



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

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE MARINGÁ  
DEPARTAMENTO DE FÍSICA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM MESTRADO NACIONAL  
PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA  
POLO 20

**PRODUTO EDUCACIONAL**  
**Material Didático-Pedagógico**



# **CÉLULA FOTOVOLTAICA EM AÇÃO- FÍSICA MODERNA PARA O ENSINO MÉDIO**

TAMIRIS LOPES ANVERSI ASTRATH, HATSUMI MUKAI e  
MIGUEL JORGE BERNABÉ FERREIRA



MARINGÁ-PR  
2025

## APRESENTAÇÃO

Você, professor(a) de Física, busca recursos didáticos dinâmicos e eficiente para sua aula? Conheça nosso Produto Educacional (PE) um texto didático-pedagógico desenvolvido como parte integrante da Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação do Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física (MNPEF – Polo UEM). Ele atende aos requisitos necessários para a obtenção do título de Mestre em Ensino de Física. A dissertação orientada pela Profa. Dra. Hatsumi Mukai e coorientada pelo Prof. Dr. Miguel Jorge Bernabé Ferreira, é o da referência ASTRATH, T. L. A. (2025).

Este PE oferece uma sequência didática (SD) de 9 aulas (50 minutos) na componente curricular de Física. O conteúdo relaciona o fascinante funcionamento das células fotovoltaicas (constituintes básicos de placas solares) usando conceitos de Física Moderna e Eletromagnetismo. Bem como explora as transformações de energia e estudo de movimento (Cinemática), aplicados de forma prática por meio de uma corrida de carrinhos, construídos pelos próprios alunos. Embora seja preferencialmente destinado a alunos da 3ª série do Ensino Médio, sua flexibilidade permite adaptações para outras séries.

Um ensino de Física conectado e engajador, pois as aulas incorporam o uso de simuladores gratuitos disponíveis na *internet*, *quiz*, vídeos do *YouTube*, questões do ENEM, experimentos, montagem e corrida de carrinhos que utiliza uma placa fotovoltaica, curiosidades e aplicações do conteúdo, com o objetivo de aproximar a Física ao cotidiano dos estudantes, e despertar a curiosidade e interesse. Tudo pensado e elaborado para proporcionar uma aprendizagem significativa.

Os resultados foram comprovados e flexibilizados para você, pois foi implementado com sucesso em uma instituição de ensino de rede pública no município de Maringá-PR, no segundo semestre de 2023. A implementação ocorreu em formato de oficina pedagógica a uma turma diversificada, de alunos do 9º ano do ensino fundamental ao segundo ano do ensino médio, incluindo alunos de altas habilidades em artes, e os resultados foram bastante positivos.

A sequência didática pode ser utilizada por partes, sendo uma ferramenta valiosa para: aulas de reforço (devido a sua abrangência); e contornar a questão do pouco tempo disponível para ministrar o conteúdo.

Convidamos você a utilizar e adaptar este material em suas aulas! Ele estará disponível para *download* na página do MNPEF/DFI/UEM (<http://www.dfi.uem.br/dfimestrado/?q=node/60>) ou pelo QR Code fornecido na capa, e pode ser adaptado de acordo com a realidade de cada série pelo docente interessado.

*O presente trabalho foi realizado com o apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – código de financiamento 001.*

Os autores

## SUMÁRIO

|                                                                                  |     |
|----------------------------------------------------------------------------------|-----|
| INTRODUÇÃO .....                                                                 | 4   |
| 1. ASPECTOS METODOLÓGICOS .....                                                  | 6   |
| 1.1. OBJETIVOS GERAIS .....                                                      | 9   |
| 1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....                                                 | 9   |
| 1.3. SEQUÊNCIA DIDÁTICA (SD) .....                                               | 10  |
| 1.1.1. ESTRUTURA DA SEQUÊNCIA DIDÁTICA .....                                     | 12  |
| 1.1.2. ETAPAS DA SEQUÊNCIA DIDÁTICA.....                                         | 16  |
| 2. PLANOS DE AULA E DESENVOLVIMENTO.....                                         | 20  |
| AULA 1 - Detecção de subsunçores (Conhecimento Prévio).....                      | 20  |
| AULA 2 - Potência, corrente e diferença de potencial elétrico .....              | 34  |
| AULA 3 - Montagem experimental de um carrinho envolvendo uma célula fotovoltaica | 43  |
| AULA 4 - Efeito fotoelétrico .....                                               | 54  |
| AULA 5 - Materiais Condutor, Isolante e Semicondutor .....                       | 71  |
| AULA 6 - Semicondutores e Efeito fotovoltaico.....                               | 83  |
| AULA 7 - Aplicação mini painel fotovoltaico.....                                 | 116 |
| AULA 8 - Transformações de Energia e aplicação dos questionários.....            | 121 |
| AULA 9 - Aplicação dos questionários e <i>feedback</i> . .....                   | 135 |
| CONSIDERAÇÕES FINAIS .....                                                       | 138 |
| REFERÊNCIAS .....                                                                | 141 |
| APÊNDICE I – MATERIAL DISCENTE.....                                              | 144 |
| APÊNDICE I I– Material complementar: Circuito simples com LED e transistor ..... | 153 |

## INTRODUÇÃO

O material “*Célula Fotovoltaica em ação – Física Moderna para o Ensino Médio*”, aqui disponibilizado, é estruturado em uma sequência didática composta por nove aulas, cujo público-alvo são preferencialmente alunos(as) da terceira série do ensino médio. Contudo, por abranger conteúdos da Mecânica, Eletromagnetismo e Física Moderna, pode ser utilizado parcialmente, conforme o objetivo didático.

Este material foi desenvolvido para auxiliar professores a superar a dificuldade de trabalhar com a Física Moderna. Geralmente, abordado no último trimestre do terceiro ano do ensino médio, esse conteúdo sofre com a escassez de materiais de apoio e experimentos, além do pouco tempo e número reduzido de aulas de Física – atualmente, apenas duas aulas semanais (50 minutos cada). Essa realidade foi constatada pela própria mestrandia, que atua como docente na rede pública de ensino na região de Maringá – PR desde 2014.

Além dos motivos já citados, vale ressaltar a enorme importância e as contribuições que a Física Moderna trouxe e continua a trazer nos dias de hoje. Seus grandes benefícios impactam diversas áreas, como tecnologia, medicina, comunicação, energia, entre outras. No entanto, ela ainda é pouco abordada em sala de aula, e quando o é, geralmente ocorre de forma superficial, com ênfase em cálculos e fórmulas, sem conexão com o cotidiano dos(as) alunos(as).

Dessa forma, o tema “célula fotovoltaica” foi objeto de estudo deste trabalho pelas razões citadas e por sua forte presença no dia a dia dos(as) alunos(as). Isso se manifesta na utilização de placas fotovoltaicas para geração de energia elétrica em residências, indústrias e na administração pública, tanto para a redução de custos quanto para a geração de energia de forma limpa e sustentável.

Para a elaboração deste material pensou-se no uso de uma metodologia ativa, que colocasse o(a) aluno(a) como sujeito principal e ativo do processo de ensino-aprendizagem. Além disso, considerou-se uma teoria de aprendizagem que ajudasse a compreender como o conhecimento é construído.

Assim, foi utilizada a metodologia STEAM (acrônimo para Ciência, Tecnologia, Engenharia, Artes e Matemática). Esta metodologia incorpora a metodologia ativa na qual os(as) alunos(as) participam ativamente do processo de ensino-aprendizagem, por meio da integração de diversas áreas do conhecimento. Suas aulas são dinâmicas e práticas, conectadas com a teoria,



e promovem o desenvolvimento de diversas habilidades, como trabalho em equipe, criatividade e pensamento crítico.

Além disso, o material foi desenvolvido considerando a Teoria da Aprendizagem Significativa (TAS) de David Ausubel, levando em consideração os subsunçores (conhecimentos prévios) dos(as) alunos(as), ou seja, os conhecimentos que eles já possuem. Na TAS, os subsunçores são conceitos fundamentais e podem ser definidos conforme citado por Moreira (2012, p. 2) como um “(...) conhecimento específico, existente na estrutura de conhecimentos do indivíduo, que permite dar significado a um novo conhecimento que lhe é apresentado ou por ele descoberto”. Dessa forma, a aprendizagem se torna mais profunda e duradoura quando os novos conhecimentos se conectam aos conhecimentos já existentes na estrutura cognitiva de um indivíduo.

Para Silva Filho e Ferreira (2022, p. 2),

(...) busca pelo levantamento dos subsunçores, relevantes a dado assunto, presentes na estrutura cognitiva dos estudantes, aos quais supostamente se deseja ensinar algo, é uma etapa essencial do processo de ensino e aprendizagem – de fato, pode-se afirmar que é uma das condições de possibilidade para a ocorrência de aprendizagem significativa (Silva Filho; Ferreira, 2022, p. 2).

A primeira etapa da sequência didática elaborada neste produto educacional consiste no levantamento dos subsunçores dos(as) estudantes sobre o tema a ser abordado, feito por meio de questionários diagnósticos. Caso não haja subsunçores, será utilizado outro conceito-chave da TAS: o organizador prévio, um material que tenha algum significado aos(as) estudantes relacionados ao tema a ser tratado. Assim, sempre será possível conectar o novo conteúdo aos subsunçores identificados. (Moreira, 2012).

Outro ponto destacado por Moreira (2012) para que a aprendizagem seja significativa é a predisposição do(a) aluno(a) para aprender e a relevância do material para ele. Dessa maneira, as aulas que compõem a sequência didática foram pensadas para satisfazer essas duas condições.

Consideramos ainda, para as aulas fossem dinâmicas e práticas, com momentos de reflexão e discussões em grupo. Elas incluem o uso de experimentos, simuladores, a construção de um carrinho movido a energia elétrica gerada pela energia solar, textos com a aplicação prática dos conceitos estudados, entre outras atividades que tornam o aprendizado mais atraente.

Assim, como nas práticas realizadas em aula, a avaliação também se afastou do método tradicional, considerando todos os aspectos trabalhados (conceitos, teorias, trabalho em equipe, criatividade, entre outros) e baseando-se nos quatro conteúdos propostos por Zabala (1998), que garantem o desenvolvimento integral do indivíduo.

Sendo assim, na próxima seção, este material será explorado em sua totalidade, abordando a metodologia utilizada, os objetivos, a estrutura e as etapas da sequência didática (baseada em Zabala, 1998), bem como o desenvolvimento de cada aula. Em seguida, apresentaremos as considerações finais, as referências e os apêndices, que contém os materiais para uso direto com os(as) alunos(as). Os demais textos para auxílio docente ou entregues aos(as) alunos(as) estão disponíveis no decorrer da descrição do PE.

## 1. ASPECTOS METODOLÓGICOS

O presente produto educacional é um material didático-pedagógico, que utiliza a metodologia STEAM (Henriksen; Mehta; Mehta, 2019), reconhecida por ter uma abordagem ativa e interdisciplinar. Ele é composto por uma sequência didática, elaborada conforme as indicações de Antoni Zabala (Zabala, 1998) e estruturada com base na teoria de aprendizagem significativa de Ausubel (Moreira, 1995; 2012).

A proposta da sequência didática é que o(a) aluno(a) se torne o protagonista do processo de ensino-aprendizagem, atuando de maneira direta e ativa, e não mais como mero receptor. Isso se alinha ao conceito de "menos atenção aos conhecimentos sistematizados, valorizando mais o processo de aprendizagem e os meios que possibilitam o desenvolvimento das capacidades e habilidades intelectuais dos alunos" (Libâneo, 1990, p.66).

No entanto, a atividade de ensino é indissociável da prática social, ou seja, o ensino exerce a mediação entre o indivíduo e a sociedade (Libâneo, 1990). Pensando nisso, o tema “Célula Fotovoltaica” foi o escolhido a ser abordado neste trabalho. Os conceitos relacionados incluem: o Efeito Fotoelétrico, Efeito Fotovoltaico, Eletromagnetismo, transformações de energia e aplicação da Cinemática (conteúdo da Mecânica).

Para isso, utiliza-se a metodologia STEAM na elaboração da sequência didática. Essa abordagem integra diversas áreas do conhecimento (Ciência, Tecnologia, Engenharia, Artes e Matemática), permitindo que os(as) alunos(as) compreendam como elas estão interligadas e se complementam. Além disso, ela promove a aprendizagem ativa, o trabalho em equipe, a

colaboração, e estabelece uma conexão entre o conteúdo estudado e o cotidiano, despertando o interesse e a curiosidade dos(as) alunos(as), entre outros benefícios.

A metodologia STEAM está presente em diversos momentos ao longo das nove aulas que compõe a sequência didática deste produto educacional. Entre as áreas e esses momentos, destacamos:

- Ciências:
  - ❖ Geografia: Exploração das linhas do Equador e do Meridiano de *Greenwich* para compreensão das coordenadas geográficas. Abordagem dos trópicos de Câncer e de Capricórnio para entender seus efeitos no clima e na incidência de luz em diferentes regiões ao longo do ano. Isso é essencial para os cálculos de determinação do número de placas fotovoltaicas necessárias para suprir a demanda de energia elétrica em uma residência;
  - ❖ Química e Física: Explorar sobre a camada de valência e distribuição eletrônica para compreender como funcionam as bandas de energia nos materiais condutores, isolantes e semicondutores;
  - ❖ Física: Os conceitos de energia, cinemática, eletrostática, eletromagnetismo e como diferentes materiais afetam a performance do carrinho.
  - ❖ Biologia: Discussão da sustentabilidade.
- Tecnologia:
  - ❖ Coleta e Análise de Dados: Utilização de *sites* para obter informações sobre a latitude, longitude e irradiação solar de diversas cidades;
  - ❖ Simuladores Virtuais: Uso de simuladores gratuitos disponíveis na *internet*. Os propostos são os disponibilizados pela *Colorado University (Physics Education Technology (PhET))*, e por Vladimir Vascak (*Physics at School.*), que incluem:
    - ✓ “Tensão, Corrente e Resistência” (*Physics at School*): Demonstra visualmente o fluxo de elétrons em um circuito elétrico para melhor visualização dos(as) alunos(as).
    - ✓ “Efeito fotoelétrico” (PhET): Permite uma análise mais profunda do experimento realizado em sala.
    - ✓ “Circuito elétrico” (PhET): Possibilita testar virtualmente vários dispositivos eletrônicos que podem ser usados para acender uma lâmpada.

- ✓ “Resistividade” (*Physics at School*): Auxilia a entender como a espessura, o comprimento do fio, e o tipo de material, afetam a resistência elétrica do circuito, que, por sua vez, limita a corrente elétrica.
- ✓ “Átomo de Bohr” (*Physics at School*): Visualiza os níveis de energia (liberação e o ganho de energia ao “descer” para o nível inferior ou “subindo” para o nível superior);
- ✓ “Condutividade” (PhET): Destaca os níveis de energia, o *gap* e o efeito de incidir luz e tensão sobre cada um dos materiais (condutores, isolantes e fotocondutores).
- ✓ “Semicondutores” (PhET): Para recordar ou explorar os tipos de dopagens e os relacionar com a banda de energia de cada um deles.
- ✓ “Gerando e Recombinação”; “Semicondutores” e “Semicondutores intrínsecos” (*Physics at School*): Sugestões de simuladores a serem utilizados.
- ❖ Recursos audiovisuais: Uso de vídeos disponíveis no *YouTube* que possibilitam uma melhor compreensão do fenômeno estudado.
  - ✓ “*Transistor, ¿Cómo funciona?*” – *Sabin Ingenieria Civil* [s.d.] (7min43s) – descreve em seu conteúdo como funciona o processo de dopagem em materiais semicondutores, e o funcionamento de um diodo.
  - ✓ “Ótica-Tema 01: Luz – Experimento 02: efeito fotoelétrico” (Univesp/USP) [s.d.] (2min54s) – descreve o processo de descarregar um eletroscópio utilizando radiação ultravioleta.
- ❖ Avanços Tecnológicos: Demonstração dos diversos avanços da área de tecnologia com a criação de LED, transistor e diodo a partir de materiais semicondutores;
- ❖ Análise de Movimento: Utilização do *software Tracker* para obter a representação gráfica da posição em função do tempo de um movimento por meio de um vídeo gravado com o celular;
- ❖ Geração de Energia: Uso prático da placa fotovoltaica para gerar energia e mover o motor do carrinho construído pelos(as) próprios(as) alunos(as) com materiais de fácil acesso, exceto a placa.
- Engenharia:
  - ❖ As etapas desenvolvidas na aula 3 (montagem experimental de um carrinho movido a energia solar), como o planejamento, teste e revisão do carrinho,

levando em consideração diversos fatores, como o equilíbrio, uma estrutura de acordo com a potência do motor, o formato para diminuir o atrito com o ar, entre outros.

- Artes:
  - ❖ As atividades desenvolvidas na aula 3 estimulam a criatividade e a inovação para tornar o carrinho movido a energia solar com melhor *design* e ao propor um nome para o mesmo.
- Matemática:
  - ❖ As medidas e transformações de unidades envolvidas nos cálculos para determinar o número de placas que é necessário instalar em uma residência para suprir a demanda de energia elétrica; para a contagem de distâncias e tempos, noção de proporção; determinação da velocidade média e energia cinética; representação gráfica e resolução de questões do ENEM.

Além disso, nesse contexto e ao longo das aulas, há o desenvolvimento da transposição didática sempre que houver oportunidade, a “criação” de um aparato experimental e a proposição de uma situação-problema.

**Situação Problema** – Investigar as concepções que os(as) alunos(as) possuem sobre como funciona a transformação de energia em e de uma célula fotovoltaica.

## 1.1. OBJETIVOS GERAIS

Compreender os conceitos de Física Moderna envolvidos no processo da transformação de energia solar em elétrica em uma célula fotovoltaica.

## 1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Demonstrar a transformação de energia elétrica em energia cinética, explorando a lei de conservação de energia e conceitos de cinemática;
- Compreender o efeito fotoelétrico e o efeito fotovoltaico;
- Diferenciar materiais condutores, isolantes e semicondutores;
- Compreender o funcionamento de uma célula fotovoltaica;
- Entender os níveis de energia na Física Moderna no contexto trabalhado;
- Promover reflexões e discussões em sala de aula sobre os importantes avanços no desenvolvimento de tecnologias modernas que a Física Moderna proporcionou.

### 1.3. SEQUÊNCIA DIDÁTICA (SD)

Segundo Zabala (1998), as sequências didáticas são uma forma de organizar as diferentes atividades ao longo de uma unidade didática. Elas permitem analisar as diferentes formas de intervenção, indicar a função de cada atividade na construção do conhecimento e avaliação.

Esta SD é composta por nove aulas de 50 minutos, abordando o tema “Célula Fotovoltaica”. Ela foi projetada para ser introduzida preferencialmente nas aulas de Física do Ensino Médio, durante os conteúdos de Física Moderna, em que o professor destacará os conceitos de Efeito Fotoelétrico e Efeito Fotovoltaico. De acordo com as Diretrizes Curriculares do Estado do Paraná (DCEPR), “Para uma abordagem em Física Moderna, é importante, também, o trabalho com o efeito fotoelétrico e a compreensão que a descoberta dos quanta de luz deu início à mecânica quântica” (Paraná, 2008, p.61). Contudo, a SD também pode ser utilizada separadamente, como forma de revisar um conteúdo em específico.

