

○ Tripé do cores:  
Luz, objecto and observadores



*[...que cor é o objeto?  
Tristímulus: fonte de luz - objeto -  
observador*



*Uma fonte de luz, um objeto, dois  
observadores! A interpretação significa  
que cada observador enxerga algo  
em sua mente e a seu modo.*

## Capítulo 5

# O Tripé

## Os elementos do tripé

As cores estão por toda nossa volta. Para onde quer que olhemos, percebemos cores de vários tons e intensidades.

Mas, o que é cor exatamente?

A cor não é uma qualidade física dos objetos. Um objeto interage com a luz e nossos olhos estão preparados para detectar essa interação. Essa sensação física é transmitida para nosso cérebro, onde é interpretada e enxergamos as cores.

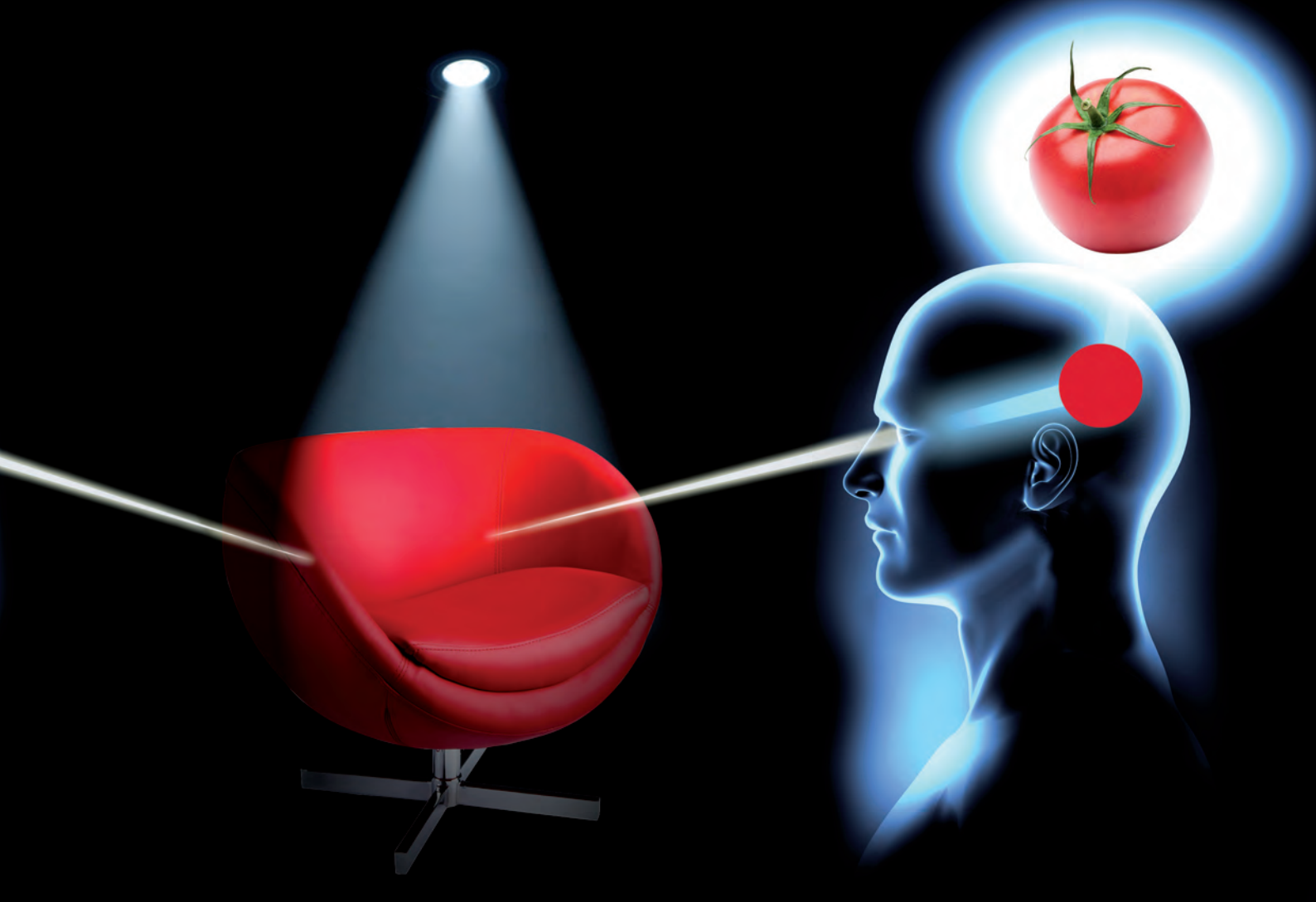
As sensações são subjetivas - cada pessoa interpreta uma cor de maneira diferente. Essa interpretação é influenciada por fatores físicos, psicológicos e fisiológicos. Portanto, uma pessoa pode interpretar a mesma cor de forma diferente quando estiver, por exemplo, com um humor diferente. O que nos leva à seguinte questão - **uma avaliação visual por um observador humano pode ser expressa em valores numéricos objetivos?**

Cores são uma experiência subjetiva e é impossível gerar uma descrição numérica delas que capte completamente essa experiência. Mas, a colorimetria oferece ferramentas úteis para a medição e identificação dos componentes físicos das cores.

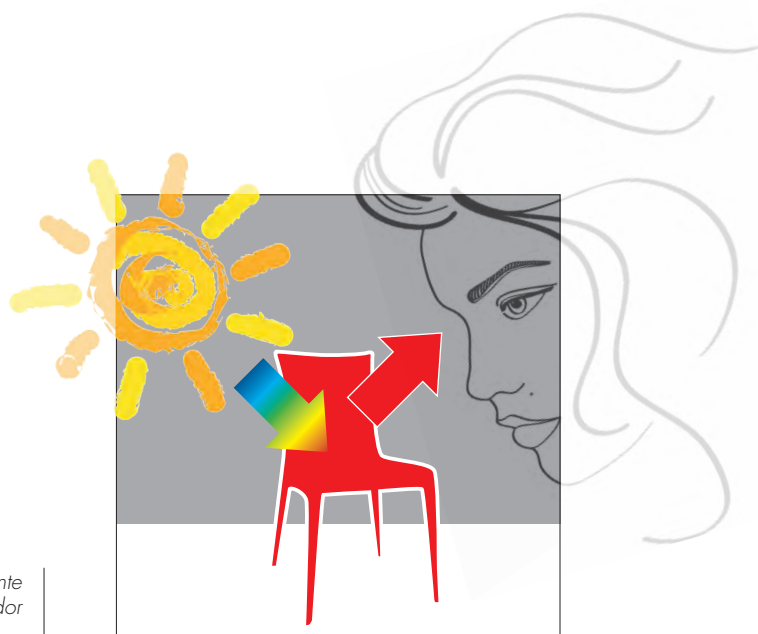
Essas ferramentas incluem:

- uma fonte de luz
- um objeto
- um observador

Se estiver faltando qualquer um desses elementos, será impossível a visualização das cores.



A colorimetria desenvolveu métodos para mensurar cada um dos três elementos. Agora veremos como gerar uma descrição numérica para cada componente do Tripé.



