



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE MARINGÁ  
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS  
DEPARTAMENTO DE FÍSICA

LUCIANE FERREIRA SILVA

**A EVOLUÇÃO DO PENSAMENTO HUMANO ACERCA DA NATUREZA DA LUZ  
E O USO DA HISTÓRIA E FILOSOFIA DA CIÊNCIA NO ENSINO DE FÍSICA**

MARINGÁ  
2022

LUCIANE FERREIRA SILVA

**A EVOLUÇÃO DO PENSAMENTO HUMANO ACERCA DA NATUREZA DA LUZ  
E O USO DA HISTÓRIA E FILOSOFIA DA CIÊNCIA NO ENSINO DE FÍSICA**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao departamento de Física da Universidade Estadual de Maringá como requisito parcial para obtenção do título de Licenciada em Física.

Orientador: Prof. Dr. Marcos Cesar Danhoni Neves.

MARINGÁ  
2022

***“A percepção humana é assustadoramente limitada, acreditamos estar vendo o todo, quando na verdade só vemos uma fração.”***

***(Empédocles)***

## RESUMO

A natureza da luz é algo que nos fascina desde os primórdios da espécie humana. Nossos ancestrais encontraram no fogo não somente a possibilidade de cozinhar alimentos e se aquecer no frio, mas também um modo de iluminar a escuridão. O estudo da natureza da luz tem sido algo muito relevante dentro da Física e Matemática desde a Grécia antiga até os dias de hoje. Inicialmente será abordada as concepções gregas sobre os fenômenos luminosos, no qual estes não faziam discernimento entre a luz e a visão, passando pelas descobertas científicas que ocorreram durante o fim do século XVII e início do XIX, período visto como um conflito entre as teorias corpuscular e ondulatória da luz, habitualmente associadas a Newton e Huygens respectivamente, até o entendimento da natureza da luz no início do século XX. Este trabalho contempla uma proposta de atividade experimental na modalidade História e Filosofia da Ciência (HFC), como estratégia didática na aprendizagem significativa sobre concepção da luz, com o propósito de atrair a atenção dos alunos e evitar concepções errôneas da Natureza da Ciência.

**Palavras-Chave:** História da Ciência. Ensino de Física. Óptica. Experimentação.



## **ABSTRACT**

Nature gives birth to something that has fascinated us since the beginning of the human species. Our ancestors will not find fire, not only the possibility to cook food and not feel cold, but also a way to light up the darkness. The study of the nature of light has been very relevant in physics and mathematics since ancient Greece today. Initially, the general conceptions about luminous phenomena will be addressed, not that they do not make a discernment between light and vision, going through the scientific discoveries that occurred during the late 17th century and early 19th century, a period seen as a conflict between corpuscular and waves. of light, generally associated with Newton and Huygens respectively, linked to the understanding of the nature of light in the early 20th century. This work contemplates a proposal of experimental activity in the History and Philosophy of Science (HFC) modality, as a didactic strategy in the significant learning about the conception of light, with the objective of attracting the attention of two students and avoiding misconceptions of Nature of Science.

**KEYWORDS:** History of Science. Physics Teaching. Optics. Experiments.

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1-</b> Esquema de Optiks mostrando uma das variantes do Experimentum Crucis	13
<b>Figura 2-</b> Ilustração da propagação de uma onda eletromagnética	14
<b>Figura 3-</b> Vista superior do aparato usado por Thomas Young	16
<b>Figura 4.1-</b> Imagem adaptada da referência	38
<b>Figura 4.2-</b> Imagem adaptada da referência	39

## SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	8
CAPÍTULO 1- A CRONOLOGIA DA LUZ	9
1.1 A COMPREENSÃO DA LUZ NA ANTIGUIDADE CLÁSSICA	9
1.2 ALGUNS ASPECTOS DO MODELO CORPUSCULAR	12
1.3 ALGUNS ASPECTOS DO MODELO ONDULATÓRIO	15
1.4 A LUZ COMO FÓTONS: DUALIDADE ONDA-PARTÍCULA	18
CAPÍTULO 2 - A LUZ E O ENSINO DE FÍSICA	21
2.1 ASPECTOS DA NATUREZA DA CIÊNCIA	21
2.2 USO DA HISTÓRIA E FILOSOFIA DA CIÊNCIA EM SALA DE AULA	23
CAPÍTULO 3 - A EXPERIMENTAÇÃO NO ENSINO DE FÍSICA	25
3.1 AS PRÁTICAS EXPERIMENTAIS NO ENSINO DE FÍSICA	25
3.2 O PAPEL DO ALUNO E DO PROFESSOR EM AULAS DE LABORATÓRIO	26
3.3 PROBLEMAS ENFRENTADOS NAS ATIVIDADES EXPERIMENTAIS	28
3.4 ATIVIDADES INVESTIGATIVAS DE BAIXOS CUSTO NO CAMPO DA ÓPTICA	29
CONSIDERAÇÕES FINAIS	31
REFERÊNCIAS	31
APÊNDICE A	34

## INTRODUÇÃO

O mundo é fortemente influenciado pelas Ciências e suas Tecnologias. Ensinar ciências passou a ser uma responsabilidade social, pois a ciência é e deve ser para todos. Nas escolas, comumente o ensino da disciplina de Física se torna mecânico e muito formal matematicamente que carece de contextualização. No campo da óptica, o estudo se restringe aos aspectos geométricos, que se preocupa em analisar apenas características de alguns elementos específicos como espelhos, prismas e lentes, sem denotar aspectos históricos, políticos e sociais.

Uma vez que as aulas ministradas dessa forma tornam-se cansativas e não despertam interesse, muito menos geram significado para os alunos. As estratégias didáticas auxiliam no desenvolvimento do processo de ensino-aprendizagem, como por exemplo o uso da história e filosofia da ciência (HFC) e a experimentação de como uma ferramenta para o letramento científico.

Entretanto surge um alerta para criação de distorções quando adaptada para o ambiente escolar, no qual passaria apresentar uma concepção puramente empírico-indutivista. É importante salientar que o ensino, que tenha por objetivo a alfabetização científica, visa a promoção de novos aprendizados vinculados a conhecimentos anteriores e nas práticas do cotidiano, abrangendo aspectos diversos da construção do conhecimento científico.

Este trabalho visa reconstituir alguns dos debates históricos a partir da inserção de elementos da história e a filosofia como uma estratégia pedagógica para discutir a natureza da luz no Ensino Médio.

## **CAPÍTULO 1- A CRONOLOGIA DA LUZ**

Neste capítulo será apresentado um resumo das ideias e controvérsias sobre a natureza ondulatória ou corpuscular da luz. Partiremos das concepções gregas sobre os fenômenos luminosos que não faziam discernimento entre luz e visão, passando pelas descobertas científicas durante os séculos XVII e XVIII. Finalizaremos com os estudos da dualidade onda-partícula durante o início do século XX.

### **1.1 A COMPREENSÃO DA LUZ NA ANTIGUIDADE CLÁSSICA**

A natureza da luz é algo que nos fascina desde os primórdios da espécie humana. Nossos ancestrais encontraram no fogo, não somente a possibilidade de cozinhar alimentos e se aquecer no frio, mas também um modo de iluminar a escuridão. O estudo da natureza da luz tem sido algo muito relevante dentro da física e matemática desde a Grécia antiga até os dias de hoje [48].

As ideias iniciais sobre a natureza da luz são atribuídas a Empédocles (a.C. 494 - 434). Entre suas ideias sobre a Natureza, Empédocles postulou que tudo era composto de quatro elementos: fogo, água, terra e ar. Ele acreditava que Afrodite<sup>1</sup> fez o olho humano a partir dos quatro elementos, e que ela acendeu o fogo dentro dos olhos humanos que brilhava e tornava possível enxergar. Porém, se isso fosse verdade, poderíamos enxergar mesmo no escuro, então Empédocles postulou uma interação entre a luz dos olhos com a luz emitida pela fonte. Esse modelo foi uma base fundamental, na qual, mais tarde, os filósofos e matemáticos gregos se inspiraram para construir suas teorias sobre a natureza da luz [01-03]. Com o passar dos anos a ideia de Empédocles foi se modificando mas sem perder sua essência. Para Platão (428 – 348 a.C.) nossos olhos emitem pequenas partículas que, ao atingirem os objetos, tornavam-nos visíveis. Em contraste, Aristóteles (384 – 322 a.C) dizia que a luz era um fluido imaterial que se propagava entre os olhos e o objeto visto [1].

Em 300 a.C., Euclides escreveu o livro intitulado Óptica, no qual ele estuda as propriedades da luz, entre elas a perspectiva. Ele postulou que a luz sempre viaja em linha reta e, partindo disso, foi capaz de descrever as leis de reflexão da luz

---

<sup>1</sup> Na mitologia grega Afrodite é conhecida como a deusa da beleza, do amor e da sexualidade.

matematicamente. Para ele a luz viajaria a uma velocidade infinita [15]. Apesar dessas ideias terem perdurado por séculos e terem influenciado muitos filósofos, nem todos acreditavam nelas. Lucretius (55 a.C.), um romano que compartilhava das mesmas ideias dos gregos atomistas, escreveu em “De rerum natura”:

A luz e o calor do sol; estes são compostos de átomos diminutos que, quando são empurrados, não perdem tempo em disparar através do interespaço de ar na direção transmitida pelo empurrão [16].

Muitos anos se passaram e alguns estudos foram destinados a entender melhor as propriedades da luz. Por volta de 60 d.C. Heron (10 d.C. – 70 d.C.) fez a interessante observação de que, quando a luz é refletida por um espelho, ela percorre o caminho de menor comprimento [02]. Cerca de 80 anos depois de Heron, Ptolomeu estudou a luz em seu trabalho astronômico. Ele percebeu que a luz é refratada pela atmosfera através de medições precisas das posições das estrelas [20].

O maior avanço nos tempos antigos foi feito por al-Haytham (965 – 1040 d.C.) por volta de 1000 dC. Al-Haytham argumentou que vemos objetos porque os raios de luz do sol, que ele acreditava serem fluxos de partículas minúsculas viajando em linhas retas, são refletidos pelos objetos até os nossos olhos. Para ele a luz viaja a uma velocidade grande, mas finita, e que a refração é causada pela velocidade ser diferente em diferentes substâncias . Ele também estudou matematicamente as propriedades de espelhos esféricos e parabólicos. Porém, seus trabalhos não podiam ser encontrados na Europa até o final do século XVI, e os filósofos europeus que seguiram estudando a natureza da luz não puderam se basear em seus trabalhos. Entretanto, em meados do século XVIII, baseado em Al-Haytham, Vitelo estudou espelhos e refração da luz e escreveu suas descobertas em *Perspectiva*, que foi um texto padrão sobre óptica por vários séculos [2].

