e translúcido é mais valioso que um colorido; uma folha de papel pardo é de qualidade inferior à de uma folha branca; popularmente, um ovo de casca escura é considerado de valor nutritivo superior ao de casca branca (apesar disso já ter sido provado não ser verdade); um produto acondicionado em embalagem de cores vivas é considerado em nível de qualidade superior do que se estivesse em uma embalagem de cores apagadas; a uma laranja de casca mais amarela se relaciona o gosto doce (embora nem sempre seja verdade); as cores apagadas de um carro ou de um eletrodoméstico são relacionadas com idade avançada; a cor vermelha é relacionada com "perigo" ou "pare", enquanto a verde já é relacionada com "esperança" ou "pode passar", com matas e assim por diante, de forma que muitas vezes as cores são empregadas como significativas de diversas situações, como o tradicional "tudo azul", para expressar um determinado estado de espírito ou situação em que as coisas estão correndo bem; como "estou verde de fome", para expressar o desejo de comer; ou fulano está "amarelo" ou "branco", para expressar uma enfermidade qualquer.

É dentro do espectro visível, na faixa aproximada de 390 a 750nm, que se expressam os mais diversos sentimentos e opiniões em termos de cores.

Na indústria de alimentos, a cor é importante parâmetro empregado no controle de qualidade. É pela cor do extrato de tomate, do suco de laranja, por exemplo, que estes alcançam as melhores classificações e efetivamente maiores preços, relacionando-se diretamente com a qualidade da matéria-prima. Na torração do café, a cor do grão define exatamente quando está terminado o processo, o qual tem implicação direta com a qualidade da bebida. O mesmo ocorre com a torração do cacau utilizado na fabricação de chocolate, do amendoim para a produção de pasta, etc.

Muitas vezes, precisa-se adicionar cor aos alimentos para aumentar ou ainda para conferir-lhes apetite. Por exemplo, as cerejas em marasquino são tingidas de vermelho ou verde; as balas, as coberturas para bombons, os bolos, os recheios e outros tornam-se muito mais apetitosos quando tingidos com cores que chamam a atenção e aumentam o desejo de comer: são as cores apelativas do apetite.

As margarinas são tingidas de amarelo, sem que isso aumente em nada o seu valor nutritivo, mas apenas para as tornarem "comestíveis" e isto porque, na sua coloração natural, que é branca, lembram a banha, o que as tornaria indesejáveis a qualquer consumidor.

A verdade é que se aceita ou não um alimento, em primeiro lugar, com os olhos, ou seja, pela cor. Se a cor não for atraente, apesar da aparência (aspecto e forma) e o odor o serem, dificilmente o alimento será ingerido ou pelo menos provado.

A cor tem importante influência nas vendas dos alimentos. Cores brancas das bandejas para carnes induzem a acreditar em limpeza e aumentam a sua atratividade. Prateleiras claras, luzes adequadas, cores de paredes adequadas, todas têm importante função no aumento das vendas em supermercados. Também em restaurantes, bares e cafés, as cores atuam de maneira marcante. Se se deseja que, em estabelecimentos de alta rotatividade, como os de estrada, as pessoas permaneçam durante pouco tempo, o suficiente para lanches rápidos, a solução é colocar luzes claras e de forte intensidade, que induzem aos clientes mal-estar a uma permanência mais prolongada. Por outro lado, em restaurantes ou bares em que as vendas dependem da permanência prolongada dos clientes, paredes de cores suaves e luzes fracas induzem a uma sensação de bem-estar e relaxamento, favorecendo sua permanência demorada no local e, evidentemente, maior consumo de alimentos e bebidas.

É evidente que, apesar de todas as pessoas não sentirem o mesmo em relação às cores, estas seguem um denominador comum na aceitação dos alimentos. Existem cores certas para os diversos produtos, estando o seu "apetite" intimamente ligado com o produto em questão, apesar das interpretações emocionais e pessoais de cada consumidor. Por exemplo, um pão tinto de roxo provavelmente nunca seria provado devido à cor extravagante que apresenta em relação aos nossos padrões normais para pães. Já para suco de uva, balas e gelatinas com sabor de uva, a cor roxa é extremamente apelativa e indutora de apetite.

Na verdade, a arte de colorir os alimentos é extremamente importante para quem produz e para aqueles que prazerosa ou relutantemente os consomem, já que das cores, em grande parte, vai depender o sucesso ou fracasso das vendas do alimento (1).

Testes têm mostrado que diferentes cores num mesmo alimento induzem à sensação de diferentes sabores, mesmo que diferenças reais não ocorram (1), denotando, assim, mais uma vez, a importância das cores não só na aceitação inicial, mas também na influência psicológica que exercem na degustação dos alimentos.

Assim, quer nos processos industriais, quer comerciais ou puramente de ordem emocional, são utilizados os olhos na escolha de produtos competitivos e é por isso que sofisticados métodos objetivos de medição da cor têm sido desenvolvidos, visando a uma aproximação cada vez maior ao que os olhos fazem.

2. CONCEITOS DE COR, TEMPERATURA DE COR E FONTES-PADRÃO DE LUZ (3)

2.1. Conceitos de cor

A percepção da cor por um indivíduo depende dos quatro fatores abaixo relacionados (4):

- distribuição espectral da energia da luz;
- condições sob as quais a cor está sendo vista;
- características espectrais do objeto, em relação à absorção, reflexão e transmissão;
- sensibilidade do olho.

**II Seminário de Corantes Naturais para Alimentos
I Simpósio Internacional de Urucum**

Conclui-se, então, que a cor não é meramente um fenômeno físico ou psicológico, mas sim o resultado da avaliação da energia radiante (física) em termos de correlação com a percepção visual (psicológica), a qual, por sua vez, é baseada nas propriedades do olho (7). Segundo FRANCIS & CLYDESDALE (4), a cor pode ser definida como a sensação experimentada por um indivíduo quando a energia sob a forma de radiação dentro do espectro visível atinge a retina do olho.

A faixa de comprimento de onda visível a olho nu compreende uma pequena parte do espectro eletromagnético inteiro, que vai aproximadamente de 390 a 750nm (4).

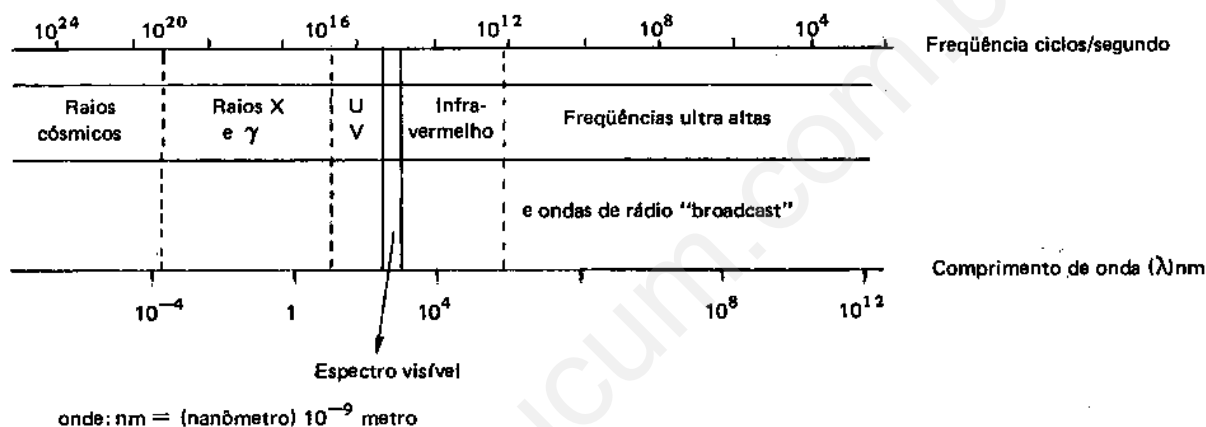


FIGURA 1. Espectro da energia radiante (7)

As cores contidas dentro da faixa visível do espectro podem ser subjetivamente descritas em termos como "vermelho" e objetivamente pelo comprimento de onda. Assim, o "vermelho" tem um comprimento de onda ao redor de 680nm, o amarelo ao redor de 575nm, o verde ao redor de 520nm e o violeta ao redor de 450nm, todos em conjunto correspondendo à luz branca, ou seja, a luz branca é composta por todas as cores do espectro visível.

Diferenças ocorrem entre as diversas luzes brancas, dependendo do grau de participação de cada cor. Assim, a luz fluorescente tem mais azul; a luz de tungstênio tem mais vermelho e amarelo, o que torna mais conveniente as suas descrições em termos de comprimento de onda.

A luz ou energia radiante é de natureza corpuscular ("quantas" de energia) e ondulatória (ondas). A descrição de uma fonte de luz pode ser feita medindo a energia relativa emitida por esta para cada comprimento de onda, determinando-se a curva de distribuição espectral de energia (Figura 2) ou simplesmente pela temperatura de cor da fonte em questão.

2.2. Temperatura de cor

Conceito de temperatura de cor pode ser simplificada pela teoria do corpo negro. Um corpo em equilíbrio emite radiação equivalente em comprimento de onda e energia à radiação que está absorvendo. O corpo negro ideal seria o que absorve e emite toda a radiação. Uma aproximação em laboratório seria um corpo formado por um interior oco, um orifício e paredes isoladas que absorveriam e irradiariam equilibradamente. A luz visível emitida através de orifício pode então ser especificada em termos da temperatura das paredes, que é denominada de temperatura da cor e expressa em graus Kelvin ou, abreviadamente, $^{\circ}\text{K}$ ($^{\circ}\text{K} = ^{\circ}\text{C} + 273$, onde $^{\circ}\text{C}$ = graus centígrados).

II Seminário de Corantes Naturais para Alimentos
I Simpósio Internacional de Urucum

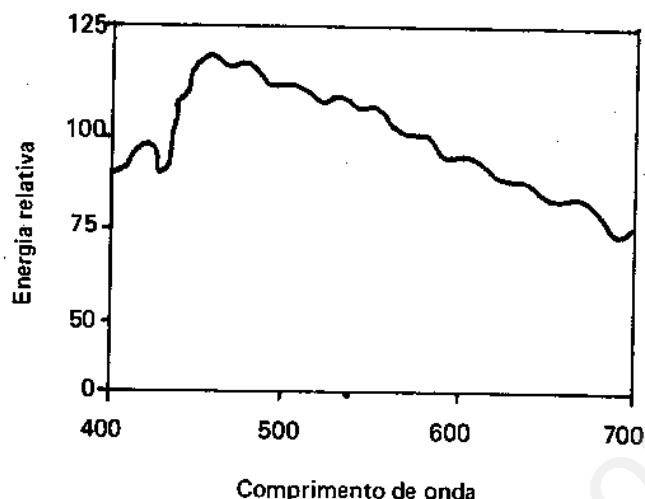


FIGURA 2. Distribuição espectral da energia ou energia relativa a cada comprimento de onda para a luz do dia (segundo 4).