A proposta apresentada “visa estimular, dirigir, incentivar, impulsionar o processo de aprendizagem dos alunos” (Libâneo, 1990, p.90). Cabe ao(a) professora atuar como mediador(a) do conhecimento, relacionando-o com o que os(as) alunos(as) sabem e vivem, e proporcionando experiências que possam ser exploradas de forma autônoma, de modo que utilizem seus conhecimentos prévios (Zabala, 1998). A SD está dividida em quatro partes:

- Na primeira parte, o(a) professora aplicará o questionário diagnóstico impresso, fará uma retomada de conteúdo sobre potência, diferença de potencial (ddp) e corrente elétrica, e aplicará um *quiz* que poderá ser tanto impresso quanto na plataforma digital, *Kahoot!*<sup>®</sup>, com questões envolvendo o tema “placa fotovoltaica<sup>1</sup>” e os conceitos de Física Moderna e Transformações de Energia.
- Na segunda parte, ocorrerá a construção de carrinhos utilizando a placa fotovoltaica. O(A) professora levará os materiais e dividirá a sala em trios. Cada trio receberá um *kit* composto por uma mini placa fotovoltaica monocristalino, motor (retirado de aparelhos eletrônicos danificados) e materiais de fácil acesso, como tampa de garrafa PET, palitos de sorvete, canudos, papelão, entre outros. A função do grupo será construir e enfeitar o carrinho, além de atribuir um nome a ele, enquanto a função do(a)

---

<sup>1</sup> Uma placa fotovoltaica, também conhecida como módulo fotovoltaico ou painel fotovoltaico, é frequentemente chamada de “placa solar”. Esses dispositivos são constituídos de células fotovoltaicas, responsáveis pela conversão de luz em eletricidade. Um conjunto de módulos também é aceito e compreendido como painel fotovoltaico. É importante diferenciá-la da placa de aquecimento solar (ou coletor solar térmico), que é utilizada normalmente para aquecer água.

professor(a) é auxiliá-los. Ao final da aplicação da SD, haverá uma competição em que o carrinho mais bonito, com o nome mais criativo e aquele com melhor desempenho serão premiados. Podendo acumular resultados entre as três categorias.

- Na terceira parte, após a análise do *quiz* pelo(a) professor(a), os(as) alunos(as) terão contato com simuladores (PhET, *Physics at School*) e um experimento (eletroscópio) como forma de sanar as dúvidas das questões do *quiz* e facilitar a compreensão e definição dos conceitos sobre efeito fotoelétrico e fotovoltaico.
- A quarta parte será a corrida dos carrinhos, a ser realizada em um local espaçoso e ao ar livre, como a quadra aberta da escola, onde incida luz solar de forma contínua.

No primeiro momento, os carrinhos e os nomes dados pelos grupos serão apresentados. Posteriormente, serão feitas marcações de 1 metro em 1 metro com uma trena ou fita métrica. Cada equipe deve posicionar a câmera do celular de forma que fique paralela ao movimento do carrinho e possa captar toda a sua trajetória.

Após isso, inicie a corrida de carrinhos; o que atingir o ponto final estipulado primeiro será o vencedor. Por meio das filmagens das corridas, os(as) alunos(as) deverão calcular a velocidade média dos carrinhos. Utilizando o *software Tracker*, façam a coleta de dados da posição para determinados tempos ao longo da trajetória, e analisem o gráfico da posição *versus* tempo fornecido. Analisar o tipo de movimento (MRU ou MRUV), calcular a energia cinética de cada carrinho para explorar a transformação de energia.

Sugere-se também que os(as) alunos(as) colem os dados de posição *versus* tempo manualmente, utilizando o cronômetro do celular e confeccionem seus próprios gráficos, comparando-os depois com os obtidos por meio do *software Tracker*.

Para finalizar, o(a) professor(a) irá aplicar novamente os dois questionários, impresso e o da plataforma digital.

A sequência didática foi estruturada conforme Zabala (1998), considerando os conteúdos de aprendizagem: factuais e conceituais, procedimentais e os atitudinais.

Segundo Zabala (1998, p. 30), esses são “conteúdos de natureza muito variada: dados, habilidades, técnicas, atitudes, conceitos, etc.”, que possibilita o desenvolvimento integral do indivíduo. Os conteúdos conceituais estão relacionados à compreensão de conceitos (saber por que e sobre o que), os factuais envolve os fatos e acontecimentos (saber o que), o procedimental (saber fazer) referente a realização de ações, habilidades e atividades práticas, e o atitudinal

(saber ser e saber conviver) relativo às atitudes e valores desenvolvidos ao longo da formação (Zabala, 1998).

Durante as nove aulas que compõem a SD, esses conteúdos aparecem em vários momentos, conforme destacamos:

- **Conceitual:** Presente na compreensão de conceitos da Mecânica, como as transformações de energia, velocidade, tipos de movimento; do Eletromagnetismo, nos conceitos de circuito elétrico, como potência, ddp e corrente elétrica; e da Física Moderna, como os materiais condutores, isolantes e semicondutores, efeito fotoelétrico e fotovoltaico. Todos esses conceitos são necessários e abrangem o tema “Célula Fotovoltaica”.
- **Factual:** Evidenciado pela utilização de fatos do cotidiano. Inclui a apresentação do texto “Energia solar: o crescente uso de placas fotovoltaicas”, que descreve a aplicação de células fotovoltaicas na Universidade Estadual de Maringá e seu crescente uso no Brasil. Também são empregadas questões do ENEM, curiosidades, e aplicações de LED e transistores.
- **Procedimental:** Manifestado na elaboração, montagem e aplicação de um carrinho movido a energia solar; na atividade experimental do eletroscópio de folhas; e na utilização de simuladores disponíveis na *internet*.
- **Atitudinal:** Observado ao estimular o trabalho em equipe e a criatividade na elaboração, montagem e aplicação do carrinho, nas atividades experimentais e no uso de simuladores. Inclui também uma reflexão sobre a importância da energia solar e sua relação com a sustentabilidade.

Dessa forma, a estrutura da sequência didática será abordada na próxima subseção.

### 1.1.1. ESTRUTURA DA SEQUÊNCIA DIDÁTICA

Os aspectos gerais da sequência didática, incluindo tema, conteúdos, duração, competências e habilidades da BNCC (Brasil, 2018), estão detalhados no Quadro 1.1.

Quadro 1.1 – Ficha técnica da sequência didática.

|        |                                                                       |
|--------|-----------------------------------------------------------------------|
| TÍTULO | CÉLULA FOTOVOLTAICA - FÍSICA MODERNA PARA O ENSINO MÉDIO <sup>2</sup> |
| TEMA   | Célula fotovoltaica e Física Moderna.                                 |

<sup>2</sup> Título utilizado quando foi implementado, que é o título da dissertação de mestrado que originou esse PE.



|                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
|--------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| PÚBLICO ALVO                                                 | Alunos(as) da 3ª série do Ensino Médio, mas também é aberta a outros interessados. Ela pode ser oferecida em formato de oficina pedagógica, no contraturno.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
| DURAÇÃO                                                      | 9 aulas (50 minutos cada)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| CONTEÚDOS                                                    | <p><b>Factuais - relacionados a aprender a conhecer (concreto):</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Textos baseados em reportagens;</li> <li>- Simuladores e dados obtidos de experimentos.</li> </ul> <p><b>Conceituais – relacionados a aprender a conhecer (geral e abstrato):</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Efeito Fotoelétrico;</li> <li>- Efeito Fotovoltaico;</li> <li>- Velocidade média;</li> <li>- Movimento Retilíneo Uniforme e Movimento Retilíneo Uniformemente Variado;</li> <li>- Transformações de energia e sua lei de conservação.</li> </ul> <p><b>Procedimentais – aprender a fazer:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Leitura e interpretação dos textos;</li> <li>- Cálculo da potência e na resolução das questões do ENEM;</li> <li>- Experimentação: construção de um carrinho movido pela energia gerada por uma placa fotovoltaica.</li> <li>- Entender o funcionamento do carrinho.</li> </ul> <p><b>Atitudinais – aprender a viver juntos e a ser:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Participação;</li> <li>- Trabalho em equipe;</li> <li>- Responsabilidade.</li> </ul> |
| COMPETÊNCIAS DO ENSINO FUNDAMENTAL - BNCC (2018)             | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Analisar, compreender e explicar características, fenômenos e processos relativos ao mundo natural, social e tecnológico (incluindo o digital), como também as relações que se estabelecem entre eles, exercitando a curiosidade para fazer perguntas, buscar respostas e criar soluções (inclusive tecnológicas) com base nos conhecimentos das Ciências da Natureza (Brasil, 2018, p. 324).</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| HABILIDADES COMPETÊNCIAS DO ENSINO FUNDAMENTAL - BNCC (2018) | <ul style="list-style-type: none"> <li>- (EF08CI01) Identificar e classificar diferentes fontes (renováveis e não renováveis) e tipos de energia utilizados em residências, comunidades ou cidades (Brasil, 2018, p. 349).</li> <li>- (EF08CI02) Construir circuitos elétricos com pilha/bateria, fios e lâmpada ou outros dispositivos e compará-los a circuitos elétricos residenciais (Brasil, 2018, p. 349).</li> <li>- (EF08CI03) Classificar equipamentos elétricos residenciais (chuveiro, ferro, lâmpadas, TV, rádio, geladeira etc.) de acordo com o tipo de transformação de energia (da energia elétrica para a térmica, luminosa, sonora e mecânica, por exemplo) (Brasil, 2018, p. 349).</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |

|                                            |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
|--------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                            | <p>- (EF08CI04) Calcular o consumo de eletrodomésticos a partir dos dados de potência (descritos no próprio equipamento) e tempo médio de uso para avaliar o impacto de cada equipamento no consumo doméstico mensal (Brasil, 2018, p. 349).</p> <p>- (EF08CI06) Discutir e avaliar usinas de geração de energia elétrica (termelétricas, hidrelétricas, eólicas etc.), suas semelhanças e diferenças, seus impactos socioambientais, e como essa energia chega e é usada em sua cidade, comunidade, casa ou escola (Brasil, 2018, p. 349).</p> <p>- (EF09CI03) Identificar modelos que descrevem a estrutura da matéria (constituição do átomo e composição de moléculas simples) e reconhecer sua evolução histórica (Brasil, 2018, p. 351).</p> <p>- (EF09CI06) Classificar as radiações eletromagnéticas por suas frequências, fontes e aplicações, discutindo e avaliando as implicações de seu uso em controle remoto, telefone celular, raio X, forno de micro-ondas, fotocélulas, entre outros (Brasil, 2018, p. 351).</p> |
| COMPETÊNCIAS DO ENSINO MÉDIO - BNCC (2018) | <p>- Analisar fenômenos naturais e processos tecnológicos, com base nas interações e relações entre matéria e energia, para propor ações individuais e coletivas que aperfeiçoem processos produtivos, minimizem impactos socioambientais e melhorem as condições de vida em âmbito local, regional e global (Brasil, 2018, p.503).</p> <p>- Investigar situações-problema e avaliar aplicações do conhecimento científico e tecnológico e suas implicações no mundo, utilizando procedimentos e linguagens próprios das Ciências da Natureza, para propor soluções que considerem demandas locais, regionais e/ou globais, e comunicar suas descobertas e conclusões a públicos variados, em diversos contextos e por meio de diferentes mídias e tecnologias digitais de informação e comunicação (TDIC) (Brasil, 2018, p.503).</p>                                                                                                                                                                                              |
| HABILIDADES DO ENSINO MÉDIO - BNCC (2018)  | <p>- (EM13CNT101) Analisar e representar, com ou sem o uso de dispositivos e de aplicativos digitais específicos, as transformações e conservações em sistemas que envolvam quantidade de matéria, de energia e de movimento para realizar previsões sobre seus comportamentos em situações cotidianas e em processos produtivos que priorizem o desenvolvimento sustentável, o uso consciente dos recursos naturais e a preservação da vida em todas as suas formas; (Brasil, 2018, p.555).</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |

|                          |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
|--------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                          | <p>- (EM13CNT106) Avaliar, com ou sem o uso de dispositivos e aplicativos digitais, tecnologias e possíveis soluções para as demandas que envolvem a geração, o transporte, a distribuição e o consumo de energia elétrica, considerando a disponibilidade de recursos, a eficiência energética, a relação custo/benefício, as características geográficas e ambientais, a produção de resíduos e os impactos socioambientais e culturais (Brasil, 2018, p.555).</p> <p>- (EM13CNT107) Realizar previsões qualitativas e quantitativas sobre o funcionamento de geradores, motores elétricos e seus componentes, bobinas, transformadores, pilhas, baterias e dispositivos eletrônicos, com base na análise dos processos de transformação e condução de energia envolvidos – com ou sem o uso de dispositivos e aplicativos digitais –, para propor ações que visem a sustentabilidade (Brasil, 2018, p.555).</p> <p>- (EM13CNT307) Analisar as propriedades dos materiais para avaliar a adequação de seu uso em diferentes aplicações (industriais, cotidianas, arquitetônicas ou tecnológicas) e/ou propor soluções seguras e sustentáveis considerando seu contexto local e cotidiano; (Brasil, 2018, p.559).</p> <p>- (EM13CNT308) Investigar e analisar o funcionamento de equipamentos elétricos e/ou eletrônicos e sistemas de automação para compreender as tecnologias contemporâneas e avaliar seus impactos sociais, culturais e ambientais (Brasil, 2018, p.560).</p> |
| MATERIAIS<br>NECESSÁRIOS | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Questionários impressos;</li> <li>- Quadro negro;</li> <li>- Giz;</li> <li>- Caderno para anotações;</li> <li>- Lápis;</li> <li>- Borracha;</li> <li>- Fatura de energia elétrica;</li> <li>- Trena;</li> <li>- Cronômetro;</li> <li>- Câmera e lanterna do celular;</li> <li>- <i>Kit</i> para a construção dos carrinhos composto por: mini painel fotovoltaico monocristalino, motor (retirado de aparelhos eletrônicos em desuso) e materiais de fácil acesso (tampas de garrafa PET, elástico de silicone, palitos de sorvete, canudos, papelão, e materiais para enfeitar ou substituir os citados com a mesma funcionalidade);</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |

|           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
|-----------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|           | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Eletroscópio construído com papel alumínio, garrafa PET, clipe ou pedaço de fio de cobre;</li> <li>- Balão de ar;</li> <li>- Pedaço de lã;</li> <li>- Materiais para enfeitar o carrinho: papel colorido, fita colorida, EVA (copolímero de etileno acetato de vanila), entre outros.</li> <li>- Papel celofane colorido, entre eles o de cor azul e lilás;</li> <li>- Folha milimetrada;</li> <li>- Cola quente;</li> <li>- Pregos;</li> <li>- Martelo;</li> <li>- Régua;</li> <li>- <i>Datashow</i>.</li> <li>- <i>Notebook</i>, celular do tipo <i>smartphone</i>, e/ou uso de computadores da escola caso esteja disponível, para uso individual.</li> </ul> |
| AVALIAÇÃO | Diagnóstica: Questionário diagnóstico e <i>quiz</i> (impresso ou por meio da plataforma digital <i>Kahoot!</i> <sup>®</sup> ).                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
|           | Processual: Discussões em aula; atividade experimental (construção do carrinho movido a energia solar); observação (participação; relato dos(as) alunos(as); envolvimento dos(as) alunos(as) nas atividades experimentais e na utilização dos simuladores e <i>software Tracker</i> ).                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
|           | Somativa: questionário avaliativo e reaplicação do <i>quiz</i> (impresso ou por meio da plataforma digital <i>Kahoot!</i> <sup>®</sup> ).                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |

Fonte: Os autores.

### 1.1.2. ETAPAS DA SEQUÊNCIA DIDÁTICA

A sequência didática é dividida em nove aulas, as quais estão detalhadas no Quadro 1.2 conforme seu conteúdo, metodologia e organização.

Quadro 1.2 – Informações técnicas de cada aula.

| AULA<br>(50 min) | CONTEÚDO                                                                                                                                                                  | METODOLOGIA                                                                                                                                                                                                  | ORGANIZAÇÃO                                                                                                                                                                                                                     |
|------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1                | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Detecção do conhecimento prévio;</li> <li>- Texto sobre a principal aplicação de um conjunto de células fotovoltaicas</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Aplicação de um questionário diagnóstico;</li> <li>- Análise de um texto com informações locais do cotidiano publicadas na <i>internet</i> (transposição</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Questionário diagnóstico</li> <li>- Atividade individual;</li> <li>- Análise de textos – atividade em grupo (uso de <i>internet</i>) – a pesquisa das informações e uso dos</li> </ul> |

|   |                                                                                                                                                                                                                                               |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
|---|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|   | denominadas de Pannel fotovoltaico;<br>- Explorando a transposição didática.                                                                                                                                                                  | didática) e o motivo de seu uso explorando o conceito de Potência.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | simuladores realizados pelos(as) alunos(as).                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| 2 | - Revisão dos conceitos envolvidos de circuito elétrico: potência, ddp e corrente elétrica;<br>- Questões do ENEM.                                                                                                                            | - Conhecendo fisicamente um painel fotovoltaico;<br>- Entender um circuito elétrico.<br>- Questionário tipo <i>Quiz</i> impresso ou na plataforma <i>Kahoot!</i> <sup>®</sup> .                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | - Simuladores<br>- Jogo <i>Quiz</i> – uso de celular - ou uso da sala de informática. – plataforma <i>Kahoot!</i> <sup>®</sup> .<br>< <a href="https://kahoot.com/">https://kahoot.com/</a> >                                                                                                                                                           |
| 3 | - Conhecendo e aplicando a metodologia STEAM, na elaboração e montagem do carrinho.                                                                                                                                                           | - Elaboração do projeto de montagem de um carrinho movido a um mini painel fotovoltaico por meio de um conjunto experimental entregue pelo (a) docente;                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | - Atividade em equipe – 3 membros;<br>- Sala de aula.                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| 4 | Efeito fotoelétrico:<br>- Introduzindo a partícula fóton;<br>- Relembrando conceitos do eletromagnetismo e eletrodinâmica: carga elétrica, corrente, ddp, entre outros.                                                                       | - Experimento do eletroscópio (material entregue pelo(a) docente, exceto a lanterna do celular;<br>- Uso de simuladores PhET - < <a href="https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulations/photoelectric">https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulations/photoelectric</a> >                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | Atividade experimental e simuladas.<br><br>Vídeo UNIVESP – sobre o efeito fotoelétrico: < <a href="https://eaulas.usp.br/portal/video.action?idItem=6813">https://eaulas.usp.br/portal/video.action?idItem=6813</a> >                                                                                                                                   |
| 5 | Explorando conceitos da Física Moderna: relembrar materiais condutores e isolantes (dielétricos) e introduzir materiais semicondutores;<br>- Níveis e bandas de energia usando pictoricamente o modelo da “Cadeira de Piekara” e simuladores. | - Retomada de conteúdo sobre os materiais condutores, isolantes (dielétricos) e semicondutores por meio de simuladores PhET, < <a href="https://phet.colorado.edu/sims/cheerpj/conductivity/la-test/conductivity.html?simulation=conductivity&amp;locale=pt_BR">https://phet.colorado.edu/sims/cheerpj/conductivity/la-test/conductivity.html?simulation=conductivity&amp;locale=pt_BR</a> > e < <a href="https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulation/legacy/semiconductor">https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulation/legacy/semiconductor</a> >, e o <i>Physics at School</i> , incluindo o | Os(As) alunos(as) serão organizados em trios.<br>Uso da sala de informática é opcional, o(a) docente pode projetar e usar um <i>notebook</i> e projetar por meio de TV, ou <i>datashow</i> .<br><br>Sugestão de vídeo para os(as) alunos(as):<br>Vídeo 1 - Reportagem do <i>Fantástico (Rede Globo</i> – 17/05/2015) sobre a Energia Solar Fotovoltaica |