Antes disso, Roger Bacon (1220 – 1292), por volta de 1270, seguindo as ideias de seu professor Grosseteste (1175 – 1253), chegou a algumas conclusões: ele acreditava que a velocidade da luz é finita e, a partir de seus estudos sobre lentes convexas, defendeu seu uso para corrigir problemas de visão. Com todos esses estudos, houve uma melhor compreensão sobre o uso de lentes, em 1590, Zacharius Jensen (1580 – 1632) e seu pai Hans utilizaram lentes compostas em um

tubo e notaram que ao observar um objeto pequeno por meio do aparato o mesmo era visto de forma bem ampliada. Na época o aparato servia apenas para diversão para a realeza europeia, mas mais tarde, esse seria considerado o marco da invenção do microscópio. Podemos notar que, junto da questão filosófica sobre a natureza da luz, houve um desenvolvimento de dispositivos ópticos importantes que usamos até hoje [19].

A primeira pessoa a dar um passo significativo após a época de al-Haytham, no entanto, foi Kepler (1571 – 1630) no final do século XVI e início do século XVII. Kepler trabalhou com diversas questões: apresentou a primeira teoria matemática aceitável para a câmara escura; deu a primeira explicação, que aceitamos como correta, para o funcionamento do olho humano; descreveu a formação de imagens na retina; explicou a visão curta e a visão longa; concluiu que a intensidade da luz observada de uma fonte varia inversamente com o quadrado da distância do observador à fonte; descreveu a reflexão interna total e que a luz tem velocidade infinita. Embora saibamos que a luz tenha velocidade finita, as descobertas de Kepler foram muito importantes para o entendimento da óptica e da natureza da luz [47].

Apenas cerca de cinco anos após a publicação do trabalho de Kepler, seguindo as ideias de Hans Lippershey (1570 – 1619), da Holanda, Galileu (1564 — 1642) construiu um telescópio, que em 1609 foi utilizado para observar as quatro luas principais de Júpiter. Galileu voltou seu telescópio para Júpiter em 1610 e observou suas quatro luas principais. Ele também realizou uma experiência na tentativa de encontrar um valor para a velocidade da luz, mas não chegou a um resultado quantitativo [48].

Até então, o entendimento sobre a luz trazia uma teoria corpuscular que parecia explicar bem os fenômenos de refração e reflexão. Entretanto, começa a surgir em meados do século XVII uma nova teoria que até hoje fundamenta as ideias sobre a natureza da luz: a teoria ondulatória. O principal defensor da teoria ondulatória é considerado Christiaan Huygens, enquanto que Newton é considerado o principal defensor da teoria corpuscular. A partir disso, nas próximas seções, será abordada a principal disputa entre os principais defensores das duas teorias e como essas concepções mudaram drasticamente a partir do advento da Mecânica Quântica [25].

## 1.2 ALGUNS ASPECTOS DO MODELO CORPUSCULAR

Newton argumentava que a luz era composta por partículas, que são refratadas ao acelerarem quando passam para um meio mais denso. Em sua “Hipótese da Luz” de 1675, Newton postulou que deveria existir um éter para transmitir força entre as partículas de luz [30]. Em 1704, Newton publicou sua obra “Opticks”, com a exposição da sua teoria corpuscular da luz. Ele considerou que a luz era formada de corpúsculos extremamente sutis enquanto que a matéria comum era feita de corpúsculos mais grosseiros [08]. Foi por volta de 1672 que Newton voltou seus esforços para estudar o “fenômeno das Cores” observado anteriormente por vários cientistas como por exemplo Descartes, Boyle e Hooke. A teoria corpuscular de Newton foi predominante por mais de 100 anos devido ao prestígio enorme dele. Quando a teoria falhou em explicar fenômenos como difração, interferência e polarização, a teoria corpuscular foi substituída pela teoria ondulatória de Huygens [23].

Newton propôs que a luz é uma mistura heterogênea de raios de diferentes refrangibilidades. Para corroborar sua ideia ele propôs um experimento que consistia em um buraco na parede que deixava um feixe de luz solar passar por um prisma que refrata a luz até um anteparo. Ele notou que a mancha formada na parede não tinha formato circular, ela era mais espalhada. Para explicar isso, ele assumiu que a luz branca era formada por vários raios que seriam refratados em direção diferente associados a uma cor [18]:

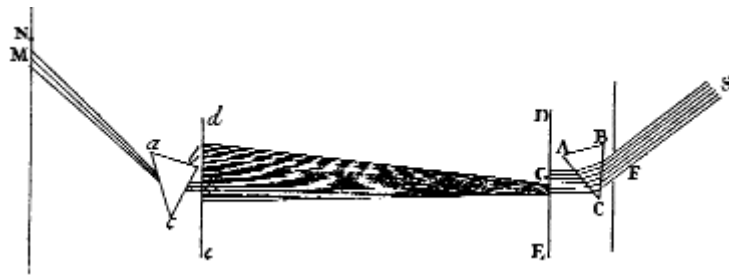
Os Raios menos refrangíveis são dispostos a exhibir a cor Vermelha, e [...] os Raios mais refrangíveis são todos dispostos a exhibir uma Cor Violeta profunda [17].

Tanto Newton como outros cientistas tentaram explicar os fenômenos observados de outras formas. Newton testou diversas variáveis que poderiam estar envolvidas com o fenômeno como: espessura do prisma, tamanho do buraco da janela, ou pela localização do prisma. Em todos os casos a mancha permanecia alongada. Após eliminar várias alternativas com uma série de experimentos, Newton propôs o que ele chamou de *Experimentum Crucis*. Existiam algumas hipóteses alternativas, como a ideia de que o prisma produz cores. Ou seja, quando a luz branca passa pelo prisma ela muda de cor, pois o prisma dá essa cor a ela. Com o



*Experimentum Crucis* seria possível verificar se as cores poderiam ser criadas ou transformadas [23].

**Figura 1.** Esquema de Optiks mostrando uma das variantes do Experimentum Crucis.



Fonte: Silva; Martins (2003).

Para estudar o fenômeno Newton utilizou dois prismas, uma lente e dois anteparos. A montagem consiste em um furo na parede por onde pode passar um feixe de luz do sol, que passa pelo primeiro prisma que dispersa a luz que é projetada no anteparo. Por fim, um furo no primeiro anteparo seleciona apenas uma cor do feixe projetado, fazendo com que passe um feixe de luz com uma cor específica pelo segundo prisma. Esse feixe é projetado no segundo anteparo. Newton notou que o segundo prisma não mudava a cor do feixe secundário, causando apenas uma pequena deflexão. Com esses resultados Newton foi capaz de propor que a luz é refratada de acordo com um índice de refração específico para da cor:

[...] a verdadeira causa do comprimento da Imagem foi detectada não ser outra, senão que a Luz consiste em Raios diferentemente refrangíveis que, sem qualquer diferença em suas incidências, foram transmitidos em direção a diferentes partes da parede, de acordo com seus graus de refrangibilidade. [17]

A proposta de relação entre a cor e a refrangibilidade da luz feita por Newton não causou grande discussão. Porém, a ideia de que a luz branca é composta pela junção de várias cores não era satisfatória para outros pensadores. Hooke defendia que a luz branca era um tipo simples de vibração não periódica e que a luz colorida era uma modificação na luz branca ao ser refratada [23].

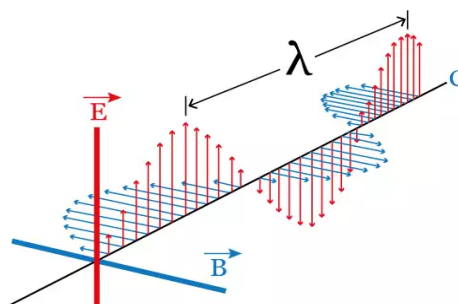
Em 1665, Robert Hooke, defensor da teoria ondulatória mecânica, lança a obra intitulada *Micrographia*, onde descreve suas observações das cores de

interferência no microscópio, atualmente tal fato é explicado pelos fenômenos de interferência e da difração. Hooke acreditava que a luz era formada por duas cores, vermelho e azul, as demais cores seriam criadas a partir dessas duas durante as refrações. Para ele a luz era constituída por pulsos de pequenas amplitudes, propagando-se em um meio contínuo [25].

No artigo de 1672, Newton utilizou lentes convergentes para juntar o feixe refratado pelo prisma, produzindo luz branca novamente. Porém, não foi mostrado que luz resultante era realmente igual a luz solar incidente. Hooke acreditava que o processo todo causava modificações na luz de forma que no final a luz branca formada não era igual a incidente. Porém, após discutir essas questões com Hooke e Huygens. Newton percebeu que seria necessário tomar a decisão a partir de argumentos epistemológicos. Newton argumentou que não tinha justificativa em diferenciar a luz branca incidente da luz branca resultante se as duas apresentavam as mesmas propriedades físicas [23].

Embora os resultados de Newton sejam explicados de forma satisfatória, hoje com a teoria ondulatória e as leis da óptica, ele realizou todos os experimentos e tirou suas conclusões com a ideia de que a luz é composta por partículas ou corpúsculos. Ao passo que Newton formulava suas hipóteses, a teoria ondulatória foi sendo desenvolvida e ganhando mais prestígio. A partir das ideias de Maxwell para o eletromagnetismo classificando a luz como uma onda eletromagnética a teoria ondulatória passa a ser a teoria predominante até o início do século XX.

**Figura 2.** Ilustração da propagação de uma onda eletromagnética.



**Fonte:** Bagnato; Pratavieira (2015).

### 1.3 ALGUNS ASPECTOS DO MODELO ONDULATÓRIO

Robert Hooke (1635–1703), ao observar os fenômenos de difração, formulou a hipótese que a natureza da luz é na verdade ondulatória, que consiste em rápidas vibrações que se propagam instantaneamente em alta velocidade e em qualquer distância. Os trabalhos de Hooke influenciaram tanto os trabalhos de Newton quanto os de Huygens [02].

Em Paris, Christiaan Huygens (1629-1695), físico e astrônomo holandês, escreveu sua obra denominada “*Traité de la Lumière*”, (O tratado da Luz), apresentando sua teoria ondulatória da luz. Já o físico francês Augustin-Jean Fresnel (1788-182) foi o formulador matemático da teoria ondulatória da luz em conjunto com uma série de experimentos a respeito da difração da luz. Este livro foi apresentado pela primeira vez à Academia Real de Ciências da França em 1678, e publicado em 1690. Dividido em capítulos, a obra oferece uma discussão da natureza e propriedades da luz. A contribuição de Huygens deve ser compreendida no contexto de sua época [14].

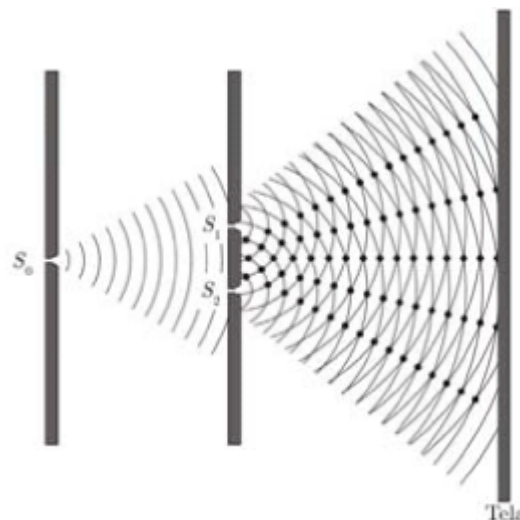
Em seu trabalho, Huygens inicia com a seguinte frase:

As demonstrações que se referem à óptica, assim como em todas as ciências nas quais a geometria é aplicada à matéria, são fundadas em verdades extraídas da experiência: tais são que os raios de luz se propagam em linha reta; que os ângulos de reflexão e de refração são iguais e que nas refrações o raio é quebrado de acordo com a regra dos senos, bem conhecida e não menos correta que as precedentes. [14]

Neste trabalho, Huygens faz uma analogia entre as ondas luminosas e as ondas sonoras no ar, que são mecânicas e longitudinais. Ele traz uma necessidade de um meio para que a onda se propague, que a onda luminosa tem origem mecânica e descarta a possibilidade de um comportamento corpuscular. Para Huygens, as ondas luminosas precisavam de um meio para se propagar, também referido como éter, que era diferente do ar no qual as ondas sonoras se propagam, pois quando se tira todo o ar, sobra o éter. Ele afirmava que as ondas sonoras são causadas pelo movimento de pequenos corpos que, quando se movimentam, propagam a onda. De acordo com Huygens, a luz não pode seguir esse princípio devido a sua alta velocidade e outras características [25].

