

## Capítulo 3

# Combinação de cores

A principal combinação de cores para o artista é a dos pigmentos e corantes, que será tratada inicialmente. É aquela mesma que aprendemos quando crianças, com tintas e lápis de cor, e que as crianças de hoje continuam aprendendo.

Há outra combinação, direta com a luz, que é a formadora das imagens nas telas do cinema, computadores e televisores. É também o tipo de formação das imagens das câmaras digitais (já nas cópias em papel das impressoras o processo é o da combinação de corantes). Os neoimpressionistas tentaram introduzi-la na pintura e a chamaram de **combinação ótica**. Não foram bem sucedidos (veremos detalhes) e o estilo só ficou conhecido como **pontilhismo**.

É oportuno dizer que a primeira é também uma combinação direta com a luz. Ela se processa de forma **subtrativa** e a segunda, **aditiva**. O porquê desses nomes será apresentado mais adiante e todos esses pontos serão esclarecidos gradativamente.

### 1. Cores primárias e secundárias – cores complementares

Na combinação de cores com pigmentos e corantes, é um fato bem conhecido de que há três cores fundamentais, a partir das quais todas as outras são obtidas (na verdade, não é bem assim, mas, por ora, aceitemos que seja assim mesmo). Entretanto, o que parece haver ainda certa resistência é aceitar que essas três cores sejam **ciano magenta amarelo** e não **azul vermelho amarelo** (falaremos sobre a razão disto mais adiante). O conjunto fundamental é realmente o das três primeiras. Na Fig. 1 (gerada por computador) elas foram dispostas nos vértices de um triângulo.

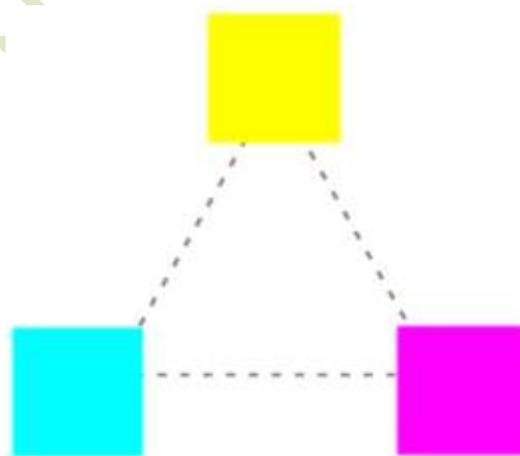


Figura 1: Cores fundamentais na combinação por pigmentos e corantes (subtrativa)

A mistura em partes iguais de cada par dessas cores gera as secundárias **vermelho** **verde** **azul** (este azul não é o mesmo do antigo conjunto **azul** **vermelho** **amarelo** – já veremos o porquê). Na Fig. 2 estamos dispendo todas essas cores (também geradas por computador) nos vértices de dois triângulos. O quadrado preto ao centro corresponde à mistura das três cores primárias (ou secundárias) em partes iguais <sup>1</sup>.

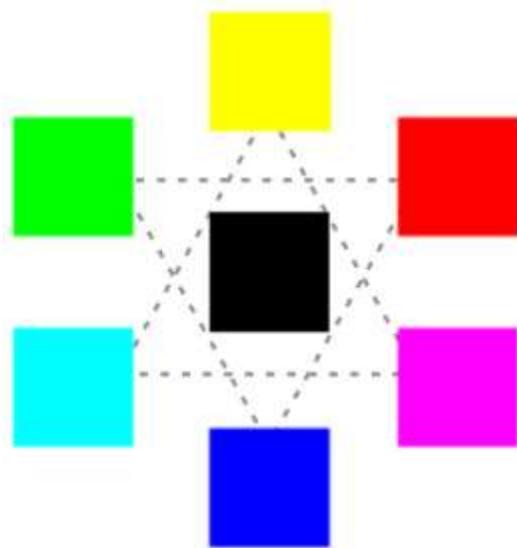


Figura 2: Cores primárias (ciano, magenta e amarelo) e secundárias (vermelho, verde, e azul)

Sejam algumas observações relacionadas com o que vimos até agora:

(i) Adiantemos que as cores secundárias, vermelho, verde e azul, da combinação acima (subtrativa), são as primárias da combinação aditiva, e vice-versa.

(ii) Um conceito importante para o artista, mais até do que cores primárias e secundárias, é o das **cores complementares**. Na Fig. 2, temos que o magenta é a cor complementar do verde (ou vice-versa). Os demais pares complementares são ciano-vermelho e azul-amarelo.

(iii) Pela origem do quadrado preto da figura, concluímos que a mistura de duas cores complementares, em partes iguais (veja a nota de rodapé <sup>1</sup>), também dá preto (adiantemos que na combinação aditiva é o contrário, dá branco). Observe que, sendo o azul complementar do amarelo, a mistura entre os dois dá preto (e não verde). Este foi o motivo porque falei que o azul do antigo conjunto (azul, vermelho e amarelo) não pode ser esse mesmo azul.

(iv) Sabe-se que determinada cor torna-se mais viva quando na presença da complementar. É muito comum ver o par de complementares azul-amarelo nas propagandas, devido ao seu forte impacto visual. Este fato possui explicação biológica, sobre a qual falaremos quando tratarmos da combinação aditiva. Por enquanto, apenas citemos que Leonardo da Vinci já sabia disso (de forma intuitiva) e o usava. Existem fenômenos óticos que estão relacionados às cores complementares e

<sup>1</sup> Quando falamos que a mistura deve ser em partes iguais é por questões de simetria. Na prática, vai depender das concentrações de pigmentos das tintas que estamos utilizando, do seu poder de tingimento etc.

que já eram conhecidos no Século XVIII, mas só em 1810 que Goethe o explicou através do sistema visual. Isto facilitou sua incorporação na pintura de forma consciente. O conceito de cor complementar passou a ser um grande recurso dos artistas coloristas do século XIX, tanto no Romantismo (cuja figura central foi Delacroix) como no Impressionismo, Pós e Neoimpressionismo.

## 2. Sobre o conjunto ciano, magenta e amarelo

Passemos, agora, à questão de as cores fundamentais da combinação de pigmentos e corantes serem, realmente, **ciano magenta amarelo** em detrimento do antigo e bem conhecido conjunto, **azul vermelho amarelo**. Embora estejamos vivendo no início do século XXI, uma era onde os avanços tecnológicos se processam com rapidez jamais experimentada, vejo ainda muito o conjunto azul, vermelho e amarelo, principalmente nos programas e livros infantis. Neste particular, talvez com razão, pois não é tarefa das mais simples falar para uma criança o que seja magenta ou ciano. Na visão sábia e simplificada do seu mundo, magenta é algo como “cor de rosa” e ciano seria um “azul claro”.

Consta que a identificação das cores magenta e ciano data de muito tempo. A primeira talvez tenha sido na metade do século XIX, mas o ciano já era conhecido no século XVI. Entretanto, o reconhecimento como cores fundamentais só se consolidou com o advento do filme colorido e, mais ainda, no final do século XX, com as facilidades oferecidas pelo mundo digital. Um exemplo mostrando o total desconhecimento do ciano e magenta como cores fundamentais está nos trabalhos geométricos do Mondrian, feitos entre o final da década de 1910 até o início dos anos 30. Muitos dos conhecidos retângulos de Mondrian foram pintados com as cores fundamentais, aceitas na época, ou seja, azul, vermelho e amarelo.

Entretanto, esta dúvida persiste no meio artístico até hoje, a ponto de se falar (de forma totalmente infundada) que ciano, magenta e amarelo são cores fundamentais apenas para técnicas transparentes (por exemplo, aquarela). Esta opinião é corroborada pelo fato de os corantes das impressoras (que possuem essas mesmas cores) serem perfeitamente transparentes. Mostraremos isto e daremos detalhes mais adiante.

Como foi mencionado, as figuras acima foram feitas com recursos fotos-digitais. Hoje em dia, sabem-se precisamente as cores fundamentais da combinação aditiva (vermelho, verde e azul da Fig. 2) e, conseqüentemente, geram-se as secundárias (ciano, magenta e amarelo), que são as primárias do processo subtrativo (caso dos pigmentos e corantes).

As cores na tela do computador são obtidas de maneira sem paralelo no mundo dos pigmentos e corantes. Elas aparecem simplesmente pela reação de certas substâncias (fósforo, cristal líquido etc.) com a luz. Atualmente, conseguem-se 256 níveis diferentes de intensidade para cada cor fundamental. Combinando, portanto, essas três cores entre si teremos  $256 \times 256 \times 256 = 16.777.216$  cores diferentes. Um número muito além do que o olho humano é capaz de distinguir. Assim, foi muito fácil gerar as cores básicas, tanto do processo aditivo como subtrativo, que estão na Fig. 2.

O problema, como disse, é que no mundo dos pigmentos e corantes (mais no primeiro que no segundo) não existe tal diversidade. Quais pigmentos das nossas tintas, ou corantes das impressoras, irão desempenhar os papéis do magenta e do ciano? (Para o amarelo é mais fácil.) Não exis-

tem muitos. De fato, para pigmentos, existem poucos. No caso do magenta, só alguns conseguem desempenhar, fracamente, esse papel (também veremos detalhes).

Para se ter ideia prática do problema, imprimi o arquivo da Fig. 2 na minha impressora caseira. O resultado está colocado na Fig. 3. Depois, levei o mesmo arquivo para ser impresso numa impressora melhor e de maior porte, e o resultado está na Fig. 4. Como podemos observar, as diferenças são notórias. Os atores que desempenham os papéis do ciano e magenta das duas impressoras não são os mesmos. Mais ainda, vemos que nenhum deles desempenhou seu papel corretamente (as cores obtidas nas impressoras não são as mesmas geradas pelo computador). É bom salientar que o problema não está na imagem digital. Ela é precisa. A cor de cada pixel (minúscula célula formadora da imagem digital) é caracterizada por 3 números (um para cada cor básica, indo de 0 a 255 – o que corresponde aos 256 níveis de intensidade de que falei acima). O problema está nos corantes das impressoras. Eles não são capazes de reproduzir fielmente as cores de cada pixel. Não se pode conseguir isto (nem faria sentido pensar) através de misturas de outras cores. Se fosse possível, seriam essas outras cores as fundamentais (e não as primeiras).

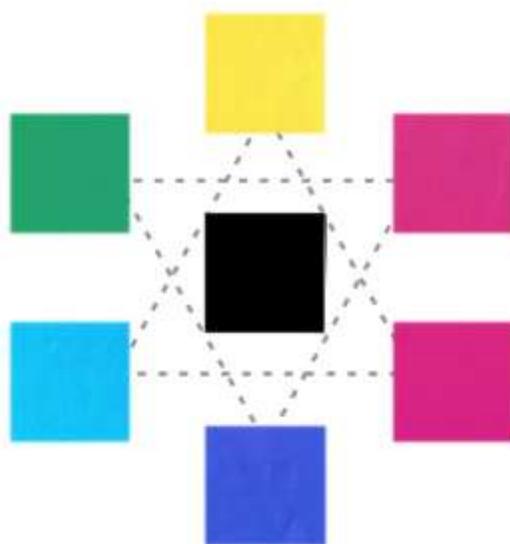


Figura 3: Cores primárias e secundárias numa impressora caseira

É interessante observar que o preto é a única cor reproduzida fielmente. Isto se deve porque as impressoras têm o preto como quarta cor. Se as “cores primárias”, usadas nas impressoras, fossem realmente primárias, não haveria necessidade do preto (indiretamente, ele seria uma combinação em partes iguais das primárias). Algumas impressoras coloridas antigas não tinham preto. Como resultado, em seu lugar, geralmente aparecia um marrom escuro. Mencionemos que as impressoras para trabalhos de altíssima qualidade possuem, além do preto, mais duas ou três cores, cuja finalidade é compensar a deficiência do conjunto de cores primárias.

Passemos para os pigmentos. As figuras seguintes mostram alguns exemplos. Na Fig. 5, coloquei o **PB15:3** no papel do ciano, **PY17** no do amarelo e **PR122** como magenta (na seção 8 falaremos de forma mais quantitativa sobre a identificação das cores primárias). Na Fig. 6, mudei os atores res-

pectivamente para **PB15:4**, **PV19** e **PY3**. E na Fig. 7, repeti esta última experiência, mas substituindo o pigmento **PV19** pelo **PR122** da experiência anterior.

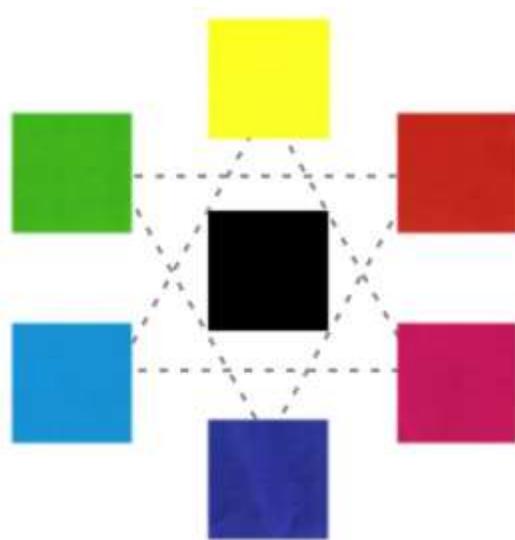


Figura 4: Cores primárias e secundárias numa impressora melhor e de maior porte

Todos os pigmentos que utilizamos são transparentes. Como falei, sabe-se que os corantes das impressoras são quase que totalmente transparentes. Talvez seja esta a razão do argumento de que o conjunto das primárias **ciano** **magenta** **amarelo** só funciona quando houver transparência. Essa conclusão não é verdadeira. Vamos mostrar isto.

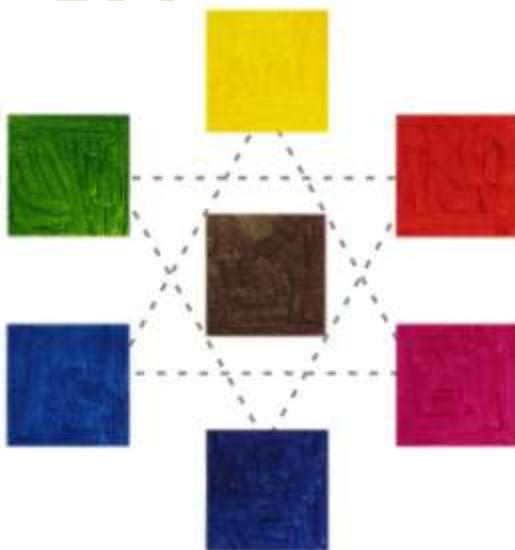


Figura 5: Cores primárias e secundárias partindo de **PB15:3**, **PR122** e **PY17**.

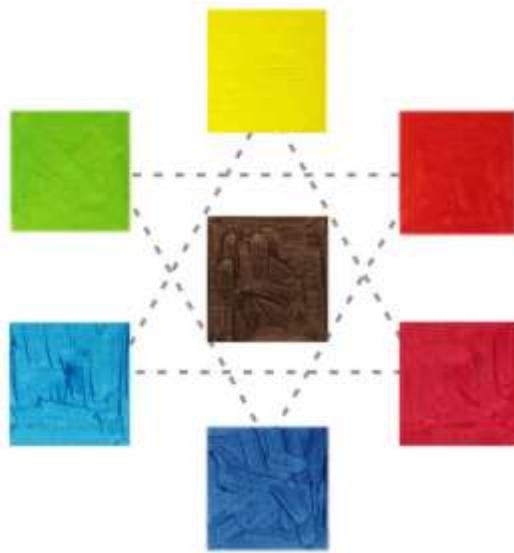


Figura 6: Cores primárias e secundárias partindo de **PB15:4**, **PV19** e **PY3**.

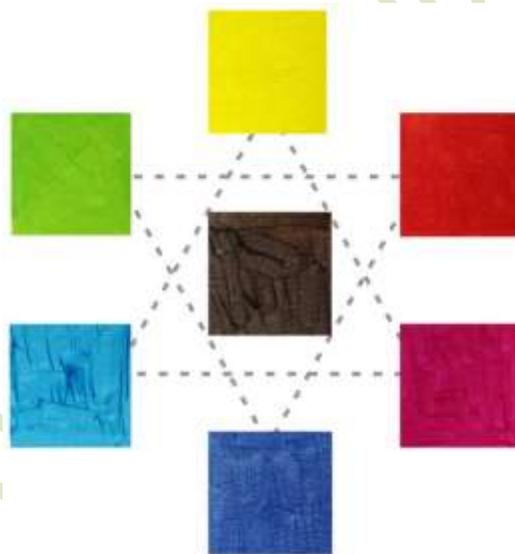


Figura 7: Cores primárias e secundárias partindo de **PB15:4**, **PR122** e **PY3**.