Os três elementos do tripé: fonte de luz - objeto - observador

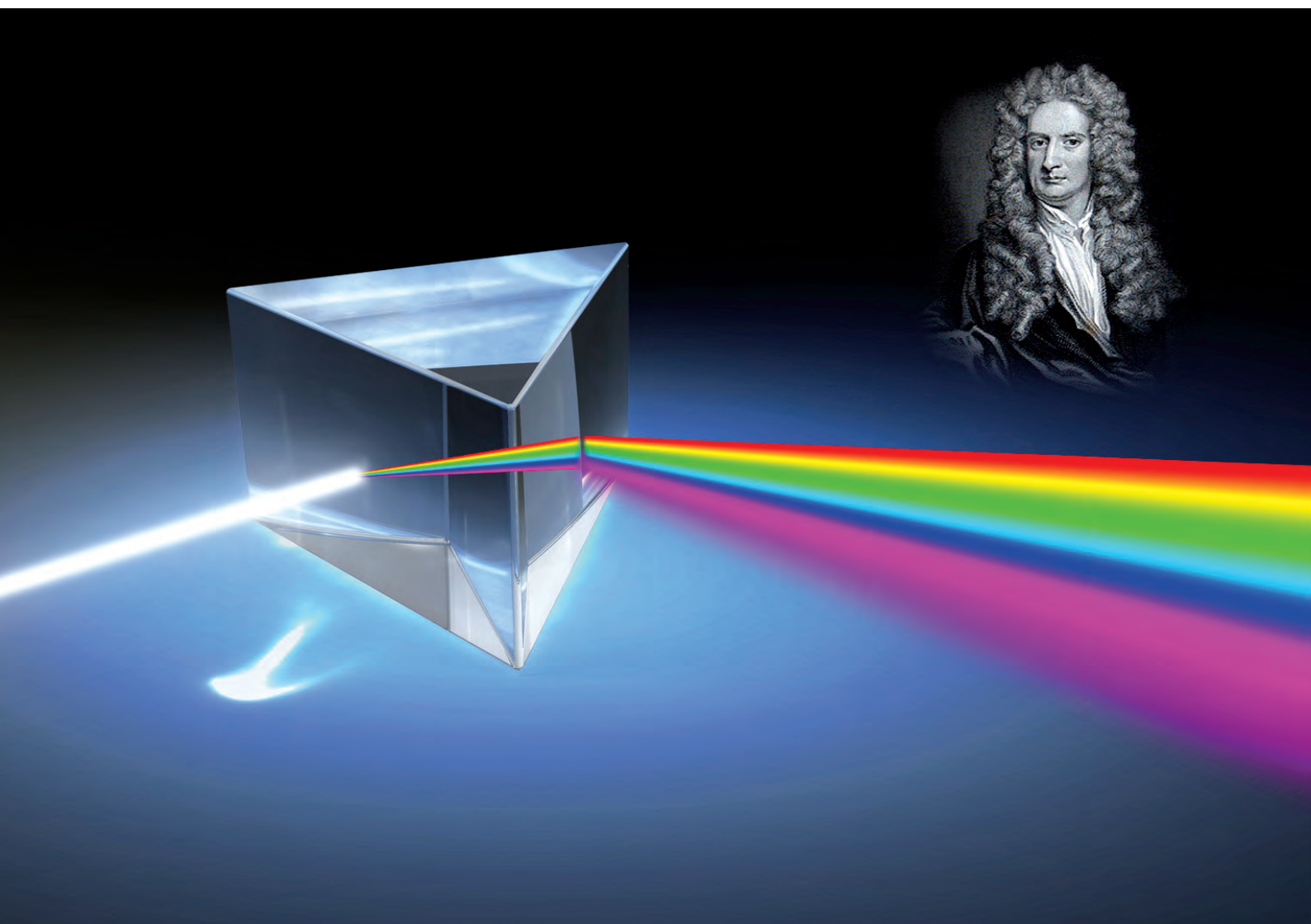
## A luz - as fontes de luz

### A interação entre luz e matéria

No ano de 1666, o físico Isaac Newton fazia experimentos com a luz do sol. Em um dia ensolarado, ele direcionou um raio de luz por um buraco na persiana. Esse raio passou por um prisma de vidro e Newton projetou a luz em uma tela. Ele observou que a luz dividiu-se em diferentes cores, idênticas às do arco-íris.

*Em relação à música, Isaac Newton identificou sete tons essenciais de cores*

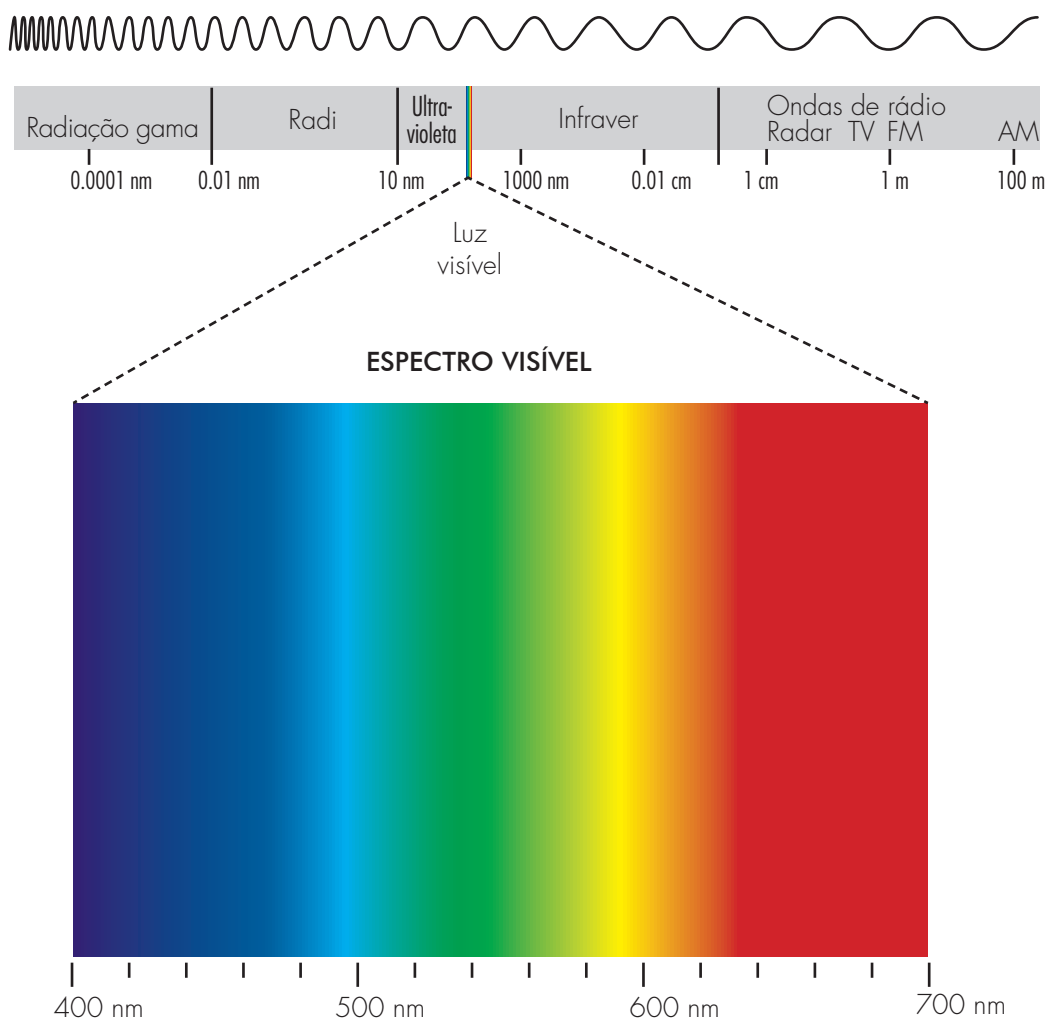
A luz é, portanto, matéria-prima das cores. Newton previu corretamente que as cores individuais deveriam ser componentes da luz. Após inúmeros experimentos, Newton identificou os Tons fundamentais, violeta, anil, azul, verde, amarelo, laranja e vermelho.