Em 1808, Thomas Young mostrou que duas ondas se superpõem e podem interferir. A análise dos máximos e mínimos traz um argumento muito forte para a teoria ondulatória, sendo possível calcular o valor do comprimento de onda da luz. Porém, em 1808, Malus observava através de um cristal de dupla refração um feixe de luz solar. Ao cair a noite, observou a luz de uma vela com um ângulo de  $36^\circ$  e constatou que a luz estava polarizada. Ele repetiu o experimento com um espelho e observou os mesmos fenômenos. Assim, ele percebeu que a dupla refração não era o único modo de polarizar a luz. A luz refletida também podia ter “lados”. A teoria de Young não conseguia explicar esse fenômeno e em uma carta a Malus admite o fato [25].

**Figura 3.** Vista superior do aparato usado por Thomas Young.



**Fonte:** Ostermann; Prado (2008).

Foi só em 1817 que Young encontrou uma resposta ao observado por Malus: ele propôs que a onda vibra em uma direção transversal a propagação da onda. Em uma carta a sua amigo Arago, Young escreveu:

Tenho refletido sobre a possibilidade de dar uma explicação imperfeita do problema da luz que constitui a polarização, sem partir da doutrina genuína de ondulações. Há um princípio nessa teoria segundo o qual todas as ondulações são simplesmente propagadas através de espaços homogêneos em superfícies esféricas concêntricas do tipo das ondas sonoras, consistindo apenas de movimentos diretos e retrógrados das

partículas na direção dos raios, com condensações e rarefações concomitantes (isto é, ondas longitudinais). Além disso, é possível explicar nessa teoria uma vibração transversal, propagando-se também na direção do raio, com igual velocidade, mas o movimento das partículas ocorrendo em uma certa direção constante em relação ao raio. Isso é uma polarização [25].

Em paralelo a tudo isso, na ciência, estudos sobre o eletromagnetismo estavam sendo feitos. Em 1855, James Clerk Maxwell (1831 - 1879), publicou o artigo "Sobre as linhas de força de Faraday" apresentando um modelo simplificado do trabalho de Faraday e como a eletricidade e o magnetismo estão relacionados [31]. Ele reduziu todo o conhecimento atual em um conjunto acoplado de equações diferenciais com 20 equações em 20 variáveis [32]. Este trabalho foi publicado posteriormente como "On Physical Lines of Force" em março de 1861. Suas equações apareceram pela primeira vez em forma totalmente desenvolvida em seu livro "A Treatise on Electricity and Magnetism" em 1873. Em 1884, Oliver Heaviside (Inglês, 1850 - 1925) reduziu a complexidade da teoria de Maxwell a quatro equações diferenciais utilizando o cálculo vetorial moderno, conhecidas agora coletivamente como Leis de Maxwell ou equações de Maxwell [33].

Por volta de 1862, Maxwell calculou que a velocidade de propagação de um campo eletromagnético é aproximadamente igual à velocidade da luz. Ele mostrou que as equações prevêm a existência de ondas de campos elétricos e magnéticos oscilantes que viajam através do espaço vazio a uma velocidade que poderia ser prevista a partir de experimentos elétricos simples; usando os dados disponíveis na época, Maxwell obteve uma velocidade de 310.740.000 metros por segundo [34]. Em seu artigo de 1864 "Uma Teoria Dinâmica do Campo Eletromagnético", Maxwell escreveu:

A concordância dos resultados parece mostrar que a luz e o magnetismo são afetos da mesma substância, e que a luz é uma perturbação eletromagnética propagada através do campo de acordo com leis eletromagnéticas [35].

Maxwell também introduziu o conceito de campo eletromagnético em comparação com as linhas de força que Faraday descreveu. Ao compreender a propagação do eletromagnetismo como um campo emitido por partículas carregadas, Maxwell pode avançar seu trabalho sobre a luz, unificando o eletromagnetismo e a óptica [35]

Entre 1886 e 1889, Heinrich Hertz (1857 - 1894) conduziu uma série de experimentos para investigar os efeitos restantes das suas observações sobre as ondas eletromagnéticas previstas por Maxwell [36]. Em 1887, Hertz usou um transmissor e um receptor em experimentos históricos para demonstrar ondas estacionárias, difração, refração e polarização de ondas de rádio, indicando que são ondas eletromagnéticas como ondas de luz, apenas com comprimento de onda mais longo, o que induziu a existência de ondas eletromagnéticas que resultou a uma explosão de experimentação com essa nova forma de radiação eletromagnética, que foi chamada de "ondas hertzianas" até por volta de 1910, quando o termo "ondas de rádio" se tornou corrente [37].

Desde Newton e Huygens existia uma disputa entre duas teorias distintas para explicar os fenômenos ópticos e sobre a natureza da luz. Enquanto que a teoria corpuscular de Newton e seus antecessores explicava bem alguns fenômenos, como reflexão, a teoria ondulatória explicava outros fenômenos, como a difração. A teoria corpuscular foi dominante por um bom tempo até que a teoria ondulatória ganhou força com os experimentos de Young e as conclusões de Maxwell. Porém, no início do século XX surgiram novos dados experimentais que não eram condizentes com o eletromagnetismo clássico, sendo necessária uma nova reformulação na física [25].

#### **1.4 A LUZ COMO FÓTONS: DUALIDADE ONDA-PARTÍCULA**

Em 1894, Planck voltou sua atenção para o problema da emissão de radiação de corpo negro e a partir de suas conclusões a física foi transformada, surge a mecânica quântica. O problema da emissão de radiação de corpo negro foi proposto inicialmente por Kirchhoff em 1859:

como a intensidade da radiação eletromagnética emitida por um corpo negro (um absorvedor perfeito, também conhecido como radiador de cavidade) depende da frequência da radiação (ou seja, da cor da luz) e da temperatura do corpo?[13]

Por volta de 1894, Planck iniciou seu estudo sobre a emissão de radiação de corpo negro. De acordo com o eletromagnetismo clássico, a energia emitida por um

corpo negro deveria ser proporcional ao quadrado da frequência. Assim, na medida que consideramos frequências mais altas, perde-se o limite para a energia emitida. Sabemos que energia infinita não pode existir dentro das leis da física que conhecemos hoje. Para contornar esse problema, Planck utilizou a mecânica estatística de Boltzmann em conjunto com suas teorias iniciais para explicar de forma satisfatória os dados experimentais da emissão de radiação de corpo negro. Porém, essa explicação exigia que a energia fosse quantizada. Planck chamou isso de um:

ato de desespero, eu estava pronto para sacrificar qualquer uma das minhas convicções anteriores sobre física [13].

Em 1905, Einstein voltou seus estudos para o efeito fotoelétrico, que foi observado e registrado por Heinrich Hertz em 1887 e por Philipp Lenard em 1902. Até então, a teoria eletromagnética de Maxwell era a mais adequada para explicar os fenômenos elétricos da luz, tratando não somente dos conceitos acerca da natureza da luz mas também os descrevendo matematicamente. Porém, os fenômenos observados por Hertz, que ficaram conhecidos como efeito fotoelétrico, não poderiam ser explicados pelo eletromagnetismo clássico.

O efeito fotoelétrico consiste na incidência de luz sobre uma superfície metálica onde há emissão de elétrons. As previsões feitas pelo eletromagnetismo clássico diziam que a interação entre a luz e o elétron dos átomos da superfície acontece de forma contínua. Isto é, o elétron receberia energia do fóton até que absorvesse energia o suficiente para se desprender do material, levando um certo tempo para que a emissão ocorresse. Outra consequência é que o efeito ocorreria independentemente da frequência da luz emitida, frequências mais baixas levariam mais tempo para causar emissão de elétrons do que frequências mais altas, por terem menos energia. Entretanto, o observado experimentalmente era que a emissão de elétrons dependia do material da superfície: existe uma frequência mínima para que haja emissão de elétrons, e essa frequência mínima é conhecida como frequência de corte, que varia de material para material. Outra observação é que acima da frequência de corte, a emissão dos elétrons causados pela luz era instantânea [28].

Foi assim que Einstein baseou-se na quantização de energia de Planck para

explicar o efeito fotoelétrico. Assim como Planck teorizou que a energia se dá em quantidades discretas, Einstein propôs que a luz fosse quantizada: a luz transfere sua energia em quantidades bem definidas, proporcionais a sua frequência. Ele chamou esse efeito de quantum de luz e mais tarde esse termo se transformou em fóton [29].

Em 1923, Compton observou os efeitos que mais tarde seriam referidos como espalhamento Compton. De acordo com a teoria clássica, se uma luz interage com um elétron, sua frequência deve permanecer constante. Porém as observações de Compton apontavam que a frequência da luz mudava após interagir com o elétron. Para entender o fenômeno, Compton considerou que a interação entre a luz e o elétron se dá como uma colisão de partículas [27]. Assim como Planck, ele considerou que a energia do fóton de luz é dependente de sua frequência. Esse experimento é importante pois reforça que a luz não pode ser tratada puramente como onda [12].

Em 1924, de Broglie propôs uma relação entre duas teorias que até então pareciam incompatíveis. Ele teorizou que toda a natureza se comporta como onda e relacionou o comprimento de onda com o momento linear, sendo conhecida como relação de de Broglie. Essa hipótese levantada foi confirmada mais tarde por um experimento na Universidade de Aberdeen, feito por Thomson, no qual elétrons passavam por um filme fino de metal e se observavam padrões de interferência [07].

A partir dessas novas ideias que tinham surgido, Peter Debye disse que se as partículas se comportam como ondas, elas deveriam satisfazer algum tipo de equação de onda. Então, Schrödinger decide encontrar uma equação de onda tridimensional adequada para descrever o comportamento do elétron. A equação que ficou historicamente conhecida como equação de Schrödinger descreve corretamente o espectro do átomo de hidrogênio, porém trazia um conceito fundamental e novo: a dualidade onda-partícula [22]. O jeito mais fácil de entender a dualidade onda-partícula é por meio do ensaio mental proposto por Schödinger. Imagine que exista uma caixa fechada com uma gato e um material radioativo dentro. O material radioativo tem uma probabilidade de decair, podendo matar o gato. Porém pode ser que o material não decaia e o gato continue vivo. O único jeito de saber qual das situações acontece é abrindo a caixa. Enquanto não há interferência do experimentador, o gato está em um estado duplo vivo e morto. Algo



semelhante acontece com a natureza nesse modelo, tomando os elétrons como exemplo: eles estão em um estado de sobreposição entre onda e partícula, e os tipos de interações com o elétron dizem em qual comportamento o mesmo colapsa [21].