Tudo ficaria facilmente resolvido se tivéssemos um conjunto opaco com esses pigmentos. Não temos, pelo menos com todos. Não existe nenhum magenta opaco (ou semitransparente). Para o amarelo, o **PY35** (cádmio), mostrado na Fig. 2-18, pode desempenhar este papel. Vemos que o pigmento **PG50**, Fig. 2-4, pode fazer o do ciano (aliás, ele é muito bom ciano conforme veremos na seção 8). Assim, vamos nos concentrar na mistura desses dois pigmentos opacos.

Para ficar bem claro, falemos primeiro sobre a transparência dos corantes das impressoras. Vejamos o que vem a ser um corante transparente (procedimento similar vale para os pigmentos –

dentro do aglutinante em que está sendo usado). O teste de transparência (e também de opacidade) é bem fácil de ser feito. No caso dos corantes, imprime-se, sobre uma folha branca, uma tira horizontal de cor preta. Depois, sobre essa mesma folha, imprimem-se tiras verticais nas cores ciano, magenta e amarelo (que são os corantes de qualquer impressora), de tal maneira que elas cortem a tira preta inicial. Por favor, veja a Fig. 8.

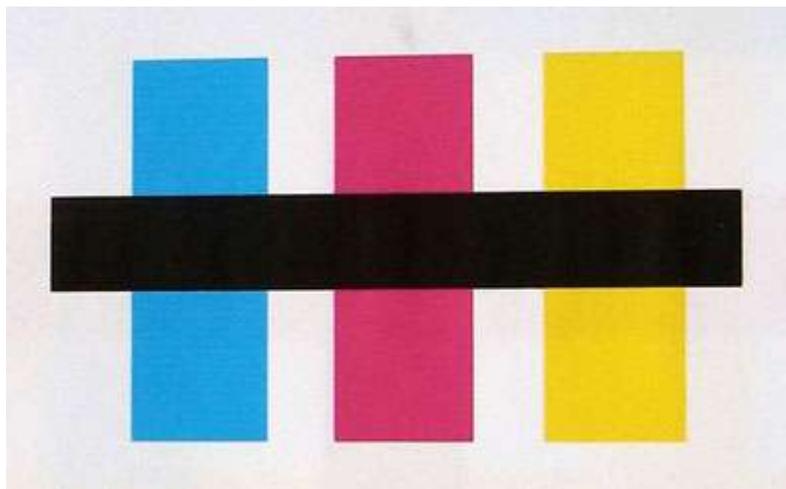


Figura 8: Teste de transparência para os corantes das impressoras

Como observamos, os corantes ciano, magenta e amarelo não foram capazes de cobrir absolutamente nada do preto (parece até que ele é que foi impresso sobre as faixas coloridas). Este resultado mostra que os corantes das impressoras são transparentes (na verdade, totalmente transparentes). Caso cobrissem o preto, seriam opacos. Se a cobertura fosse parcial, classificaríamos de semitransparentes (às vezes a denominação semiopaca é também encontrada).

Pela maneira como funcionam as impressoras, os corantes têm de ser bem transparentes mesmo. Eles não são misturados no papel como fazemos com as tintas em nossas telas e paletas. São colocados, em camadas, uma sobre as outras. É justamente essa transparência a responsável pela combinação e o consequente aparecimento das cores secundárias, terciárias etc. Na Fig. 9 temos o esclarecimento disto. Primeiro, imprimir as três faixas horizontais. As verticais foram impressas depois, no mesmo papel, a fim de que superpusessem as anteriores. Seus cruzamentos fornecem as respectivas cores secundárias. Notamos que a transparência dos pigmentos é tal que não faz muita diferença qual faixa está por baixo ou por cima (no caso em que faixas de mesma cor se cruzam há uma região mais intensa – eu regulei a qualidade da impressão como normal – essas regiões significariam uma regulagem para melhor qualidade de impressão).

Vamos fazer experiência semelhante com pigmentos. Acho bem instrutivo, antes de considerar os opacos **PG50** e **PY35**, usar casos transparentes. Tomemos, então, o bem transparente **PB15:4**. Vimos que há vários candidatos transparentes que podem desempenhar o papel do amarelo fundamental. Poderíamos tomar qualquer um dos que já usamos, mas consideremos o **PY128**, que é ainda mais transparente. Veja, por favor, a Fig. 10.

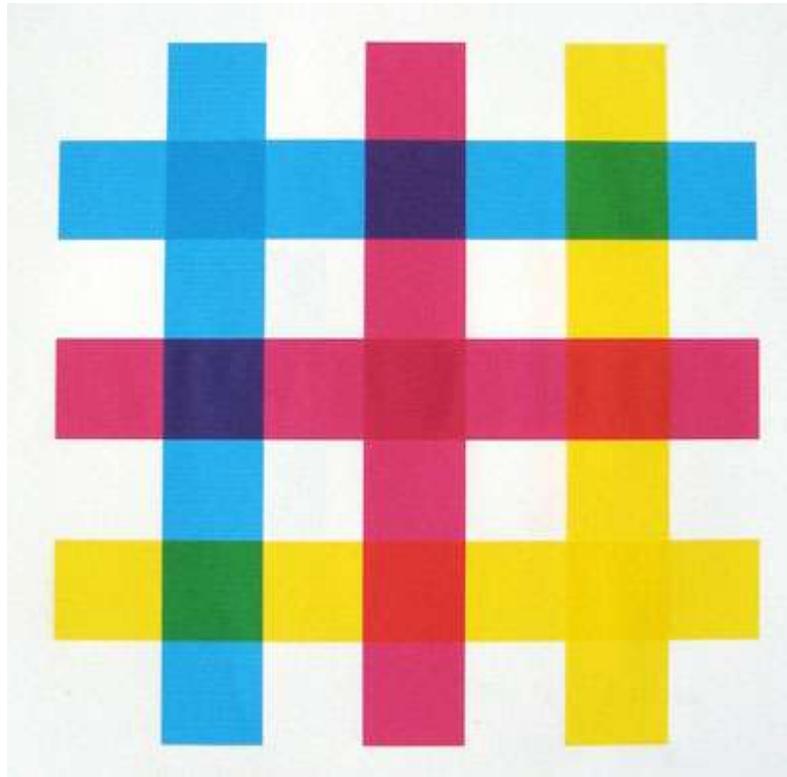


Figura 9: Mistura de cores com as tintas das impressoras

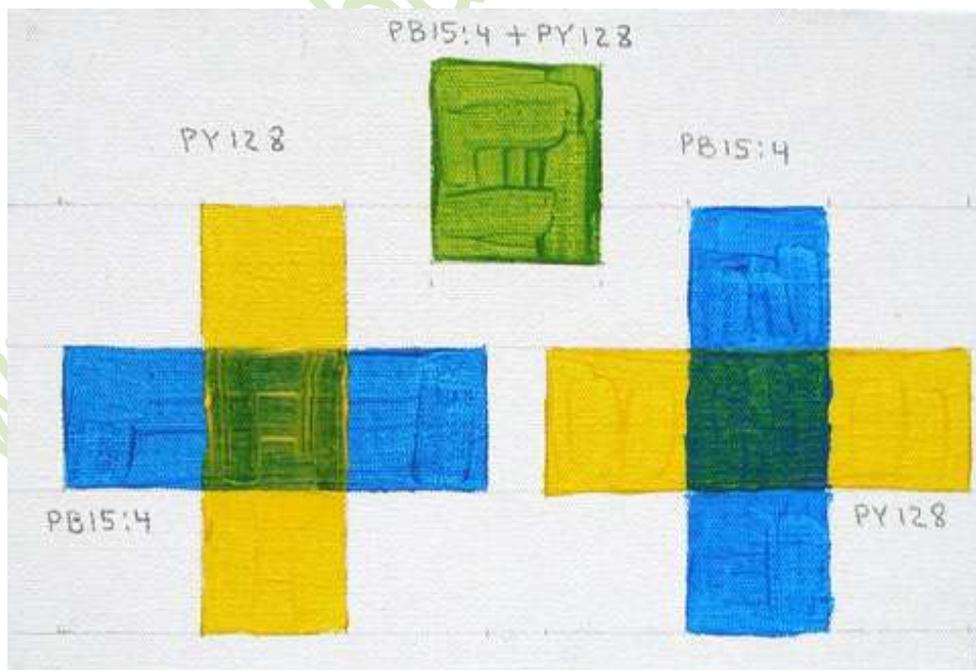


Figura 10: Mistura dos pigmentos transparentes **PB15:4** e **PY128**

Primeiramente, pinte as faixas horizontais. Depois de algumas semanas, quando estavam secas, pinte as verticais. O quadrado verde central foi pintado no mesmo dia, misturando-se os dois pigmentos (da maneira como fazemos nas nossas paletas). Observemos, então, o que aconteceu.

A faixa amarela vertical, pintada sobre a faixa ciana, deu realmente um verde (devido à transparência do amarelo). Entretanto, ele é bem diferente do outro verde, obtido quando pinte a faixa ciana sobre a amarela. Mais do que isso, esses dois verdes são totalmente diferentes do verde feito com a mistura das duas cores (que está no quadrado central). Só por esse exemplo, já poderíamos concluir que a mistura de ciano mais amarelo, como fazemos na paleta, dá realmente verde, **mas não é por causa da transparência dos pigmentos** (isto é, não é o mesmo que ocorre com as tintas das impressoras – eles não são suficientemente transparentes para funcionarem da mesma forma)

Agora sim, vamos repetir essa experiência usando os dois pigmentos opacos, **PG50** e **PY35**. Veja, por favor, a Fig. 11.

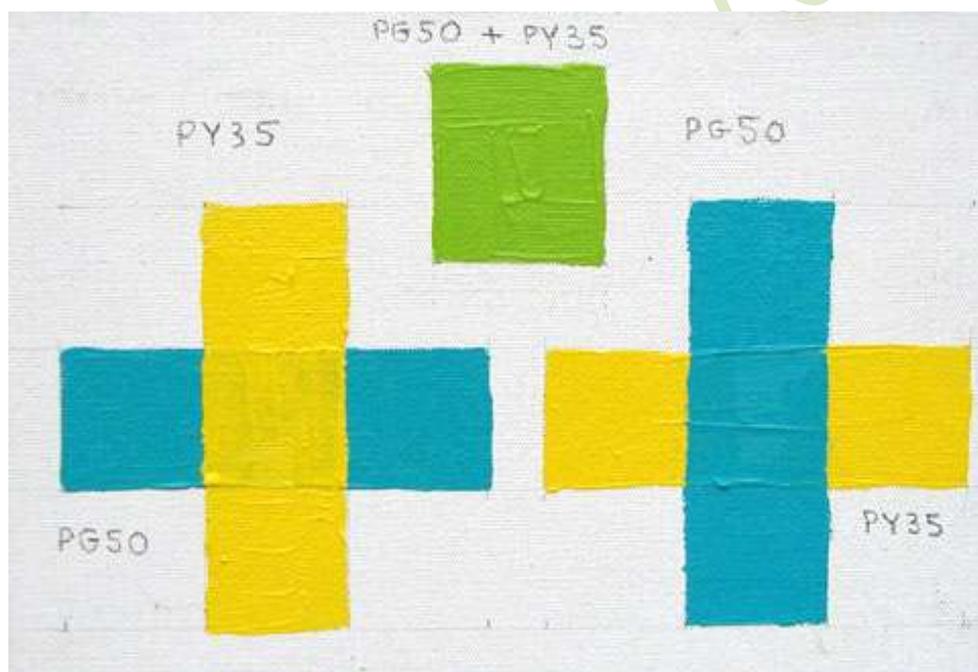


Figura 11: Mistura dos pigmentos opacos **PG50** e **PY35**

Como no caso anterior, primeiramente foram pintadas as faixas horizontais. Aqui fica patente a questão da opacidade. Observe que as faixas verticais, pintadas quando as anteriores já estavam secas, praticamente não deixam aparecer nenhum vestígio nas regiões de cruzamento (isto é, não há verde algum). Entretanto, quando as duas tintas são misturadas, como fazemos nas paletas, aparece um bonito verde (mostrado no quadrado superior central).

Através desses dois exemplos, mostrarmos que o verde da combinação do ciano e amarelo é resultado da mistura das tintas nas paletas e não por questão de transparência ou opacidade dos

pigmentos. Caso tivesse um exemplo de pigmento opaco magenta, o mesmo aconteceria nas misturas com ciano e amarelo, dando azul e vermelho, respectivamente.

Para concluir, seja a seguinte pergunta. Por que, na mistura de tintas na paleta, a cor resultante independe da transparência ou não das tintas iniciais? A resposta é simples. Quando as misturamos, temos uma combinação microscópica em cada ponto. **Nessas regiões microscópicas (envolvendo poucas moléculas) os pigmentos comportam-se como totalmente transparentes (independentemente se são opacos ou transparentes), assim como nas tintas das impressoras.**

### 3. Ciano, magenta e amarelo geram realmente todas as cores?

Em todas as experiências feitas até aqui, só apareceram cores primárias e secundárias. Em princípio, estão faltando as terciárias, quaternárias etc. Na Fig. 12, coloquei as cores terciárias, em forma de círculos (todas as figuras desta seção foram novamente geradas por computador). Ainda assim, mesmo se tivesse colocado as quaternárias etc., ainda estariam faltando cores. Faltariam as misturas entre as diversas complementares. Por isso não coloquei o preto na Fig. 12, pois ele vai aparecer na combinação das complementares, o que é feito na Fig. 13, onde estão alguns estágios da combinação entre ciano-vermelho, verde-magenta e amarelo-azul.

Aqui há um detalhe muito interessante e que a gente não pode deixar passar sem falar. Na Fig. 13, vemos que o processo de escurecer uma cor é algo que pode ser feito, equivalentemente, tanto com preto como com a cor complementar. Observo que, às vezes, há discussões acaloradas sobre a necessidade ou não do preto. Pelo resultado da Fig. 13, podemos afirmar (novamente) que não é uma **necessidade**, é uma **opção**. A mesma que seria, por exemplo, de usar o laranja pronto ou através da mistura do vermelho com amarelo (ou magenta com mais amarelo).

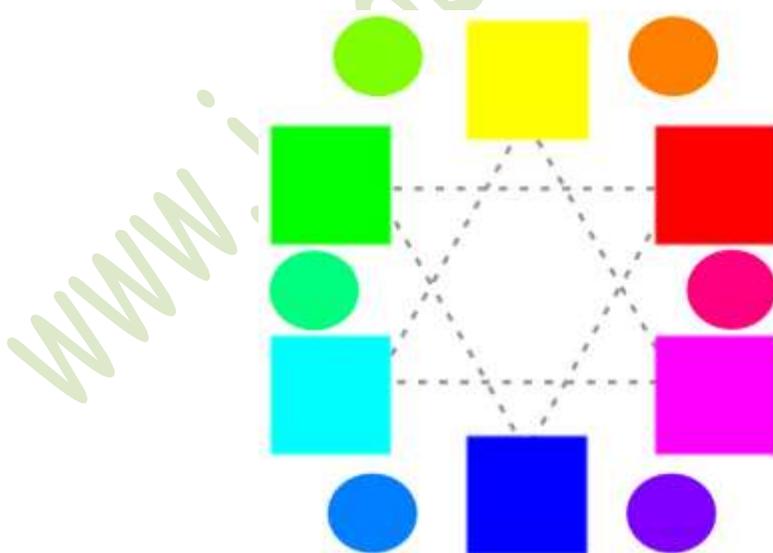


Figura 12: Cores primárias, secundárias e terciárias



Figura 13: Misturas de alguns pares complementares

Ocorre que, na prática, não temos entre os pigmentos os verdadeiros atores para os papéis do ciano e magenta (como disse, para o amarelo é mais fácil). Realmente, observe que a cor escura das Figs. 5, 6 e 7 lembra o preto, mas não é exatamente preta. Particularmente, acho isso ótimo, pois a presença do preto mesmo (e também do branco) na pintura não é algo muito atrativo. Tanto é assim que quando se usa o preto para escurecer uma cor, o resultado é uma mistura pálida e sem vida, havendo, portanto, a necessidade do toque conveniente de uma cor mais próxima. Por exemplo, usando o preto para escurecer o vermelho, há necessidade do toque de um carmim. É oportuno dizer que o mesmo ocorre com o uso do branco. No caso do vermelho, teríamos de dar um toque de laranja para se obter um rosa mais vivo.

Por isso tudo é que volto a afirmar que usar o preto ou a cor complementar, tanto na teoria como na prática, é uma **opção**, nada além disso.

