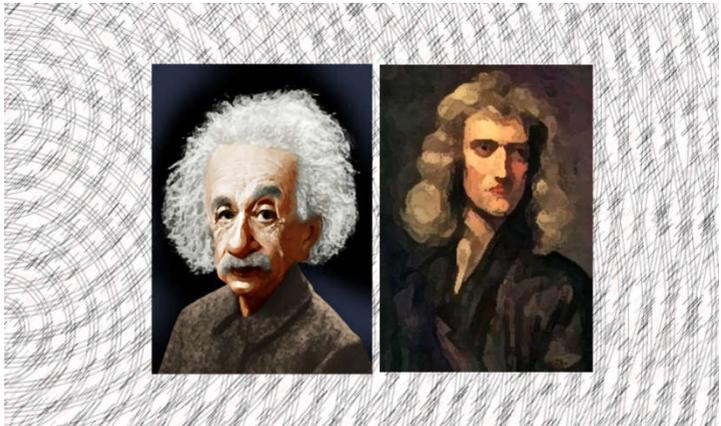


# DUALIDADE ONDA-PARTÍCULA DA LUZ – UMA ABORDAGEM PARA O ENSINO MÉDIO



Enio dos Anjos

Blumenau

Fevereiro de 2019

## **Apresentação**

Caro(a) professor(a), esta sequência didática tem por finalidade auxiliar o professor de Física do Ensino Médio na abordagem da dualidade onda-partícula da luz.

Richard Feynman disse uma vez: “a luz não se parece com nada que você já tenha visto” [Feynman, 2008]. Ao fazer esta afirmação, Feynman se referia à um dos fenômenos mais intrigantes e bonitos da natureza: a dualidade onda-partícula da luz.

Embora os diversos fenômenos e aplicações que envolvem a natureza da luz estejam presentes em nosso cotidiano, o ensino de ótica no Ensino Médio ainda é bastante negligenciado. Esta área é abordada geralmente após o assunto de Termodinâmica, e é separada, geralmente, pelos tópicos: “Ótica Geométrica” e “Ótica Ondulatória”, sendo que na distribuição didática do Ensino Médio, reserva-se geralmente apenas um bimestre para o ensino de Ótica. Ressalta-se ainda que natureza dual da luz é considerada como um tópico opcional no atual ensino de ótica para o Ensino Médio, e é raramente abordada. Isto significa que nossos estudantes aprendem ótica sem ao menos conhecer natureza de seu objeto de estudo.

Esta sequência didática é parte integrante da dissertação de mestrado do programa de Mestrado Profissional em Ensino de Física (MPEF) da UFSC, Campus Blumenau, intitulada: “Dualidade Onda-Partícula Da Luz: Uma Abordagem Para O Ensino Médio” e sob orientação da Profa. Dra. Lara Fernandes

dos Santos Lavelli. Sua construção foi norteadada pela teoria sócio interacionista de Lev Vygostky [Vygostsky, 2000 & 2001], de artigos sobre sequências didáticas [Bellucco e Carvalho, 2014 & Méheut e Psillos, 2004] buscando ser uma sequência lógica de ensino dos modelos corpuscular e ondulatório da luz, abordando conceitos como propagação retilínea, propriedades ondulatórias da luz, difração da luz, efeito fotoelétrico, entre outros, bem como atendendo aos principais documentos que embasam a educação em nosso País [Brasil, 2000; 2002 & 2016] e diretrizes estaduais [Santa Catarina, 2014]. Para a aplicação integral desta sequência deve-se reservar no mínimo 6 momentos, que são na verdade 7 aulas, que incluem experimentos de exploração do fenômeno de difração da luz e do efeito fotoelétrico.

Para auxiliá-lo nesta jornada, trazemos nas próximas páginas uma breve revisão dos conceitos científicos envolvidos no trabalho sob uma perspectiva histórica. Além da sequência didática, você poderá encontrar as sugestões de roteiros dos experimentos em anexo, textos a serem utilizados com seus estudantes e links para vídeos. Bons estudos e bom trabalho!

## Sumário

<b>Apresentação .....</b>	<b>1</b>
<b>1. Revisão Bibliográfica .....</b>	<b>9</b>
1.1. Dualidade onda-partícula da luz: uma visão histórica .....	9
1.1.1 Antigos gregos: fenômenos sobrenaturais, atomistas e fogo visual	9
1.1.2. Contribuições de Galileu e Descartes .....	10
1.1.3. Huygens e Hooke: os princípios da ótica ondulatória.....	12
1.1.4. Isaac Newton e a teoria corpuscular da luz .....	14
1.1.5. Fresnel e Young: contribuições a teoria ondulatória da luz	16
1.1.6. Contribuições do Eletromagnetismo: Faraday e Maxwell .	18
1.1.7. Efeito fotoelétrico: Hertz e Einstein.....	19
<b>2. Sequência didática: Dualidade onda partícula da luz-uma abordagem para o Ensino Médio .....</b>	<b>23</b>
<b>2.1 Pré aplicação da sequência didática e recursos didáticos:.....</b>	<b>26</b>
2.1.1. Pré aplicação da sequência didática .....	26
2.1.2. Recursos didáticos .....	26
<b>2.2 1ª AULA .....</b>	<b>27</b>
Objetivo:	27
2.2.2 Problematização inicial:.....	27
2.2.3. Procedimentos metodológicos .....	27

2.2.4. Avaliação: .....	30
<b>2.3. 2ª AULA .....</b>	<b>30</b>
2.3.1. Objetivo: .....	30
2.3.2. Problematização inicial: .....	30
2.3.3. Procedimentos metodológicos .....	30
2.3.4. Avaliação: .....	32
<b>2.4. 3ª AULA .....</b>	<b>32</b>
2.4.1. Objetivo: .....	32
2.4.2. Problematização inicial: .....	33
2.4.3. Procedimentos metodológicos .....	33
2.4.4. Avaliação: .....	35
<b>2.5. 4ª AULA .....</b>	<b>35</b>
2.5.1. Objetivo: .....	35
2.5.2. Problematização inicial: .....	36
2.5.3. Procedimentos metodológicos .....	36
2.5.4. Avaliação: .....	37
<b>2.6. 5ª AULA .....</b>	<b>37</b>
2.6.1. Objetivo: .....	37
2.6.2. Problematização inicial: .....	37
2.6.3. Procedimentos metodológicos .....	37
2.6.4. Avaliação: .....	39

<b>2.7. 6ª AULA .....</b>	<b>39</b>
2.7.1. Objetivo: .....	39
2.7.2. Problematização inicial: .....	39
2.7.3. Procedimentos metodológicos .....	39
2.7.4. Avaliação: .....	42
<b>2.8. 7ª AULA .....</b>	<b>43</b>
2.8.1. Objetivo: .....	43
2.8.2. Problematização inicial: .....	43
2.8.3. Procedimentos metodológicos .....	43
2.8.4. Avaliação: .....	44
<b>2.9. Avaliação da sequência didática .....</b>	<b>44</b>
<b>3. REFERÊNCIAS: .....</b>	<b>45</b>

### Índice de Figuras:

<b>Figura 1:</b> Ilustração de um olho emitindo raios visuais. Fonte: [Tossato, 2005].	10
<b>Figura 2:</b> Diagrama esquemático da luz incidindo na interface entre um meio menos refringente ( $n = n_1$ ) para um meio mais refringente ( $n = n_2$ ). Fonte: [Marques & Ueta, 2007].	12
<b>Figura 3.</b> Difração segundo o princípio de Huygens com frentes de onda. Fonte: [Lavarda, 2018].	13
<b>Figura 5.</b> Fotografia da Figura de difração produzida por um disco. Nota-se que ao centro existe um ponto iluminado. Fonte: [Halliday, 2012].	16
<b>Figura 6:</b> Representação do experimento de dupla fenda de Young com as respectivas interferência construtiva. Fonte: [Wikipédia 2, 2018].	17
<b>Figura 7.</b> Experimento de Faraday onde a luz entra polarizada em E e ao atravessar um vidro grosso envolve em um eletroímã que produz uma campo magnético B e ao incidir sobre o anteparo sofre uma desvio de ângulo $\beta$ em sua polarização original. Fonte: [Wikipedia 3, 2018].	18
<b>Figura 8.</b> Experimento de Hertz: nos dois eletrodos que estão entre a e b são geradas grandes descargas elétricas, transmitindo por meio de ondas eletromagnéticas para outros dois eletrodos que estão em C. Fonte: [Mangili, 2012].	20
<b>Figura 9.</b> Aparelho usado para medir o efeito fotoelétrico Fonte: [Eisberg, 2010].	21

<b>Figura 10.</b> Concepções prévias e classificação. Fonte: próprio autor. ....	28
<b>Figura 11:</b> Utensílio doméstico: boleador. Fonte: próprio autor. ....	34
<b>Figura 12:</b> Difração da luz usando CD em uma turma de Ensino Médio. Fonte: próprio autor.....	34
<b>Figura 13.</b> Efeito Fotoelétrico em um metal onde são incididos a luz vermelha (a esquerda), luz verde (centro) e luz violeta (a direita), mostrando que os elétrons são arrancados com maior velocidade (energia cinética) quando está sujeito a luz violeta [Khan Academy, 2018] .....	40
<b>Figura 14:</b> Simulador do Efeito Fotoelétrico Fonte: [PHET, 2017] .....	42

**Índice de Quadros:**

<b>Quadro 1:</b> Distribuição das aulas que compõe a sequência didática, seus respectivos procedimentos metodológicos e objetivos.....	25
--	----

## **1. Revisão Bibliográfica**

### *1.1. Dualidade onda-partícula da luz: uma visão histórica*

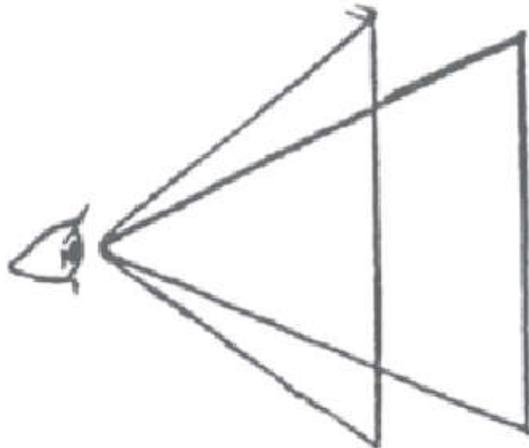
Fenômenos óticos como sombras, reflexão da luz, arco-íris sempre fascinaram a humanidade desde seus primórdios. Possíveis explicações a esses fenômenos também surgiram no decorrer da história. A seguir serão mostradas as principais concepções a respeito da luz de uma forma histórica, juntamente com os conceitos mais importantes.

#### *1.1.1 Antigos gregos: fenômenos sobrenaturais, atomistas e fogo visual*

Os primeiros registros a respeito da Ótica foram dos antigos gregos que a descreveram entre os fenômenos naturais observados e, posteriormente, influenciaram a civilização Ocidental. No século VI a.C. alguns gregos começaram a procurar compreender os fenômenos naturais buscando essas explicações em forças da natureza. Leucipo e Demócrito, como os primeiros atomistas buscaram explicar os fenômenos naturais através de átomos de diversos tamanhos. Contemporânea a essas primeiras teorias, existia uma visão popular de um “fogo” sendo emitido pelos olhos como raios visuais [Darrigol, 2012]. Demócrito acreditava na sua interpretação atomista somando a do fogo visual. Epicuro e Lucrecio, que eram seguidores de Demócrito, abandonaram a crença no fogo visual e passaram a imaginar camadas finas de átomos que viajavam desde o objeto

até os olhos como escrito no livro *De rerum* e, para tanto era necessária a luz do sol para ver os objetos. Este livro foi escrito no século I a.C.

Outro marco importante na história da Ótica é o livro *Óptica* de Euclides, que foi escrito por volta de 300 a.C. Neste livro Euclides trata a luz com ferramentas de descrição geométrica. Para esse filósofo, a luz viajava de forma geométrica, onde os olhos seriam vértices e emitiam cones visuais [Vaughan, 2014], conforme ilustrado na Figura 1.