Após milhares de anos de discussão sobre a natureza da luz chega-se a uma proposta que a luz se comporta como onda-partícula. O surgimento da mecânica quântica vem da necessidade de explicar fenômenos que envolvem partículas muito pequenas. Em determinado limite, os efeitos quânticos não são observados e o eletromagnetismo clássico é o suficiente para descrever os fenômenos ópticos da luz [48].

## **CAPÍTULO 2 - A LUZ E O ENSINO DE FÍSICA**

Neste capítulo são apresentadas e discutidas as bases teóricas entre a história, a filosofia e o ensino de ciências que podem ser problematizados e explorados no ensino de Física.

### **2.1 ASPECTOS DA NATUREZA DA CIÊNCIA**

Sua utilização tem sido considerada por muitos autores como um recurso metodológico que visa ao processo de ensino/aprendizagem de ciências, de modo a contribuir na formação científica básica, pois ao trazer episódios históricos para a sala de aula, este aproxima os alunos a alfabetização científica, no qual contribui para o entendimento de como a ciência evoluiu ao passar do tempo [02].

Na Física, a utilização desse recurso pode ser ainda mais vantajosa para os estudantes, uma vez que a principal queixa está relacionada à complexidade de seus conteúdos e a dificuldade em compreendê-los. Apesar da grande importância de uso, ainda há uma carência muito grande de livros, principalmente em língua portuguesa, que exemplifiquem seu uso. Quando encontramos nos livros didáticos, em geral, a ciência é apresentada de forma linear, dogmática e sem mencionar retrocessos [23].

No momento em que essa adaptação é realizada para o ambiente escolar, várias distorções podem ocorrer levando o leitor a crer que a ciência é uma

produtora de verdades absolutas. Por isso, devemos tomar muito cuidado com esse tipo de material, para garantir o uso adequado dos recursos históricos no ensino de Ciências [18].

Nas últimas décadas, pesquisas têm sido realizadas com professores, com o intuito de verificar se estes possuem uma noção adequada sobre a ciência, contando com participantes na ativa ou na fase final de formação . As pesquisas revelaram que habitualmente os educadores têm uma concepção empírico-indutivista da ciência. Podemos inferir que a ciência é mal compreendida por uma parcela de professores, fato este que está relacionado a sua formação inicial e continuada que ignoram ou pouco se explora os episódios históricos e natureza da ciência (NDC) . Outro fator é devido a simplificação e uma visão distorcida que leva o leitor a cometer erros conceituais. A partir do estudo da NDC, almeja-se não apenas discutir só ciência, mas também sobre ciência [24].

Ao analisarmos a Base Nacional Comum Curricular (BNCC), documento este caráter normativo conforme determinado pela Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional Lei de nº 9.394/1996, determina as competências gerais e específicas, as habilidades e as aprendizagens essenciais ao longo das etapas e modalidades da Educação Básica. Na área de Ciências da Natureza, que engloba as disciplinas de Física, Biologia e Química, a BNCC enfatiza a importância da contextualização na apropriação do conhecimento no ensino de ciências. O aluno deve aprender, além de conhecimentos científicos, sobre as dimensões ética, social, histórica e filosófica da ciência. [3-5].

Na mesma direção, a contextualização histórica não se ocupa apenas da menção a nomes de cientistas e a datas da história da Ciência, mas de apresentar os conhecimentos científicos como construções socialmente produzidas, com seus impasses e contradições, influenciando e sendo influenciadas por condições políticas, econômicas, tecnológicas, ambientais e sociais de cada local, época e cultura [5].

E

Ainda com relação à contextualização histórica, propõe-se, por exemplo, a comparação de distintas explicações científicas propostas em diferentes épocas e culturas e o reconhecimento dos limites explicativos das ciências,

criando oportunidades para que os estudantes compreendam a dinâmica da construção do conhecimento científico [5].

Para a formação de alunos e professores mais críticos e integrados à realidade em que os cercam é indispensável uma boa compreensão sobre a natureza da ciência. As discussões sobre a NDC vem ganhando destaque nas políticas governamentais e nas pesquisas acadêmicas. Para se discutir tais aspectos no ensino, a literatura tem dado destaque à abordagem envolvendo a história e filosofia da ciência que tem como finalidade promover uma melhor compreensão da natureza da Ciência, a partir de estudos historiográficos [11].

## **2.2 USO DA HISTÓRIA E FILOSOFIA DA CIÊNCIA EM SALA DE AULA**

Ainda trazendo à tona a importância da História e Filosofia da ciência (HFC) para a prática pedagógica, os autores Silva e Martins argumentam que a teoria das cores proposta por Newton em 1672 é um excelente exemplo de como a história da ciência pode ser usada no ensino de ciências para discutir a complexidade do trabalho científico. Nesta publicação Newton, apresenta seu conceito de que a luz é uma mistura heterogênea de raios com diferentes refrangibilidades e também vários experimentos para corroborar sua teoria além de argumentos epistemológicos. Todavia os livros-texto não evidenciam as argumentações de Newton nem mesmo a possibilidade de haver outras interpretações para o experimento. Ao apresentar um ou dois experimentos como evidência para a teoria de Newton de composição da luz branca, a interpretação do método científico presente nesses textos está em desacordo com o conhecimento histórico e filosófico, pois foram necessários outros argumentos para chegarmos à teoria de Newton, além dos resultados experimentais [23].

O método científico deve ser usado no ensino como uma ferramenta de aprendizagem, compreendendo sua importância e seu papel na aquisição de um comportamento crítico e reflexivo, priorizando no contexto acadêmico o mais precoce possível, para que os alunos aprendam pela descoberta o que significaria um salto qualitativo no ensino de ciências. A HFC quando utilizada com um mecanismo didático age com instrumento motivacional e constrói uma visão crítica

dos alunos. Há muitas formas de se utilizar a HFC como elemento de ensino de ciências. Neste estudo nosso foco será na construção do conhecimento acerca da natureza da luz, enfatizando algumas das teorias científicas, conceitos e a relação entre ciência e o contexto social [2].

Com o propósito de investigar a forma que podemos fazer a inserção de questões históricas a partir de discussões de diversos temas da NDC, Martins (2015), apresenta os temas em dois grandes eixos principais: sociológico, histórico e epistemológico. Dentro do eixo sociológico e histórico, podemos destacar alguns exemplos da NDC, conforme a tabela 1.

**Tabela 1.** Propostas para abordagens da NDC.

Eixo		
	Sociológico e Histórico	Epistemológico
Exemplos sobre a NDC	Papel dos indivíduos/sujeitos e da comunidade científica; Questões morais, éticas e políticas; A ciência como parte de uma cultura mais ampla (cultura científica/pressupostos); epistemológicos do período; Comunicação do conhecimento científico dentro da comunidade científica e em domínio público; Controvérsias históricas e contemporâneas na ciência.	Papel da observação, experimentação, lógica, argumentos racionais e pensamento teórico; Influências teóricas sobre observações e experiências; Observação e interferência; Hipóteses, previsões e testes; Avaliação de teorias; Papel das analogias; Visão do senso comum sobre o método científico (sequência passo-a-passo): Poder de limitações do conhecimento científico.

Oliveira (2010), complementa com dois novos temas da NDC, que não foram pontuados por Martins (2015), são eles: conexão entre áreas da ciência e atividades profissionais.

## **CAPÍTULO 3 - A EXPERIMENTAÇÃO NO ENSINO DE FÍSICA**

Neste capítulo será abordado a importância da experimentação no ensino de física de modo a permitir que o aluno se desenvolva a partir de atividades investigativas propostas pelo professor, com o intuito de ampliar a capacidade de resolver problemas, compreender conceitos básicos e desenvolver habilidades, assim como os desafios que surgiram no decorrer desta prática.

### **3.1 AS PRÁTICAS EXPERIMENTAIS NO ENSINO DE FÍSICA**

A aplicação das atividades práticas no ensino de Física estão presentes desde o século XIX nos currículos escolares, com o intuito de promover aos alunos um contato mais próximo com fenômenos físicos. No entanto, apesar do tempo de implementação das práticas, em muitos casos o docente não tem familiaridade com a prática. Podemos destacar algumas importantes contribuições das atividades experimentais no ensino de Ciências, segundo Oliveira (2010):

1. Para motivar e despertar a atenção dos alunos;
2. Para desenvolver a capacidade de trabalhar em grupo;
3. Para desenvolver a iniciativa pessoal e a tomada de decisão;
4. Para estimular a criatividade;
5. Para aprimorar a capacidade de observação e registro de informações;
6. Para aprender a analisar dados e propor hipóteses para os fenômenos;
7. Para aprender conceitos científicos;
8. Para detectar e corrigir erros conceituais dos alunos;
9. Para compreender a natureza da ciência e o papel do cientista em uma investigação;
10. Para compreender as relações entre ciência, tecnologia e sociedade.

A experimentação no ensino de ciências, mais especificamente no ensino de Física é uma prática de grande relevância devido às contribuições das mudanças metodológicas que oferece aos alunos não só experiências, mas também ideias e conceitos científicos, propiciando ao estudante o pensamento e a cultura científica [6]. De acordo com a BNCC, as práticas de investigação merecem um destaque especial.

Portanto, a dimensão investigativa das Ciências da Natureza deve ser enfatizada no Ensino Médio, aproximando os estudantes dos procedimentos e instrumentos de investigação, tais como: identificar problemas, formular questões, identificar informações ou variáveis relevantes, propor e testar hipóteses, elaborar argumentos e explicações, escolher e utilizar instrumentos de medida, planejar e realizar atividades experimentais e pesquisas de campo, relatar, avaliar e comunicar conclusões e desenvolver ações de intervenção, a partir da análise de dados e informações sobre as temáticas da área.

A abordagem investigativa deve promover o protagonismo dos estudantes na aprendizagem e na aplicação de processos, práticas e procedimentos, a partir dos quais o conhecimento científico e tecnológico é produzido. Nessa etapa da escolarização, ela deve ser desencadeada a partir de desafios e problemas abertos e contextualizados, para estimular a curiosidade e a criatividade na elaboração de procedimentos e na busca de soluções de natureza teórica e/ou experimental. Dessa maneira, intensificam-se o diálogo com o mundo real e as possibilidades de análises e de intervenções em contextos mais amplos e complexos, como no caso das matrizes energéticas e dos processos industriais, em que são indispensáveis os conhecimentos científicos, tais como os tipos e as transformações de energia, e as propriedades dos materiais. Vale a pena ressaltar que, mais importante do que adquirir as informações em si, é aprender como obtê-las, como produzi-las e como analisá-las criticamente [5].

Desse modo, as aulas experimentais auxiliam na assimilação dos conteúdos com as teorias abordadas, podendo ser aplicadas em sala de aula ou em laboratórios. A experimentação vem sendo muito amplamente discutida nas últimas décadas, indicada como um recurso em potencial no desenvolvimento de saberes conceituais.