Voltemos a falar da combinação de cores. E agora, finalmente, após ter obtido as secundárias, terciárias, quaternárias etc., após também misturar as complementares (não só os pares acima, mostrados na Fig. 13, mas aqueles vindos das terciárias, quaternárias etc.), conseguimos todas as cores? A resposta é não. Ainda faltam os cinzas (estou chamando de cinzas as misturas com branco). Na verdade, falta o branco. No caso da combinação aditiva, faltaria o preto. Lá, por exemplo, o marrom não aparece. Aqui falta o rosa. Assim, na combinação de pigmentos, o ciano, o magenta e o amarelo geram todas as cores puras, e estas, misturadas nos pares complementares, geram as cores mais escuras (inclusive o preto). Entretanto, há necessidade do branco para obtenção dos cinzas. Foi por isso que fiz, no início, a ressalva de que ciano, magenta e amarelo não geram todas as cores. Falta o branco e suas misturas com ele. Na Fig. 14, estou colocando um exemplo de três cores básicas de cinzas, e na Fig. 15 estão as secundárias correspondentes (note que o quadrado central não é preto). Na Fig. 16, estão as combinações das respectivas complementares.

Certa vez, vi escrito em algum lugar a sugestão de se misturar branco a um certo azul para que esta mistura ocupasse o papel do ciano entre as cores fundamentais. Obviamente, isto não faz o menor sentido. Devido à presença desta quantidade de branco, temos que as “cores fundamentais” com a presença deste “ciano” nunca gerariam o preto.

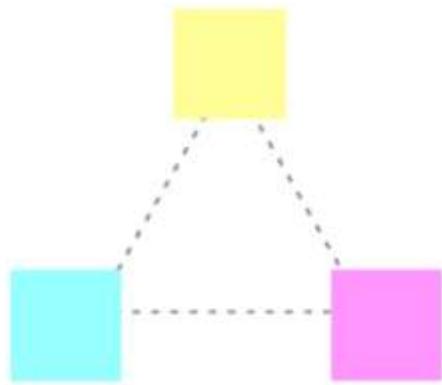


Figura 14: Cores básicas misturadas com branco (cinzas)

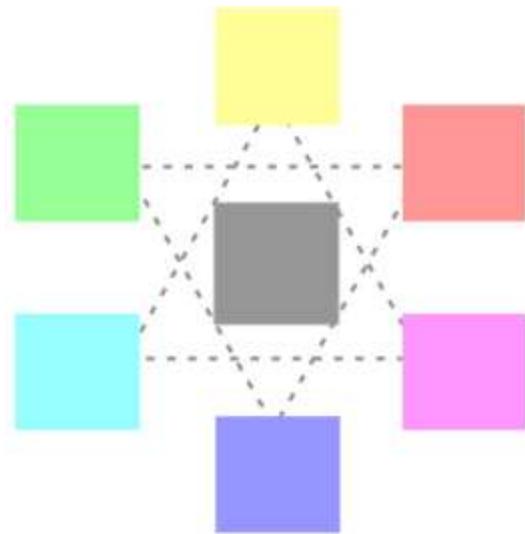


Figura 15: Cores primárias e secundárias com a mesma mistura com branco (cinzas)

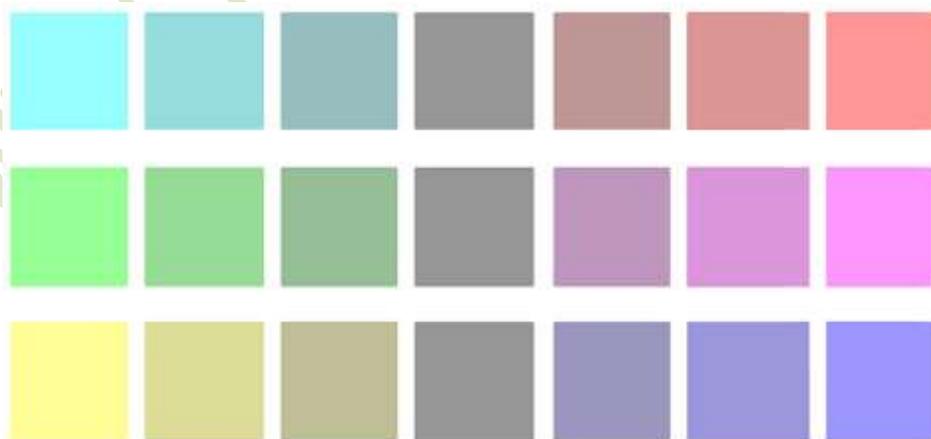


Figura 16: Mistura das complementares (outros cinzas)

## 4. A beleza dos cinzas

Como foi mencionado, a classificação das cores em primárias, secundárias, terciárias etc. é algo acadêmico para quem deseja pintar a partir das cores básicas. Mais importante é o conceito das cores complementares. Relembrando, os pares complementares, envolvendo as cores primárias e secundárias são:

**ciano** **vermelho**

**magenta** **verde**

**azul** **amarelo**

A maioria de todos os pigmentos a que já fomos apresentados é aproximação dessas cores. Isto é bom. O fato de ser aproximação é que considero o mais relevante. Vejam bem, não estamos interessados em reproduzir fielmente o espectro de cores partindo do triângulo fundamental. Assim, tomando, por exemplo, certa cor do conjunto dos verdes e misturando-a com outra dos magentas, não se vai obter preto. Ótimo que assim não seja. Misturando as cores complementares (ou melhor, aproximadamente complementares) de dois conjuntos, iremos obter uma infinidade de tonalidades escuras, sem ser necessariamente preto. Misturando este resultado com branco, obtaremos uma infinidade de cinzas (dependendo das cores iniciais, da quantidade dessas cores e da quantidade de branco). Não é, também, só a mistura entre os pares complementares. Por exemplo, misturando cores do conjunto dos verdes com as dos amarelos, ou dos cianos com os amarelos, somos levados a outra infinidade de verdes (além dos cinzas esverdeados obtidos do conjunto complementar **azul-amarelo**). Idem para os outros conjuntos.

O bom disso tudo é que não há regras. Estamos livres para tentar o que acharmos mais interessante, de ir buscar a cor que bem entendermos, dependendo do que está dentro de nós, ou melhor, do que gostaríamos que estivesse (por isso somos artistas). Embora todas as fases da pintura sejam criativas e importantes, considero esta a mais criativa e a mais bonita também.

Neste momento você pode estar pensando sobre o que disse da equivalência do uso do preto em relação às complementares. Realmente disse, mas para escurecer determinada cor. Para produzir cinzas, as complementares dão possibilidades bem mais abrangentes. O uso do preto, neste caso, torna o processo muito limitado. Por esse motivo é que optei (sem polêmicas) em não usá-lo. Acho que posso ter maior criatividade com a diversidade que encontro nas misturas de cores (aproximadamente) complementares.

## 5. Explicação geral sobre o “ver” e a combinação de cores

Nas seções acima, falamos da combinação de cores através dos pigmentos e corantes, em que **ciano** **magenta** **amarelo** são as cores fundamentais. Fizemos menção a outra combinação, direta com a luz, onde as cores fundamentais passam a ser **vermelho** **verde** **azul** (as primeiras são, respectivamente, complementares das do segundo conjunto, e vice-versa). Devido à natureza dos processos, muita gente chama o primeiro de **combinação química** e o segundo de **combina-**

**ção física.** Não considero esses nomes muito adequados, pois podem dar a impressão de que são casos de naturezas bem diferentes. Não são. Se entendermos um pouco sobre o mecanismo da visão, concluiremos que ambos estão dentro do mesmo contexto e não precisam ser separados por esses dois grandes ramos da ciência, a Química e a Física. Como também foi mencionado, a mistura das cores com pigmentos e corantes é chamada de **subtrativa**; e a outra, de **aditiva**. Vamos passar a esclarecer todos esses pontos.

Falamos no início que a principal mistura de cores para o artista é a subtrativa. Fizemos menção, também, que a aditiva foi tentativamente usada pelos neoimpressionistas num processo que eles chamaram de **pintura ótica**, mas que passou para a história da arte como **pontilhismo**. Naquela oportunidade, restringimo-nos somente a este caso como exemplo de combinação aditiva que pudesse interessar ao artista. Entretanto, nos dias atuais, acho que precisamos ampliar nossos horizontes em virtude dos processos fotodigitais (onde a mistura é aditiva). Isto acontece não só no manuseio das imagens dos nossos quadros, mas em estudos preliminares de mistura de cores e, até mesmo, vem tomando espaço uma técnica conhecida como **pintura digital**. Podemos dizer que a **pintura digital** é, nos nossos dias, quase a mesma **pintura ótica** que os neoimpressionistas tentaram fazer.

O ponto de partida para começar a explicar o tema do título está no ano de 1665, quando Newton realizou a experiência de separar a luz branca nas sete cores do arco-íris (o que foi feito com a utilização de um prisma). Elas estão mostradas na Fig. 17. À primeira vista, isto parecia dizer que a luz era constituída por sete elementos fundamentais e soou, de forma poética, como analogia às sete notas musicais. Sabemos que não é bem assim. As cores fundamentais não são sete, são apenas três (pelo menos para os olhos e cérebro humanos).



Figura 17: As sete cores do arco-íris

Realmente, o número de três cores fundamentais é uma questão biológica. De forma bem resumida e simplificada (detalhes serão vistos mais adiante),  **vemos**  porque temos espécies de sensores em nossas retinas, que são capazes de absorver a luz emitida pelos objetos. Também de forma resumida, esses sensores são de três tipos, chamados de  **RGB** , iniciais de  **red**  (vermelho),  **green**  (verde) e  **blue**  (azul), cujos nomes estão relacionados ao máximo de sensibilidade para cada uma dessas luzes.

Entretanto, isto não quer dizer que a luz seja vermelha, verde ou azul. Estas são sensações do nosso cérebro para absorção de fótons com certa energia ou, o que é a mesma coisa (numa visão mais clássica), de radiação eletromagnética com certos comprimentos de onda. Antes de discorrermos sobre o funcionamento geral desses sensores e a noção de cores percebida pelo cérebro, falemos um pouco mais sobre a natureza da luz.

Ela corresponde a uma parte (bem pequena) do chamado  **espectro eletromagnético** , em que figuram todos os tipos de radiação eletromagnética. Outros exemplos familiares são as ondas de rádio AM e FM, televisão, micro-ondas, raios X etc. O que diferencia uma das outras são seus comprimentos. Por exemplo, ouvimos música clássica pela Rádio MEC FM em sinais de radiação eletromagnética com comprimento de onda de 3,03 metros. Já a transmissão da Rádio MEC AM é feita com ondas de 375 metros.

Como observamos, os comprimentos de onda da radiação usada pelos transmissores em FM são bem menores que os AM. Já os comprimentos de onda da radiação luminosa (o nome é apenas didático pois, como enfatizamos, radiação não tem cor) são muito menores, a ponto de o metro não ser uma unidade apropriada para medi-los. O milímetro (mm), milésima parte do metro, também não. Ainda é muito grande. Poderíamos usar o micrômetro ( $\mu\text{m}$ ), um milhão de vezes menor que o metro. Mesmo assim, o comprimento de onda da radiação luminosa ainda seria dado por números decimais. Costuma-se usar o nanômetro (nm), que é a bilionésima parte do metro (não é à toa que se levou muito tempo para conseguir medir o comprimento de onda da luz, o que só ocorreu em 1801 por Thomas Young – quase 150 anos depois da experiência de Newton).

A região do violeta é a que tem menor comprimento de onda, vai aproximadamente de 380 a 435 nm. O azul fica entre 435 e 500 nm; o ciano, entre 500 e 520 nm; o verde, 520 a 565 nm; o amarelo, 565 a 590 nm; o laranja, 590 a 625 e o vermelho de 625 a 740 nm. Para se ter uma ideia de quão pequenos são esses valores, mencionemos que a espessura de uma folha comum de papel A4 é mais de cem vezes maior que o comprimento de onda do vermelho!

Apenas com isto, podemos entender o que seja a combinação da luz, cujos termos aditivo e subtrativo são meras referências aos processos de como ela chega aos nossos olhos. Por exemplo, quando duas radiações, uma de comprimento 540 nm e outra de 680 nm, atingem nossos olhos, elas ativam os sensores  **G**  (verde) e  **R**  (vermelho). Isto acontecendo de forma não seletiva (isto é, que não seja possível identificar as fontes do verde e do vermelho), é a sensação de amarelo que é passada ao nosso cérebro. Assim, amarelo nada mais é do que a sensação passada pelos sensores  **G**  e  **R**  funcionando simultaneamente (e de forma não seletiva). É assim que a combinação aditiva da luz se processa. O mesmo raciocínio vale para outras radiações. Por exemplo, se elas ativarem os sensores  **G**  e  **B**  (estaremos falando sempre de forma não seletiva), nosso cérebro identificará o resultado como ciano. Se forem  **R**  e  **B**  teremos a sensação do magenta.

Por outro lado, quando uma radiação da região amarela atinge nossos olhos, é fácil ver que nosso cérebro identifica amarelo porque ela sozinha excita os sensores **G** e **R**. O mesmo acontece para uma radiação do ciano em relação aos sensores **G** e **B**. Não existe nenhuma radiação que sozinha leve ao nosso cérebro a sensação do magenta. Isto muitas vezes costuma lhe dar um caráter místico. Nada há de tão especial nisso. Muitas outras cores (infinitas por sinal) possuem esta mesma característica.

Quando os três sensores **R**, **G** e **B** funcionam simultaneamente (lembrando sempre que de forma não seletiva), nosso cérebro interpreta isso como branco. A propósito, a exemplo do magenta, não há nenhuma radiação que sozinha leve ao nosso cérebro a sensação do branco.

Só mais uma observação. Quando falamos que radiações verde e vermelha produzem o mesmo efeito de uma radiação amarela, não significa que fótons característicos do verde e vermelho se combinam antes de atingirem nossas retinas para se transformar num fóton característico do amarelo. Não é isso. Dois fótons não se combinam para formar outro fóton (esta interação não é permitida pela teoria eletromagnética). Reafirmando o que disse acima, o amarelo é a sensação do nosso cérebro para os sensores **G** e **R** funcionando simultaneamente (sem identificar a fonte de onde vieram).

A combinação subtrativa é quando existe algum mecanismo que filtra algumas das radiações (ou todas) antes de atingirem nossos olhos. Veremos exemplos práticos tanto de combinações aditivas como subtrativas nas seções seguintes.

## 6. Exemplos da combinação aditiva

Como falamos, a combinação aditiva se dá quando os sensores da nossa retina não são capazes de distinguir as fontes de onde vieram as radiações. Um meio de se conseguir isto é através de refletores, por exemplo, com luzes vermelha, verde e azul projetadas sobre uma superfície branca. Veja, por favor, a Fig. 18. Depois, fazemos com que essas três manchas se superponham parcialmente, como na Fig. 19.

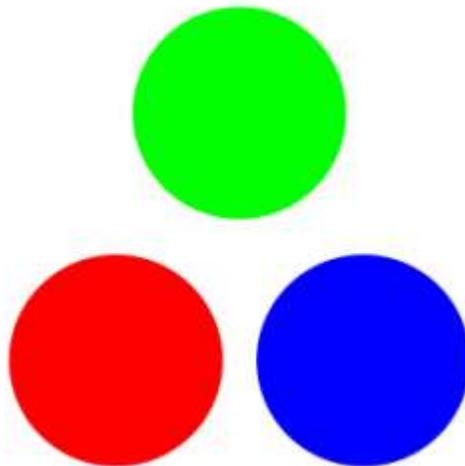


Figura 18: Incidência de três feixes de luz sobre uma superfície branca

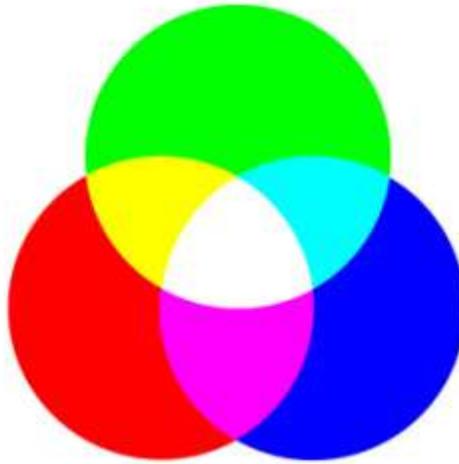


Figura 19: Superposição dos feixes

As radiações que vêm da região de superposição do vermelho e verde são absorvidas pelos sensores **R** e **G**, mas sem distinguirem suas origens. Por isso nosso cérebro a interpreta como amarela. Idem para vermelho e azul, levando ao cérebro a sensação de magenta; e azul e verde, a do ciano. Na parte em que as três atuam simultaneamente, temos o branco.