**Figura 1:** Ilustração de um olho emitindo raios visuais. Fonte: [Tossato, 2005].

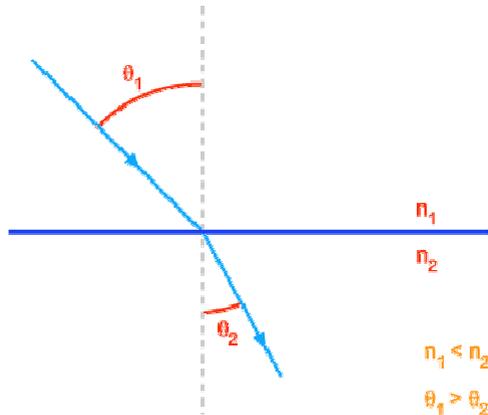
### 1.1.2. Contribuições de Galileu e Descartes

Um pouco adiante, entre os séculos XV e XVII, período compreendido pelo Iluminismo, houve o surgimento de muitos pensadores que contribuiriam para a atual compreensão do

mundo e da Ótica. Dentre eles podemos destacar, Galileu e Descartes.

Embora Galileu não tenha inventado o telescópio, o aperfeiçoou fabricando melhores lentes, otimizando assim o poder de ampliação desse instrumento em nove vezes [Vaughan, 2014]. Como esse instrumento, Galileu observou as fases de Vênus, as manchas solares e descobrir as quatro maiores luas de Júpiter, conhecida também como luas galileanas. Já René Descartes obteve de forma independente a lei para a refração da Luz, conhecida atualmente como Lei de Snell-Descartes, referindo-se também a Willebrord Snellius. Essa lei relaciona os ângulos de incidência  $\Theta_1$  e de refração  $\Theta_2$  da luz em relação à normal da interface entre dois meios com seus respectivos índices de refração,  $n_1$  e  $n_2$ . Pode-se enunciá-la como: “Numa refração, o produto do índice de refração do meio no qual ele se propaga pelo seno do ângulo que o raio luminoso faz com a normal é constante” [Marques & Ueta, 2007]. Essa lei foi obtida a partir da abordagem ondulatória da luz e pode ser escrita como

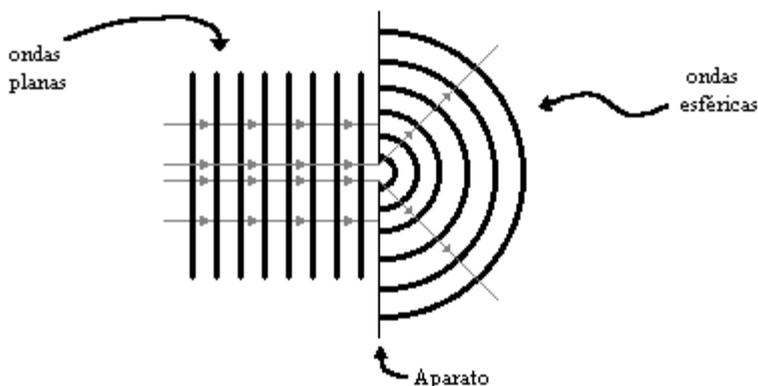
$$n_1 \cdot \text{sen}\theta_1 = n_2 \cdot \text{sen}\theta_2 \quad (\text{Equação 1})$$



**Figura 2:** Diagrama esquemático da luz incidindo na interface entre um meio menos refringente ( $n = n_1$ ) para um meio mais refringente ( $n = n_2$ ). Fonte: [Marques & Ueta, 2007]

### 1.1.3. Huygens e Hooke: os princípios da ótica ondulatória

Outra contribuição muito importante para a Ótica Ondulatória foi dada pelo físico holandês Christiaan Huygens. Huygens afirmou que cada ponto em uma frente de onda deve agir como uma fonte de ondas secundária que, em algum momento posterior, se soma para formar uma nova frente de onda. A Figura 3 ilustra esta ideia, que ficou conhecida como o Princípio de Huygens. Nesta abordagem, Huygens contrariava a abordagem corpuscular para a luz e passa a afirmar que a luz possui um caráter ondulatório.



**Figura 3.** Difração segundo o princípio de Huygens com frentes de onda. Fonte: [Lavarda, 2018]<sup>1</sup>

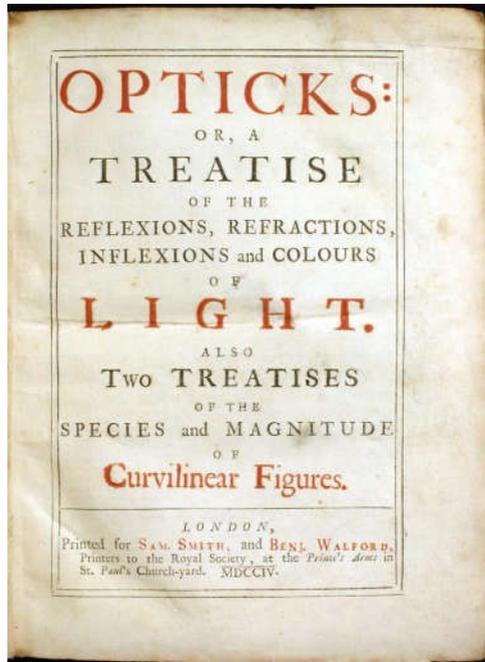
Outro defensor da teoria ondulatória da luz, Robert Hooke afirmava a luz poderia ser compreendida como uma sucessão periódica de pulsos, causados por pequenas e rápidas vibrações da fonte luminosa, viajando em uma velocidade muito alta, porém finita em um meio homogêneo [Darrigol, 2012]. Hooke comparou a luz com a onda sonora nas suas propriedades mais fundamentais. Havia ideias, inclusive nesta época, sobre o Efeito Doppler e de comprimento de onda da luz, principalmente do vermelho e azul.

---

<sup>1</sup> [Lavarda, 2018] Lavarda, F.C. Experimentos de Física com materiais do dia a dia. Disponível em: <http://www2.fc.unesp.br/experimentosdefisica/opt13.htm>. Acesso em 08 dez. 2018

#### 1.1.4. Isaac Newton e a teoria corpuscular da luz

Apesar de alguns estudos como o de Descartes, Huygens e Hooke da interpretação ondulatória, sir. Isaac Newton preferiu explicar os fenômenos óticos baseado em uma descrição corpuscular. Em 1666, utilizando-se da refração e dispersão em um prisma, Newton conseguiu demonstrar experimentalmente a decomposição da luz branca nas diferentes cores do arco-íris. Na época era possível demonstrar matematicamente este fenômeno em termos da Ótica Ondulatória assumindo que diferentes cores da luz percorrem o meio com velocidades diferentes. Newton, no entanto, não interpretou seus resultados dessa maneira [Vaughan, 2014]. Em seu livro *Ótica*, ele comparou as “partículas” de luz à pequenas esferas, massivas e muito rápidas fornecendo explicações satisfatórias sobre a decomposição espectral da luz branca [Nussenzveig, 2014].



**Figura 4:** Fotografia da primeira edição do livro Ótica, publicado em 1704 por sir. Isaac Newton. Fonte: [Wikipédia 1, 2018]<sup>2</sup>

Devido aos aspectos anteriormente explanados e à respeitosa reputação de sir. Isaac Newton, a teoria corpuscular da luz foi aceita por mais de um século. Entretanto, há de ressaltar que Newton não tinha certeza que sua teoria para a luz estava correta e existiam aspectos dos quais a teoria newtoniana não explicava, como a aberração cromática, que só poderia ser explicada pela teoria ondulatória da luz.

---

2 [Wikipédia 1, 2018] Wikipedia, *Opticks*. Disponível em: <https://en.wikipedia.org/wiki/Opticks> Acesso em 08 ago. 2018

### 1.1.5. Fresnel e Young: contribuições a teoria ondulatória da luz

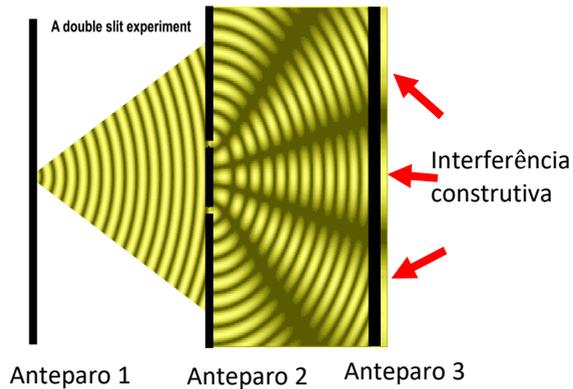
Mesmo quase um século após a morte de Isaac Newton, a teoria corpuscular da luz exercia influência muito grande. Isto ficou evidente na dificuldade da comunidade científica em aceitar a explicação do fenômeno de difração da luz, como o que ocorreu em 1818, com Augustin-Jean Fresnel. Ao observar a aparição de um ponto brilhante na sombra de um disco iluminado, conforme ilustra a Figura 5, Fresnel submeteu um artigo à Academia Francesa de Ciências, explicando este fenômeno a partir da abordagem da ótica ondulatória.



**Figura 5.** Fotografia da Figura de difração produzida por um disco. Nota-se que ao centro existe um ponto iluminado. Fonte: [Halliday, 2012]

Embora seja um marco importante no desenvolvimento da ótica ondulatória, o trabalho de Fresnel aconteceu um pouco antes do famoso experimento de fendas duplas, realizado por Thomas Young em 1803. Esse experimento consistiu na passagem de luz por duas pequenas fendas, demonstrando que a projeção observada em um anteparo é de franjas claras alternado com escuras, chamadas também de interferência

construtiva e destrutiva da luz, respectivamente. Um diagrama esquemático deste experimento está ilustrado na Figura 6.



**Figura 6:** Representação do experimento de dupla fenda de Young com as respectivas interferência construtiva. Fonte: [Wikipédia 2, 2018]<sup>3</sup>

A equação obtida na época relacionava o tamanho da abertura da fenda ( $d$ ), com o comprimento de onda ( $\lambda$ ) da luz e a ordem da interferência ( $m$ ) da região de máximo:

$$d \cdot \text{sen}\theta = m \cdot \lambda \quad (\text{Equação 2})$$

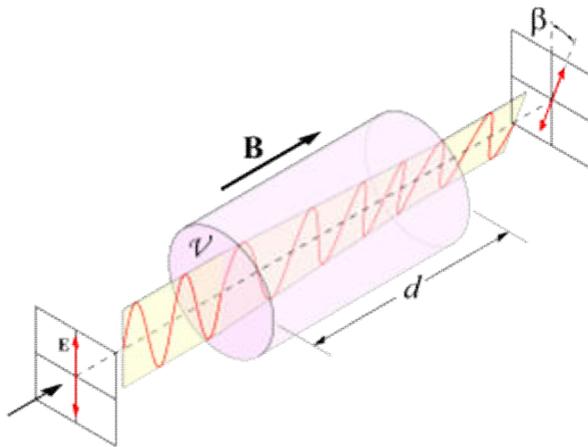
O experimento de dupla fenda de Young consistiu na primeira evidência conclusiva da natureza ondulatória da luz. No entanto, haviam ainda dúvidas a respeito da natureza da luz.

---

<sup>3</sup> [Wikipédia 2, 2018] Wikipedia. A Double slit experiment. Disponível em: Acesso em 10 ago. 2018

### 1.1.6. Contribuições do Eletromagnetismo: Faraday e Maxwell

Contemporâneo a Young, Michael Faraday que realizou o experimento onde fez passar luz por um vidro “grosso” envolto em um eletroímã conseguiu mudar a polarização da luz, mostrando suas características eletromagnéticas, conforme ilustra a Figura a seguir:



**Figura 7.** Experimento de Faraday onde a luz entra polarizada em E e ao atravessar um vidro grosso envolto em um eletroímã que produz um campo magnético B e ao incidir sobre o anteparo sofre um desvio de ângulo  $\beta$  em sua polarização original. Fonte: [Wikipedia 3, 2018]<sup>4</sup>.

Inspirado pelos resultados experimentais de Faraday, James Clerk Maxwell (1831 - 1879) foi capaz de prever matematicamente a existência das ondas eletromagnéticas. A

---

<sup>4</sup> [Wikipedia 3, 2018] Wikipedia Efeito Faraday Disponível em: [https://pt.wikipedia.org/wiki/Efeito\\_Faraday](https://pt.wikipedia.org/wiki/Efeito_Faraday) Acesso em 12 dez 2018

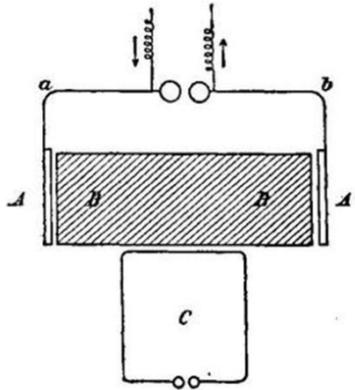
velocidade dessas ondas poderia ser calculada a partir de constantes universais fundamentais: a permissividade do vácuo  $\epsilon_0$  e a permeabilidade magnética do vácuo  $\mu_0$ ,

$$c = \frac{1}{\sqrt{\mu_0 \epsilon_0}} \text{ (Equação 3).}$$

Quando Maxwell calculou esse valor, ele descobriu que essa velocidade era a mesma que a velocidade medida para a luz, concluindo que, de fato, a luz é uma forma de radiação eletromagnética.