|   |                                                                                                                                        |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
|---|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|   |                                                                                                                                        | <p>átomo de Bohr<br/>&lt;<a href="https://www.vascak.cz/data/android/physicsatschool/template.php?s=atom_vodik&amp;l=pt">https://www.vascak.cz/data/android/physicsatschool/template.php?s=atom_vodik&amp;l=pt</a>&gt;;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Apresentar os componentes elétricos aos(às) alunos(as) e explicar o funcionamento (simulador do PhET: &lt;<a href="https://phet.colorado.edu/sims/html/circuit-construction-kit-ac-virtual-lab/latest/circuit-construction-kit-ac-virtual-lab_pt_BR.html">https://phet.colorado.edu/sims/html/circuit-construction-kit-ac-virtual-lab/latest/circuit-construction-kit-ac-virtual-lab_pt_BR.html</a>&gt;;</li> <li>- Retomada do conceito de Resistividade Elétrica com o uso do simulador do Vascak;</li> <li>- Discussão coletiva;</li> <li>- Explicação sobre a distribuição eletrônica e Princípio de Pauling e o modelo da “cadeira de Piekara” com a utilização de objetos para relacionar o centro de massa, a questão da estabilidade dos mesmos, e a energia potencial.</li> </ul> | <p>no Brasil<br/><a href="https://www.youtube.com/watch?v=2jkyJoi-DZU">https://www.youtube.com/watch?v=2jkyJoi-DZU</a><br/>(3:48)<br/>e/ou<br/>Vídeo 2 – Efeito Fotovoltaico – Física na Prática - Univesp<br/><a href="https://www.youtube.com/watch?v=03wBqCIwuJc">https://www.youtube.com/watch?v=03wBqCIwuJc</a><br/>(8:52) – opcional – o docente pode ele compreender e levar dispositivos que funcionam com o uso de painel fotovoltaico e explicar.</p> <p>O modelo da “Cadeira de Piekara” é uma atividade prática que utiliza uma cadeira sobre a mesa, encostada no quadro. O objetivo é localizar e registrar (por meio de um traço no quadro) o centro de massa da cadeira em diferentes posições indicando a altura da energia potencial para cada ponto.</p> |
| 6 | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Semicondutor; Processo de dopagem tipo P e tipo N.</li> <li>- Efeito fotovoltaico.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Utilização de simuladores PhET e Vascak.</li> <li>- Dança da cadeira: entender sobre “buracos na rede cristalina” em semicondutores de forma lúdica.</li> <li>- Vídeo sobre o funcionamento do Diodo<br/><a href="https://www.youtube.com/watch?v=w14cvydBC8g&amp;t=250s">https://www.youtube.com/watch?v=w14cvydBC8g&amp;t=250s</a></li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | <p>A sugestão é que as equipes sejam no máximo de 3 alunos(as), para um melhor aproveitamento.</p> <p>Uso da sala de informática é opcional, o docente pode projetar e usar um <i>notebook</i> e transmitir por meio de TV, ou <i>datashow</i>.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |

|   |                                                                                                            |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
|---|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|   |                                                                                                            | <p>Sugestão: Levar um circuito simples contendo LEDs e Diodo para explicar sua funcionalidade em um circuito elétrico.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | <p>Sugestão de vídeo para os(as) alunos(as):</p> <p><b>Sugestão de vídeo ao docente:</b> “Como funcionam as células solares? Um diálogo sobre semicondutores e o efeito fotovoltaico” – Publicado pelo Meu orbital-disponível em:<br/> <a href="https://www.youtube.com/watch?v=wxzJdF7qyH8">https://www.youtube.com/watch?v=wxzJdF7qyH8</a>.</p>                          |
| 7 | Aplicação do mini painel fotovoltaico - Carrinho movido a energia gerada pela célula solar (fotovoltaica). | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Avaliação do nome e <i>design</i> mais criativo entre os carrinhos construídos pelas equipes;</li> <li>- Corrida de carrinhos – vence o que tiver melhor desempenho em termos de velocidade;</li> <li>- Filmagem por meio do celular do trajeto percorrido pelo carrinho;</li> <li>- Coleta de dados experimentais da posição (marcado previamente por meio com uma trena) <i>versus</i> tempo de forma manual (marcar o tempo utilizando o cronômetro do celular).</li> </ul> | <p>Avaliação, criatividade, <i>design</i> e melhor desempenho do carrinho: atividade por equipe na quadra da escola;</p> <p>Análise dos resultados experimentais – em equipe na sala de aula.</p>                                                                                                                                                                          |
| 8 | Transformação de energia, velocidade, tipos de movimento                                                   | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Leitura de frases e textos curtos;</li> <li>- Coleta dos dados experimentais no <i>software Tracker</i> por meio do vídeo da gravação;</li> <li>- Representação gráfica da posição <i>versus</i> tempo do carrinho em folha de papel milimetrado e por meio do <i>software Tracker</i>;</li> </ul>                                                                                                                                                                             | <p>Análise dos resultados experimentais – em equipe na sala de informática;</p> <p><i>Software Tracker:</i><br/> <a href="https://physlets.org/tracker/">https://physlets.org/tracker/</a><br/>         (para baixar e instalar clicar em <b>100% FREE DOWNLOAD</b>)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Responder o <i>quiz</i> no celular ou sala de</li> </ul> |

|   |                   |                                                                                                                          |                                           |
|---|-------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------|
|   |                   | - Análise.                                                                                                               | informática (plataforma <i>Kahoot®</i> ). |
| 9 | Finalização da SD | - <i>Feedback</i> ;<br>- Premiação;<br>- Aplicação do questionário impresso, semelhantes ao do questionário diagnóstico. | - Aplicação do questionário avaliativo.   |

Fonte: Elaborado pelos autores.

## 2. PLANOS DE AULA E DESENVOLVIMENTO

Neste capítulo, você encontrará a descrição de cada uma das unidades didáticas, previstas para aplicação do PE, baseadas na SD (seção 1.4).

### AULA 1

#### Detecção de subsunçores (Conhecimento Prévio)

**Duração:** 50 minutos.

**Objetivo(s):** Detectar os subsunçores (conhecimento prévio) que os(as) alunos(as) possuem sobre o tema a ser trabalhado e a compreensão de um texto contendo informações divulgadas na mídia.

**Organização da turma:** Atividade individual.

**Recursos:** Folhas impressas com um questionário diagnóstico sobre Física Moderna e Transformações de Energia; folhas impressas com o texto “Energia solar: o crescente uso de placas fotovoltaicas”, fatura de energia elétrica, folha impressa contendo as questões do ENEM, computadores e *Datashow*.

#### **Metodologia:**

1º Momento: Explicar e entregar o questionário, que abrange os conteúdos factuais e conceituais, para cada aluno(a). O questionário aborda o tema “Célula fotovoltaica”, envolvendo conteúdos relacionados à Física Moderna e Transformações de Energia.

2º Momento: Analisar um texto com informações do cotidiano publicadas na *internet* (transposição didática).



**Avaliação:** Ocorrerá por meio da observação e registro do professor, juntamente com a análise da participação dos estudantes nas atividades realizadas.

### **Desenvolvimento da Aula 1**

Esta aula é dividida em duas partes. Nos primeiros 25 minutos, destinada a aplicação do questionário diagnóstico com questões dissertativas, conforme descrito no Quadro 2.1, com a resposta esperada (em azul), seguida de como elas foram escolhidas segundo a tipologia de Zabala (Zabala, 1998). O objetivo é avaliar os subsunçores (conhecimento prévios) dos(as) alunos(as) sobre os conceitos relacionados à Física Moderna e Transformações de Energia. Os(As) alunos(as) deverão responder individualmente. O questionário para uso direto após ser impresso está disponível no Apêndice I.

Quadro 2.1 - Questionário diagnóstico e exemplo de respostas com a finalidade de identificar os subsunçores sobre Física Moderna e Transformações de energia. E sua análise segundo a tipologia de Zabala (1998).

| Questionário 1 (disponível para ser aplicado no Apêndice I)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>1) Já ouviu falar sobre célula fotovoltaica? Onde? Como funciona?</p> <p>Resposta esperada: “Não, nunca ouvi falar.”. ou “Sim. Em propagandas, na <i>internet</i>, na escola ou na televisão. É o mesmo que placa de energia solar. Elas transformam energia solar em energia elétrica”.</p> <p>Observação: Esta questão permite trabalhar os conteúdos: conceitual, factual e procedimental. O conceitual é abordado na definição e entendimento do que é uma célula fotovoltaica. O factual é explorado ao perguntar se o(a) aluno(a) já ouviu falar sobre o tema e onde o viu, pois exige que ele relacione o conceito a contextos reais. E o procedimental se manifesta na aplicação do conhecimento, ao explorar e discutir o funcionamento da célula e os processos envolvidos na conversão de energia solar em elétrica.</p> |
| <p>2) Quais “fontes” de energia elétrica você conhece?</p> <p>Resposta esperada: Hidrelétrica (Hidroelétrica), Solar, Eólica, Nuclear, Termoelétrica.</p> <p>Observação: Esta questão permite trabalhar os conteúdos: conceitual e factual. O conceitual é estimulado na compreensão sobre as fontes de energia, suas características, indo além da simples nomeação. O factual é trabalhado ao identificar e nomear diferentes fontes de energia.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| <p>3) O que você entende por efeito fotoelétrico?</p> <p>Resposta esperada: É a ejeção de elétrons (por tornarem-se mais energético) sobre uma placa de metal após a incidência de luz (radiação eletromagnética) com frequência alta o suficiente.</p> <p>Observação: Essa questão permite trabalhar o conteúdo conceitual, na compreensão e no entendimento sobre o conceito de efeito fotoelétrico, que é a emissão de elétrons de um material quando exposto à luz.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| <p>4) O que você entende por efeito fotovoltaico?</p> <p>Resposta esperada: Quando uma corrente elétrica surge em um material semicondutor ao ser exposto à incidência de luz (radiação eletromagnética).</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |

Observação: Esta questão permite trabalhar o conteúdo conceitual, na compreensão e no entendimento sobre o conceito de efeito fotovoltaico, que é o processo pelo qual materiais semicondutores geram eletricidade ao serem expostos à luz.

5) A energia mecânica é constituída de quais tipos de energia?

Resposta esperada: É composta de energia cinética, que pode ser de translação e/ou de rotação, e energia potencial.

Observação: Essa questão permite trabalhar o conteúdo conceitual por meio da definição e da composição da energia mecânica, identificando as duas formas principais de energia (cinética e potencial), além de refletir sobre as características de cada uma delas.

6) Descreva o que você conhece sobre a Lei de Conservação de Energia?

Resposta esperada: Ela segue o princípio de Lavoisier que na natureza nada se cria, tudo se transforma. Portanto, a energia total final de um sistema é igual à sua energia total inicial.

Observação: Essa questão permite trabalhar o conteúdo conceitual por meio da explicação do conceito fundamental da lei da conservação da energia, que diz que a energia não pode ser criada nem destruída, mas sim transformada de uma forma para outra.

7) Como se determina a velocidade média e a velocidade instantânea de um corpo em movimento?

Resposta esperada: Média: É a razão entre o deslocamento e o tempo usado pelo corpo para percorrer esse deslocamento. Instantânea: É o limite da velocidade média para o menor tempo possível, quando a variação do tempo tende a zero. É a velocidade em cada ponto da trajetória no respectivo tempo.

Observação: Essa questão permite trabalhar o conteúdo procedimental por meio da aplicação de procedimentos matemáticos e físicos, permitindo que os(as) alunos(as) demonstrem a capacidade de realizar cálculos e aplicar o conceito de forma prática.

8) O que fariam sem energia elétrica? E sem a energia solar? Qual a importância de cada uma delas em sua vida?

Resposta esperada: Sem a energia elétrica, ficaria tudo restrito, e sem a energia solar, não haveria vida no planeta. Portanto a segunda não é possível ficar sem; a primeira, por pouco tempo.

Observação: Essa questão permite trabalhar os conteúdos: conceitual (no conceito de energia solar e elétrica), factual (pelas suas diversas aplicações no cotidiano) e atitudinal (ao refletir sobre como essas energias impactam em sua vida e nas atividades diárias, desenvolvendo uma postura crítica em relação à sua importância).

9) O que você sabe sobre o funcionamento do LED?

Resposta esperada: “Não sei nada sobre”. ou, “É um dispositivo que, ao passar corrente elétrica, emite luz, com baixo consumo de energia comparado a lâmpadas fluorescentes, e está presente em diversos aparelhos eletrônicos. Ele é composto por um material semicondutor, com duas camadas semicondutoras, uma com deficiência e outra com excesso de elétrons”.

Observação: Essa questão permite trabalhar o conteúdo procedimental, envolvendo às habilidades e estratégias que permitem a aplicação do conhecimento, nesse caso, o processo de emissão de luz no LED.

10) Já ouviu falar sobre diodo e/ou transistor? Onde?

Resposta esperada: “Não.” ou “Já ouvi falar, em casa, nas aulas de Física. Eles estão presentes em diversos aparelhos eletrônicos como celulares, computadores, TVs”.

Observação: Essa questão permite trabalhar os conteúdos: conceitual (na identificação desses componentes e na compreensão de suas funções básicas), factual (em situações e exemplos concretos do cotidiano em que podemos encontrar esses dispositivos) e procedimental (ao aplicar esse conhecimento para explicar como esses componentes funcionam em circuitos eletrônicos).

11) Você sabe como funciona um material semiconductor?

Resposta esperada: “Não.” ou “Já ouvi falar, são a base das células fotovoltaicas, diodo, LEDs, transistor, etc. Eles são materiais que possuem quatro elétrons na camada de valência. Quando recebem uma quantidade de energia, luz ou uma tensão elétrica, o elétron sai da sua posição formando um buraco que é preenchido por outro elétron, formando outro buraco, e assim sucessivamente. Esse fluxo de elétrons cria uma corrente elétrica nesse material.”.

Observação: Essa questão permite trabalhar o conteúdo conceitual, pois os(as) alunos(as) precisam compreender o que é um semiconductor, seu funcionamento e no que se difere dos materiais condutores e isolantes.

Fonte: Elaborado pela autora Astrath, T. L. A.

Na segunda parte da aula, após realizar o questionário diagnóstico, inicie o trabalho com o texto “Energia solar: o crescente uso de placas fotovoltaicas”. Este conteúdo está disponibilizado no Quadro 2.2, e os(as) professores(as) podem fazer cópias aos(às) alunos(as). Dessa forma, ele se mantém no contexto principal do PE, sem ser repetido ou apresentado como apêndice focando a praticidade do(a) professor(a).

Os(As) alunos(as) deverão ler o texto, destacando os pontos que considerarem interessantes e/ou questionamentos que surgirem. Em seguida, o(a) professor(a) fará a mediação, conectando os pontos destacados e as ideias centrais apresentadas no texto.

Essa atividade, com duração estimada de 25 minutos, tem dupla função:

- Ferramenta didática: Estimula a leitura ativa e a interação com o conteúdo.
- Organizador Prévio: Antecipa conceitos fundamentais relacionados às células fotovoltaicas, auxiliando os(as) alunos(as) a ativarem conhecimentos prévios e a contextualizar o novo conteúdo, preparando-os para uma compreensão mais aprofundada do funcionamento dessas tecnologias.

Quadro 2.2 – Texto 2.1: Energia Solar: O Crescente Uso de Placas Fotovoltaicas.

**Texto 2.1 - Energia Solar: O Crescente Uso de Placas Fotovoltaicas**

T. L. A. Astrath e H. Mukai

A crise hídrica e o alto consumo devido a nossa dependência da energia elétrica no cotidiano, eleva o seu custo devido ao acionamento das termoeletricas – usinas de alto custo operacional. A transformação de energia elétrica a partir de outro tipo de energia tem direcionado a algum tempo a busca em utilizar como fonte as energias naturais, como a provinda do Sol, ou a eólica dos ventos.

Dados da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) revelam que, em 2019, a instalação de placas fotovoltaicas apresentou um crescimento de 169%. Mais recentemente, em fevereiro de 2022, a capacidade de geração de energia por meio das placas fotovoltaicas alcançou 100 MW em ampliação de potência no Brasil, sendo 152,80 MW referentes ao estado do Paraná, conforme publicado no *site* da agência:

A Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) liberou em fevereiro 513,3 megawatts (MW) em geração de energia para operação comercial. O quantitativo obtido neste ano, de 995,5 MW, equivale a 13% do incremento na matriz energética previsto para este ano, de 7.625,08 MW. Fevereiro obteve acréscimo de 346,57 MW de usinas eólicas e 100 MW de solares fotovoltaicas, as quais representam juntas 87% da ampliação de potência no mês. Entraram em operação ainda 48,73 MW em usinas termelétricas e 18 MW em pequenas centrais hidrelétricas (AID, ANEEL, 3/2022).

De acordo com a ABSolar (Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica), em janeiro de 2023, “a energia fotovoltaica alcançou um incrível marco, ocupando a segunda posição na matriz elétrica brasileira, ultrapassando a eólica e ficando atrás apenas da fonte hídrica, totalizando 11,2% de representação, com aproximadamente 24 GW de potência instalada” (Portal G1).

Destacando que a energia solar é uma energia fundamental para a existência de vida no planeta. Além disso, é uma fonte de energia limpa e abundante, especialmente na região de Maringá, onde a incidência solar é alta (uma média de  $5,5 \frac{kWh}{m^2}$  por dia). A própria Universidade Estadual de Maringá (UEM), no ano de 2020, implementou no campus sede uma “minigeração” fotovoltaica de energia, projetando uma economia de 200 mil reais por ano. Os painéis solares estão instalados sobre os prédios da universidade, incluindo o teto da Biblioteca central (BCE) e outros dois prédios, conforme ilustrado na Figura 1.

Figura 1 – Imagem fotográfica de prédios do campus sede da UEM com painéis de células fotovoltaicas.



Fonte: [http://noticias.uem.br/index.php?option=com\\_content&view=article&id=24706:usina-fotovoltaica-entra-em-funcionamento&catid=986&Itemid=211](http://noticias.uem.br/index.php?option=com_content&view=article&id=24706:usina-fotovoltaica-entra-em-funcionamento&catid=986&Itemid=211)

Conforme citado no artigo, o prefeito do campus universitário, Prof. Carlos Antonio Pizo informou que:

São 1.440 módulos que correspondem a cerca de 2,8 mil m<sup>2</sup> de superfície para coleta, com potência total de 518 kWpico – unidade de medida que corresponde à energia máxima produzida pelos módulos fotovoltaicos. (PARIZOTO, T. C, UEM, 2020).

Nesse contexto, observamos a aplicação do conceito de Potência, que vocês já conhecem. Pela definição, a potência relaciona o trabalho (energia) realizado por intervalo de tempo.

$$P = \frac{E_{\text{elétrica}}}{\Delta t}. \quad (1)$$

Ainda na UEM na entrada do Portão 2, há uma área de convivência, equipada com bancos e tomadas para carregamento de celulares, *notebooks*, entre outros dispositivos que necessitam de energia elétrica (Figura 2).

Figura 2 – Imagens fotográficas da área de convivência: (a) em 2021 quando em construção, sendo um exemplo de utilidade pública, e (b) e (c) em 2022, exibem o espaço finalizado e equipado com acentos com tomadas, evidenciando sua funcionalidade para carregamento de dispositivos; (d) Detalha um painel informativo sobre a eficiência energética na UEM.



(a)

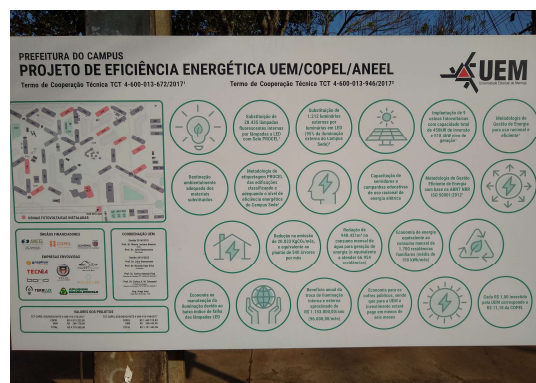


(b)





(c)



(d)

Fontes: (a) [http://noticias.uem.br/index.php?option=com\\_content&view=article&id=24706:usina-fotovoltaica-entra-em-funcionamento&catid=986&Itemid=211](http://noticias.uem.br/index.php?option=com_content&view=article&id=24706:usina-fotovoltaica-entra-em-funcionamento&catid=986&Itemid=211), (b), (c) e (d) H. Mukai, 2022.