*In 1666, physicist Isaac Newton passed white sunlight through a prism. The ray of light was disassembled into its components, resulting in a color spectrum.*

A partir da descoberta de Newton, físicos modernos estabeleceram que a luz é composta por ondas eletromagnéticas, assim como a radiação X e as ondas de rádio. Os cientistas classificam raios de luz de acordo com seu comprimento de onda, cuja unidade de medição é o nanômetro, ou um bilionésimo de um metro (10<sup>-9</sup> m).

A seqüência de aparecimento das cores no arco-íris se baseia em seus comprimentos de onda. As cores no espectro visível organizam-se do menor para o maior comprimento de onda. A luz azul possui menor comprimento, seguida da verde, amarela, laranja e vermelha.



Teoria da oscilação eletromagnética. Ela inclui todos os tipos de radiação em uso na civilização moderna.

O espectro da luz visível ao olho humano varia de 400 a 700 nm.

## As fontes de Luz

### O primeiro elemento do tripé é a fonte luz.

A luz pode ser gerada de diferentes maneiras - ao aquecer um objeto até que ele brilhe (como um filamento em uma lâmpada), ao estimular átomos ou moléculas usando um arco, ou por meio de uma descarga elétrica em um gás (como em uma lâmpada "flash" de xenônio).

Cada fonte de Luz possui sua própria cor, que afeta a do objeto iluminado. A medição da impressão das cores de uma fonte de Luz é a temperatura dessas cores, quantificada em kelvin (K). O "corpo negro" (radiador de Planck) serve como referência para a temperatura da cor.

Na verdade, "corpos negros" não existem; são apenas um modelo conceitual em física que serve de base para observações teóricas e como uma referência para a pesquisa prática em radiação eletromagnética.

Um corpo negro possui duas características muito importantes:

- absorve completamente a radiação eletromagnética de todos os comprimentos de onda que passam por ele, e
- em cada faixa do espectro, irradia mais energia que qualquer outro corpo para a mesma temperatura.

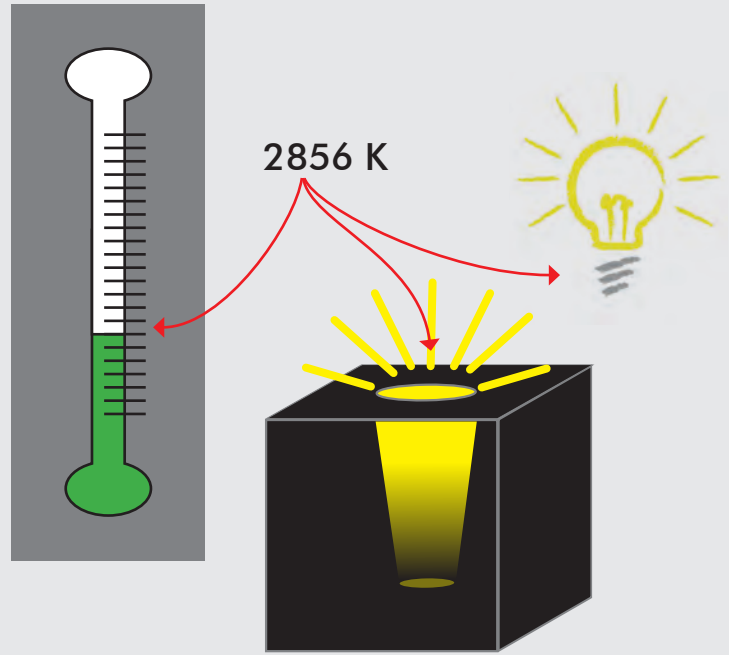
Para identificar a temperatura da cor de uma fonte de Luz, um corpo negro é aquecido até emitir uma luz na mesma cor dessa fonte.

### A mais importante fonte de luz natural é o sol.

Geralmente vemos as cores durante a luz do dia, que é composta por luz solar direta e luz irradiada pela atmosfera. A temperatura da luz solar varia de 200 a 4000 K e é comparável à radiação de um corpo negro aquecido a 5800 K. Porém, a qualidade e a energia dessa fonte de luz são variáveis. A luz solar é influenciada por diversos fatores, como localização, estações do ano, condições meteorológicas, poluição atmosférica e horário, mudando de acordo com eles e, como resultado, a temperatura de cor da luz do dia varia de 4000 a 6500 K.

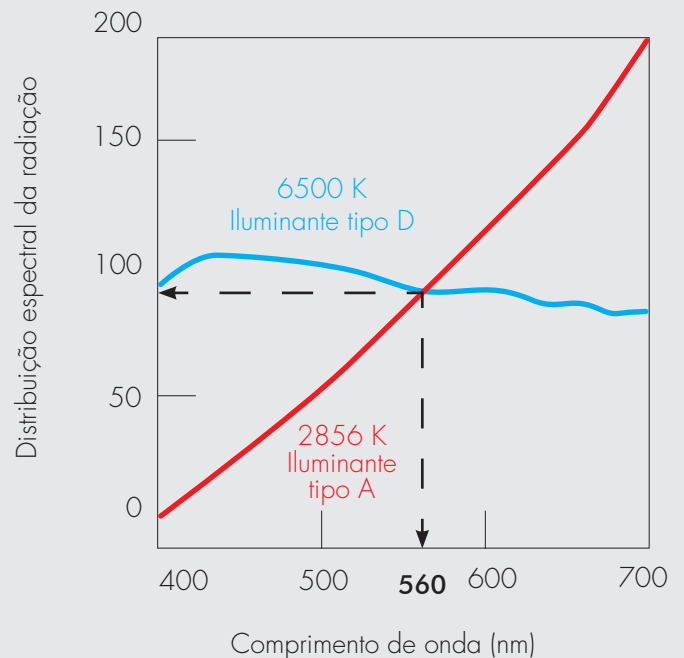
Uma fonte de luz como essa não é adequada para cálculos colorimétricos. Para medições de cores, a fonte de luz chamada de luz do dia deve ser padronizada para que seja reproduzível e constante.