Vimos, quando estudamos a combinação subtrativa, que não eram quaisquer pigmentos ciano, magenta e amarelo que podiam desempenhar o papel de cores fundamentais (pois a mistura conveniente entre eles deveria dar preto). Aqui, acontece algo semelhante. Não são quaisquer componentes do vermelho, verde e azul que podem ser tomadas como fundamentais. A superposição entre elas tem de dar branco. Assim, procura-se variar convenientemente o comprimento de onda da radiação de cada refletor (o processo é mais simples do que procurar pigmentos para cores fundamentais) de tal maneira que a superposição dê branco. Só a título de ilustração, esses comprimentos são 700 nm; 546,1 nm e 435,8 nm, respectivamente (de acordo com a **CIE** – sigla francesa da **Comissão Internacional de iluminação**). Estas são as fontes usadas nos aparelhos *data-show* e nos antigos televisores e monitores coloridos.

Outra maneira prática de fazer com que essas radiações fundamentais (relativas ao vermelho, verde e azul) cheguem aos nossos olhos de forma não seletiva é tomar um disco com metade de uma cor e metade de outra (pode ser com duas ou um número qualquer de partes iguais). Depois, fazemo-lo girar rapidamente, de maneira tal que nossos sensores não consigam distinguir a fonte de onde cada cor está vindo. Por exemplo, na Fig. 20 tomamos um disco com metades vermelha e verde. Fazendo-o girar rapidamente, veremos o disco na cor amarela.

Acho oportuno voltar ao que disse acima, sobre o fato de se ter cores emitindo radiações com comprimentos de onda apropriados, a fim de que a combinação aditiva seja satisfatória. Se o vermelho e verde do disco não tiverem exatamente as cores mostradas, o amarelo resultante também não será exatamente o que estamos vendo.

Com o intuito de ver como isso se processa na prática (cujo objetivo final será falar com mais propriedade sobre o **pontilhismo** dos neoimpressionistas), fiz uma imagem do disco vermelho e verde

e levei o arquivo para ser impresso numa boa impressora (para diminuir o problema da divergência de cores). Depois, acoplei o disco a uma furadeira e o fiz girar rapidamente. O resultado está mostrado na Fig. 21.

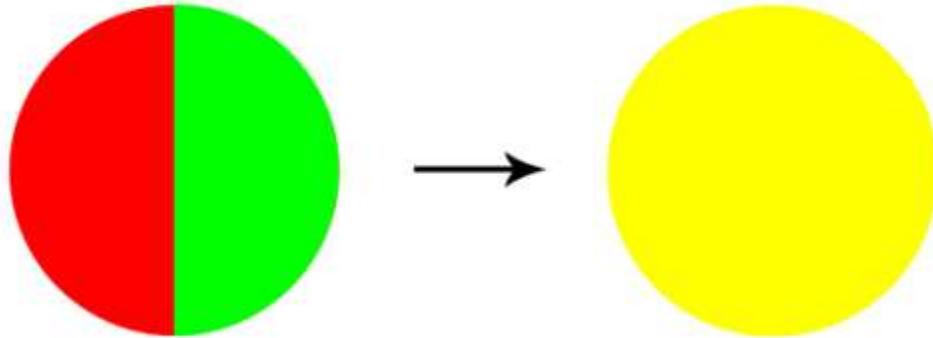


Figura 20: Disco vermelho e verde girando rapidamente é visto como amarelo.

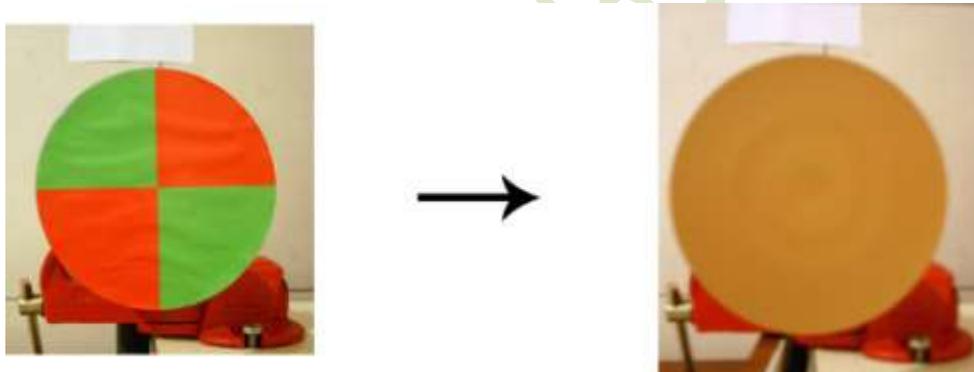


Figura 21: Experiência com disco vermelho e verde girando rapidamente.

O retângulo branco que aparece ao fundo de cada imagem foi usado como referência para fazer o ajuste de cores. Ainda assim, observamos que não foi obtido o mesmo amarelo da figura anterior. Isto só aconteceria se o vermelho e o verde da impressão tivessem a mesma tonalidade dos casos acima. Vemos, portanto, que na prática as coisas não são tão simples.

A título de ilustração, vou apresentar a mesma experiência para as outras combinações de cores fundamentais, isto é, verde e azul dando ciano; e vermelho e azul dando magenta (veja, por favor, as Figs. 22 e 23, respectivamente).

Compare as diferenças dos resultados com aqueles da Fig. 19. Neste ponto já podemos perfeitamente entender as dificuldades encontradas pelos neoimpressionistas no seu projeto de realizar uma pintura ótica (nome dado por eles mesmos), que se baseava na combinação aditiva. Observamos, nas figuras apresentadas, as dificuldades de se conseguir misturar aditivamente as cores partindo de pigmentos (no caso, corantes) fundamentais (ou supostamente fundamentais) verme-

lho, verde e azul. No projeto dos neoimpressionistas, que teve em **George Seurat** (1859-1891) seu mais conhecido representante, a situação se agravava ainda mais porque a tentativa de combinação aditiva era feita através de inúmeros pontos de tinta, colocados lado a lado e sem misturá-los. A combinação aditiva seria feita pela observação do quadro a certa distância, onde não se pudessem perceber esses pontos separadamente.



Figura 22: Experiência com disco verde e azul girando rapidamente.

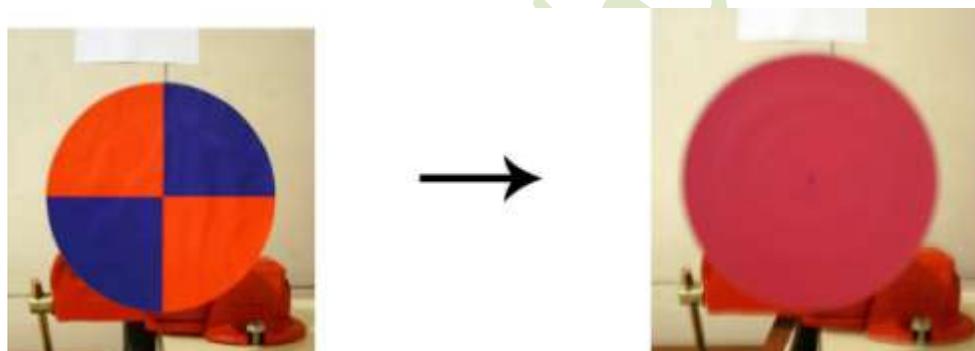


Figura 23: Experiência com disco vermelho e azul girando rapidamente.

Para se ter ideia da dificuldade, em que um dos problemas estaria no tamanho desses pontos, consideremos um reticulado com quadrados coloridos alternadamente com duas cores fundamentais da combinação aditiva, digamos, vermelho e verde (veja, por favor, a Fig. 24). Embora haja muitos quadrados e sejam também muito pequenos, mesmo assim ainda são suficientemente grandes para que a região por eles ocupada seja vista (dentro da distância que se observa um quadro) como amarela. O que fiz foi agrupar várias figuras como esta através de resolução cada vez maior (a fim de se ter quadrados cada vez menores) e o resultado foi colocado na Fig. 25. Afastando-se do papel onde essa figura está impressa, já começamos a ver amarelo. Mas teria de se diminuir ainda mais o tamanho dos pequenos quadrados da figura<sup>2</sup>.

---

<sup>2</sup> Eu imprimi esse arquivo na mesma gráfica onde fiz os discos coloridos. Afastando-se do papel cerca de 4 ou 5 metros, vê-se o mesmo “amarelo” da Fig. 21 (como não poderia deixar de ser, pois a combinação aditiva é exatamente a mesma).

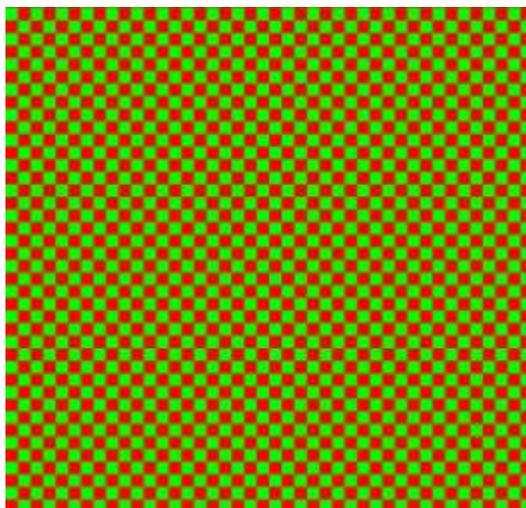


Figura 24: Divisão de uma área em vários pequenos quadrados vermelhos e verdes.



Figura 25: Divisão em quadrados vermelho e verde muito menores.

Não vou mais além. Acredito que já seja suficiente para perceber o problema dos neoimpressionistas. Talvez por isso, essa corrente não tenha entrado para a história da arte como pintura ótica (que de fato não houve), mas simplesmente como pontilhismo, em referência, apenas, ao tipo de pintura. Na verdade, era uma pintura diferente. A ideia básica inicial, da pintura ótica, não permitiria contornos rígidos. Isso levou a quadros suaves e agradáveis de serem apreciados. Veja, por exemplo, “A Ponte de Courbervoie” (1886), de George Seurat, Fig. 26.

Pelo que tenho lido, a conclusão a que chego é que os neoimpressionistas não entendiam muito bem o funcionamento da combinação aditiva da luz. Eles achavam que a sua pintura ótica daria um resultado mais luminoso que a pintura usual (através da mistura direta dos pigmentos). Não há dúvida de que esse objetivo é muito interessante. Entretanto, eles advogavam que pontos de

cores complementares deveriam ser colocados lado a lado para que suas cores fossem ressaltadas ao máximo. De fato isso ocorre quando as cores são observadas separadamente (mas não misturadas aditivamente). Quando acontece a mistura aditiva, o resultado é a obtenção do branco (veja, por favor, a Fig. 19). Na prática, de acordo com o que vimos acima, seria obtido um cinza qualquer. Mostramos isto na Fig. 27, onde tomamos discos formados pelos pares complementares: azul–amarelo, vermelho–ciano e verde–magenta.

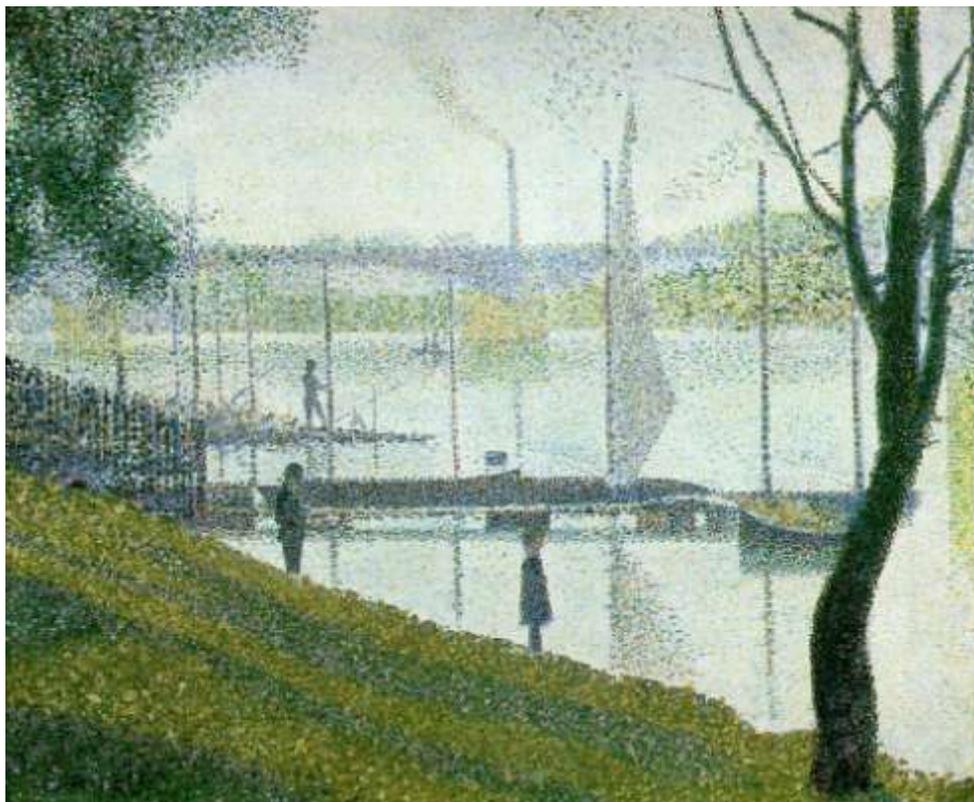


Figura 26: A Ponte de Courbevoie – Geoge Seurat

Há quem diga (vejo isso em revistas, livros e vários lugares), também, referindo-se à ideia do pontilhismo, que colocando, por exemplo, pontos ciano e amarelo bem próximos, o resultado será visto como verde. Sabemos que não é verdade. É fácil saber a cor resultante. O ciano vem da combinação aditiva do verde e azul (veja, por favor, a Fig. 19) e o amarelo do vermelho e verde. Assim, de acordo com a combinação aditiva, ciano + amarelo pode ser visto como

**ciano + amarelo = (verde + azul) + (vermelho + verde) = verde + branco**

já que **azul+vermelho+verde dá branco**. Ou seja, um verde claro. Realmente, isto pode ser comprovado no resultado mostrado na Fig. 28. Com este mesmo raciocínio, obtemos facilmente o seguinte resultado das combinações aditivas:

**magenta + amarelo = vermelho + branco**

**ciano + magenta = azul + branco**

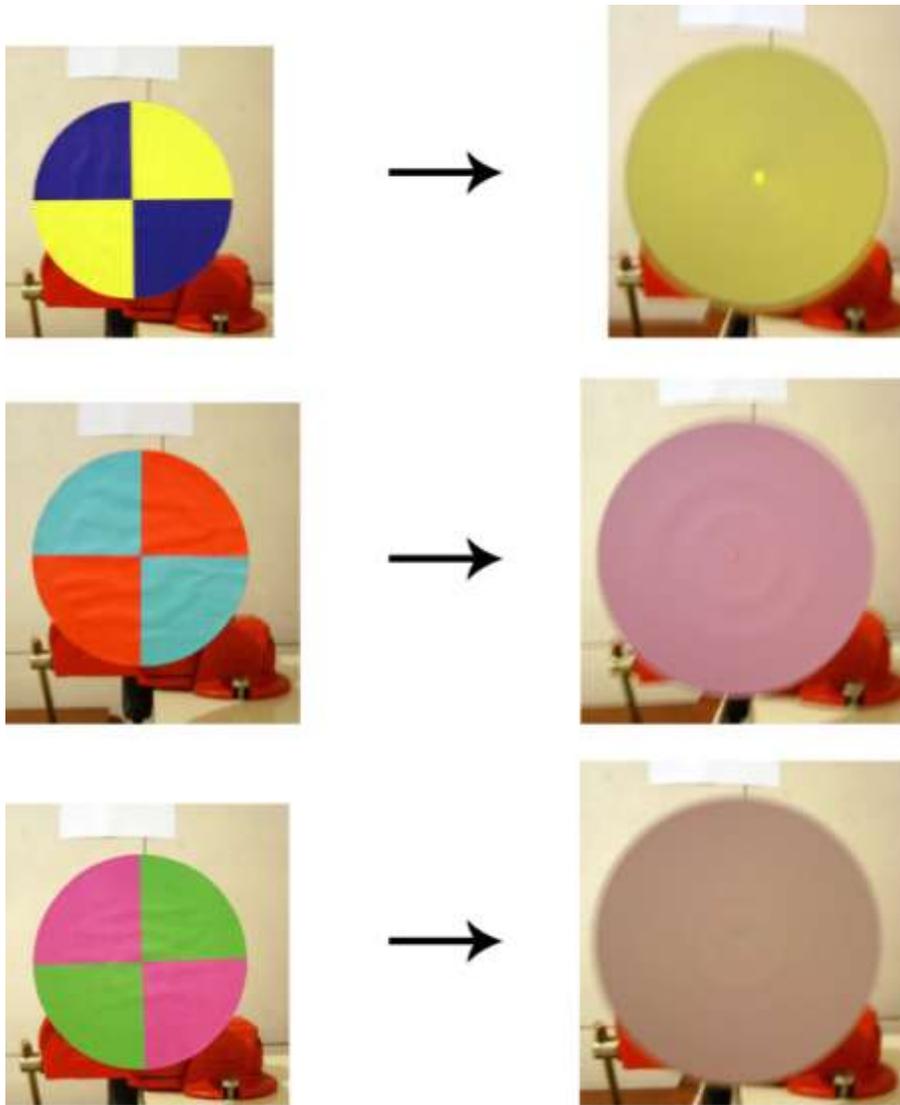


Figura 27: Mistura aditiva de cores complementares

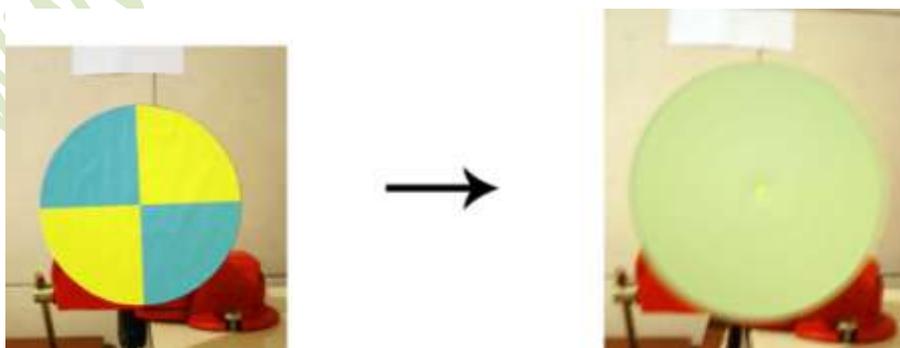


Figura 28: Combinação aditiva de ciano e amarelo dá um verde claro.

