

PRODUTO EDUCACIONAL

“ESTUDANDO O EFEITO FOTOELÉTRICO”

INTRODUÇÃO

No mundo atual, convivemos diariamente com as mais diversas formas de tecnologia que nos trazem inúmeros benefícios e conforto. Hoje é possível realizar exames cada vez mais precisos, cirurgias a *laser* e nos comunicar a distância sem o auxílio de cabos, por exemplo. A sociedade moderna não mais se imagina viver em um mundo sem celulares, câmeras digitais, equipamentos operados por controle remoto entre outros.

Mas o que esses aparelhos tão utilizados por nós hoje em dia têm em comum? Todos eles possuem entre as suas funções um mecanismo de funcionamento baseado em um conceito físico muito importante: O efeito fotoelétrico. Sua descoberta ocorreu no final do século XIX e deu origem a teorias que se tornaram a base para a criação de diversos equipamentos, promovendo assim, um grande avanço tecnológico. Por este motivo, é importante que os alunos tenham acesso a esses conhecimentos, pois os ajudarão a compreender os riscos e benefícios que essa tecnologia que os cercam pode trazer.

Porém, é preciso que os professores enquanto agentes educacionais, estejam preparados para transmitir esses conhecimentos aos alunos. Este produto educacional caracteriza-se como um manual para auxiliar o professor na abordagem do tópico “efeito fotoelétrico” com os alunos do ensino médio através da aplicação de uma sequência didática que utiliza o recurso da simulação computacional. Esta sequência didática está baseada no método pedagógico conhecido como “Os três momentos pedagógicos” (3MP), desenvolvido por Delizoicov e Angotti no início dos anos 80. Este método se divide em três fases, cuja aplicação neste produto educacional será descrita a seguir.

1. A Problemática Inicial

Este item refere-se ao primeiro dos três Momentos Pedagógicos: a problematização inicial. Neste momento o professor vai iniciar uma discussão com a turma a respeito dos avanços tecnológicos que culminaram na produção de aparelhos e sistemas eletrônicos que os alunos se acostumaram a ver no seu cotidiano. Através da apresentação de exemplos desses sistemas eletrônicos e uma breve explicação do que cada um faz, o professor pode (vai) inserir a pergunta: Como funcionam esses sistemas? Ou seja, quais são os conceitos físicos que estão envolvidos no mecanismo de funcionamento desses aparelhos? O objetivo deste primeiro

momento, além de estimular a curiosidade e o interesse da turma, é promover um distanciamento crítico do aluno fazendo com que ele perceba que, mesmo estando em contato com esses aparelhos diariamente e sabendo manuseá-los tão bem, não dispõe de conhecimentos suficientes para entender como funcionam. Com isso, espera-se que o aluno sinta a necessidade de aprender mais sobre o assunto.

1.1 Iniciando a contextualização:

Antes de iniciar a discussão, o professor irá introduzir o tema a ser discutido através de um texto que será trabalhado com a turma. A função deste texto é promover uma contextualização junto aos alunos do assunto que será abordado. Abaixo sugerimos um texto que pode ser utilizado pelo professor nesta fase. Este texto é uma compilação de alguns trechos retirados da internet.

O EFEITO FOTOELÉTRICO NO COTIDIANO

“Já se perguntou como ocorre o funcionamento das portas de shoppings que se abrem sozinhas? Como um sistema de iluminação pode acender e apagar sozinho? Ou mesmo como sistemas de alarme ligam e desligam automaticamente? Perguntas como essas são respondidas e explicadas através do efeito fotoelétrico.⁹”

“Do ponto de vista tecnológico, o efeito fotoelétrico é empregado em visores noturnos (sensíveis à radiação infravermelha), fotômetros, dispositivos para aberturas de portas e outros¹⁰”. “Graças ao efeito fotoelétrico tornou-se possível o cinema falado, assim como a transmissão de imagens animadas (televisão). O emprego de aparelhos fotoelétricos permitiu construir maquinaria capaz de produzir peças sem intervenção alguma do homem. Os aparelhos cujo funcionamento assenta no aproveitamento do efeito fotoelétrico controlam o tamanho das peças melhor do que o pode fazer qualquer operário.¹¹”

“A descoberta do efeito fotoelétrico teve grande importância para a compreensão mais profunda da natureza da luz. Porém, o valor da ciência consiste não só em esclarecer-nos a estrutura complexa do mundo que nos rodeia, como em fornecer-nos os meios que permitem aperfeiçoar a produção e melhorar as condições de trabalho e de vida da sociedade.¹²”

⁹ Marco Aurélio da Silva/Equipe Brasil Escola.

¹⁰ CAVALCANTE, M. A.; FAGUNDES, D. ; TAVOLARO, Cristiane Rodrigues Caetano ; MUZINATTI, J. . Uma aula sobre o Efeito Fotoelétrico no Desenvolvimento de Competências e Habilidades. Revista Brasileira de Ensino de Física **JCR**, Brasil, v. 3, n.1, p. 24-29, 2002.

¹¹ <https://dfte.ufrn.br/caio/index.html>.

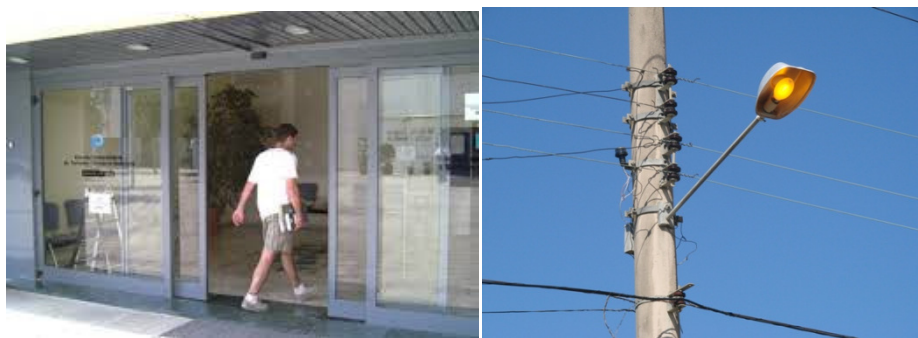
¹² <http://www.sistemaaguia.com.br/downloads/28-effoto.pdf>.

1.2 Discutindo aplicações do Efeito Fotoelétrico:

Após a apresentação do tema, trabalhado por meio de um texto de apoio, o professor vai iniciar efetivamente um debate sobre as aplicações do efeito fotoelétrico no nosso cotidiano. Utilizando alguns sistemas fotoelétricos como exemplos, pretende-se estimular os alunos a pensarem em como esses equipamentos funcionam com a finalidade de associar esse funcionamento ao conceito de efeito fotoelétrico. A seguir, sugerimos um roteiro para promover a discussão.

SISTEMAS FOTOELÉTRICOS: COMO FUNCIONAM?

Alguns sistemas eletrônicos operam de maneira autônoma, ou seja, assim que instalados, funcionam sem o controle do homem e por isso são chamados de inteligentes. Esses sistemas inteligentes possuem diferentes mecanismos que os tornam automáticos. Abaixo podemos observar dois exemplos de sistemas inteligentes:



Você é capaz de dizer como é o mecanismo de funcionamento desses sistemas?

Que conceitos científicos estão por trás?

Como o sistema percebe a aproximação de uma pessoa? Como reconhece que está de noite?