2.3. Fontes-padrão de luz

A CIE (Commission Internationale de l'Eclairage ou International Commission on Illumination) em 1931 definiu três fontes-padrão A, B e C, simulando, respectivamente, a luz de tungstênio ou da lâmpada incandescente (2854°K), a luz do sol (correlacionada com 4870°K) e a luz do dia (correlacionada com 6770°K), visando à obtenção de medidas das cores sob condições reprodutíveis de iluminação. Em 1976 foi desenvolvida a série de iluminantes D, que incluíam no espectro pequena porção da luz na faixa do ultravioleta, incluindo os iluminantes D₅₅ (5500°K), D₆₅ (6500°K) relativos à luz do dia e D₇₅ (7500°K).

Se se observar um objeto vermelho, por exemplo, sob as luzes de tungstênio e fluorescente, a cor será diferente sob estas duas fontes de luz. Desde que a cor do objeto depende da parte do espectro refletida e não absorvida, quanto mais vermelho houver na fonte de luz, tanto mais vermelho parecerá o objeto. A fonte de tungstênio tem temperatura de cor baixa e mais energia na região vermelha do espectro, enquanto a fluorescente tem maior temperatura de cor e, evidentemente, mais energia na região azul. Conseqüentemente, o objeto aparecerá mais vermelho sob a luz de tungstênio do que sob a luz fluorescente.

3. DISTRIBUIÇÃO DIFUSA E ESPECULAR DA LUZ (3)

Se se considerar a luz incidindo sobre um objeto de superfície relativamente plana e uniforme, pode-se simplificar a organização dos atributos geométricos da aparência. A luz refletida deixa o objeto pelo mesmo lado sobre o qual incidiu e a luz transmitida deixa o objeto pelo lado oposto, após atravessá-lo. A luz incidente sobre um objeto pode ser refletida e transmitida sob as formas de distribuição especular ou difusa e em parte também absorvida. Simplificadamente, a reflexão especular ocorre a um ângulo de 90° em relação à luz incidente, sendo a principal responsável pelo brilho dos objetos e a reflexão difusa ocorre a um ângulo de 45° em relação à luz incidente, sendo primariamente responsável pela cor dos objetos (Figura 3).

II Seminário de Corantes Naturais para Alimentos
I Simpósio Internacional de Urucum

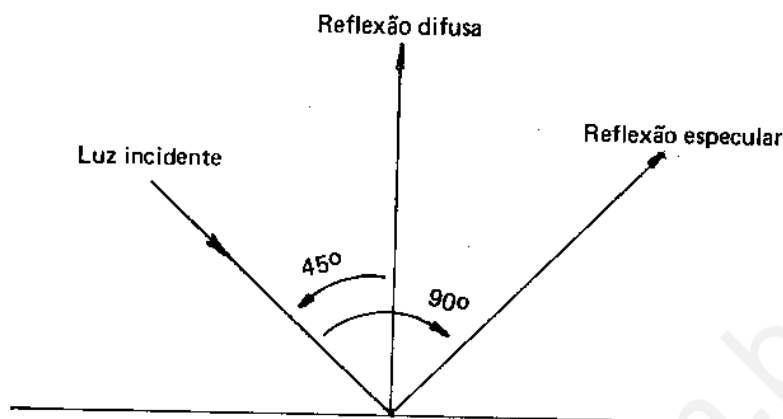


FIGURA 3. Reflexões especular e difusa (4).

A quantidade de luz refletida difusamente depende do tipo de superfície que causa maior ou menor "esparramação" da luz. Se uma superfície for lisa, a maior parte da luz é refletida sob um ângulo de 90° . Se a superfície for rugosa ou áspera, a luz incidente "esparrama-se" e grande parte é refletida sob 45° .

Conforme o tamanho da partícula tende a se aproximar do comprimento da onda de luz incidente sobre o objeto, este cessa de refletir luz branca pela "esparramação" (4). O tamanho mínimo da partícula para a máxima reflexão da luz é de aproximadamente $1/4$ do comprimento de onda (4).

4. CONCEITOS DE TRANSPARÊNCIA, OPACIDADE, TRANSLUCIDEZ E CLASSIFICAÇÃO DOS OBJETOS (3)

4.1. Transparência, opacidade e translucidez

Um objeto é dito transparente quando a luz incidente o atravessa com um mínimo de absorção ou reflexão. O oposto da transparência é a opacidade. Objeto opaco é o que absorve e/ou reflete toda a luz nele incidente, sem que ocorra alguma transmissão da luz.

O objeto que absorve toda a luz visível é preto, enquanto o colorido absorve luz de determinados comprimentos de onda e reflete outros que são os responsáveis pela sua cor.

O material que pode refletir parte da luz e transmitir e absorver outra parte é chamado de translúcido (ex.: suco de laranja).

4.2. Classificação dos objetos

Simplificadamente, pode-se classificar os objetos em quatro grupos, de acordo com a distribuição dominante da luz incidente (6): objetos opacos não metálicos, superfícies metálicas, objetos translúcidos e objetos transparentes. Evidentemente, nem todos os objetos seguem fielmente esta classificação, podendo situar-se intermediariamente ou assumir mais de uma classificação (Quadro 1).

II Seminário de Corantes Naturais para Alimentos
I Simpósio Internacional de Urucum

QUADRO 1. Atributos de cor e geométricos da aparência dos objetos.

Classe dos objetos	Distribuição dominante da luz	Atributos da cor*	Outras distribuições da luz	Atributos geométricos dados por outras distribuições de luz
Opacos-não metálicos Ex.: Caixa plástica	Reflexão difusa	Luminosidade e cromaticidade (tom e saturação)	Reflexão especular	Brilho, reluzência "luster", distinção da imagem refletida, lustro, uniformidade, direcionalidade da superfície
Metais opacos Ex.: Candelabro de bronze	Reflexão especular	Brilho e cromaticidade	Reflexão difusa	Reflexão aneoadada
Translúcidos Ex.: Copo plástico	Transmissão difusa	Translucência e cromaticidade	Reflexão difusa	Reflexão da luminosidade
			Reflexão especular	Brilho
Transparentes Ex.: Vidro com óleo	Transmissão especular	Clareza e cromaticidade	Reflexão especular	Brilho
			Transmissão difusa	Turbidez em transmissão aneoadada

* Dados pela distribuição dominante da luz.
 Quadro parcialmente transcrito da citação 6.

5. O OLHO HUMANO (3)

Os olhos permitem-nos perceber tamanho, forma, textura, brilho, transparência, opacidade e cor, efetuando, com elevado grau de excelência, trabalhos espantosamente versáteis. Seleccionam o objeto de interesse, focam a imagem na camada sensível à luz (retina), protegem esta imagem da luz extraviolate, transformam a imagem óptica em modelo para a atividade nervosa e alimentam o cérebro com a imagem da atividade nervosa por meio do nervo óptico (7).

A parte fotossensitiva do olho é um mosaico de células receptoras formado pelos cones e bastonetes da retina. Os bastonetes podem responder ao acesso de pequenas quantidades de energia radiante, sendo responsáveis pela habilidade de se enxergar à noite. A máxima sensibilidade dos bastonetes ocorre a 0,5nm sendo sua função denominada função "scotopic".

Em um olho normal, os bastonetes não têm percepção para as cores vermelha-verde, amarela-azul, tendo somente para as cores neutras ou acromáticas (branca, cinza ou preta). Daí o ditado de que "à noite todos os gatos são pardos" (4).

Os cones (3 tipos) têm respostas mais complicadas do que os bastonetes, pois, além de detectarem a luz, o preto e uma série de cinzas, também dão a percepção das cores cromáticas. Pela visão dos cones pode-se discriminar do amarelo-azul e do vermelho-verde. Por essa razão não existem indivíduos que discriminem vermelho-azul, amarelo-verde. Os cones são responsáveis pela quase totalidade da visão diurna. A maior sensibilidade das cores ocorre a 555nm, o que é conhecido como função fotópica.

No crepúsculo ou em interiores iluminados, tanto os cones como os bastonetes são ativos e como a participação relativa da visão pelos bastonetes e cones varia continuamente, os julgamentos de cor, nestas condições, são extremamente inseguros.

II Seminário de Corantes Naturais para Alimentos
I Simpósio Internacional de Urucum

Além dos elementos sensitivos do olho, há a participação dos elementos focalizantes (córnea, pupila, lentes e humor vítreo) e dos pigmentos do olho, que modificam a composição espectral da energia radiante focalizada pela córnea e lentes, que é transformada em atividade nervosa pelos pigmentos (cones, bastonetes) e finalmente absorvida pelos pigmentos da coróide.

A localização dos cones na retina ocorre na fóvea, que em um olho normal é a área focalizada a um ângulo de 2°. Distanciando-se da fóvea, na retina, ocorrem diminuição da concentração dos cones e aumento da percentagem dos bastonetes até um ângulo máximo de 20°.

Circundando e fazendo parte da fóvea existe uma camada de nervo da retina entre o humor vítreo e a camada de cones colorida por carotenóides de amarelo, denominada de mácula (mácula lútea ou ponto amarelo). Esta região se estende em uma área de aproximadamente 10° ao redor da fóvea. A mácula atua como um filtro amarelo, ajudando a prevenir a estimulação excessiva pela luz azul, a qual pode causar "after-emoges" e também aumentando até 4 vezes a sensibilidade das cores da área central.

A fóvea e a mácula têm um significado especial, uma vez que são a base para a definição do observador padrão, a segunda e décima da CIE e muitos instrumentos são desenhados com estes ângulos de observação.

6. DISCRIMINAÇÃO E VISÃO DEFEITUOSA DA COR (3)

Ao tomar uma amostra da população, com discriminação não defeituosa para cores e aplicado "The Farnsworth Munsell 100 - Hue Test" (2), constatou-se que cerca de 16% da população apresentavam competência superior para discriminação de cor; cerca de 68% competência normal e cerca de 16% baixa competência (2). O teste consistia no arranjo segundo as cores de 93 botões coloridos, divididos em 4 grupos abrangendo as cores do espectro visível.

