

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ - CAMPO MOURÃO**  
**PROGRAMA DE MESTRADO PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA**

# **Produto Educacional**

**SEQUÊNCIA DIDÁTICA PARA O ENSINO DE EFEITO FOTOELÉTRICO**

**DANILO CORCI BATISTA**

Campo Mourão  
2016

**MNPEF**  
Mestrado Nacional  
Profissional em  
Ensino de Física

**UTFPR**  
UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ



**DANILO CORCI BATISTA**

# Produto Educacional

**SEQUÊNCIA DIDÁTICA PARA O ENSINO DE EFEITO FOTOELÉTRICO**

Produto Educacional apresentado ao Programa de Mestrado Profissional em Ensino de Física da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, campus Campo Mourão, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Orientadora: Prof<sup>a</sup> Dra. Polônia Altoé Fusinato  
Co-orientador: Prof. Dra. Fernanda Peres Ramos

Campo Mourão  
2016

## SUMÁRIO

<b>1 APRESENTAÇÃO DA SEQUÊNCIA DIDÁTICA .....</b>	<b>04</b>
<b>2 INTRODUÇÃO AO EFEITO FOTOELÉTRICO.....</b>	<b>06</b>
2.1 A FÍSICA NO FINAL DO SÉCULO XIX.....	06
2.2 OS RESULTADOS INESPERADOS DO EXPERIMENTO DE HERTZ.....	06
2.3 EFEITO FOTOELÉTRICO: UMA INTRODUÇÃO HISTÓRICA DA FÍSICA QUÂNTI.....	07
<b>3 ESTRUTURA DAS AULAS .....</b>	<b>10</b>
3.1 AULAS 1 E 2.....	10
3.2 CONSTRUÇÃO DO EXPERIMENTO .....	12
3.3 ROTEIRO PARA A UTILIZAÇÃO DO SIMULADOR .....	15
3.4 AULAS 3 E 4.....	22
<b>4 AVALIAÇÃO .....</b>	<b>22</b>

## 1 APRESENTAÇÃO DA SEQUÊNCIA DIDÁTICA

Corroborando com os pesquisadores da área de ensino de Física (EF), construímos uma proposta, que visa, dar subsídios capazes de contribuir para a discussão em torno das possibilidades de superação dos obstáculos destacados.

Para tal, planejamos uma sequência didática que introduz discussões de FMC na terceira série do EM, a partir do estudo do efeito fotoelétrico. Vale ressaltar que, na elaboração da proposta, escolhemos trabalhar com a terceira série do EM por ser este o momento em que, formalmente, os alunos da educação básica conhecem os conceitos básicos de eletricidade bem como seu formalismo matemático.

Quanto ao tema central, foi selecionado porque foi ele que abriu o caminho para uma nova Física a conhecida Física Quântica, portanto entendemos como um marco na história da Ciência. Assim, essa proposta se apresenta como possibilidade para trazer a FMC para o EM, por meio do fenômeno sem dar ênfase aos modelos matemáticos.

Para produzir uma sequência didática que se adequasse aos nossos objetivos, utilizamos a História da Ciência (HC) como recurso de ensino, juntamente com a atividade experimental demonstrativa investigativa e com o simulador. Julgamos que por meio da HC o conceito de efeito fotoelétrico permita aos alunos a compreensão não só o avanço da Ciência e sua aplicação na tecnologia, mas principalmente, que a Ciência é uma construção coletiva, buscando romper com a ideia de que a Ciência é feita por uma única pessoa em um momento de inspiração. Acreditamos que os outros recursos utilizados serão de grande importância na construção dos organizadores prévios dos alunos junto ao conteúdo.

A sequência apresentada a seguir foi planejada para um trabalho com alunos da 3<sup>a</sup> série do EM, assim está tem por objetivo proporcionar um momento privilegiado de estudo despertando nos participantes a curiosidade e a busca pela investigação de temas atuais de Física.

## FICHA TÉCNICA: EFEITO FOTOELÉTRICO

**TIPO DE SEQUÊNCIA DIDÁTICA:** Curta, com metodologia de pesquisa e produto final voltados para o uso cotidiano

**PÚBLICO ALVO**

Alunos da 3ª série do Ensino Médio

**DURAÇÃO:** 5 aulas de 50 minutos

**CONTEÚDOS**

- O contexto histórico do final do século XX
- Experimento de Hertz
- Experimento de Lenard
- Max Planck e a quantização da energia
- Einstein e sua interpretação para o efeito fotoelétrico
- Aplicações do efeito fotoelétrico

**OBJETIVOS**

- Entender porque a física clássica não explicava os resultados obtidos por Lenard.
- Compreender a interação da luz com a matéria.
- Analisar qualitativamente a relação da frequência e da intensidade com o efeito fotoelétrico.
- Aplicar o modelo matemático descrito por Einstein em problemas envolvendo o efeito fotoelétrico.
- Compreender que a Ciência é uma construção coletiva.

**PRODUTO FINAL (AVALIAÇÃO)**

Produzir um panfleto explicativo sobre algumas aplicações do efeito fotoelétrico

## 2 INTRODUÇÃO AO EFEITO FOTOELÉTRICO

### A física no final do século XIX

No final do século XIX, acreditava-se que a luz se comportava como uma onda eletromagnética, alguns experimentos (envolvendo difração e interferência) comprovavam essa forma de compreender a luz.