## O corpo negro



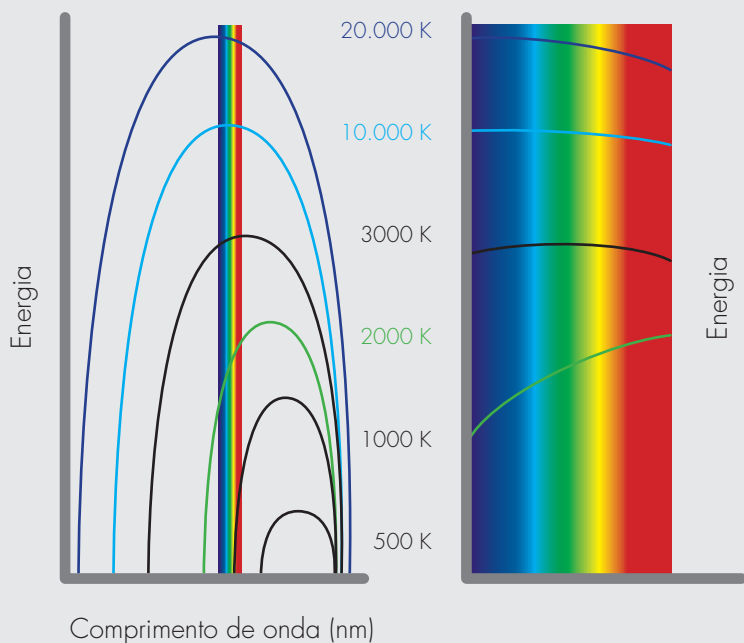
A temperatura de cores de iluminantes do tipo A (lâmpadas) equivale à cor da luz de um radiador de Planck (corpo negro) aquecido até 2856 Kelvin (2856K).

## Distribuição espectral da radiação de duas fontes de luz



[Em 560 nm, a radiação de energia pelas duas fontes de luz é a mesma. Para padronização, a radiação de energia em 560 nm é definida como 100% ou idêntica.

## A temperatura das cores



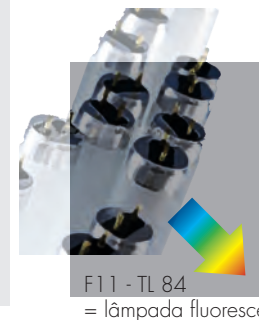
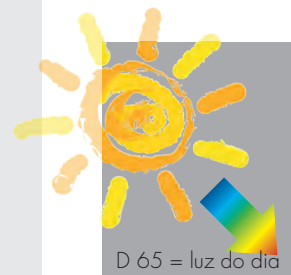
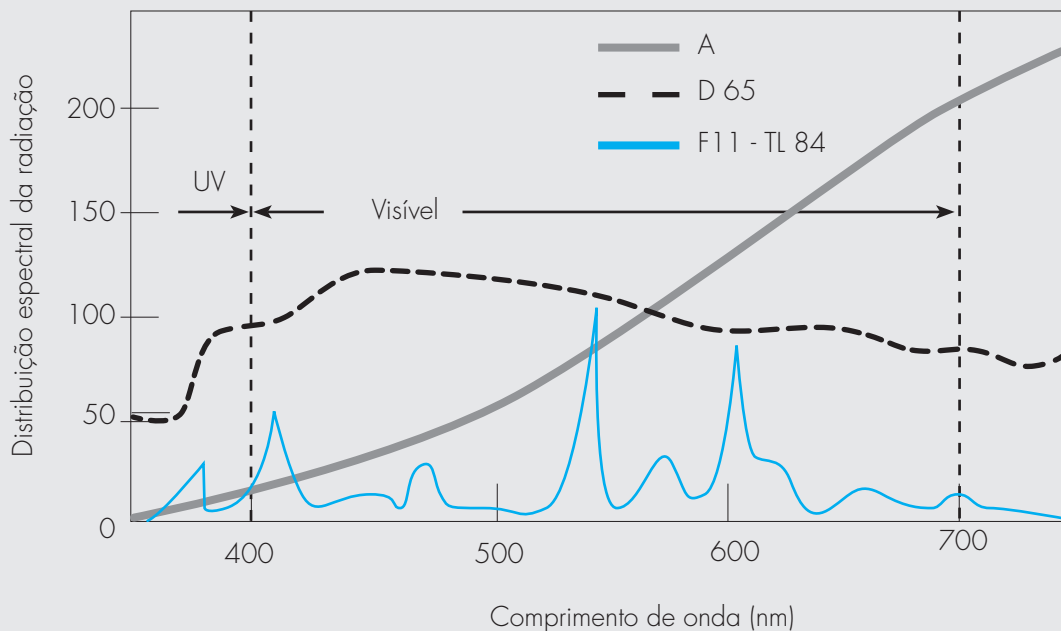
## Tipos de iluminantes

A impressão de cor de um objeto varia de acordo com a fonte de luz, por isso a iluminação deve sempre ser definida.

Para ser capaz de descrever a fonte de luz de uma maneira reproduzível e constante, a CIE\* (Comissão Internacional de Iluminação) avaliou e caracterizou diferentes fontes de luz para criar padrões industriais confiáveis. Essas fontes padronizadas são denominadas "iluminantes padrão", que não são fontes de luz propriamente ditas. Elas foram definidas de tal forma que suas distribuições espectrais de radiação assemelham-se às de fontes de luz naturais. Os mais importantes tipos de iluminantes padronizados pela CIE são D65 (luz do dia a 6504 K), A (tungstênio) e F11 (uma lâmpada fluorescente).

(\* ) CIE: A Commission Internationale de l'Éclairage/ Comissão Internacional de Iluminação - fundada em 1913 - a única organização internacional de recomendação e padronização em relação a iluminação, cores e sua medição.