#### *1.1.7. Efeito fotoelétrico: Hertz e Einstein*

Procurando comprovar as previsões de Maxwell, Henrich Hertz construiu um gerador de ondas eletromagnéticas, em 1887. Uma vez que ondas eletromagnéticas são geradas por cargas aceleradas, o experimento de Hertz consistia em grandes descargas elétricas entre dois eletrodos, que era transmitido para outros eletrodos que não estavam ligados aos primeiros, conforme esquematizado na Figura 8.



**Figura 8.** Experimento de Hertz: nos dois eletrodos que estão entre a e b são geradas grandes descargas elétricas, transmitindo por meio de ondas eletromagnéticas para outros dois eletrodos que estão em C. Fonte: [Mangili, 2012]<sup>5</sup>

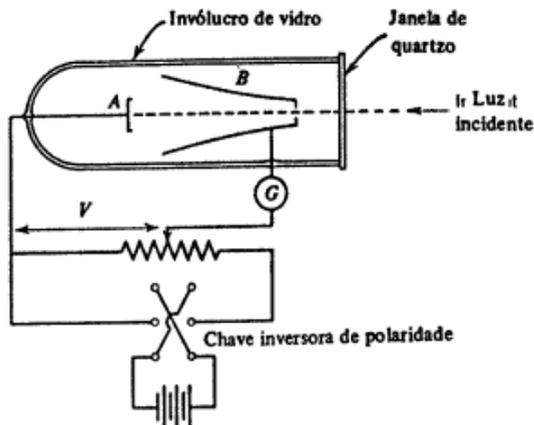
Hertz percebeu que essas descargas elétricas eram facilitadas conforme incidia luz sobre esses eletrodos geradores. Hertz acabou descobrindo, nesse momento as ondas de rádio, que tem comprimento de onda  $\lambda$  muito maior que a radiação visível [Pires, 2011]. Porém não formalizou seus conhecimentos a respeito do efeito fotoelétrico.

Quando estudava ondas eletromagnéticas, Hertz percebeu que as faíscas entre os eletrodos aparentavam maior intensidade quando iluminadas por luz ultravioleta. Esta foi a primeira demonstração do efeito fotoelétrico muitas vezes atribuído a erroneamente a Einstein [Nussenzveig, 2014].

---

5MANGILI, A. I. **Heinrich Rudolph Hertz e a “descoberta” do efeito fotoelétrico: Um exemplo dos cuidados que devemos ter ao utilizar a história da ciência na sala de aula.** Ciência e Ensino Volume 6, 2012 – pp. 32-48

Pouco tempo após os experimentos de Hertz, Albert Einstein, utilizou um aparelho que consistia de dois eletrodos, A e B, no interior de um invólucro de vidro. Ao incidir luz no eletrodo A elétrons eram ejetados e podiam ser detectados ao atingirem o eletrodo B através de galvanômetro conforme, conforme ilustra a Figura 9. Neste experimento, existia também uma chave inversora de polaridade, que poderia ser utilizada para inverter a diferença de potencial. Um fato interessante é que, ao inverter a chave polarizadora, a corrente fotoelétrica não cessa imediatamente, mostrando que esses fotoelétrons são emitidos com alguma energia cinética.



**Figura 9.** Aparelho usado para medir o efeito fotoelétrico Fonte: [Eisberg, 2010]

Einstein argumentou sobre experiências óticas que eram bem conhecidas na época e que envolviam interferência e

difração da luz, descartando que estas deveriam envolver um grande número de fótons, sendo seus resultados médias do comportamento de fótons individuais [Eisberg, 2010]. Ele mostrou que os fótons emitidos por uma fonte não percorrem sua trajetória como simples partículas clássicas, mas sim como ondas. Porém, sua teoria não descrevia a propagação da luz como apenas “ondas clássicas”, mas como pacotes de energia (E) discretos em que a energia desses pacotes era proporcional à frequência ( $\nu$ ) através da seguinte equação [Eisberg, 2010]:

$$E = h\nu \text{ (Equação 4)}$$

Nesta relação,  $h$  é a constante de Planck. Einstein considerou ainda que, quando um elétron é emitido por um metal, sua energia cinética (K) deve ser:

$$K = h\nu - w \text{ (Equação 5)}$$

Sendo  $w$  a função trabalho, que é a energia necessária para retirar o elétron desse metal. Dessa forma, Einstein descreveu a luz como sendo um pacote de fótons que pode interagir com a matéria de forma corpuscular, mesmo propagando-se como onda, sendo esta a base da teoria da dualidade onda-partícula da luz.

## 2. Sequência didática: Dualidade onda partícula da luz-uma abordagem para o Ensino Médio

O quadro 1 resume a maneira com que as aulas que compõe esta sequência didática foram organizadas.

Aula/Momento	Procedimentos Metodológicos	Objetivos
1ª aula	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Investigação das concepções prévias sobre a natureza da luz, questionando os alunos</li> <li>- Anotação das respostas no quadro;</li> <li>- Classificação das repostas por meio de suas semelhanças e/ou hierarquias;</li> <li>- Pesquisa na <i>internet</i> e/ou em livros didáticos de Ensino Médio</li> <li>-Atividade em grupo: responder as perguntas: - O que é luz? Qual é sua natureza?</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Evidenciar os conceitos prévios sobre a natureza da luz;</li> </ul>
2ª aula	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Discussão a partir da leitura das respostas fornecidas pelos grupos de alunos em aula anterior.</li> <li>- Leitura do texto “Ótica Newtoniana” e/ou um vídeo nessa temática</li> <li>- Atividade em grupo: responder à pergunta: - A luz propaga-se em linha reta?</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Promover a discussão dos alunos a sobre a natureza da luz;</li> <li>- Caracterizar a natureza da luz como partícula;</li> </ul>
3ª aula	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Revisão do modelo corpuscular de Newton para a luz.</li> <li>- Demonstração da</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Observar/verificar o comportament</li> </ul>

	<p>passagem da luz por pequenos orifícios, como de um ralador de queijo</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Realização da primeira atividade experimental: passagem da luz por um CD com a parte refletora descascada</li> <li>– Atividade em grupo: responder as questões do roteiro do experimento sobre a propagação ondulatória da luz;</li> </ul>	o ondulatório da luz;
4ª aula	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Revisão e problematização sobre o caráter ondulatório da luz;</li> <li>– Deve-se problematizar com os alunos o que foi observado;</li> <li>– Auxiliar e/ou ensinar a realizar os cálculos do experimento sobre o fenômeno de difração da luz;</li> <li>– Atividade em grupo: cálculos do experimento sobre a difração da luz;</li> </ul>	– Efetuar cálculos em relação ao comportamento do ondulatório da luz;
5ª aula	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Revisão e problematização sobre o caráter ondulatório da luz</li> <li>Deve-se problematizar com os alunos o que foi observado e do cálculo realizado;</li> <li>– Revisão e problematização sobre o caráter corpuscular da luz;</li> <li>– Realização do experimento do Efeito Fotoelétrico, incidindo luz de diferentes lasers sobre um LED.</li> <li>– Atividade em grupo: responder as questões do roteiro do experimento sobre a</li> </ul>	– Confrontar a teoria corpuscular (Newton) e ondulatória da luz

	propagação corpuscular da luz e efeito fotoelétrico;	
aula 6 <sup>a</sup>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Revisão e problematização sobre o caráter corpuscular da luz e efeito fotoelétrico verificado na última aula;</li> <li>– Revisão e problematização sobre o caráter ondulatório da luz;</li> <li>– Apresentação de vídeo e/ou simulação na temática</li> <li>– Conclusão de que a luz pode se comportar como onda e partícula ao mesmo tempo.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Confrontar a teoria ondulatória da luz com a corpuscular e efeito fotoelétrico (Einstein)</li> <li>– Compreender que a luz se comporta como onda e partícula ao mesmo tempo</li> </ul>
aula 7 <sup>a</sup>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Verificação da aprendizagem por meio de resolução da lista de exercícios;</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Verificar a aprendizagem dos alunos através da resolução de exercícios sobre a Natureza da Luz presentes no ENEM e vestibulares</li> </ul>

**Quadro 1:** Distribuição das aulas que compõe a sequência didática, seus respectivos procedimentos metodológicos e objetivos

## **2.1 Pré aplicação da sequência didática e recursos didáticos:**

### *2.1.1. Pré aplicação da sequência didática*

Antes de aplicar a sequência, é importante que o professor explique brevemente que o objetivo principal é o estudo da ótica, com enfoque na natureza da luz e que nesse método de ensino, utilizando a sequência de ensino investigativa, deve-se ter atenção nos seguintes pontos:

- Importância, inicial, as concepções prévias dos alunos, para uma posterior formalização do conhecimento pelo professor.
- Etapas de pesquisa; momentos de debates; de construção de modelos (desenhos com explicações) representando o que está sendo aprendido.
- Etapas em que o professor conduzirá uma discussão conceitual, sem necessariamente chegar naquele momento a uma resposta final.

### *2.1.2. Recursos didáticos*

- Computador;
- Projetor multimídia;
- Quadro branco ou quadro verde;
- Canetas para quadro branco ou giz para quadro verde;
- Livro didático;

– Laboratório de Informática;

O uso de computador e projetor multimídia, bem como o laboratório de informática não são fundamentais para o desenvolvimento desta sequência, porém auxilia no desenvolvimento das aulas.

Serão necessários também os materiais para o desenvolvimento dos experimentos. Estes materiais, como as sugestões de roteiros dos experimentos encontram-se nos anexos B, C e D (experimento virtual). Vamos agora à sequência, aula por aula.

## **2.2 1ª AULA**

*Objetivo:*

Evidenciar conceitos prévios sobre a natureza da luz

### *2.2.2 Problematização inicial:*

Perguntar aos alunos:

- a) O que é luz?
- b) Do que a luz é feita?

Neste momento o professor está indicando o conteúdo que os alunos aprenderão. É importante que o professor instigue aos alunos a responder as perguntas, buscando que eles expressem suas concepções prévias a respeito da luz.

### *2.2.3. Procedimentos metodológicos*

O professor deve:

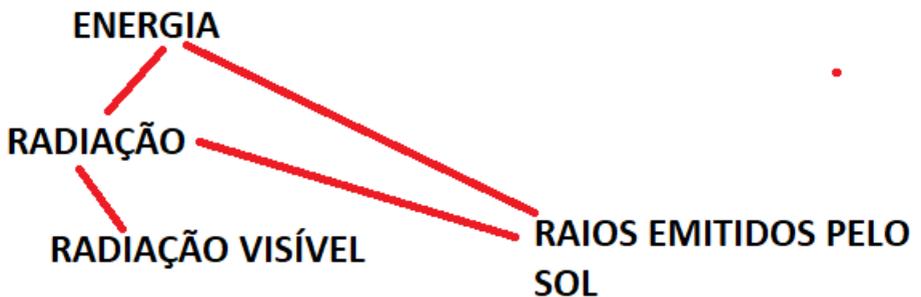
1. Anotar no quadro as respostas dos alunos fornecidas a cada pergunta (concepções prévias);

2. Buscar semelhanças e/ou hierarquias entres elas (se for possível); conforme o exemplo a seguir;

Observação: Como sugestão o quadro pode ser dividido em quatro partes, sendo duas para as respostas dos alunos as perguntas e as outras duas para classificação;

Exemplo:

-Foram citadas as palavras: Energia, radiação, radiação visível, raios emitidos pelo Sol . Elas podem ser classificadas da seguinte forma:



**Figura 10.** Concepções prévias e classificação. Fonte: próprio autor.

3. Levar os alunos ao laboratório de informática, se possível e for viável, se não pedir para que os mesmos façam isso em sala de aula o item 4;

4. Pedir aos alunos que façam uma pesquisa na Internet (usando o computador na sala de informática, ou seus próprios *smartphones* para esse fim) e em livros didáticos as respostas as perguntas iniciais;

Como sugestões de livros têm-se:

ARTUSO, A. R. WRUBLEWSKI, , M. **Física**, volume 2. 1ª Edição. Curitiba: Editora Positivo. 2013. 320 p.