Nesse sentido pode-se dizer que, ondas eletromagnéticas são formadas pela combinação dos campos magnético e elétrico que se propagam perpendicularmente um em relação ao outro e na direção de propagação da energia.

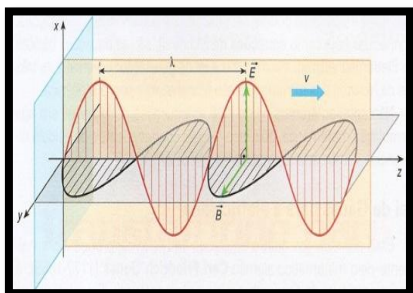


Figura 1: Onda eletromagnética

Na primeira metade do século XIX, o físico escocês James Clerk Maxwell (1831 - 1879) ficou conhecido por desenvolver um dos trabalhos mais relevantes na área do eletromagnetismo. Com apenas vinte e quatro anos, se propôs realizar a tarefa de ligar a eletricidade e o magnetismo por meio de uma base matemática sólida.

De acordo com Mckelvey e Grotch (1981), Michael Faraday (1791 - 1867) já havia realizado experiências e chegado a descobertas que um campo magnético variável induzia um campo elétrico, no entanto, suas explicações em termos de linhas de força não foram consideradas como totalmente satisfatórias por seus contemporâneos. Foi Maxwell quem

conseguiu desenvolver uma descrição matemática correta para a lei da indução de Faraday, além disso, predisse que um campo elétrico variável no tempo induziria um campo magnético. Esta proposição originou-se da descoberta de Maxwell da corrente de deslocamento.

$\oint_S \mathbf{E} \cdot \mathbf{n} dA = \frac{q}{\epsilon_0}$ , o fluxo elétrico fora do volume arbitrário é igual a  $\frac{1}{\epsilon_0}$  vezes a carga total dentro do volume.

$\oint_S \mathbf{B} \cdot \mathbf{n} dA = 0$ , o fluxo magnético fora do volume arbitrário é igual a carga magnética total no volume. O fluxo deve ser zero devido à inexistência de cargas magnéticas. Portanto, os fluxos para dentro e para fora do volume devem sempre ser iguais.

$\oint_C \mathbf{E} \cdot d\mathbf{l} = - \frac{d}{dt} \int_S \mathbf{B} \cdot \mathbf{n} dA$ , a integral de linha de  $\mathbf{E} \cdot d\mathbf{l}$  em torno de uma trajetória fechada é igual a razão de variação no tempo do fluxo magnético através da área encerrada pela trajetória.

$\oint_C \mathbf{B} \cdot d\mathbf{l} = \mu_0 \left( i_c + \epsilon_0 \frac{d}{dt} \int_S \mathbf{E} \cdot \mathbf{n} dA \right)$ , a integral de linha de  $\mathbf{B} \cdot d\mathbf{l}$  em torno de uma trajetória fechada é igual a  $\mu_0$  vezes a soma das correntes de condução e deslocamento. (MCKELVEY e GROTCHE, p.1280,1981)

Maxwell propôs quatro equações envolvendo campos elétricos, campos magnéticos, e distribuições de carga e densidade de corrente. Além de descrever o comportamento do campo elétrico e do campo magnético, as equações de Maxwell possibilitaram a previsão da existência das ondas eletromagnéticas, as quais são muito conhecidas e empregadas na ciência e na tecnologia. São ondas

eletromagnéticas: as ondas de rádio, as micro-ondas, a radiação infravermelha, os raios X e raios gama e a luz visível ao olho humano.

A velocidade de propagação de uma onda eletromagnética depende do meio em que ela se propaga. Maxwell mostrou que a velocidade de propagação de uma onda eletromagnética, no vácuo, é dada pela expressão:

$$c = \frac{1}{\sqrt{\mu_0 \cdot \epsilon_0}}$$

onde  $\epsilon_0$  é a permissividade elétrica do vácuo e  $\mu_0$  é a permeabilidade magnética do vácuo.

Aplicando os valores de  $\epsilon_0$  ( $8,85 \cdot 10^{-12} \frac{C^2}{N \cdot m^2}$ ) e de  $\mu_0$  ( $4\pi \cdot 10^{-7} T \cdot m/A$ ) na expressão acima, encontra-se a velocidade:

$$c = 3 \cdot 10^8 m/s$$

Oito anos após a morte de Maxwell, em 1887, Heinrich Rudolf Hertz (1857-1894), conseguiu detectar experimentalmente, em uma série de experimentos hoje famosos, essas ondas eletromagnéticas.

### Os resultados inesperados do experimento de hertz

Em suas experiências de 1887, em que demonstrou a validade da teoria de Maxwell produzindo e detectando ondas eletromagnéticas, Hertz produzia uma descarga

oscilante fazendo saltar uma faísca entre dois eletrodos, para gerar as ondas, e detectava-as usando uma antena ressonante, onde até a detecção era acompanhada de uma faísca entre eletrodos. Ele observou que a faísca de detecção saltava com mais dificuldade quando os eletrodos da antena receptora não estavam expostos à luz (predominantemente violeta e ultravioleta) proveniente da faísca primária na antena emissora, ou seja, quando se introduzia um anteparo entre as duas para bloquear a luz.