### **3.2 O PAPEL DO ALUNO E DO PROFESSOR EM AULAS DE LABORATÓRIO**

O uso efetivo da experimentação só ocorre com uma resignificação do papel do professor e do aluno. As aulas de laboratório podem ser realizadas em sala de

aula para fugir do ensino tradicional. Uma aula tradicional tem como característica alunos passivos que recebem e absorvem o conteúdo transmitido pelo professor. O professor tem como papel o detentor de todo o conhecimento e autoridade em sala de aula. Esse é o método de ensino mais abrangente nas escolas brasileiras embora todas as correntes pedagógicas discordem de seus métodos [43].

Para introduzir as práticas experimentais de forma adequada, as estratégias adotadas pelo professor devem ser bem planejadas. O problema proposto pelo professor deve ficar claro aos alunos. Esse é o primeiro ponto a ser destacado nas ações do professor na realização dos experimentos. O professor deve repetir e reformular o problema até que todos os alunos sejam capazes de compreender o que se pede [44].

Em um laboratório investigativo o papel do professor é observar os caminhos e discussões tomadas pelos alunos. Nesse contexto, o professor tem um papel de orientador semelhante ao construtivismo. O processo construtivista vem dessas concepções de Piaget, que prioriza a ação do sujeito sobre o objeto de conhecimento. Dessa forma, o conhecimento se estabelece por meio da criação de esquemas e da modificação dos mesmo. Para que o sujeito modifique essas estruturas o mesmo deve ser ativo em seu processo de aprendizado. A experimentação, quando realizada de forma correta, coloca o aluno nesse papel ativo, proporcionando situações em que ele pode formular hipóteses acerca dos fenômenos observados e extrapolar para outras situações em seu cotidiano [45]. O professor nesse contexto perde seu papel de transmissor de conteúdo e passa a ser apenas um orientador. Tem o papel de avaliar e instruir os alunos, dando nortes a serem seguidos, sugerindo materiais de estudo, dando motivação e organizando o processo. Cabe ao professor guiar os alunos durante a prática experimental sem tornar o processo puramente demonstrativo e indutivista [46].

No caso de um experimento demonstrativo, o professor tem como objetivo fazer com que os alunos possam comparar os fenômenos estudados com o observado experimentalmente, para que os alunos possam, a partir disso, tomar suas conclusões a respeito do fenômeno [44].

Outro passo importante é que o professor saiba levantar questionamentos

corretos que auxiliem nos processos de metacognição: o que vocês estavam pretendendo? O que fizeram? Quais foram as evidências? Como suas ideias se modificam? O que esses procedimentos têm em comum? Os alunos devem expor oralmente suas ideias para estimular a discussão em grupo e a formalização dos conteúdos explorados. A escrita e formulação de um relatório contando as experiências que os alunos tiveram, suas ideias e hipóteses ajuda no processo de internalização dos conteúdos, levando a uma aprendizagem mais significativa [44].

### **3.3 PROBLEMAS ENFRENTADOS NAS ATIVIDADES EXPERIMENTAIS**

No ensino tradicional, as atividades experimentais frequentemente surgem de forma inadequada, reforçando uma visão empírico-indutivista. Essa é caracterizada pela impressão de que o processo de observação dos eventos é neutro e isento da influência dos conhecimentos prévios dos alunos. Assim, espera-se que os alunos sejam capazes de aprender pela simples indução dos experimentos e síntese dos fenômenos observados. No ramo da óptica se torna ainda mais difícil a prática experimental como uma ferramenta construtivista. Podemos utilizar essa prática principalmente para explorar o funcionamento de diversos aparelhos e invenções que conhecemos hoje [46].

A prática experimental no ensino básico brasileiro depende fundamentalmente da estrutura das escolas. Muitas vezes a falta de investimento em educação acarreta em laboratórios com poucos equipamentos e/ou equipamentos de baixa qualidade. Uma alternativa aos laboratórios didáticos são os experimentos de baixo custo [6].

Outro problema está na estruturação da grade curricular, a qual prevê o estudo de diversos conteúdos, mas sem disponibilizar o tempo necessário para realização das atividades. A prática experimental demanda mais tempo de aula para ser aplicada, tornando inviável o seu uso sistemático no ensino. Assim, o professor deve tomar o cuidado de selecionar atividades experimentais investigativas quando possível sem tomar muito o tempo disponível. Quando não houver tempo para realização das atividades investigativas, uma alternativa se torna os experimentos



demonstrativos [44].

As aulas que utilizam a prática experimental como ferramenta de ensino demandam também uma mudança de postura e preparo do professor. Muitas vezes a falta de capacitação e formação continuada desses professores atrapalha o processo de ensino. Esses professores foram expostos ao ensino tradicional durante sua vida como aluno e como professor em formação, sendo difícil quebrar a tendência tradicionalista nas aulas dos mesmos. O material selecionado como base para o desenvolvimento experimental tem papel fundamental no entendimento dos alunos. O nível de desenvolvimento das atividades deve ser coerente com o nível dos alunos. As atividades não podem ser simples demais pois não geram desafios a serem alcançados mas também não podem ser muito complexas a ponto do aluno não entender nada do processo [44].

### **3.4 ATIVIDADES INVESTIGATIVAS DE BAIXOS CUSTO NO CAMPO DA ÓPTICA**

A partir do uso de materiais de baixo custo e de fácil acesso, procurou-se selecionar experimentos sobre a Óptica, sempre tomando a HFC, em um ensino de física por investigação como recurso instrucional e problematizador para a aprendizagem significativa.

Como proposta de investigação foi selecionado um pequeno texto a respeito dos fenômenos abordados no experimento. Cada texto foi extraído de uma fonte confiável e tem como objetivo trazer o contexto histórico acerca da investigação realizada. A contextualização mostra que o processo de construção do conhecimento científico acontece de forma gradual e coletiva, passando por várias transformações ao decorrer dos anos até encontrar uma teoria que melhor descreva os fenômenos observados. Os textos que acompanham os experimentos devem ser preferencialmente lidos pelos alunos em horário extracurricular e discutido entre os alunos e professor em sala de aula. Assim o experimento vem com o objetivo de instigar o aluno a investigar sobre o conteúdo discutido. O roteiro experimental, assim como o texto de apoio se encontram no apêndice A deste trabalho.

Além da proposta da realização de um experimento sobre a composição das cores, foi proposto um jogo que estuda a evolução do pensamento acerca da

natureza da luz. O jogo “Natureza da Luz” consiste em relacionar as vertentes para a natureza da luz: corpuscular, ondulatória e dualidade onda-partícula, com conceitos ópticos ou personagens históricos que corroboram com os princípios de sua categoria. Por exemplo, Aristóteles acreditava que a luz era um fluido imaterial que se propagava entre os olhos e o objeto visto. Embora, em sua época, não existia o conceito de onda que conhecemos hoje, sua descrição mais se parece com os conceitos empregados pela natureza ondulatória da luz. A atividade deve ser realizada preferencialmente em grupos pequenos, de três pessoas, para que haja discussões; O jogo é colaborativo e todos os participantes devem colaborar para encontrar a solução. O objetivo é que os participantes entendam a evolução dos conceitos sobre a óptica no decorrer da história da ciência. As cartas com pessoas são compostas por uma foto, nome, período em que viveu e uma pequena biografia sobre o cientista em questão. Algumas cartas trazem conceitos sobre óptica que podem ser explicados utilizando a visão de uma das vertentes. Os jogadores devem associar as cartas levando isso em consideração. O material para impressão encontra-se também no Apêndice A.

É esperado que os alunos possam associar corretamente as cartas depois de uma introdução histórica feita pelo professor. O jogo ajuda o processo do aprendizado de conhecimentos factuais e de reflexão sobre o contexto histórico por trás das teorias científicas. Como resposta correta do jogo foram consideradas as associações:

- Corpuscular: Empédocles, Platão, Pitágoras, Euclides, Galileu Galilei, Isaac Newton, Al-Haytham, Lucretius, Reflexão.
- Ondulatória: Aristóteles, Christiaan Huygens, Thomas Young, James C. Maxwell, Heinrich Hertz, Robert Grosseteste, Willebrord Snellius, René Descartes, Pierre de Fermat, Francesco Maria Grimaldi, Robert Hooke, Augustin-Jean Fresnel, Jean Bernard Foucault, Albert Michelson, Edward W. Morley, Difração, Interferência, Polarização e Independência dos raios luminosos.
- Dualidade Onda-partícula: Einstein, de Broglie, Efeito Fotoelétrico, Efeito Compton e Relação de de Broglie.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Ao descrever, resumidamente, algumas das discussões acerca da natureza da luz ao longo da história, notou-se sua complexidade no processo de buscar compreender os episódios históricos tão ricos de informações e permeados por diversos conflitos e controvérsias.

Esse estudo exibiu a possibilidade de se trabalhar diversos temas da NDC, a partir da abordagem HFC como ferramenta didática, no processo de desenvolvimento do conhecimento científico, que podem ser problematizados pelo professor no ensino de física em concordância com a BNCC.

Portanto, essas discussões contidas nos episódios históricos podem servir como suporte para trabalhar diversos aspectos da NDC no ensino, permitindo discutir as concepções epistemológicas sobre a ciência e não apenas na apresentação de datas e nomes, sem a devida contextualização histórica a fim de se superar as concepções empírico-indutivista assim como o papel do professor como simples transmissor de conteúdos sem significados de modo a transpor o dogmatismo geralmente presente no ensino de ciências.

## REFERÊNCIAS

- [01] ALMEIDA, Nelson Cosme, BEZERRA, Maria Emília Barreto. **Breve análise das concepções históricas sobre a Natureza da Luz**. Publicado em: VII CONNEPI, 2022.
- [02] AZEVEDO, Jacson Santos; JÚNIOR, Francisco Nairon Monteiro. **As disputas acerca da natureza da luz: o uso da História e Filosofia da Ciência para aprendizagem significativa no ensino de Física**. Meangingful Learning Review, 2019.
- [03] BRASIL. **Parâmetros curriculares nacionais para o Ensino Médio**. Parte III - Ciências da natureza, matemática e suas tecnologias, DF: MEC/SEF, 1999.
- [04] BRASIL. **Diretrizes Nacionais Curriculares para os Cursos de Física**. Brasília, DF: MEC/SEF, 2001.
- [05] BRASIL. **Base Nacional Comum Curricular - Ensino Médio - BNCC**. Brasília, DF: Ministério da educação, 2018.
- [06] CARVALHO, Anna Maria Pessoa. **As práticas experimentais no ensino de Física. Ensino de Física**. Coleção ideias em ação. São Paulo: Cengage Learning, 2010. p.53-78.