A visão defeituosa da cor é detectada por esse teste e classificada em protanópica (cores normalmente vistas como vermelho e verde-azulado são vistas como neutras), deuteranópica (cores normalmente vistas como vermelho-azulado e verde são vistas como neutras) e tritanópica (cores normalmente vistas como azul-arroxeados e amarelo-esverdeados são vistas como neutras).

A avaliação do poder discriminatório da visão dos operadores para as cores é de fundamental importância na indústria de alimentos, desde que a visão seja utilizada. Determinados colorímetros, como o Munsell e o Lovibond, exigem para operação e funcionamento o uso da visão humana. As avaliações subjetivas das cores exigem a visão humana. O emprego de operadores com baixa competência ou até competência normal baixa significará resultados errados ou de confiabilidade baixa, se não nula. Outro teste para avaliar a discriminação de cor é o da Inter-Society Color Council, denominado "Color Aptitude Test".

7. SÓLIDOS DE COR (3)

A necessidade de se descrever as cores de maneira adequada assumiu relevada importância desde remotos tempos, em vista da influência das cores no nosso dia-a-dia, tanto no aspecto psicológico como religioso e artístico.

São vários os tipos de sólidos de cores existentes e de serventia para grande gama de propósitos, todos eles tendo em comum três aspectos (4): devem ter um arranjo ordenado das placas coloridas; as placas devem ser igualmente espaçadas; e devem referir-se a um sistema fundamental, de modo a poderem ser reproduzidas.

As cores, em qualquer atlas, são montadas de modo que cada página represente uma fatia de sólido.

Dos sólidos de cor existem as seguintes coleções (4):

7.1. Coleções ordenadas

(Exemplos: The House and Garden Color e Color Forecast of the Color Association of the United States, Inc).

7.2. Sistemas de misturas de corantes

(Exemplos: Nu-Hue Custom Color System, Colorizer, Plochere Color System e Nu-Hue Color Coordinator).

7.3. Sistemas de mistura de cor

São baseados nas cores avaliáveis obtidas da mistura de luzes coloridas (como nos colorímetros de triestímulos) ou nas cores obtidas por meio das mudanças das proporções de segmentos coloridos em colorímetros de discos, apresentando relação fundamental com o sólido de cor da CIE (exemplos: Color Harmony Manual – Sistema de Ostwald, Color Standards e Color Nomenclature Atlas, desenvolvido por Ridgway e usado na descrição de flores, pedras, insetos, pássaros, etc.; o Maerz and Paul Dictionary of Color, usado na especificação de cores de alimentos, apesar de não ser mais impresso, o Villalobos Color Atlas, de bastante sucesso; e o Color Atlas por Kornerup e Wancher, edição de bolso.

7.4. Sistema de aparência e cor

O sólido de cor da Munsell é um dos melhores existentes e, normalmente, é o padrão para o julgamento da uniformidade de outros sólidos. O sólido é de formato irregular, pois é possível produzir mais cores em determinadas partes do sólido. No sistema Munsell (8), os três atributos das cores são sempre descritos em termos de tom, valor/croma ("Hue, Value/Chroma"). Tom é o nome da cor, ou seja, é a qualidade pela qual se distingue uma família de outra de cores cromáticas, como o vermelho do amarelo, ou verde do azul ou do roxo, ou seja, é a qualidade pela qual se distinguem cores de igual luminosidade (valor) e croma. Valor é a luminosidade da cor, é a qualidade pela qual se distingue uma cor clara de outra escura. Croma é a "força" da cor, é a qualidade pela qual se distingue uma cor fraca de uma forte, é a intensidade de um tom distinto ou a intensidade da cor.

O Livro de Cor da Munsell ("Munsell Book of Color") apresenta-se em diferentes edições, exibindo números distintos de placas coloridas, tamanhos diferentes das placas e acabamento brilhante ou não. Cada plaqueta é identificada pelos três atributos – tom, valor e croma – como: 2.5 YR5/10, onde o tom é amarelo e avermelhado, a croma é 10 e o valor é 5.

A escala de luminosidade vai de 0/(preto) a 10/(branco), com 9 cinzas intermeriárias (Figura 4).

Pela Figura 4 observa-se o eixo vertical representativo da luminosidade (valor), os vários tons e o aumento da saturação (croma), com a distância do eixo central à periferia do sólido de cor.

A organização dos tons e cromas no sólido de cor Munsell pode ser observado pela Figura 5.

O sistema Munsell tem sido amplamente utilizado na indústria de Alimentos, seja sob a forma de atlas de cores ou de colorímetro de discos, sendo um dos sistemas de avaliação visual dos mais lógicos.

II Seminário de Corantes Naturais para Alimentos
I Simpósio Internacional de Urucum

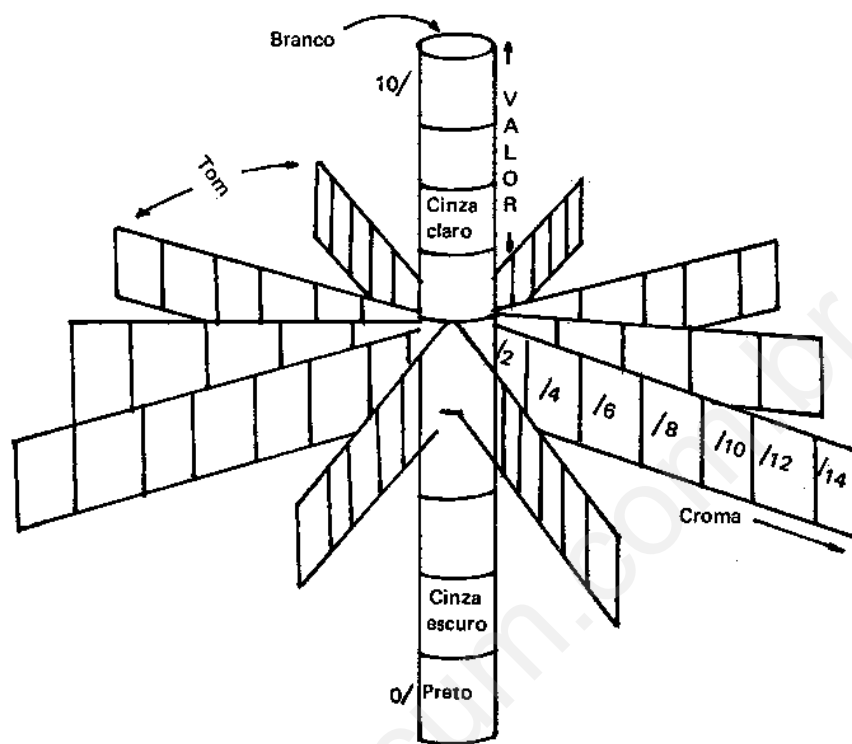


FIGURA 4. Representação do sistema de cor Munsell parcialmente (segundo 6).

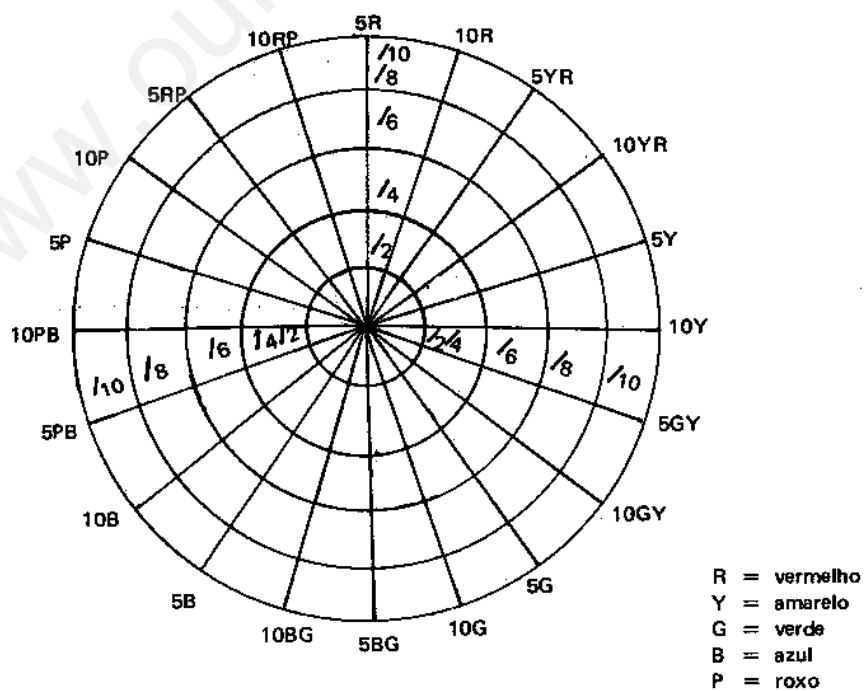


FIGURA 5. Organização dos tons e cromas no sólido de cor Munsell (segundo 4).

8. DENOMINAÇÃO DAS CORES (3)

A maior vantagem dos sistemas visual e matemático dos sólidos de cor é a de designar com precisão as cores. Dentre as tentativas de relacionar nomes de cores aos sólidos de cor, a de maior sucesso foi a do "The ISCC-NBS Methods Designating Colors" e do "Dictionary of Color Names" da Inter-Society Color Council, que lista 7.500 nomes de cores relacionados com as cores definidas no sólido de cor de Munsell.

9. FORMULAÇÃO DE CORES: SISTEMA SUBTRATIVO; SISTEMA ADITIVO: LEI DE GRASSMAN – SISTEMA RGB (3)

Na formulação de uma determinada cor pode-se usar o processo subtrativo ou o aditivo. No processo subtrativo, as cores primárias (vermelho, amarelo e azul) são misturadas em determinadas proporções, de modo a se obter a cor desejada. No processo aditivo de formulações de cor, as diversas cores são produzidas pela sobreposição de luzes coloridas com as cores primárias (no caso, vermelho, verde e azul) em uma tela, de modo a produzir todas as cores do espectro visível (Figura 6).