Curiosamente, ao comprovar a teoria de Maxwell, coroamento da física clássica, Hertz estava assim descobrindo o efeito fotoelétrico, uma das primeiras evidências experimentais da quantização.

### Efeito fotoelétrico: uma introdução histórica da física quântica

O efeito fotoelétrico consiste no seguinte: quando se incide luz sobre um material metálico, elétrons podem ser arrancados da superfície do metal.

No final do século XIX, o físico alemão Philipp Eduard Anton Von Lenard, ex- aluno de Hertz, retoma os experimentos do mesmo, fazendo incidir luz sobre uma placa metálica (feita com materiais diferentes bem limpos e polidos). Observou que a incidência de luz na placa, produzia faíscas ou "raios" e, utilizando um aparato experimental, verificou que os "faíscas" produzidas eram, na verdade, elétrons, ou melhor, fotoelétrons, razão pela qual ele batizou o fenômeno de efeito fotoelétrico.

Na sequência, Lenard fez medidas bastante precisas descobrindo duas importantes propriedades: a primeira, dizia respeito à medida da corrente elétrica gerada em função da tensão elétrica aplicada nos

eletrodos, quando ele notou que existia um potencial de corte, a partir do qual não era mais possível observar o efeito; a segunda, tratava da dependência do efeito em relação à frequência da luz incidente. Ele observou que abaixo de determinadas frequências o efeito deixava de acontecer, e isso estava associado a existência de um valor especial da frequência, chamada de frequência de corte.

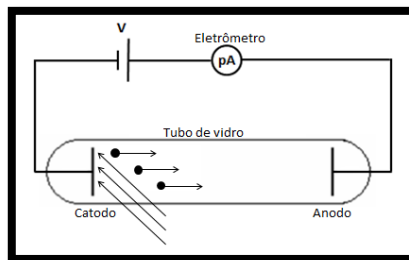


Figura 2: Esquema experimental para observação do efeito fotoelétrico.

De acordo com a Figura 2, uma luz monocromática de frequência  $f$  e intensidade  $I_0$  incide sobre o catodo (placa conectada ao polo negativo da bateria) que libera elétrons, esses por sua vez são atraídos pelo anodo (placa conectada ao polo positivo da bateria). Esse movimento dos elétrons produz uma corrente elétrica extremamente pequena, da ordem de  $10^{-12}$  A (pA), medida usando-se eletrômetros.

Os resultados obtidos por Lenard, com o equipamento apresentado na Figura 2, são apresentados nas Figuras 3 e 4

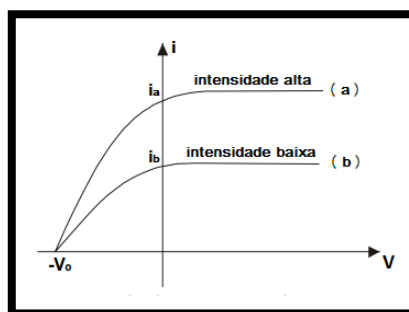


Figura 3: Gráfico da corrente elétrica em função da diferença de potencial entre os eletrodos.

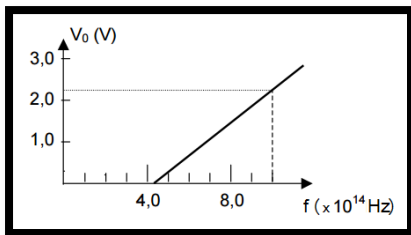
A figura 3, mostra o comportamento da corrente elétrica  $i$ , em função da variação da tensão elétrica  $V$  entre as duas placas, anodo e catodo. Na figura, verifica-se duas curvas (a) e (b), que são relacionadas a duas fontes de luz com intensidade  $I_a$  e  $I_b$ , respectivamente, com  $I_a > I_b$  e ambas com a mesma frequência  $f$ . Tanto no caso (a), como no (b), todos os elétrons retirados pela luz são coletados pelo anodo, quando  $V > 0$ , dando origem as a correntes  $i_a$  e  $i_b$ . Mas, quando  $V < 0$  (inversão da polaridade da fonte de tensão), os fotoelétrons são freados, ao invés de acelerados. Então, embora, a corrente elétrica continue a passar no mesmo sentido, ela irá diminuir com o aumento do  $|-V|$ , até anular-se em  $V = -V_0$ , onde  $V_0$  chama-se potencial de corte.

É importante observar que para as duas curvas (a) e (b), apresentadas na Figura 3, independente da intensidade luminosa, o potencial de corte é o mesmo. Esse é um resultado contrário ao previsto pela teoria clássica.

Na teoria clássica se espera que um aumento na intensidade da luz deveria provocar um aumento na energia cinética dos elétrons arrancados do catodo, e conseqüentemente de  $V_0$ , pois a energia cinética máxima  $K_{máx}$  é dada por:

$$K_{máx} = e V_0$$

No entanto, esse comportamento já foi testado inúmeras vezes após o experimento de Lenard, cobrindo um intervalo na variação da intensidade da luz de  $10^{+7}$ , mas em todos eles o potencial de corte, foi sempre o mesmo. Um fato que deixou intrigado muitos cientistas daquela época.