- [07] DE BROGLIE, L. *Annales de Physique*, 1925.
- [08] DOBBS, J.T. **Newton's Alchemy and His Theory of Matter**. *Isis*. 73 (4): 523. 1982.
- [09] **Durant Will, Story of civilization**. The Life of Greece. Vol 2, editora Simon & Shustler.
- [10] ZALTA, Edward N. **Empédocles**. Disponível em: <https://plato.stanford.edu/entries/empedocles/> Acesso em 28/03/2022 às 20:05.
- [11] FORATO, T. C. M. **A natureza da ciência como saber escolar: um estudo de caso a partir da história da luz**. 2009. 200f . Tese (Doutorado em educação) - Faculdade de Educação, Universidade São Paulo, São Paulo.
- [12] GRIFFITHS, David (1987). **Introduction to Elementary Particles**. Wiley. pp. 15, 91.
- [13] **Helge Kragh, Max Planck: the reluctant revolutionary Archived**. Wayback Machine, Physics World. December 2000.
- [14] HUYGENS, Christiaan; Roberto de A. Martins. **Tratado sobre a luz**. Centro de Lógica, Epistemologia e História da Ciência, UNICAMP, 1986.
- [15] **Light through the ages: Ancient Greece to Maxwell**. Disponível em: [https://web.archive.org/web/20170319180859/http://www-groups.dcs.st-and.ac.uk/history/HistTopics/Light\\_1.html](https://web.archive.org/web/20170319180859/http://www-groups.dcs.st-and.ac.uk/history/HistTopics/Light_1.html). Acesso em 28/03/2022 às 20:30.
- [16] Lucretius, *De rerum natura*. 99 aC – 55 aC.
- [17] NEWTON, Isaac. **The Optical Papers of Isaac Newton**: Volume 1, The Optical Lectures 1670-1672. Vol. 1. Cambridge University Press, 1984.
- [18] PIETROCOLA, Maurício. **A transposição da física moderna e contemporânea para o ensino médio: superando obstáculos epistemológicos e didático-pedagógicos**. Pp. 159-180, in BORGES, Regina. *Propostas Interativas na Educação Científica e Tecnológica*. Porto Alegre: EDUC, 2008.
- [19] PIRES, Carlos Eduardo de Moreira, ALMEIDA, Lara de, COELHO, Alexander Brilhante. **Microscopia: Contexto Histórico, Técnicas e Procedimentos para Observação de Amostras Biológicas**. Érica, 2014.
- [20] **Ptolemy's Theory of Visual Perception: An English Translation of the Optics with Introduction and Commentary**. Diane Publishing. p. 23.
- [21] Sakurai, Jun John, and Eugene D. Commins. **Modern quantum mechanics, revised edition**. (1995): 93-95.
- [22] Schrödinger, Erwin (1982). **Collected Papers on Wave Mechanics** (3rd ed.). American Mathematical Society.

- [23] SILVA, Cibelle C; MARTINS, Roberto de Andrade. **A Teoria das Cores de Newton: um exemplo do uso da História da Ciência em Sala de aula** - Ciência & Educação, vol. 9, n. 1, p. 53-65, 2003 .
- [24] SILVA, Cibelle C; MOURA, Breno A. **A natureza da ciência por meio do estudo de episódios históricos: o caso da popularização da óptica newtoniana**. Instituto de São Carlos, São Paulo, 2007.
- [25] SILVA, Fabio WO. **A evolução da teoria ondulatória da luz e os livros didáticos**. Revista Brasileira de Ensino de Física 29 (2007): 149-159.
- [26] OLIVEIRA, Jane Raquel Silva. **Contribuições e abordagens das atividades experimentais no ensino de ciências: reunindo elementos para a prática docente**, 2010.
- [27] CHISTILLIN P. (1986). **Nuclear Compton scattering**. J. Phys. G: Nucl. Phys. 12 (9): 837–851.
- [28] ZHANG, Q (1996). **Intensity dependence of the photoelectric effect induced by a circularly polarized laser beam**. Physics Letters A. 216 (1–5): 125–128.
- [29] LAMB, Willis E.; SCULLY, Marlan O. **The photoelectric effect without photons**. 1968.
- [30] WESTFALL, Richard S. (1983) [1980]. **Never at Rest: A Biography of Isaac Newton**. Cambridge: Cambridge University Press. p. 530–531.
- [31] O'CONNOR, J.J.; ROBERTSON, E.F. (November 1997). "**James Clerk Maxwell**". **School of Mathematical and Computational Sciences University of St Andrews**. Retrieved 19 June 2021.
- [32] "Year 13 – 1873: **A Treatise on Electricity and Magnetism by James Clerk Maxwell**". MIT Libraries.
- [33] NAHIN, Paul J. **Oliver Heaviside: The Life, Work, and Times of an Electrical Genius of the Victorian Age**. JHU Press. p. 109, 2002.
- [34] **Electromagnetic Waves**. University of Colorado.
- [35] MAXWELL, James Clerk (1865). **A dynamical theory of the electromagnetic field**. Philosophical Transactions of the Royal Society of London. 155: 459–512.
- [36] PIERCE, George Washington (1910). **Principles of Wireless Telegraphy**. New York: McGraw-Hill Book Co. pp. 51–55.
- [37] **The Nobel Prize in Physics 1909**. Nobel Foundation. Retrieved 18 January 2019.
- [38] **A história do eletromagnetismo**. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=EOrQnKL9lxY>.

[39] BAGNATO, Vanderlei S; PRATAVIEIRA, Sebastião. **Luz para o progresso do conhecimento e suporte da vida.** 2015.

[40] OSTERMANN, Fernanda; PRADO, Sandra Denise; RICC, Trieste S. F. **Investigando a aprendizagem de professores de física acerca do fenômeno da interferência quântica.** 2008.

[41] **Fábrica De Arco-Íris.** Disponível em: <https://www2.fc.unesp.br/experimentosdefisica/opt11.htm>. Acesso dia 23/03/2022 às 18:05.

[42] **Disco de Newton.** Disponível em: <https://www.ufjf.br/fisicaecidadania/aprendendo-e-ensinando/brincando-com-a-fisica/disco-de-newton/>. Acesso dia 23/03/2022 às 18:27.

[43] S. L. Vieira, “**A educação nas constituições brasileiras: texto e contexto,**” R. bras. Est. pedag., vol. 88, no. 219, 2007.

[44] A. M. P. de Carvalho. **Ensino de Física.** Cengage Learning, 2010- Coleção Ideias em Ação.

[45] A. Zabala, **A prática educativa : Como ensinar.** ARTMED EDITORA S.A., 1ª ed.

[46] F. Rezende, **As novas tecnologias na prática pedagógica sob a perspectiva construtivista,** ENSAIO – Pesquisa em Educação em Ciências, vol. 02, no. 1, 2002.

[47] Martins, Roberto de Andrade. **Ensaio sobre História e Filosofia das Ciências I.** 2021.

[48] ROCHA, José Fernando. **Origens e evolução das idéias da física.** Salvador, 2002.

## APÊNDICE A

No Apêndice A é possível encontrar o roteiro experimental proposto. Nele, tem-se um pequeno texto introdutório para leitura dos alunos e dois experimentos relacionados ao texto. Por último, encontra-se o material a respeito do jogo proposto “Natureza da Luz”.

### **DECOMPOSIÇÃO DA LUZ BRANCA**

#### **Texto Introdutório:**

Newton propôs que a luz é uma mistura heterogênea de raios de diferentes refrangibilidades. Para corroborar sua ideia ele propôs um experimento que consistia em um buraco na parede que deixava um feixe de luz solar passar por um prisma que refrata a luz até um anteparo. Ele notou que a mancha formada na parede não tinha formato circular, ela era mais espalhada. Para explicar isso, ele assumiu que a luz branca era formada por vários raios que seriam refratados em direção diferente associados a uma cor: [18]

*Os Raios menos refrangíveis são dispostos a exibir a cor Vermelha, e [...] os Raios mais refrangíveis são todos dispostos a exibir uma Cor Violeta profunda [17].*

Tanto Newton como outros cientistas tentaram explicar os fenômenos observados de outras formas. Newton testou diversas variáveis que poderiam estar envolvidas com o fenômeno como: espessura do prisma, tamanho do buraco da janela, ou pela localização do prisma. Em todos os casos a mancha permanecia alongada. Após eliminar várias alternativas com uma série de experimentos, Newton propôs o que ele chamou de *Experimentum Crucis*. Existiam algumas hipóteses alternativas, como a ideia de que o prisma produz cores. Ou seja, quando a luz branca passa pelo prisma ela muda de cor, pois o prisma dá essa cor a ela. Com o *Experimentum Crucis* seria possível verificar se as cores poderiam ser criadas ou transformadas [18].

Para estudar o fenômeno Newton utilizou duas primas, uma lente e dois anteparos. A montagem consiste em um furo na parede por onde pode passar um

feixe de luz do sol, que passa pelo primeiro prisma que dispersa a luz que é projetada no anteparo. Por fim, um furo no primeiro anteparo seleciona apenas uma cor do feixe projetado, fazendo com que passe um feixe de luz com uma cor específica pelo segundo prisma. Esse feixe é projetado no segundo anteparo. Newton notou que o segundo prisma não mudava a cor do feixe secundário, causando apenas uma pequena deflexão. Com esses resultados Newton foi capaz de propor que a luz é refratada de acordo com um índice de refração específico para da cor:

*[...] a verdadeira causa do comprimento da Imagem foi detectada não ser outra, senão que a Luz consiste em Raios diferentemente refrangíveis que, sem qualquer diferença em suas incidências, foram transmitidos em direção a diferentes partes da parede, de acordo com seus graus de refrangibilidade.[13]*

A proposta de relação entre a cor e a refrangibilidade da luz feita por Newton não causou grande discussão. Porém, a ideia de que a luz branca é composta pela junção de várias cores não era satisfatória para outros pensadores. Hooke defendia que a luz branca era um tipo simples de vibração não periódica e que a luz colorida era uma modificação na luz branca ao ser refratada [18].

No artigo de 1672, Newton utilizou lentes convergentes para juntar o feixe refratado pelo prisma, produzindo luz branca novamente. Porém, não foi mostrado que luz resultante era realmente igual a luz solar incidente. Hooke acreditava que o processo todo causava modificações na luz de forma que no final a luz branca formada não era igual a incidente. Porém, após discutir essas questões com Hooke e Huygens Newton percebeu que seria necessário tomar a decisão a partir de argumentos epistemológicos. Newton argumentou que não tinha justificativa em diferenciar a luz branca incidente da luz branca resultante se as duas apresentavam as mesmas propriedades físicas [18].



## **PARTE I**

### *Fábrica de arco-íris*

**Objetivo:** observar o fenômeno de decomposição da luz branca [41].

#### **Materiais:**

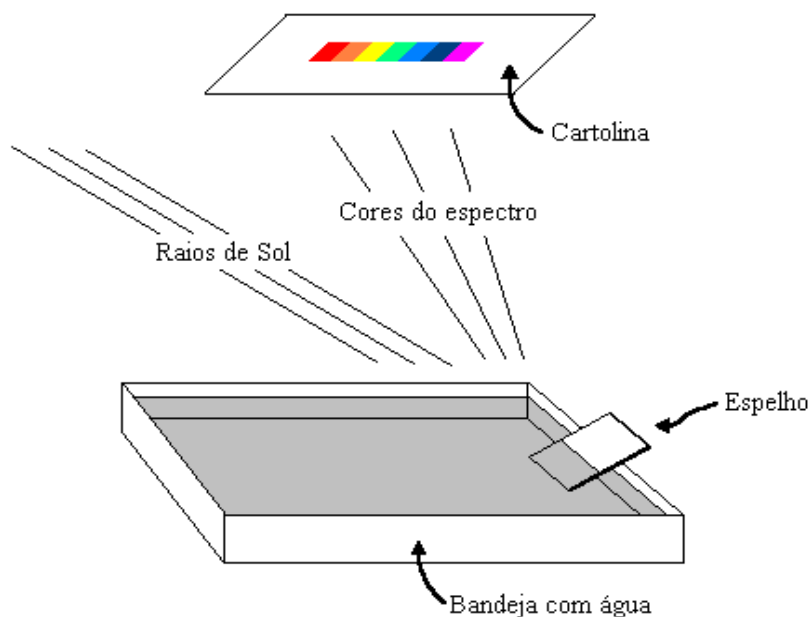
- Espelho;
- Assadeira ou bandeja funda;
- Água;
- e Cartolina branca ou cor clara.