## 7. Explicação da combinação subtrativa

Para entender um pouco melhor o porquê do nome **subtrativo**, referente à mistura que fazemos com nossas tintas nas paletas, tomemos, em lugar de tintas, três placas transparentes com as cores fundamentais (ciano, magenta e amarelo). Sabemos que, por exemplo, se superpusermos as placas ciano e amarela sobre uma superfície branca, veremos verde. A Fig. 29 explica isso em termos da luz que atinge nossas retinas.

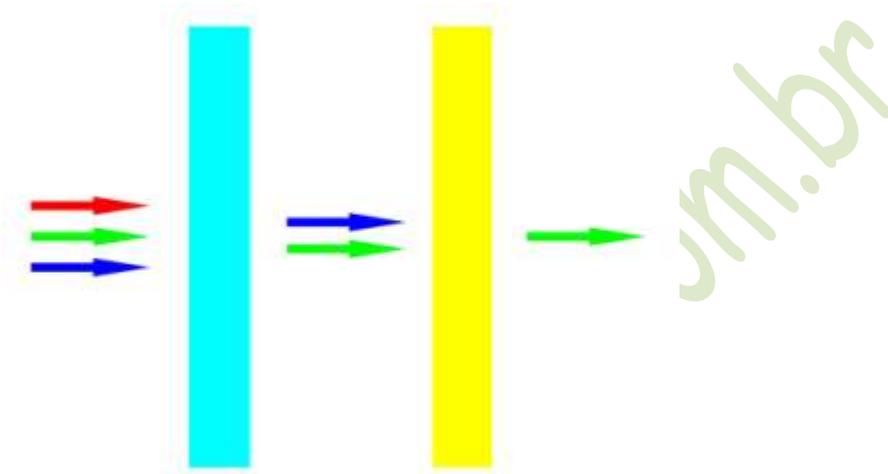


Figura 29: Explicação da combinação subtrativa do ciano e amarelo dando verde.

Fizemos a separação das placas para facilitar a explicação. Pelo que vimos nos itens anteriores, a luz que sai da superfície branca pode ser vista como superposição de vermelho, verde e azul. Vemos a cor ciano porque só verde e azul passam pela placa (ela não deixa passar a componente vermelha). Quando colocamos a placa amarela na frente, ela impedirá a passagem da luz azul (lembrando que amarelo é superposição do vermelho e verde). Assim, só o verde passa. Portanto, o efeito das duas placas ciano e amarela, atuando em conjunto, é subtrair as componentes vermelha e azul da luz branca inicial (sobrando apenas o verde). Fica, então, esclarecida a razão do nome **subtrativo**. Mais do que isso, vemos que a mistura das nossas tintas está dentro do mesmo contexto das luzes chegando às nossas retinas. No caso **aditivo**, as luzes ativam os sensores diretamente. No caso **subtrativo**, parte da luz é subtraída antes de chegar aos nossos olhos.

Por questão de consistência, mostramos na Fig. 30 que a superposição das duas placas ciano e amarelo daria o mesmo verde, pensando primeiro na luz branca atingindo a placa amarela e, depois, as componentes resultantes indo em direção ao ciano.

O mesmo raciocínio vale para as demais misturas. Na Fig. 31, mostramos o caso do magenta e amarelo dando vermelho. E na seguinte, Fig. 32, o efeito dessas três placas atuando em conjunto. Apenas uma observação antes de concluir esta seção. Em todos os exemplos que foram mencionados, tanto de combinação aditiva como subtrativa, não se levou em conta o aparecimento do preto por meio das fontes luminosas. Isto não é conseguido com luzes. Na prática (e de forma relativamente óbvia), preto é obtido pela ausência de luz.

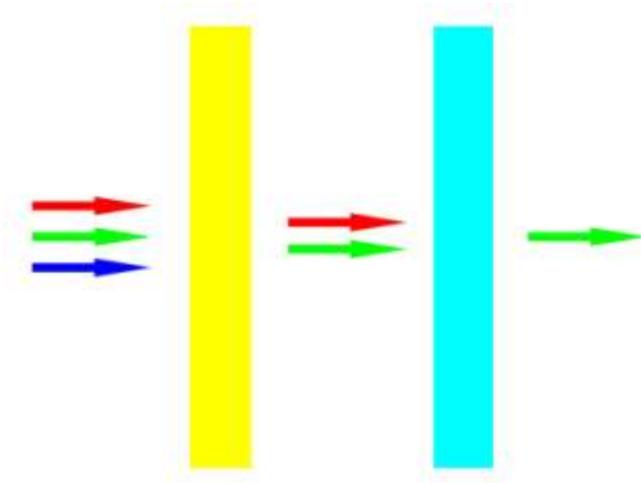


Figura 30: Alterando a ordem das placas não muda o resultado final.

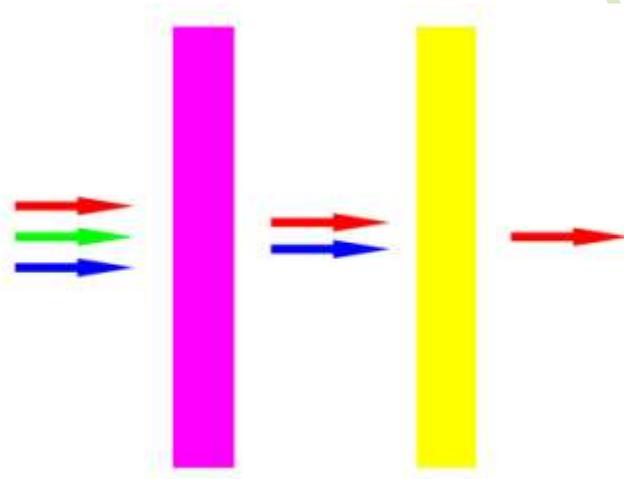


Figura 31: Explicação da combinação subtrativa do magenta e amarelo, dando vermelho.

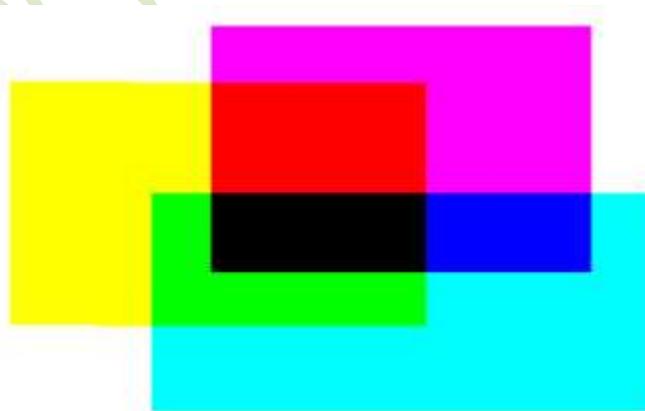


Figura 32: Combinação subtrativa com as três placas transparentes ciana, magenta e amarela.

## 8. Processos aditivo e subtrativo – curvas espectrais

Vimos que o processo de percepção das cores baseia-se nos três tipos de sensores que temos na retina. O seu funcionamento em conjunto é que leva ao nosso cérebro a sensação das diversas cores. O que faz com que esses sensores atuem é a luz. Parece lógico, pois não percebemos cores sem iluminação. Tomemos uma figura qualquer, por exemplo os três círculos vermelho, verde e azul da Fig. 18. Percebemos essas cores se estivermos num ambiente iluminado. A luz que incide sobre um objeto, parte é absorvida e parte refletida. Vemos o círculo vermelho porque a parte refletida vai acionar os sensores que nos dão a sensação do vermelho. Raciocínio semelhante vale para os círculos azul e verde.

Nesta seção, faremos um tratamento mais quantitativo. Acho instrutivo começarmos falando do branco. Uma superfície branca ideal é aquela que reflete toda a luz incidente sobre ela. Seria um gráfico como o mostrado na Fig. 33. O eixo vertical representa a percentagem da radiação refletida. E a linha horizontal é chamada **curva espectral** do branco ideal (nesta abordagem, é comum tomar a largura do espectro indo de 400 a 700 nm, em lugar de 380 a 740 nm, como vimos na seção 5). Comparando com os brancos conhecidos: prata (**PW1**), zinco (**PW4**) e titânio (**PW6**), cujas curvas espectrais estão na Fig. 34. Notamos que, apesar de não haver muita diferença entre eles, o branco de titânio é o mais branco de todos. É o que mais se aproxima do branco ideal.

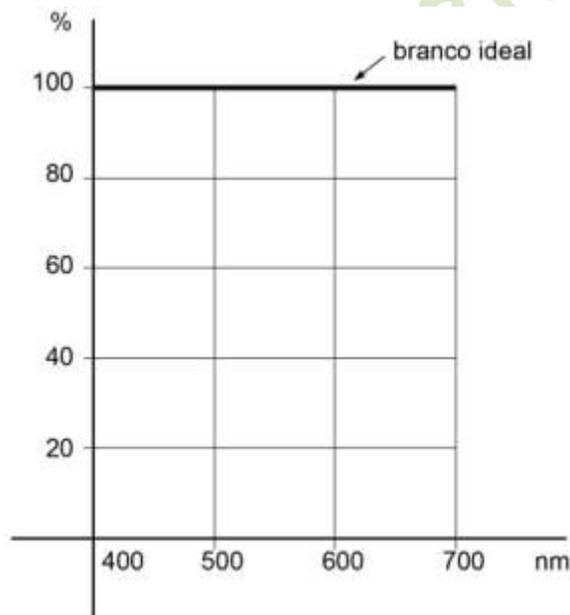


Figura 33: Gráfico do branco ideal

De forma análoga, falaríamos sobre o preto ideal, que corresponde a uma linha com 0% de reflexão da radiação incidente. O preto que mais se aproxima desta situação é o **PBk9**.

A ideia das três cores fundamentais do processo aditivo, que são o vermelho, verde e azul, é sintetizada nos três gráficos da Figs. 35 – 37. O azul fundamental corresponde à faixa de radiação entre 400 e 500 nm; o verde, entre 500 e 600 nm; e o vermelho, entre 600 e 700 nm (essas três cores

preenchem todo o espectro entre 400 e 700 nm). Podemos, também, comparando com o gráfico do branco ideal, entender, mais uma vez, o porquê do nome **combinação aditiva**. Vemos que a adição do azul, verde e vermelho dá o gráfico do branco.

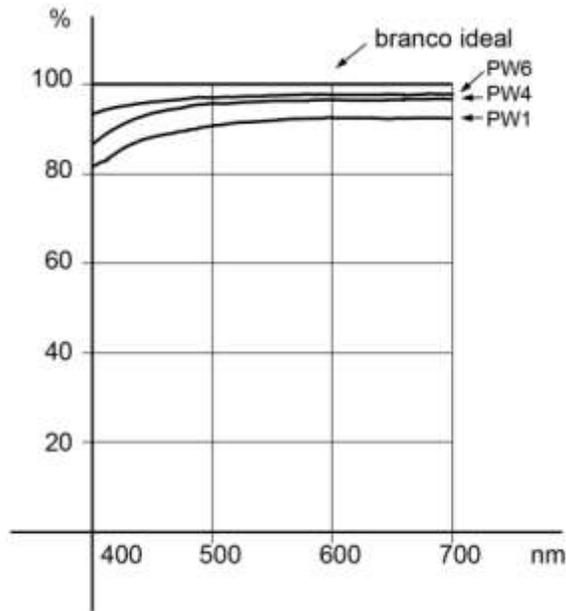


Figura 34: Comparação do PW1, PW4 e PW6 com o branco ideal

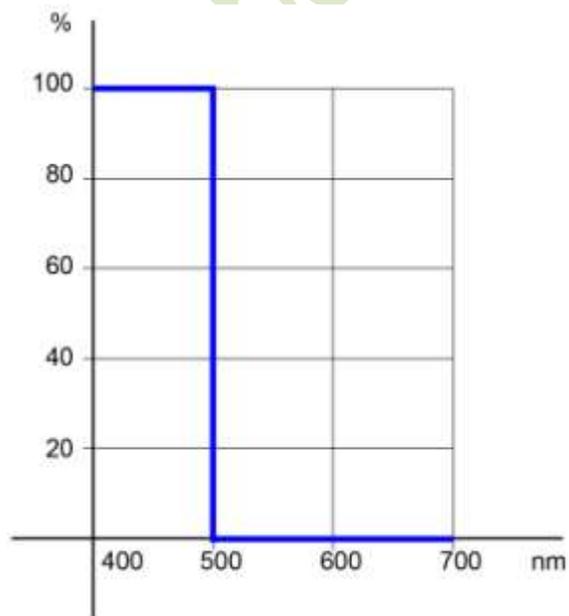


Figura 35: Curva espectral do azul ideal

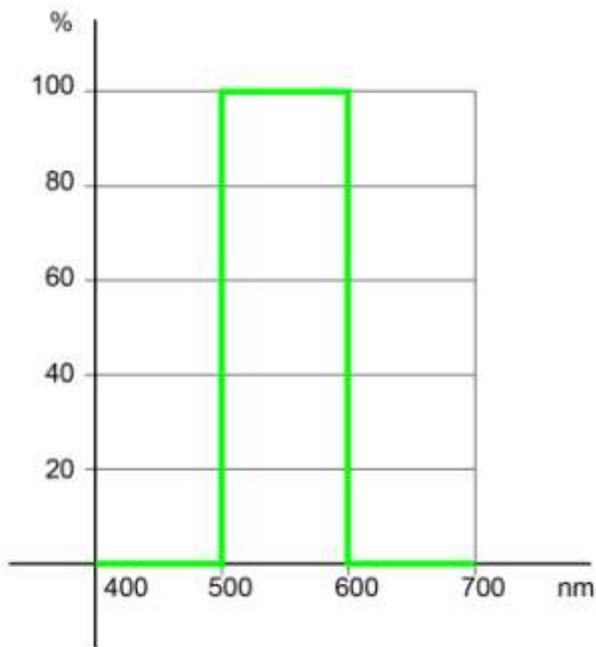


Figura 36: Curva espectral do verde ideal

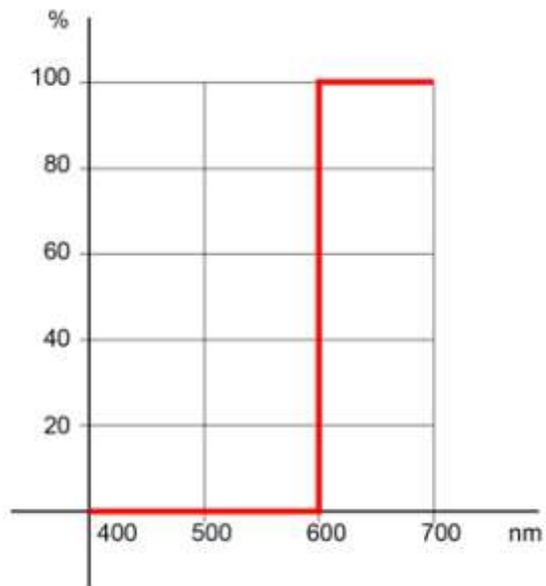


Figura 37: Curva espectral do vermelho ideal

Para termos uma visão prática do uso dessas curvas, tomemos a curva espectral do vermelho **PR112**, que é mostrada na Fig. 38. Comparando-a com a curva do vermelho ideal, que aparece na Fig. 37, notamos que o **PR112** é uma boa aproximação.