Mas como o prof. Pizo sabe que a potência total gerada será de 518 kWpico?

#### REFERÊNCIAS:

Aneel liberou operação comercial de 513,3 MW em fevereiro. Canal Energia, 11 de Março de 2022. Disponível em: <<https://www.canalenergia.com.br/noticias/53204918/aneel-liberou-operacao-comercial-de-5133-mw-em-fevereiro>>. Acesso em: 02 mai 2022.

Energia solar em 2023: Expectativas para o segmento. Portal G1, 24 de março de 2023. Disponível em: <https://g1.globo.com/sc/santa-catarina/especial-publicitario/top-sun/top-sun-energia-solar/noticia/2023/03/24/energia-solar-em-2023-expectativas-para-o-segmento.ghtml>. >. Acesso em: 23 ago 2023.

PARIZOTO, T. C, Usina fotovoltaica entra em funcionamento. UEM, 2020. Disponível em: [http://noticias.uem.br/index.php?option=com\\_content&view=article&id=24706:usina-fotovoltaica-entra-em-funcionamento&catid=986&Itemid=211](http://noticias.uem.br/index.php?option=com_content&view=article&id=24706:usina-fotovoltaica-entra-em-funcionamento&catid=986&Itemid=211). Acesso em: 02 jun 2022.

Fonte: As autoras.

Resposta à pergunta: “Mas como o prof. Pizo sabe que a potência total gerada será de 518 kWpico?”

Cada módulo gera aproximadamente 360W, como existem 1.440 módulos, basta multiplicá-los, resultando em 518.400 W, ou seja aproximadamente 518 kWp. O termo “pico” (p) na unidade kWp significa o máximo de captação que a placa fotovoltaica pode gerar sob condições ideais de teste.

Após a discussão do texto, apresente aos(as) alunos(as) o seguinte questionamento: “**Como sabemos quantas placas são necessárias para gerar energia suficiente para o local a ser utilizado com uma eficiência de 100%?**”. Para responder a essa pergunta, será necessário que tenham posse de uma fatura de energia elétrica.

Para iniciar, é fundamental entender que a energia gerada depende da potência e do tempo. Sendo assim, o primeiro passo é analisar o consumo médio anual de energia do consumidor. Supondo um valor de 11,84 kW/dia (algumas faturas indicam o consumo mensal e o diário; nesse caso, faça a média aritmética simples, somando os 12 meses e dividindo por 12).

Em seguida, o próximo passo é descobrir o índice de irradiação solar específico para o local de instalação. Para isso, o(a) docente pode utilizar o *site* do Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio da S. Brito (CRESEB), disponível em: <http://www.cresesb.cepel.br> (Figura 2.1).

Figura 2.1 – Cópia de tela da página do CRESEB.



Fonte: <<http://www.cresesb.cepel.br/index.php#data>>. Acesso em: 15 abr 2022.

- ✓ No site do CRESESB, clique em “Potencial Energético” na barra lateral, e então selecione “Potencial Solar” (detalhe Figura 2). Uma nova página será carregada, exibindo o “Potencial Solar – *Sun Data*” (versão 3.0). Role a página para baixo até encontrar os campos para preencher a latitude e a altitude. Para obter esses dados com precisão, faça uma pesquisa no *Google*. Você pode usar um site como o *DB-City* (<https://pt.db-city.com/Brasil>). Nele, selecione o estado e, em seguida, a cidade (por exemplo, Maringá, conforme ilustrado na Figura 2.2).

Figura 2.2 – Cópia de tela do site db-city, coletando as informações de latitude e longitude de Maringá-PR.

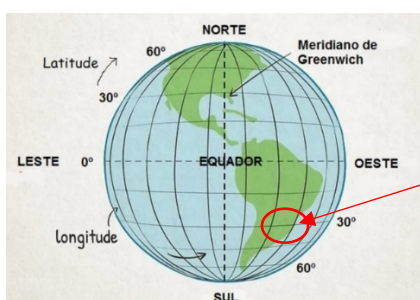
| DEMOGRAFIA MARINGÁ              |                                                                               |
|---------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------|
| Número de habitantes Maringá    | 423.666 habitantes                                                            |
| Densidade populacional Maringá  | 868,6 /km <sup>2</sup>                                                        |
| GEOGRAFIA MARINGÁ               |                                                                               |
| Coordenadas geográficas Maringá | Latitude: -23.4273, Longitude: -51.9375<br>23° 25' 38" Sul, 51° 56' 15" Oeste |
| Superfície Maringá              | 48.773 hectares<br>487,73 km <sup>2</sup>                                     |
| Altitude Maringá                | 551 m                                                                         |
| Clima Maringá                   | Clima subtropical úmido (Classificação climática de Köppen-Geiger: Cfa)       |

Fonte: <https://pt.db-city.com/Brasil--Paran%C3%A1--Maring%C3%A1> . Acesso em: 15 abr 2022.

É importante notar que estamos aplicando a metodologia STEAM, que promove a interdisciplinaridade. Neste momento, estamos conectando Geografia e Matemática, que são complementares à Física e Tecnologia.

A latitude é medida em relação à Linha do Equador. Por isso, aparece um sinal negativo na informação e, abaixo (Figura 2.3), o termo “SUL” (mas sem sinal negativo). Ambas as informações são equivalentes e significam que Maringá está localizada ao Sul da Linha do Equador. Isso pode ser observado na Figura 2.3, já que o Brasil se situa abaixo da Linha do Equador e à direita (Oeste do Meridiano de Greenwich), que é a linha de referência para a longitude.

Figura 2.3 – Cópia de tela modificada, indicando os pontos de referência linha do equador para latitude e Meridiano de Greenwich para longitude.



Fonte: adaptado de <https://pt.wikihow.com/Determinar-a-Latitude-e-a-Longitude>. Acesso em: 15 abr 2022.



Volte à página do CRESESB e selecione o ícone para inserir os dados de forma mais completa, incluindo o grau, minuto e segundo. Em seguida, digite as informações da latitude e longitude, clique em “buscar”. As informações resultantes serão exibidas, conforme apresentado na Figura 2.4 (a).

Role a página do CRESESB para baixo até encontrar o cálculo para “plano inclinado”. Essa seção indicará a inclinação ideal para posicionar o painel fotovoltaico, garantindo a maior eficiência possível (Figura 2.4 (b)). A informação a ser coletada é a de **maior média anual de irradiação**, que nesse caso, é de  $5,12 \text{ kWh}/\text{m}^2 \text{ dia}$ , para uma inclinação de  $20^\circ$ .

Figura 2.4 – cópia de tela indicando as informações sobre a irradiação em Maringá no site da CRESESB. (a) A primeira tabela indicando as informações digitadas e localidades próximas; (b) o cálculo da irradiação solar em relação ao ângulo de inclinação.

**Coordenada Geográfica**

**Latitude**  
 23 ° 25 ' 38 " Sul

**Longitude**  
 51 ° 56 ' 15 " Oeste

**Norte:**  
☐ graus decimais (00.00°)  
☒ graus, minutos e segundos (00°00'00")

Buscar Limpar

Os valores válidos de latitude devem estar na faixa de 12° Norte e 40° Sul e de longitude na faixa de 30° Oeste e 80° Oeste. Em caso de dúvida entre em contato conosco.

**Localidades próximas**

Latitude: 23,427222° S  
 Longitude: 51,9375° O

| #                                   | Estação | Município | UF | País   | Irradiação solar diária média [kWh/m².dia] |               |                |     |      |      |      |      |      |      |      |      |      | Média | Delta |      |      |      |
|-------------------------------------|---------|-----------|----|--------|--------------------------------------------|---------------|----------------|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|-------|------|------|------|
|                                     |         |           |    |        | Latitude [°]                               | Longitude [°] | Distância [km] | Jan | Fev  | Mar  | Abr  | Mai  | Jun  | Jul  | Ago  | Set  | Out  |       |       | Nov  | Dez  |      |
| <input checked="" type="checkbox"/> | Maringá | Maringá   | PR | BRASIL | 23,401° S                                  | 51,949° O     |                | 3,1 | 5,89 | 5,79 | 5,22 | 4,54 | 3,64 | 3,33 | 3,53 | 4,45 | 4,68 | 5,31  | 5,97  | 6,33 | 4,89 | 2,99 |
| <input checked="" type="checkbox"/> | Mariálv | Mariálv   | PR | BRASIL | 23,5° S                                    | 51,949° O     |                | 8,2 | 5,90 | 5,75 | 5,23 | 4,51 | 3,62 | 3,28 | 3,52 | 4,41 | 4,64 | 5,30  | 5,99  | 6,30 | 4,87 | 3,01 |
| <input checked="" type="checkbox"/> | Maringá | Maringá   | PR | BRASIL | 23,401° S                                  | 51,849° O     |                | 9,5 | 5,90 | 5,80 | 5,27 | 4,59 | 3,64 | 3,34 | 3,53 | 4,46 | 4,69 | 5,32  | 5,98  | 6,30 | 4,90 | 2,96 |

(a)

**Cálculo no Plano Inclinado**

Estação: Maringá  
 Município: Maringá, PR - BRASIL  
 Latitude: 23,401° S  
 Longitude: 51,949° O  
 Distância do ponto de ref. (23,427222° S; 51,9375° O): 3,1 km

| #                                   | Ângulo                  | Inclinação | Irradiação solar diária média mensal [kWh/m².dia] |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      | Média | Delta |
|-------------------------------------|-------------------------|------------|---------------------------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|-------|
|                                     |                         |            | Jan                                               | Fev  | Mar  | Abr  | Mai  | Jun  | Jul  | Ago  | Set  | Out  | Nov  | Dez  |      |       |       |
| <input checked="" type="checkbox"/> | Plano Horizontal        | 0° N       | 5,89                                              | 5,79 | 5,22 | 4,54 | 3,64 | 3,33 | 3,53 | 4,45 | 4,68 | 5,31 | 5,97 | 6,33 | 4,89 | 2,99  |       |
| <input checked="" type="checkbox"/> | Ângulo igual a latitude | 23° N      | 5,33                                              | 5,54 | 5,39 | 5,18 | 4,51 | 4,34 | 4,51 | 5,30 | 5,00 | 5,20 | 5,47 | 5,62 | 5,12 | 1,28  |       |
| <input checked="" type="checkbox"/> | Maior média anual       | 20° N      | 5,43                                              | 5,60 | 5,40 | 5,13 | 4,42 | 4,24 | 4,41 | 5,23 | 5,00 | 5,25 | 5,57 | 5,74 | 5,12 | 1,51  |       |
| <input checked="" type="checkbox"/> | Maior mínimo mensal     | 37° N      | 4,73                                              | 5,08 | 5,18 | 5,26 | 4,77 | 4,69 | 4,83 | 5,50 | 4,91 | 4,84 | 4,89 | 4,93 | 4,97 | ,81   |       |

(b)

Fonte: <http://www.cresesb.cepel.br/index.php#data>. Acesso em: 15 abr 2022.

Com esses dados, o próximo passo é dividir a potência média diária (consumo =  $11,84 \text{ kW}/\text{dia}$ ) pela irradiação média diária ( $5,12 \text{ kWh}/\text{m}^2$ ), e obtém-se que,

$$\frac{11,84}{5,12} = 2,3 \text{ kWp}.$$

Esse valor é o que se chama de Potência de pico (máxima). No entanto, é importante entender que, durante a instalação e operação de um sistema fotovoltaico, ocorrem perdas de energia. Isso pode acontecer por diversos fatores, como: cabeamento (perdas na transmissão da eletricidade pelos fios), orientação da placa entre outros (desvios na inclinação e direção ideais em relação ao Sol), temperatura (a eficiência dos módulos pode diminuir com o aumento da temperatura) e sujeira/sombreamento (acúmulo de poeira ou sombras parciais sobre as placas). Essas perdas podem ser calculadas por meio de *softwares* específicos (geralmente pagos). Contudo, para estimativas, é comum considerar uma perda média de 25%, o que significa que o sistema operará com 75% de eficiência.

Dessa forma, para compensar essas perdas, divide-se o valor obtido de 2,3 *kWpico* (referente à potência necessária) por 0,75. Esse cálculo fornece o valor de 3,1 *kWpico* (ajustado para as perdas) para gerar os 11,85 *kW/dia*, que é a potência real que o sistema precisa gerar para atender à demanda.

Supondo que cada módulo tenha a potência de 360 *W*, o número de placas necessárias será de

$$\frac{3,1kWpico}{0,36kW} = 8,6 \text{ ou } 9 \text{ placas.}$$

Portanto, para “gerar” 11,85 *kW/dia*, são necessárias 9 placas de células fotovoltaicas de 360 *W*, para se ter uma eficiência de 100%.

Com os cálculos para determinar o número de placas de células fotovoltaicas necessárias de acordo com um consumo de energia elétrica fixo, cada aluno(a) agora realizará o mesmo procedimento, mas utilizando os dados de consumo de sua própria fatura de energia.

É importante ressaltar que esta atividade serve também como um excelente organizador prévio, especialmente porque o próximo tópico a ser discutido será o eletromagnetismo.

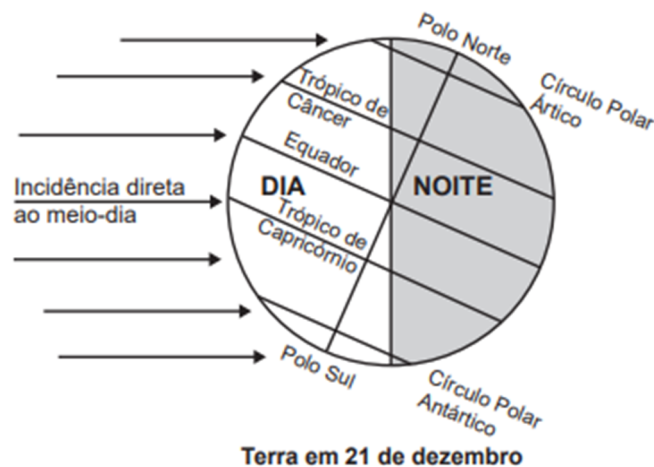
Ao analisar as faturas de energia - como o valor a ser pago é calculado e quais grandezas físicas e unidades de medidas estão envolvidas – os(as) alunos(as) são preparados para uma revisão de conceitos como potência, diferença de potencial e resistência. Isso não só facilita a transição para o próximo conteúdo de eletromagnetismo, mas também cria um contexto prático e relevante para o aprendizado.

Fonte: cálculos adaptados do informado no vídeo - <https://www.youtube.com/watch?v=QFUwkey4Iyk>. Acesso em: 05 jun 2022.

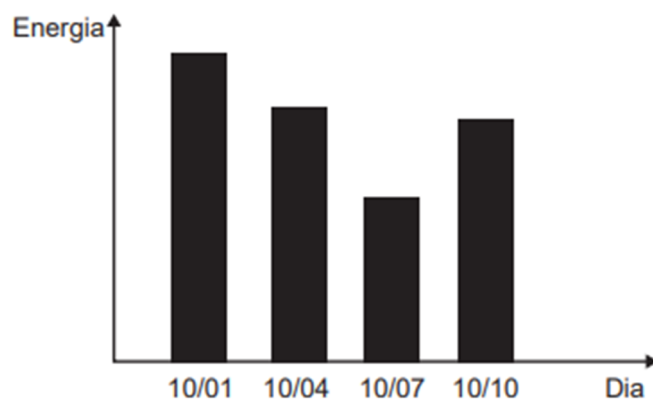
**Finalização:** Para encerrar nossa aula, vamos aplicar questões do ENEM que abordam os conceitos que discutimos. Essa será uma excelente forma de revisar o conteúdo.

A seguir, apresentamos algumas sugestões de questões para essa revisão.

**Questão 1:** (ENEM/2022) O eixo de rotação da Terra apresenta uma inclinação em relação ao plano de sua órbita em torno do Sol, interferindo na duração do dia e da noite ao longo do ano.



Uma pessoa instala em sua residência uma placa fotovoltaica, que transforma energia solar em elétrica. Ela monitora a energia total produzida por essa placa em 4 dias do ano, ensolarados e sem nuvens, e lança os resultados no gráfico.



Disponível em: [www.fisica.ufpr.br](http://www.fisica.ufpr.br). Acesso em: 27 mai 2022 (adaptado)

Próximo a que região se situa a residência onde as placas foram instaladas?

- A) Trópico de Capricórnio.
- B) Trópico de Câncer.
- C) Polo Norte.
- D) Polo Sul.

E) Equador

Resposta: A

Resolução (as autoras): Trópico de Capricórnio. Como a energia total produzida é menor em 10/07, mês de julho, é inverno nessa região. Logo, ela deve estar próxima ao Trópico de Capricórnio, onde, nessa estação, a incidência dos raios solares é oblíqua e os dias são mais curtos.

Fonte: <https://fisicaparaoenem.com/enem-2022/questao-132-caderno-amarelo-2/>. Acesso em: 27 jun 2022.

**Questão 2:** (ENEM/2022) Em 2017, foi inaugurado, no estado da Bahia, O Parque Solar Lapa, composto por duas usinas (Bom Jesus da Lapa e Lapa) e capaz de gerar cerca de 300 GWh de energia por ano. Considere que cada usina apresente potência igual a 75 MW, com o parque totalizando uma potência instalada de 150 MW. Considere ainda que a irradiância solar média é de  $1500 \text{ W/m}^2$  e que a eficiência dos painéis é de 20%.

Parque Solar Lapa entra em operação. Disponível em: [www.canalbioenergia.com.br](http://www.canalbioenergia.com.br). Acesso em: 9 jun 2022 (adaptado).

Nessas condições, a área total dos painéis solares que compõem o Parque Solar Lapa é mais próxima de:

- A)  $20.000 \text{ m}^2$
- B)  $100.000 \text{ m}^2$
- C)  $250.000 \text{ m}^2$
- D)  $500.000 \text{ m}^2$
- E)  $1.000.000 \text{ m}^2$

Resposta: D

Resolução (as autoras): A potência instalada do Parque Solar Lapa é de 150MW e a irradiância é de  $1500 \text{ W/m}^2$ , mas apenas 20% da irradiância é aproveitada, ou seja:  $1500 \text{ W/m}^2 \cdot (0,2) = 300 \text{ W/m}^2$ .

Para calcular a área de painéis instalados basta calcular a razão entre a potência instalada no Parque e a irradiância aproveitada.

$$\text{Área} = \frac{150 \text{ MW}}{300 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}} = \frac{150 \cdot 10^6 \text{ W}}{300 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}} = \frac{15 \cdot 10^6 \text{ W}}{30 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}} = (0,5) 10^6 \text{ m}^2 = 500000 \text{ m}^2.$$

Fonte: <https://descomplica.com.br/gabarito-enem/questoes/2022/segundo-dia/nessas-condicoes-area-total-dos-paineis-solares-que-compoem-o-parque-solar-lapa-e-mais-proxima-de/>. Acesso em: 27 jun 2022.