**Figura 4:** Gráfico do potencial de corte em função da frequência da luz incidente.

O gráfico da Figura 4 apresenta medidas do potencial de corte  $V_0$  em função da frequência  $f$  da luz incidente, em uma placa metálica (catodo) de sódio. Através de filtros ópticos, selecionava-se diversas frequências associadas à luz que incide sobre a placa de sódio, observando que quanto maior for a frequência  $f$ , maior será o valor de do potencial de corte  $V_0$ .

Com esse experimento também foi possível perceber que existe uma frequência, chamada de frequência de corte  $f_0$ , abaixo da qual não ocorre mais a produção de fotoelétrons, isto é, o efeito fotoelétrico deixa de existir.

Este resultado indica que a energia cinética dos fotoelétrons arrancados do catodo depende da frequência da luz incidente. Mais uma vez, um resultado contrário ao que se espera classicamente, onde não se prevê nenhuma relação entre energia cinética e frequência.

Outro problema encontrado nos estudos do efeito fotoelétrico está relacionado a uma observação de um retardo (atraso) temporal. Na física clássica, um átomo gasta um certo tempo para absorver a energia, e só após este tempo é que um fotoelétron será emitido. Essa diferença de tempo, nunca foi verificada experimentalmente.

Em resumo, três questões foram levantadas nas pesquisas sobre o efeito fotoelétrico: a não dependência de  $V_0$  com a intensidade da luz; a existência de uma frequência de corte e a medida de um atraso no tempo entre a

absorção de energia no catodo e a expulsão de um elétron de sua superfície.

Como alguns resultados experimentais obtidos por Lenard não podiam ser explicados satisfatoriamente com a física que se tinha até o final do século XIX, chamada de física clássica, Lenard decidiu se dedicar a outros estudos guardando assim seus resultados experimentais.

Em 1905, Einstein apresenta em uma revista científica, uma solução, que resolve todas as questões oriundas do experimento de Lenard (sobre o efeito fotoelétrico) que a física clássica não dava conta de explicar.

Einstein buscou subsídios na hipótese da quantização da energia, proposta por Planck,

$$E = hf$$

onde  $f$  é a frequência (Hz),  $h$  é a constante de Planck ( $h = 6,625 \cdot 10^{-34} J s$ ) e  $E$  é a quantidade de energia associada à frequência (J).

Em sua interpretação, Einstein propõe que a luz seria composta de "corpúsculos ou quanta de luz". Ou seja, para Einstein a luz deve se comportar como se fosse constituída de partículas luminosas (os chamados fótons).

Compreendendo a luz dessa forma, o efeito fotoelétrico passa a ser simplesmente descrito como uma colisão entre duas partículas: o fóton e o elétron.

De acordo com Chesman et al (2004) deve-se destacar que a ousadia de Einstein, ao estender o conceito da quantização da energia para a radiação eletromagnética (luz), ajudou a consolidar o nome de Planck como o grande pioneiro da revolução que dava origem a chamada física moderna; e aos poucos foi convencendo a um grupo

significativo de cientistas, que, inicialmente, não aceitavam, a rever suas posições sobre a hipótese do quantum de energia.

Ainda de acordo com Chesman et al (2004), com a hipótese de Einstein, a questão da intensidade da luz não influenciar a determinação do potencial de corte  $V_0$ , logo desaparece, pois, se a luz se comporta como uma partícula (o fóton), aumentar a intensidade implica em aumentar a corrente e não o potencial de corte  $V_0$ , conforme Figura 3. A questão da existência de uma frequência de corte  $f_0$  é rapidamente entendida, visto que, se um fóton não tiver energia suficiente para arrancar o elétron, não adiantará aumentar a intensidade, conseqüentemente o número de fótons, pois tudo que se precisa é de que um único fóton colida com um elétron e transfira a esse elétron, toda a sua energia, para arrancá-lo do metal. Finalmente, o problema do retardo temporal também desaparece, porque a energia é transferida instantaneamente no momento da colisão fóton-elétron. Após verificar as implicações da hipótese de Einstein nos resultados experimentais do efeito fotoelétrico, vamos agora descrever quantitativamente, os resultados obtidos por Einstein e apresentados no artigo de 1905. Usando o princípio de conservação da energia, ele escreveu a seguinte equação:

$$E = K_{m\acute{a}x} + \Phi$$

onde  $E = hf$  é a energia do fóton;  $K_{m\acute{a}x}$  é a energia cinética do elétron extraído do metal e  $\Phi$  é uma característica do metal chamada função de trabalho, que representa o trabalho necessário para arrancar um elétron da superfície da placa metálica (catodo). Essa é a famosa equação de Einstein do efeito fotoelétrico.