#### **Montagem experimental:**

- Encha a assadeira de água;
- Coloque o espelho de forma inclinada dentro dela;
- Faça a luz do Sol incidir no espelho passando pela água e sendo refletida no anteparo.

\*Resultados melhores podem ser obtidos realizando o experimento em um local com pouca iluminação.

**Figura 4.1:** Fábrica de arco íris.



**Fonte:** Disponível em: <https://www2.fc.unesp.br/experimentosdefisica/opt11.htm>.

## **PARTE II**

### *Disco Cromático*

**Objetivo:** observar o fenômeno de composição da luz branca [42].

#### **Materiais:**

- Cartolina branca
- Marcadores ou tinta com as cores vermelho, laranja, amarelo, verde, azul claro, azul escuro e violeta
- Cola branca, tesoura sem ponta, régua, compasso e fita adesiva;
- Palito de churrasco ou lápis.

#### **Montagem experimental:**

- Faça um círculo na cartolina utilizando o compasso;
- Divida o círculo em sete triângulos iguais, semelhantemente a uma pizza;
- Pinte cada região com uma cor diferente;
- Faça um pequeno buraco no centro do círculo
- Fixe o palito de churrasco ou lápis no buraco para servir de apoio na hora de girar o círculo colorido;

**Figura. 4.2.** Disco de Newton.



**Fonte:** Disponível em:

<https://www.ufff.br/fisicaecidadania/aprendendo-e-ensinando/brincando-com-a-fisica/disco-de-newton/>.

# NATUREZA DA LUZ

## INSTRUÇÕES

Os jogadores devem se unir nesse jogo colaborativo sobre a história da luz. O objetivo do jogo é associar cada figura histórica e cada efeito óptico com as categorias: corpuscular, ondulatória e dualidade onda-partícula. Cada carta corresponde a algum fato histórico que corrobora com alguma das vertentes das categorias.

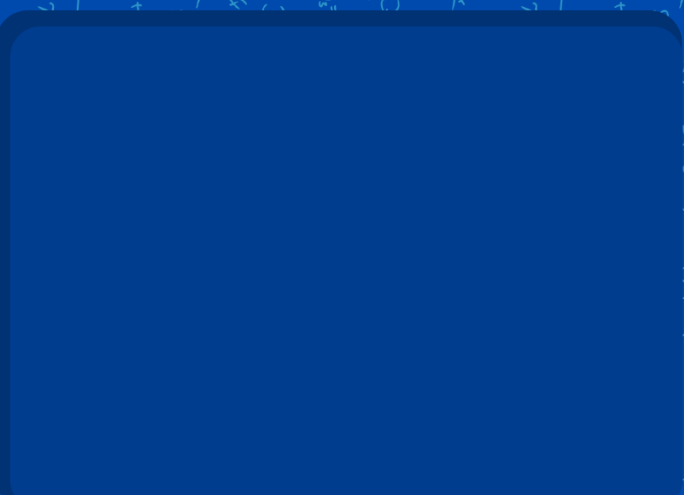
Arte: Mariana Casaroto

# NATUREZA DA LUZ

**CORPUSCULAR**



**ONDULATORIA**



**DUALIDADE  
ONDA-PARTÍCULA**





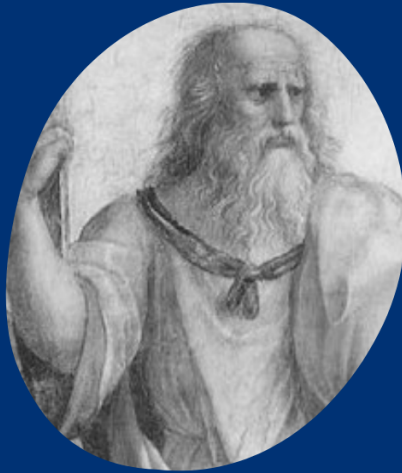
## EMPÉDOCLES

(494 - 434 a.C.)

Foi um filósofo e pensador pré-socrático grego e cidadão da Itália. É considerado o último filósofo grego a escrever em versos e os fragmentos que restam de suas lições estão em dois poemas: *Purificações* e *Sobre a Natureza*. É conhecido por ser o criador da teoria cosmogênica dos quatro elementos clássicos e utilizá-la para explicar o modo que exergamos.

**VELOCIDADE DA LUZ**

Finita



## PLATÃO

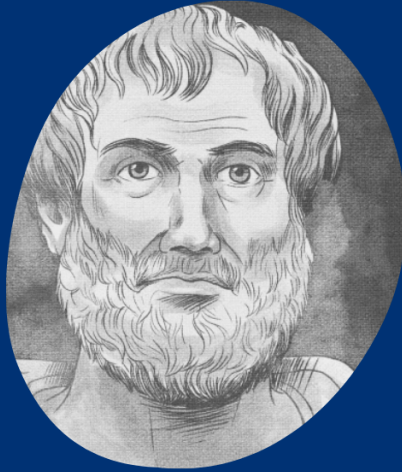
(348 - 347 a.C.)

Foi um filósofo e matemático do período clássico da Grécia Antiga. Foi fundador da Academia em Atenas, a primeira instituição de educação superior do mundo ocidental. Platão ajudou a construir os alicerces da filosofia natural, da ciência e da filosofia ocidental.

**VELOCIDADE DA LUZ**

Infinita





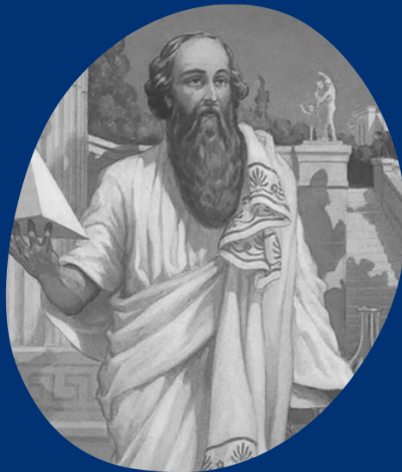
## ARISTÓTELES

(384 - 322 a.C.)

Foi um filósofo grego que viveu durante o período clássico na Grécia antiga. Juntamente com Platão e Sócrates, Aristóteles é visto como um dos fundadores da filosofia ocidental. Estudou diversos assuntos: a física, a metafísica, as leis da poesia e do drama, a música, a lógica, a retórica, o governo, a ética, a biologia, a linguística, a economia e a zoologia.

VELOCIDADE DA LUZ

Infinita



## PITÁGORAS

(580 - 500 a.C.)

Foi um filósofo e matemático grego jônico creditado como fundador do movimento chamado Pitagorismo. Na sua maioria, as informações sobre Pitágoras foram escritas séculos depois da sua morte, de modo que há pouca informação confiável sobre ele. Pitágoras foi creditado por: o teorema de Pitágoras, a afinação de Pitágoras, os cinco sólidos regulares, a Teoria das Proporções, a esfericidade da Terra e a identidade das estrelas da manhã e da noite como o planeta Vênus.

VELOCIDADE DA LUZ

Infinita



**EUCLIDES**

(300 a.C.)

Foi um professor, matemático platônico e escritor grego. Muitas vezes referido como o "Pai da Geometria". Além de sua principal obra, Os Elementos, Euclides também escreveu sobre perspectivas, seções cônicas, geometria esférica, teoria dos números e rigor. Euclides se notabilizou por sua capacidade de escrever e ensinar,

**VELOCIDADE DA LUZ**

Infinita



**LUCRETIVS**

(94 - 50 a.C.)

Foi um poeta e filósofo romano. Muito pouco se sabe sobre Lucretius. Seu único trabalho conhecido é o poema filosófico De rerum natura, uma obra didática sobre os princípios e a filosofia do epicurismo.

**VELOCIDADE DA LUZ**

Finita



**AL-HAYTHAM**

(965 - 1040)

Foi um matemático, físico e astrônomo persa. Referido como "o pai da óptica moderna", Ele fez contribuições significativas para os princípios da óptica, astronomia, mecânica, matemática e engenharia. Seu trabalho mais influente é intitulado "Livro de Óptica". Em meados do século XVIII, baseado em Al-Haytham, Vitelo estudou espelhos e refração da luz e escreveu suas descobertas em Perspectiva, que foi um texto padrão sobre óptica por vários séculos.

**VELOCIDADE DA LUZ**

Finita



**ISAAC NEWTON**

(1643 - 1727)

Foi um matemático, físico, astrônomo, teólogo e autor inglês. É amplamente reconhecido como um dos cientistas mais influentes de todos os tempos. Seus principais trabalhos estão relacionados com a óptica, mecânica e matemática. Desempenhou grande papel no estudo da natureza da luz, em especial sobre a decomposição das cores.

**VELOCIDADE DA LUZ**

Finita





**CHRISTIAAN HUYGENS**  
(1629- 1695)

Foi um matemático, físico, astrônomo e inventor holandês. É considerado um dos maiores cientistas de todos os tempos. Realizou estudos sobre luz e cores, percepção do som, estudo da força centrífuga e o entendimento do conceito de conservação de energia. Sua contribuições para a óptica deram base para muitos outros cientistas.

  
**VELOCIDADE DA LUZ**

Finita



**THOMAS YOUNG**  
(1773- 1829)

Foi um físico, médico e egiptólogo britânico. Poliglota, dominava a física, os clássicos, a história, construía instrumentos e era conhecido como "o homem que tudo sabe". Contribuiu com estudos no ramo da óptica, mecânica, ondulatória, matemática e medicina

  
**VELOCIDADE DA LUZ**

Finita



**JAMES C. MAXWELL**  
(1831- 1879)

Foi um físico e matemático escocês. É mais conhecido por ter dado forma à teoria do eletromagnetismo, que une a eletricidade, o magnetismo e a óptica. Ao compreender a propagação do eletromagnetismo como um campo emitido por partículas carregadas, Maxwell pode avançar seu trabalho sobre a luz, unificando o eletromagnetismo e a óptica

**VELOCIDADE DA LUZ**

Finita

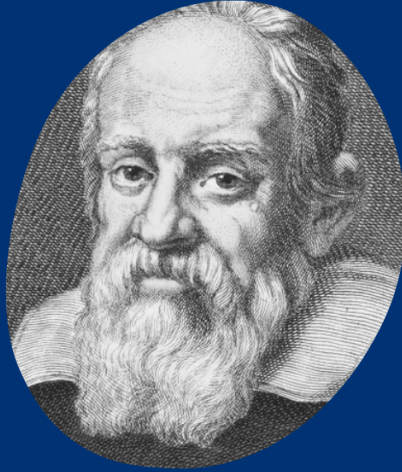


**HEINRICH HERTZ**  
(1857- 1894)

Foi um físico alemão. Em sua homenagem a unidade de frequência no Sistema Internacional de Unidades é denominada hertz. Contribuiu com estudos a respeito das ondas eletromagnéticas de Maxwell. Pesquisadores como Oliver Lodge, Ferdinand Braun e Guglielmo Marconi empregaram as contribuições de Hertz nos primeiros sistemas de radiocomunicação de telegrafia sem fio, levando à radiodifusão e, posteriormente, à televisão

**VELOCIDADE DA LUZ**

Finita



**GALILEU GALILEI**

(1564 - 1642)

Foi um astrônomo, físico e engenheiro italiano. Com frequência é referenciado como "pai da astronomia observacional". Seus estudos abrangeram quase tudo na física: óptica, mecânica, astronomia e hidrostática. Galileu era defensor do Heliocentrismo, que na época era condenado pela igreja católica.