## Iluminantes padrão A, D65, F11 - TL 84



mais importantes tipos de iluminantes padrão: D65, A e F11

## O objeto - a matéria

### A interação entre luz e objeto

#### O segundo elemento do tripé é o objeto.

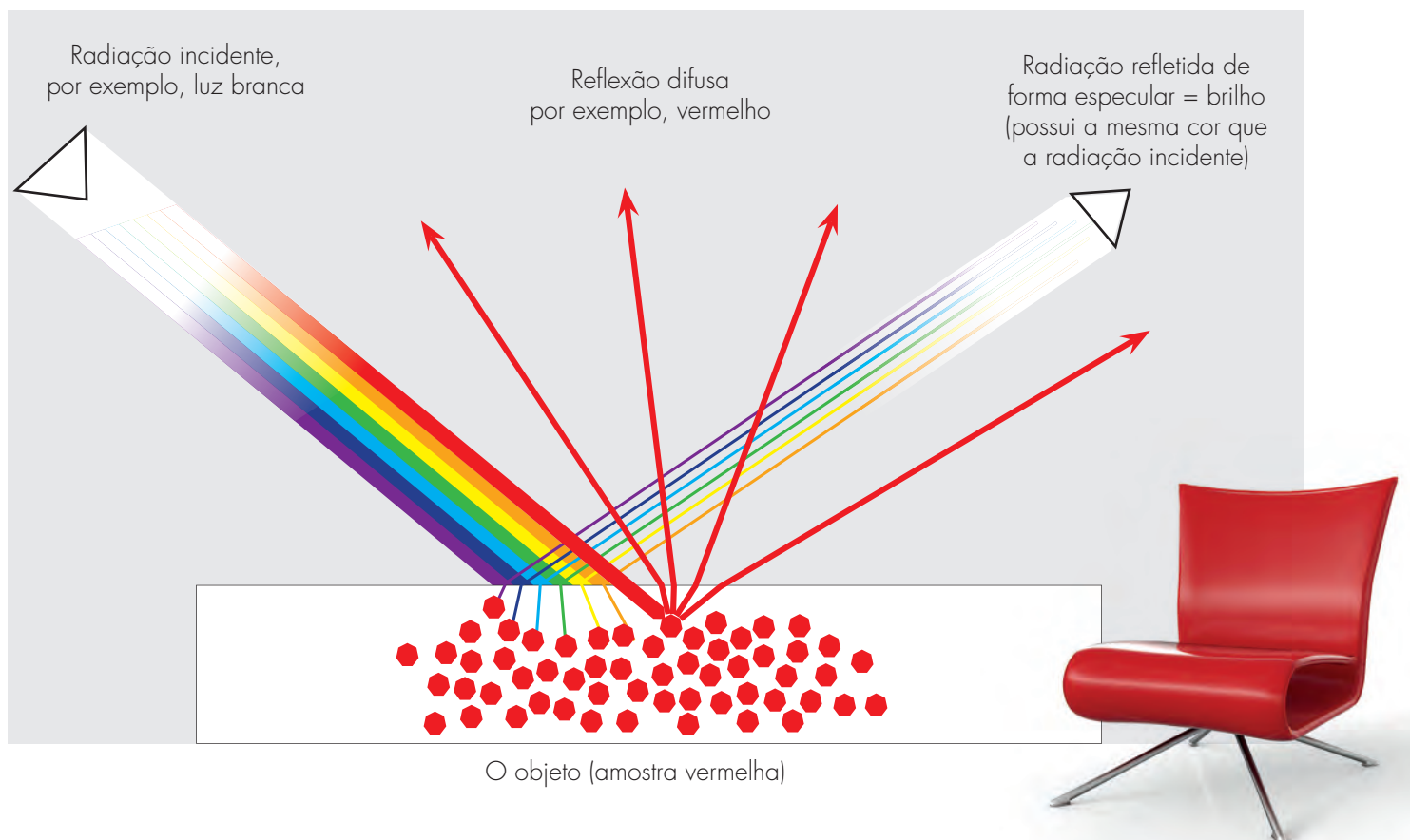
Um objeto deve interagir com a luz para que os olhos vejam a cor. Essa interação ocorre de três possíveis maneiras:

Cada objeto e superfície possui características individuais específicas, as quais afetam a forma em que a luz irradiada é refletida ou absorvida. Distingue-se entre

- Objetos opacos ou não transparentes: parte da luz é absorvida e a outra é refletida.
- Objetos transparentes: um terço da luz é refletido, outro é absorvido e o último passa pelo objeto sem ser dispersado.
- Objetos translúcidos: um terço da luz é refletido, outro é absorvido e o último passa pelo objeto, mas é dispersado.

#### Os objetos possuem uma maior ou menor capacidade de refletir radiação eletromagnética.

Impressões visuais de materiais diversos são determinadas por vários fatores, como características do próprio material. Portanto, a cor de uma amostra brilhosa possui aparência consideravelmente mais intensa e vibrante do que uma amostra fosca da mesma cor. Analisando-se separadamente as características de cor e as geometrias (brilho, forma, textura), pode-se simplificar esse problema ao separar a radiação emitida pelo objeto (cor) da refletida de forma especular (brilho). Separar esses dois tipos de radiação torna possível determinar cada componente individual. Entraremos em mais detalhes sobre os instrumentos de medição utilizados para essa separação e os métodos de análise aplicáveis no capítulo 12 (técnicas científicas de mensuração na medição de cores).



A interação entre luz e objeto Por exemplo, uma amostra vermelha

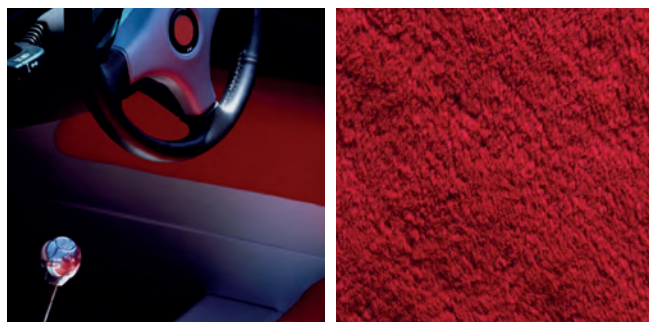
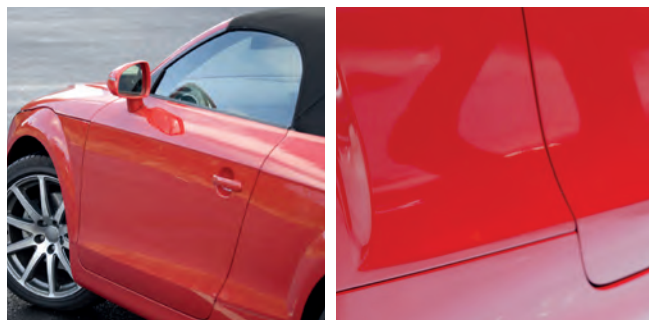


O reflexo gerado pela radiação refletida de forma especular é responsável pela aparência brilhosa, semi-fosca ou fosca de um objeto. Metais caracterizam-se normalmente por refletirem raios de luz mais fortemente que outros produtos, e superfícies lisas geralmente têm aparência mais brilhosa que as ásperas.

Reflexão difusa é uma característica do objeto, sua cor e sua composição.

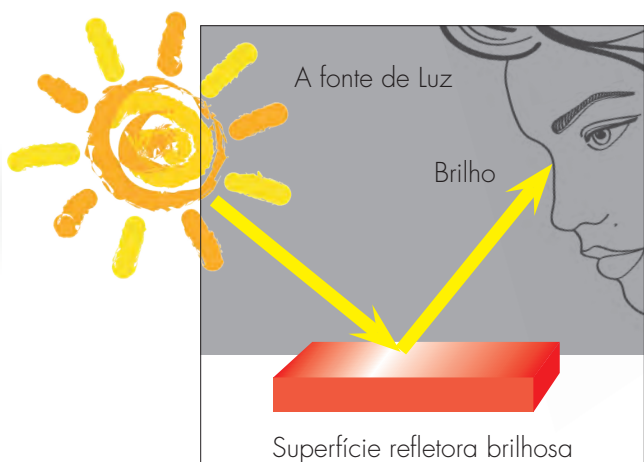
Gera-se a cor quando parte da luz incidida sobre um objeto é refletida e entra no olho humano. Portanto, a absorção seletiva da luz determina nossa interpretação das cores. Quanto mais luz for absorvida, menos intensas serão as cores resultantes. Se toda luz for absorvida, enxergaremos a cor preta. Se toda luz for refletida (100%), veremos a cor branca.