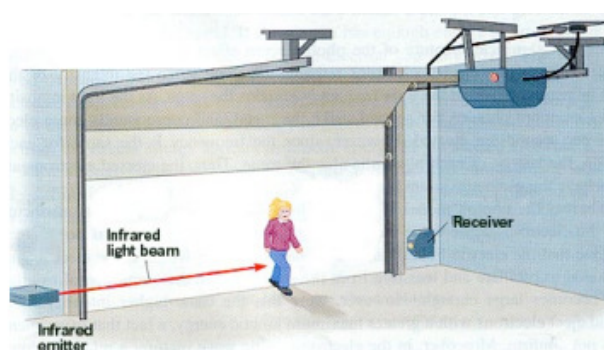
Um equipamento também bastante conhecido e muito utilizado que sofreu uma considerável evolução foi a máquina fotográfica. Na figura abaixo temos um exemplo de uma câmera antiga e uma mais atual.



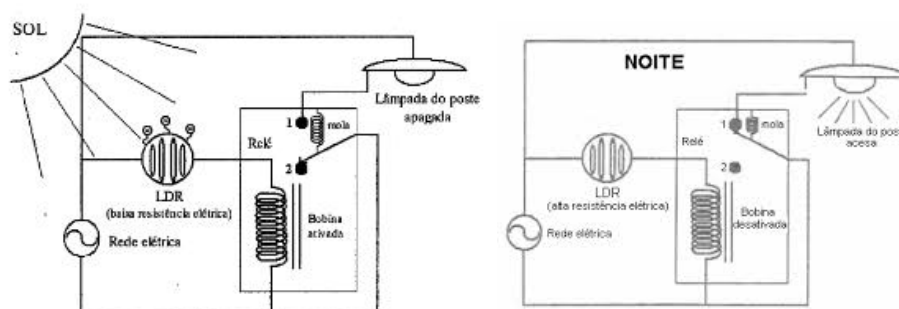
Qual a diferença entre as câmeras?

Qual o mecanismo de gravação da imagem de cada uma delas?

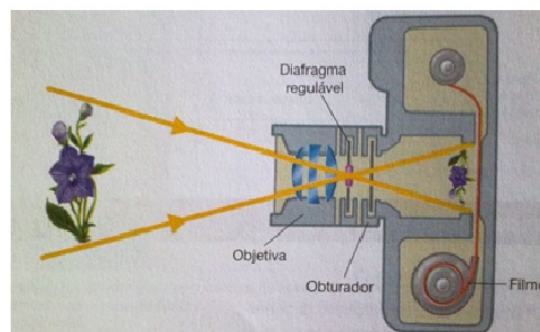
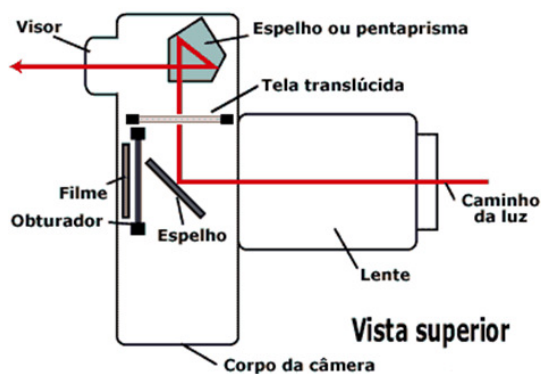
A seguir podemos observar como cada um desses sistemas opera:



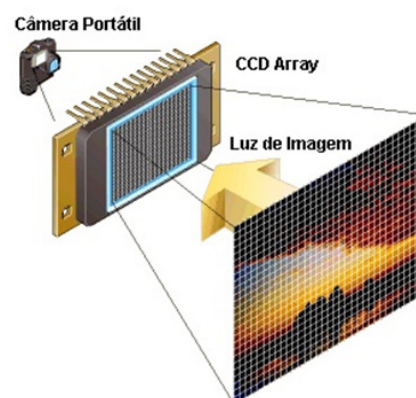
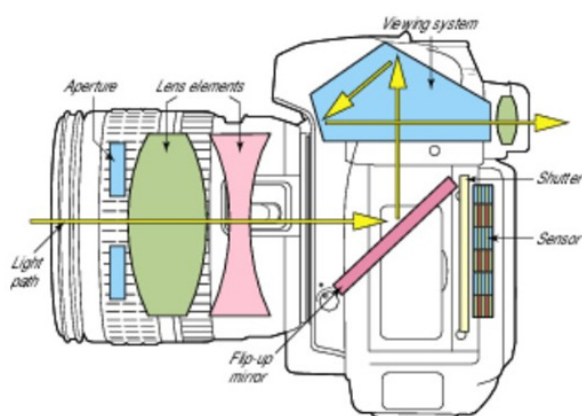
No caso da porta automática, um feixe contínuo de luz infravermelha é emitido em direção a uma placa metálica, que está ligada em um circuito, fazendo com que o sistema mantenha a porta fechada. Quando uma pessoa passa na frente do feixe bloqueando-o, o circuito para de funcionar. Isso faz com que a porta se abra, voltando à posição de repouso.



O poste de iluminação possui uma placa metálica acoplada a um solenoide e um circuito elétrico ligado à rede elétrica. Durante o dia, a luz do sol incidindo na placa metálica faz com que o solenoide comece a gerar um campo magnético. Esse campo magnético irá atrair uma das chaves do circuito fazendo com que ele fique aberto. Quando anoitece, esse campo magnético cessa e a chave (puxada pela mola) retorna à posição original, fechando o circuito e acendendo a lâmpada do poste.



Na câmera fotográfica comum (antiga) a luz entra por uma pequena abertura que regula a quantidade de luz que entra. Em seguida, a luz passa por lentes que desviam o feixe de luz e o fazem convergir num único ponto. Isso dará origem à imagem, que vai ser formada invertida no fim do processo. No fundo da máquina, a luz incide sobre um filme fotográfico de plástico coberto por uma solução sensível à luz. As áreas do feixe atingidas pela luz sofrem uma reação química, criando o negativo, que passará pelo processo de revelação e dará origem à foto.



O funcionamento de uma câmera digital é similar ao funcionamento das câmeras comuns. A principal diferença é que, após capturar e focalizar a imagem seu armazenamento se dará por meio de um dispositivo eletrônico e não o filme. Este dispositivo, conhecido como CCD (Charge-Coupled Device), converte a intensidade de luz que incide sobre ele em valores digitais armazenáveis na forma de Bits e Bytes. O CCD do tipo Array é uma matriz com milhares de elementos fotossensíveis que capturam os pontos da imagem na câmera de uma vez só.

Neste momento, após revelar o mecanismo de funcionamento desses sistemas, o professor poderá perguntar aos alunos o que eles têm em comum. O objetivo é fazer com que estes alunos percebam que a incidência da luz na célula fotoelétrica de cada um dos sistemas,

ativa os seus respectivos circuitos elétricos. O porquê de isso acontecer será explicado adiante introduzindo o conceito de Efeito Fotoelétrico.

2. A Organização do conhecimento

Segundo Momento Pedagógico, a organização do conhecimento é o momento em que ocorrerá o estudo sistemático dos conhecimentos envolvidos no tema e na problematização inicial, culminando com a ruptura entre o conhecimento do estudante e o conhecimento produzido pela Ciência. Para isso, o professor fará uso de um texto sugerido a seguir podendo ser trabalho em conjunto com uma aula preparada por ele mesmo através do quadro negro, slides ou vídeos. Após esta aula, uma proposta de abordagem do tema por meio de uma simulação computacional é apresentada neste manual para que o professor aplique esta metodologia. O objetivo desta fase é dar subsídios aos alunos para que eles sejam capazes de interpretar o fenômeno de maneira mais sólida e generalizada. É necessário lembrar que alguns conceitos como ondas (comprimento e frequência), conservação de energia e espectro eletromagnético, são requisitos para a compreensão do assunto abordado neste manual.