Por meio da equação de Einstein pode-se perceber que o elétron adquire uma energia cinética  $K$ , quando  $f > f_0$ , ou seja, quando  $E > \Phi$  e, conseqüentemente, essa energia cinética será máxima  $K_{máx}$  exatamente, quando a mesma for igual  $e.V_0$ . Logo, podemos concluir que, a mínima energia fornecida para arrancar o elétron do catodo tem de ser igual  $\Phi$ . Utilizando a equação de Einstein pode-se escrever:

$$E = K_{máx} + \Phi$$

$$hf = eV + \Phi$$

$$hf - \Phi = eV$$

dividindo a equação por  $e$ , temos:

$$V_0 = \frac{h}{e} f - \frac{1}{e} \Phi$$

Como  $h, e, \Phi$ , são constantes pode-se dizer que a proposta feita por Einstein descreve o efeito fotoelétrico por meio de uma equação linear (equação da reta) entre  $V_0$  e  $f$ , onde:

**coeficiente linear da reta é**

$$-\frac{1}{e} \Phi$$

**coeficiente angular da reta é**

$$tg\theta = \frac{h}{e}$$

Esse resultado teórico esta em pleno acordo com o gráfico da figura 4, obtido experimentalmente.

Quando o potencial de corte for nulo,  $V_0 = 0$ , essa equação mostra a ocorrência de uma frequência de corte  $f_0$ , abaixo da qual não se observa o efeito fotoelétrico:

$$V_0 = \frac{h}{e} f - \frac{1}{e} \Phi$$

$$0 = \frac{h}{e} f - \frac{1}{e} \Phi$$

$$\frac{1}{e} \Phi = \frac{h}{e} f$$

$$f_0 = \frac{\Phi}{h}$$

- sensores eletrônicos de radiação eletromagnética de uma maneira geral.



Albert Einstein em 1921

Fonte: <http://www.emlii.com/db873615/52-Colorized-Pics-That-Redefine-History-All-Together>

Dessa forma, Einstein solucionou um problema existente na Ciência no início do século XX. Esse trabalho de Einstein fez ressurgir na física uma discussão antiga sobre a natureza da luz. A luz é uma onda eletromagnética como descrita por Maxwell e verificada experimentalmente por Hertz ou é constituída de partículas como apresentada na hipótese de Einstein para explicar o efeito fotoelétrico observado por Lenard?

Além das discussões sobre a natureza da luz, a teoria proposta por Einstein permitiu o surgimento de inúmeras aplicações tecnológicas. Como exemplos temos:

- luz interagindo com os bastonetes e cones do nosso olho;
- sensores de controle para abertura de portas;
- sensores de vigilância;
- sensores de imagens nas câmeras de vídeo;
- sensores de câmeras fotográficas;
- placas solares; enfim,

### 3 ESTRUTURA DAS AULAS

<b>Etapa da sequência didática</b>	<b>horas</b>	<b>Atividades</b>	
Apresentação do tema Produção inicial	0,5	<ul style="list-style-type: none"><li>• Atividade demonstrativa investigativa.</li></ul>	
Etapa das atividades	3	1,5 aula	Reprodução do experimento de Lenard utilizando um simulador.
		1,5aulas	Aula expositiva sobre efeito fotoelétrico: Explicação de Einstein para o efeito fotoelétrico; Aplicações do efeito fotoelétrico.
Produção Final	0,5	<ul style="list-style-type: none"><li>• Aplicação de um mapa conceitual;</li><li>• Aplicação de um questionário.</li></ul>	

#### AULA 1 E 2

A problematização inicial caracteriza-se por apresentar situações reais que os alunos conhecem e vivenciam. É nesse momento que os estudantes são desafiados a expor os seus entendimentos sobre determinadas situações significativas que são manifestações de contradições locais.

Inicialmente o professor separa a turma em duplas (ou pequenos grupos) e lança a seguinte situação problema:

Imagine que você está passeando com sua sobrinha de 6 anos de idade, num belíssimo fim de tarde (início de noite), quando de repente ela percebe que as luzes dos

postes começaram a se acender. Ela então rapidamente lembra que em sua casa para acender a luz é necessário apertar um botão, que ela não sabe ao certo o nome.

Segundos após processar seu pensamento ela olha pra você e como uma criança curiosa que é lhe faz a seguinte pergunta:

### **Tia (o) quem acende a luz do poste?**

Diante dessa situação discutam sobre o assunto em seus grupos e escrevam a melhor resposta para essa sobrinha curiosa.

#### **Atividade de registro**

Essa atividade busca avaliar os conhecimentos prévios dos alunos em relação ao conteúdo que será abordado no decorrer da sequência didática

Depois de alguns minutos o professor solicita que cada pequeno grupo leia sua explicação e juntos devem eleger a melhor e anotá-la no canto do quadro.

Após definirem a melhor explicação, o professor encaminha a realização de uma atividade experimental demonstrativa com um enfoque investigativo.

Uma atividade investigativa se caracteriza como uma possibilidade de ensino que tem a intenção de levar o aluno a refletir sobre o fenômeno, levantar hipóteses, discutir com os colegas, formular explicações, expor suas explicações de forma oral e escrita. Nesse sentido, segundo Azevedo (2006), a aprendizagem de procedimentos e atitudes torna-se tão importante durante o processo quanto a aprendizagem de conceitos ou do conteúdo.

## Construção do experimento

Para a montagem do experimento você irá precisar de:

- um relógio digital simples;
- um led de auto brilho;
- dois pequenos pedaços de fio rígido e fino.
- 1,0m fio duplo flexível 1,5mm;
- um soquete para lâmpada incandescente;
- um pino macho;
- uma lâmpada incandescente;
- um ferro de solda;
- um pedaço de estanho.