A reflexão ou absorção da luz (radiação refletida de forma especular, difusa ou radiação normal) é, portanto, responsável pela cor e aparência da maioria dos objetos. Os componentes desse fenômeno podem ser analisados fisicamente por medidas espectrofotométricas (ou goniofotométricas em alguns casos especiais). Essas medições espectrofotométricas resultam em diagramas que exibem a distribuição espectral da radiação ou curvas espectrais, as quais representam a radiação luminosa refletida ou que atravessou um objeto para cada comprimento de onda. As curvas espectrais descrevem a cor e a aparência de um objeto.



*Absorção, dispersão e brilho são responsáveis pela aparência de um produto.*

### Brilho de uma superfície refletora



### Brilho de uma superfície texturizada



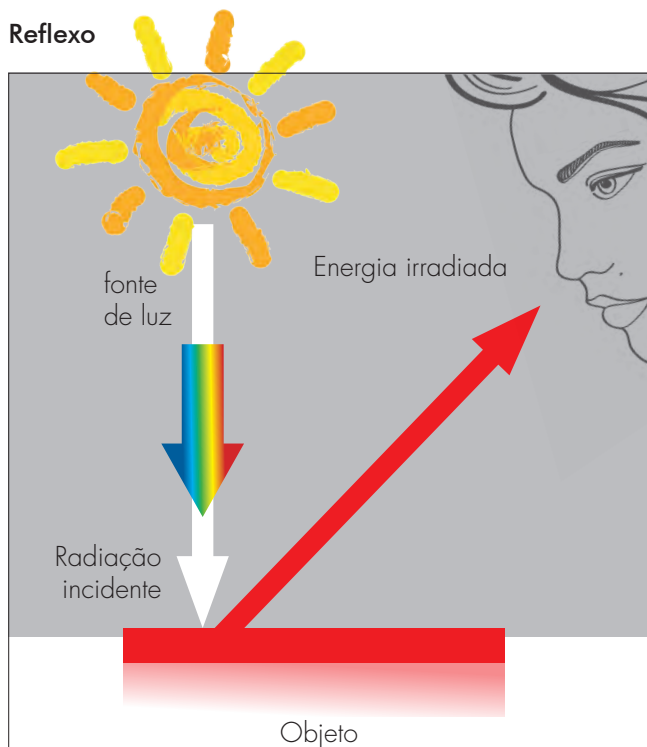
## As características cromáticas dos objetos - a física das cores

Como já sabemos, as cores são baseadas em ondas eletromagnéticas e na sua distribuição de radiação na faixa do espectro visível.

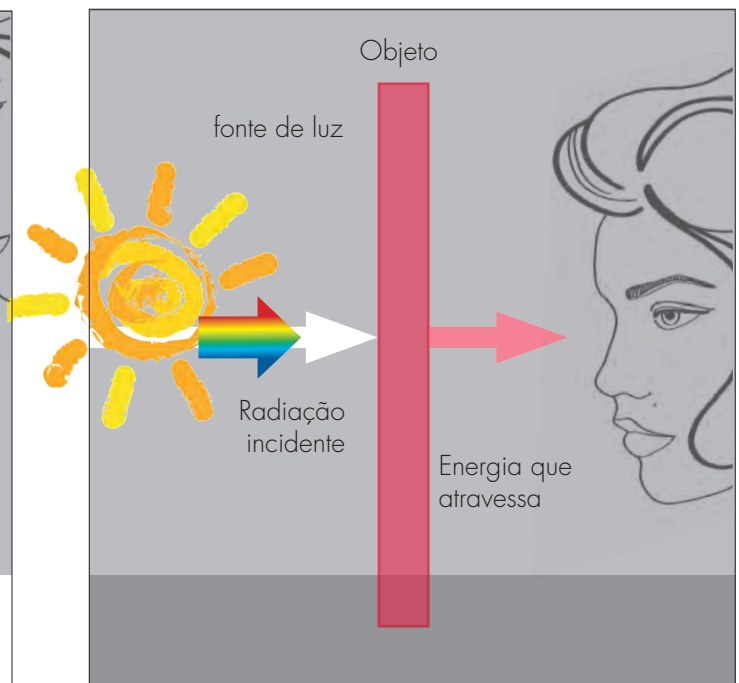
Os comprimentos de onda dos raios de luz no espectro visível variam entre 400 e 700 nm. A cor de um objeto é resultado da luz incidindo em sua superfície. Uma parte da radiação é absorvida e a outra parte é refletida ou atravessa o objeto. As partes da radiação que são refletidas ou que atravessam podem ser interpretadas pelos olhos e processadas no cérebro para a visão cromática.

Um objeto amarelo absorve luz na faixa azul. Objetos vermelhos absorvem luz nas faixas azul, verde e amarela. Em física, consultamos a distribuição luminosa espectrofotométrica de um objeto, e por causa dessa característica a cor de um objeto pode ser determinada e mostrada. É a representação gráfica significativa da porção da radiação de luz incidente refletida ou que atravessa um objeto como uma função do comprimento de onda, no espectro visível entre 400 e 700 nm.

### Reflexo



### Transmissão



$$\text{Refletância razão R\%} = \frac{\text{Energia de luz refletida por comprimento de onda}}{\text{Energia de luz incidente por comprimento de onda}} \times 100$$

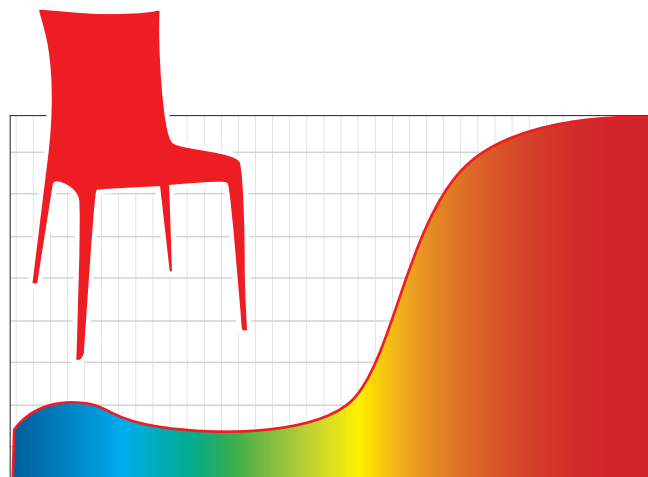
$$\text{Transmissão razão T\%} = \frac{\text{Energia de luz refletida por comprimento de onda}}{\text{Energia de luz incidente por comprimento de onda}} \times 100$$

Os valores da razão de refletância (R%) são o resultado da razão entre a energia de luz incidente e a refletida por comprimento de onda. Essa razão também se aplica para a transmissão, quando as radiações incidente e de saída determinam a curva de transmissão. As curvas de reflexão e transmissão são próprias do material. São independentes das fontes de luz empregadas. Essas fontes têm como pré-requisito emitir energia em todas as faixas da luz visível.