2.1 Iniciando com uma aula tradicional

Nesta fase da sequência didática, o professor vai seguir o seu próprio plano de aula e suas anotações, ou seja, utilizará os recursos (quadro negro, textos ou vídeos) que planejou previamente para trabalhar o tema. O conteúdo a ser trabalhado deverá ir desde a descoberta do fenômeno, passando pelo conceito de frequência de corte até chegar na equação de energia máxima. A seguir sugerimos um texto de apoio, desenvolvido pela Secretaria de Educação do Estado do Rio de Janeiro, que poderá ser usado para auxiliar na aula, mas o professor terá autonomia para escolher os textos e recursos que achar melhor.

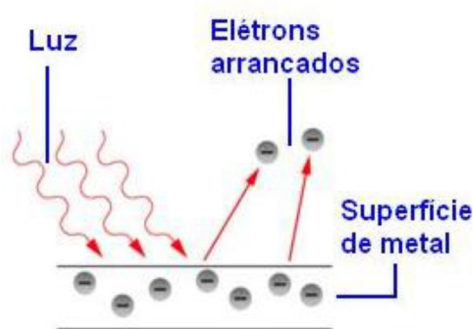
DUALIDADE ONDA-PARTÍCULA E O EFEITO FOTOELÉTRICO

Durante o século XVII, dois grandes físicos defendiam modelos teóricos diferentes para a natureza da luz. O físico holandês Christian Huygens (1629-1695) tratava a luz como uma onda, enquanto Isaac Newton (1642-1727) a via como partícula. Hoje já se sabe que os dois cientistas estavam corretos, porque há situações em que a luz se comporta como onda e em outras, como partículas ou corpúsculos. Esse fenômeno ficou conhecido como dualidade onda-partícula. A luz se propaga como uma onda e interage como partícula. Apesar da luz ter esse comportamento duplo, ela nunca apresentará ambos num mesmo experimento.

Como onda, um feixe de luz não desvia seu caminho ao se encontrar com outro feixe de luz. Ao atravessar um orifício, a luz se espalha, isto é, difrata. Ao passar por duas fendas duplas próximas uma da outra, a luz sofre interferência, o que é observado num anteparo através de franjas claras e escuras. E, finalmente, a luz apresenta cores diferentes, o que reforça a ideia de que cada cor é uma onda eletromagnética com frequência e comprimento de onda definidos.

Como partícula, um feixe de luz é capaz de transferir uma quantidade de movimento a um objeto. Outra boa evidência de que a luz se comporta como corpúsculo é observado quando uma superfície metálica, sob tensão elétrica, emite elétrons e passa a conduzir corrente elétrica, se iluminada por uma luz de alta frequência. Este último fenômeno ficou conhecido como efeito fotoelétrico. Vamos entendê-lo melhor!

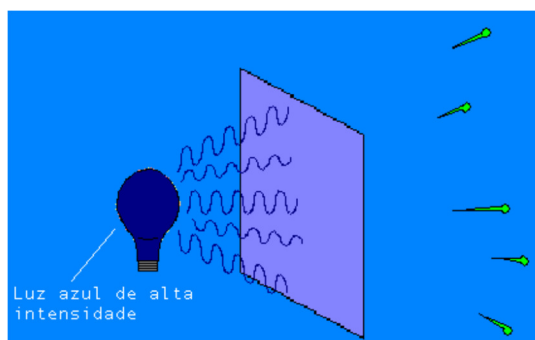
Quando ondas eletromagnéticas de um tipo específico atingem um corpo, principalmente metálico, é possível fazer com que elétrons sejam arrancados dos átomos do material por causa da absorção de certa quantidade de radiação.



Fonte: <http://quartzodeplasma.wordpress.com/tag/efeito-fotoeletrico/>

Para explicar o efeito fotoelétrico, a luz é vista como partículas que são denominadas de fótons e que carregam “pacotes” de energia, chamados de quantum. Einstein, em 1905, esclareceu melhor o efeito fotoelétrico utilizando a noção de quantização de energia proposta pelo físico alemão Max Planck (1858- 1947). O trabalho de Einstein rendeu a ele o Prêmio Nobel de Física de 1921.

Nem toda radiação provoca efeito fotoelétrico e aquelas que provocam podem ter efeitos mais ou menos intensos. Por exemplo, a luz vermelha tem baixa frequência e, portanto, baixa energia. Quando ela incide numa placa metálica, observa-se que são poucos os elétrons arrancados e que ainda apresentam baixa energia. Mesmo que a fonte tenha grande intensidade, os elétrons emitidos terão baixa energia. Entretanto, se a fonte luminosa emitir uma luz azul, por ser uma radiação de alta frequência é também mais energética que a vermelha, os elétrons emitidos serão mais energéticos.



Fonte: <http://sabedoriaquantica.blogspot.com.br/2011/11/fisica-quantica-para-todos-2.html>

Cada fóton carrega um quantum de energia (E), que é proporcional a sua frequência (f). Para obter essa quantidade de energia, pode-se usar a expressão matemática:

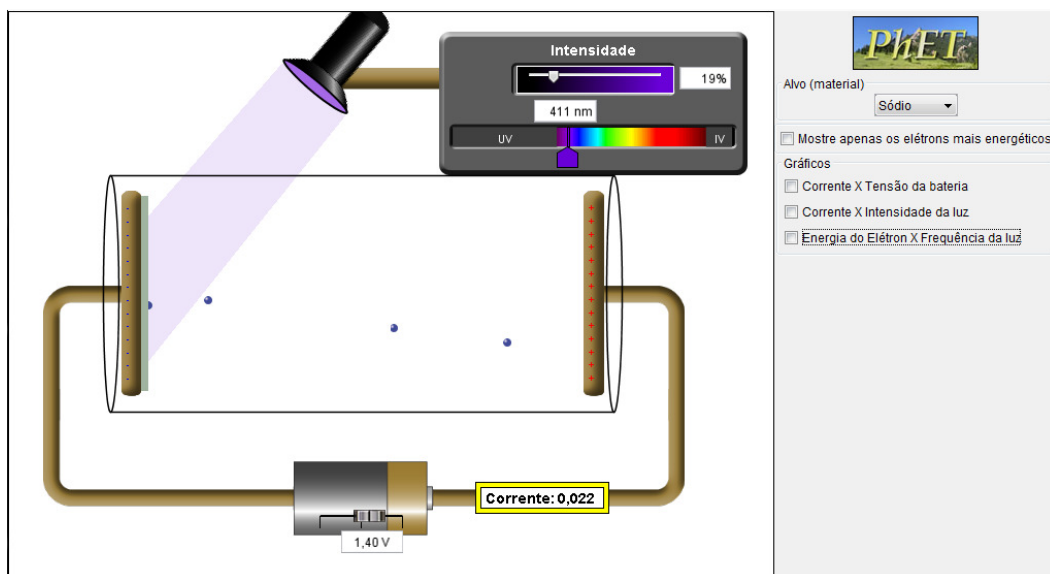
$$E = h \cdot f$$

em que h é uma constante chamada de constante de Plank, cujo valor é de $6,63 \times 10^{-34} \text{ J.s}$. Cada um dos fótons cede sua energia a um único elétron e cada elétron que escapa do metal deve absorver um mínimo da quantidade de energia. Se a energia fornecida ao elétron for suficiente para vencer a atração do metal e dotá-lo de certa energia cinética, ele escapará.

O efeito fotoelétrico pode ser observado em dispositivos chamados de fotocélulas, que são usadas em circuitos responsáveis pela abertura e fechamento de portas automáticas, pelo sistema de iluminação de vias públicas e pelos sistemas de segurança e alarmes. Essas são algumas das aplicações do fenômeno no dia a dia.