### **Sugestões de Observações e Avaliação:**

Ao final da Aula 1, é possível observar e avaliar, por meio dos referenciais teóricos (Tipologia de Zabala, TAS e metodologia STEAM), os seguintes pontos:

1. De acordo com a tipologia de Zabala (Zabala, 1998) :
  - Conteúdos Conceituais: Na compreensão dos conceitos relacionados à energia e suas fontes (renováveis e não renováveis); na diferença entre energia fotovoltaica e energia solar térmica; no cálculo para determinar o número de placas fotovoltaicas necessárias para gerar energia suficiente para um determinado local com o máximo de eficiência possível; e nos conceitos geográficos envolvidos na energia solar;
  - Conteúdos Factuais: No reconhecimento da utilização de placas fotovoltaicas no dia a dia, seja em residências, cidades, empresas, entre outros, como forma de aproveitar a energia solar;
  - Conteúdos Procedimentais: No uso das operações básicas e equações matemáticas para o cálculo da quantidade de placas fotovoltaicas a serem instalados em um determinado local; na aplicação dos conhecimentos sobre a duração do dia e da noite para entender como isso afeta a geração de energia fotovoltaica; e na interpretação e análise da fatura de energia elétrica, identificando o valor total a ser pago, a cobrança da taxa de iluminação pública, o consumo e o preço por quilowatt-hora, entre outros;
  - Conteúdos Atitudinais: Na reflexão sobre as questões ambientais em relação à utilização de placas fotovoltaicas, bem como a importância das energias renováveis e atitudes sustentáveis;
2. Em relação à Teoria de Aprendizagem Significativa (TAS):

Por meio do questionário diagnóstico detectando os subsunçores (conhecimentos prévios); na relação dos novos conhecimentos com os já existentes, aplicando esse aprendizado em situações reais; na relevância do que está sendo aprendido; e na motivação e participação na aula;
3. Em relação à metodologia STEAM:

Na integração de diferentes áreas do conhecimento. Por exemplo:

- Ciência: Explorando a energia solar.
- Geografia, abordando como os fatores geográficos afetam a incidência da luz solar nas diferentes regiões ao longo do ano.
- Tecnologia: no uso de placas fotovoltaicas.
- Engenharia: na instalação real dessas placas.
- Matemática: nos cálculos para instalação das placas.

## AULA 2

### Potência, corrente e diferença de potencial elétrico

**Duração:** 50 minutos.

**Objetivo(s):** Revisar os conceitos básicos de Potência, Corrente e Diferença de Potencial Elétrico (ddp), enfatizando suas definições, unidades de medida e a resolução de problemas.

**Organização da turma:** Atividade individual com a utilização de celular ou da sala de informática.

**Recursos:** Quadro, giz, computadores ou celulares, folha impressa contendo as questões do ENEM.

**Metodologia:**

1º Momento: Explorar os conceitos de Potência, corrente elétrica e diferença de potencial (ddp), juntamente com a resolução de questões do ENEM.

2º Momento: Aplicar um *quiz* por meio de uma plataforma digital. Para isso, os(as) alunos(as) serão levados à sala de informática do colégio e irão responder individualmente, ou utilizar o celular na própria sala de aula.

**Avaliação:** Ocorrerá por meio da observação e registro do(a) professor(a), juntamente com a análise da participação dos(as) estudantes nas atividades realizadas.

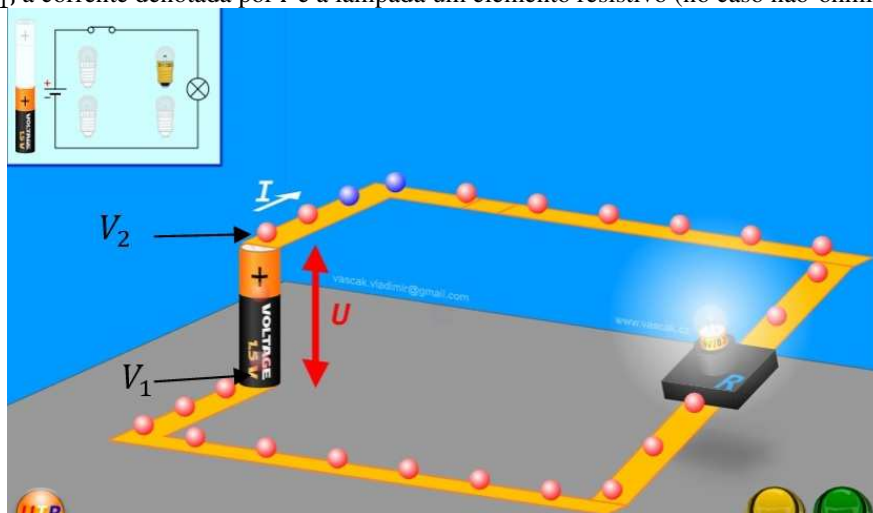
### Desenvolvimento da Aula 2

Esta aula está dividida em duas partes: uma revisão de conteúdos sobre potência, ddp e corrente elétrica, e a aplicação de um *quiz* na plataforma digital *Kahoot!*<sup>®</sup>

Nos primeiros 30 minutos, trabalhar com os(as) alunos(as) a equação de potência em termos da ddp e corrente. É importante lembrar que a ddp é a diferença de potencial, ou tensão como também é conhecida (conforme a Figura 2.5),  $U = V_2 - V_1$ . Já a corrente  $I = i$  é a variação da carga que percorre um material condutor em um determinado intervalo de tempo. Matematicamente, expressamos como  $i = I = \frac{dq}{dt} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta q}{\Delta t}$ , sendo a variação da carga em um determinado ponto do circuito em um determinado instante.

Para isso, o(a) professor(a) pode explorar o simulador Vascak “tensão, corrente e resistência”, ilustrado na Figura 2.5. Além de ser uma valiosa ferramenta didática, ele funciona como um organizador prévio, ajudando a ativar o conhecimento prévio (subsunçores) dos(as) alunos(as). Isso cria uma base sólida para o entendimento dos conceitos de eletromagnetismo, conectando teoria e prática de forma eficaz.

Figura 2.5 – Cópia de tela do simulador Vascak “tensão, corrente e resistência”. Ilustrando a ddp  $U = V_2 - V_1$ , a corrente denotada por  $I$  e a lâmpada um elemento resistivo (no caso não-ohmico).



Fonte: <https://www.vascak.cz/data/android/physicsatschool/template.php?s=eleuir&l=pt>. Acesso em: 28 mai 2022.

A corrente média é expressa como,

$$i_m = \frac{\Delta q}{\Delta t}, \text{ ou } i = \frac{Q}{\Delta t}. \quad (2.1)$$

Essa é a forma como, geralmente, se trabalha no Ensino Médio, o que permite relembrar a definição de uma medida instantânea e média.

A equação da potência é dada pela razão entre a energia potencial elétrica e o intervalo de tempo,

$$P = \frac{E_{peletrica}}{\Delta t}, \quad (2.2)$$

Essa é a mesma equação citada no Texto 2.1 (equação (1) do Quadro 2.2).

Ela também pode ser escrita em termos da ddp e da corrente. Para isso, utiliza-se a equação da energia potencial elétrica:

$$E_{p_{eletrica}} = qU, \quad (2.3)$$

Substituindo na equação (2.2) e a equação (2.1), obtêm-se,

$$P = \frac{qU}{\Delta t} = Ui. \quad (2.4)$$

### Aplicação no cotidiano<sup>3</sup>: questão do ENEM.

**Questão 1: (ENEM/2010)** Quando ocorre um curto-circuito em uma instalação elétrica, como na figura, a resistência elétrica total do circuito diminui muito, estabelecendo-se nele uma corrente muito elevada.



O superaquecimento da fiação, devido a esse aumento da corrente elétrica, pode ocasionar incêndios, que seriam evitados instalando-se fusíveis e disjuntores que interrompem essa corrente, quando a mesma atinge um valor acima do especificado nesses dispositivos de proteção. Suponha que um chuveiro instalado em uma rede elétrica de 110 V em uma residência possua três posições de regulação da temperatura da água. Na posição verão, utiliza 2100 W; na posição primavera, 2400 W; e na posição inverno, 3200 W.

GREF. Física 3: Eletromagnetismo. São Paulo: EDUSP, 1993 (adaptado).

Deseja-se que o chuveiro funcione em qualquer uma das três posições de regulação de temperatura, sem que haja riscos de incêndio. Qual deve ser o valor mínimo adequado do disjuntor a ser utilizado?

- a) 40 A
- b) 30 A

---

<sup>3</sup>Consideramos as questões do ENEM como algo que faz (simulados) ou fará parte do cotidiano acadêmico do aluno.



- c) 25 A
- d) 23 A
- e) 20 A

Resposta: B

Resolução (as autoras): Vamos utilizar a maior potência de operação do chuveiro para o cálculo. Fazendo isso, descobriremos qual é a maior corrente que pode atravessá-lo. Assim, por meio da equação (2.4),

$$P = Ui \Rightarrow i = \frac{P}{U} = \frac{3200}{110} \approx 30 \text{ A.}$$

Com base na resposta e nas alternativas, percebe-se que é o fusível a ser utilizado deve ser de 30 A, portanto a alternativa correta é a letra B.

Questão 2: (ENEM/2017) A figura mostra a bateria de um computador portátil, a qual necessita de uma corrente elétrica de 2 A para funcionar corretamente.



Quando a bateria está completamente carregada, o tempo máximo, em minuto, que esse notebook pode ser usado antes que ela “descarregue” completamente é

- A) 24,4.
- B) 36,7.
- C) 132.
- D) 333.
- E) 528.

Resposta: C.

Resolução (as autoras): Na figura, nós observamos que  $Q = 4400 \text{ mAh}$ , ou seja,  $Q = 4400 \times 10^{-3} \text{ Ah}$ . Utilizando a equação de corrente elétrica, temos que (utilizando a equação (2.1)):

$$i = \frac{Q}{\Delta t} \quad \text{substituindo os valores: } 2 = \frac{4400 \times 10^{-3}}{\Delta t}$$

$$\Delta t = \frac{4400 \times 10^{-3}}{2} = 2,2 \text{ horas} = 2,2 (60\text{min})$$

$$\Delta t = 132 \text{ minutos.}$$

Fonte: <https://descomplica.com.br/gabarito-enem/questoes/2017-segunda-aplicacao/segundo-dia/figura-mostra-bateria-de-um-computador-portatil-qual-necessita-de-uma-corrente-eletrica-de-2/>. Acesso em: 02 abr 2022.

**Questão 3: (ENEM/2021)** Carros elétricos estão cada vez mais baratos, no entanto, os órgãos governamentais e a indústria se preocupam com o tempo de recarga das baterias, que é muito mais lento quando comparado ao tempo gasto para encher o tanque de combustível. Portanto, os usuários de transporte individual precisam se conscientizar dos ganhos ambientais dessa mudança e planejar com antecedência seus percursos, pensando em pausas necessárias para recargas.

Após realizar um percurso de 110 km, um motorista pretende recarregar as baterias de seu carro elétrico, que tem um desempenho médio de 5,0 km/kWh, usando um carregador ideal que opera a uma tensão de 220 V e é percorrido por uma corrente de 20 A.

Quantas horas são necessárias para recarregar a energia utilizada nesse percurso?

- A) 0,005
- B) 0,125
- C) 2,5
- D) 5,0
- E) 8,0

Resposta: D

Resolução (as autoras): O primeiro passo é encontrar o valor da potência do carro elétrico, por meio da equação (2.4):

$$P = i U = 20 (220) = 4400 \text{ W ou } 4,4 \text{ kW.}$$

Em seguida, como o carro tem um consumo médio de 5 km/kWh e ele desloca 110 km, a bateria precisa armazenar uma energia de:

$$E = \frac{110 \text{ km}}{5 \frac{\text{km}}{\text{kWh}}} = 22 \text{ kWh.}$$

Que foi obtida utilizando a equação (2.3). Portanto, utilizando a equação (2.2), isolando a variação do tempo,  $\Delta t$ ,

$$\Delta t = \frac{E_{\text{eletrica}}}{P} = \frac{22 \text{ kWh}}{4,4 \text{ kW}} = 5 \text{ horas.}$$

Irá demorar 5 horas para recarregar a bateria.

Fonte: <https://descomplica.com.br/gabarito-enem/questoes/2021/segundo-dia/quantas-horas-sao-necessarias-para-recarregar-energia-utilizadas-nesse-percurso/> Acesso em: 02 abr 2022.

❖ **Aplicação do Quiz via plataforma Kahoot!®.**

**Duração:** 20 minutos.

Este momento será dedicado a um *quiz* interativo via *Kahoot!®*, apresentado em formato de jogo. As questões, que estão detalhadas no Quadro 5, poderão ser realizadas de duas maneiras:

1. Digital: No celular ou na sala de informática, com o tempo máximo de 10 minutos para a resolução.
2. Impresso: Caso não seja possível o uso de recursos digitais e a *internet*, o *quiz* será aplicado em sala de aula, utilizando o Questionário 2, descrito no Quadro 2.3 indicando as respostas corretas em azul, e disponibilizado para impressão no Apêndice I.

Quadro 2.3 - Questionário sobre Efeito Fotoelétrico e Fotovoltaico com as questões contidas no *quiz* da plataforma Kahoot!®. Com os comentários de acordo com os conteúdos classificados na Tipologia de Zabala (Zabala, 1998).

| Questionário 2 (disponível para impressão no Apêndice I)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>1) Existe diferença entre placa fotovoltaica e placa de aquecimento solar?</p> <p>( x ) Sim</p> <p>( ) Não</p> <p>Observação: Tipo de conteúdo conceitual, pois exige que o(a) aluno(a) compreenda e diferencie dois conceitos da placa fotovoltaica e a de aquecimento solar.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| <p>2) Qual a vantagem em utilizar a energia gerada por uma placa fotovoltaica?</p> <p>( x ) É uma energia limpa, que ajuda na economia em relação ao uso de energia proveniente de hidrelétricas e das termoeletricas.</p> <p>( ) Baixo custo de aquisição.</p> <p>( ) Geração de energia à noite.</p> <p>( ) Todas as alternativas.</p> <p>Observação: Conteúdo classificado como atitudinal (implícita) e conceitual (aplicado). Essa questão embora pareça um conceito (vantagem), a resposta correta remete a valores como "energia limpa" e "economia", ligadas a uma atitude de valorização da sustentabilidade e eficiência. Podendo assim, ser classificada como uma aplicação de conceitos com uma dimensão atitudinal.</p> |
| <p>3) O efeito fotoelétrico foi descoberto em 1886 pelo físico Albert Einstein?</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |

☐ Verdadeiro

☒ Falso

Observação: Conteúdo classificado como factual, exige o conhecimento de uma informação histórica específica (data e autor).

4) Os materiais semicondutores são aqueles em situação intermediária, dependendo da situação pode ser isolante ou condutor?

☒ Verdadeiro

☐ Falso

Observação: Conteúdo classificado como conceitual, pois avalia a compreensão da definição e característica principal de semicondutores.

5) Fios condutores são assim chamados porque são bons condutores de eletricidade, ou seja, possuem fótons livres.

☐ Verdadeiro

☒ Falso

Observação: Conteúdo classificado como conceitual, pois testa a compreensão do conceito de condutor, mas a justificativa ("fótons livres") é um equívoco conceitual (seriam elétrons livres). Mas ainda assim, visa a compreensão de um conceito.

6) O semicondutor tipo P é um material carregado negativamente.

☐ Verdadeiro

☒ Falso

Observação: Conteúdo classificado como conceitual, visto que avalia a compreensão de um conceito específico (características do semicondutor tipo P, que é carregado positivamente).

7) O semicondutor tipo N é um material carregado negativamente.

☒ Verdadeiro

☐ Falso

Observação: Conteúdo classificado como conceitual, testa a compreensão de um conceito específico (características do semicondutor tipo P, que é carregado negativamente).

8) A dopagem é um processo que são adicionadas impurezas ao semicondutor.

☒ Verdadeiro

☐ Falso

Observação: Conteúdo classificado como conceitual, pois busca a definição e compreensão do processo de dopagem.

9) A célula fotovoltaica funciona apenas com a luz solar.

☐ Verdadeiro

☒ Falso

*Observação: Conteúdo classificado como conceitual, visto que avalia a compreensão do funcionamento da célula fotovoltaica em relação às fontes de luz.*

10) O silício (Si) e o germânio (Ge) são os semicondutores mais utilizados.

☒ Verdadeiro

☐ Falso

*Observação: Conteúdo classificado como conceitual e factual – pois envolve o reconhecimento de materiais específicos (fatos), e a questão ainda se insere na compreensão de quais são os semicondutores relevantes para o contexto estudado (conceitual).*

11) A energia solar não é uma alternativa renovável, pois o tempo de vida do Sol é limitado.

☐ Verdadeiro

☒ Falso

*Observação: Conteúdo classificado como conceitual, visto que testa a compreensão do conceito de energia renovável e a validade de uma justificativa.*

12) Qual é o tempo estimado de vida de um painel fotovoltaico?

☐ 5 anos

☒ 25 anos

☐ 15 anos

☐ 35 anos

*Observação: Conteúdo classificado como factual – busca uma informação numérica e concreta (a duração de vida útil de um painel fotovoltaico).*

13) Uma célula fotovoltaica é constituída por cristais de silício.

☒ Verdadeiro

☐ Falso

*Observação: Conteúdo classificado como conceitual e factual, pois envolve o conhecimento do material de que é feita a célula (fato), mas também a sua estrutura básica (conceitual).*

14) Assinale a alternativa que apresenta uma desvantagem do painel fotovoltaico.

☐ Retirada da vegetação nativa para sua produção.

☐ Elevado impacto ambiental produzido pelos painéis.

☐ Necessidade de extensas áreas para a instalação de painéis.

☒ Preços elevados em relação às fontes não renováveis.

*Observação: Conteúdo classificado como atitudinal (implícita) e conceitual (aplicado) – similar à questão 2, identificar desvantagens (como preços elevados, que afetam a viabilidade e, portanto, a atitude em relação à adoção) pode ter uma dimensão atitudinal, além de ser um conceito de desvantagem.*

Fonte: Os autores.

**Fechamento da aula:** “Gostariam de construir algo utilizando uma placa fotovoltaica?” Essa será a atividade da próxima aula. O objetivo é manter os(as) alunos(as) conectados(as) com o assunto da próxima aula.

### **Sugestões de Observações e Avaliação:**

Ao final da Aula 2, é possível, por meio dos referenciais teóricos adotados para elaboração do PE, observar e avaliar os seguintes pontos:

#### **1. De acordo com a Tipologia de Zabala:**

- **Conteúdos Conceituais:** Compreensão de conceitos básicos relacionados ao Eletromagnetismo como potência, diferença de potencial, corrente elétrica e resistência, bem como suas unidades de medida e sua aplicação em circuitos elétricos simples;
- **Conteúdos Factuais:** Reconhecimento de que, dependendo da região ou de um determinado equipamento, a voltagem pode variar entre 110 V ou 220 V. Compreensão de que a fatura de energia elétrica tem relação com a potência dos equipamentos e seu tempo de funcionamento, identificando aparelhos no cotidiano com alta potência (chuveiro, ar-condicionado, entre outros.) e com menor potência (lâmpadas, rádio, entre outros).
- **Conteúdos Atitudinais:** Responsabilidade no uso da energia elétrica, principalmente ao utilizar equipamentos de alta potência, e na escolha de equipamentos com baixa potência, mas com bom desempenho (como dar preferência a lâmpadas LEDs em vez de fluorescentes e incandescentes, resultando em um menor consumo de energia). Isso inclui também o respeito às normas de segurança para a prevenção de acidentes elétricos;
- **Conteúdos Procedimentais:** Aplicação de conceitos matemáticos no contexto da eletricidade (por exemplo, no cálculo de potência, corrente, ddp). Além disso, a construção de circuitos elétricos simples por meio de simuladores evidencia o “saber fazer”. Esse tipo de conteúdo não aparece nas questões do *quiz*, pois necessitam cálculos, resolução de situações-problema ou a aplicação de uma sequência de passos.

