

Uma análise das investigações históricas sobre a luz e o entendimento das cores

A review of historical investigations into light and the understanding of colors

Un análisis de las investigaciones históricas sobre la luz y la comprensión de los colores

Recebido: 23/03/2022 | Revisado: 29/03/2022 | Aceito: 01/04/2022 | Publicado: 17/04/2022

Ranulfo da Silva Dias

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7962-6265>

Universidade Federal de Itajubá, Brasil

E-mail: ranulfo143@gmail.com

Adhimar Flávio Oliveira

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2586-7359>

Universidade Federal de Itajubá, Brasil

E-mail: adhimarflavio@unifei.edu.br

Resumo

Neste trabalho, sabendo que a pouca importância da divulgação científica, pode conduzir ao enfraquecimento do pensamento crítico nos indivíduos em obter um saber adequado. Apresentamos uma metodologia de três aulas tradicionais com uma sequência lógica que pode ser aplicada para estudantes de ensino fundamental, médio e a população leiga. Para o melhor funcionamento da proposta de aula, para contemplar o conteúdo do estudo da luz, aconselhamos que seja aplicada as aulas em união com professores de história, filosofia e biologia. O presente trabalho foi feito uma pesquisa histórica com uma sequência sistemática em que descrevemos o desenvolvimento de alguns séculos de estudos sobre a natureza da luz. No decorrer do trabalho, analisamos gráficos sobre o espectro eletromagnético, temperatura das estrelas, a composição do Sol e a cor do Sol. Em seguida, partimos da emissão da luz até chegar na Terra, ocorrendo dispersão da luz na atmosfera. É apresentado o funcionamento do olho humano para captação da luz, uma explicação sobre as cores dos objetos e o porquê enxergamos trazendo as razões biológicas envolvidas. Por fim, deixamos a cargo do profissional da educação usar como base as informações apresentadas no decorrer do texto para lhe ajudar no compartilhamento do tema da luz e fazer uma interdisciplinaridade da forma que for conveniente.

Palavras-chave: Óptica; Luz; Ensino de ciências; Evolução do conceito da luz; Divulgação científica.

Abstract

In this work, knowing that the little importance of scientific dissemination can lead to the weakening of critical thinking in individuals in obtaining adequate knowledge. We present a methodology of three traditional classes with a logical sequence that can be applied to elementary and high school students and the lay population. For the best functioning of the class proposal, to contemplate the content of the study of light, we recommend that the classes be applied in conjunction with teachers of history, philosophy and biology. The present work was a historical research with a systematic sequence in which we describe the development of some centuries of studies on the nature of light. In the course of the work, we analyzed graphs on the electromagnetic spectrum, temperature of the stars, the composition of the Sun and the color of the Sun. Then, we start from the emission of light until it arrives on Earth, with light scattering in the atmosphere. It presents the functioning of the human eye to capture light, an explanation about the colors of objects and why we see, bringing the biological reasons involved. Finally, we leave it to the education professional to use the information presented throughout the text as a basis to help him share the theme of light and make an interdisciplinarity in the way that is convenient.

Keywords: Optics; Light; Teaching of science; Evolution of the concept of light; Science popularization.

Resumen

En este trabajo, sabiendo que la poca importancia de la divulgación científica puede llevar al debilitamiento del pensamiento crítico en los individuos en la obtención de conocimientos adecuados. Presentamos una metodología de tres clases tradicionales con una secuencia lógica que puede ser aplicada a estudiantes de primaria, secundaria y población laica. Para el mejor funcionamiento de la propuesta de clases, para contemplar el contenido del estudio de la luz, recomendamos que las clases se apliquen en conjunto con profesores de historia, filosofía y biología. El presente trabajo fue una investigación histórica con una secuencia sistemática en la que describimos el desarrollo de algunos siglos de estudios sobre la naturaleza de la luz. En el transcurso del trabajo, analizamos gráficos sobre el espectro electromagnético, la temperatura de las estrellas, la composición del Sol y el color del Sol. Luego, partimos de la emisión de la luz hasta que llega a la Tierra, con la luz dispersándose en la atmósfera. Presenta el funcionamiento del ojo humano para captar la luz, una explicación sobre los colores de los objetos y por qué vemos, trayendo las razones biológicas

involucradas. Finalmente, deixamos al profesional de la educación utilizar la información presentada a lo largo del texto como base para ayudarlo a compartir el tema de la luz y hacer una interdisciplinariedad de la manera que sea conveniente
Palabras clave: Óptica; Luz; Enseñanza de las ciencias; Evolución del concepto de luz; Divulgación científica.

1. Introdução

Para a ciência é fundamental a utilização rigorosa de uma metodologia, para a busca do conhecimento na qual faça um percurso lógico, que possa ser reproduzida, não tenha meios para discordâncias e erros na compreensão, logo terá um resultado satisfatório na assimilação do aprendizado. (Albagli, 1996)

Com a curiosidade presente na sociedade, nos deparamos com inúmeros temas que atraem a atenção de pessoas de várias faixas etárias, entre estes, a definição da natureza da luz e da formação das cores do nosso mundo. Existem indícios de que os gregos acreditavam que a luz saía dos nossos olhos e iria ao encontro dos objetos para assim podermos enxergá-los (de Albuquerque Maranhão, 2021). O pensamento foi se desenvolvendo obtendo resultados satisfatórios com os árabes (Tossato, 2005), pesquisas se complementaram com os escolásticos (de Souza Júnior, 2021), porém os trabalhos científicos em óptica ganharam consistência a partir de Isaac Newton (Silva & Moura, 2008). Newton mostrou que a luz branca, ao passar por um prisma, se dividia em cores diferentes, como ocorre em um arco-íris.

Além da caracterização das cores, definida conforme a visão humana, existe o estabelecimento do espectro eletromagnético, ou espectro da luz. A radiação proveniente de uma fonte de luz, por exemplo, o Sol, é dividida em vários comprimentos de onda, assim como no experimento de Newton (Silva & Martins, 2003, Kraemer et al. 2021). O espectro geralmente é obtido fazendo com que a radiação passe por uma rede de difração, ou um prisma, e depois capturado por um sensor óptico que envia a informação para um computador (Jesus et al. 2021, Zaccaro et al. 2021). O dispositivo é muito distinto do olho humano, que enxerga a composição das cores e não elas de forma individual. (Pires, 2008; Osada, 1972)

Sabendo de todo esse desenvolvimento histórico do raciocínio científico, repassar esse conteúdo em uma divulgação científica pode ser complicada. Por exemplo, divulgar que a cor do Sol é verde devido ao pico da emissão da luz no espectro eletromagnético ser na faixa do verde. Essa afirmação, desconsidera os outros comprimentos de luz visível que o Sol emite. Tal raciocínio chega a conclusões erradas, pois confundem o que é constatado pelo olho humano e o que é detectado pelos sensores óticos de um espectrômetro.