2.2 Trabalhando com o simulador

Após a aula teórica, chegou a vez de utilizar o simulador computacional para reforçar os conhecimentos adquiridos. Com a simulação, o professor vai demonstrar o fenômeno e, variando as grandezas observará com os alunos diversas situações nas quais eles poderão prever os resultados utilizando o modelo estudado. Para baixar a simulação, basta acessar o site http://phet.colorado.edu/pt_BR/.



Feito isso, após abrir o *applet* “Efeito Fotoelétrico”, o professor poderá seguir os passos abaixo na ordem que achar melhor didaticamente:

1º Passo: Variar as grandezas

O professor vai clicar ou mexer em cada um dos botões e perguntar aos alunos o que esses botões estão fazendo. Em seguida definirá as grandezas envolvidas (intensidade, comprimento de onda e voltagem da bateria) variando os seus valores. Neste momento devem-se evitar ainda valores que gerem o efeito fotoelétrico, pois o objetivo é promover a visualização do que significa cada uma das dessas grandezas. Para realizar esta tarefa, sugerimos:

- Após variar o tipo de material da placa, manter no zinco porque este tem uma extensa faixa de comprimento de onda que não produz efeito fotoelétrico;
- Aumentar a intensidade (até 100%) e variar o comprimento de onda sem passar pelo UV;
- Definir as grandezas I (intensidade da radiação), λ (comprimento de onda), V (voltagem da bateria) e i (corrente elétrica gerada).

2º Passo: Gerar o efeito fotoelétrico

Agora o professor vai ajustar os valores de intensidade e comprimento de onda (pré-estabelecidos por ele mesmo), deixando a voltagem da bateria zerada, de modo que o menor número de bolinhas possíveis saia da placa e se desloque lentamente em direção ao outro polo da bateria. É interessante perguntar aos alunos o que eles acham que está acontecendo e que bolinhas são essas que saem da placa. Neste momento é apresentado o fenômeno descrevendo cada detalhe do que é visto na simulação e em seguida podem ser feitas perguntas do tipo: O

que acontecerá se aumentarmos a intensidade? E o comprimento de onda? Para realizar esta tarefa, sugerimos:

- Com I em 0%, colocar no sódio;
- Colocar $\lambda \leq 538$ e variar I até 10% (mostrar o fenômeno);
- Fazer as perguntas.

3º Passo: Explicar o modelo

Neste passo o professor poderá explicar o modelo proposto por Einstein que se caracteriza pela natureza corpuscular da luz onde os fótons colidem com a placa arrancando elétrons. As perguntas feitas no passo anterior podem ser respondidas junto com os alunos. É importante neste momento discutir com os alunos e demonstrar através do simulador o porquê de este fenômeno contrariar as expectativas pautadas na visão da Física Clássica, aplicando o conceito de energia quantificada originada pela Física Moderna. Para isso, o professor pode fazer o seguinte:

- Zerar o I, colocar o λ na faixa do vermelho e perguntar: Como fazer pra gerar o efeito fotoelétrico? Aumentar a intensidade? (Se a luz é uma onda, de acordo com a Física Clássica, aumentando a intensidade ela vai ter mais energia para arrancar o elétron, certo?);
- Aumentar o I até 100% (comentar essa inconsistência).
- Colocar I em 50% em seguida aumentar e diminuir o λ até o meio do espectro verde (mostrar a dependência do λ para ocorrer o efeito fotoelétrico e definir frequência de corte);
- Perguntar: Como fazer para aumentar a velocidade das bolinhas? Aumentando a intensidade?
- Aumentar o I até 100%, observar e depois diminuir o λ (responder a pergunta acima);
- Clicar em “opções” e depois em “mostrar fótons” (explicar o modelo e a equação de Einstein).

4º Passo: Atividades: Relação entre as grandezas e determinação da frequência de corte, potencial de corte, função trabalho (T) e energia cinética máxima (Emáx).

As atividades poderão ser realizadas preferencialmente em um laboratório de informática ou de vários *notebooks* para que o próprio aluno tenha a oportunidade de operar a simulação individualmente. Caso contrário, o professor pode continuar operando sozinho a simulação, ficando os alunos com as anotações e os respectivos cálculos.

Para estudar a relação entre as grandezas envolvidas o professor e/ou os alunos poderão fazer o seguinte:

- a) Utilizando os parâmetros do 2º passo, clicar no botão “alvo” para alterar o tipo de material das placas metálicas (fazendo isso, o aluno notará que os elétrons não serão mais arrancados da placa). Em seguida, para cada tipo de material, vá alterando devagar os valores do comprimento de onda até que volte a ocorrer o efeito fotoelétrico (Com isso, o aluno será capaz de relacionar o comprimento de onda/frequência de corte para com o tipo de material da placa atacada). Peça aos alunos que multipliquem a frequência mínima encontrada para cada placa pela constante de Planck (h), para calcular o T de cada material.
- b) Retorne aos parâmetros do 2º passo e vá diminuindo o λ até que o marcador de corrente saia do zero. Em seguida, aumente devagar os valores da intensidade da luz e observe o que acontece com o marcador da corrente (o aluno perceberá que à medida que a intensidade vai aumentando ou diminuindo, a corrente elétrica produzida também vai aumentando ou diminuindo, mostrando serem diretamente proporcionais).
- c) Utilizando os parâmetros do 2º passo, coloque a intensidade luminosa no máximo (100%), mantenha a voltagem da bateria no zero, vá diminuindo o valor do comprimento de onda até que a corrente marque aproximadamente 0,039. Em seguida mova devagar o botão da bateria para a direita até o final e depois para a esquerda até o final. Verifique o que acontece com a corrente elétrica (o aluno notará que o valor da corrente não se altera quando aumentamos a tensão, mas vai diminuindo a partir de certo valor de tensão abaixo de zero, mostrando assim que a tensão invertida é capaz de fazer o elétron retornar para a placa da qual foi ejetado).
- d) Para determinar o potencial de corte, a função trabalho de cada um dos materiais e a energia cinética máxima dos elétrons ejetados, através da simulação, o professor e/ou os alunos poderão repetir o procedimento do item (c) até que o valor da corrente fique zero e anotar este valor (o potencial de corte corresponde a aproximadamente este valor). Com os parâmetros do item anterior, altere a voltagem da bateria até zerar. Em seguida use o valor do λ que está na tela, junto com a função trabalho determinada no item 1 para o material da placa que está sendo usada, e aplique na equação:

$$h \cdot f = T + E_{\text{máx}}$$

h = Constante de Planck; f = frequência da luz incidente

(o resultado de $E_{\text{máx}}$ equivale à energia cinética máxima do elétron ejetado).