Inicialmente faça a conexão do pino macho em uma das extremidades do fio, em seguida fixe o soquete na outra extremidade do fio. Conecte a lâmpada no soquete.



**Figura 2:** Fio duplo conectado ao pino macho e ao soquete  
Fonte: Arquivos do autor

Agora retire a pilha do relógio, com uma chave retire os parafusos que prendem a parte traseira do relógio.

Com a ajuda do ferro de solda, fixe um pequeno pedaço de fio fino rígido no ponto onde estaria o polo positivo da pilha. Da mesma forma, fixe outro pequeno pedaço de fio fino rígido ao ponto que seria conectado o polo negativo da pilha.

Em seguida coloque de volta a tampa traseira do relógio, volte os parafusos aos seus lugares.

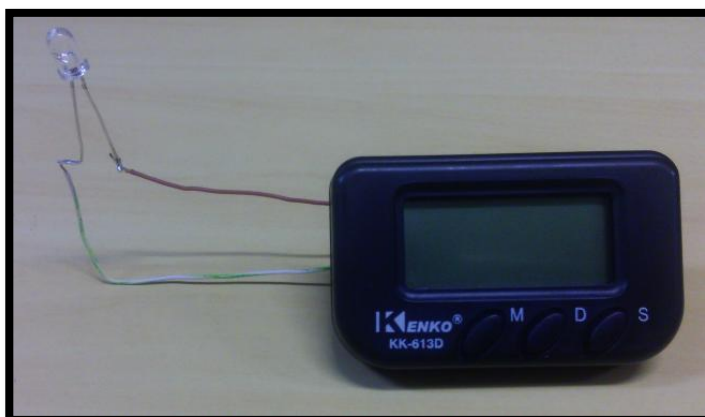


**Figura 3:** Fios conectados no lugar da pilha  
Fonte: Arquivos do autor

Temos para a figura 3 um dos fios como polo positivo e o outro como polo negativo.

Pegue o componente led, ele possui dois terminais, um maior que o outro. O maior terminal é o positivo, o menor terminal é o negativo.

Com o auxilio do ferro de solda fixe o fio positivo ao terminal positivo do led, e o fio negativo



**Figura 4:** Led conectado ao relógio  
Fonte: Arquivos do autor

Depois do experimento montado, o professor deve questionar a turma sobre o que é indispensável para o funcionamento de um relógio digital. Aguarda as respostas e estimula a participação dos alunos.

Depois de articular as resposta, o professor apresenta para os alunos um relógio digital em pleno funcionamento (esse deve estar com funcionamento normal sem nenhuma alteração). Em seguida, lança aos pequenos grupos o seguinte questionamento: "é possível o relógio funcionar sem a pilha?".

#### **Atividade de registro**

Peça para os alunos anotarem suas respostas seguidas das justificativas.

Após os alunos escreverem, apresenta-se o relógio digital com o LED de auto brilho, incidisse luz sobre o mesmo e solicitasse que os alunos registrem o que estão vendo.

#### **Atividade de registro**

Os alunos nos pequenos grupos, devem discutir e elaborar uma explicação física para o que acabaram de registrar.

Após um tempo necessário para escreverem o professor pede que cada grupo leia sua explicação física. O professor deve encaminhar uma discussão com o grande grupo e juntos devem escolher a melhor explicação para o fenômeno.

Este primeiro momento da aula tem por objetivo verificar as concepções prévias dos alunos, o que eles pensam sobre o fenômeno que vamos iniciar seu estudo. Por esse motivo até o presente momento o professor-pesquisador não apresentou nenhuma

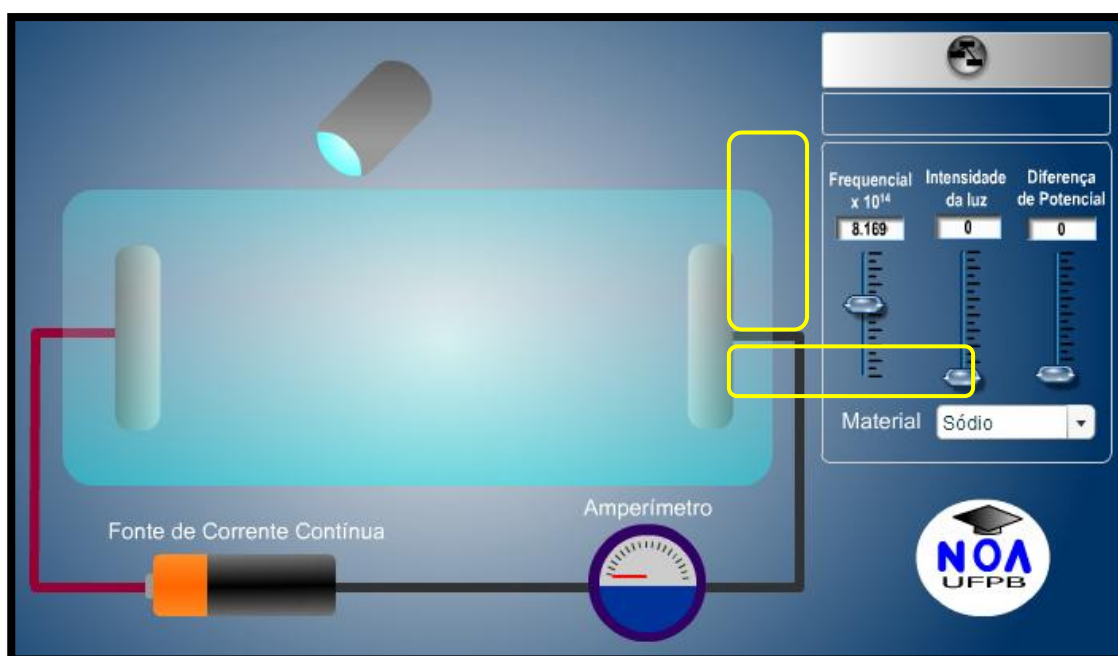
resposta, apenas deu liberdade para que os alunos em pequenos grupos pudessem levantar hipóteses sobre o fenômeno observado.