Muitas pessoas usam como fonte os meios de informações que interagem, entre eles, televisão, jornais, revistas e sites da internet. Com a popularização da internet a maioria das informações é obtida por essa ferramenta e muitas vezes tais conteúdos apresentam conceitos errados. (Dias & Oliveira 2020)

Tendo em vista tal dificuldade para obtenção de informações, apresentamos uma investigação histórica em que segue um caminho lógico em que pode ser usufruída por profissionais da educação colaborando no ensino de ótica e entusiastas que se interessam pelo tema. Para esta pesquisa foi seguido o referencial metodológico na elaboração das aulas apresentado por Pereira et al. (2018), Campos Valadares et al. (1998) e Vilela (2021). Apresentamos uma sugestão de três aulas e deixamos a cargo dos profissionais da educação elaborarem da forma que preferirem. Diante disso, é exposto de forma clara o contexto histórico dos estudos sobre a luz, a definição de cor do nosso mundo, e por fim, o espectro eletromagnético, usando como objeto de estudo para entender composição espectral do Sol que é a nossa principal fonte de energia enviada para à Terra em forma de ondas eletromagnéticas na qual a luz visível faz parte.

2. Metodologia

Para favorecer a disseminação do estudo da luz, o desenvolvimento histórico, no presente trabalho, temos como objetivo promover uma maior divulgação do tema com interdisciplinariedade, com aplicação de um modelo de aula tradicional. Visamos

complementar a formação do estudante favorecendo um olhar crítico e avaliativo quanto às ciências, seus impactos na sociedade, além de propiciar oportunidades de desenvolver habilidades de comunicação em público, trabalho em equipe e raciocínio. Para avaliação pretendemos verificar a participação dos estudantes e como relacionaram os temas com as aulas anteriores. A metodologia deste trabalho segue como referencial teórico a descrição de Pereira et al. (2018).

Aula 1 - Introdução

Num primeiro momento serão introduzidos alguns aspectos históricos dos estudos da luz, impactos sociais, econômicos e tecnológicos na sociedade. A partir deste ponto, pode se fazer um trabalho conjunto com professores de história, filosofia para colaborar na elaboração da aula e fazer com os alunos pesquisem sobre o tema. Dividindo em equipes, por exemplo, a 'equipe A' pesquisa sobre o pensamento grego sobre a luz, enquanto a 'equipe B' sobre o pensamento da idade média e assim por diante até os dias atuais. Após o que é apresentado pelos estudantes, os professores podem colaborar em explicar o contexto da época, o modo de pensar, fechando lacunas que ficaram abertas durante as apresentações para unificar o que foi exposto. Caso, ficar extenso, a aula pode ser dividida em duas.

Aula 2 - A física da luz

Na segunda aula os alunos familiarizados com a história da luz e seus contextos históricos, apresentamos a física do comportamento da luz, ondas eletromagnéticas e característica do Sol. Assim, se insere fórmulas, conceitos, compreensão de leitura dos gráficos do espectro eletromagnético e similares. Caso queira, se pode elaborar a criação do disco de Newton para ajudar no entendimento do tema.

Aula 3 - O olho humano

Na terceira aula, se possível em união com professor de biologia, com um estudo da fisiologia humana, se faz uma apresentação do funcionamento do olho humano, como conseguimos enxergar, a formação das cores, complementando com a óptica e doenças vinculadas ao olho.

3. Contexto Histórico: O Estudo da Luz

Historicamente, desde os gregos já se tinha um entendimento que a luz viaja em linha reta, entretanto, o motivo era que a luz saía dos nossos olhos e se encontrava com os objetos. Essa afirmação foi proposta por Euclides em seu trabalho intitulado Óptica. (Pires, 2008)

Em sua obra Catóptrica, Heron de Alexandria fez uma análise usando ferramentas geométricas e concluiu que raio de luz segue o caminho mais curto quando refletido por um espelho plano. Enquanto Ptolomeu sugeriu que o ângulo de refração era proporcional ao ângulo de incidência. (e.g. Ribeiro, et al., 2016)

Ibn al-Haitham pioneiro no estudo sobre o funcionamento do olho demonstrou que a lei da refração de Ptolomeu estava errada, que apenas poderia ser aceita em caso para pequenos ângulos, contribuiu para estudos da refração atmosférica, o aumento aparente do Sol e da Lua quando perto do horizonte. No século XIII, Vitelo de Silesia foi referência nos estudos de óptica devido ao tratado de Ibn al-Haithan. (e.g. Ribeiro, et al., 2016)

Bispo de Lincoln, Robert Grosseteste, compartilhava do pensamento de Euclides que acreditava que a visão envolvia a luz do olho para o objeto. Ele considerava que as cores estavam relacionadas com a intensidade da luz e que o arco-íris era a reflexão e refração por camadas numa cortina de água. Entretanto, ele nunca analisou o efeito de gotas individuais. Roger Bacon,

um dos seguidores dos trabalhos de Grosseteste, considerou que a luz teria uma velocidade finita e atribuiu o arco-íris à reflexão da luz solar em gotas individuais, após diversas experiências com lentes e espelhos. (Bacon, 1897)

Em 1621, Willebrord Snell concluiu a lei da refração, por meio de experimentos, que é a relação entre o ângulo de incidência e o ângulo de refração quando a luz passa de um meio transparente para outro. Vale mencionar, o filósofo e matemático René Descartes fez uma grande contribuição na lei da refração sendo a que conhecemos envolvendo termos sinusoidais. (Pires, 2008)

Em 1657, Pierre de Fermat no seu trabalho princípio de tempo mínimo deduziu a lei da refração, e assim concluiu que “a trajetória percorrida pela luz ao se propagar de um ponto a outro é tal que o tempo gasto em percorrê-la é um mínimo”. (Salveti, 2008)

Isaac Newton não ficou famoso por suas leis do movimento, mas ficou reconhecido no ambiente científico por seus estudos sobre a luz. Ele escureceu um quarto, permitindo que entrasse luz solar por uma pequena fresta circular na janela, assim posicionou um prisma triangular de vidro no feixe de luz e observou que a luz branca se dispersava em diversas cores semelhantes ao arco-íris, ou seja, a cor branca é a junção do vermelho, laranja, amarelo, verde, azul, anil e violeta. Em 1704, Newton publicou o seu livro intitulado ‘Opticks’, na obra apresentou a ideia que a luz é corpuscular, raios que viajam em linha reta e descartou que sejam como ondas. (Hewitt, 2015)

Contemporâneo de Newton, Christiaan Huygens não considerava a luz como partículas, mas como natureza ondulatória. Os seus estudos conseguiram explicar a velocidade reduzida da luz em meio mais denso, a refração, a polarização e a birrefringência (Hewitt, 2015). Thomas Young descreveu o princípio da interferência após resultados provenientes de experimentos e concluiu que a luz se comporta como uma onda. Assim estava apresentada para a comunidade científica a difração da luz. Em sua época a luz era vista como uma onda longitudinal ele foi o primeiro a introduzir a ideia da luz como onda transversal. (Young & Freedman, 2016)

O avanço da teoria ondulatória durante o século XIX deve-se principalmente a Augustin Jean Fresnel que em seus estudos calculou padrões de difração, analisou a propagação retilínea da luz em meios homogêneos e isotrópicos, e por fim, concluiu com as equações, que hoje levam seu nome. Elas são deduções para a intensidade da luz refletida e refratada. Fresnel teve a contribuição de Dominique François Arago, com as colaborações nas pesquisas. Em conjunto, Fresnel e Arago chegaram a resultados nos quais dois raios de luz com polarizações perpendiculares não interferem, essa conclusão levou Young a considerar a luz como uma onda transversal. (Osada, 1972)