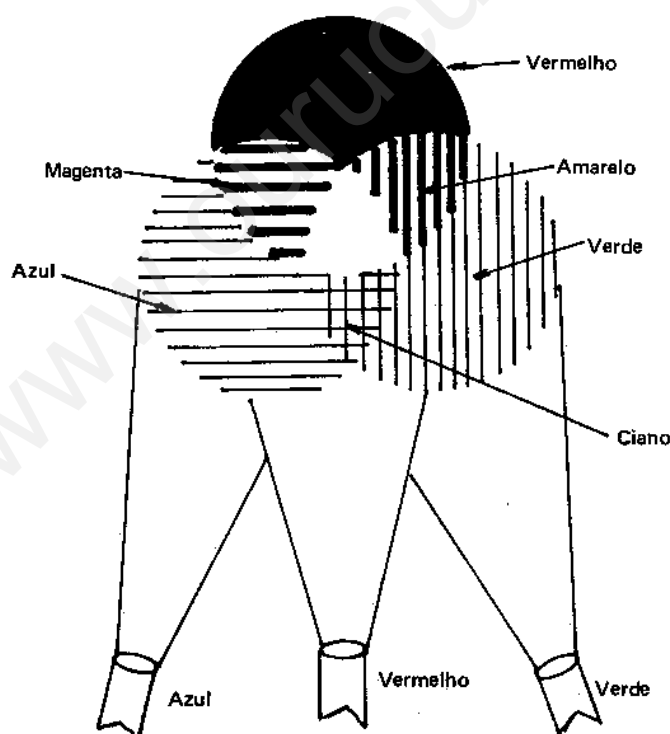


FIGURA 6. Cores obtidas por adição de luzes coloridas (segundo 4).

II Seminário de Corantes Naturais para Alimentos
I Simpósio Internacional de Urucum

Com o emprego de reostatos, pode-se variar a intensidade de cada cor primária na formação das cores e especificá-las matematicamente.

Grassman, em 1853, provou que a função cromática pode ser colocada em gráfico como um ponto bi-dimensional. Considerando um triângulo equilátero em que cada um dos vértices representa 100% de vermelho (R), 100% de verde (G) e 100% de azul (B), pode-se especificar quaisquer cores, marcando no gráfico diferentes quantidades ou coeficientes das cores primárias. Os coeficientes R, G e B também são conhecidos como valores de triestímulos das primárias. Assim, o centro do triângulo é branco e o restante é colorido, dependendo da mistura de cores.

Matematicamente, o triângulo equilátero é transformado em triângulo retângulo (triângulo de Maxwell) e somente os valores de triestímulos, g e r, são locados no triângulo (Figura 7), de modo que o 3º valor, ou b, é calculado a partir dos dois primeiros.

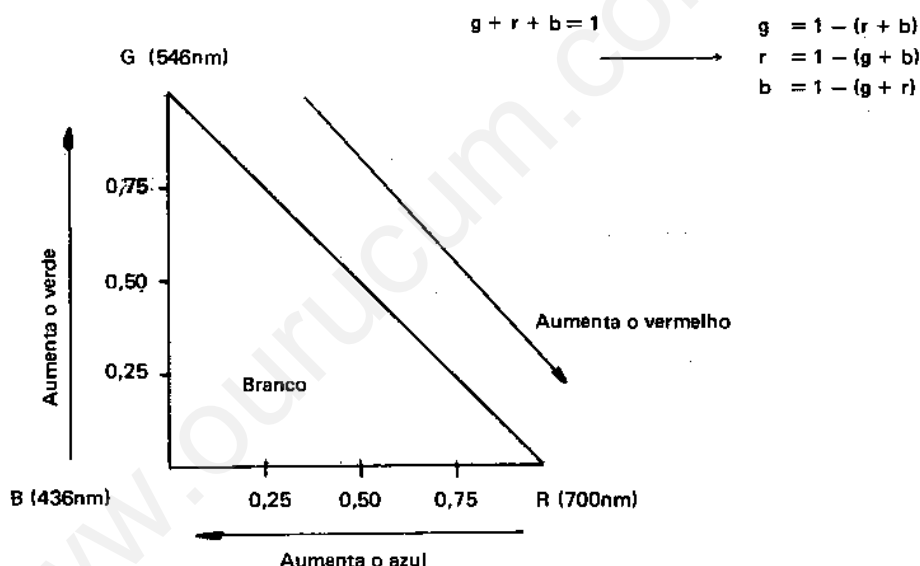


FIGURA 7. Triângulo de Maxwell ou diagrama de cromaticidade.

A maior desvantagem deste sistema é que não se pode combinar todas as cores com a mistura de quaisquer das três luzes coloridas. Suponha que pela mistura das duas primárias azul e verde se obtenha uma mistura "muito vermelha". A terceira primária a ser adicionada é o vermelho, porém, a cor continuará "muito vermelha". Na verdade, necessita-se subtrair vermelho, o que quebra o conceito da adição, pois ter-se-ia o conceito de cores negativas.

A CIE ("Commission Internationale de L'Eclairage") adotou, em 1935, o sistema das primárias irreais X, Y, Z, cujos coeficientes são calculados a partir dos valores de triestímulos experimentais obtidos da combinação das primárias R, G e B para formar uma determinada cor.

Os valores de triestímulos X, Y e Z, após transformações matemáticas, podem ser marcados num triângulo retângulo em que todas as cores podem ser especificadas em termos das primárias irreais X, Y e Z (Figura 8).

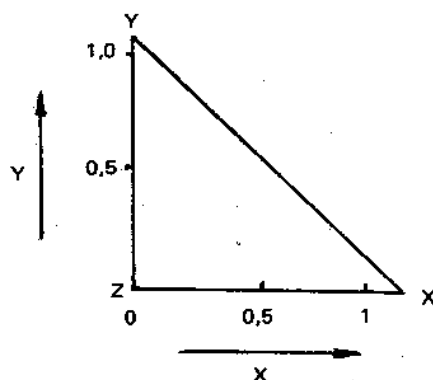


FIGURA 8. Coordenadas X, Y e Z marcadas no triângulo retângulo.

10. COORDENADAS DE CROMATICIDADE, TRIÂNGULO DE MAXWELL, "SPECTRUM LOCUS" E OBSERVADOR-PADRÃO (3)

Algumas cores podem ser especificadas a partir da combinação de quantidades relativas de vermelho, verde e azul. Estas quantidades são conhecidas como valores de triestímulos das 3 cores primárias representadas pelos símbolos R (vermelho), B (azul) e G (verde). Entretanto, é mais conveniente expressar estes valores como frações do seu total, que são denominadas de "coordenadas de cromaticidade" e simbolizadas por r , b e g .

Matematicamente:

$$r = \frac{R}{R + B + G}$$

$$b = \frac{B}{R + B + G}$$

$$g = \frac{G}{R + B + G}$$

$$r + b + g = 1$$

Entretanto, a cor é tridimensional e até agora somente foi definida no espaço bidimensional, faltando incluir o terceiro atributo, que é a luminosidade ou o valor que é descrito no sólido de Munsell.

GRASSMAN (4) propôs a teoria de que a luminância produzida pela mistura aditiva de um número de luzes é igual à soma da luminosidade produzida separadamente de cada uma destas luzes (luminância = intensidade de luz de uma superfície numa dada direção por unidade de área projetada da superfície quando vista sob esta direção).

II Seminário de Corantes Naturais para Alimentos
I Simpósio Internacional de Urucum

Pela Figura 7 observa-se que todas as cores têm o mesmo grau de luminosidade ou teor de preto, conquanto se conheçam cores claras e escuras. O conceito de um número infinito de triângulos de Maxwell no espaço-tridimensional de cor, onde o ponto "zero" ou de junção dos eixos dos valores de triestímulos representa o preto ou inexistência de cor (luminosidade = 0) e o avanço através dos eixos significam o aumento da luminosidade e do tamanho dos triângulos de Maxwell, contendo a cada passo mais cores, até o ponto onde a luminosidade é 100% e todas as cores são contidas formando o branco (Figura 9).

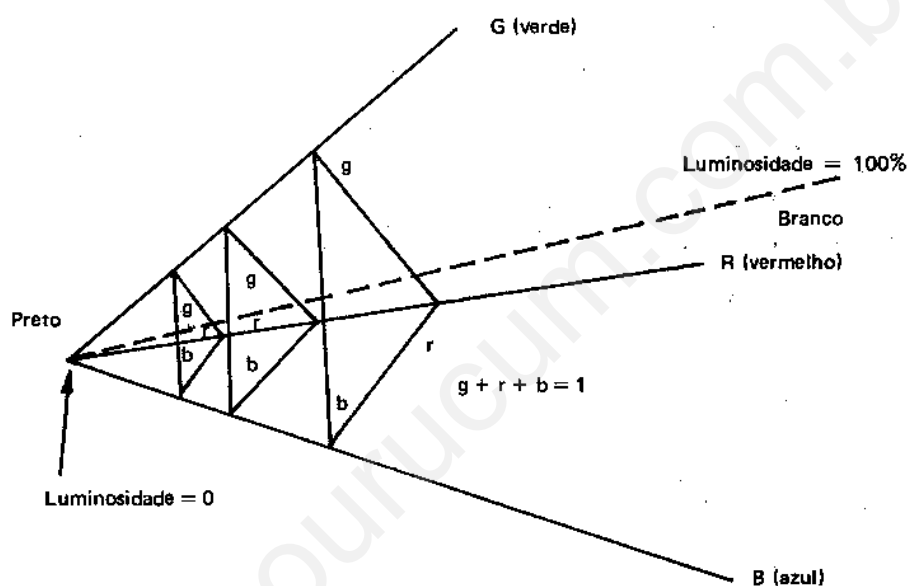


FIGURA 9. Número infinito de triângulos de Maxwell no espaço tridimensional.

Para uma explicação mais correta e pormenorizada da cor, imagine-se uma determinada cor P representada no espaço tridimensional como um vetor radial, tendo direção e magnitude (Figura 10). A cor P é representada como um ponto no espaço pelo vetor OP, tendo os componentes R, G e B locados ao longo dos eixos coordenados correspondentes ao ponto P.

Se se imaginar o vetor OP multiplicado ou dividido por um vetor X, com os valores de triestímulos guardando sempre a mesma proporção, haverá um alongamento ou encurtamento do vetor, formando infinitas cores que guardam a mesma proporção de R, G e B, de modo que o tom e a croma da cor permanecem constantes, mudando apenas a luminosidade. Pela Figura 10 observa-se que a cor P'' é mais clara do que a cor P, a qual, por sua vez, é mais clara do que a cor P'.