No momento seguinte da aula os alunos foram convidados a realizar uma atividade experimental investigativa, no entanto, não tínhamos equipamentos necessários para reproduzir o experimento histórico de Lenard, que descobriu o fenômeno do efeito fotoelétrico. Utilizamos então um recurso didático disponível online conhecido como simulador, com este foi possível reproduzir o experimento nas mesmas condições da época.

Se na instituição tiver disponível um laboratório de informática a atividade pode ser realizada em duplas ou em pequenos grupos em cada computador. Caso essa possibilidade não seja possível o professor pode projetar o simulador e encaminhar a atividade com a turma dividida em pequenos grupos.

### Roteiro para a utilização do simulador

Acesse o simulador – Efeito Fotoelétrico indicado na figura 5.



**Figura 5:** Simulador do efeito fotoelétrico

Fonte: <http://www.fisica.ufpb.br/~romero/objetosaprendizagem/Rived/20EfeitoFotoeletrico/Site/Animacao.htm>

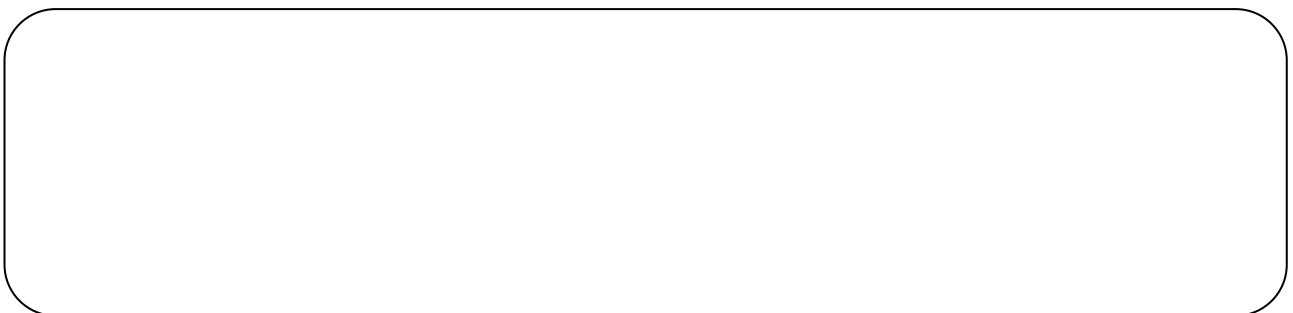
## 1ª PARTE

Inicialmente devemos estabelecer as condições iniciais do experimento:

- 1) Selecione o sódio como material a ser utilizado na placa metálica no interior do experimento, como mostrado na figura 1.
- 2) Coloque o cursor da frequência no seu ponto médio, como indicado na figura 1.
- 3) Retire toda a luz que incide no experimento, ou seja, coloque o cursor da intensidade<sup>1</sup> da luz na posição zero e anote o que acontece com a corrente elétrica no amperímetro.



- 4) Agora regule o cursor da intensidade para o ponto médio e anote o que acontece com a corrente elétrica no amperímetro.



- 5) Regule o cursor da intensidade para a posição máxima e anote o que acontece com a corrente elétrica no amperímetro.





6) Discuta com seus colegas e chegue a uma conclusão sobre a relação existente entre o efeito fotoelétrico e a intensidade luminosa.