3. A Aplicação do Conhecimento

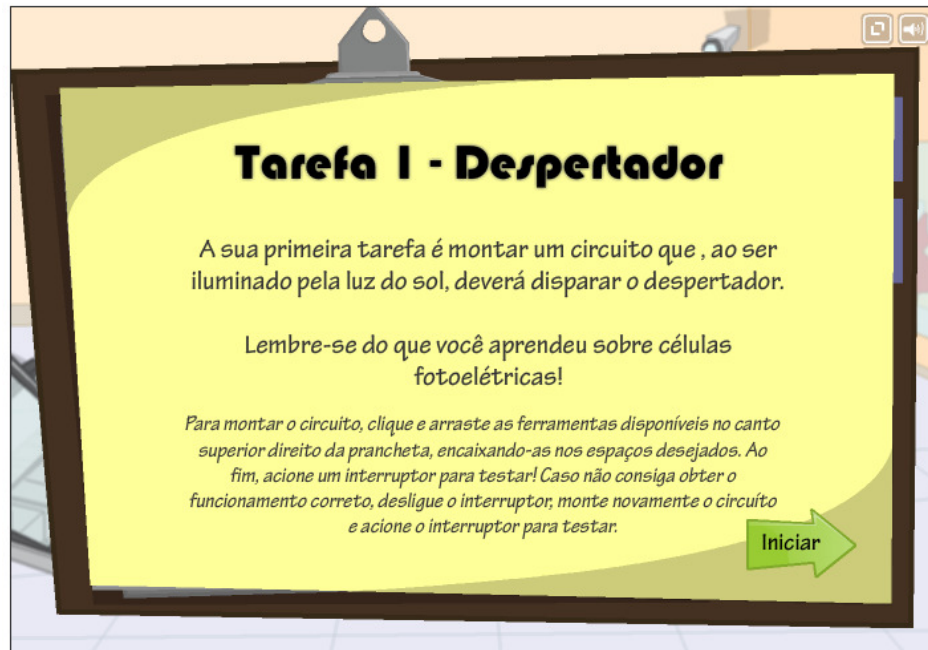
Agora, para aplicar os conhecimentos adquiridos, o professor poderá sugerir a atividade proposta na simulação computacional desenvolvida pela Secretaria de Educação do Estado da Bahia em parceria com a Universidade do Estado da Bahia e disponível em <http://objetoseducacionais2.mec.gov.br/bitstream/handle/mec/14356/open/file/index.html>.

Para utilizar a simulação, deve-se acessar a página digitando o endereço acima e clicar em iniciar.

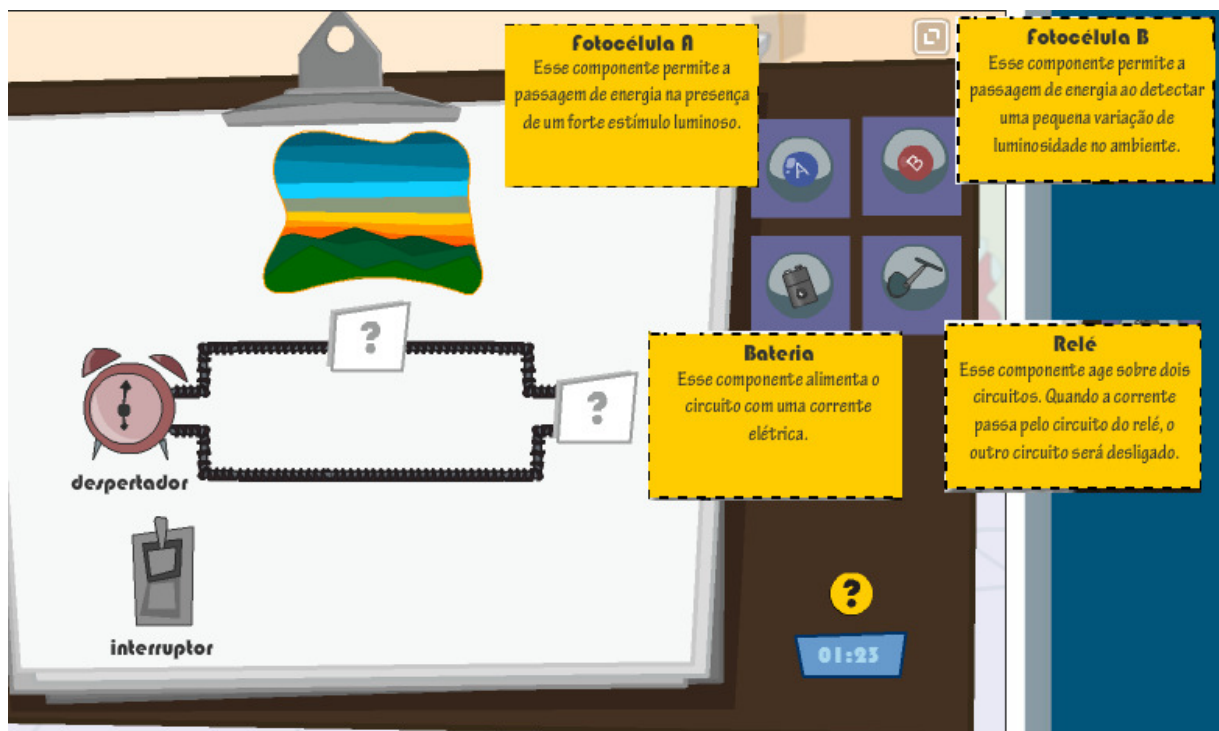


Ilustração da página inicial da simulação computacional

Em seguida aparece a opção de pular a introdução e assim ser encaminhado diretamente para as “tarefas”. As “tarefas” são desafios em que o participante terá que montar 5 circuitos de dispositivos que utilizam o efeito fotoelétrico como princípio de funcionamento.