II Seminário de Corantes Naturais para Alimentos
I Simpósio Internacional de Urucum

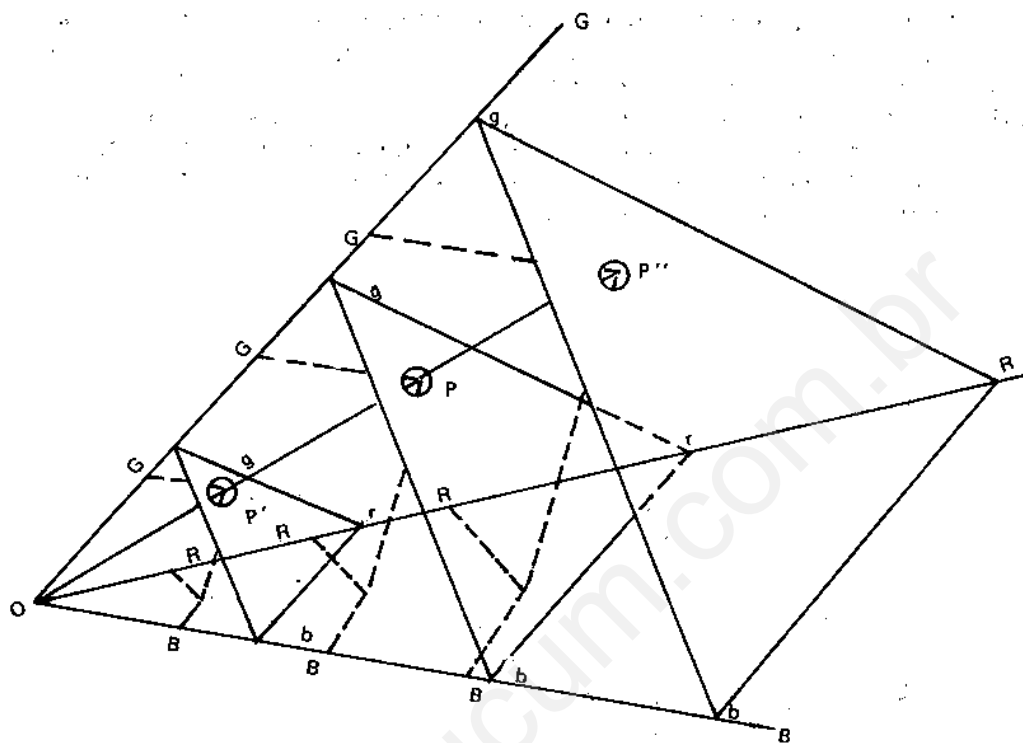


FIGURA 10. Representação gráfica da direção e magnitude dos vetores OP , OP' e OP'' de determinadas cores locadas no espaço tridimensional.

Contudo, as cores negativas não estão contidas nos triângulos de Maxwell, como as azuis e verdes altamente saturadas e as amarelas representadas, respectivamente, pelos pontos N e C e pelo ponto A, que caem fora do espaço de cor definido pelos valores de triestímulos R, G e B. O *spectrum locus* (Figura 11) define as cores espectrais e engloba todas as cores, substituindo o triângulo de Maxwell.

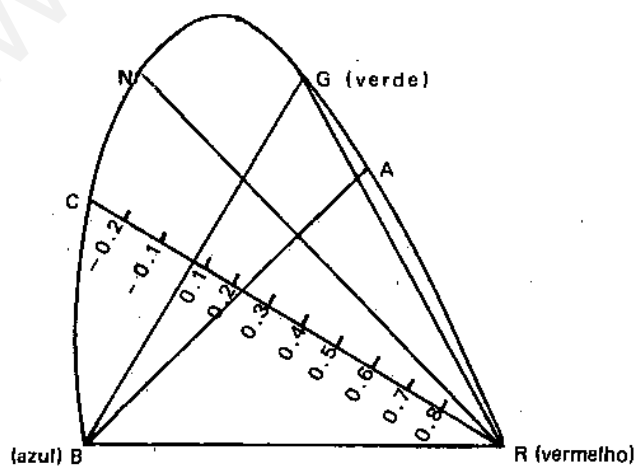


FIGURA 11. *Spectrum locus* obtido quando luzes espectrais puras são usadas na formação de cores espectrais (4).

II Seminário de Corantes Naturais para Alimentos
I Simpósio Internacional de Urucum

Conectando os pontos R com N ou C e o ponto B com A, pode-se estabelecer uma escala em termos de vermelho (para N e C) e azul (para A), onde a distância fora do triângulo R G B representa os valores negativos de vermelho requeridos para definir o ponto A (4).

Visto que um dos aspectos mais importantes do sistema é o de medir "o que os olhos vêem", definiu-se o "observador-padrão". Os valores de triestímulos do observador-padrão (r, g e b), isto é, as quantidades relativas das três cores primárias espectrais puras, requeridas para formar cores a cada comprimento de onda de luz dentro do espectro visível, são obtidas sob condições controladas de comprimento de onda (A) das cores primárias usadas, da abertura de visão para combinação das cores (ângulo visual de 2° ou 10°) e especificando que as 3 cores primárias são de igual energia.

11. SISTEMA DE CIE (Commission Internationale de l'Eclairage)

A CIE adotou métodos para medição e especificação de cor que incluem (4):

- Uso de fontes de luz-padrão definidas, pela CIE;
- Condições exatas para a observação ou medição da cor da amostra;
- Uso de unidades matemáticas apropriadas para expressar a cor do objeto;
- Definição do "observador-padrão", de curvas ou tabelas relatando medidas objetivas da resposta visual.

11.1. Fontes de luz-padrão

Fonte-padrão A (temperatura de cor de 2854°K), fonte-padrão B (temperatura de cor de 4870°K) e fonte-padrão C (temperatura de cor de 6740°K).

11.1.1. Definições: Iluminante

Luz teórica definida pela distribuição espectral da energia (obs.: pode não ser possível produzir fisicamente uma fonte representante do iluminante).

11.1.2. Fonte

Luz real cuja distribuição espectral da energia pode ser determinada experimentalmente e que pode ser usada em experimento de formação de cor.

11.1.3. Fonte-padrão

Quando a distribuição espectral da energia de alguma fonte é definida. Se uma fonte é produzida para formar um iluminante, o iluminante também se torna uma fonte-padrão.

11.2. Observador-padrão e curvas do observador-padrão

A formação de cor pelo observador-padrão da CIE subentende um ângulo visual de 2° ou 10°.

A CIE recomenda, na iluminação do objeto, um ângulo de 45° e para observação 90°.

Se as condições definidas não puderem ser observadas, as especificações da CIE podem ser utilizadas ainda que o procedimento não seja o ideal.

II Seminário de Corantes Naturais para Alimentos
I Simpósio Internacional de Urucum

As curvas do observador-padrão no sistema CIE são constituídas pelas cores primárias reais, ainda que o sistema descreva as cores em termos de cores primárias irreais, isto porque os valores de triestímulos do observador-padrão (x , y e z) são calculados a partir de g , r e b , que são valores reais.

Pelas curvas do observador-padrão da CIE (Figura 12), observa-se que um largo intervalo de cores da região amarelo-vermelho pode ser especificado somente por duas primárias, x e y , ou seja, o olho não utiliza o valor de triestímulos z .

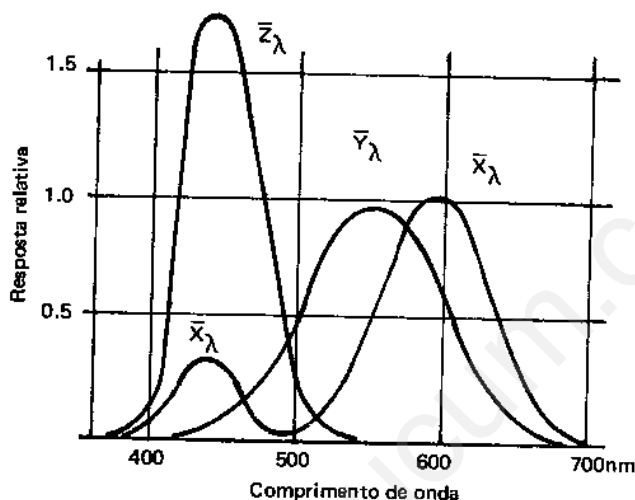


FIGURA 12. Valor de triestímulos do observador-padrão para espectro de igual energia ($\bar{x}_\lambda$, $\bar{y}_\lambda$, $\bar{z}_\lambda$) (6).

11.3. Unidades matemáticas no sistema CIE

Como foi visto anteriormente, o sistema R G B define a cor no espaço bidimensional (tom e croma), faltando o terceiro atributo, que é a luminosidade.

Na incorporação da terceira dimensão da cor (luminância) no sistema CIE, deve-se coordenar a função fotótica de luminosidade, ou seja, a luminosidade relativa (Figura 13).

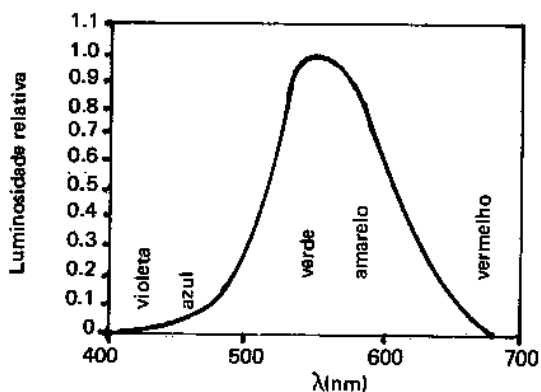


FIGURA 13. Função fotótica da luminosidade (6).

II Seminário de Corantes Naturais para Alimentos
I Simpósio Internacional de Urucum

Esta função loca a recíproca da menor quantidade de luz requerida pela visão dos cones para produzir igual brilho a todos os comprimentos de onda, ou seja, a altura da curva é diretamente proporcional à sensibilidade dos cones ao brilho para determinado comprimento de onda.

Considere (Figura 13) o verde (ao redor de 550nm) como tendo luminosidade relativa igual a 1,0; o vermelho (ao redor de 655nm) com cerca de 0,1 (1/10 da do verde) e o azul (ao redor de 445nm) com cerca de 0,03; conclui-se que o verde, pela sua participação, é o atributo mais importante para descrever a 3ª dimensão da cor, a luminosidade, no sistema R G B e no sistema da CIE desenvolvido.