Durante o século XIX, James Clerk Maxwell derivou as equações fundamentais do eletromagnetismo, que implicam a existência de ondas eletromagnéticas transversais a propagar-se na velocidade da luz. Enquanto Heinrich Hertz elaborou um detector e um oscilador que lhe permitiram gerar e detectar ondas eletromagnéticas, fazendo da óptica um ramo da eletrodinâmica. Hertz descobriu também o efeito fotoelétrico, porém apenas no início do século XX teríamos uma explicação a partir dos estudos de Albert Einstein. (Young & Freedman, 2009)

A ideia científica do éter reaparece no século XIX, o éter é uma substância sutil que preenchia os espaços entre os corpos celestes, na qual a luz se propagava, os fenômenos eletromagnéticos aconteciam e que desempenhou um papel importante na Mecânica Cartesiana, posteriormente superada pela Mecânica de Newton. Nos primeiros anos do século XX, a teoria do éter foi enfraquecida com a experiência de Michelson-Morley, considerada o mais importante experimento da história da física na qual obteve resultados em que não indicava a existência do éter. (Pires, 2008)

Na virada do século XX, os estudos da radiação do corpo negro era um dos principais problemas não resolvidos da física. Max Planck, um físico alemão, propôs um modelo inteiramente teórico para a radiação do corpo negro (Campos Valadares et al., 1998). Os físicos buscavam formas de teorizar e entender a curva da radiação do corpo negro (Antunes, 2012). O corpo negro é um sistema que absorve toda a radiação eletromagnética que nele incide. A medida que o corpo absorve essa radiação,

ele também se aquece. Nesse experimento hipotético, ou teórico, existe um pequeno orifício, onde a radiação pode ser medida. Quanto maior a sua temperatura, maior a quantidade de radiação medida atingirá uma temperatura de equilíbrio, em que a taxa de radiação recebida torna-se igual à taxa de radiação emitida. (Eisberg & Resnick, 1994)

Planck supôs que os átomos do corpo negro agem como pequenos osciladores eletromagnéticos, cada um com uma frequência de oscilação própria. Esses osciladores emitem e absorvem a energia eletromagnética em um corpo negro. Essa energia não é emitida de forma contínua, mas sim de forma quantizada, isto é, por pulsos ou de pacotes de energia. (Salvetti, 2008)

Em março de 1905, Albert Einstein apresentou à comunidade científica sua explicação para o efeito fotoelétrico com o artigo *Um ponto de vista heurístico sobre a geração e a transformação da luz* (Stachel, 2005). Einstein retoma a concepção da luz como corpúsculo usando os conceitos da quantização da energia de Max Planck, transformando a hipótese da quantização da energia em teoria.

Em 1913, o físico dinamarquês Niels Bohr desenvolveu o seu modelo atômico, influenciado pela teoria de Planck. O objetivo da pesquisa era explicar as linhas espectrais observadas desde o final do século XIX já que no modelo de Bohr foi necessário colocar restrições ao movimento do elétron em torno do núcleo. (Rosa, 2012; Maia, 2007)

De Broglie considerou um corpúsculo em movimento retilíneo uniforme, com comportamento ondulatório, com energia e momento conhecidos. Portanto, o comprimento de onda λ associada a uma partícula de momentum linear p é dado por:

$$\lambda = \frac{h}{p} \quad (1)$$

A relação de De Broglie faz com que todas as partículas devem ter propriedades ondulatórias. Os objetos relativamente grandes também as apresentam uma vez satisfeitas às condições postas nas hipóteses. Porém, estes objetos têm massas tão grandes comparativamente à constante de Planck $h \approx 6,626 \cdot 10^{-34} \text{J.s}$, que seus comprimentos de onda são extremamente pequenos, e seu caráter ondulatório não é observável experimentalmente, justamente por limitações técnicas.

Com o advento dos experimentos que trouxeram respostas de que a luz e outras partículas tinham uma natureza corpuscular surge Erwin Schrödinger, físico austríaco, que desenvolveu uma equação de onda com as informações provenientes dos trabalhos de Louis de Broglie que informa das possibilidades do que pode acontecer para um determinado sistema. Existe uma possibilidade finita de encontrar um elétron em uma determinada região do espaço. O valor dessa probabilidade situa-se entre os limites 0 e 1, onde 0 informa ser jamais possível, e o 1, ocorrência certa. A equação de Schrödinger apresentada na equação 2, não informa onde o elétron pode ser encontrado, mas apenas a probabilidade de encontrá-lo, ou um grande número de mensurações em que encontrará o elétron em cada região. (Eisberg & Resnick, 1994; Hewitt, 2015)

$$-\frac{\hbar^2}{2m} \nabla^2 \psi + E\psi = i \hbar \frac{\partial \psi}{\partial t} \quad (2)$$

Simultaneamente ao Schrödinger, o físico alemão Werner Heisenberg desenvolvia uma mecânica quântica equivalente, porém com uma abordagem matricial. Heisenberg anunciou o princípio da incerteza, no qual é impossível medir e determinar de forma taxativa a posição e velocidade de uma partícula. Isso é devido à necessidade de incidir fótons para observar a posição da partícula, logo a partícula obtendo energia viaja para outra região do espaço, assim sendo, é difícil determinar de forma precisa a posição do elétron. O princípio da incerteza é mostrada na equação 3 na qual o símbolo Δ significa “incerteza de”: Δp é a incerteza do momentum e Δx é a incerteza da posição. O produto dessas duas incertezas deve ser igual ou maior (\geq) do que o valor de $\frac{\hbar}{2\pi}$. (Eisberg & Resnick, 1994; Hewitt, 2015)

$$\Delta x \Delta p \geq \hbar \quad (3)$$

Bohr enunciou seu princípio da complementaridade que expressa que a descrição ondulatória e corpuscular estão corretas e se completam formando um só modelo para a natureza, porém essas duas naturezas não podem ser observadas em um mesmo experimento. (Young & Freedman, 2016)

Em suma, as discussões de Isaac Newton e Huygens foram sendo propagadas durante as gerações e perduraram até o surgimento da teoria quântica de Planck, fazendo com que as contribuições dadas por Einstein, De Broglie, Schrödinger e Heisenberg no início do século XX levassem a um entendimento mais profuso da natureza da luz. Vale mencionar que os trabalhos de Maxwell com suas famosas equações foram fundamentais para compreender a luz como uma onda eletromagnética. Portanto, sabendo disto, o próximo capítulo discorre com detalhes sobre as ondas eletromagnéticas.

4. As Ondas Eletromagnéticas

Os estudos de Maxwell mostraram que uma perturbação eletromagnética poderia se propagar no espaço vazio com uma velocidade igual a da luz e que era uma onda eletromagnética. Em decorrência de seus estudos, ele descobriu que os princípios básicos do eletromagnetismo podem ser descritos pelas hoje conhecidas equações de Maxwell, apresentadas a seguir.

$$\oint \vec{E} \cdot d\vec{A} = \frac{Q_{\text{inte}}}{\epsilon} \quad (4)$$

$$\oint \vec{B} \cdot d\vec{A} = 0 \quad (5)$$

$$\oint \vec{B} \cdot d\vec{l} = \mu \left(ic + \epsilon \frac{d\phi_e}{dt} \right) \quad (6)$$

$$\oint \vec{E} \cdot d\vec{l} = - \frac{d\phi_e}{dt} \quad (7)$$

As equações de Maxwell mostram que um campo magnético variável funciona como fonte ao campo elétrico e assim respectivamente. Esses campos se sustentam formando a onda eletromagnética que se propaga através do espaço e do tempo. A luz é uma onda eletromagnética, como existem diversas outras, por exemplo, as ondas de rádio e raios-X. As ondas eletromagnéticas cobrem um campo amplo de frequência e comprimento de onda chamado espectro eletromagnético.