BONJORNO et al., **Física**, volume 2. 2ª Edição. São Paulo: FTD. 2013. 288 p.

PIQUEIRA J. R. C. CARRON W. e GUIMARÃES J. O. S. **Física**, volume 2. 1ª Edição. São Paulo: Ática. 2013. 312 p.

XAVIER C. BENIGNO B. **Física: Aula Por Aula Física**, volume 2. 2ª Edição. São Paulo: FTD. 2013. 304 p.

Observação: Geralmente o professor recebe várias coleções no período da escolha do livro didático que poderão ser usadas para este fim;

5. Dividir os alunos em grupos de até cinco componentes;

6. Pedir para aos alunos que transcrevam suas respostas em relação a problematização (perguntas) inicial – as respostas devem ser sintetizadas entre 5 a 10 linhas para cada pergunta;

Neste momento é importante a síntese dos alunos em relação às respostas encontradas por eles e suas concepções prévias;

7. Recolher essa atividade de cada grupo, que pode ser a **1ª atividade de caráter somativo**;

Ainda é possível entregá-la na aula seguinte, se for necessário.

#### *2.2.4. Avaliação:*

Será considerado satisfatório se os alunos apresentem respostas que condigam com a natureza da luz: ondulatória e/ou corpuscular

### **2.3. 2ª AULA**

#### *2.3.1. Objetivo:*

- Promover a discussão dos alunos a sobre a natureza da luz;
- Caracterizar a natureza da luz como partícula;

#### *2.3.2 Problematização inicial:*

O professor inicia e/ou continua a aula comparando as respostas, por meio da leitura das respostas prévias dos grupos as perguntas, provocando uma discussão entre grupos.

#### *2.3.3. Procedimentos metodológicos*

O professor deve:

1. Dividir, inicialmente, a turma em grupos formados na aula anterior;

2. Deve ler as respostas dadas na atividade anterior, buscando semelhanças e/ou diferenças entre esses argumentos, classificando-os;

3. Após a leitura, e classificação, promover o debate entre os grupos, usando perguntas;

Exemplo: - Um grupo definiu a luz como algo relacionado à radiação visível, mas no outro grupo existem citações falando em partículas, será que temos como conciliar essas respostas? E agora tem um grupo falando em raios emitidos pelos olhos? Parecem que essas teorias são bem diferentes ou não?;

Ao final da discussão procurar deixar claro na classificação, as respostas que classificam luz como partícula, onda, onda-partícula, ou concepções alternativas (fogo visual, etc);

4. Distribuir um texto que aborda a Ótica geométrica com base em Isaac Newton (Anexo A);

5. Se houver tempo disponível, ao terminar a leitura sobre o texto, o professor deve apresentar um vídeo curto sobre a Ótica Geométrica;

Como sugestão de vídeo, tem-se Dualidade Onda – Partícula da Luz no que apresenta a respeito de Ótica de Newton [TVO, 1984], somente na primeira parte até 9 minutos e 22 segundos;

Observação: É interessante observar que nesta aula a maior parte dos materiais apresentados aos alunos (texto e vídeo) deixam de forma evidente que Newton está correto em relação à luz como partícula, e essa é a intenção;

6. Pedir para que os alunos, em grupos de até cinco componentes, respondam a seguinte questão: A luz se propaga de forma retilínea?

As respostas devem ser sintetizadas entre 5 a 10 linhas para cada pergunta;

7. Recolher essa atividade de cada grupo, que pode ser a **2ª Atividade De Caráter Somativo**. Ainda é possível entregá-la na aula seguinte se for necessário

#### 2.3.4. Avaliação:

Será considerado satisfatório se os alunos discutam a natureza da luz, com base nas pesquisas feitas na aula anterior e se posicionem sobre a propagação retilínea da luz.

### 2.4. 3ª AULA

Observação: A atividade completa desse momento se dá em duas aulas: 3ª e 4ª aula, respectivamente.

#### 2.4.1. Objetivo:

- Observar/verificar o comportamento ondulatório da luz;

### *2.4.2. Problematização inicial:*

1. Percebemos que Newton defendia o caráter corpuscular da luz. Quero que vocês observem a luz passando por um objeto que temos aqui em minha mesa (ralador, boleador, etc).

2. O que vocês percebem? Newton estava certo? A luz se propaga de forma retilínea?

### *2.4.3. Procedimentos metodológicos*

O professor deve:

1. Inicialmente lembrar o que foi feito na última aula com relação às discussões e ao caráter corpuscular da luz e sua propagação retilínea;

2. Deve problematizar com os alunos sobre a propagação da luz, utilizando a observação por fendas pequenas presentes em objetos do cotidiano (ralador, etc.), onde o professor pede para que os alunos incidam a luz do laser sobre o menor orifício de um objeto, fazendo as perguntas, sendo possível relacionar com o experimento de Huygens;

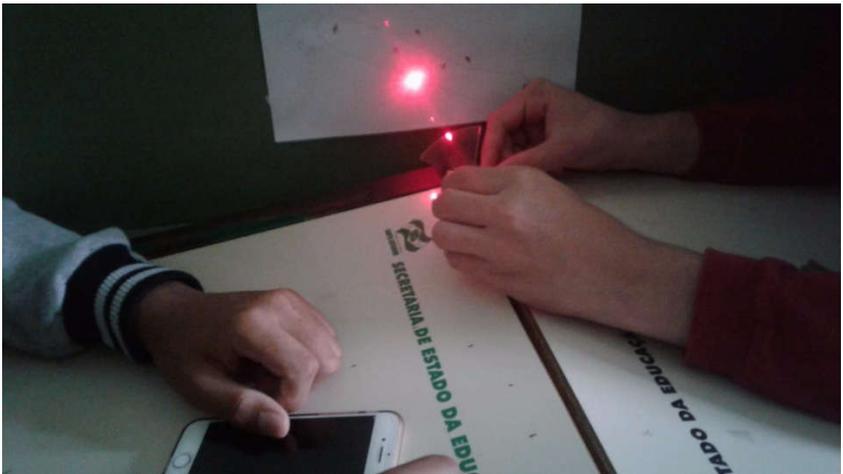
Como sugestão de perguntas nesta atividade são: A luz se propaga de maneira retilínea? Observem a luz ao passar pela menor fenda que vocês encontrarem neste objetos, o que foi verificado? Façam a luz passar com e sem o objeto, vocês notam alguma diferença?



**Figura 11:** Utensílio doméstico: boleador. Fonte: próprio autor.

3. Realizar o experimento da difração da luz em um CD (Anexo B), sem realizar os cálculos;

Neste experimento os alunos vão perceber, que ao passar a luz do laser por um CD sem a superfície refletora, verão três ou mais pontos iluminados no anteparo, conforme a Figura a seguir



**Figura 12:** Difração da luz usando CD em uma turma de Ensino Médio. Fonte: próprio autor

4. Pedir para que os alunos respondam as questões do experimento:

- Ao passar a luz do laser sem o CD o que é verificado no anteparo?

- Represente com um desenho a passagem da luz pelo espaçamento constituído pelas trilhas do CD;

- O que é de se esperar se mudamos a cor luz do laser que incide sobre o CD? Justifique.

5. Pedir para que os alunos entreguem as atividades em grupos de até cinco componentes;

7. Recolher essa atividade de cada grupo; que pode ser a **3ª atividade de caráter somativo**;

#### *2.4.4. Avaliação:*

Será considerado satisfatório se os alunos percebam que a luz pode se comportar, também, como onda.

## **2.5. 4ª AULA**

### *2.5.1 Objetivo:*

- Efetuar cálculos em relação ao comportamento ondulatório da luz;

### 2.5.2. *Problematização inicial:*

1. Percebemos que a luz se comporta como onda ou partícula no experimento da aula anterior? Qual teoria descreve o que vimos na aula passada?

### 2.5.3. *Procedimentos metodológicos*

1. O professor deve inicialmente lembrar o que foi feito na última aula com relação às discussões e ao caráter ondulatório da luz;

2. Deve problematizar com os alunos o que foi observado usando as perguntas da problematização inicial, procurando com que os alunos expressem que a luz se comporta de maneira ondulatória;

3. Pedir para que tomem os resultados das medidas da última aula; que foram anotados na folha colocada como anteparo (ver anexo B)

4. Ensinar a realizar os cálculos do experimento com a equação;

$$d \cdot \text{sen}\theta = m \cdot \lambda \quad (\text{Equação 2})$$

Sendo:

$$m = \pm 1$$

d = distância entre o ponto central e o ponto do lado esquerdo (ou direito)

$\theta$  = ângulo de difração

$\lambda$  = comprimento de onda da luz,

5. Pedir para que os alunos façam os cálculos em grupos;

6. Se necessário, o professor deve auxiliar os alunos nos cálculos;

6. Recolher essa atividade de cada grupo como a **4ª atividade de caráter somativo**.

#### *2.5.4. Avaliação:*

Será considerado consigam realizar os cálculos do experimento.

## **2.6. 5ª AULA**

### *2.6.1. Objetivo:*

- Confrontar a teoria corpuscular (Newton) e ondulatória da luz

### *2.6.2. Problematização inicial:*

1. Percebemos que a luz se comporta como onda nas duas últimas aulas, porém nas primeiras percebemos que luz se comportava como partícula. Qual teoria está certa?

### *2.6.3. Procedimentos metodológicos*

1. O professor deve inicialmente lembrar o que foi feito na última aula com relação às discussões e ao caráter

ondulatório da luz e a realização do cálculo do experimento, estimulando a participação dos alunos;

2. Deve relembrar os conceitos da ótica ondulatória visto nas últimas aulas; e inclusive provado pelo experimento realizado com o CD;

3. Deve relembrar os conceitos da ótica corpuscular; que funcionavam em muitos aspectos, como o de reflexão da luz;

Ao final o professor deve estimular os alunos a fazer um novo experimento para comprovar a verificar que teoria é a mais correta;

4. Realizar o experimento do efeito fotoelétrico, incidindo luz de diferentes lasers sobre um *led* e verificando a voltagem em multímetro (Anexo C).

5. Pedir para que os alunos respondam, em grupo as respostas do roteiro desse experimento (Anexo C), que são:

- Com base nos valores indicados pelo multímetro, com qual dos lasers houve maior medida de voltagem?
- Justifique a questão 1, com base nos comprimentos de onda da luz característica a cada cor.

6. Recolher essa atividade de cada grupo que pode ser utilizada como a **5ª atividade de caráter somativo**;

#### 2.6.4. Avaliação:

Será considerado satisfatório se os alunos percebam que a luz pode se comportar como onda, mas também pode se comportar como partícula;

### 2.7. 6ª AULA

#### 2.7.1. Objetivo:

- Confrontar a teoria ondulatória da luz com a corpuscular e efeito fotoelétrico (Einstein)

- Compreender que a luz se comporta como onda e partícula ao mesmo tempo

#### 2.7.2. Problematização inicial:

1. Percebemos que a luz se comporta como onda em algumas aulas, porém nas primeiras percebemos que luz se comportava como partícula. Qual teoria está certa? O que foi visto na aula passada pode contribuir como uma teoria ou outra?