Considerando-se os pontos de luminância relativa zero no triângulo de Maxwell (Figura 14) para o vermelho e o azul, a linha que une os dois pontos de luminância relativa zero contém as cores não realizáveis, o que não deve causar espanto, já que cores reais obtidas da mistura de vermelho e azul têm baixa luminosidade.

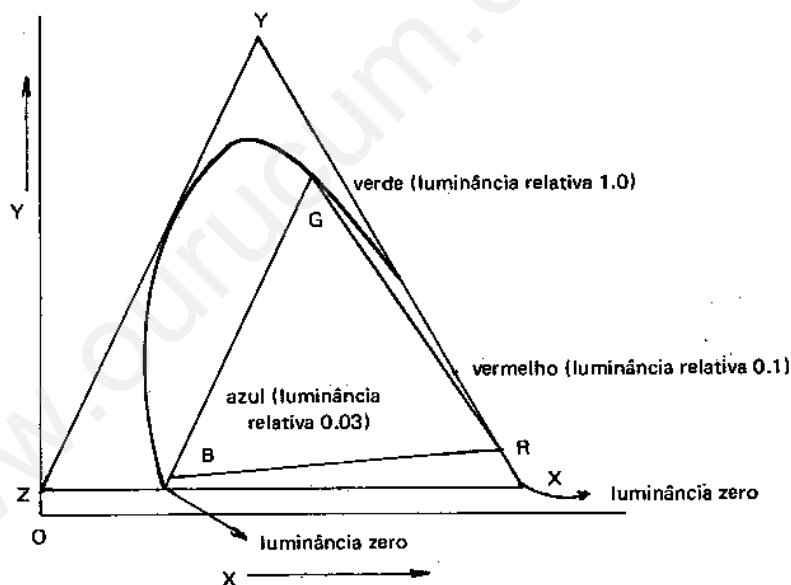


FIGURA 14. Triângulo X Y Z do sistema CIE (4).

No novo sistema de cor da CIE (Figura 14), o valor de triestímulos X é análogo a R e Z e análogo a B, ao nível de luminância igual a zero.

Da mesma forma que no sistema R G B, as coordenadas de cromaticidade são calculadas e designadas por x, y e z:

$$x = \frac{X}{X + Y + Z}; y = \frac{Y}{X + Y + Z} \text{ e } z = \frac{Z}{X + Y + Z}$$

$$\text{e } x + y + z = 1$$

O triângulo X Y Z do sistema CIE (Figura 14), da mesma forma que o triângulo R G B (Figura 7) não apresenta a cor total, ou seja, no seu aspecto tridimensional.

A Figura 15 representa, por meio de projeção oblíqua de um número infinito de triângulos retângulos, o conceito de tridimensionalidade da cor. Note-se que os valores de triestímulos X e Z permanecem constantes ao nível zero de luminosidade, enquanto o valor de Y aumenta, indo de zero até 100% de luminosidade. Dessa forma, cada triângulo representa a qualidade da cor em termos do tom e croma a um nível determinado de luminosidade.

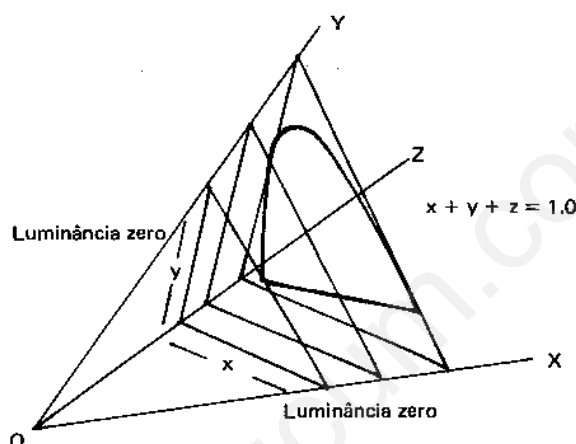


FIGURA 15. Ilustração do espaço de cor da CIE (4)

No sistema CIE, por definição, Y sozinho especifica a luminância da cor (expresso em % de luminosidade), localizando o ponto no espaço onde o triângulo está situado. Somente duas coordenadas de cromaticidade (x, y) são necessárias para definir o tom e a croma da cor em cada triângulo, visto que $x + y + z = 1$ e o conhecimento de apenas duas das coordenadas define a terceira.

O diagrama de cromaticidade da CIE (*spectrum locus* na forma de ferradura) (Figura 16) engloba todas as cores espectrais e não-espectrais, localizando-se no espaço tridimensional.

Cores não-espectrais (incluindo roxos e magentas) são as produzidas somente pela mistura de luzes de comprimento de onda longo e curto, não podendo ser produzidas por estímulos espectrais simples.

Observa-se pela Figura 16 o *spectrum locus* dividido em áreas das cores espectrais e não-espectrais, com o ponto C representando o iluminante C da CIE.

Pela definição da área sobre a qual o estímulo físico é locado no *spectrum locus* tem-se informações sobre a qualidade da cor. Pela Figura 17, observa-se a amostra espectral definida pelas coordenadas de cromaticidade (0,3; 0,5). Unindo-se em linha reta o ponto do iluminante C com a amostra, o ponto de intersecção com o *spectrum locus* (λ) é o comprimento de onda dominante da cor da amostra, podendo-se dizer que λ é análogo ao tom. Isto quer dizer que uma mistura adequada de λ com o iluminante dará a cor da amostra.

II Seminário de Corantes Naturais para Alimentos
I Simpósio Internacional de Urucum

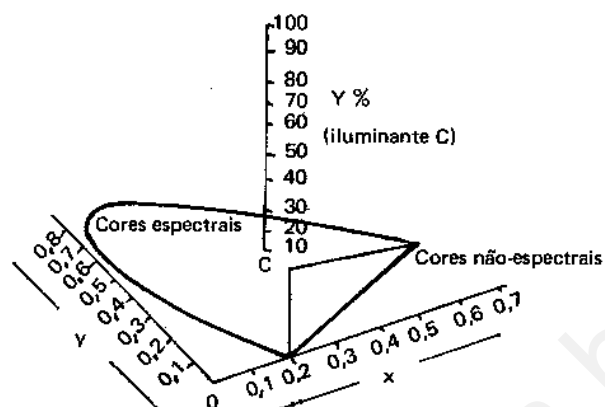


FIGURA 16. *Spectrum locus* da CIE na forma de ferradura e divisão das cromaticidades reais nas partes espectral e não-espectral (4).

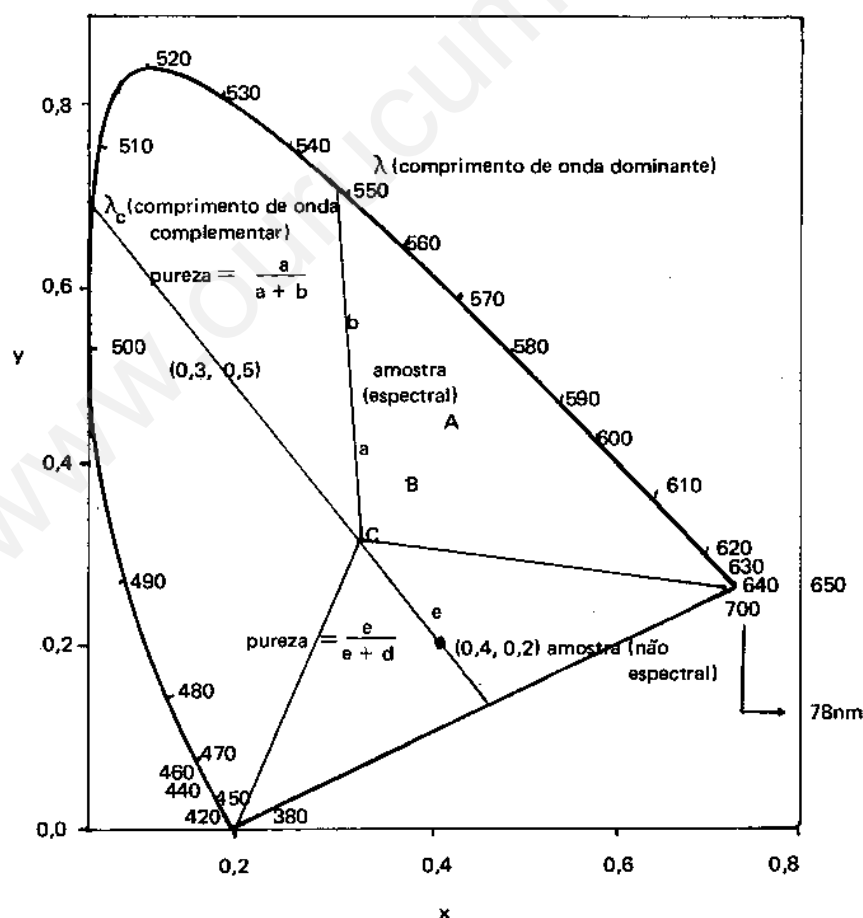


FIGURA 17. Diagrama de cromaticidade da CIE mostrando comprimentos de onda dominante (λ), complementar (λ_c), pureza e os iluminantes A, B e C.

O quociente da distância (a) do iluminante até a amostra pela distância (a + b) do iluminante até o comprimento de onda dominante é denominado pureza (excitação de pureza) da cor da amostra (Figura 17) (pode-se dizer que a pureza é análoga à croma).

A especificação do comprimento de onda dominante (λ) e a da pureza permitem uma melhor visualização da cor do que pelos valores de triestímulos (4).

No caso de amostras de cores não espectrais, o comprimento de onda complementar, em vez de comprimento de onda dominante, é obtido pelo tracejado de uma linha reta através da cromaticidade da amostra e do iluminante até atingir o *spectrum locus* em λ_c . A pureza das amostras de cores não espectrais é determinada pela relação entre a distância da cromaticidade do iluminante até a cromaticidade da amostra (e) e a distância entre a cromaticidade do iluminante através da cromaticidade da amostra até o *spectrum locus* da região de comprimentos de onda curtos (e + d).

12. MENSURAÇÃO DE COR (3)

12.1. Espectrofotometria: princípios e aparelhos para medição

12.1.1. Princípios

A espectrofotometria para medição de cor é concernente à porção visível (380-750nm) do espectro eletromagnético. Para os químicos analíticos em particular, a espectrofotometria é a medição da energia radiante transmitida ou absorvida por meio de determinada solução, representando a quantidade de determinado componente presente.