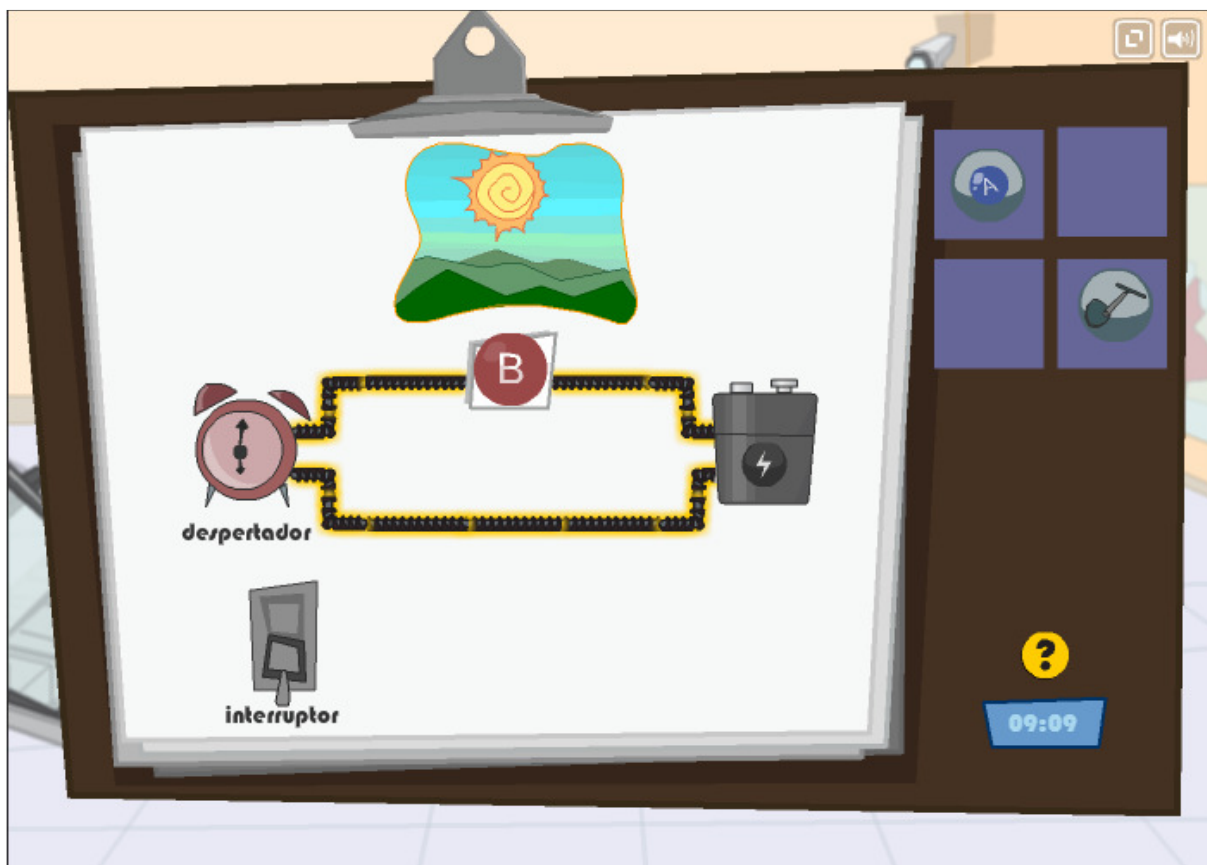


Descrição da tarefa I



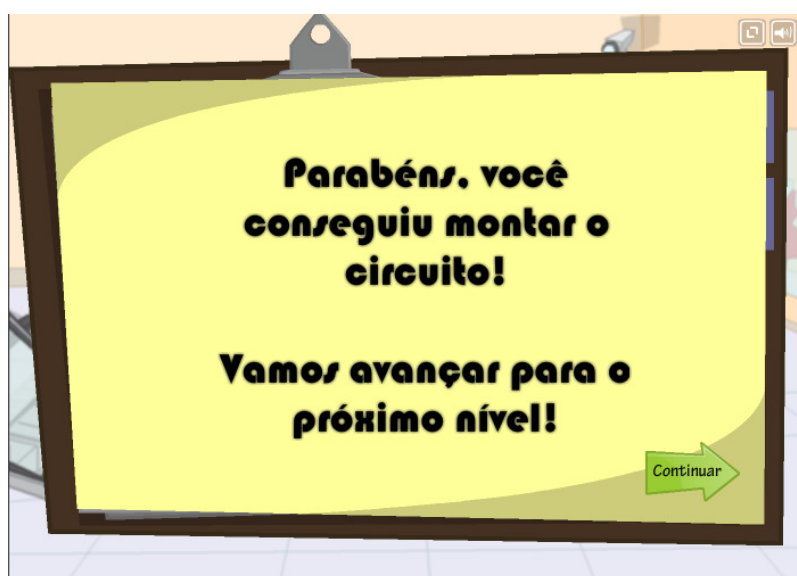
Circuito com a função de cada componente elétrico

Para montar os circuitos basta clicar com o mouse sobre o componente elétrico e arrastá-lo até as caixinhas com o ponto de interrogação (?). Por último, clicar no botão “interruptor” e esperar o circuito funcionar pois pode ser que ele funcione, mas de maneira inadequada.

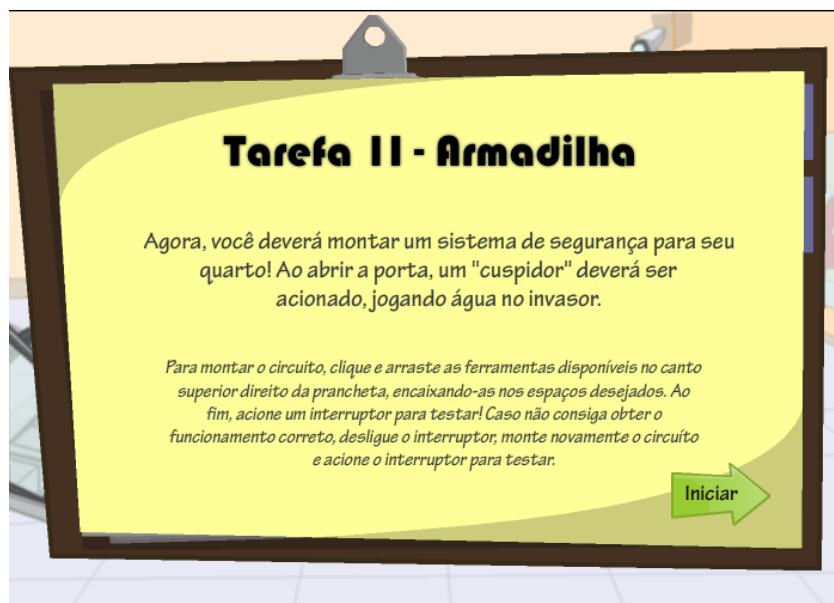


Montagem correta do circuito para ligar o despertador.

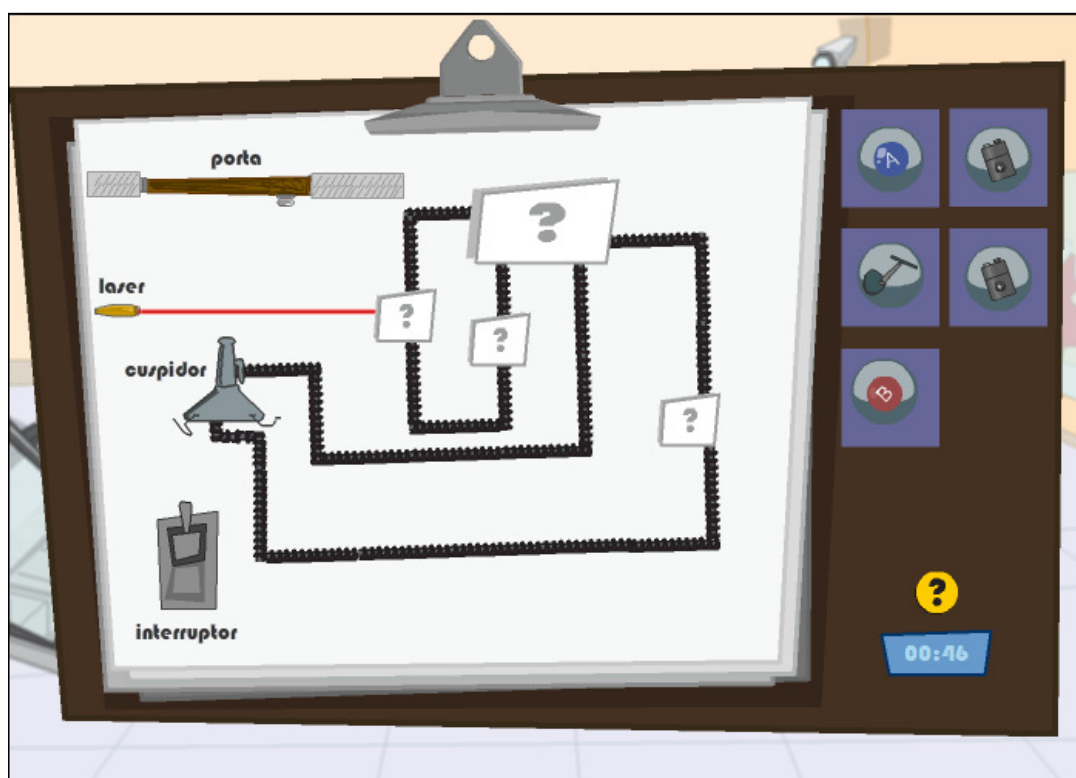
Estando montado de maneira que o dispositivo funcione corretamente, aparecerá a mensagem abaixo e poderá seguir para a próxima “tarefa”.