#### **3. Teoria de Aprendizagem Significativa (TAS):**

A TAS (Ausubel) será observada na relação entre os novos conhecimentos sobre circuitos elétricos e os subsunçores dos(as) alunos(as), aplicando esse aprendizado em situações do cotidiano; Isto se manifesta nas experiências anteriores dos(as) alunos(as) com a eletricidade (como choques, uso de aparelhos eletrônicos, tempo de uso, entre

outros) e na utilização dos simuladores, que proporcionam uma aprendizagem ativa e significativa ao conectar a teoria à prática e ao conhecimento prévio;

#### 4. Metodologia STEAM:

A metodologia STEAM será observada pela integração dos conceitos de Física a diferentes áreas do conhecimento:

- Ciência: a própria base do conteúdo de Física, conceitos de eletromagnetismo, semicondutores, conceitos de Física Moderna.
- Tecnologia: Com o uso de simuladores e, futuramente na construção de algo com o uso da placa fotovoltaica (carrinho).
- Engenharia: Por meio da busca por soluções para economia de energia, eficiência de sistemas e a concepção da atividade da próxima aula (construir algo).
- Matemática: Nos cálculos de diferença de potencial, potência, corrente elétrica e resistência.

### AULA 3

#### Montagem experimental de um carrinho envolvendo uma célula fotovoltaica

**Duração:** 50 minutos.

**Objetivo(s):** Realizar um planejamento envolvendo circuito elétrico e *design*.

**Organização da Turma:** Os(As) alunos(as) serão organizados em trios e juntem as carteiras para que possam explorar o *kit*.

**Recursos:** *Kit* para a construção dos carrinhos, composto por: mini painel solar monocristalino, motor (retirado de aparelhos eletrônicos desuso) e materiais de fácil acesso (tampas de garrafa PET, elásticos de silicone (de prender cabelo), palitos de sorvete, elástico de silicone, canudos, papelão, etc.); Ferramentas: cola quente, tesoura, prego, martelo e fita. Materiais para enfeitar o carrinho: papel colorido, fita colorida, EVA, entre outros. Questionário impresso referente a montagem experimental.

**Metodologia:**

**1º Momento:** Explicar aos(às) alunos(as) o andamento das próximas aulas, dando ênfase no objetivo desta aula, que é a construção de um carrinho utilizando uma célula fotovoltaica. Destacar que, mais à frente, haverá uma competição de carrinhos em que o mais bonito, com o nome mais criativo e aquele com melhor desempenho serão premiados. Por isso, será necessário que eles atribuam um nome e enfeite o carrinho.

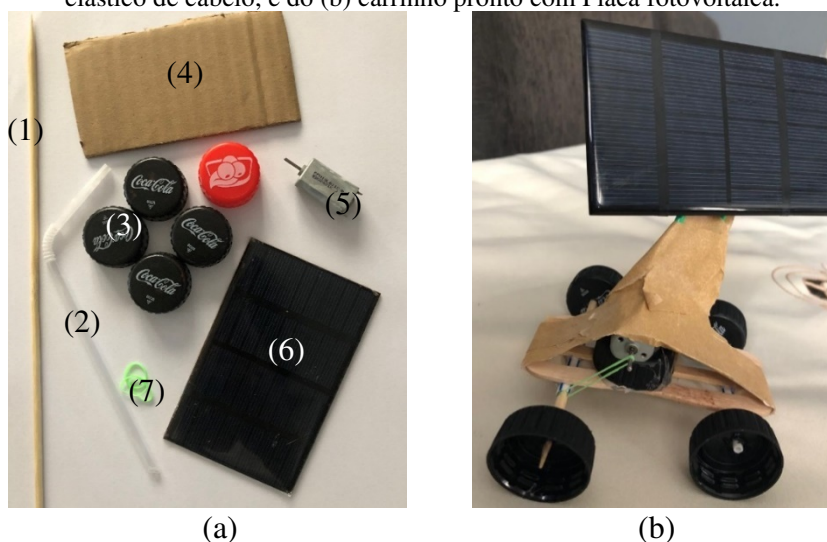
**2º Momento:** Dividir a turma em trios, pedindo que juntem as carteiras. Entregar a cada grupo um *kit* para que, no primeiro momento, possam explorar e discutir os materiais, traçando, a partir daí, estratégias para a montagem.

**Avaliação:** Observação e registro do(a) professor(a). Esquema da montagem experimental, feito pelos grupos, de acordo com os componentes disponíveis no conjunto experimental e o produto final quanto ao *design*, por meio de uma exposição dos carrinhos (o responsável pela votação fica a critério do docente ouvindo a opinião dos(as) alunos(as)).

### **Desenvolvimento da Aula 3**

Nesta aula, cada trio receberá um *kit* experimental. O primeiro passo das equipes será analisar, discutir e elaborar estratégias para a produção de um esquema de montagem experimental. A Figura 2.6 apresenta uma foto do (a) conjunto experimental - (1) palito de churrasco, (2) canudo de plástico, (3) tampinhas de garrafa pet, (4) um pedaço de papelão para base, (5) mini motor, (6) placa fotovoltaica e (7) elástico de cabelo - e do (b) carrinho montado pela docente/autora deste trabalho.

Figura 2.6 – Imagem fotográfica do (a) conjunto experimental: (1) palito de churrasco, (2) canudo de plástico, (3) tampinhas de garrafa pet, (4) um pedaço de papelão para base, (5) mini motor, (6) placa fotovoltaica e (7) elástico de cabelo, e do (b) carrinho pronto com Placa fotovoltaica.



Fonte: Arquivos da autora T. L. A. Astrath, 2023.

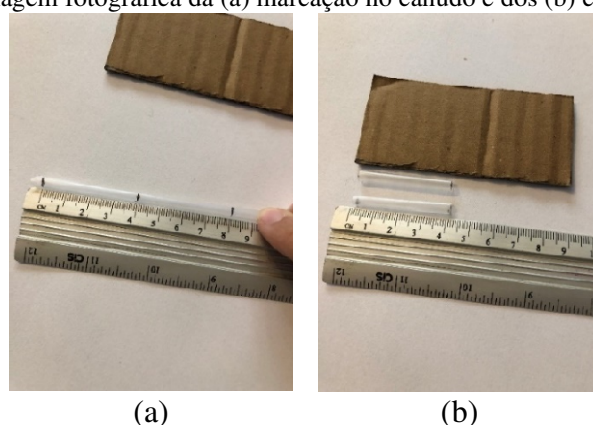


Os materiais de risco, como cola quente, tesoura, prego, martelo e fita, juntamente com os materiais para enfeitar os carrinhos, ficarão com o(a) docente para evitar acidentes. Para o uso desses materiais, o(a) docente deverá supervisionar e/ou executar o processo que os(as) alunos(as) desejarem realizar. No entanto, consideramos importante desenvolver a habilidade motora dos(as) discentes; portanto, supervisionar é mais benéfico do que executar por eles. No âmbito da metodologia STEAM, os(as) alunos(as) irão desenvolver um projeto para a montagem do carrinho, a partir da observação e análise dos materiais no *kit* experimental. A seguir, apresentaremos um exemplo do passo a passo da montagem de um carrinho para que o(a) docente tenha uma ideia do processo.

### **Passo a passo da montagem experimental:**

1º Passo – Corte dois pedaços de quatro centímetros do canudo, como mostra a Figura 2.7.

Figura 2.7 - Imagem fotográfica da (a) marcação no canudo e dos (b) canudos cortados.



(a) (b)  
Fonte: Arquivos da autora T. L. A. Astrath.

2º Passo – Corte dois pedaços de onze centímetros do palito de churrasco e afine as duas pontas, como ilustrado na Figura 2.8.

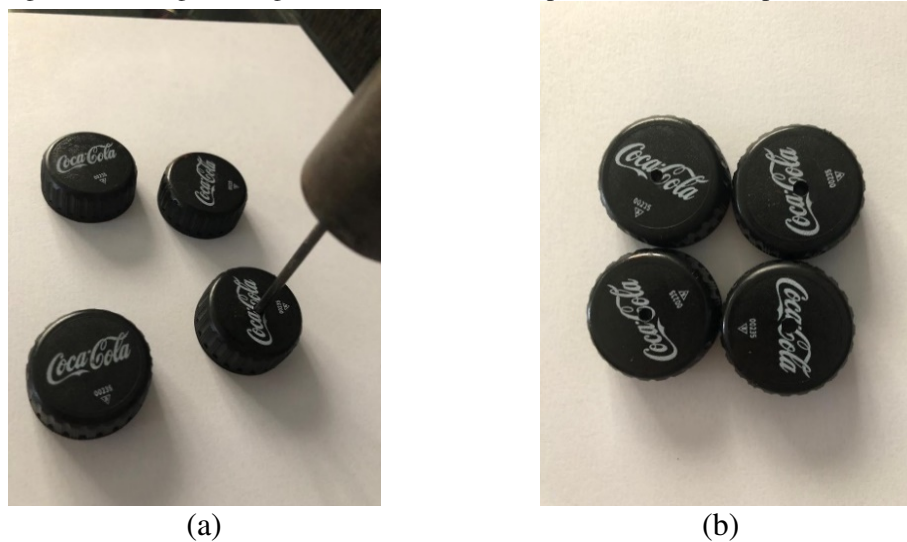
Figura 2.8 - Imagem fotográfica da (a) marcação no palito de churrasco.



Fonte: Arquivos da autora T. L. A. Astrath.

3º Passo – Com o auxílio de um martelo e um prego, faça um furo no centro de quatro das tampinhas, como mostrado na Figura 2.9 (a). O resultado deve ser conforme ilustrado na Figura 2.9 (b).

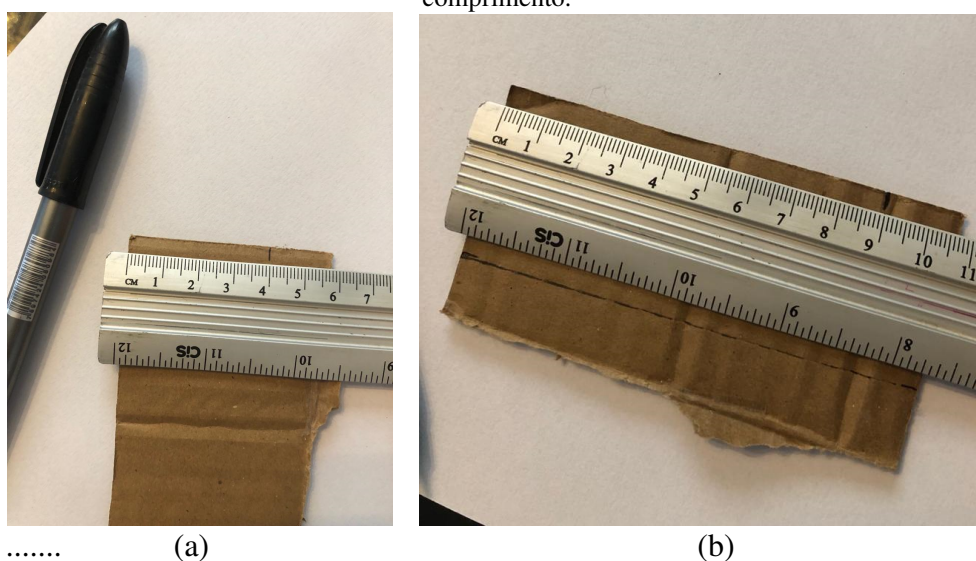
Figura 2.9 - Imagem fotográfica (a) furando as tampinhas e das (b) tampinhas furadas.



Fonte: Arquivos da autora T. L. A. Astrath.

4º Passo – Faça um retângulo de (4 x 9) cm no papelão para ser usado como base, como ilustra a Figura 2.10. Observação: O papelão pode ser substituído pelo palito de picolé; para isso, junte três palitos e passe cola quente.

Figura 2.10 - Imagem fotográfica das marcações no papelão de (a) 4 cm de largura por (b) 9 cm de comprimento.



Fonte: Arquivos da autora T. L. A. Astrath.

5º Passo – Cole o canudo em cada uma das extremidades da base de papelão com a cola quente e passe a cola por baixo e por cima para uma fixação melhor, como mostra a Figura 2.11(a).

Segure até que fique firme e a cola seque. O resultado será como o apresentado na Figura 2.11 (b).

Figura 2.11 - Imagem fotográfica (a) passando cola na região em que o canudo será inserido e (b) com os canudos fixados.



Fonte: Arquivos da autora T. L. A. Astrath.

6º Passo – Encaixe os furos das tampinhas de garrafa nas extremidades do palito de churrasco, conforme a Figura 2.12. Repita o procedimento para o outro palito. Use cola quente para fixar a tampinha e o palito.

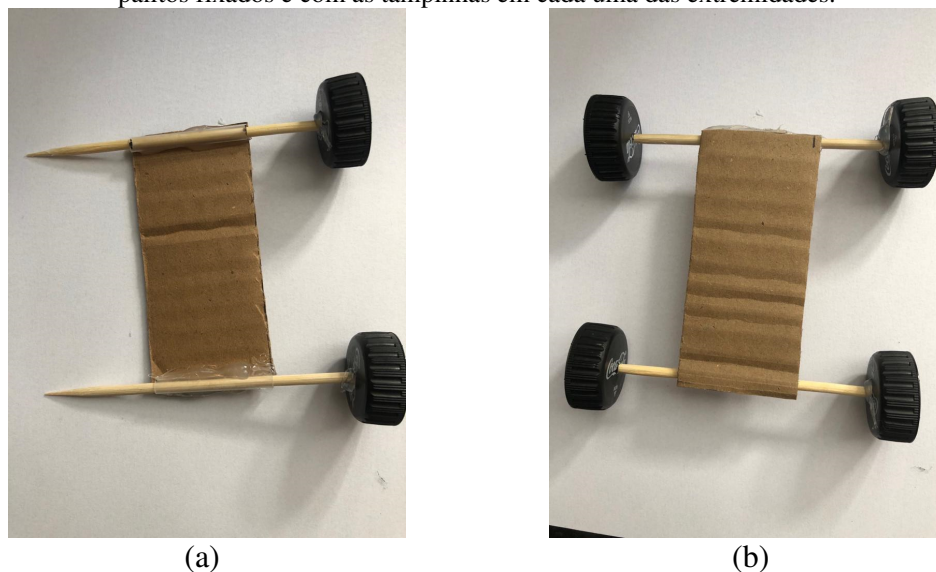
Figura 2.12- Imagem fotográfica de como fixar a tampinha na extremidade do palito de churrasco.



Fonte: Arquivos da autora T. L. A. Astrath.

7º Passo – Com o canudo seco e fixado na base, passe o palito de churrasco (com uma tampinha já encaixada em uma das extremidades) pelo canudo, conforme a Figura 2.13 (a). Em seguida, fixe a outra tampinha na extremidade livre do palito, como mostra a Figura 2.13 (b).

Figura 2.13 - Imagem fotográfica (a) passando o palito de churrasco pelo canudo da base e (b) com os dois palitos fixados e com as tampinhas em cada uma das extremidades.



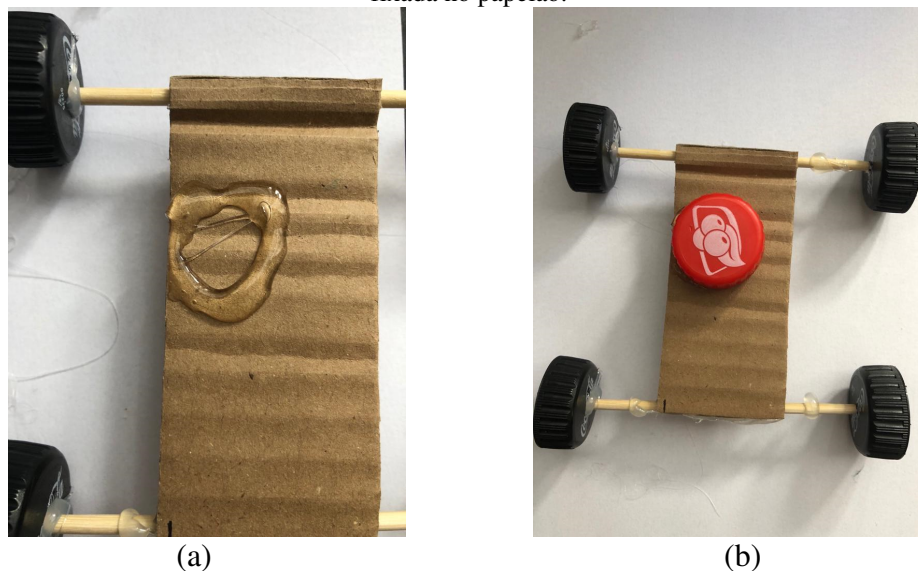
(a)

(b)

Fonte: Arquivos da autora T. L. A. Astrath.

8º Passo – Na parte central da base de papelão, passa uma fita ou use cola quente, Figura 2.14 (a), e fixe a tampinha, Figura 2.14 (b).

Figura 2.14 - Imagem fotográfica (a) indicando onde posicionar a cola quente na base e com a (b) tampinha fixada no papelão.



(a)

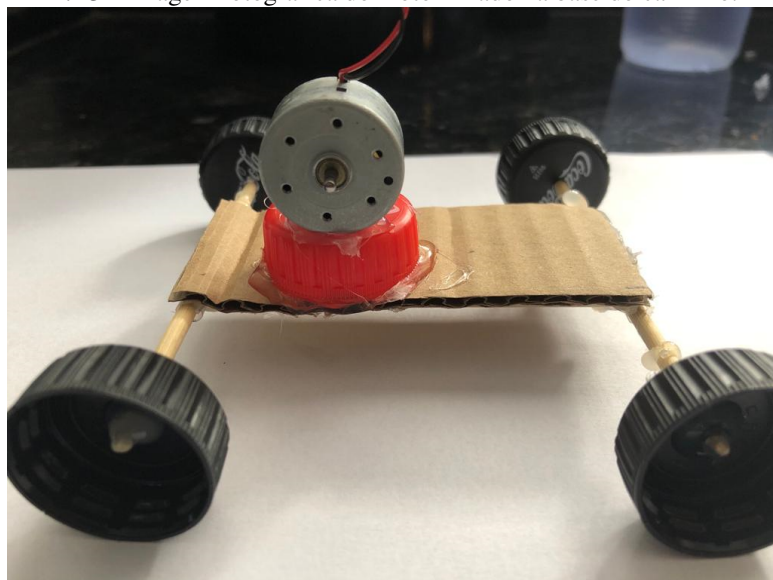
(b)

Fonte: Arquivos da autora T. L. A. Astrath.

9º Passo – Cole o motor em cima da tampinha que foi fixada no centro do papelão, conforme a Figura 2.15. Utilize cola quente.



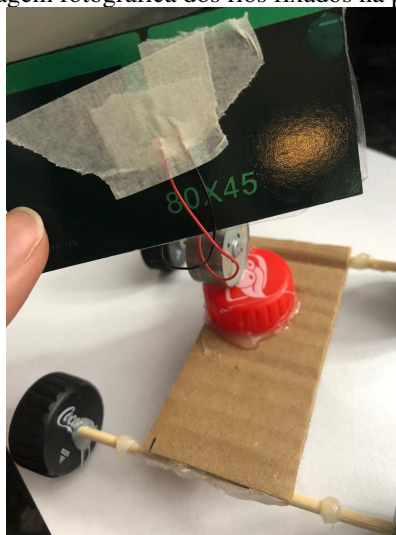
2.15 - Imagem fotográfica do motor fixado na base do carrinho.



Fonte: Arquivos da autora T. L. A. Astrath.

10º Passo – Solde ou fixe os fios dos terminais do motor na placa fotovoltaica, conforme a Figura 2.16. Se os fios nos terminais do motor não estiverem previamente fixos, será necessário fixá-los.