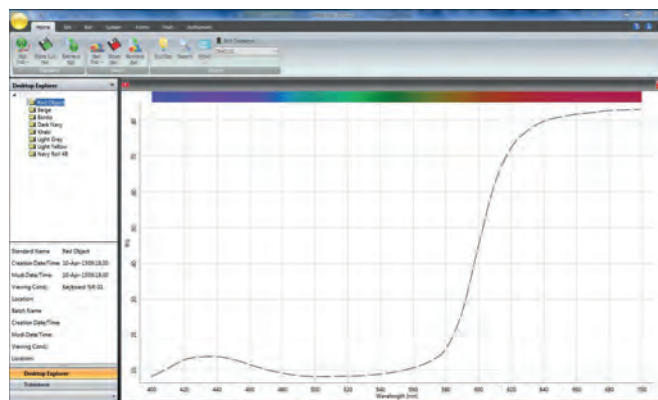
O seguinte exemplo demonstra a curva de reflexão para uma amostra vermelha. Essa curva define o material e a cor da amostra – é a “impressão digital dessa cor”.

Comprimento de onda ( $\lambda$ in nm)	Valor de reflexão (R em %)
400	8,17
410	10,47
420	12,87
430	13,67
440	13,76
450	12,92
460	11,46
470	10,11
480	9,10
490	8,40
500	8,12
510	8,14
520	8,25
530	8,45
540	8,84
550	9,50
560	10,63
570	12,36
580	15,97
590	26,40
600	45,11
610	62,43
620	72,43
630	77,21
640	79,64
650	81,01
660	81,81
670	82,30
680	82,64
690	83,01
700	83,19

Amostra vermelha brilhante: medição com a geometria de mensuração d/8° com luz refletida de forma especular (brilho)



Curva de reflexão para a amostra vermelha – a “impressão digital dessa cor”



# O olho - o observador

## O ser humano como observador - visão cromática

O terceiro elemento do tripé é o observador ou seu dispositivo de percepção (olhos e córtex cerebral).

A luz refletida por um objeto ou irradiada diretamente por uma fonte de luz é absorvida pelos olhos e convertida pelos fotorreceptores na retina. O telencéfalo interpreta essa informação e gera nossa visão cromática.

Dependendo do comprimento de onda, os olhos apresentam diferentes sensibilidades à luminosidade na faixa do espectro visível (consulte o capítulo 9). Além de interpretarmos a luz em diferentes níveis de luminosidade (visão claro/escuro), vemos as características cromáticas (tom e saturação) e organizamos as cores em um sistema tridimensional.

O pré-requisito para essa tridimensionalidade da visão cromática é a existência de três tipos distintos de receptores no olho humano, algo já estabelecido na ciência há muito tempo. A compreensão do processo da percepção de cores por humanos iniciou-se em 1666, quando Newton publicou seus trabalhos sobre a refração da luz branca com um prisma de vidro. Porém, as mais importantes descobertas e progressos só ocorreram quando foi possível medir a sensibilidade dos receptores cromáticos nos olhos.

Em 1801, o oftalmologista e físico britânico Thomas Young desenvolveu a teoria dos três componentes. Esta teoria afirma que a percepção cromática humana baseia-se em apenas três diferentes tipos de receptores (percepção tricromática do estímulo colorido). Cinquenta anos mais tarde, o cientista alemão Hermann von Helmholtz ajudou a estabelecer a teoria aditiva da visão cromática iniciada por Thomas Young. Ele demonstrou que as três cores primárias (vermelho, verde e azul) são suficientes para gerar todas as cores.



Thomas Young

Hermann von Helmholtz

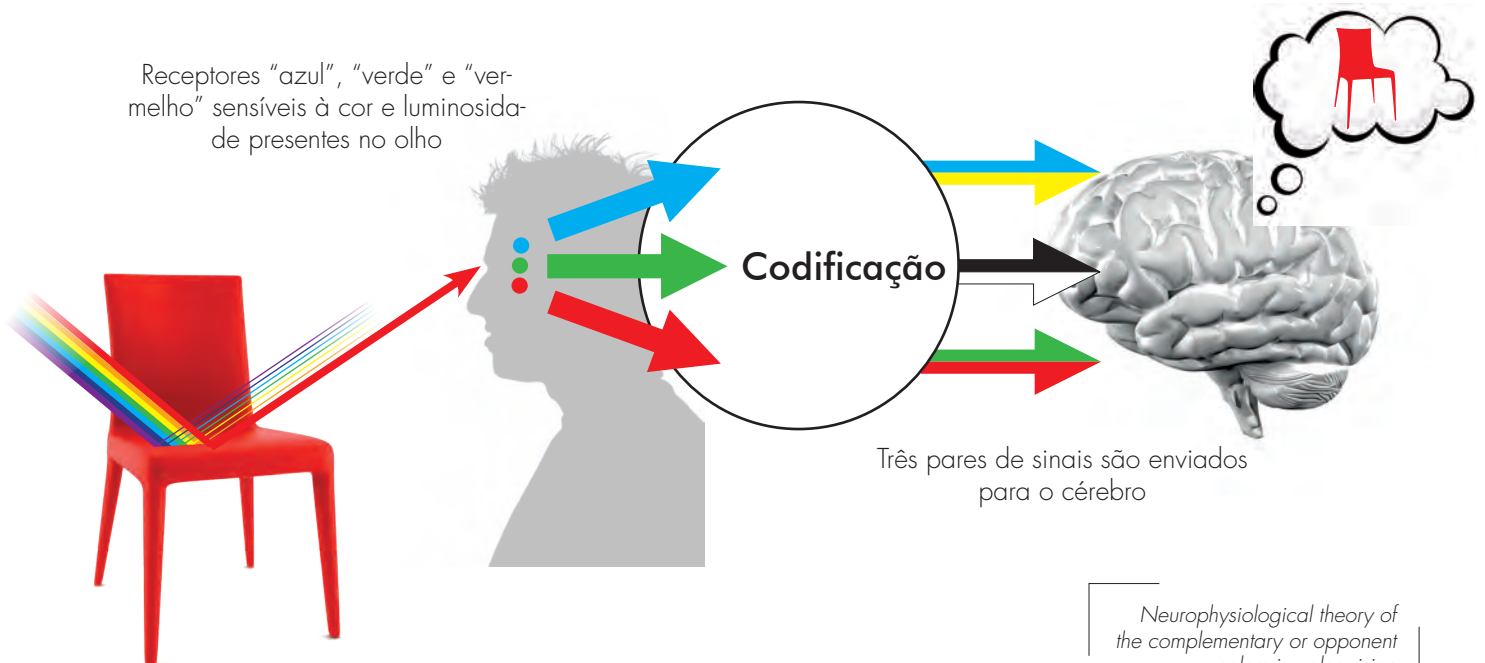
Ewald Hering

Em 1878, Ewald Hering publicou sua teoria da oponência das cores, uma proposta alternativa à teoria dos três componentes de Helmholtz e Young. Hering partiu da observação de que impressões de cores como "azul amarelado" ou "verde avermelhado" não podem ser enxergadas (eliminação mútua de amarelo e azul ou verde e vermelho). Portanto, ele supôs que havia três processos químicos distintos na retina, cada um com duas cores opostas e que se equilibravam por mecanismos de inibição e estimulação. Os pares de cores opostas são azul/amarelo, vermelho/verde e preto/branco.