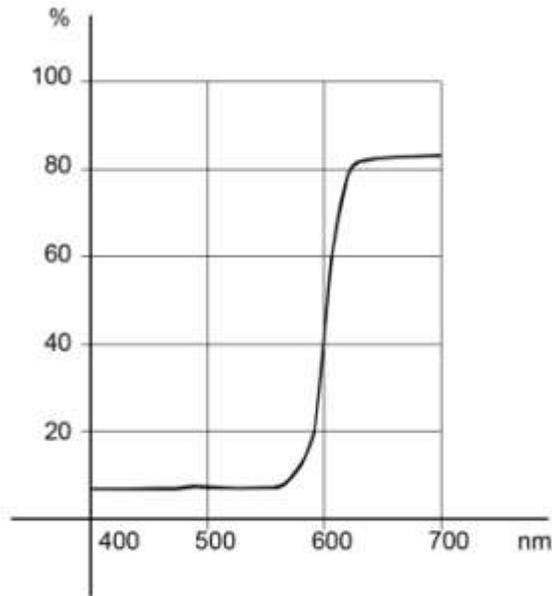


Figura 38: Curva espectral do PR112

As curvas espectrais do ciano, magenta e amarelo (primárias no processo subtrativo) podem ser obtidas pelas conhecidas adições das curvas acima. Os respectivos resultados encontram-se nas Figs. 39 – 41. Só a título de ilustração, a curva espectral de um laranja ideal estaria entre a do amarelo e a do vermelho, algo como aparece na Fig. 42.

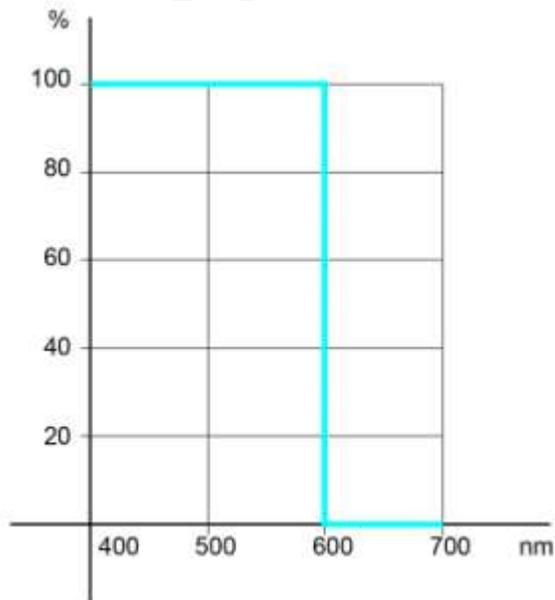


Figura 39: Curva espectral do ciano ideal

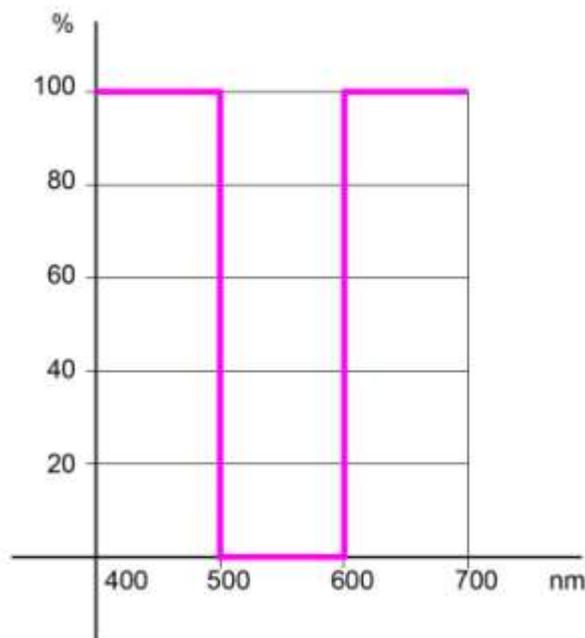


Figura 40: Curva espectral do magenta ideal

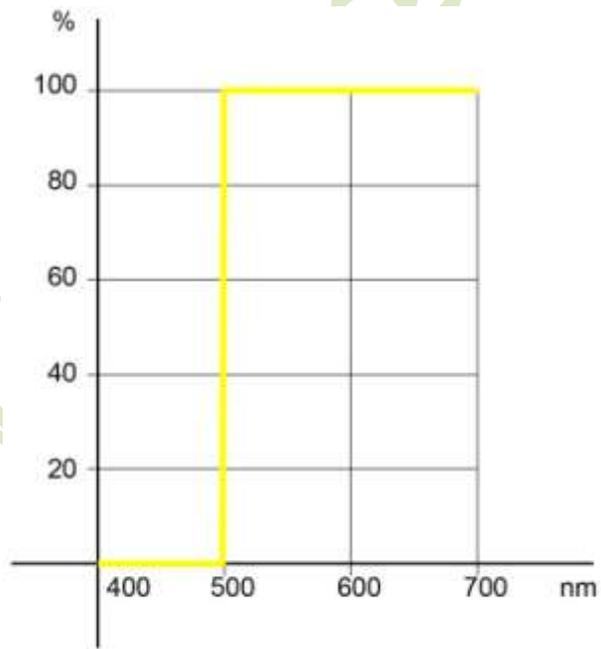


Figura 41: Curva espectral do amarelo ideal

Com esses resultados, temos, agora, um meio quantitativo de identificar os pigmentos que podem ocupar as posições das cores primárias. Para fazer isto precisamente, necessitaríamos de um **espectrômetro**, que é um aparelho capaz de medir as intensidades das componentes fundamentais

da luz vinda de determinado pigmento, assim como foi feito para o **PR112**, fornecendo o diagrama da Fig. 38. Entretanto, não há necessidade de algo tão preciso. Vou mostrar como isto pode ser feito partindo-se de uma câmera digital qualquer e do uso de um programa fotodigital. Para entender o que será feito, falemos um pouco sobre o processo de formação das imagens digitais.

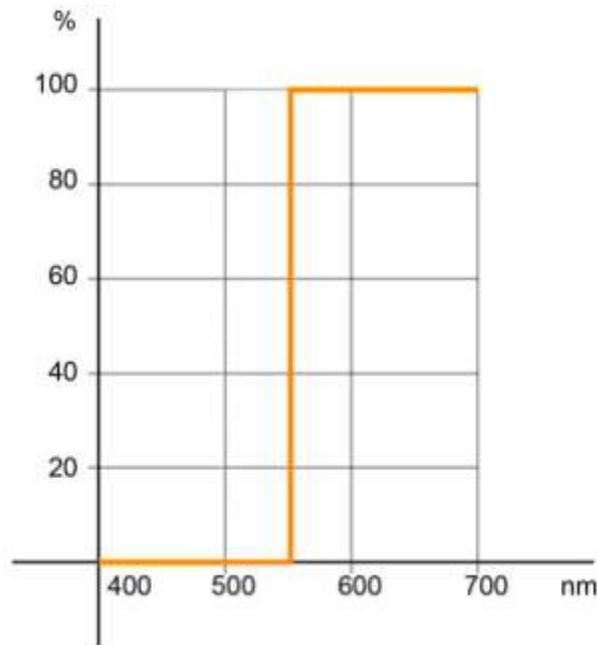


Figura 42: Curva espectral de um laranja ideal

Elas são formadas pela justaposição de minúsculos quadradinhos (conhecidos como **pixels**). Quanto menores eles forem, maior será a resolução da imagem. Uma boa resolução é quando não conseguimos identificá-los. Como ilustração, seja a imagem da Fig. 43, cuja resolução pode ser classificada de excelente. Seus pixels possuem lado medindo 0,05 mm. Compare-a com a da Fig. 44, que tem pixels de lado 0,1 mm. É, também, uma resolução muito boa. Observe que, praticamente, não há diferenças entre elas. Por outro lado, na Fig. 45, a resolução não é boa. Os pixels possuem 1 mm de lado. E na Fig. 46, eles são de 5 mm.

A cor de cada pixel (que pode ser vista claramente na Fig. 46) é obtida pela iluminação com determinadas intensidades de vermelho, verde e azul (chamado padrão RGB), que variam de 0 a 255 (cada um desses números é que se chama **byte**). Por exemplo, um pixel vermelho com máxima intensidade é (255,0,0). Da mesma forma, pixels verde e azul, também de máxima intensidade, são (0,255,0) e (0,0,255), respectivamente. Já o conjunto (255,255,0) corresponde a um pixel amarelo.

Na primeira linha da Fig. 47, estou mostrando alguns exemplos de vermelhos com diferentes intensidades. Na segunda, ampliei alguns dos pixels que estão na Fig. 46 (fiz a identificação das quantidades de vermelho, verde e azul de cada um usando a ferramenta conta-gotas do *photoshop*).



Figura 43: Igreja de São Nicolau em Suruí – João Barcelos (pixels de 0,05 mm)

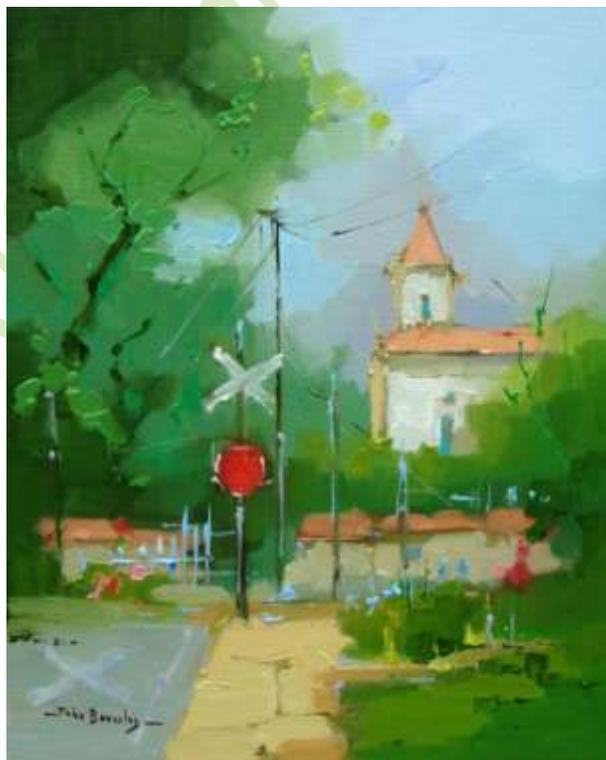


Figura 44: Imagem com pixels de 0,1 mm

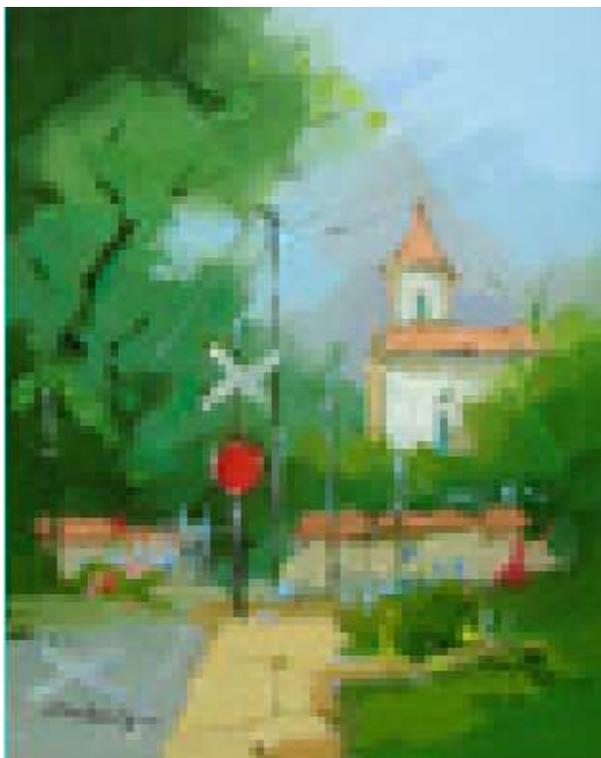


Figura 45: Imagem com pixels de 1 mm



Figura 46: Imagem com pixels de 5 mm

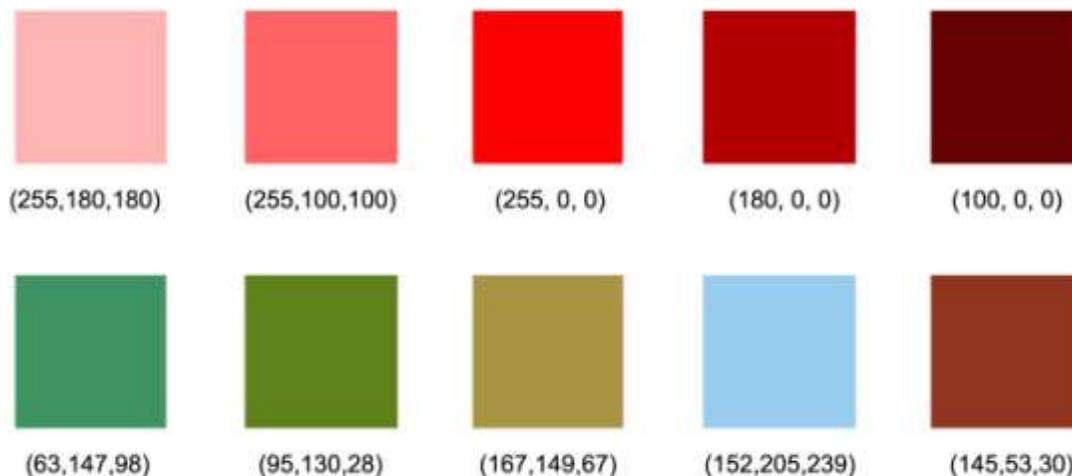


Figura 47: Alguns exemplos de cores formadas com valores (R,G,B).

Nosso objetivo são as cores primárias para o pintor (ciano, magenta e amarelo) mas, como ilustração geral do procedimento que iremos adotar, voltemos ao **PR112**, cuja curva espectral conhecemos. A Fig. 48 é a imagem deste pigmento numa tinta a óleo. Não tenho informações se a curva espectral da Fig. 38 corresponde a um exemplo de tinta a óleo (o meio pode acarretar modificações na forma da curva espectral). Como não estamos buscando precisão científica, este fato não é tão relevante. A amostra de branco que aparece abaixo do vermelho tem por finalidade fazer uma possível correção das cores (se o branco não estiver bem branco, podemos corrigi-lo e, assim, o vermelho corrige-se automaticamente).



Figura 48: Foto digital do **PR112** após ajustes de nível e de cor

Colocando a ferramenta conta-gota sobre o vermelho, ela vai identificar a cor de determinado pixel. O problema é que eles variam muito de cor, algo imperceptível olhando-se diretamente para a imagem. A fim de contornar este problema, devemos tomar a média entre as cores dos diversos pixels. Podemos deixar isso a cargo do próprio *photoshop*. Para tal, fazemos a ampliação de um pedaço da região considerada através de inserção de pixels. O *photoshop* faz isso com a média entre os pixels existentes. O resultado fornece uma área onde as cores dos pixels são mais uniformes e, assim, não haverá dificuldades em fazer a identificação da cor. Os valores obtidos foram (200, 30, 20). Portanto, nesta análise, o **PR112** possui aproximadamente 78% de vermelho, 12% de verde e 8% de azul, que está mostrado na Fig. 49, onde podemos comparar com a curva espectral vista na Fig. 38.