O espectrofotômetro (Figura 18) consiste, em resumo: de uma fonte de luz branca que passa através de um prisma de difração, de modo a produzir um espectro; de um orifício para seleção de porções monocromáticas de luz que atravessam (transmitância) ou são refletidas (reflectância) pela amostra; e de um fototubo que analisa a luz refletida ou transmitida.

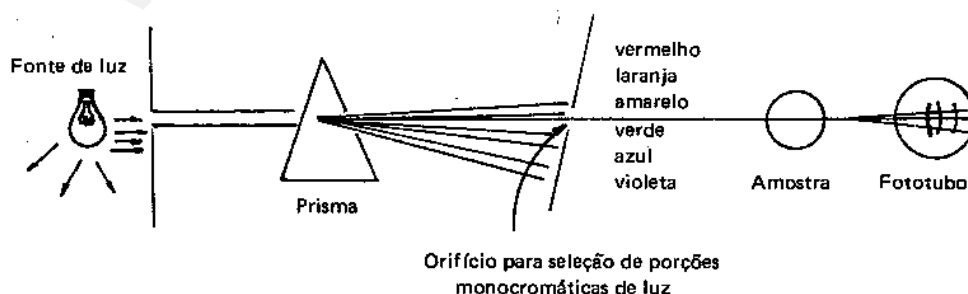


FIGURA 18. Esquema simplificado de um espectrofotômetro.

II Seminário de Corantes Naturais para Alimentos
I Simpósio Internacional de Urucum

12.1.2. Transmissão

Pode ser definida como a relação entre a intensidade (I_o) da luz emergente da solução e a intensidade (I_e) da luz que penetra na solução e pode ser expressa por:

$$T = \frac{I_o}{I_e}$$

Como sempre, uma determinada proporção da luz que penetra na solução é perdida durante a passagem devido à reflexão nas paredes do tubo de vidro, à dispersão, à absorção por reagentes e solventes e à presença de substâncias na solução. É mais desejável, para fins práticos, expressar a transmitância pela relação entre a intensidade (I_o) da luz emergente da solução e a intensidade (I_R) da luz emergente de uma solução-referência:

$$T = \frac{I_o}{I_R}$$

Em análises químicas é comum medir a transmitância a um determinado comprimento de onda de máxima absorção para o componente de interesse.

Para determinar a cor da solução é necessário medir a absorção da luz através do espectro visível.

12.1.3. Reflectância

Pode ser definida como a relação entre a intensidade (R_o) da luz refletida da amostra e a intensidade (R_w) da luz refletida de um padrão com reflectância espectral conhecida para cada comprimento de onda. Reflectância pode ser expressa por:

$$R = \frac{R_o}{R_w}$$

O padrão é normalmente um material branco, como óxido de magnésio calcinado ou sulfato de bário comprimido, vitrolite, vidro de Carrara ou placas metálicas pintadas. Todos os padrões são de reflectância conhecida em comparação com a do óxido de magnésio.

Os instrumentos para medição da reflectância utilizam um ou dois arranjos diferentes de luz, a amostra a ser testada e o fotodetector. Um dos tipos, denominado 0°-45°, mede a luz de fonte refletida pela amostra a um ângulo de 45° (reflexão difusa). Outro arranjo envolve o uso de esfera integrante (esfera oca de metal, internamente pintada de branco ou revestida com filme de óxido de magnésio), a qual coleta toda a luz refletida pela amostra colocada sobre um orifício da esfera.

Para a conversão dos valores de transmitância (T) ou reflectância (R) sobre o espectro visível, em termos análogos aos que os olhos vêem a cor, usam-se os valores de triestímulos da CIE. São dois os métodos geralmente empregados para converter leituras de reflectância ou transmitância nas de triestímulos da CIE: método ordenante ponderado e método ordenante selecionado.

Atualmente, encontram-se à disposição, no comércio, espectrofotômetros desenvolvidos para a análise de cor, tanto por reflectância como por transmitância, que promovem leituras em vários sistemas de cor, com 2° e 10° , incluindo porções do ultravioleta e infravermelho ou não e com vários iluminantes. Estes equipamentos oferecem leituras do espectro e nos sistemas de três estímulos.

12.2. Colorimetria: princípios e aparelhos para medição

12.2.1. Colorímetros de triestímulos e princípios

O método mais utilizado na indústria de alimentos para medição de cor não é o espectrofotométrico, mas sim o de colorimetria de triestímulos, que não requer muita manipulação manual ou integradores caros.

Simplificadamente, um colorímetro de triestímulos consiste de luz branca proveniente de uma fonte-padrão da CIE, que incide sobre a amostra sob um ângulo de 0° e é refletida a um ângulo de 45° (reflexão difusa) ou vice-versa. A luz refletida passa através dos filtros X, Y e Z, sendo medida por uma fotocélula (Figura 19). Uma esfera de integração também poderá ser usada.

Os filtros simulam as curvas do observador-padrão; logo, a luz que atinge a fotocélula é modificada e propicia leituras que simulam o que os olhos vêem: os valores de triestímulos da cor são obtidos diretamente.

O defeito destes colorímetros é que por problemas associados com fontes de energia, filtros e detectores e com a inability de produzir respostas exatas, não se obtêm leituras de cor iguais de instrumento para instrumento, mesmo quando se utiliza do mesmo modelo e da mesma linha. Por isso, são comumente utilizados para medir pequenas diferenças de cor entre as amostras de modo altamente reprodutível, em vez de medir a cor absoluta.

As leituras obtidas não são necessariamente expressas em termos de X, Y e Z, podendo ser em outras escalas. O valor máximo de Y da CIE para a amostra branco puro (MgO) é 100.

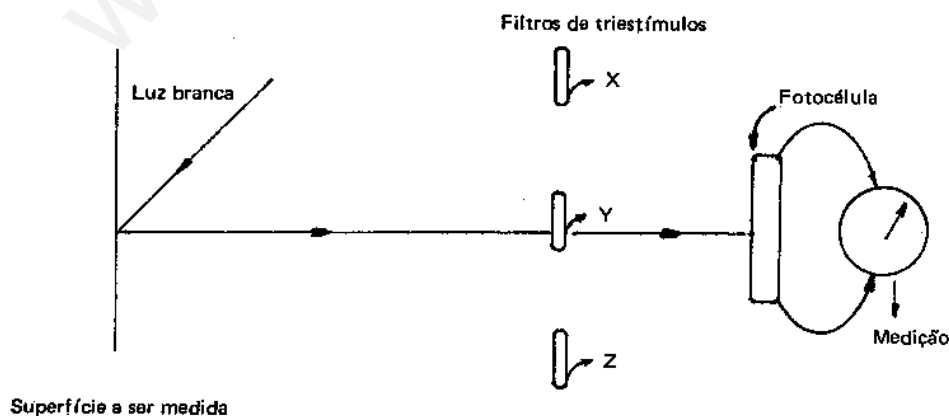


FIGURA 19. Esquema de um colorímetro de triestímulos com os elementos essenciais (4).

II Seminário de Corantes Naturais para Alimentos
I Simpósio Internacional de Urucum

Visto que pela curva do observador-padrão (Figura 12), o valor de $\bar{x}$ apresenta dois picos, um na região do vermelho e outro na do azul, em colorímetros de triestímulos dois ajustes podem ser feitos:

— O colorímetro é constituído de três filtros de triestímulos, admitindo-se que a curva de $\bar{x}$ na região do azul tenha o mesmo formato que a de $\bar{z}$ e que uma fração da leitura do filtro Z é transmitida para o filtro X, de modo a compensar o pequeno pico $\bar{x}$;

— O colorímetro é constituído de quatro filtros de triestímulos, sendo que dois deles são para os correspondentes dois picos da curva de $\bar{x}$ (Figura 12).

Um colorímetro de triestímulos pode ser representado diagramaticamente (Figura 20) pelo produto de uma luz de tungstênio, pela sensibilidade espectral do observador e pela modificação produzida por um filtro, de maneira que seja igual ao produto de uma fonte-padrão (na Figura 20 é a fonte representativa da luz do dia), pelas respostas do observador-padrão (no exemplo, uma das três respostas, $\bar{y}$, é mostrada) (4). O segredo e a dificuldade para produzir um colorímetro preciso baseiam-se na habilidade em produzir um conjunto fonte-filtro-fotocélula que reproduza acuradamente a resposta do olho humano (4).

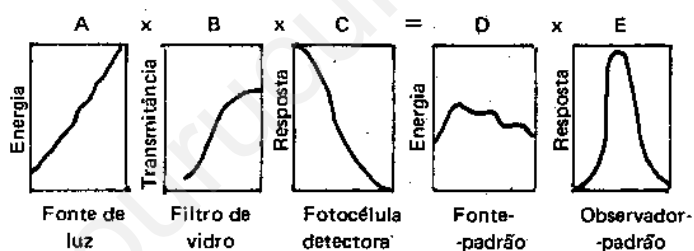


FIGURA 20. Representação diagramática do colorímetro de triestímulos (segundo 4).

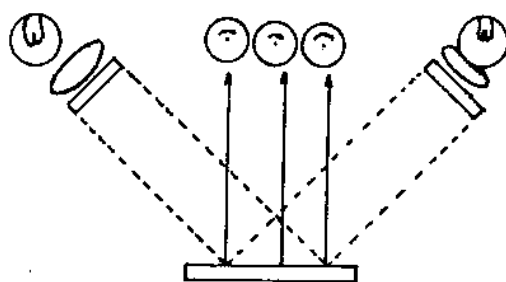
Algumas das geometrias que podem ser usadas com colorímetros de três estímulos (Hunterlab) são mostradas na Figura 21, assim como a descrição do tipo de amostra para cada geometria desenhada (6).

12.3. Colorímetros visuais: princípios

Os colorímetros visuais são de dois tipos: aditivos e subtrativos. Os colorímetros aditivos envolvem a adição das três primárias vermelho, verde e azul, para formar quaisquer cores. As escolhas destas três primárias se baseiam no fato de que com o vermelho, verde e azul formam-se mais cores do que com quaisquer outras primárias.

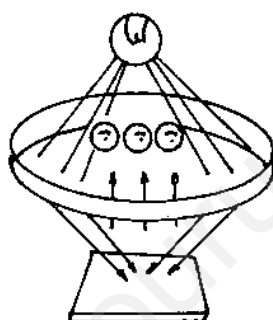
Os colorímetros subtrativos envolvem a remoção de porções do espectro visível (luz branca) através de filtros com as cores das primárias vermelho, amarelo e azul. O uso deste conceito é bastante útil, visto que grande número de cores pode ser produzido pelos três filtros. Se se remover o amarelo e magenta da luz branca encontra-se o vermelho; se se remover o amarelo e azul encontra-se o verde; se se remover ciano e vermelho encontra-se o azul; se se remover todos os três em alta densidade encontra-se o preto e a muito baixa densidade encontra-se o branco (4).