#### 2.7.3. Procedimentos metodológicos

O professor deve:

1. Inicialmente relembrar o que foi feito na 3ª e 4ª aula com relação às discussões e ao caráter ondulatório da luz, bem como a realização do cálculo do experimento;

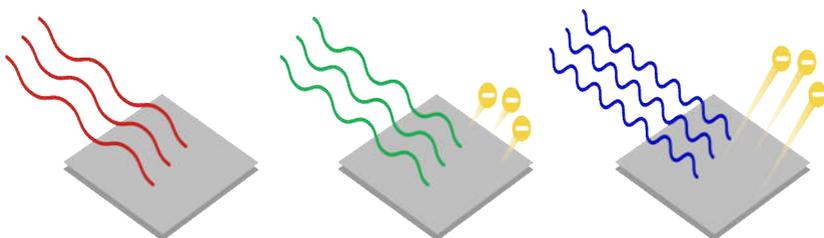
2. Deve lembrar os conceitos da ótica corpuscular, como reflexão da luz, entre outros;

3. Deve apresentar o vídeo para os alunos do Dr. Quantun [Dr. Quantun, 2014]

Observação: Link direto:

<https://www.youtube.com/watch?v=ieZjg1eM9Ow><sup>6</sup>

4. Deve explicar sobre o que na verdade é o efeito fotoelétrico usando imagens como a seguir;



**Figura 13.** Efeito Fotoelétrico em um metal onde são incididos a luz vermelha (a esquerda), luz verde (centro) e luz violeta (a direita), mostrando que os elétrons são arrancados com maior

---

<sup>6</sup> [Dr. Quantun, 2014]. Dr. Quantun. Dualidade Onda-Partícula. Disponível em:

<https://www.youtube.com/watch?v=ieZjg1eM9Ow> Acesso em: 10 dez 2018

velocidade (energia cinética) quando está sujeito a luz violeta [Khan Academy, 2018] <sup>7</sup>

5. Para reforçar as explicações o professor apresentou o simulador do site *Phet Colorado* sobre Efeito Fotoelétrico [Phet, 2017], onde o efeito fotoelétrico pode ser observado ocorrendo para os menores comprimentos de onda como violeta e cessando para maiores como o vermelho.

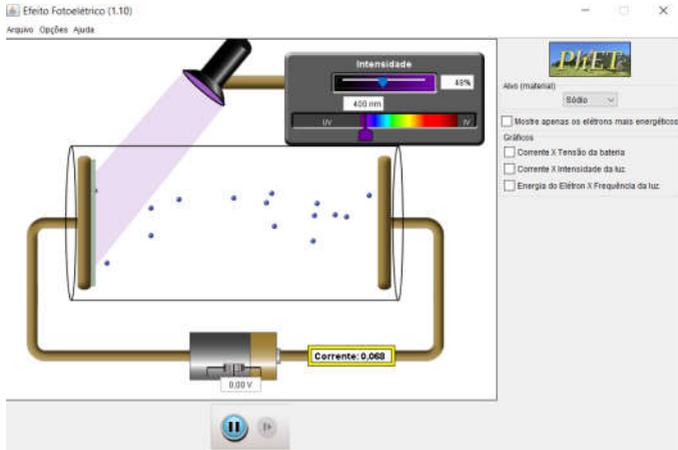
Link direto para baixar o aplicativo em Java:

[https://phet.colorado.edu/pt\\_BR/simulation/photoelectric](https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulation/photoelectric)

Observação: conforme sugestão de roteiro de experimento virtual (Anexo D), há uma atividade opcional, usando o simulador Efeito Fotoelétrico [Phet, 2017] que poderá ser feita em sala de aula de forma demonstrativa, usando computador e projetor multimídia ou de forma de experimento virtual, usando o laboratório de informática para este fim. Se optar pela segunda forma deve-se reservar mais uma aula para este fim.

---

<sup>7</sup> [Khan Academy, 2018]. Efeito Fotoelétrico (artigo). Disponível em <https://pt.khanacademy.org/science/physics/quantum-physics/photons/a/photoelectric-effect> Acesso em: 10 dez 2018



**Figura 14:** Simulador do Efeito Fotoelétrico Fonte: [PHET, 2017]

6. Concluir que a luz pode se comportar como onda e partícula ao mesmo tempo.

#### 2.7.4. Avaliação:

Será considerado satisfatório se os alunos percebam que a luz pode se comportar também como onda e partícula ao mesmo o tempo.

## **2.8. 7ª AULA**

### *2.8.1. Objetivo:*

Verificar a aprendizagem dos alunos através da resolução de exercícios sobre a Natureza da Luz presentes no ENEM e vestibulares

### *2.8.2. Problematização inicial:*

1. Percebemos que a luz se comporta como onda e partícula, agora vamos reforçar e aprimorar nossos conhecimentos com uma lista de exercícios.

### *2.8.3. Procedimentos metodológicos*

1. O professor deve inicialmente lembrar o que foi feito na última aula com relação às discussões e ao caráter ondulatório e corpuscular da luz e da realização do cálculo do experimento;

2. Deve entregar uma lista de exercícios para cada aluno, que está no anexo E;

3. Após algum tempo deve-se fazer a correção dos exercícios com os alunos;

Observações: O professor poderá utilizar essas questões como base para elaboração de provas ou futuras listas de exercícios.

4. Concluir com um momento de avaliação da sequência didática com perguntas como:

- O que vocês aprenderam no decorrer dessas aulas?
- O conhecimento científico é absoluto? Houve variações no conceito de luz no decorrer da História? Quais foram as principais?
- O que vocês mais gostaram de fazer a realização desta sequência didática?
- Qual teoria que é aceita: a corpuscular ou a ondulatória?
- Além da natureza da luz, o que mais vocês aprenderam?

#### **2.8.4. Avaliação:**

Será considerado satisfatório se os alunos demonstrem que aprenderam nas últimas aulas sobre o comportamento da luz como onda e partícula ao mesmo o tempo.

### **2.9. Avaliação da sequência didática**

1. Durante a realização da sequência didática, os alunos entregaram 5 atividades que podem ser avaliadas como uma nota de avaliação contínua ou de trabalho.

2. As questões da lista de exercícios podem serem usadas como base para elaboração de provas ou futuras listas de exercícios.

3. O professor, dentro do possível, pode pontuar a participação como nota extra, valorizando esse aspecto importante na realização da sequência didática.

### 3. REFERÊNCIAS:

[BALACHANDRAN; PORTER-DAVIS, 2009] BALACHANDRAN; PORTER-DAVIS, R & PORTER-DAVIS, k. NNIN Document: USING CDs AND DVDs AS DIFFRACTION GRATINGS. Georgia Institute of Technology. 2009

[Bellucco e Carvalho, 2014], Bellucco, A. e de Carvalho, A. M. P. Uma proposta de sequência de ensino investigativa sobre quantidade de movimento, sua conservação e as leis de Newton. Cad. Bras. Ens. Fís., v. 31, n. 1, p. 30-59, abr. 2014

[BRASIL, 2000] BRASIL. Ministério da Educação. Parâmetros Curriculares Nacionais: Ciências da Natureza (Ensino Médio). Brasília: MEC, 2000.

[BRASIL, 2002] BRASIL. Ministério da Educação. Secretaria da Educação Média e Tecnológica. Parâmetros Curriculares Nacionais + (PCN+) - Ciências da Natureza e suas Tecnologias. Brasília: MEC, 2002.

[BRASIL, 2016] BRASIL, Base Nacional Curricular Comum, 2ª Versão, Ciências da Natureza, p. 136-152. Disponível em: <http://basenacionalcomum.mec.gov.br/documentos/bncc-2versao.revista.pdf>. Acesso em 08 nov. 2016

[DARRIGOL, 2012] DARRIGOL, O. A History of Optics from Greek Antiquity to the Nineteenth Century. Oxford: Oxford University Press, 2012. 327 p. ISBN-13: 978-0-19-964437-7.

[Dr. Quantun, 2014]. DR. Quantun. Dualidade Onda-Partícula.  
Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=ieZjg1eM9Ow>  
Acesso em: 08 ago 2017

[Eisberg, 2010] EISBERG, R. M., RESNICK, R., **Física Quântica: Átomos, Moléculas, Sólidos e Partículas**, Editora Campus, 2010.

[Feynman, 2008] RICHARD P. FEYNMAN Lições de Física de Feynman – A Edição Definitiva – 4 Volumes 1ª Ed. 2008 Ed. Bookman ISBN 9788577802593;

[Halliday, 2012] HALLIDAY, D.; RESNICK, R. E WALKER. J. Fundamentos de Física Vol. 4 – Ótica e Física Moderna– 9ªedição 2012 Ed. LTC. ISBN 9788521619062;

[Marques & Ueta, 2007]MARQUES, G C & UETA, N. **Ótica (Básico)**. E-Livros. Disponível em <http://efisica.if.usp.br/optica/basico/refracao/snell/> Acesso em 08 dez. 2018

[Méheut e Psillos, 2004] Méheut, Martine and Psillos, Dimitris Teaching-learning sequences: aim sand tools for science education research', International Journal of Science Education, 26:5,515 — 535, 2004

[Nussenzveig, 2014] NUSSENZVEIG, H. M. Curso de Física Básica Vol. 4 – Ótica Ótica Relatividade e Física quântica – 2ª Ed. 2014.

[Phet, 2017] Efeito Fotoelétrico. Disponível em:  
[https://phet.colorado.edu/pt\\_BR/simulation/legacy/photoelectric](https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulation/legacy/photoelectric).  
Acesso em 12 ago 2017 e 10 dez 2018

[Pires, 2011] PIRES, A. S. T. **Evolução das Idéias da Física**.  
Editora Livraria da Física, São Paulo, 2011.

[Santa Catarina, 2014], SANTA CATARINA, 2014, PROPOSTA  
CURRICULAR DE SANTA CATARINA, Secretaria de Estado da  
Educação, [S.N.], 192 p.

[Sears, 2009] YOUNG, HUGH D., FREEDMAN, ROGER  
A., SEARS Física 4, Ótica e Física Moderna, 12ª Ed. 2009, ,  
Editora Addison Wesley, ISBN 9788588639355.

[Silva, 2003] Silva, C. C. & Martins, R. A. A Teoria Das Cores De  
Newton: Um Exemplo Do Uso Da História Da Ciência Em Sala  
De Aula Ciência & Educação, v. 9, n. 1, p. 53-65, 2003

[Tossato, 2005] TOSSATO, C. R. A função do olho humano na  
óptica do final do século XVI Revista ScientiæSudia, São Paulo,  
v. 3, n. 3, p. 415-41, 200. Disponível em  
<http://www.revistas.usp.br/ss/article/view/11044/12812> Acesso 10  
dez 2018

[TVO, 1984] **DUALIDADE ONDA-PARTICULA. Produzido por**  
TV Educativa Pública da província de Ontário,  
Canadá. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=2NuLa29WKnI> Acesso em: 07 ago 2017

[VAUGHAN, 2014] VAUGHAN, M. P. **Optics** UniversityCollege  
Cork. Disponível em:

<http://www.physics.ucc.ie/mVAUGHAN/lecturing/PY3101/Optics.pdf>  
df Acesso em 10 out 2018

[Vigotsky, 2001] VYGOTSKY, L. S. A construção do pensamento  
e da linguagem. Tradução Paulo Bezerra. São Paulo: Martins  
Fontes, 2001. 496 p.

[Vygotsky, 1991] VYGOTSKY, L. S. A Formação Social da  
Mente, Lev S. Vygotsky, 90 págs., Ed. Martins Fontes, versão  
digital.

## ANEXO A – Texto: Newton e as Cores

Texto integral publicado por: Marco Aurélio da Silva Santos

Disponível

em:

<http://mundoeducacao.bol.uol.com.br/fisica/newton-as-cores.htm>

Acesso em 12 out 2017



Newton e a experiência da dispersão da luz.

Newton foi cientista, físico e matemático inglês muito reconhecido pelos seus inúmeros trabalhos no campo da mecânica. Contudo, não se ateve somente a esse ramo da física. No ano de 1672, ele publicou um trabalho onde apresentava idéias sobre as cores dos corpos. Passados aproximadamente três séculos e meio, ainda hoje as idéias propostas por este cientista são aceitas.

Por meio de um simples experimento Isaac Newton percebeu a dispersão da luz branca, ou seja, conseguiu

visualizar que se a mesma incidisse sobre um prisma de vidro, totalmente polido, dava origem a inúmeras outras cores. Foi a partir daí que esse cientista começou seus estudos sobre as cores dos corpos. Muitos anos antes de Newton, já se tinha a ideia de que a luz branca dava origem a um feixe colorido quando atravessava um prisma de vidro. No entanto, nessa época tinha-se a ideia de que o aparecimento das cores a partir da luz branca acontecia em razão das impurezas que a mesma recebia quando incidia sobre o prisma de vidro.

Isaac Newton curioso em descobrir por que tal acontecimento ocorria, pegou um prisma totalmente polido e o colocou frente a um orifício que ele mesmo fizera na janela do seu quarto. Com esse feito, ele percebeu que a luz branca, proveniente do Sol, se dispersava em feixes coloridos e a esse conjunto de cores chamou **spectrum**. Newton não era a favor da ideia de que esse colorido surgia devido a impurezas existentes no prisma. Assim sendo, realizou novo experimento onde deixava apenas uma cor passar através de um segundo prisma. Com isso, verificou que o mesmo não adicionava nada ao feixe de luz que incidia sobre ele. Dessa forma, o físico lançou a hipótese de que a luz não era pura, mas sim formada pela mistura ou superposição de todas as cores do espectro, e concluiu ainda que a luz se decompõe por causa da refração que sofre ao passar de um meio para outro com índices de refração diferentes.