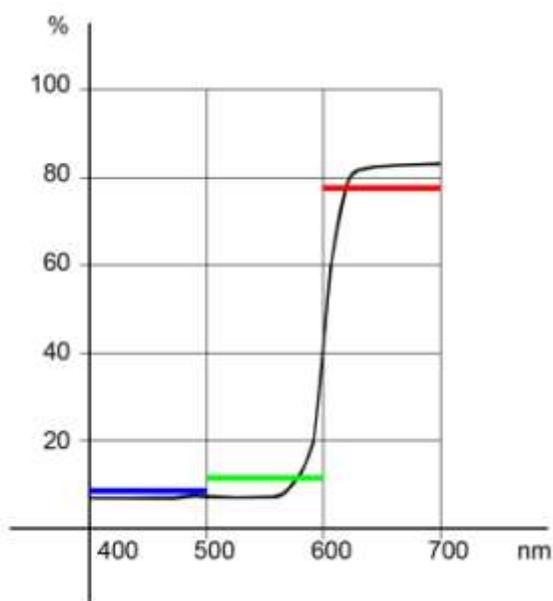


Figura 49: Quantidade de vermelho, verde e azul do **PR112**

Levando-se em conta que não estamos buscando precisão científica, o resultado encontrado é bastante aceitável para os nossos objetivos. Podemos, então, passar para a análise dos pigmentos que podem desempenhar o papel do ciano, magenta e amarelo das nossas paletas.

Começamos pelo ciano (a curva espectral do ciano ideal está na Fig. 39). Tomei os seguintes pigmentos: azuis ftalos **PB15:3** e **PB15:4**, azul cerúleo **PB35** e o verde **PG50**. Usando o mesmo procedimento para traçar o gráfico do **PR112** (Fig. 49), obtive os resultados que estão na Fig. 50.

Antes de iniciar esse estudo, já esperava que o ftalo **PB15:3**, devido ao teste apresentado na Fig.5, não seria um bom ator para desempenhar o papel do ciano (assim como não seria o azul da Prússia, **PB29**). Observamos que tanto o **PB15:4** como o **PB35** são bons atores. O primeiro foi usado nos testes das Figs. 6 e 7. Mas a melhor representação ficou com o **PG50**. Nós o usamos para mostrar que um pigmento opaco pode perfeitamente atuar como ciano, visto na experiência da Fig. 11, juntamente com o opaco **PY35** (cádmio médio).

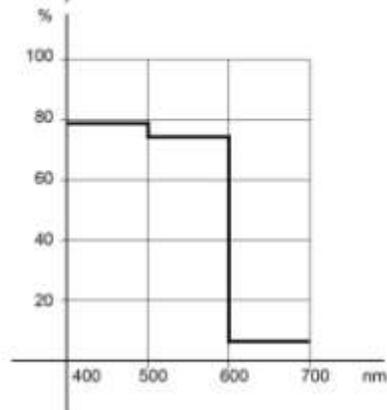
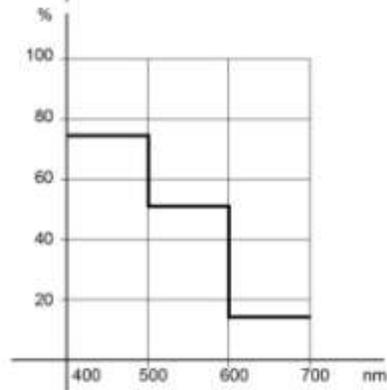
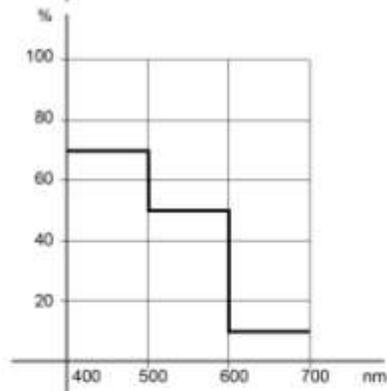
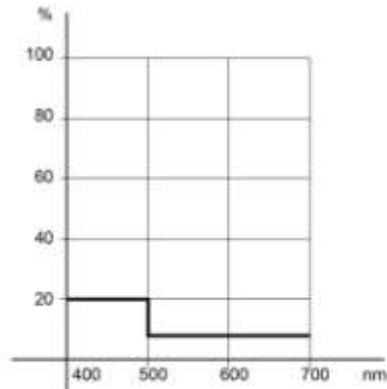


Figura 50: Pigmentos que mais se aproximam do ciano.

Na Fig. 51, procurei pelos pigmentos capazes de representar o magenta. Tomei os seguintes: **PR83**, **PV19** (versão vermelha), **PR122** e **PR177**. A conclusão a que podemos chegar é de que nenhum é bom magenta. Pode até ser que ainda venha a ser descoberto, mas, no momento, dos pigmentos que analisamos (que mais pudessem ser tratados como magenta), nenhum cumpriu muito bem o seu papel.

Já no caso dos amarelos (Fig. 52), em que considerei os **PY3**, **PY97**, **PY128** e **PY17**, podemos dizer que, excetuando o PY17, todos são excelentes (mas até mesmo o PY17 não é ruim). Dentre os amarelos, portanto, não há problema algum em encontrar um pigmento para ser o amarelo fundamental. Embora não tenha sido mostrado, o opaco **PY35** (cádmio médio) também fica bem neste papel, assim como o **PY74**.

Como vimos, a cor magenta foi ocupada apenas de forma razoável por alguns pigmentos e todas são transparente. Seria bom se houvesse pelo menos uma opaca (mesmo razoável) para que fosse usada no triângulo fundamental de cores primárias, juntamente com os opacos **PG50** e **PY35**. Mesmo assim, tomei essas cores com o **PV19** (vermelho). O resultado é razoável, como os das Figs. 5 – 7 (veja, por favor, a Fig. 53).

## 9. Mecanismo da nossa visão

Por tudo que já foi exposto nos itens anteriores, podemos nos organizar um pouco melhor e dizer que a chegada da **radiação eletromagnética** até nossos olhos é um **processo físico**. Depois, daí em diante, é **biológico**. Às vezes, pode haver certa confusão de interpretação porque extrapolamos conclusões de uma área para a outra. Nesta seção, discorreremos um pouco mais sobre a parte biológica.

Há dois tipos de células sensíveis à radiação eletromagnética na faixa de 380 a 740 nm (ou 400 a 700 nm por aproximação). Às que tínhamos nos referido na Seção 1 (quando demos uma explicação geral sobre o mecanismo de “ver”), que simplesmente chamamos de sensores ao vermelho, verde e azul, são os **cones** (em virtude da sua forma). São elas que levam ao nosso cérebro, através do **nervo ótico**, a sensação de cor. Na verdade, pode ser que tenhamos deixado transparecer pela ideia de sensores (com certeza deixamos) que há células específicas para cada uma dessas cores. Não é bem assim. Elas atuam dentro da faixa de radiação considerada, sendo que suas sensibilidades máximas estão na região do vermelho, verde e azul.

As outras são os **bastonetes** (nome também devido à sua forma). Elas não nos dão sensação de cor, apenas formas dentro do preto e do branco. São muito sensíveis à luz e responsáveis pela visão noturna (aquela que sentimos no escuro, após algum tempo de adaptação).

As células cones, que são cerca de 8 milhões, ficam localizadas em grande parte na região central da retina chamada **fóvea**, que é uma pequena depressão com cerca de 1,5mm de diâmetro, e onde as imagens são formadas com maior precisão (veja, por favor, a Fig. 54). O restante fica na **mácula**, que é uma região circular no entorno da fóvea com cerca de 1cm de diâmetro. Já os bastonetes, que são em torno de 120 milhões, localizam-se alguns na mácula, mas a maioria está fora dela. Não há bastonetes na fóvea. Na Figura 55, temos um gráfico da distribuição de cones e bastonetes pela retina em termos do ângulo marcado a partir da fóvea e com o centro na pupila.

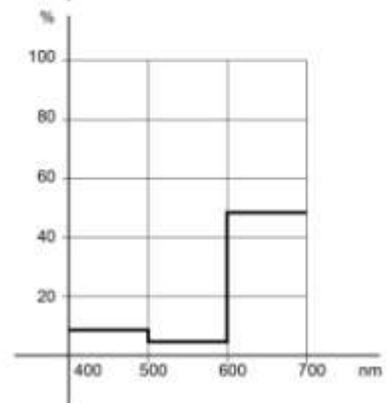
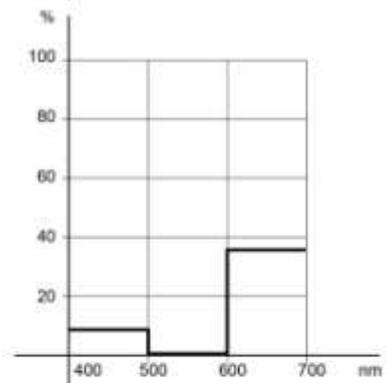
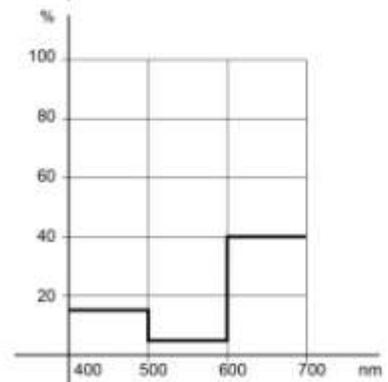
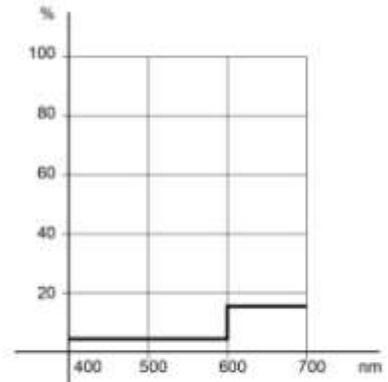


Figura 51: Pigmentos que mais se aproximam do magenta.

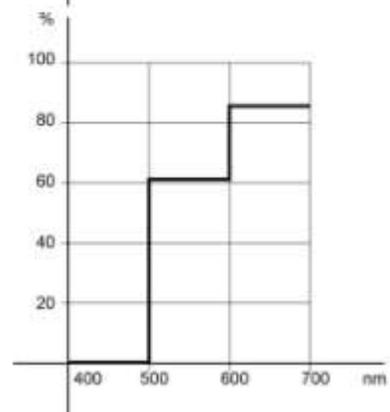
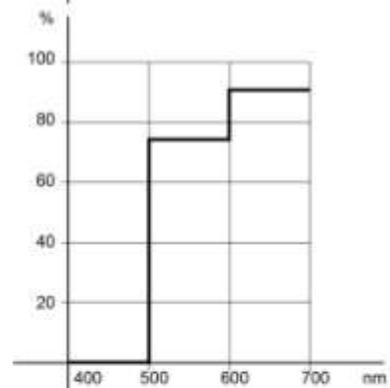
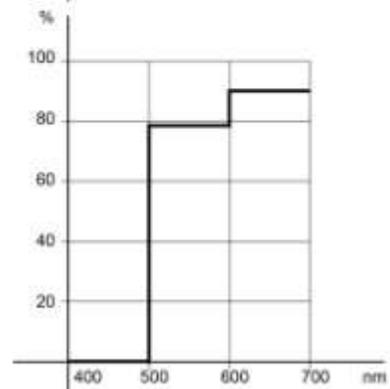
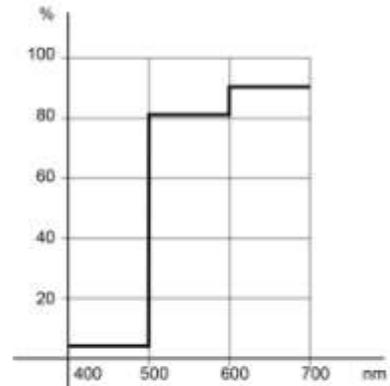


Figura 52: Pigmentos que mais se aproximam do amarelo.

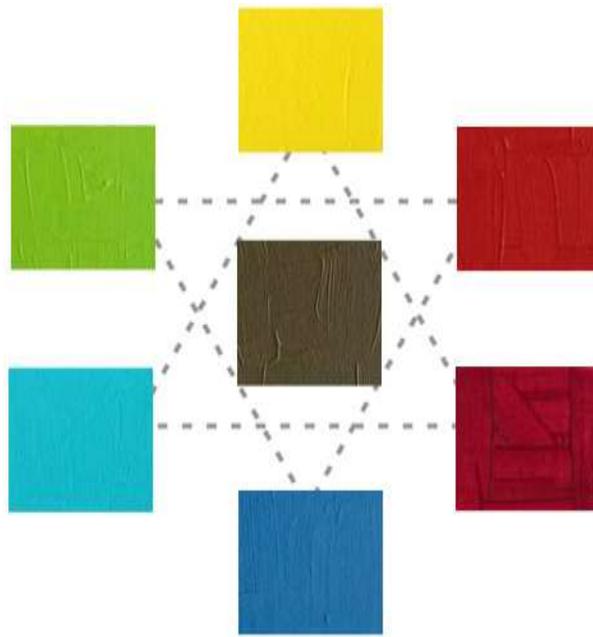


Figura 53: Cores primárias e secundárias partindo de PG50, PY35 e PV19.

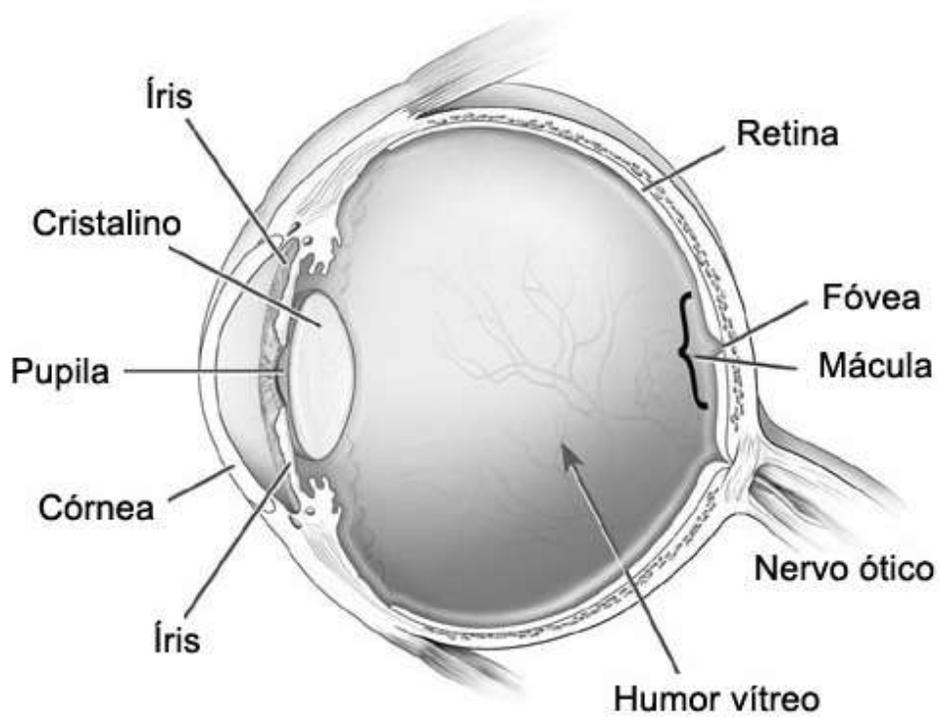


Figura 54: Algumas das principais regiões do olho humano

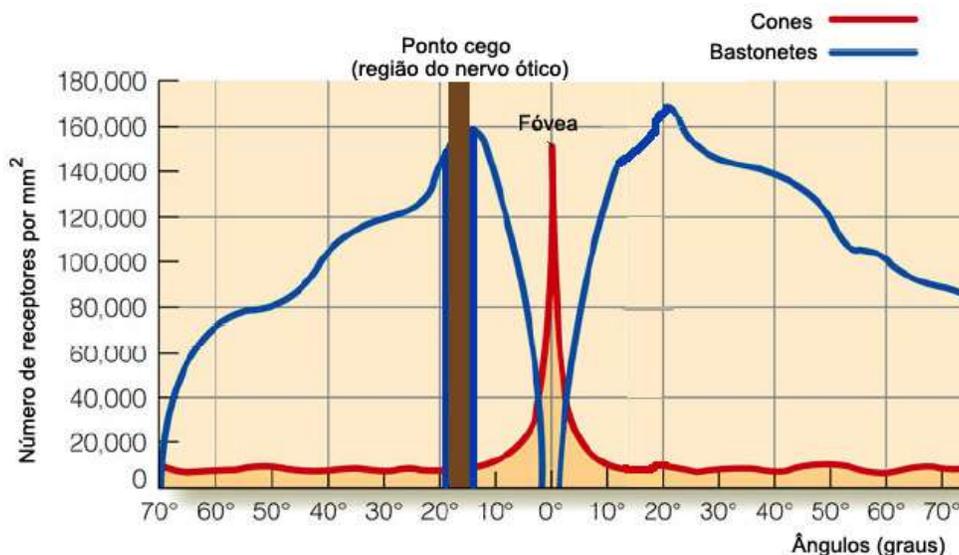


Figura 55: Gráficos correspondentes às atuações dos **cones** e **bastonetes**

Como foi dito, os bastonetes são muito mais sensíveis à luz do que os cones. Na iluminação normal, quando conseguimos ver naturalmente as cores, só as células cones estão funcionando. Os bastonetes ficam saturados com essa iluminação. Pode-se dizer que estão desligados.