II Seminário de Corantes Naturais para Alimentos
I Simpósio Internacional de Urucum



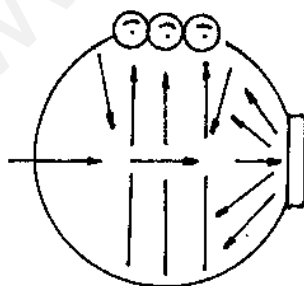
Descrição: dois feixes de luz incidentes a 45°, observação a 0°

Tipos de amostras: superfícies planas pintadas, papel, cerâmica, pós-pressionados, líquidos opacos em cubas.



Descrição: incidência circunferencial a 45°, observação a 0°

Tipos de amostras: amostras de tecidos, chumaços de fibras, ervilhas, bagas e grãos.



Descrição: incidência circunferencial a 0°, observação difusa

FIGURA 21. Geometria dos vários sensores ópticos dos colorímetros "Hunterlab D25 Color Difference Meter" (segundo 6).

II Seminário de Corantes Naturais para Alimentos
I Simpósio Internacional de Urucum

Uma diferença óbvia entre ambos é que nos colorímetros aditivos, quando se somam as luzes vermelha, azul e verde encontra-se luz branca e nos colorímetros subtrativos, se se subtrair vermelho, verde e azul da luz branca encontra-se o preto (4).

12.3.1. Colorímetros visuais aditivos: aparelhos

Os colorímetros visuais aditivos são baseados no princípio de aditividade da lei de Grassman. Um ponto importante a ser levantado é que estes instrumentos são menos sensíveis do que o olho humano por si só.

– **Aparelhos para medição:** o colorímetro de discos foi desenvolvido pelo Departamento da Agricultura dos Estados Unidos, sendo baseado no sistema Munsell (devido à existência de acurados cartões de cor) e segue os conceitos fundamentais desenvolvidos por Maxwell. Dois ou mais discos (discos de Maxwell) são encaixados, de modo que determinada quantidade de cada disco fique exposta e postos a girar a velocidade suficiente para que a cor dos discos apareça uniforme. A proporção de cada disco exposto vai determinar a cor do disco composto. Os dados da medição da cor pelo sistema Munsell são convertidos ao sistema da CIE XYZ por manipulação matemática.

12.3.2. Colorímetros visuais subtrativos: aparelhos

A calibração de um colorímetro subtrativo para leituras em unidades XYZ é muito mais trabalhosa do que nos aditivos, envolvendo a aplicação das leis de Beer-Lambert. A presença de pequena porção de turbidez nas amostras pode complicar os cálculos de XYZ (4).

– **Aparelhos para medição: tintômetro da Lovibond.** O tintômetro da Lovibond é um dos mais antigos e usados colorímetros subtrativos. Apresenta as vantagens do tempo de duração dos filtros e da simplicidade do aparelho, com a desvantagem de ser cansativo ao operador.

Há dois tipos de tintômetro: o primeiro possui vidros neutros para uma combinação completa e o segundo inclui a modificação de Schofield.

Os tintômetros de Lovibond consistem essencialmente de luz branca e de uma série de vidros coloridos (vermelho, azul e amarelo) para as comparações de cor.

Este aparelho pode ser utilizado para leituras de cor em amostras opacas ou transparentes, existindo também um recipiente giratório para amostras não homogêneas (9).

O modelo especial Tintometer AF710 foi desenhado especialmente para leituras de cor de óleos, atendendo aos requisitos da AOCS ("American Oil Chemists Society") (9).

13. ESCALAS DE COR E CONVERSÃO ENTRE AS DIVERSAS ESCALAS (3)

A conversão dos dados obtidos pelos diversos colorímetros para uma escala ou outra é uma necessidade, quando se deseja comparar ou analisar esses dados.

As equações para estas conversões são fornecidas pelo produtor do colorímetro, geralmente constando no próprio catálogo do aparelho.

II Seminário de Corantes Naturais para Alimentos
I Simpósio Internacional de Urucum

Sistema CIE – escala XYZ (5)

$$X = \int_{380}^{750} R_{\lambda} H_{\lambda} \bar{x}_{\lambda} d\lambda \quad Y = \int_{380}^{750} R_{\lambda} H_{\lambda} \bar{y}_{\lambda} d\lambda \quad Z = \int_{380}^{750} R_{\lambda} H_{\lambda} \bar{z}_{\lambda} d\lambda$$

onde:

R_{λ} = luz refletida

H_{λ} = iluminante

$\bar{x}_{\lambda}$, $\bar{y}_{\lambda}$ e $\bar{z}_{\lambda}$ = respostas das curvas do observador-padrão

Sistema Lab (Hunter) – XYZ da CIE expresso como MgO · 100 (4)

$$Y = 0,01 (L^2)$$

$$X = \frac{0,1aL + 0,175(L^2)}{17,85}$$

$$Z = \frac{0,07 (L^2) - 0,1(Lb)}{5,929}$$

ou

$$L = 10(Y^{1/2}) \quad a_L = \frac{17,5 (1,02 X - Y)}{Y^{1/2}} \quad b_L = \frac{7,0 (Y - 0,847Z)}{Y^{1/2}}$$

Os instrumentos da Gardner, assim como da Hunter, apresentam as escalas R_d , a_{R_d} ou GAB (4).

$$Y = R_d \quad X = \left(\frac{a_{R_d}}{1,785f_y} \right) + 0,9804 R_d \quad Z = 1,181 R_d - \left(\frac{b_{R_d}}{0,5929f_y} \right)$$

ou

$$R_d = Y \quad a_{R_d} = 1,75f_y (1,02X - Y) \quad b_{R_d} = 0,70f_y (Y - 0,847Z)$$

ou

$$R_d = 0,01L^2 \quad a_{R_d} = \frac{af_y \cdot L}{100} \quad b_{R_d} = \frac{bf_y L}{100}$$

onde:

$$f_y = 0,51 \left(\frac{21 + 0,2Y}{1 + 0,2Y} \right)$$

II Seminário de Corantes Naturais para Alimentos
I Simpósio Internacional de Urucum

Relação entre as coordenadas de cromaticidade x , y , z e os valores de triestímulos XYZ (4).

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

$$x + y + z = 1$$

Escala GAB (verde, âmbar, azul) (4)

$$\begin{aligned} G &= Y \\ R &= 1,277X - 0,213Z \\ B &= 0,847Z \end{aligned}$$

Sistema Y%, X%, Z% (4)

$$Y\% = Y \quad X\% = 1,02Y \quad Z\% = 0,8472$$

Sistema do colorímetro Color Eye (X_{Ce} , Y_{Ce} , Z_{Ce}) (4)

a) Aparelho com 4 filtros (X_{Ce} refere-se ao maior pico do vermelho e X'_{Ce} ao menor).

$$X = 0,783X_{Ce} + 0,197X'_{Ce}$$

$$Y = Y_{Ce}$$

$$Z = 1,178Z_{Ce}$$

b) Aparelho com padrão calibrado de vitrolite (4).

$$X = 0,6850X_{Ce} + 0,1678Z_{Ce}$$

$$Y = 0,8764Y_{Ce}$$

$$Z = 1,0220Z_{Ce}$$

Sistema do colorímetro Elrepho (X_e , Y_e , Z_e)

$$X = 0,782X_e + 0,1902e$$

$$Y = Y_e$$

$$Z = 1,181Z_e$$

Sistema do colorímetro Colormaster (RGB) (valores de XYZ referem-se à média das calibrações com vitrolite no instrumento de 3 filtros) (4)

$$Y = G$$

$$X = 0,783R + 0,197B$$

$$Z = 1,181B$$

$$\text{sendo } R = A$$

II Seminário de Corantes Naturais para Alimentos
I Simpósio Internacional de Urucum

ou

$$L = 10(G)^{1/2}$$

$$a = 70(g)^{1/2} \left(\frac{A - G}{A + 2G + B} \right)$$

$$b = 70(G)^{1/2} \left(\frac{A - B}{A + 2G + B} \right)$$

Sistema $L^* a^* b^*$ (CIELab) CIE 1976

$$L^* = 116 \left(\frac{Y}{Y_0} \right)^{1/3} - 16$$

$$a^* = 500 \left[\left(\frac{x}{x_0} \right)^{1/3} - \left(\frac{y}{y_0} \right)^{1/3} \right]$$

$$b^* = 200 \left[\left(\frac{y}{y_0} \right)^{1/3} - \left(\frac{z}{z_0} \right)^{1/3} \right]$$

limitado por $x/x_0, y/y_0, z/z_0 > 0,01$

Para o iluminante C

$$x_0 = 98,041, \quad y_0 = 100,000, \quad z_0 = 118,103$$

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. BIERREN, F. Color & Human Appetite. Food Technol. 17(5):45-47, May 1963.
2. FARNSWORTH, D. The Farnsworth. Munsell 100-Hue Test for the examination of color discrimination. Manual da Munsell Color Company, Inc. Revised 7p., 1957.
3. FERREIRA, V.L.P. Princípios e Aplicações de Colorimetria em Alimentos. Instruções Técnicas do ITAL, nº 19, 86p., 1981.
4. FRANCIS, J.F. & CLYDESDALE, F.M. Food Colorimetry: Theory and Applications. The AVI Publishing Co., Inc., 477p., 1975.
5. GARDNER INSTRUMENTS. Appearance Measurement Section A. Gardner Laboratory, Inc. 5521 Landy Lane/Bethesda, M.D. 20014, USA, Revision, 2, PI-5MR-1/76.
6. HUNTER, R.S. The Measurement of Appearance. John Wiley & Sons, New York, 348p., 1975.
7. JUDD, D.B. & WYSZECKI, G. Color in Business, Science and Industry. John Wiley & Sons - Toronto, 3ed., 553p., 1975.
8. MUNSELL, A.H. A Color Notation. Munsell Color Company, Inc. Baltimore, 12ed., 67p., 1975.
9. LOVIBOND. Instructions for using the Lovibond Tintometer. The Tintometer Limited, Salisbury, England, 32p.