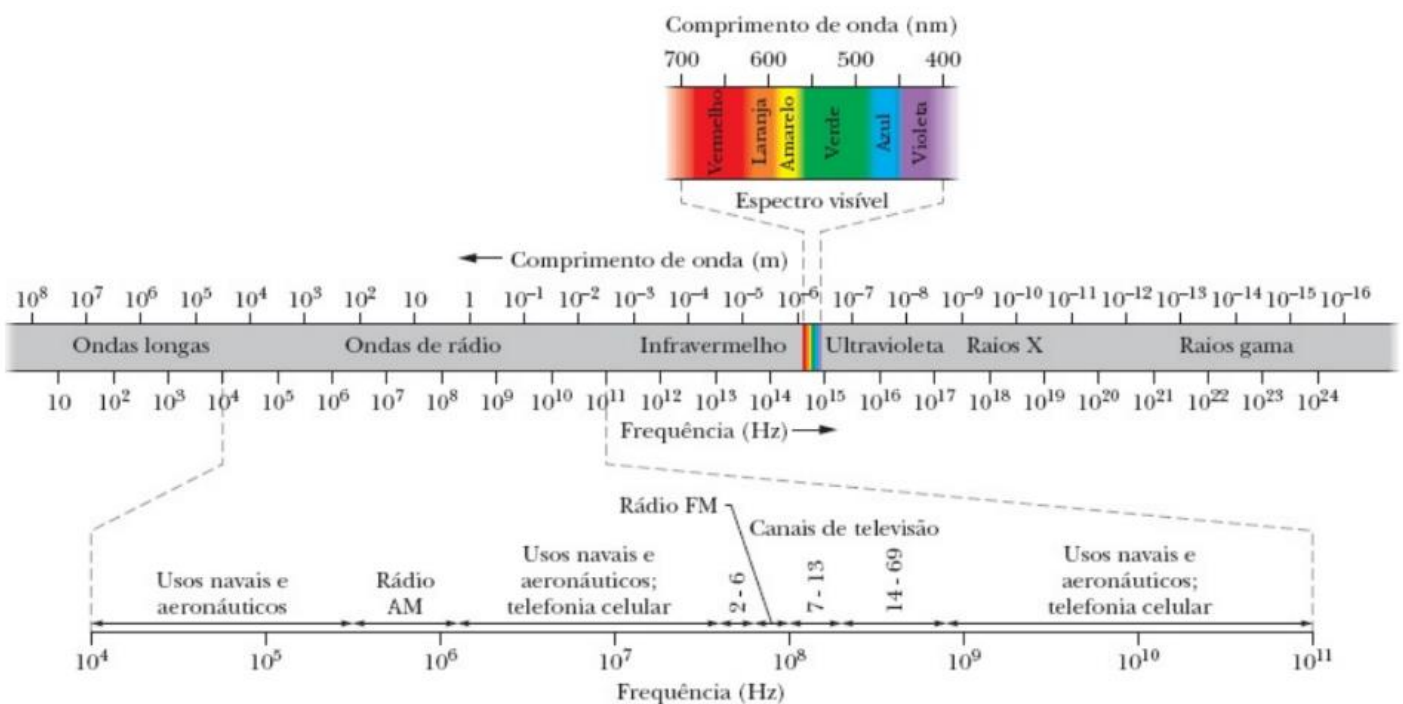
Apenas uma pequena faixa do espectro eletromagnético é perceptível ao olho humano em que chamamos faixa de luz visível, sendo a luz branca que é a junção de todos os comprimentos de ondas visíveis. Os comprimentos de ondas variam de cerca de 400 nm a 700 nm (de 400 a $700 \times 10^{-9} \text{ m}$), com frequências próximas de 750 THz a 430 THz ($7,5$ a $4,3 \times 10^{14} \text{ Hz}$). (Halliday, 2016)

É vasto o campo de aplicação das ondas eletromagnéticas, por exemplo, a comunicação necessita das ondas de rádio. As micro-ondas também são usadas para comunicação como para radares meteorológicos. Câmeras contêm sensores que emitem radiação infravermelha para determinar a distância do objeto e ajustar o foco. (Young & Freedman, 2009)

A radiação ultravioleta tem um comprimento de onda mais curto do que a luz visível, essa propriedade faz com que seja aplicada, por exemplo, em cirurgia ocular a laser. Os famosos raios-X, devido ao seu pequeno comprimento de onda, conseguem penetrar a pele e são indispensáveis na odontologia e medicina. Por fim, os raios gama são provenientes de materiais radioativos, muito energéticos, usados em tratamento de câncer, pois destrói células cancerígenas. (Okuno & Yoshimura, 2010)

A Figura 1 apresenta as diferentes faixas de comprimento de onda equivalentes em frequências que estão presentes na radiação eletromagnética. Em destaque, temos a faixa visível, ou seja, aquela detectada pelo olho humano. Nessa faixa de comprimentos de onda, a luz de frequência mais baixa aparece para a maioria das pessoas como vermelho, e as de mais alta frequência, como violeta. Por convenção, as cores são agrupadas em sete, vermelho, laranja, amarelo, verde, azul, anil e violeta. Juntas, essas cores aparecem como o branco. Alguns exemplos de composição de cores para a formação da luz na cor branca são as lâmpadas de Led e a própria luz solar. Na próxima seção, iremos aprofundar um pouco mais sobre a radiação solar, a composição do espectro que chega ao olho humano e qual cor identificamos.

Figura 1: O espectro eletromagnético apresenta 7 tipos de ondas eletromagnéticas: ondas de rádio, micro-ondas, infravermelho, luz visível, ultravioleta, raios x e raios gama.



Fonte: Halliday (2016).

5. A Fonte de Luz: O Sol

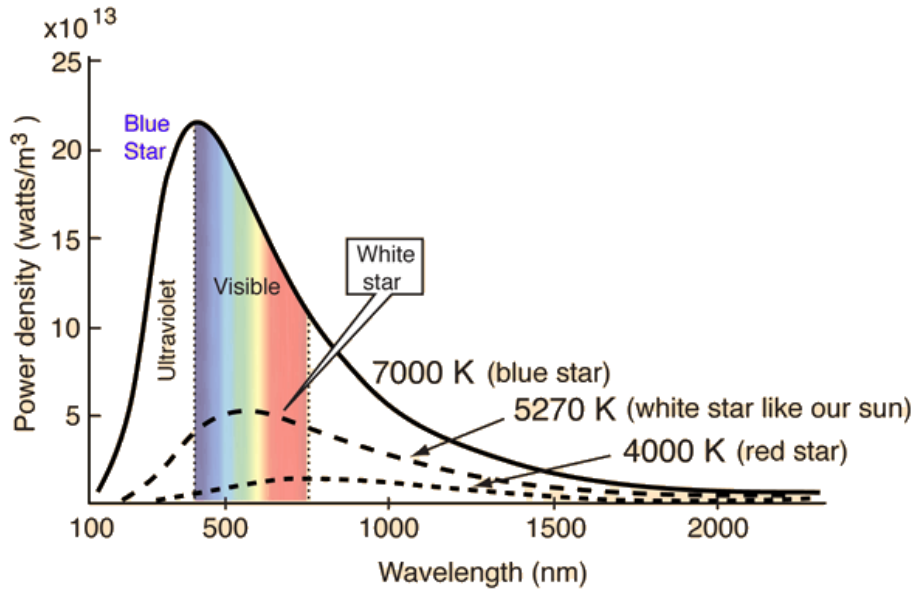
O Sol é a nossa principal fonte de energia e onde se encontra a maioria da massa do nosso sistema planetário. Em seu núcleo ocorrem reações nucleares, devido à atração gravitacional entre as partículas dos gases que o compõem, formando elementos mais pesados e uma abundância de energia, visualizada na Terra como radiação eletromagnética. Por volta de 5 bilhões de anos, o Hidrogênio no núcleo solar se esgotará e o Sol irá se expandir liberando muita energia que será impossível de viver na Terra. (Arany-Prado, 2006)