Além de fazer o estudo sobre a dispersão da luz, Newton teorizou sobre as cores dos corpos. Segundo ele **“as cores de todos os corpos são devidas simplesmente ao fato de que eles refletem a luz de uma certa cor em maior quantidade do que as outras”**. Essa teoria teve grande oposição no meio científico, fato esse que levou Isaac Newton a publicar seus trabalhos sobre a óptica somente muitos anos mais tarde.

**ANEXO B – Sugestão de Roteiro de atividade experimental:  
Difração da Luz utilizando Cd's**

Por: Enio dos Anjos baseado BALACHANDRAN; K. PORTER-DAVIS, R. USING CDS AND DVDS AS DIFFRACTION GRATINGS. Georgia Institute of Technology. 2009

Este experimento é direcionado a estudantes do 2º ano do Ensino Médio.

**Objetivo:**

- Medir o espaçamento entre as grades de difração de um CD através da difração da luz

**Materiais:**

Quantidade	Descrição	Imagem	Onde encontrar
1	Cd antigo		Lojas de materiais de informática
1	Laser		Lojas de 1,99, Lojas de Armarinhos, Hipermercados. Observação:
1	Grampo de roupa		Lojas de 1,99, Lojas de Armarinhos, Super ou Hipermercados.

1	Folha A4		Papelaria, Super e Hipermercados
1	Fita Crepe		Papelaria, Materiais de Construção ou de Tintas
1	Régua		Lojas de 1,99, Lojas de Armarinhos, Super ou Hipermercados.

Material opcional:

Quantidade	Descrição	Imagem	Onde encontrar
3	Lasers de cores diferentes (azul ou violeta, verde e vermelho)		Lojas de 1,99, Lojas de Armarinhos, Observação: geralmente é possível encontrar somente os lasers vermelho e verde) Para laser violeta ou azul: Mercado livre <a href="http://www.mercadolivre.com.br/">http://www.mercadolivre.com.br/</a>

**Como se faz:**

1. Com um CD antigo em mãos, retire toda a parte espelhada, colando a fita crepe sobre essa parte e puxando em seguida conforme a Figura 1. É necessário repetir o procedimento várias vezes.



**Figura 1.** Removendo a parte espelhada do CD. Fonte [BALACHANDRAN; PORTER-DAVIS ,2009]

2. Após o procedimento de retirar a parte espelhada, coloque-o preso em prendedores de roupas, com o objetivo de dar suporte para o mesmo ficar parado em cima de uma mesa, como mostrado na Figura 2.



**Figura 2.** Colocando prendedores para dar suporte ao CD.

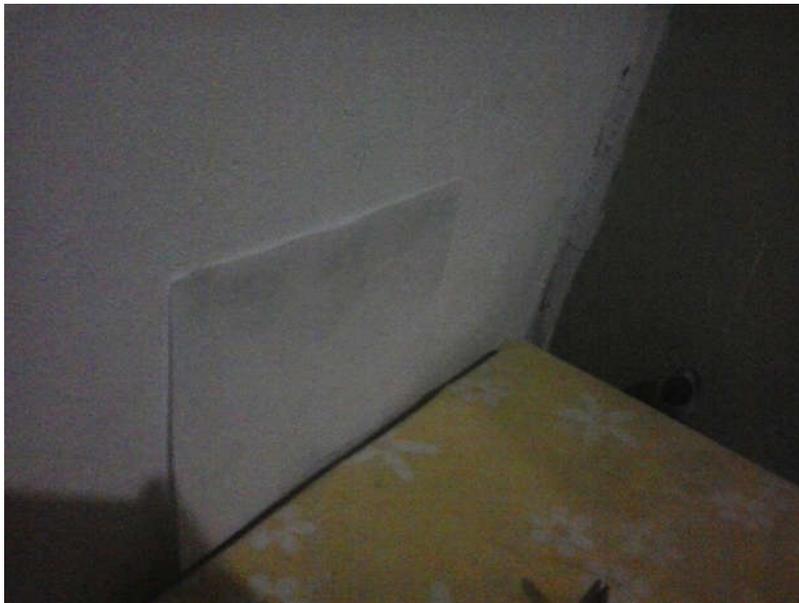
Fonte: próprio autor

Isso também pode ser feito com o laser, de modo a ficar mais fixo como na Figura 3.



**Figura 3.** Colocando grampos para suporte no laser. Fonte: próprio autor

3. Coloque uma folha de papel A4 colando no verso da mesma com fita crepe, para fixá-la na parede sala, como mostra a Figura 4;



**Figura 4.** Fixando a folha A4 na parede. Fonte: próprio autor

4. Meça 10 cm entre o CD e essa folha, a folha servirá de anteparo, como mostra a Figura 5.



**Figura 5.** Medindo a distância entre o CD e a parede. Fonte: próprio autor

5. Ligue o laser e aponte sobre o CD como mostra a Figura abaixo



**Figura 6.** Apontando o laser contra o CD. Fonte: próprio autor

6. Marque com uma caneta a posição dos pontos que aparecem (devem aparecer três pontos, um no centro, e outros dois sendo um em cada lado), como mostra a Figura 7.



**Figura 7.** Marcando os pontos. Fonte: próprio autor

7. Faça o cálculo usando as Equações para determinar  $d$  como sendo o espaçamento entre as trilhas do CD. Para isto, utilize a seguinte relação:

$$d \sin \theta = m \lambda \text{ (Equação 1)}$$

Sendo:

$$m = \pm 1$$

$d$  = distância entre o ponto central e o ponto do lado esquerdo (ou direito)

$\theta$  = ângulo de difração

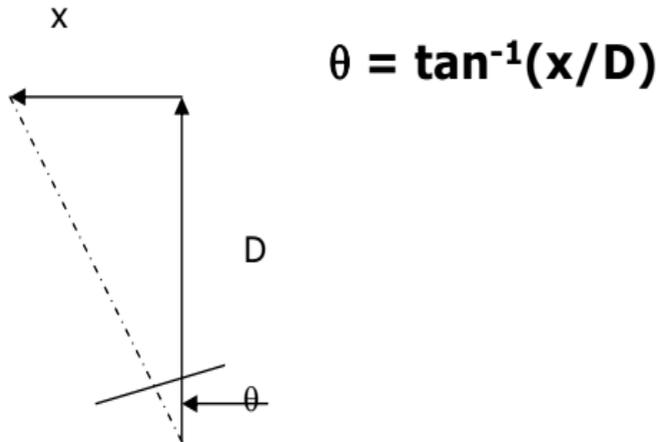
$\lambda$  = comprimento de onda da luz,

O comprimento de onda do laser normalmente vem indicado no mesmo. Caso não haja esta indicação, poderá ser estimado através da Figura 8.

Cor	Comprimento de onda
vermelho	~ 625-740 nm
laranja	~ 590-625 nm
amarelo	~ 565-590 nm
verde	~ 500-565 nm
ciano	~ 485-500 nm
azul	~ 440-485 nm
violeta	~ 380-440 nm

**Figura 8.** Comprimento de Onda. Fonte:[Wikipedia, 2018.  
[https://pt.wikipedia.org/wiki/Comprimento\\_de\\_onda](https://pt.wikipedia.org/wiki/Comprimento_de_onda)].

Para encontrar o ângulo  $\theta$ , meça a distância entre o CD e a folha A4 e a distância até o ponto da direita ou esquerda (x) e com base na Figura e equação abaixo podemos determinar o ângulo, conforme a Figura 9.



**Figura 9.** Encontrando o ângulo  $\theta$ . Fonte: [BALACHANDRAN; PORTER-DAVIS, 2009]

Opicional: Utilizando os lasers de cor diferente do primeiro utilizado repetir todo o procedimento experimental a partir do item 3.

**O que observar:**

- Nesse experimento verificamos que a luz ao passar pelas linhas de gravação do CD, é difratada, ou seja, sua trajetória muda, criando padrões de interferência.

- Conhecendo ângulo de refração, distância entre os pontos e distância do CD ao anteparo, podemos determinar a largura média das linhas.

**Questões:**

- Ao passar a luz do laser sem o CD o que é verificado no anteparo?
- Represente com um desenho a passagem da luz pelo espaçamento constituído pelas trilhas do CD;
- O que é de se esperar se mudamos a cor luz do laser que incide sobre o CD? Justifique.

**REFERÊNCIAS:**

[BALACHANDRAN; PORTER-DAVIS,2009] BALACHANDRAN; K; PORTER-DAVIS, R NNIN Document: NNIN 1 USING CDs AND DVDs AS DIFFRACTION GRATINGS.Georgia Institute of Technology. 2009

CUTNELL, J D.; JOHNSON, K. W. **Física**.Vol. 2. 1ª.ed. LCT, 2006.

## ANEXO C – Sugestão de Roteiro de experimento: Efeito Fotoelétrico em um LED

Por: Enio dos Anjos

Este experimento é direcionado a estudantes do 2º ano do Ensino Médio.

### Objetivo:

- Comprovar o efeito fotoelétrico utilizando um LED

### Materiais:

Quantidade	Descrição	Imagem	Onde encontrar
3	Lasers de cores diferentes (azul ou violeta, verde e vermelho)		Lojas de 1,99, Lojas de Armarinhos, Observação: geralmente é possível encontrar somente os lasers vermelho e verde) Para laser violeta ou azul: Mercado livre <a href="http://www.mercadolivre.com.br/">http://www.mercadolivre.com.br/</a>
1	LED de auto-brilho		Mercado livre <a href="http://www.mercadolivre.com.br/">http://www.mercadolivre.com.br/</a> . Lojas de materiais eletrônicos. Na região de Blumenau, lojas Proesi: <a href="http://proesi.com.br/">http://proesi.com.br/</a> e Blupel: <a href="http://proesi.com.br/">http://proesi.com.br/</a>

1	Multímetro		<p>Mercado livre  <a href="http://www.mercadolivre.com.br/">http://www.mercadolivre.com.br/</a> . Lojas de materiais eletrônicos. Na região de Blumenau, lojas Proesi:  <a href="http://proesi.com.br/">http://proesi.com.br/</a> e Blupel:  <a href="http://proesi.com.br/">http://proesi.com.br/</a></p>
2	Fios com garra jacaré		<p>Mercado livre  <a href="http://www.mercadolivre.com.br/">http://www.mercadolivre.com.br/</a> . Lojas de materiais eletrônicos. Na região de Blumenau, lojas Proesi  <a href="http://proesi.com.br/">http://proesi.com.br/</a> e Blupel  <a href="http://proesi.com.br/">http://proesi.com.br/</a></p>
1	Lanterna ou lanterna de celular		<p>Lojas de 1,99, Lojas de Armarinhos, Observação: quanto a lanterna de celular, muitos alunos no Ensino Médio portam o aparelho, facilitando esse uso para fim pedagógico</p>

### **Como se faz:**

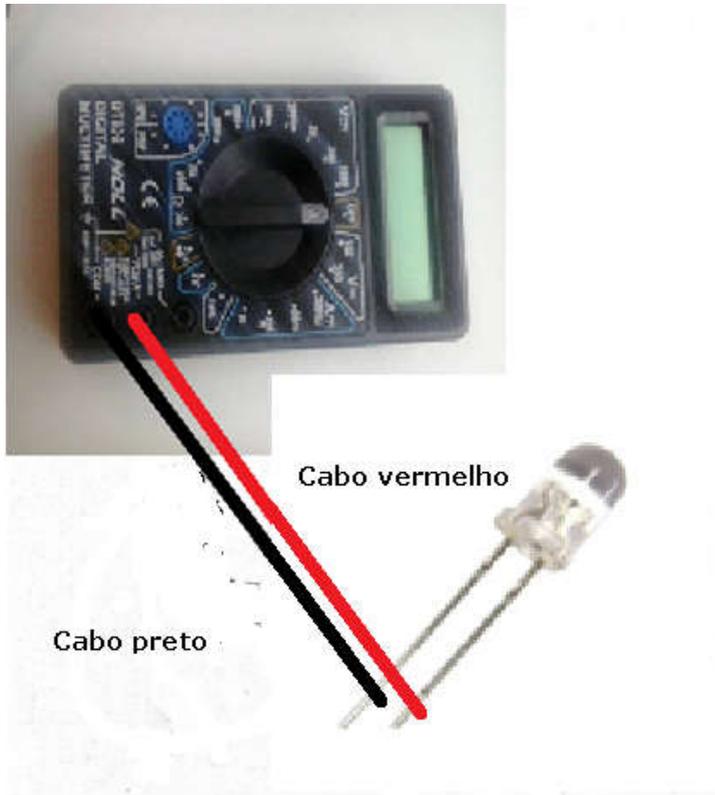
Ligue o multímetro e deixe na posição para medir voltagem, como mostrado na Figura abaixo, em 20 V



**Figura 1.** Em corrente contínua, deixe o multímetro em 20 V.

Fonte: próprio autor

6. Conecte a garra jacaré preta no multímetro em COM (Comum) e com o terminal VmA que está em cima do comum, conforme Figura 2.