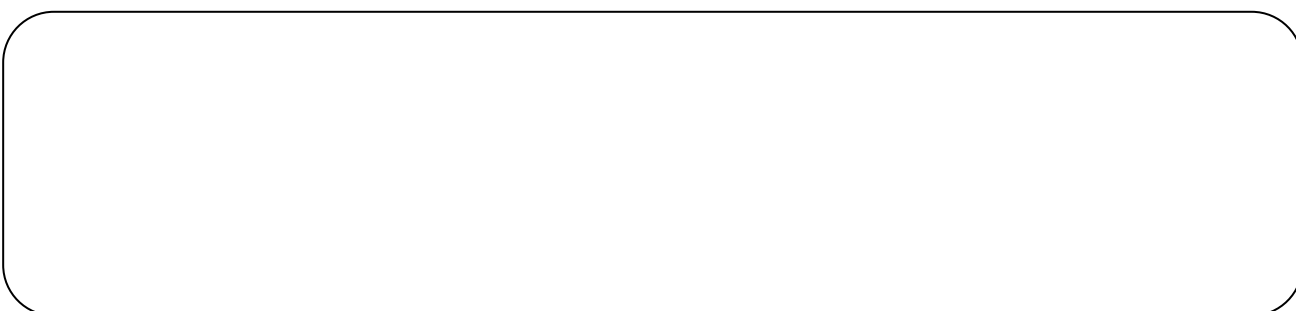


#### O que diz a teoria

Em Física clássica a energia do elétron está associada a intensidade da luz, portanto, esperava-se que a energia da luz incidente iria movimentar o elétron no átomo até que sua energia fosse suficiente para escapar do metal e só então ele se moveria de uma placa para a outra fazendo aparecer uma corrente elétrica no amperímetro.

Nesse sentido se fornecermos uma intensidade muito baixa de luz, o elétron receberá pouca energia demorando assim algum tempo para ele conseguir se desprender da placa metálica e entrar em movimento, demorando assim para surgir uma corrente elétrica no amperímetro.

7) Coloque o cursor da intensidade na posição 0,5 (consideramos essa uma intensidade muito pequena). Verifique experimentalmente se o tempo necessário para surgir uma corrente elétrica no amperímetro é grande, pequeno ou muito pequeno. Registre o resultado experimental que você observou.



**8)** Com base na física clássica você pode explicar satisfatoriamente esse resultado

**O que diz a teoria**

De acordo com a explicação clássica, a frequência da luz está relacionada com a cor da luz incidente, mas não interfere no experimento, visto que a energia da luz está associada apenas a intensidade luminosa.

**9)** Para garantir o fenômeno coloque o cursor da intensidade da luz na posição máxima. Lentamente diminua a posição do cursor da frequência até chegar na posição zero. Registre suas observações.

**10)** Em seguida ainda com o cursor da intensidade da luz na posição máxima. Aumente lentamente a posição do cursor da frequência até chegar na posição máxima. Registre suas observações.

11) Agora coloque o cursor da intensidade da luz em outra posição qualquer diferente de zero. Varie lentamente a posição do cursor da frequência da posição máxima até a posição zero. Registre suas observações.

#### O que diz a teoria

A frequência da luz em que os elétrons começam a saltar da primeira placa para a da direita e o amperímetro passa a registrar uma corrente elétrica recebe o nome de frequência de corte.

## 2ª PARTE

12) Selecione agora o cobalto como material a ser utilizado na placa metálica no interior do experimento, como mostrado na figura 1.

13) Fixe o cursor da frequência no ponto médio e varie o cursor da intensidade da luz de zero até seu valor máximo.

Registre o resultado experimental encontrado.

**14)** Fixe o cursor da intensidade da luz no ponto médio e varie o cursor da intensidade da frequência de zero até seu valor máximo. Registre o resultado experimental encontrado.

**15)** O que aconteceu com o valor da frequência de corte quando alteramos o material da placa metálica de sódio para cobalto?

**16)** E se alterarmos novamente o material da placa metálica de cobalto para alumínio o que acontecerá com a frequência de corte? Altere o material da placa para alumínio e refaça os passos 13 e 14, em seguida tire suas conclusões.

**17)** Tomando como base seus resultados experimentais explique como funciona o efeito fotoelétrico.

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

**18)** A explicação apresentada acima está de acordo com a Física clássica?

Sim ( )

Não ( )

Essa atividade objetivou fazer com que o aluno compreendesse que a Física que se tinha disponível até o final do século XIX não era suficiente para explicar os resultados experimentais encontrados na época.

## AULA 3 E 4

Com a turma ainda dividida em pequenos grupos, o professor encaminha uma aula sobre os conceitos básicos do efeito fotoelétrico, evidenciando a hipótese de Einstein para solucionar o problema experimental encontrado por Lenard. Em seguida apresenta aos alunos o tratamento matemático dado por Einstein ao efeito fotoelétrico, e por fim cita algumas aplicações tecnológicas do efeito fotoelétrico.

Para essas aulas o professor pode utilizar como referencial o texto apresentado no item 4.2 deste capítulo

O objetivo da aula 3 e 4 é dar condições para que o aluno compreenda que a Ciência é uma construção coletiva, e não fruto de espasmos de gênios da Ciência, como muitas vezes fica subentendido em alguns livros didáticos.

### 4 AVALIAÇÃO

O processo de avaliação da aprendizagem precisa ser coerente com o processo de ensino. Dessa forma, nessa sequência didática a avaliação deve ser contínua, valorizando-se principalmente os debates gerados em sala de aula.

O professor pode ao final da implementação da sequência didática solicitar que cada aluno descreva com suas palavras, o que é o efeito fotoelétrico e principalmente quem descobriu o efeito fotoelétrico, esses dois questionamentos permitirá ao professor avaliar a compreensão do aluno sobre a temática discutida.

Para finalizar o professor como produção final pode solicitar que cada pequeno grupo de trabalho elabore (para ser entregue em uma data posterior devidamente agendada pelo professor) um panfleto para ser apresentado na escola para outras turmas sobre uma das aplicações do efeito fotoelétrico (cada pequeno grupo ficaria responsável por uma aplicação diferente).