Caso pergunte a população leiga é bem provável que vão dizer que a cor do Sol é avermelhada, alaranjada ou amarelada. Dependendo da região que esteja pode enxergar o Sol com uma cor amarelada em decorrência das partículas da atmosfera que fazem a luz solar refletir mais o amarelo. Ao final da tarde, percebemos que o Sol fica com um tom avermelhado devido ficar mais baixo no horizonte, assim sendo, a luz vermelha, amarela e laranja se espalham com maior facilidade na atmosfera. (Hewitt, 2015)

Para o estudo da cor, se deve analisar o espectro eletromagnético do Sol, embora tenha uma emissão maior na faixa do verde, em seguida do amarelo e do azul, não é o bastante para definir a cor do Sol, pois, o estudo da curva deve ser mais amplo

em virtude do Sol emitir todas as cores de luz visível como mostra a figura 2 na linha tracejada intitulada “white star like our sun” traduzindo “Estrela branca como o nosso Sol”. (Baird, 2013)

Figura 2: Neste gráfico podemos vislumbrar as temperaturas das estrelas em relação ao comprimento de onda pela intensidade.



Fonte: Hyperphysics, s.d.

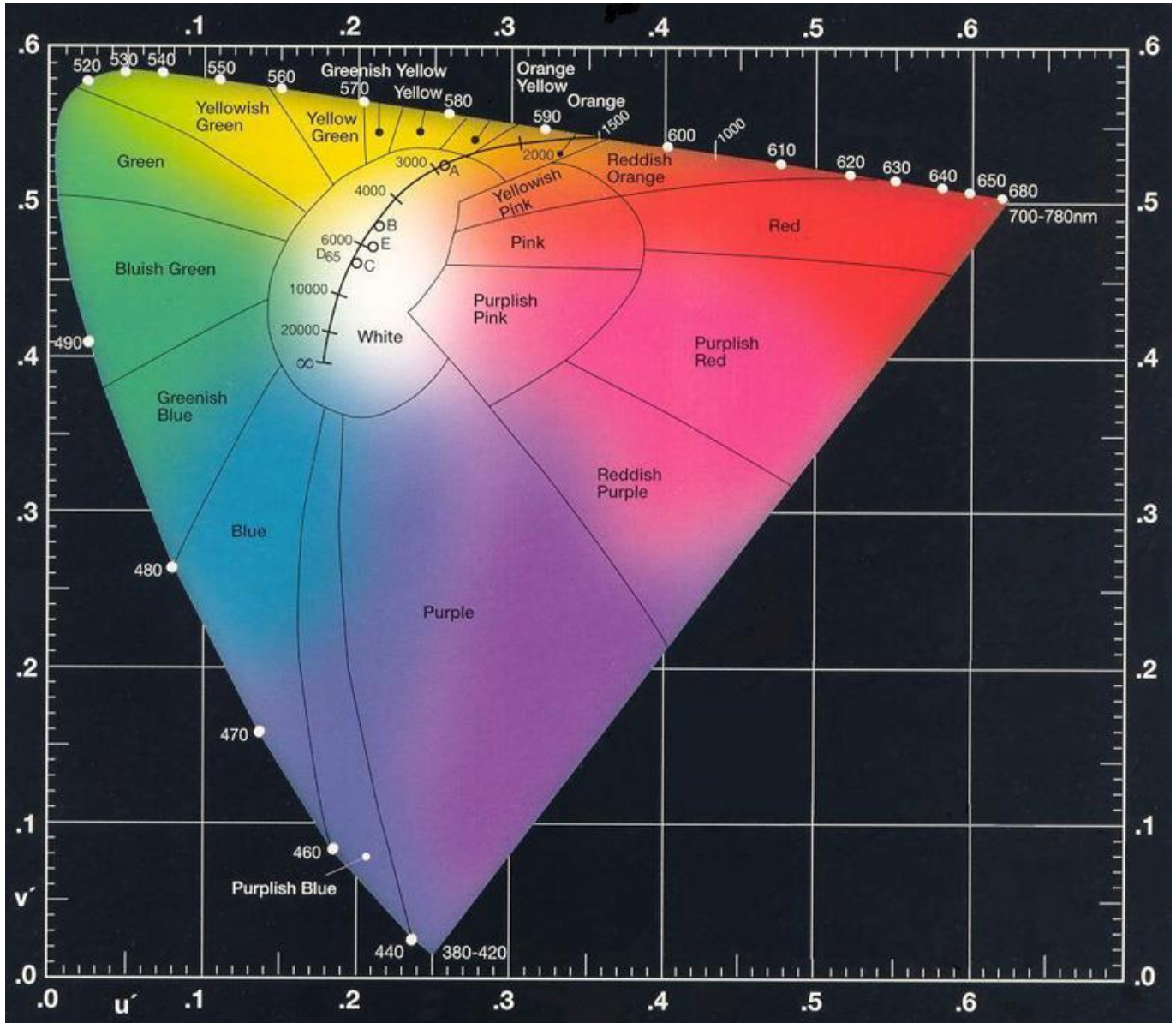
Como descrito na Figura 2, com o aumento da temperatura de um radiador de corpo negro, a energia total irradiada também aumenta e o pico da curva de radiação se move para comprimentos de onda mais curtos. Essa relação é chamada lei de deslocamento de Wien em que é utilizada para determinar as temperaturas de objetos radiantes quentes, por exemplo, estrelas ou qualquer objeto radiante cuja temperatura esteja muito acima do seu ambiente. O pico da curva de radiação, na relação de Wien, é apenas por a intensidade ser plotada como uma função do comprimento de onda. Se a frequência ou alguma outra variável for usada no eixo horizontal, o pico estará em um comprimento de onda diferente. (Eisberg & Resnick, 1994)

Para contribuir no estudo, existe o diagrama de cromaticidade criado em 1931 pela *Comission Internationale de l'Éclairage* (CIE) apresentado na figura 3. O intuito do diagrama é explicar o nosso modo de observar as cores por meio da recepção dos cones sensíveis à luz vermelha, verde e azul que se transformam em sinais visuais para o nosso cérebro, e enxergamos colorido com base na temperatura da superfície em que geram uma mistura de cores. (Souto, 2003)

É importante frisar que as estrelas são "consideradas" corpos negros, ou seja, a luz emitida tem relação com sua temperatura. Uma estrela a 2000K obtém-se uma luz vermelha. Nas temperaturas entre 3000K e 4000K, a cor da luz muda do vermelho para o laranja e em seguida para o amarelo. Entre 5000K e 7000K, a luz emitida pelos corpos negros produz um branco. Por fim, acima de 9000K, predomina comprimento de onda curta, com uma luz mais azulada. (Maciel, 1999)