**Figura 2.** Conectando o multímetro com o led alto-brilho . Fonte: próprio autor

7. Incida luz do laser sobre o LED e verifique se existe alguma medida de voltagem;

8. Se não houver medida, gire o botão do multímetro para uma voltagem menor até encontrar alguma medida de voltagem

9. Anote os valores na tabela a seguir, fazendo o mesmo procedimento com cada laser diferente e ao final com a luz branca de uma lanterna

	Valor	Escala
Laser vermelho		
Laser verde		
Laser violeta		
Luz branca (lanterna)		

**Tabela 1.** Medida de voltagem e respectiva escala usando diferentes lasers e luz branca (lanterna)

Com relação a escala anotar se o multímetro está na escala de 1000 V, 200 V, 20 V, 2000 mV ou 200 mV, procurando fazer todas as medidas com a mesma escala, se possível;

### **O que observar:**

- Quando há a incidência de luz sobre um metal, percebe-se o efeito fotoelétrico que na verdade é a emissão de elétrons a superfície do material na presença de luz.
- O efeito fotoelétrico é percebido em certos comprimentos de onda próximos ao violeta e não existe próximo ao vermelho.

### **Questões**

- Com base nos valores indicados pelo multímetro, com qual dos lasers houve maior medida de voltagem?
- Justifique a questão 1, com base nos comprimentos de onda da luz característica a cada cor.

### **Referências:**

EISBERG, R. M., RESNICK, R., Física Quântica: Átomos,  
Moléculas, Sólidos e Partículas, Editora Campus, 2010

## **ANEXO D – Sugestão de Roteiro de experimento virtual: Efeito Fotoelétrico**

Por: Enio dos Anjos

Este experimento é direcionado a estudantes do 2º ano do Ensino Médio.

### **Objetivo:**

- Mostrar o efeito utilizando diferentes materiais em um simulador virtual

### **Materiais a serem utilizados**

Computador com Windows ou Linux instalado;  
Java instalado (pode ser a última versão)

### **Preparação do computador para a atividade:**

1. Utilizando um navegador de internet, abra o site do PHET: [https://phet.colorado.edu/pt\\_BR/](https://phet.colorado.edu/pt_BR/), como mostra a Figura 1:

https://phet.colorado.edu/pt\_BR/

**PhET**  
INTERACTIVE SIMULATIONS

University of Colorado Boulder

**SIMULAÇÕES INTERATIVAS EM CIÊNCIAS E MATEMÁTICA**  
Mais de 360 milhões de simulações distribuídas.

Entre aqui e simule

Professor, registre-se aqui

**Ciências da Terra**

O Que é PhET?	Recursos para Professores	DOE HOJE
Fundado em 2002 pelo Prêmio Nobel Carl Wieman, o projeto PhET Simulações Interativas da Universidade de Colorado Boulder cria simulações interativas gratuitas de matemática e ciências. As sims PhET baseiam-se em extensa pesquisa em educação e envolvem os alunos através de um ambiente intuitivo, estilo jogo, onde os alunos aprendem através da exploração e da descoberta.	Ver Atividades Partilhe suas Atividades Dicas de uso PhET	PHET é apoiado por... <b>ndla</b> NACIONAL DIGITAL LIBRARY e nossos outros patrocinadores, incluindo educadores como você.
INTERAJA, DESCUBRA, APRENDA!		

**Figura 1.** Tela do Website do PHET COLORADO (em dezembro de 2018)

2. Na tela do site, clique em Entre E Simule, ou seja, onde a seta branca indica (Figura 2).

**PHET**  
INTERACTIVE SIMULATIONS

University of Colorado  
Boulder

**SIMULAÇÕES INTERATIVAS  
EM CIÊNCIAS E MATEMÁTICA**  
Mais de 360 milhões de simulações distribuídas.

Entre aqui e simule

Professor, registre-se aqui

**Ciências da Terra**

O Que é PhET?	Recursos para Professores	DOE HOJE
Fundado em 2002 pelo Prêmio Nobel Carl Wieman, o projeto PhET Simulações Interativas da Universidade de Colorado Boulder cria simulações interativas gratuitas de matemática e ciências. As sims PhET baseiam-se em extensa pesquisa em educação e envolvem os alunos através de um ambiente intuitivo, estilo jogo, onde os alunos aprendem através da exploração e da descoberta.	Ver Atividades Partilhe suas Atividades Dicas de uso PhET	PhET é apoiado por...  e nossos outros patrocinadores, incluindo educadores como você.
INTERAJA, DESCUBRA, APRENDA!		

**FIGURA 2.** Tela do Website do PHET COLORADO

3. Ao abrir à nova pagina clique em Física como indicado pela seta Figura 3.

**PHET**  
INTERACTIVE SIMULATIONS

University of Colorado  
Boulder

**Simulações**

- Novas Sims
- HTML5
- Física
- Biologia
- Química
- Ciências da Terra
- Matemática
- Por nível de Ensino
- Por Dispositivo
- Todas as Sims
- Traduzir Sims
- Recursos para Professores
- Pesquisa
- Accessibility
- Doar

Adição de Vetores

Alongamento DNA

A RAMPA

Aritmética

Associe Fracções

Átomo

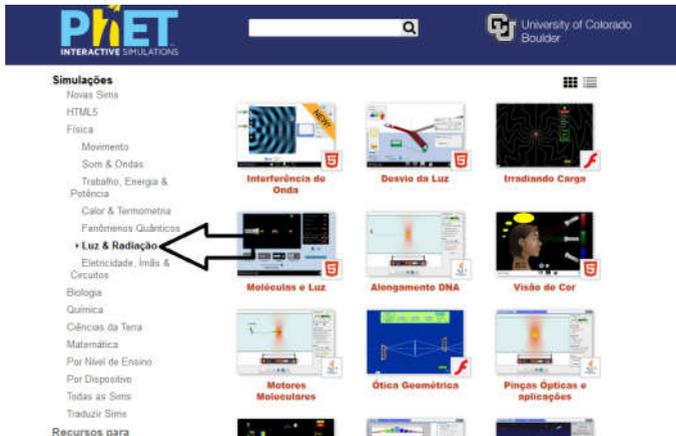
Balanço

Balanço de Equações Químicas

Bóias e Eletricidade Estática

**Figura 3.** Tela da página com opções de simulação em Física.

4. Abrindo os itens abaixo da página Física, clique em Luz e Radiação como mostra a Figura 4 onde está indicado pela seta.



**Figura 4.** Tela da página com opções de simulação em Física.

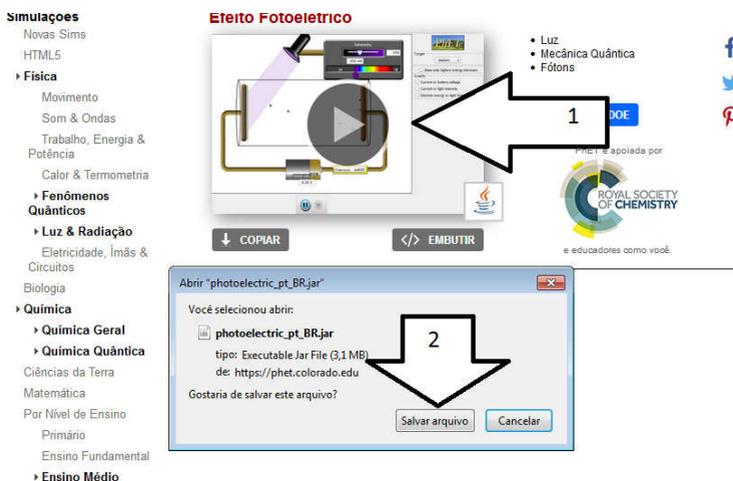
5. Procure e clique em **Efeito Fotoelétrico**, como indicado na Figura 5 pela seta branca.



**Figura 5.** Tela da página para acessar o experimento de pêndulos (Laboratório de Pêndulos)

**Observação 1:** O link direto do simulador Efeito Fotoelétrico é [https://phet.colorado.edu/pt\\_BR/simulation/legacy/photoelectric](https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulation/legacy/photoelectric) que foi verificado em 10 de dezembro de 2018 pelo autor desse roteiro.

6, Deve-se clicar no símbolo de PLAY, como indica a seta 1 da Figura a seguir (Figura 6), e logo em seguida baixar o arquivo, clicando em SALVAR O ARQUIVO conforme a seta 2 da Figura 6.



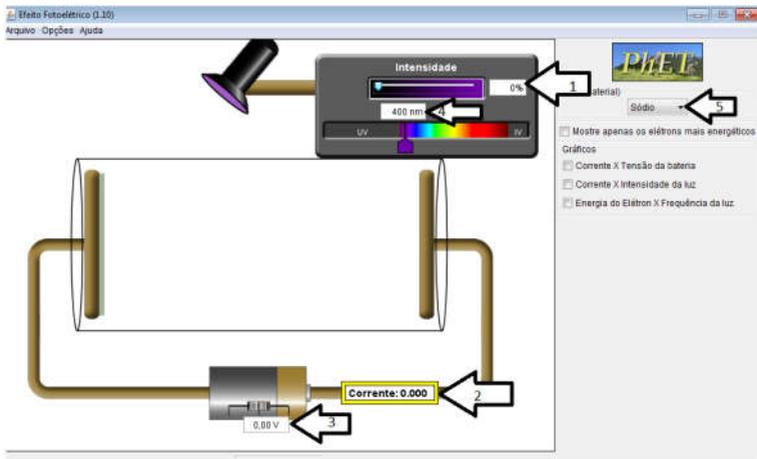
**Figura 6.** Tela da página para execução do Efeito Fotoelétrico, com os procedimentos 1 e 2, respectivamente para baixar o arquivo.

7. Deixe-o completar o download em seu computador, e depois localize e o execute.

Observação: Ao executar esse arquivo, não há necessidade de internet (off-line),

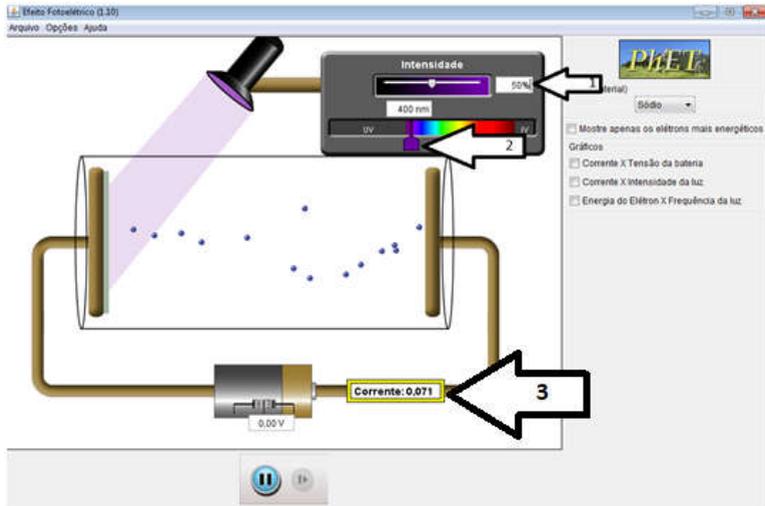
### **Como se faz:**

1. Com o simulador aberto, verifique se os botões dos parâmetros de intensidade (luminosa) (seta 1), voltagem (seta 2) e corrente elétrica (seta 3) estão em zero e de comprimento de onda está em 400 nm (seta 4), e o material é o sódio (seta 5), conforme a Figura 7



**Figura 7.** Setas indicando os botões dos parâmetros de intensidade (luminosa) (seta 1), voltagem (seta 2) e corrente elétrica (seta 3) estão em zero e de comprimento de onda está em 400 nm (seta 4), e o material é o sódio (seta 5), que devem ser verificados

2. Aumente a intensidade da luz, digitando 50 % indicada pela seta 1 e observe o que ocorre. Mantenha o botão da seta 2 na mesma posição inicial, e observe o valor de corrente elétrica, indicado pela seta 3, conforme a Figura 8;



**Figura 8.** Aumentando a intensidade da luz digitando 50%, onde é indicado pela seta 1 e mantendo o botão 2 na mesma posição e verificando o valor de corrente elétrica indicado pela seta 3.