**VELOCIDADE DA LUZ**

Finita



**ROBERT GROSSETESTE**

(1175 - 1253)

Foi um político, filósofo escolástico, teólogo, cientista e bispo de Lincoln. Foi apelidado de Grosseteste pela sua extraordinária capacidade intelectual:

**Grosse + teste = grande + cabeça**

Tinha grande interesse no mundo natural e escreveu textos sobre som, astronomia, geometria e, especialmente, óptica.

**VELOCIDADE DA LUZ**

algo



**WILLEBRORD  
SNELLIUS**  
(1580-1626)

Foi um astrônomo e matemático holandês. A cratera lunar Snellius foi nomeada em homenagem a Willebrord. A Marinha Real da Holanda nomeou três navios de pesquisa em homenagem a Snellius. Mais conhecido pela lei da refração, conhecida como Lei de Snell-Descartes.

**VELOCIDADE DA LUZ**

Finita



**RENÉ DESCARTES**  
(1596-1650)

Foi um filósofo, físico e matemático francês. Descartes, por vezes chamado de "o fundador da filosofia moderna" e o "pai da matemática moderna", é considerado um dos pensadores mais importantes e influentes da História do Pensamento Ocidental. Obteve reconhecimento matemático por sugerir a fusão da álgebra com a geometria. fato que gerou a geometria analítica e o sistema de coordenadas cartesianas. Também conhecido pela Lei de Snell-Descartes.

**VELOCIDADE DA LUZ**

Finita



**PIERRE DE FERMAT**

(1601-1665)

Foi um magistrado, matemático e cientista francês. Ele também foi advogado no Parlamento de Toulouse, França. Ele é mais conhecido por seu princípio de Fermat para a propagação da luz e seu Último Teorema de Fermat na teoria dos números.

**VELOCIDADE DA LUZ**

Finita



**FRANCESCO GRIMALDI**

(1618-1663)

Foi um padre jesuíta italiano, matemático e físico. Demonstrou o fenômeno da difração, projetando um feixe luminoso através de dois orifícios alinhados, e observou que não se formava uma pequena mancha luminosa no anteparo, como a hipótese de que a luz viaja em linha reta. Teve contribuições para a óptica, matemática e astronomia.

**VELOCIDADE DA LUZ**

Finita





**ROBERT HOOKE**

(1635-1703)

Foi um polímata inglês ativo como cientista experimental e arquiteto, Foi o primeiro a visualizar um microrganismo usando um microscópio. Conhecido principalmente pela lei que descreve a dinâmica das molas, chamada Lei de Hooke.

**VELOCIDADE DA LUZ**

Finita



**AUGUSTIN-JEAN  
FRESNEL**

(1788 - 1827)

Foi um físico e engenheiro civil francês. Ele talvez seja mais conhecido por inventar a lente Fresnel catadióptrica e por ser pioneiro no uso de lentes "escalonadas" para aumentar a visibilidade dos faróis, salvando inúmeras vidas no mar. Contribuiu de forma significativa para os estudos da óptica.

**VELOCIDADE DA LUZ**

Finita



**JEAN FOUCAULT**

(1819-1868)

Foi um físico e astrônomo francês. É mais conhecido pela invenção do pêndulo de Foucault, um dispositivo que demonstra o efeito da rotação da Terra. Em parceria com Fizeau, conseguiu medir a velocidade da luz no ar e constatou que a luz viaja mais lentamente na água.

**VELOCIDADE DA LUZ**

Final



**ALBERT MICHELSON**

(1852-1931)

Foi um físico norte-americano. Foi o primeiro americano a receber o Prêmio Nobel em ciências. Mais conhecido por seus trabalhos com a medição da velocidade da luz e pelo Experimento de Michelson-Morley.

**VELOCIDADE DA LUZ**

Final



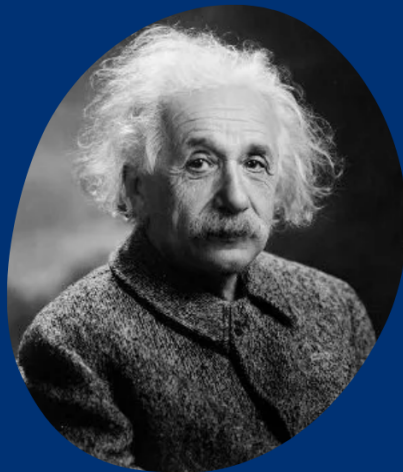
**EDWARD W. MORLEY**

(1828 -1931)

Foi um físico estadunidense. Trabalho em ramos da física e química, dando contribuições significativas para as duas. Mais conhecido pelo Experimento de Michelson-Morley.

**VELOCIDADE DA LUZ**

Finita



**ALBERT EINSTEIN**

(1879-1955)

Foi um físico teórico alemão considerado uma das grandes mentes da história. Sua equação:

$$E=mc^2$$

foi chamada de "a equação mais famosa do mundo". Desenvolveu a teoria da relatividade geral e deu contribuições significativas para o entendimento da natureza da luz. Contribuiu para a matemática e outras áreas da física.

**VELOCIDADE DA LUZ**

Finita





**LOUIS DE BROGLIE**

(1892 - 1987)

Foi um físico francês. Postulou que se elétrons fossem adequadamente submetidos ao experimento de dupla fenda, também apresentariam um padrão de interferência. Em 1927, o experimento de Davisson–Germer confirmou essa previsão de De Broglie. Ele postulou em sua tese de doutorado que partículas também possuiriam um comprimento de onda, uma onda de matéria.

**VELOCIDADE DA LUZ**

Finita



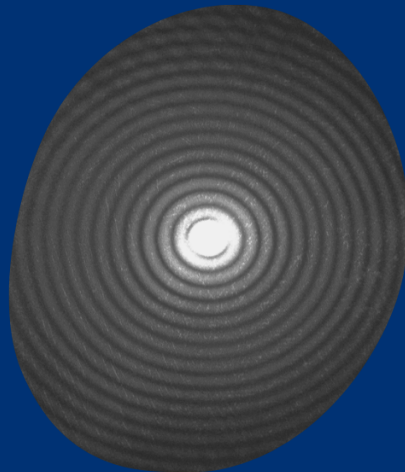
**REFRAÇÃO**

É o fenômeno óptico em que ocorre alteração da velocidade da luz em virtude da mudança de meio de propagação.



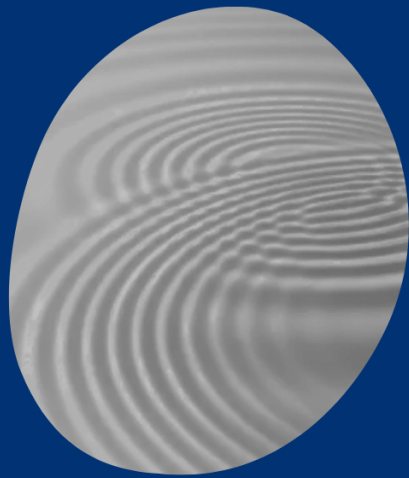
## **REFLEXÃO**

A reflexão da luz ocorre quando um feixe de luz, ao incidir sobre uma superfície, retorna ao meio de origem.



## **DIFRAÇÃO**

Acontece quando a luz encontra um obstáculo e apresenta uma aparente flexão em volta desse obstáculo.



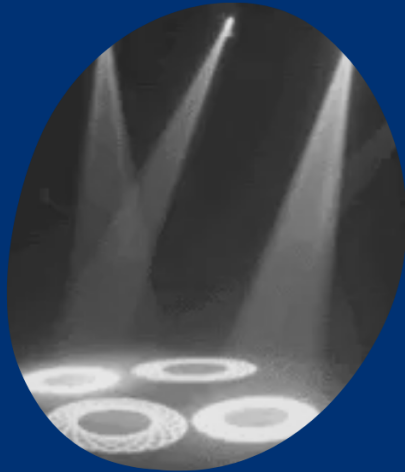
## **INTERFERÊNCIA**

Fenômeno na qual a junção de dois raios luminosos pode resultar uma intensidade maior ou menor do raio resultante.



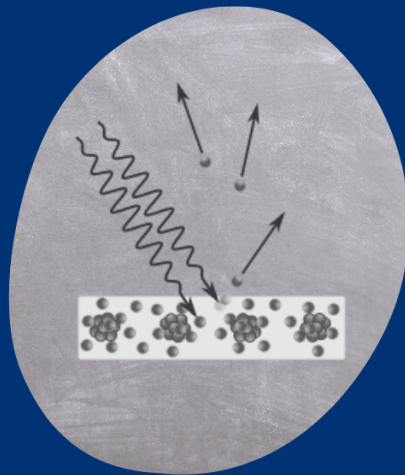
## **POLARIZAÇÃO**

Ocorre quando a luz passa por um polarizador deixando passar parte da luz com características semelhantes ao polarizador.



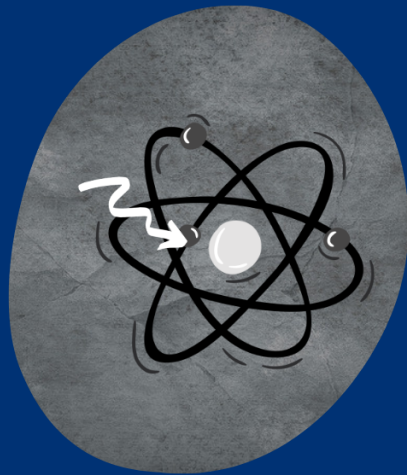
### **INDEPENDÊNCIA DOS RAIOS LUMINOSOS**

Quando dois raios de luz se cruzam, cada um mantém sua trajetória original, como se o outro não existisse.



### **EFEITO FOTOELETRICO**

O efeito fotoelétrico acontece quando a luz que incide sobre um material apresenta certa energia capaz de arrancar os elétrons desse material.



### **EFEITO COMPTON**

É a diminuição de energia, isto é, aumento de comprimento de onda, de raios X ou de raio gama, quando ele interage com a matéria.

$$\lambda = \frac{h}{m \cdot v}$$

### **RELAÇÃO DE DE BRÖGLIE**

Toda a natureza se comporta como onda e o comprimento de onda se relaciona com o momento linear.