Diversos experimentos posteriores, com três projetores de cores (vermelha, azul e verde), demonstraram que uma grande variedade de cores pode ser gerada ao mudar-se a intensidade luminosa desses projetores. Esses resultados permitiram a avaliação da percepção tricromática do estímulo de cores, além dos experimentos realizados por W. D. Wright em 1928 e por J. D. Guild em 1931 sobre a síntese aditiva de cores, entre outros.

Até o início do século vinte, vários cientistas realizaram inúmeras pesquisas sobre nosso sistema de percepção cromática. As teorias de Young-Helmholtz e Hering competiam entre si até a década de 1930, quando E. Müller por fim comprovou a teoria da oponência das cores.

O Sistema Natural de Cores (NCS) e o modelo de cores  $L^*a^*b^*$ , por exemplo, baseiam-se nessa teoria.





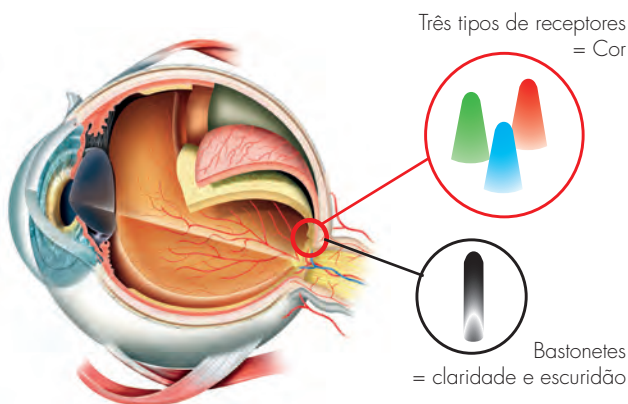
Wilhelm von Bezold

Bezold-Farbtafel 1874

Ernst von Brücke

## O olho humano

O que enxergamos como cor são ondas luminosas de diferentes comprimentos que chegam ao olho. A luz refletida por um objeto estimula os fotorreceptores da retina, os bastonetes e os cones. Os bastonetes são sensíveis apenas a claridade/escurecimento, sendo responsáveis pela visão escotópica e, graças a eles, podemos enxergar e distinguir tons de cinza em luz fraca. Não é possível diferenciar as cores quando os bastonetes são os responsáveis por nossa visão.



Três tipos de receptores = Cor

Bastonetes = claridade e escurecimento

Sob condições normais de luz do dia, os bastonetes estão completamente saturados e incapazes de processar informações. Em boas condições de iluminação, como a luz do dia normal, utilizamos apenas os cones (visão fotópica) para enxergarmos, e são exatamente esses os responsáveis pela distinção das cores.

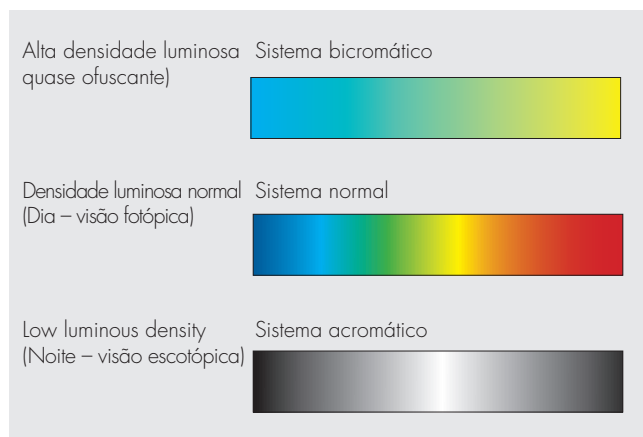
Há aproximadamente sete milhões de cones e 120 milhões de bastonetes na retina. Todos os fotorreceptores são igualmente sensíveis, mas os cones estão agrupados em volta de saídas em comum, tornando-os mais sensíveis à visão lateral. Existem três tipos de receptores de cores no olho (azul, vermelho e verde), predominantemente encontrados na mácula da retina. No centro da mácula, a fóvea, há somente cones. A distribuição média de verde

: vermelho : azul é 40 : 20 : 1. A sensibilidade máxima para o azul é de 477 nm, 540 nm para o verde e de 577 nm para o vermelho. Cones azuis são também chamados de cones S (S de "short wavelength", comprimento de onda curto), cones verdes são conhecidos como cones M (M de "medium wavelength", comprimento de onda médio) e os vermelhos, como cones L (L de "long wavelength", comprimento de onda longo).

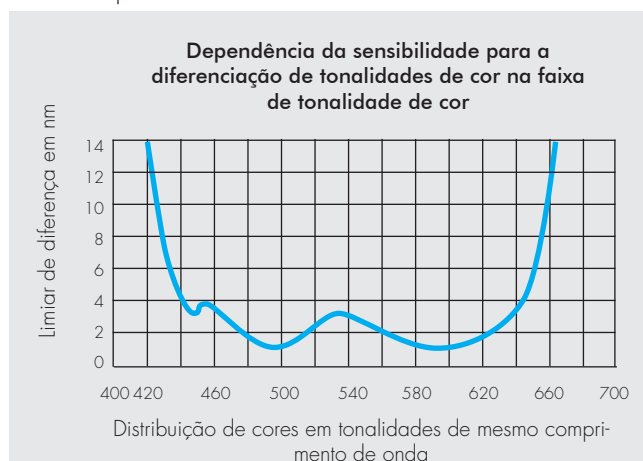
A diferenciação de cores, ou mais precisamente, a diferenciação das tonalidades de cores no olho humano é dependente da densidade luminosa. Em valores muito baixos de densidade luminosa, um estímulo de cores entre 400 nm e 480 nm resulta em uma cor violeta azulada, enxerga-se a cor verde entre 480 nm e 570 nm, enquanto que a vermelha é vista entre 570 nm e o limite de visibilidade de ondas longas em 700 nm.



O efeito BEZOLD-BRÜCKE: mudança na aparência e coloração de acordo com a densidade



Esse efeito é denominado de fenômeno Bezold-Brücke (descoberto em 1873 e nomeado em homenagem ao físico alemão Wilhelm von Bezold e o médico austro-alemão Ernst Wilhelm von Brücke). A diferenciação melhora com o aumento da densidade luminosa, mas volta a piorar em altos valores. Portanto, um aumento repentino na iluminação provoca uma mudança nos tons vermelho e verde para o amarelo, e dos tons violeta e verde-azul para o azul. Na região de ofuscamento, o olho humano só consegue interpretar um amarelo e um azul-violeta esbranquiçados. Portanto, pode-se obter um sistema bicromático com apenas duas cores – amarelo e azul. Em medição instrumental e visual de cores, garante-se que as condições de iluminação são normais (aproximadamente 1500 lux), ou seja, que elas cumprem os pré-requisitos da visão fotópica.



# Lista de referências

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

# Dados de publicação

## Editor:

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

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

## Texto:

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

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

Agosto 2019

© Copyright Datacolor. Todos os direitos reservados

# **datacolor**

## EUROPE

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

## AMERICA

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

## ASIA

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