3. Anote o valor na tabela 1 de corrente elétrica encontrado de corrente elétrica

4. Aumente a intensidade até, digitando 100 % indicada pela seta 1, conforme Figura 8, e observe o que ocorre com a corrente elétrica.

5. Anote o valor encontrado de corrente elétrica na tabela 1.

6. Varie o comprimento de onda, conforme indicado pela seta branca da Figura 9 e verifique o que ocorre com a corrente elétrica, movendo para o botão indicando para direita para aumentar o comprimento de onda e para a esquerda para diminuir o comprimento de onda.

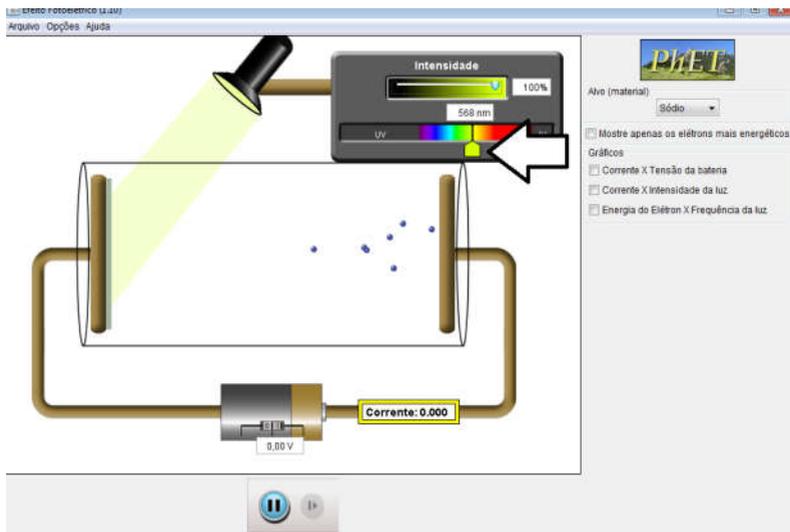


Figura 9. Movendo o botão do comprimento de onda indicado pela seta branca

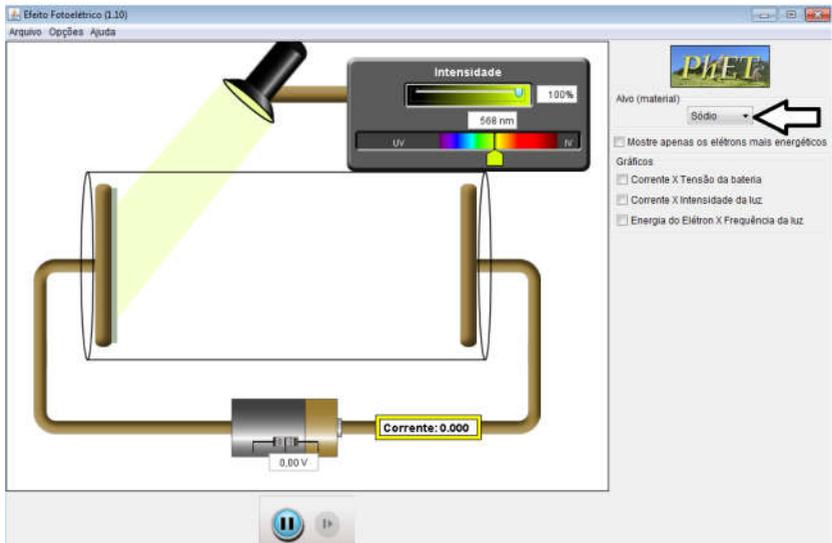
11. Anote o valor em cada situação até completar a tabela 1 a seguir

Material: Sódio			
Medida	Intensidade de luz	Comprimento de onda	Valor de corrente elétrica
1	50%	400 nm	
2	100 %		

3	50%		
4	100 %		
5	50%		
6	100 %		
7	50%		
8	100 %		
9	50%		
10	100 %		

**Tabela 1.** Dados do material sódio

10. Troque o material, selecionando o botão indicando pela seta branca da Figura 10 e faça os procedimentos a partir do item 1 desta seção Como se faz.



**Figura 10.** Selecionando o botão de trocar o material, indicado pela seta branca

11. Preencha a tabela 2 com os dados do novo material

Material:			
Medida	Intensidade de luz	Comprimento de onda	Valor de corrente elétrica
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
9			
10			

**Tabela 1.** Dados do outro material escolhido

**O que observar:**

Ao incidir luz no eletrodo esquerdo elétrons são ejetados e podem ser detectados ao atingir o eletrodo direito através de uma pequena corrente elétrica ou uma pequena voltagem. Esses elétrons, chamados de fotoelétrons são emitidos com alguma energia cinética.

Einstein mostrou que os fótons emitidos por uma fonte não percorrem sua trajetória como simples partículas clássicas, mas sim como ondas. Porém, sua teoria não descrevia a propagação da luz como apenas “ondas clássicas”, mas como pacotes de energia ( $E$ ) discretos em que a energia desses pacotes era proporcional à frequência ( $\nu$ ), ou seja, proporcional a

“cor” da luz incidida sobre o eletrodo, através da seguinte equação [Eisberg, 2010]:

$$E = \lambda\nu \text{ (Equação 1)}$$

Nesta relação,  $h$  é a constante de Planck. Einstein considerou ainda que, quando um elétron é emitido por um metal, sua energia cinética ( $K$ ) deve ser:

$$K = \lambda\nu - w \text{ (Equação 2)}$$

Sendo  $w$  a função trabalho, que é a energia necessária para retirar o elétron desse metal. Dessa forma, Einstein descreveu a luz como sendo um pacote de fótons que pode interagir com a matéria de forma corpuscular, mesmo propagando-se como onda, sendo esta a base da teoria da dualidade onda-partícula da luz.

### **Referencias:**

HALLIDAY, D., RESNICK, R., WALKER, J. – “Fundamentos de Física 4” – São Paulo: Livros Técnicos e Científicos Editora, 6ª edição.

[Eisberg, 2010] EISBERG, R. M., RESNICK, R., **Física Quântica: Átomos, Moléculas, Sólidos e Partículas**, Editora Campus, 2010.

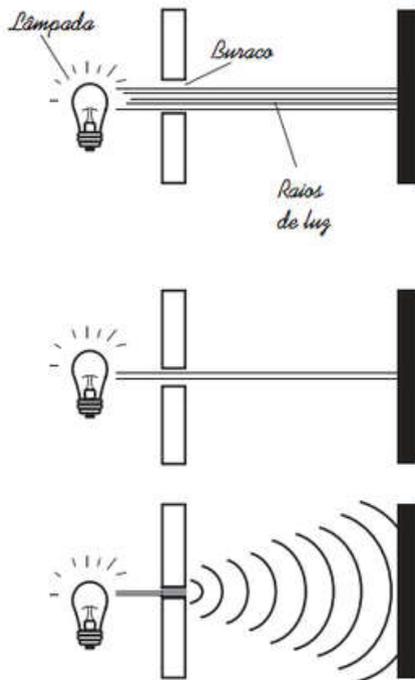
[Phet, 2017] Efeito Fotoelétrico. Disponível em:

[https://phet.colorado.edu/pt\\_BR/simulation/legacy/photoelectric](https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulation/legacy/photoelectric).

Acesso em 12 ago 2017 e 10 dez 2018

**ANEXO E – Questões (Lista de exercícios)****1. (ENEM – MEC)**

Ao diminuir o tamanho de um orifício atravessado por um feixe de luz, passa menos luz por intervalo de tempo, e próximo da situação de completo fechamento do orifício, verifica-se que a luz apresenta um comportamento como o ilustrado nas Figuras. Sabe-se que o som, dentro de suas particularidades, também pode se comportar dessa forma.



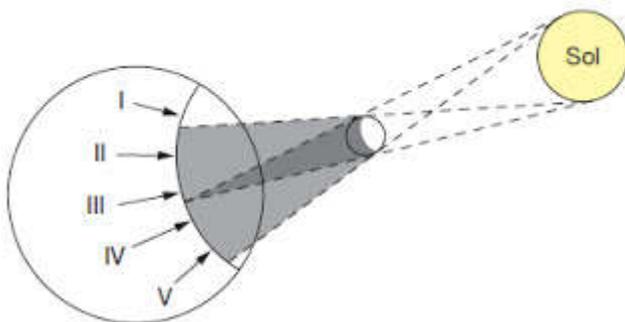
**FIOLHAIS, C. Física divertida. Brasília: UnB, 2000 (adaptado)  
(Foto: Reprodução/Enem)**

Em qual das situações a seguir está representado o fenômeno descrito no texto?

- A. Ao se esconder atrás de um muro, um menino ouve a conversa de seus colegas.
- B. Ao gritar diante de um desfiladeiro, uma pessoa ouve a repetição do seu próprio grito.
- C. Ao encostar o ouvido no chão, um homem percebe o som de uma locomotiva antes de ouvi-lo pelo ar.
- D. Ao ouvir uma ambulância se aproximando, uma pessoa percebe o som mais agudo do que quando aquela se afasta.
- E. Ao emitir uma nota musical muito aguda, uma cantora de ópera faz com que uma taça de cristal se despedace.

**2. (ENEM – MEC)**

**A Figura abaixo mostra um eclipse solar no instante em que é fotografado em cinco diferentes pontos do planeta.**



**Três dessas fotografias estão reproduzidas abaixo.**



**As fotos poderiam corresponder, respectivamente, aos pontos:**

- A) III, V e II.**
- B) II, III e V.**
- C) II, IV e III.**
- D) I, II e III.**
- E) I, II e V.**

### **3. (ENEM – MEC)**

Alguns povos indígenas ainda preservam suas tradições realizando a pesca com lanças, demonstrando uma notável habilidade. Para fisgar um peixe em um lago com águas tranquilas o índio deve mirar abaixo da posição em que enxerga o peixe.

Ele deve proceder dessa forma porque os raios de luz

- A. refletidos pelo peixe não descrevem uma trajetória retilínea no interior da água.
- B. emitidos pelos olhos do índio desviam sua trajetória quando passam do ar para a água.
- C. espalhados pelo peixe são refletidos pela superfície da água.

D. emitidos pelos olhos do índio são espalhados pela superfície da água.

E. refletidos pelo peixe desviam sua trajetória quando passam da água para o ar.

#### 4. (UFSC-SC 2014 - adaptada)

As ondas eletromagnéticas, como a luz e as ondas de rádio, têm um “sério problema de identidade”. Em algumas situações apresentam-se como onda, em outras, apresentam-se como partícula, como no efeito fotoelétrico, em que são chamadas de fótons. Isto é o que chamamos de dualidade onda-partícula, uma das peculiaridades que encontramos no universo da Física e que nos leva à seguinte pergunta: “Afinal, a luz é onda ou partícula?”. O mesmo acontece com um feixe de elétrons, que pode se comportar ora como onda, ora como partícula.



Com base no que foi exposto, assinale com X a(s) proposição(ões) CORRETA(S).

( ). Um feixe de elétrons incide sobre um obstáculo que possui duas fendas, atingindo um anteparo e formando a imagem apresentada na Figura acima. A imagem indica que um feixe de elétrons possui um comportamento ondulatório, o que leva a concluir que a matéria também possui um caráter dualístico.

( ). O fenômeno da difração só fica evidente quando o comprimento de onda é da ordem de grandeza da abertura da fenda.

( ). Após a onda passar pela fenda dupla, as frentes de ondas geradas em cada fenda sofrem o fenômeno de interferência, que pode ser construtiva ou destrutiva. Desta forma, fica evidente o princípio de dependência de propagação de uma onda.

( ). Christian Huygens, físico holandês, foi o primeiro a discutir o caráter dualístico da luz e, para tanto, propôs o experimento de fenda dupla