Consideremos que essa iluminação normal, a que nos referimos acima, seja a iluminação artificial de um quarto à noite. Se o quarto estiver afastado de outros ambientes iluminados e se apagarmos a luz, sentiremos, durante algum tempo, uma sensação de profunda escuridão. Isto acontece porque nem cones nem bastonetes estarão funcionando (os cones porque precisam de boa iluminação e os bastonetes porque ainda estão saturados). Depois de algum tempo, os bastonetes vão entrando em ação (através de alguma pequena iluminação de fundo). Temos assim a chamada visão noturna, onde não percebemos cores (talvez, apenas, leves nuances de azul). Notamos, também, que o máximo de sensibilidade é fora da fóvea. Se de repente a luz for acessa, haverá alguns instantes de grande desconforto, que é o tempo de os bastonetes se saturarem (ou desligarem) novamente.

É comum também ouvir que uma cor junto de sua complementar possui mais expressividade. A razão, como podemos observar, é simples. Quando uma cor é colocada junto de sua complementar, todas as células cones atuam.

Vamos concluir esta seção, mostrando alguns efeitos relacionados ao processo biológico (nada havendo com o físico). Um deles é ver uma figura com as cores trocadas por suas complementares. Isto acontece quando a fixamos por algum tempo e, depois, mudando o olhar para uma superfície branca. Para percebermos isto na prática, consideremos um caso simples que aparece na Fig. 56, onde temos um pequeno quadrado amarelo envolto por uma região azul (escolhemos cores complementares, mas não seria necessário). Se olharmos fixamente para o pequeno quadrado amarelo e, depois, desviarmos nosso olhar para a superfície branca à direita, veremos a mesma figura, só que com cores invertidas.

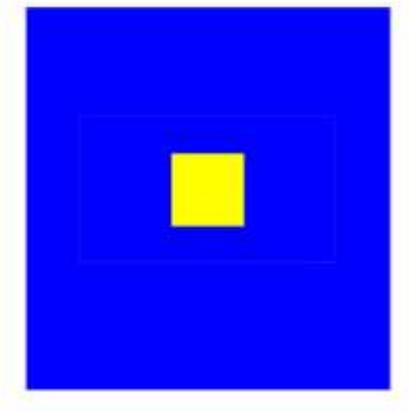


Figura 56: Efeito das cores complementares

A explicação para esse fenômeno é bem simples. Quando olhamos fixamente para a figura durante algum tempo, as células cones atuantes para aquelas cores ficam saturadas. Depois, ao desviarmos nosso olhar para a superfície branca acontece o seguinte. Como vimos, podemos considerar que o branco seja a emissão simultânea de vermelho, verde e azul. Na região que está saturado pelo azul, essas células cones não reagem, só as correspondentes ao vermelho e verde. Por isso é que a vemos na cor amarela. A explicação de vermos o quadrado pequeno como azul é análoga.

Como disse, não há necessidade de as cores serem complementares. Podem ser quaisquer. Por exemplo, concentrando nossa visão no pequeno quadrado amarelo da Fig. 57, que está envolto por magenta, e desviando o olhar para a superfície branca à direita, veremos que o quadrado pequeno transforma-se em azul (como no exemplo anterior), mas a região magenta passa a verde (sua complementar).

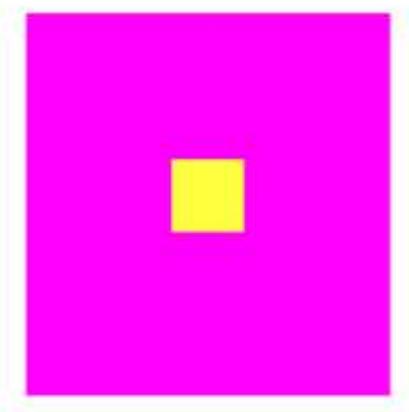


Figura 57: Outro exemplo

Explicação semelhante pode ser dada para o efeito da Fig. 58, no tocante aos pontos (pequenos círculos) brancos e pretos. Se nosso olhar ficar percorrendo a figura, veremos que pontos pretos transformam-se em branco e vice-versa.

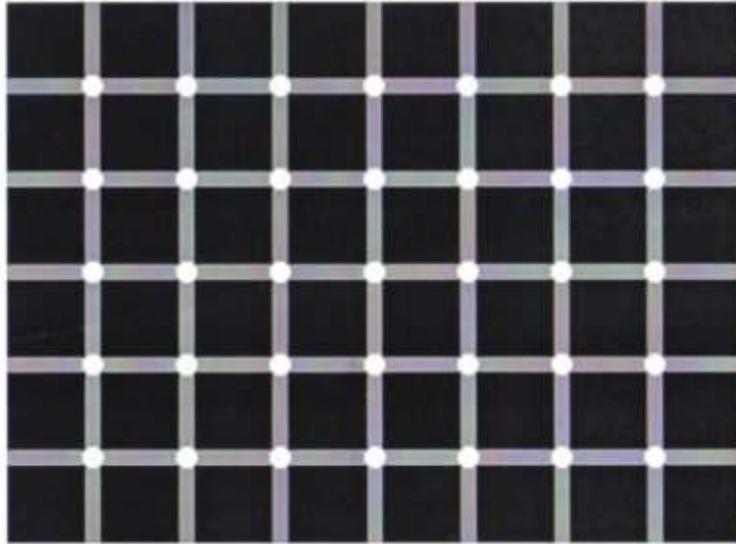


Figura 58: Onde estão os pontos pretos e brancos?

Antes de começar qualquer explicação, deixe-me dizer que todos os pontos são brancos. Vemos isso quando olhamos diretamente para um determinado ponto (o que significa que a imagem daquele ponto está sendo formada próximo à fóvea). Quando desviamos nosso olhar para outro ponto, o veremos como branco, mas a imagem do anterior vai se formar na mácula (ou fora dela), numa região onde só havia preto. Nesta região, tanto os cones como os bastonetes (principalmente estes) estavam desligados. A incidência de luz nessa região leva a uma saturação dos bastonetes (como vimos acima, um desligamento). Por isso é que os pontos transformam-se em preto.

Seja um dispositivo semelhante onde o preto foi substituído por magenta (poderia ser outra cor qualquer). O efeito agora é também semelhante, mas de menor intensidade. Isto acontece porque ele se deve aos cones fora da fóvea, que são muito poucos (e bem menos que os bastonetes).

Tomemos mais um exemplo. Seja uma figura contendo retas paralelas (Fig. 60). Não há dúvida de que são paralelas. A Fig. 61 contém essas mesmas retas, onde traçamos linhas verticais e fizemos alguns preenchimentos. Embora sejam as mesmas linhas paralelas da figura anterior, elas parecem não ser mais paralelas.

Poderíamos mostrar muitos outros exemplos (são muitos mesmo). Para quem tiver curiosidade, há muitos sites que falam sobre isso. Um interessante e bastante completo é

[www.ilusaodeotica.com](http://www.ilusaodeotica.com)

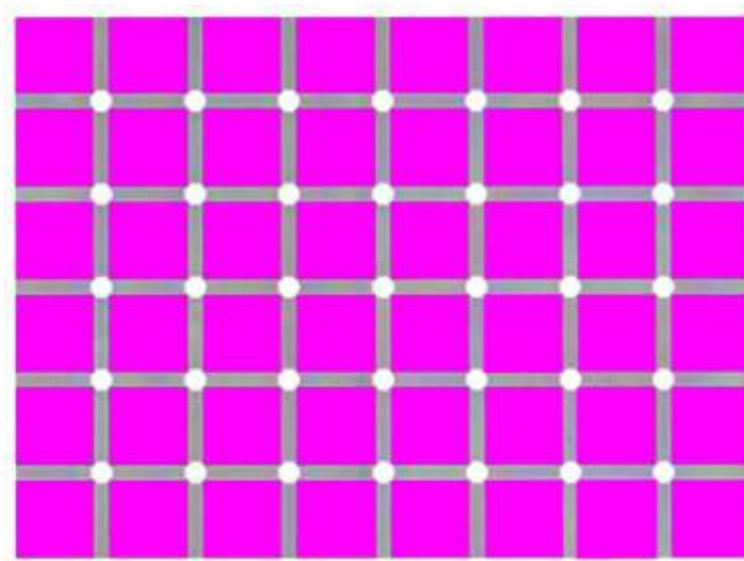


Figura 59: Agora, todos os pontos são brancos.

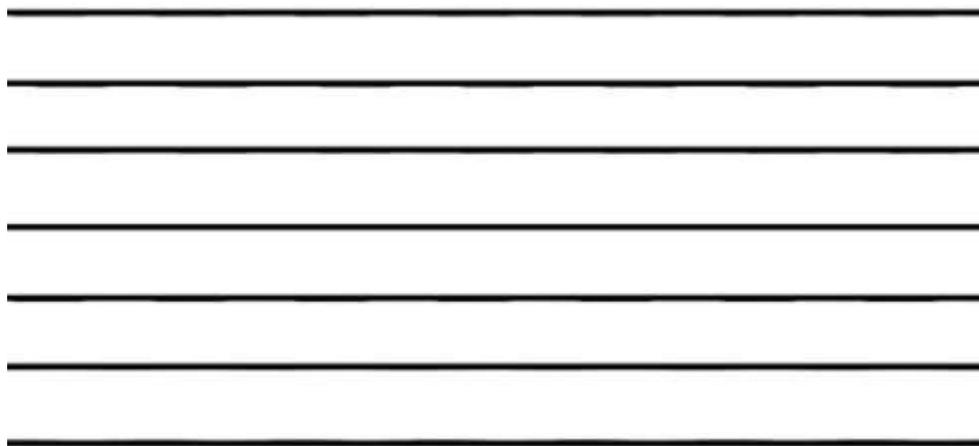


Figura 60: Linhas paralelas

## 10. Conclusão

Para finalizar, mencionemos que em virtude de haver três tipos diferentes de células cones, que nos dão a sensação de cor, a visão humana é chamada de **tri-estímulo** (varia para outros animais). Este é o fundamento dos aparatos tecnológicos que têm por finalidade a geração de imagens coloridas. Acreditava-se que existissem três radiações fundamentais (uma para o vermelho e duas outras para o verde e azul), cujas combinações de intensidades seriam equivalentes aos efeitos produzidos por todas as demais radiações luminosas. Verificou-se que isso não é possível. Algu-

mas radiações, dentro da faixa do espectro visível, não podem ser geradas pela combinação de três radiações fundamentais, qualquer que seja o conjunto que venha a ser escolhido.

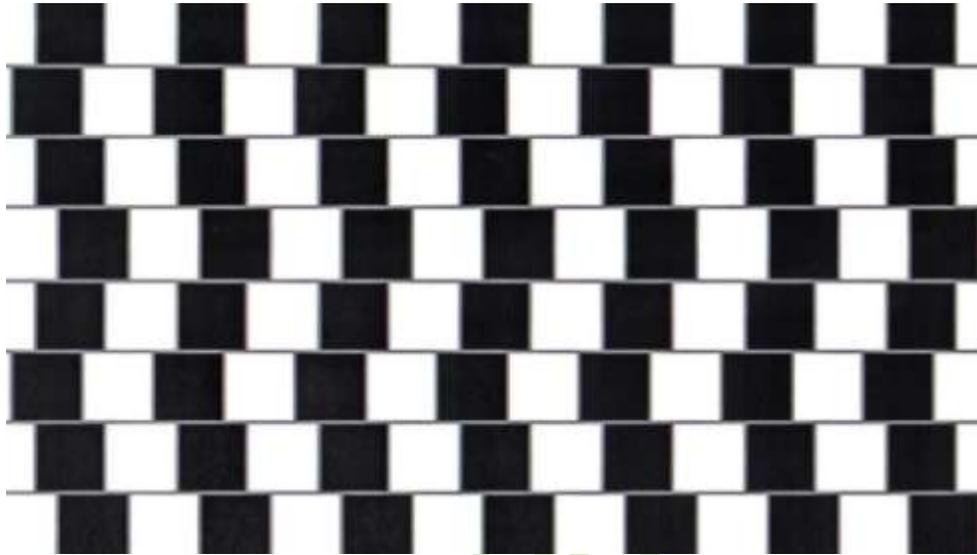


Figura 61: As mesmas linhas agora parecem que não são paralelas.

Em 1931, a CIE<sup>3</sup> estabeleceu outro padrão de cores fundamentais, mas que não corresponde a nenhuma das cores espectrais (aquelas geradas por uma única radiação). Foram dados os nomes genéricos de **X**, **Y** e **Z** a essas novas cores (matematicamente, isto corresponde a um processo conhecido como mudança de base). Foi introduzido então o chamado **diagrama CIE**. Vamos apenas apresentar uma imagem do diagrama (ele é bem mais completo do que o conhecido disco de Newton). Veja, por favor, a Fig. 62.

Observamos que as cores espectrais estão na parte curva e extrema à figura. A base é a região dos violetas (onde está o magenta). Ela não tem correspondência no disco de Newton. Essas cores são não-espectrais (isto é, que não são geradas por apenas uma radiação). Este fato, como já mencionei, nada tem de muito especial, pois todas as infinitas cores internas à figura (incluindo o branco) também são não-espectrais.

## Referências:

1. **Philip Ball**, *Bright Earth – The invention of colour*.
2. **Hideaki Chijiwa**, *Colour harmony – A guide to creative color combination*.
3. **José M. Parramón**, *The book of color*.

---

<sup>3</sup> Como vimos, iniciais em francês da **Comissão Internacional de Iluminação**.

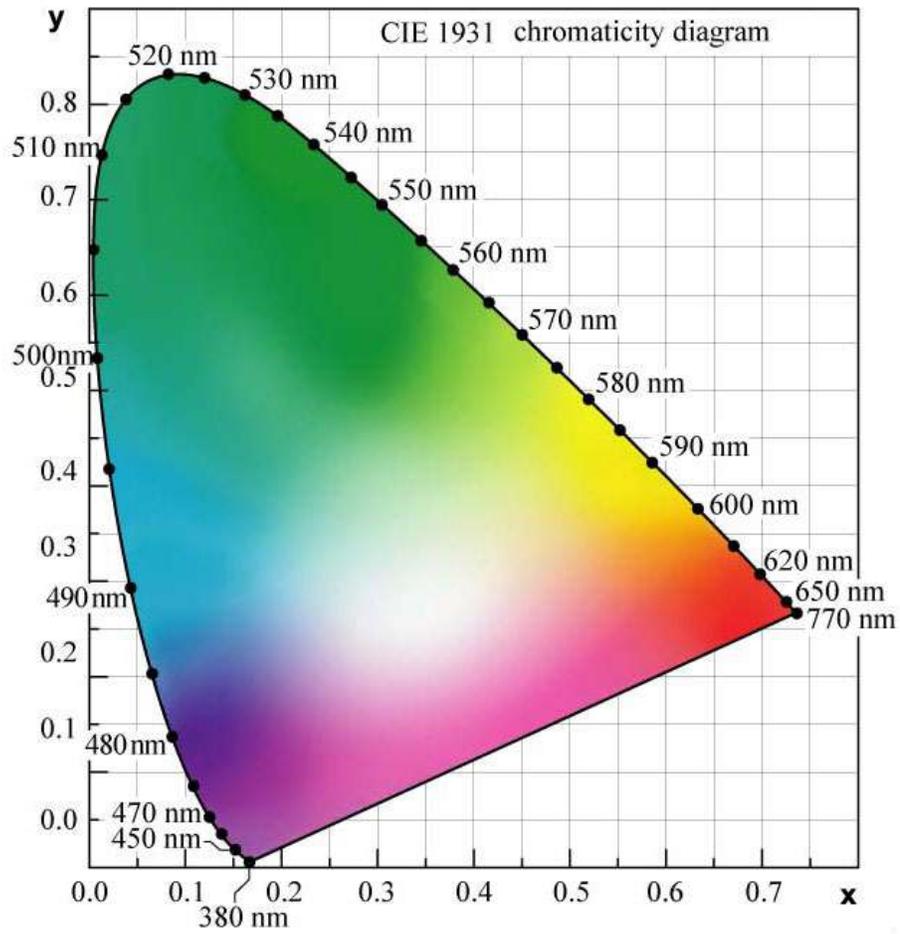


Figura 62: Diagrama CIE