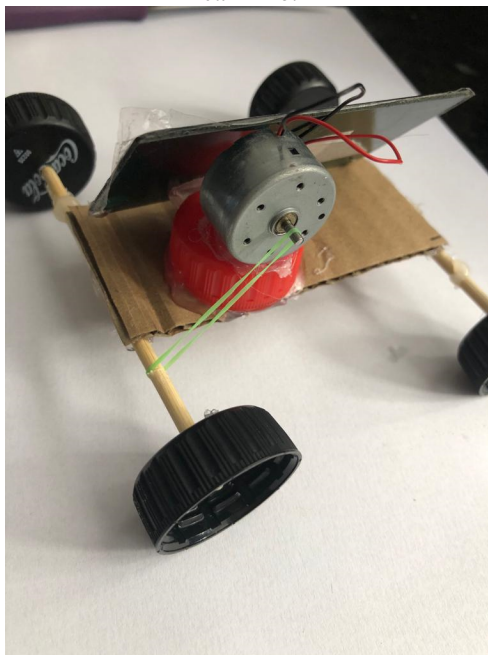
Figura 2.16 - Imagem fotográfica dos fios fixados na placa fotovoltaica.



Fonte: Arquivos da autora T. L. A. Astrath.

12º Passo – Coloque o elástico de silicone em um dos eixos (palito de churrasco), e no motor, como mostra a Figura 2.17.

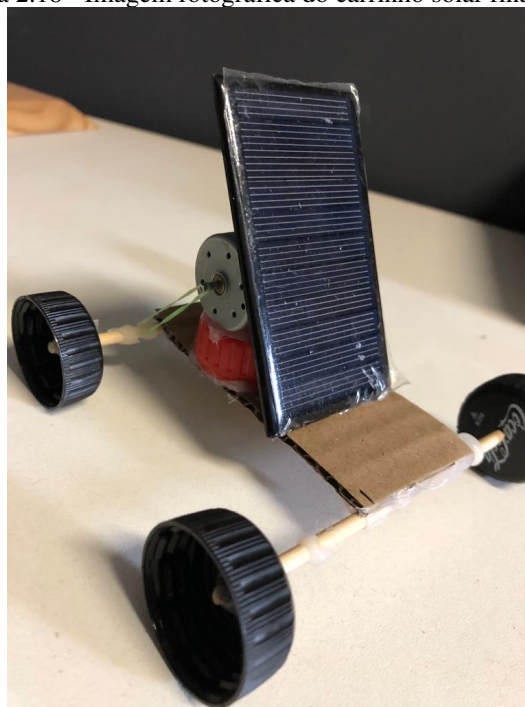
Figura 2.17 - Imagem fotográfica da posição do elástico de silicone, posicionado entre o motor e o eixo do carrinho.



Fonte: Arquivos da autora T. L. A. Astrath.

13º Passo – O carrinho agora está pronto, como mostra a Figura 2.18.

Figura 2.18 - Imagem fotográfica do carrinho solar finalizado.



Fonte: Arquivos da autora T. L. A. Astrath.

**Observação:** A posição do motor permite apoiar a placa fotovoltaica, possibilitando a regulação da inclinação da placa fotovoltaica.

Ressaltamos que essa atividade de construção de um carrinho movido a energia solar é um excelente organizador prévio, pois, além de conectar a teoria de eletromagnetismo a uma aplicação prática, ela ativa conhecimentos prévios sobre energia elétrica, circuitos e células fotovoltaicas, e ao mesmo tempo, a atividade introduz os conceitos de conversão de energia solar em energia elétrica, facilitando a compreensão dos conteúdos teóricos que serão discutidos posteriormente.

### Fechamento

A aula será finalizada com uma discussão geral sobre a atividade experimental e com o preenchimento, pelos trios, do questionário descrito no Quadro 2.4. No Apêndice I, esse questionário está disponível para impressão e aplicação.

Quadro 2.4 – Modelo do questionário com as informações da montagem experimental dos carrinhos movidos a energia solar, e comentários quanto a sua escolha de acordo com a tipologia de Zabala (Zabala, 1998).

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |                                                                                                                                                                                                                                                                                 |                                                                                      |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
|                                                                                                                                                                                                                    |  <p>Universidade Estadual de Maringá<br/>Centro de Ciências Exatas<br/>Departamento de Física<br/>Programa de Pós-Graduação do<br/>Mestrado Nacional Profissional em<br/>Ensino de Física</p> |  |
| <p align="center"><b>Questionário 3 (Disponível para aplicação no Apêndice I)</b></p>                                                                                                                                                                                                                |                                                                                                                                                                                                                                                                                 |                                                                                      |
| <p>1) Nome dado ao carrinho movido a energia solar:</p> <hr/> <hr/>                                                                                                                                                                                                                                  |                                                                                                                                                                                                                                                                                 |                                                                                      |
| <p>Observação: Aborda um conteúdo do tipo factual - a sua resposta é um dado específico ou uma informação direta que foi atribuída ao carrinho.</p>                                                                                                                                                  |                                                                                                                                                                                                                                                                                 |                                                                                      |
| <p>2) Quais materiais utilizados para a construção do carrinho movido a energia solar:</p> <hr/> <hr/>                                                                                                                                                                                               |                                                                                                                                                                                                                                                                                 |                                                                                      |
| <p>Observação: Aborda um conteúdo do tipo factual – a resposta exige a recordação de itens específicos, dados concretos sobre o projeto.</p>                                                                                                                                                         |                                                                                                                                                                                                                                                                                 |                                                                                      |
| <p>3) Antes de participar desse projeto, você já tinha conhecimento sobre energia solar?</p> <hr/> <hr/>                                                                                                                                                                                             |                                                                                                                                                                                                                                                                                 |                                                                                      |
| <p>Observação: Aborda um conteúdo do tipo atitudinal – esta questão busca uma autoavaliação do conhecimento do(a) aluno(a), o que é uma atitude reflexiva sobre sua própria aprendizagem. Embora não seja um “conteúdo” em si, a resposta revela um posicionamento sobre o seu ponto de partida.</p> |                                                                                                                                                                                                                                                                                 |                                                                                      |
| <p>4) Você já tinha alguma experiência anterior com atividades de construção ou atividades práticas? Se sim, o que?</p>                                                                                                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                 |                                                                                      |

---

Observação: Aborda um conteúdo do tipo atitudinal (avaliação do conhecimento prévio) e factual (se a resposta for o que fez) - semelhante à questão 3, busca uma autoavaliação e reflexão sobre experiências prévias. O “se sim, o que?” pode levar a uma resposta factual sobre projetos anteriores.

5) Qual é a importância, na sua opinião, da energia solar como fonte de energia renovável?

---

Observação: Aborda um conteúdo do tipo atitudinal e conceitual – a questão exige que o(a) aluno(a) formule uma opinião baseada na compreensão de conceitos (energia solar, “renovabilidade”, importância). A “opinião” aponta para uma atitude de valorização, mas a resposta deve ser embasada em conceitos.

6) Quais foram os maiores desafios que você encontrou durante a construção?

---

Observação: Aborda um conteúdo do tipo atitudinal e procedimental (reflexão sobre) – esta questão leva o(a) aluno(a) a refletir sobre as dificuldades do procedimento de construção. A resposta reflete uma atitude de autoanálise e identificação de problemas.

7) Quais foram as partes mais interessantes ou divertidas da atividade?

---

Observação: Aborda um conteúdo do tipo atitudinal – a resposta expressa uma preferência pessoal, um sentimento ou valor atribuído a partes da atividade, o que se enquadra perfeitamente na categoria de atitudes (engajamento, prazer na aprendizagem).

8) Você acredita que a atividade de construir um carrinho movido a energia solar ajudou você a entender melhor o funcionamento da energia solar?

---

Observação: Aborda um conteúdo do tipo atitudinal (avaliação da aprendizagem) – esta é uma questão que pede uma autoavaliação da aprendizagem, ou seja, uma atitude de reflexão sobre o próprio processo de entendimento.

9) Como a energia solar é convertida em energia para movimentar o carrinho?

---

---

Observação: Aborda um conteúdo do tipo conceitual e procedimental – esta questão exige a explicação de um processo, uma sequência de transformações de energia. O(A) aluno(a) deve demonstrar compreensão dos conceitos envolvidos (conversão de energia) e como eles relacionam em um procedimento (o funcionamento do sistema).



10) Essa experiência prática mudou a forma como você entende a importância da energia solar?

Observação: Aborda um conteúdo do tipo atitudinal – a questão explora a mudança de percepção e valor do(a) aluno(a) sobre a energia solar após a experiência prática. Ela investiga a transformação de uma atitude ou aprofundamento de uma crença.

Fonte: Os autores.

### **Sugestões de Observações e Avaliação:**

Ao final da Aula 3, é possível, por meio dos referenciais teóricos adotados para elaboração, implementação e análise do PE, observar e avaliar os seguintes aspectos:

#### **1. Segundo a tipologia de Zabala:**

- Conteúdos Conceituais: Capacidade de compreender e aplicar conceitos básicos relacionados ao Eletromagnetismo e suas aplicações em circuitos elétricos simples, além de conceitos matemáticos pertinentes;
- Conteúdos Factuais: Reconhecimento das características e especificações dos componentes elétrico (como motor, placa fotovoltaica, etc.) e a compreensão de que a intensidade da luz solar afeta diretamente o desempenho do carrinho;
- Conteúdos Procedimentais: Aplicação de conceitos físicos e matemáticos na construção prática do carrinho, demonstrando habilidade de montagem, capacidade de realizar ajustes, na adequação dos materiais, planejamento das etapas e organização do tempo;
- Conteúdos Atitudinais: Demonstração de responsabilidade em relação à segurança no manuseio de ferramentas e materiais, cumprimento dos prazos estabelecidos e uso adequado e consciente dos materiais;

#### **2. De acordo com a TAS (Ausubel):**

A TAS será observada na participação ativa dos(as) alunos(as) no processo de ensino-aprendizagem, evidenciada pela relação dos conhecimentos já existentes (energia solar, circuitos elétricos, etc.) para resolver a atividade proposta e, ao mesmo tempo, adquirir novos conhecimentos (práticos e teóricos). Isso se manifesta também na mediação eficaz do professor, no engajamento e na colaboração entre os grupos;

#### **3. De acordo com metodologia STEAM:**

A metodologia STEAM será observada na participação ativa do(a) aluno(a), desenvolvendo criatividade, autonomia, trabalho em grupo, e na integração de diversas áreas do conhecimento por meio da atividade prática de construção do carrinho movido a energia solar. Por exemplo:

- **Ciência:** Compreensão dos princípios científicos (como a conversão de energia solar em energia elétrica e dessa em energia mecânica).
- **Tecnologia:** Uso e manipulação de componentes como placas fotovoltaicas e motores elétricos;
- **Engenharia:** Planejamento, teste e revisão do carrinho para otimizar seu desempenho.
- **Arte:** No *design* e na estética do carrinho, incentivando a originalidade e a expressão visual.
- **Matemática:** Aplicação de cálculos, medidas e proporções durante a montagem e ajustes do carrinho.

## AULA 4

### Efeito fotoelétrico

**Duração:** 50 minutos.

**Objetivo(s):** Compreender o efeito fotoelétrico de forma prática e concreta por meio de uma atividade experimental.

**Organização da Turma:** Os(As) alunos(as) serão organizados em trios.

**Recursos:** Eletroscópio (construído com: papel alumínio, clipe, garrafa PET de 200 ml, com tampa e um furo no centro da tampa, fita adesiva); papel celofane de cores variadas, como: azul, vermelho, amarelo, rosa; lanterna do celular; balão de ar; pedaço de lã e papel; régua; computador.

**Metodologia:**

1º Momento: Entregue a cada trio um eletroscópio, folhas de papel celofane de cores variadas e materiais para a eletrização. Peça que eles relembrem os processos de eletrização utilizando esses materiais. Caso não saibam o(a) docente os conduzirá.

2º Momento: Questione aos(às) alunos(as) o que aconteceria se a luz da lanterna do celular incidisse no eletroscópio. Peça que anotem suas hipóteses em uma folha e, em seguida, realizem o procedimento, registrando o que observaram.

3º Momento: Introduza o conceito do Efeito Fotoelétrico, conectando-o às observações que os(as) alunos(as) fizeram.

**Avaliação:**

A avaliação será realizada por meio do relato dos(as) alunos(as), da discussão coletiva e da atividade experimental com o eletroscópio de folhas.

**Desenvolvimento da Aula 4**

**❖ Relembrando os processos de eletrização.**

**Duração: 15 minutos.**

Nesta aula os(as) alunos(as) receberão um eletroscópio de folhas, construído pelo(a) professor(a) com materiais de fácil acesso (caso haja tempo, é interessante o(a) aluno(a) montar o próprio eletroscópio). A primeira parte da aula propõe relembrar os processos de eletrização estudados em Eletrostática. Em seguida, por meio da lanterna do celular e de papel celofane de várias cores, introduza o efeito fotoelétrico.

Essa atividade é um excelente organizador prévio, pois permite aos(as) alunos(as) explorarem conceitos fundamentais da eletrização, o conceito de carga elétrica. Isso os prepara para, em seguida, observar o efeito fotoelétrico e compreender o comportamento da luz e sua interação com a matéria. Assim, um entendimento gradual e lógico é construído, facilitando a assimilação de conceitos posteriores, como o efeito fotovoltaico e o funcionamento das células fotovoltaicas.

No Quadro 2.5 apresentamos um texto auxiliar ao docente para contextualização sobre os eletroscópios. Esse texto pode ser utilizado como um organizador prévio, pois relembra o que é um eletroscópio, apresenta um breve histórico, e uma pequena transposição didática, que cita sua aplicação na medicina e em pesquisas de Física, como a detecção dos raios cósmicos. Esse conteúdo, disponibilizado no Quadro 2.5, permite que os(as) professores(as) façam cópias para os(as) alunos(as). Assim, o material se mantém no contexto principal do PE, sem repetições ou apêndices, facilitando o uso pelo(a) professor(a)."

Quadro 2.5 – Texto 2.2 – texto auxiliar para lembrar ou apresentar um rápido histórico sobre o osciloscópio e sua aplicação no dia a dia.

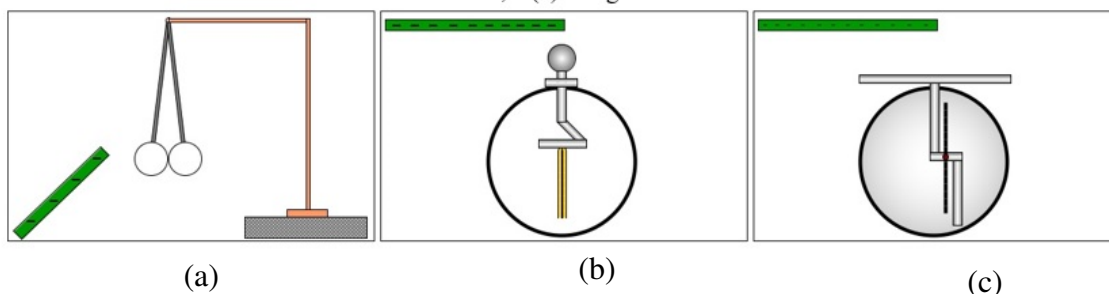
### Texto 2.2 - Eletroscópio contextualização

T. L. A. Astrath e H. Mukai

O eletroscópio é um instrumento de percepção de cargas elétricas em um material condutor. O primeiro eletroscópio, chamado “versório” (ou *versorium*), assemelhava-se a uma bússola - consistia de uma agulha montada num pivô. Ele foi inventado pelo médico britânico William Gilbert e descrito em seu livro “de magnete” em 1600 (Medeiros, 2002).

A Figura 1 apresenta eletroscópios que podem ser testados no simulador disponível em: <http://mw.concord.org/modeler1.3/mirror/electrostatics/electroscope.html>. O pêndulo eletrostático (Figura 1 (a)) é constituído de duas bolas leves não condutoras, penduradas em um fio de nylon, e foi proposto por John Canton em 1754. Neste trabalho, os(as) alunos(as) receberão um eletroscópio de folhas (Figura 2 (b)), mas com folhas de alumínio. Esse tipo de eletroscópio foi proposto em 1787 pelo físico britânico Abraham Bennet, que utilizava folhas de ouro. E na Figura 1 (c) o eletroscópio de agulha (*versorium*).

Figura 1 – Cópia de tela, do simulador de funcionamento dos eletroscópios, (a) tipo pêndulo, (b) de folhas de ouro, e (c) de agulha.

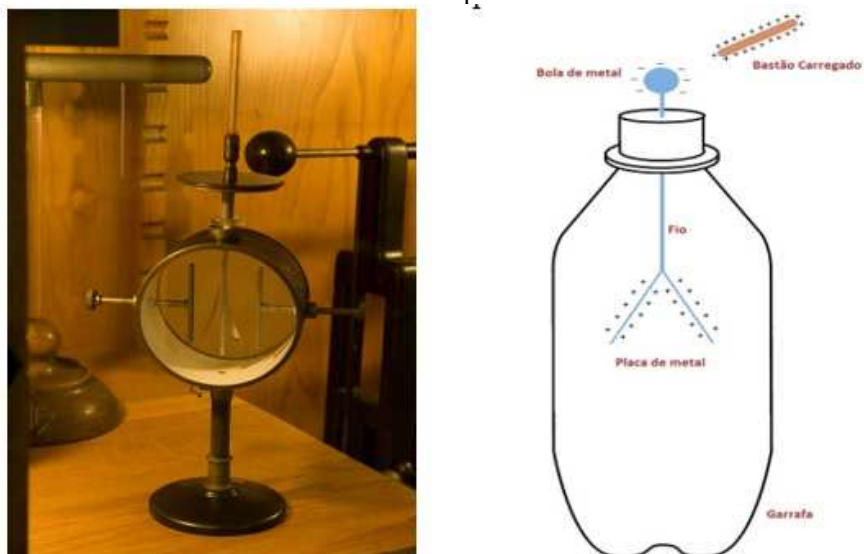


Fonte: <http://mw.concord.org/modeler1.3/mirror/electrostatics/electroscope.html>. Acesso em: 15 jun 2022.

Na Figura 2 (a) apresenta-se uma imagem do eletroscópio de folha de ouro. Já em (b) a ilustração mostra o que acontece quando um objeto carregado eletricamente é aproximado da extremidade de metal fora do frasco: as folhas (lâminas de metal) se repelem e se separam, indicando que foram carregadas com cargas de mesmo sinal.

No experimento da aula é proposto um semelhante a esse, mas usando materiais diferentes, no lugar da folha de ouro, utiliza-se papel alumínio, e a haste de metal é um clipe ou um pedaço de fio de cobre. Mas o princípio físico é o mesmo.

Figura 2 – Imagem fotográfica de um eletroscópio de folhas de ouro; (b) ilustração do funcionamento de um eletroscópio.



Fonte: <https://www.wikiwand.com/pt/Eletrosc%C3%B3pio> . Acesso em: 15 jun 2022.

**Curiosidades:** O dosímetro de fibra de quartzo é um tipo de eletroscópio. Nele, a repulsão eletrostática desvia a fibra de quartzo. Ao ser exposto a uma radiação, ocorre ionização na câmara que o envolve, o que diminui a carga no eletrodo proporcionalmente ao tempo de exposição. Essa deflexão é projetada por uma fonte de luz, através de uma lente objetiva, em uma escala calibrada e lida em um microscópio.

Outra aplicação de eletroscópios (especificamente o Eletroscópio de Wulf) foi para a descoberta de raios cósmicos. Proposto por Theodor Wulf em 1910, os raios cósmicos foram detectados pelo cientista Viktor Franz Hess em 1911 utilizando esse mesmo eletroscópio (Bustamante, 2013).