Na Figura 3, no centro do diagrama se observa uma linha curvada por meio da área intitulada como "white" traduzindo "branco" é uma área em que as cores são insaturadas que se aproximam do branco, em oposição, as cores da borda são totalmente saturadas. Para uma fonte de luz que seja próximo da cor branca, podemos definir a sua "temperatura de cor" associando ao radiador de corpo negro, no ponto da curva mais próximo da localização dessa fonte no diagrama de cromaticidade. Nesse caso, o Sol fica no meio do diagrama porque tem uma temperatura acima de 5000K, ou seja, nos intervalos de temperaturas de 4000K à 6000K e essa região é uma transição da cor amarela ao branco. (Saraiva, 2004)

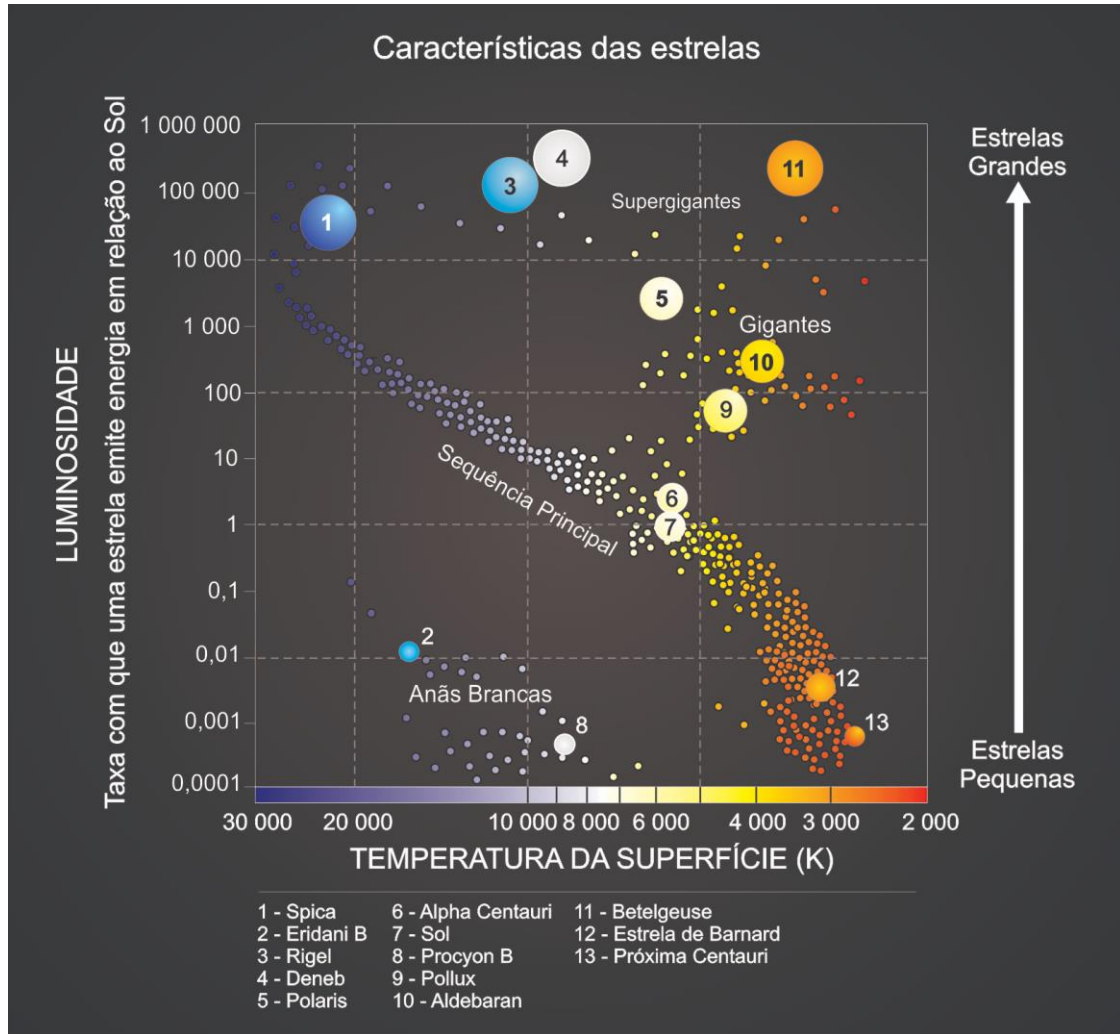
Figura 3: Diagrama de cromaticidade é uma representação gráfica das cores que enxergamos em cores primárias em coordenadas X, Y e Z. O diagrama baseia em mesclar duas ou três cores primárias (vermelho, azul e verde) resultando em uma nova cor.



Fonte: Hyperphysics, s.d.

Para uma classificação mais minuciosa do Sol podemos utilizar o Diagrama Hertzsprung-Russell (Diagrama HR), figura 4, que pode ser apresentado no formato da relação existente entre a luminosidade de uma estrela e sua temperatura da superfície. Como comentado anteriormente, o Sol emite seus fótons com mais intensidade no pico do verde e amarelo, porém na astronomia ele é classificado como sendo uma estrela “amarela esbranquiçada” devido à temperatura da sua superfície que é cerca de 5800K se situando na sequência principal, ou seja, ele não é uma estrela muito quente e nem muito fria. Ainda no diagrama HR, o Sol é representado pelo número 7 perceba que ele está tendendo para a área branca do que para o amarelo (Oliveira Filho e Saraiva, 2016). Pode não ser intuitivo, mas estrelas vermelhas são mais frias, enquanto estrelas azuis são mais quentes. Por fim, nunca veremos estrelas roxas porque estará chegando na faixa do ultravioleta ou raios-X, assim teremos muita luz visível que não deverá ser descartada no estudo. (Arany-Prado, 2006)

Figura 4: Diagrama de Hertzsprung-Russell conhecido como diagrama HR. Nesse diagrama o Sol está representado pelo número 7, região onde se localizam estrelas brancas com tonalidade amarela.



Fonte: Oliveira Filho e Saraiva (2016).

O Sol emite todos os comprimentos de onda de luz visível com uma diferença mínima entre elas, se fosse considerar que a cor do Sol é pelo seu pico no verde ou amarelo, ele teria que emitir luz apenas nestes comprimentos de onda e não em todos. Portanto, por meio da análise do diagrama HR o Sol tem um brilho branco com resquício amarelo devido estar nessa transição.