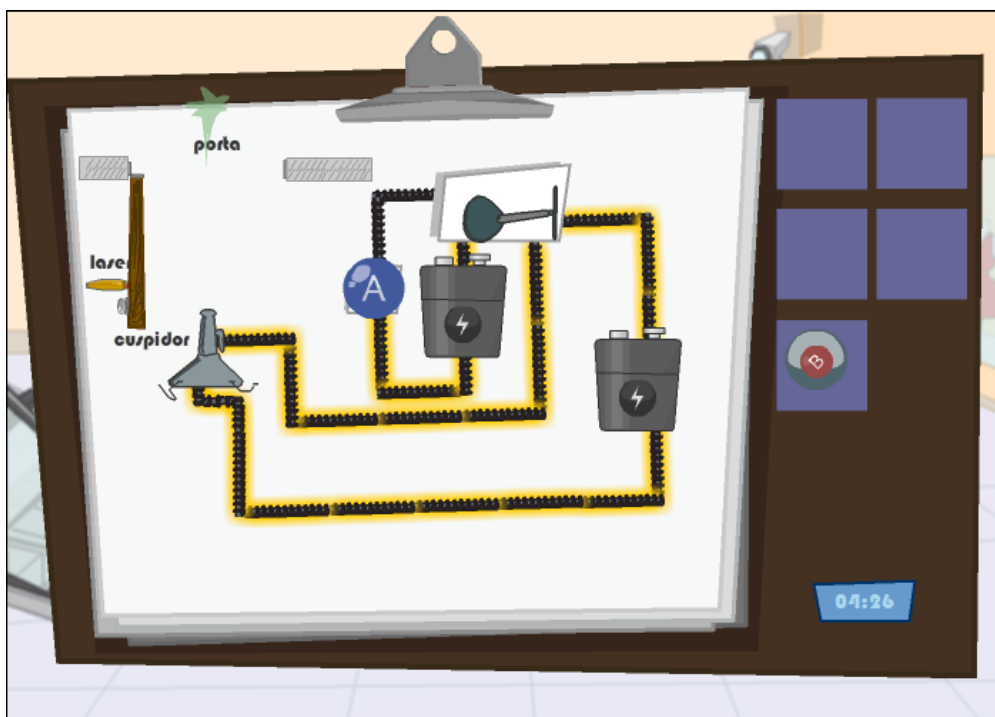
Mensagem de montagem correta do circuito



Descrição da tarefa II



Estrutura do circuito armadilha e os componentes elétricos ao lado.



Montagem correta do circuito para ativar a armadilha.

Tarefa III - Poste

Você já reparou como as luzes dos postes acendem automaticamente ao chegar da noite?
Vamos fazer implantar um sistema semelhante?

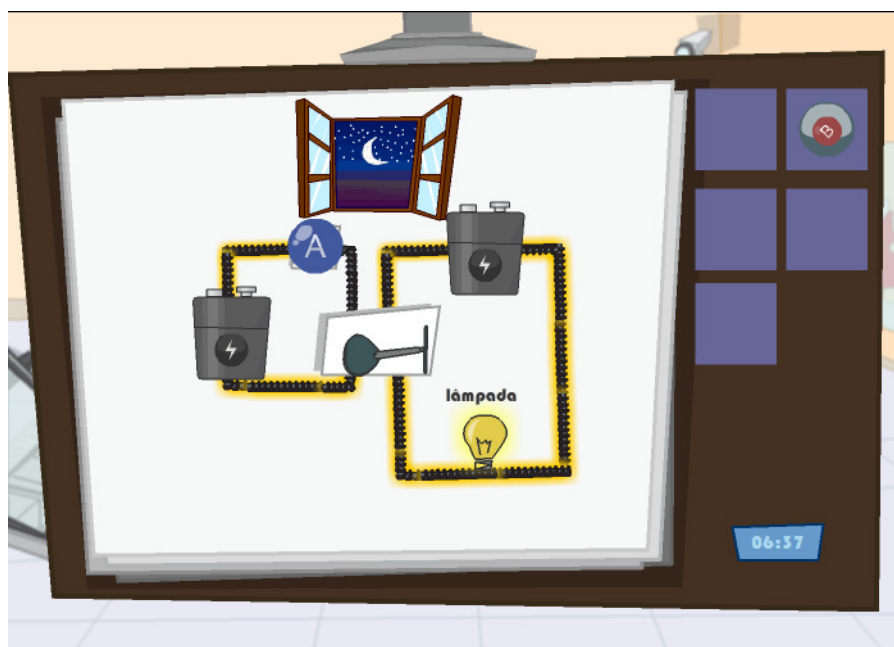
Para montar o circuito, clique e arraste as ferramentas disponíveis no canto superior direito da prancheta, encaixando-as nos espaços desejados. Ao fim, acione um interruptor para testar! Caso não consiga obter o funcionamento correto, desligue o interruptor, monte novamente o circuito e acione o interruptor para testar.

Iniciar

Descrição da tarefa III



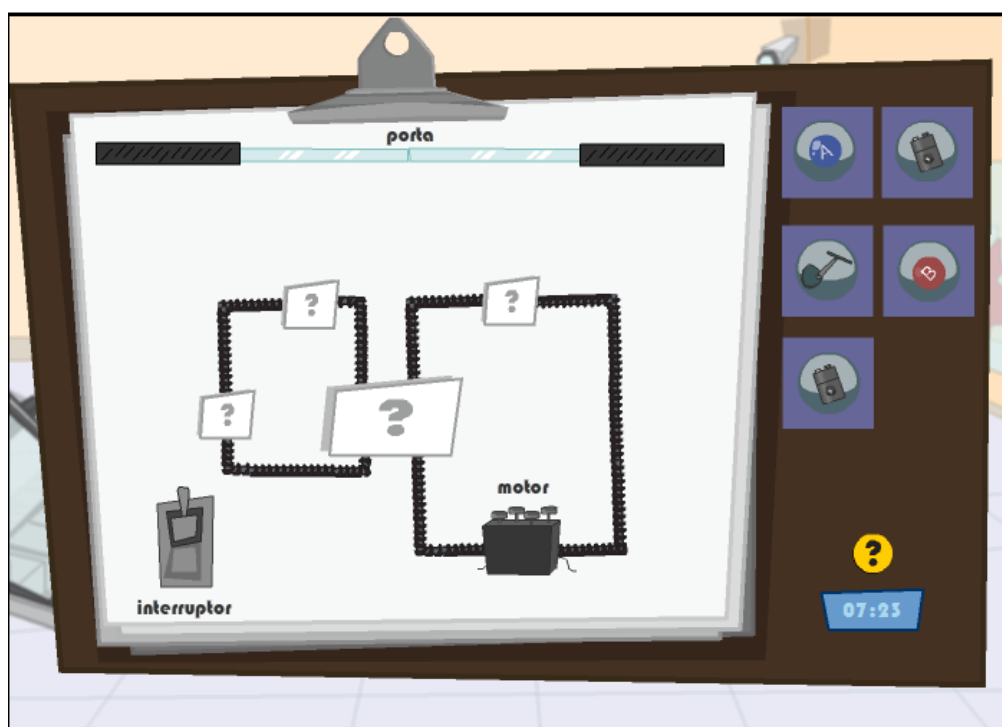
Estrutura do circuito poste e os componentes elétricos ao lado.