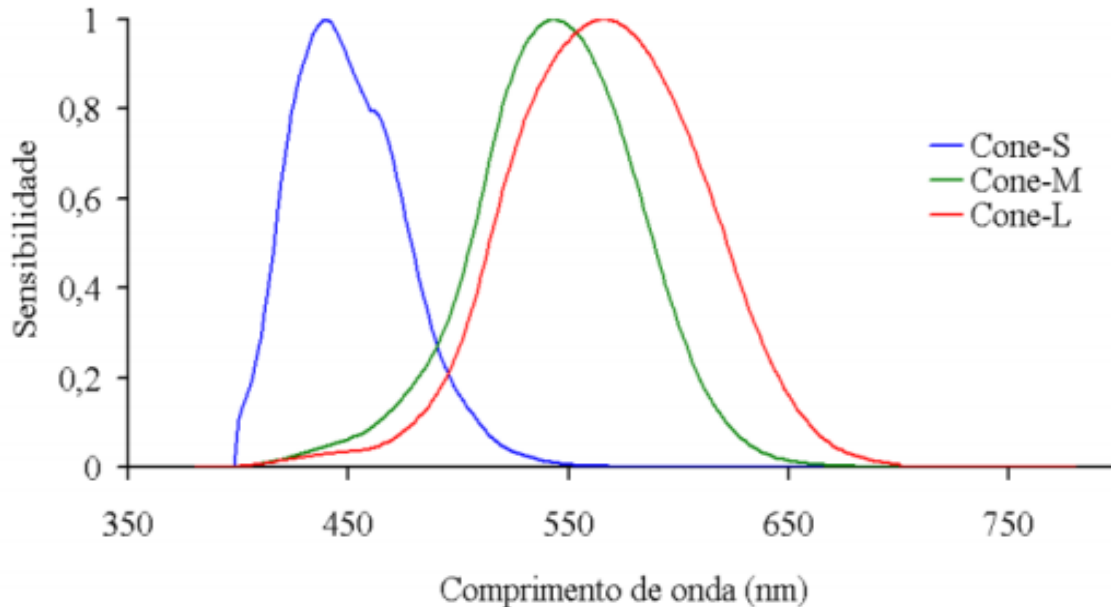
6. A Cor do Nosso Mundo

Para compreender a cor do nosso mundo, devemos entender o funcionamento do órgão que faz com que nós possamos desfrutar do mundo ao nosso redor, o olho. A luz adentra o olho através da córnea, que produz cerca de 70% do desvio necessário da luz, antes de ela passar pela abertura da íris. A luz atinge a lente cristalina, que ajusta o foco para a luz que atravessa um meio gelatinoso denominado humor vítreo. (Hewitt, 2015)

Em seguida, a luz atinge a retina formada por minúsculas antenas, entrando em ressonância com a luz. Existem dois tipos básicos dessas antenas, os bastonetes e os cones. Os bastonetes são responsáveis pela visão com baixa intensidade, enquanto os cones são pela visão colorida e os detalhamentos.

Os cones são sensíveis para apenas três intervalos de cores, azul, vermelho e verde. Entretanto, analisando a figura 5 percebemos que a sensibilidade dos cones não é para todas as cores e que a curva verde quase se sobrepõe no vermelho.

Figura 5: Curvas de sensibilidade dos Cones.



Fonte: Gualtieri (2004).

A retina cobre dois terços da parte de trás do olho e é responsável pela grande parcela da visão que possuímos. Por trás da retina, o nervo óptico transmite sinais das células fotorreceptoras para o cérebro. Assim, quando olhamos uma estrela com um pico no verde, nossos cones azuis, verdes e vermelhos são ativados na qual ocorre a junção das cores resultando no branco. (Hewitt, 2015)

No mundo animal, podemos citar os Tigres, com sua aparência chamativa laranja com listras pretas e faz com que sejam destoantes na floresta. Porém, uma das suas presas, os cervos não têm a mesma capacidade humana de captar a luz verde, azul e vermelho. Eles captam apenas a luz azul e verde, em razão disso, não enxergam o vermelho e laranja. A natureza ajudou os tigres que podem se camuflar na mata verde, em consequência, os cervos não os enxergam e se tornam presas fáceis. (Brasil, 2019)

Para um estudo detalhado sobre as cores, analisemos as plantas, pelo processo chamado fotossíntese em contato com a luz inicia a produção da clorofila que fornece a aparência verde. A clorofila é um pigmento encontrado em plantas, algas e algumas bactérias responsáveis por captar luz. Ela garante que organismos fotossintetizantes consigam produzir seu alimento por meio do processo da fotossíntese e apresenta como característica mais marcante sua coloração verde. (Lawn, 2019)

As plantas parecem verdes porque um "par" de moléculas de clorofila usa a extremidade vermelha e azul do espectro de luz visível para gerar reações químicas nas células. A luz verde não utilizada é refletida na folha. As reações químicas da fotossíntese transformam o dióxido de carbono do ar em açúcares para alimentar a planta e como subproduto a planta produz oxigênio. (Lawn, 2019)

A clorofila possui importância comercial sendo utilizado como antioxidante e corante de alimentos. Pesquisas apontam para a utilização da iluminação LED que é um dispositivo semiconductor, ou seja, em determinadas situações são isolantes e em outras são condutores. Os LED's transformam energia elétrica em energia luminosa processo denominado eletroluminescência. Safras que utilizam uma iluminação LED promovem o rápido crescimento quando se trabalha com comprimentos de onda

vermelho e com temperaturas controladas. A técnica permite que acelerem melhorias genéticas, como ganho de produtividade, resistência a doenças e a mudanças climáticas. (Wulff & Hafeez, 2019; Hewitt, 2015; Schiozer & Barata, 2007)

Assim sendo, os seres vivos enxergam as cores do nosso mundo devido às características do organismo e funcionamento do sistema ocular. É importante frisar, é errôneo usar o argumento de que as plantas são verdes em decorrência do pico da faixa da luz visível da emissão do Sol. As plantas não absorvem o verde, mas refletem. Por fim, pesquisas continuam na busca de saber com mais detalhes as reações químicas que ocorrem nas plantas quando têm contato com luz visível.

7. Considerações Finais

A partir do que foi exposto, considerando a diversidade de argumentos e de experiências apresentadas, são perceptíveis como foi desenvolvida a metodologia científica para compreensão da luz ao longo dos séculos. Centenas de cientistas deixaram suas contribuições para chegarmos aos resultados que estamos desfrutando, porém, ainda carece de uma ampla divulgação científica para que as dúvidas da população em geral sejam sanadas.

Uma exposição histórica, analisando de maneira gradual a luz, a formação das cores e as razões biológicas por de trás colabora em não deixar lacunas sobre a construção do conhecimento acerca dos conceitos. Vista disso, a divulgação científica deve ter um cuidado em explanar, pois os estudantes podem fazer confusões.

Com uma metodologia em que transfira informações de uma forma gradual, podem-se explicar as cores do mundo, as razões do céu ser azul e a cor de outros objetos. Destaca-se em ocorrer uma interdisciplinaridade com a disciplina de história, filosofia e especificamente a de biologia para auxiliar no estudo do organismo humano dos motivos de observar o mundo de tal forma e as deficiências presentes nas pessoas.

Com uma junção de um trabalho cuidadoso de divulgação científica, em que preze a honestidade intelectual, uma transmissão minuciosa de como compreender a cor do sol, entender a natureza da luz, a evolução histórica dos trabalhos científicos na área, faz com que seja possível desfrutar de um material rico para fornecer um ambiente para o saber científico e obter o entendimento sobre o assunto.

Portanto, para pesquisas futuras, pretende-se a elaboração de práticas educacionais para colaborar no aprendizado de conteúdos de física que recorrentemente geram dúvidas. Para isso, os estudos tendem a encontrar ferramentas que desmistificam argumentos ditos como verdades, com uma técnica que tenha uma didática que favoreça o aprendizado, por exemplo, um material paradidático ou como em um artigo para sanar os obstáculos do analfabetismo científico conciliando com um diálogo que atenda os níveis sociais e econômicos de forma abrangente.

Referências

- Albagli, S. (1996). Divulgação científica: informação científica para cidadania. *Ciência da informação*, 25(3).
- Antunes, L. C. S. (2012). *Relatório de Estágio: Radiação de corpo negro: lei de Stefan-Boltzmann, lei do deslocamento de Wien*. Universidade da Beira Interior. Covilhã.
- Arany-Prado, L. I. (2006). À luz das estrelas. *Rio de Janeiro: DP&A Editora*, 25-48.
- Bacon, R (1897). *O Opus Majus*. Oxford, 1.
- Baird, C. S. (2013). What is the color of the sun?. Science Questions with Surprising Answers. <<https://wtamu.edu/~cbaird/sq/2013/07/03/what-is-the-color-of-the-sun/>>
- Brasil, J (2019). Tigres na verdade são verdes? Confira truque usado pelos felinos para enganar presa. *Jornal do Brasil*. <https://www.jb.com.br/ciencia_e_tecnologia/2019/05/1002032-tigres-na-verdade-sao-verdes--confira-truque-usado-pelos-felinos-para-enganar-presa.html>
- de Albuquerque Maranhão, Romero (2021). História da teoria das cores: Uma leitura filosófica, artística e física de Pitagóras a Isaac Newton. Conedu.
- de Campos Valadares, E., & Moreira, A. M. (1998). Ensinando física moderna no segundo grau: efeito fotoelétrico, laser e emissão de corpo negro. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, 15(2), 121-135.

- de Jesus, J. J., Oliveira, A. F., & da Silva, A. P. (2021). Espectrômetro digital. Uma proposta de construção de um experimento de Física Moderna para o ensino remoto. *Research, Society and Development*, 10(8), e51410817786-e51410817786.
- de Souza Júnior, J. B. (2021). A origem da realidade material sob a ótica metafísica de Robert Grosseteste. *Logos & Culturas*, 1(2), 46-60.
- Dias, R. da S., & Oliveira, A. F. (2020). História em quadrinhos: uma alternativa para a divulgação científica e para o ensino de Astronomia. In *Research, Society and Development* (Vol. 9, Issue 8). <https://doi.org/10.33448/rsd-v9i8.6004>
- Eisberg, R., & Resnick, R. (1985). Física Quântica - Átomos, Moléculas, Sólidos, Núcleos e Partículas.
- Gualtieri, M. (2004). *Visão de cores e sensibilidade ao contraste em indivíduos com diabete melito: avaliação psicofísica e eletrofisiológica* (Doctoral dissertation, Universidade de São Paulo).
- Halliday, D (2016). Fundamentos de Física. (10a ed.) LTC, 4.
- Hewitt, P. G (2015). Física Conceitual. Revisão Técnica De Maria Helena Gravina, Tradução De Trieste Freire Ricci. 12 Ed. Porto Alegre. Bookman.
- Hyperphysics. < <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/wien.html#c3>, <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/vision/cie1976.html#c2> e <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/vision/cie1976.html#c1> >
- Kraemer, S. A., Kloss, A. L., Garcia, C. H., & Engers, K. B. (2021). Relato de experiência: Intervenção docente em uma aula de ciências, turma de 6º ano, para trabalhar o sentido da visão. *Encontro sobre Investigação na Escola*, 17(1).
- Lawn, A (2019). Why are plants green?. John Innes Centre. <<https://www.jic.ac.uk/blog/why-are-plants-green/>>.
- Maciel, Walter J (1999). Introdução à estrutura e evolução estelar. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo.
- Maia, D. J., & de Azambuja Bianchi, J. C. (2009). *Química geral: fundamentos*. Pearson Prentice Hall.
- Okuno, E., & YOSCHIMURA, E. (2010). Física das Radiações–Oficina de Textos. *São Paulo-2010*, 70.
- Oliveira filho, K. S; & Saraiva, M. F. O (2016). Diagrama Cor-Magnitude- Hestzprung-Russel. <<http://astro.if.ufrgs.br/estrelas/node2.htm>>
- Pereira, A.S., Shitsuka, D. M., Parreira, F. J., Shitsuka, R. (2018) Metodologia de pesquisa científica, UFSM
- Saraiva, M. D. F. O. (2004). *Astronomia & Astrofísica*. Editora Livraria da Física.
- Osada, J. (1972). *Evolução das ideias da física*. Edgard Blücher, Editora da Universidade de São Paulo.
- Pereira, A. S., Shitsuka, D. M., Parreira, F. J., & Shitsuka, R. (2018). *Metodologia da pesquisa científica*. Ed (pp. 3-9). UFSM. https://repositorio.ufsm.br/bitstream/handle/1/15824/Lic_Computacao_Metodologia-Pesquisa-Cientifica.pdf.
- Pires, A. S. T. (2008). *Evolução das idéias da Física*, (2a ed.), Livraria da Física, S.
- RIBEIRO, A. R., Coelho, L., Bertolami, O., & André, R. (2015). Luz: História, Natureza e Aplicações. *Gazeta de Física, Lisboa*.
- Rosa, C. A. D. P. (2012). História da ciência: o pensamento científico e a ciência no século XIX. In *História da ciência: o pensamento científico e a ciência no século XIX* (pp. 371-371).
- Salvetti, A., R (2008). *A história da luz*. Editora Livraria da Física.
- Schiozer, A. L., & Barata, L. E. S. (2013). Estabilidade de corantes e pigmentos de origem vegetal.
- Silva, C. C., & Martins, R. D. A. (2003). A teoria das cores de Newton: um exemplo do uso da história da ciência em sala de aula. *Ciência & Educação (Bauru)*, 9(1), 53-65.
- Silva, C. C., & Moura, B. A. (2008). A natureza da ciência por meio do estudo de episódios históricos: o caso da popularização da óptica newtoniana. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 30(1), 1602-1.
- Stachel, J. J. (2005). Einstein's miraculous year: five papers that changed the face of physics.
- Souto, R. P. (2003). Segmentação de imagem multiespectral utilizando-se o atributo matiz. *Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais-INPE*.
- Tossato, C. R. (2005). A função do olho humano na óptica do final do século XVI. *Scientiae Studia*, 3, 415-441.
- Vilela, M. V. F., da Rocha, E. F., da Silva, V. C., de Castro, E. B., & de Araujo, C. S. O. (2021). Reflexões Históricas e Epistemológicas sobre a trajetória da Ciência e suas implicações para o ensino de ciências: Contribuições do estudo de temas CTS à luz da HFC em prol da superação de imagens distorcidas do trabalho científico. *Research, Society and Development*, 10(9), e55410918422-e55410918422.
- Young, H. D., & Freedman, R. A. (2009). Física III: eletromagnetismo. *Person Education do Brasil*.
- Young, H., & Freedman, R. (2016). Física IV –óptica e física moderna. 4; Trad. Daniel Vieira.

Wulff, B., & Hafeez, A (2019). Speeding breeding and other ways of feeding 10 billion people. John Innes Centre. <<https://www.jic.ac.uk/blog/speeding-breeding-and-other-ways-of-feeding-10-billion-people/>>.

Zaccaro, S. J. V., Oliveira, A. F., Rubinger, R. M., Siqueira, C. C. de, & Costa Junior, R. A. da. (2021). Determination of thickness and refractive index of SiO₂ thin films using the cross-entropy global optimization method. *Research, Society and Development* 10(10), e326101019028. <https://doi.org/10.33448/rsd-v10i10.19028>