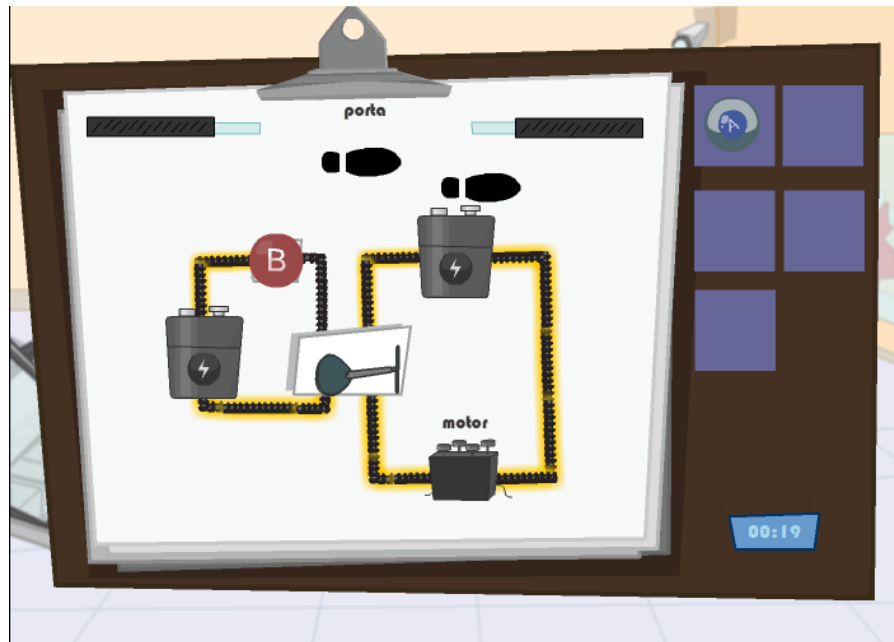
Montagem correta do circuito para ligar a lâmpada do poste.



Descrição da tarefa IV



Estrutura do circuito porta automática e os componentes elétricos ao lado.



Montagem correta do circuito para ativar a porta automática.

Tarefa V - Alarme anti-ladrão

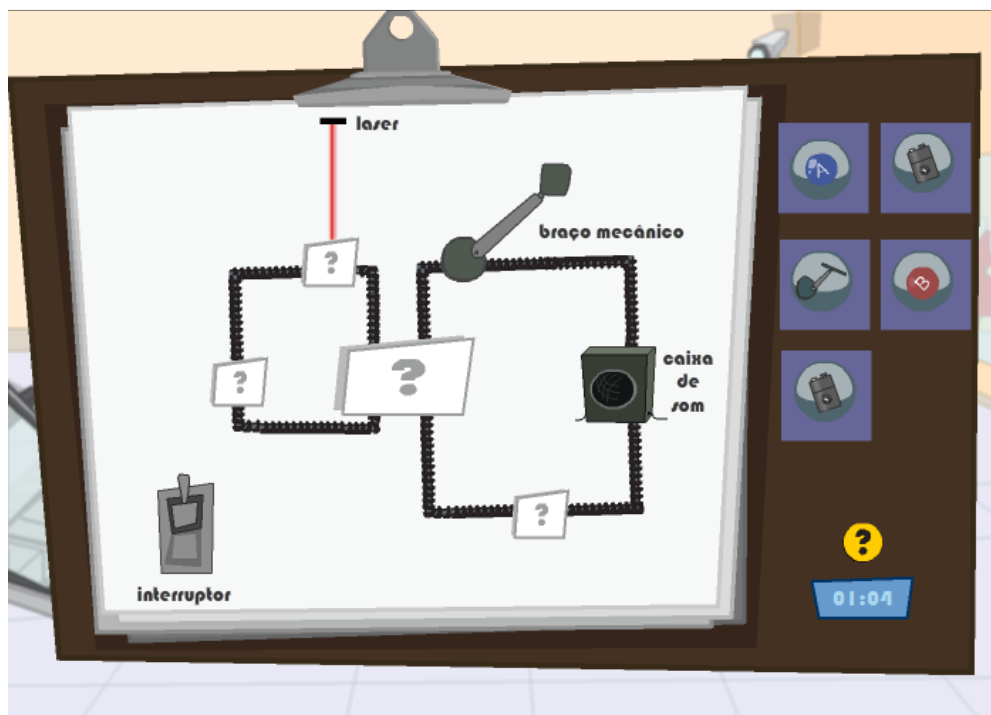
O último desafio!

Você deve montar um circuito que dispare um alarme ao detectar um movimento suspeito.

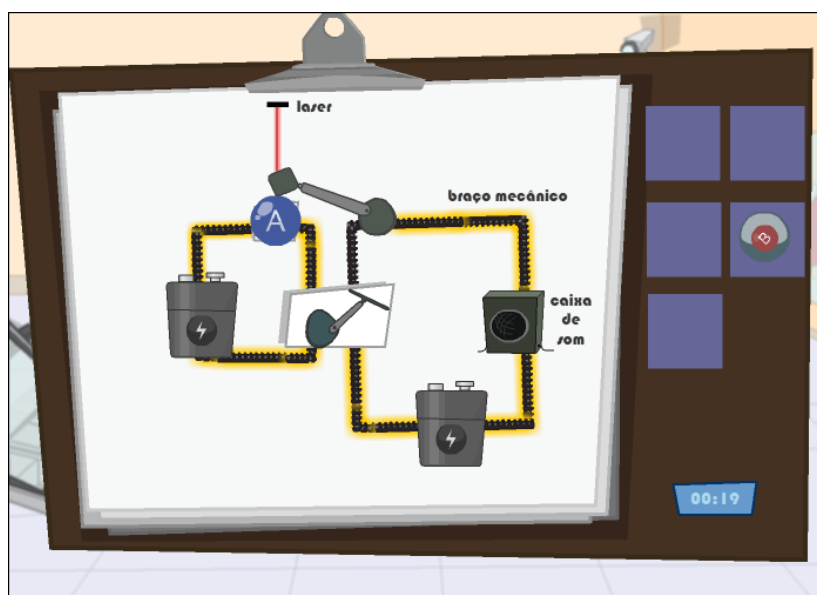
Para montar o circuito, clique e arraste as ferramentas disponíveis no canto superior direito da prancheta, encaixando-as nos espaços desejados. Ao fim, acione um interruptor para testar! Caso não consiga obter o funcionamento correto, desligue o interruptor; monte novamente o circuito e acione o interruptor para testar.

Iniciar

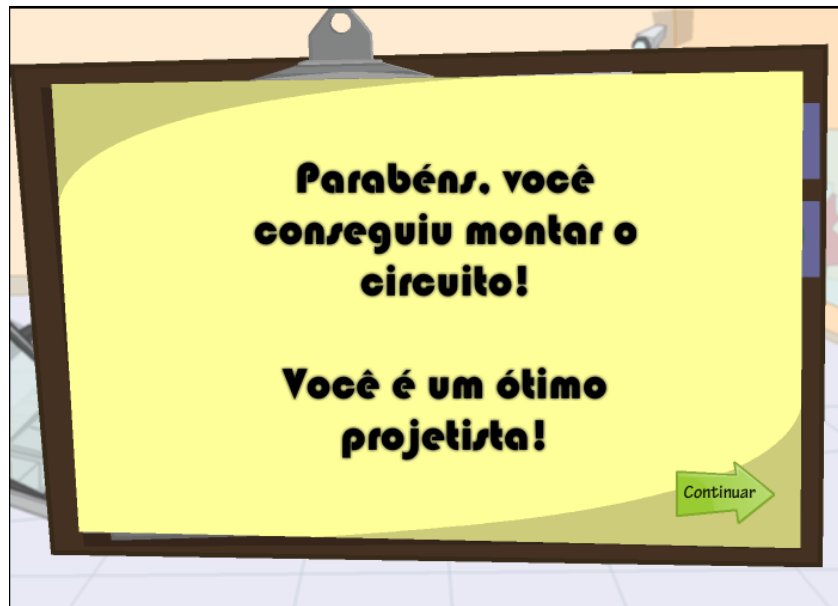
Descrição da tarefa V



Estrutura do circuito alarme anti-ladrão e os componentes elétricos ao lado.



Montagem correta do circuito para ativar a porta automática.



Mensagem de término das tarefas.