#### REFERÊNCIAS:

Medeiros, A. As Origens Históricas do Eletroscópio, **Rev. Bras. Ensino Fís.** 24 (3), Set 2002, Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0102-47442002000300013>. Acesso em: 15 jun 2022.

BUSTAMANTE, M. C. A descoberta dos raios cósmicos ou o problema da ionização do ar atmosférico. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 35, n.2, 2603, 2013. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/S1806-11172013000200030>>. Acesso em: 26 jun 2022.

Fonte: As autoras.

### ATIVIDADE EXPERIMENTAL - Eletroscópio de folhas

O eletroscópio é um aparato experimental simples, frequentemente utilizado pelos(as) docentes devido à sua praticidade e à facilidade com que os(as) alunos(as) conseguem visualizar o comportamento das cargas elétricas.

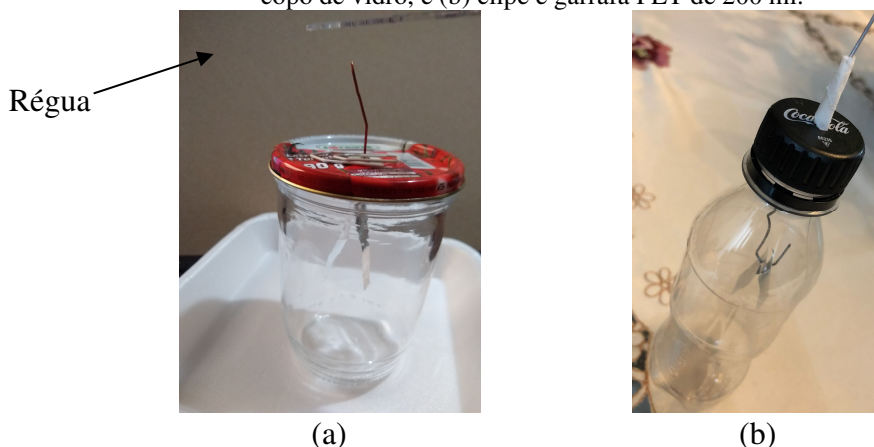
#### Materiais para trabalhar com o eletroscópio de folhas:

- Eletroscópio (já montado com materiais de fácil acesso): papel alumínio; clipe ou pedaço de fio de cobre; garrafa PET com tampa ou um frasco de vidro com tampa, e ambos com um furo no centro da tampa; fita adesiva.
- Régua.
- Balão de ar.
- Papel celofane nas cores rosa, azul e verde. Se houver o vermelho, pode-se usá-lo para compor a cor lilás com o papel de cor azul).
- Pedaco de lã, papel ou outro material para atritar como o próprio cabelo.

Para esta atividade, cada trio de alunos(as) receberá um eletroscópio pronto (exemplos estão apresentado na Figura 2.19, (a) utilizando fio de cobre e frasco de vidro e (b) utilizando garrafa PET e clipe).

Os(As) alunos(as) deverão atritar o material plástico (régua, um balão de ar ou um canudo) no papel ou em um pedaço de lã ou no próprio cabelo. Para ambos os casos, seja com fio de cobre ou com clipe, é importante que o ponto de contato das lâminas com o metal, e também a parte superior desses componentes estejam raspadas, a fim de garantir uma boa condução.

Figura 2.19 - Imagem fotográfica de um eletroscópio de folhas de papel alumínio usando (a) um fio de cobre e copo de vidro, e (b) clipe e garrafa PET de 200 ml.



Fonte: (a) H. Mukai, 2022. (b) T. L. A. Astrath, 2022.

Para começar, relembrar o comportamento das cargas elétricas e os tipos de eletrização: por contato e por indução.

Ao esfregar a régua ou balão no cabelo (ou em lã), está sendo realizado uma eletrização por atrito, que é um tipo de eletrização por contato. Nesse processo ocorre a transferência de elétrons entre os materiais.

Em seguida, ao aproximar a régua/balão já eletrizada(o) perto do fio de cobre (ou do clipe) na parte superior do eletroscópio, ocorrerá a eletrização por indução. Nesse caso, as duas lâminas ficarão com cargas de mesmo sinal e, por isso, irão se repelir.

#### ❖ **Incidindo a Luz do Celular, Simulador e Efeito Fotoelétrico.**

**Duração:** 35 minutos.

O próximo passo é substituir a régua/balão pela luz da lanterna do celular (que utiliza lâmpadas de *LED*). Os(As) alunos(as) devem observar o que acontece com as lâminas de alumínio do eletroscópio e anotar suas observações

É importante lembrar que a lâmpada do celular é um *LED* (acrônimo de *Light-emitting Diode* – Diodo emissor de luz). O *LED*, ou seja, o diodo que o constitui, é feito de um material semicondutor. Mas o que é um material semicondutor? Veremos isso na próxima aula. Por enquanto, vamos nos concentrar em entender o que ocorre ao incidir a luz no eletroscópio.

A luz emitida pela lâmpada do celular é uma luz branca, o que significa que ela possui muitos comprimentos de onda. Questionar aos(as) alunos(as): “Vocês se lembram o que é o comprimento de onda?” (Caso não se lembrem, utilize o Texto complementar – Quadro 2.6). Observando que, neste caso, o texto entrará como um organizador prévio.

Quadro 2.6 - Texto Complementar – Organizador Prévio – para auxiliar a lembrar sobre o que é o comprimento de onda.

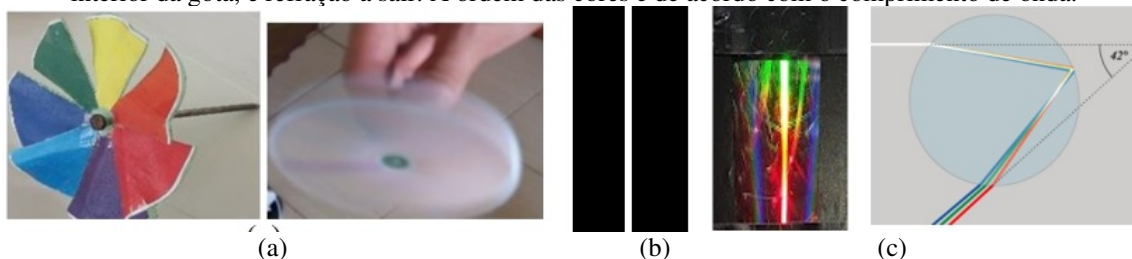
**Texto Complementar: Comprimento de Onda**

T. L. A. Astrath e H. Mukai

Para relembrarmos o que é um comprimento de onda, podemos construir um disco de Newton. No produto educacional de Brito (2019), há uma proposta para confeccionar esse disco utilizando garrafas PET (Figura 1 (a)) e observar que a composição de cores gera a cor branca. Caso ainda tenham dúvidas, outra opção é construir um espectroscópio com uma caixa de creme dental e um pedaço de cd, e observar a decomposição da luz branca (Catelli e Pezzini, 2002). Posicione o CD com uma inclinação dentro da caixa de pasta dental para facilitar a observação. Fixe-o com fita isolante. O lado que deve ser apontado para a luz é o indicado na Figura 1 (b). Outro exemplo comum de decomposição da luz branca é o arco íris, que nada mais é do que a decomposição da luz solar ao passar pelas gotas de chuva, abordado na referência Brito (2019).

Figura 1 – Cópia da imagem: (a) do disco de Newton confeccionado com a hélice feita de garrafa PET, uma proposta de alunos do Colégio de Ibaiti – PR em 2019, no contexto da aplicação do PE do Prof. Pedro Paulo de Brito (Brito, 2019). (b) Espectroscópio: lado que deve ser voltado à luz e o resultado no pedaço do cd; (c)

Representação da trajetória da luz em uma gota de chuva: a luz sofre refração ao entrar, reflexão total no interior da gota, e refração a sair. A ordem das cores é de acordo com o comprimento de onda.



Fontes: (a) Brito (2019) e (b) <http://eeeiolimpiocatao.blogspot.com/2017/12/construindo-um-espectroscopio.html> e (c) Wikipedia Arco Íris.

Esses experimentos simples permitem relembrar as definições de comprimento de onda e espectro da luz.

**REFERÊNCIAS:**

BRITO, P. P. **Uma abordagem experimental com materiais de baixo custo no ensino da Óptica Geométrica**. Dissertação, Programa de Pós-Graduação do Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física, Departamento de Física, Universidade Estadual de Maringá, Maringá, PR, 2019. Disponível em: <<https://www1.fisica.org.br/mnpef/sites/default/files/dissertacaoarquivo/p20-dissertacao-pedropaulo.pdf>>. Acesso em: 30 jul 2022.

CATELLI, F., PEZZINI, S. Observando espectros luminosos - Espectroscópio portátil. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 21, n. especial: p. 339-344. 2004. Disponível em: <<https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/10023/14560>>. Acesso em: 26 mai 2022.

Fonte: As autoras.



## Retornando ao Experimento do ELETROSCÓPIO:

Posteriormente, depois de relembrar (caso tenha sido necessário) os conceitos de comprimento de onda e as cores a elas relacionadas, solicite aos(as) alunos(as) que variem o comprimento de onda da luz incidida sobre o eletroscópio. Para isso, que usem a luz lanterna do celular encoberta com papel celofane de cores diferentes filtrando as cores. Por fim, que façam o teste com o papel de cor azul, ou a sobreposição do azul com o vermelho ou o roxo.

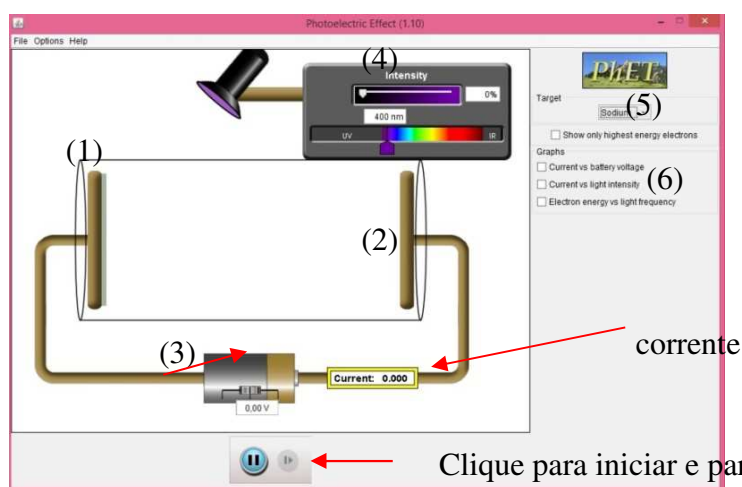
Ao final, os(as) alunos(as) anotarão o que perceberam. Mas, o que eles deveriam observar? Para a explicação detalhada do que acontece, use o simulador do PhET, que será descrito a seguir.

### Uso do simulador<sup>4</sup>: Efeito fotoelétrico

O simulador “Efeito Fotoelétrico” está disponível para *download* no site: [https://phet.colorado.edu/pt\\_BR/simulations/photoelectric](https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulations/photoelectric). A Figura 2.20 mostra a página inicial do simulador.

Ele é composto por duas placas - (1) cátodo e (2) ânodo - que podem ou não estar submetidas a uma tensão. A fonte de tensão é representada por uma bateria, e a tensão (ddp) máxima é de 8 V (para aumentar a tensão, basta mover o cursor (3) para a direita).

Figura 2.20 – Cópia de tela do simulador PhET “Efeito Fotoelétrico”. Sendo (1) placa de diferentes materiais– alvo dos fótons (cátodo – cede elétrons) e (2) placa de metal receptora de elétrons (ânodo); (3) cursor para a variação da tensão; (4) cursor para variação da intensidade da luz incidente, (5) local para mudar o material da placa alvo, e (6) local para escolher tipos de gráficos.



Fonte:

[https://phet.colorado.edu/sims/cheerpi/photoelectric/latest/photoelectric.html?simulation=photoelectric&locale=pt\\_BR](https://phet.colorado.edu/sims/cheerpi/photoelectric/latest/photoelectric.html?simulation=photoelectric&locale=pt_BR). Acesso em: 20 jun 2022.

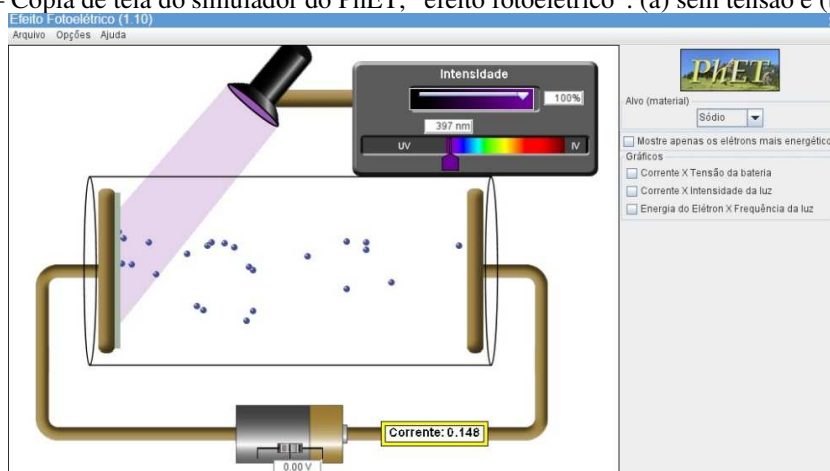
<sup>4</sup> Outro simulador de efeito fotoelétrico, com mais materiais para analisar, está disponível em [https://www.vascak.cz/data/android/physicsatschool/template.php?s=opt\\_fotoefekt&l=pt](https://www.vascak.cz/data/android/physicsatschool/template.php?s=opt_fotoefekt&l=pt).

Para aumentar a intensidade da luz, mova o cursor (4) para a direita. A luz incide sobre a placa do lado esquerdo (alvo), cujo material pode ser selecionado no lado direito da tela (5). Os materiais disponíveis são: sódio, zinco, cobre, platina, cálcio e magnésio. É possível visualizar gráficos, (6) bastando selecioná-lo no lado direito.

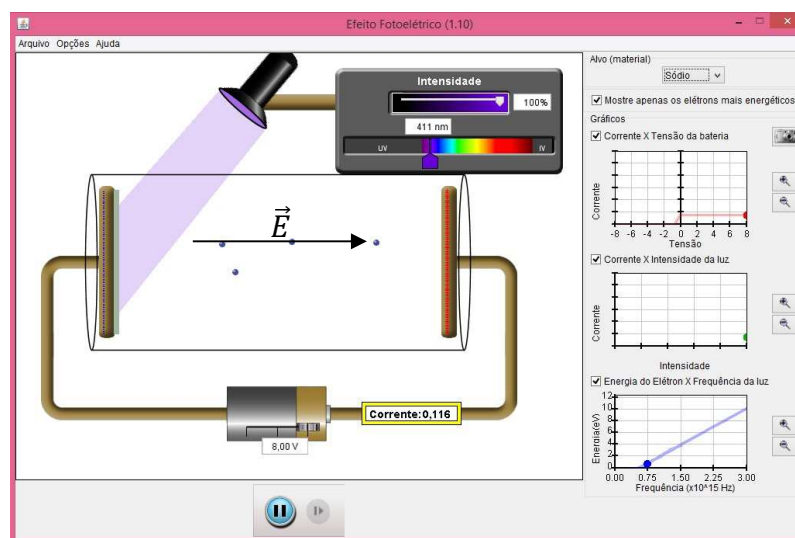
É possível observar (Figura 2.21 (a)) que, mesmo sem aplicação de tensão, ao incidir a luz sobre as placas - com intensidade máxima e mesmo comprimento de onda - os elétrons são arrancados da placa (fenômeno do efeito fotoelétrico).

Se, nesse momento, uma tensão for aplicada (Figura 2.21(b)) a mobilidade dos elétrons livres aumenta devido à criação de um campo elétrico. (Este conceito será aprofundado nos próximos encontro, nas Aulas 6 e 7).

Figura 2.21– Cópia de tela do simulador do PhET, “efeito fotoelétrico”. (a) sem tensão e (b) com tensão.



(a)



(b)

Fonte:

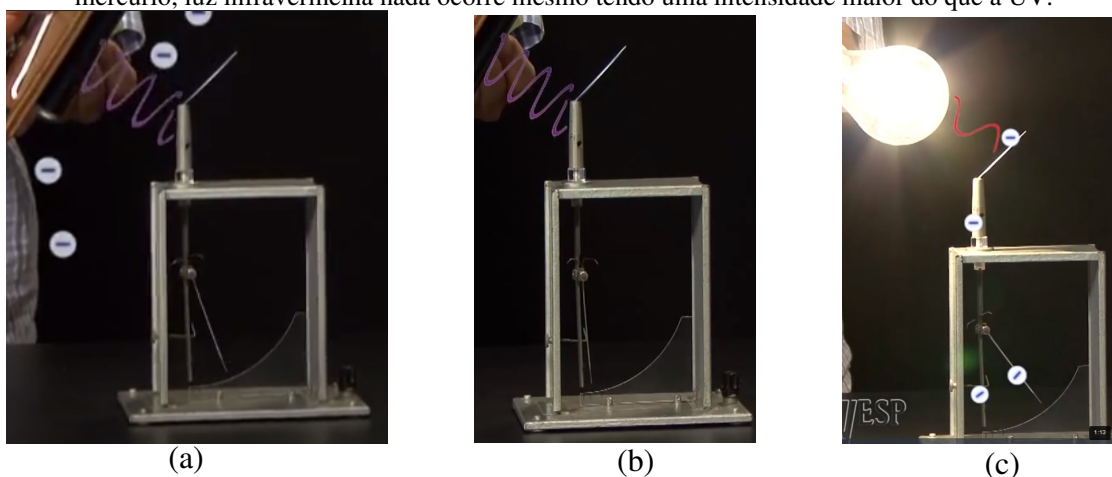
[https://phet.colorado.edu/sims/cheerpj/photoelectric/latest/photoelectric.html?simulation=photoelectric&locale=pt\\_BR](https://phet.colorado.edu/sims/cheerpj/photoelectric/latest/photoelectric.html?simulation=photoelectric&locale=pt_BR) Acesso em: 20 jun 2022.

A intensidade da corrente gerada pela mobilidade dos elétrons aumenta no circuito após serem captados pelo cátodo. Neste simulador é possível inverter o sentido da polarização do campo elétrico, simplesmente mudando o cursor para a esquerda da bateria para a esquerda.

Portanto, pelo simulador foi possível observar o que acontece quando se incide luz sobre uma superfície metálica, mas ele ainda não respondeu à pergunta: “o que espera ver no eletroscópio?” Para responde-la a sugestão é mostrar o vídeo disponível no site <https://eaulas.usp.br/portal/video.action?idItem=6813&idVideoVersion=9836>, apresentado pelo Físico Claudio Furukawa em que é possível observar o que ocorre no eletroscópio ao ser incidido com uma luz ultravioleta (resultado para o(a) docente explicar aos(as) alunos(as)).

Primeiramente as cargas são transferidas da régua para o eletroscópio. Como quem se move são os elétrons, esse fica carregado negativamente, conforme ilustrado na Figura 2.22 (a). Ao incidir uma luz com lâmpada de luz UV, **observa-se que as lâminas se fecham**, conforme ilustrado na Figura 2.22 (b). O motivo é que os fótons incidentes na lâmina retiram os elétrons, e essa fica descarregada. No caso de incidir uma lâmpada de luz com maior intensidade, como uma lâmpada de mercúrio, nada ocorre, Figura 2.22 (c).

Figura 2.22 – Cópia de tela do vídeo, incidindo a luz de uma lâmpada UV. Ilustrado de forma pictórica a onda e as cargas negativas, e a energia dos fótons retira os elétrons (a) e o eletroscópio descarrega mostrado pela aproximação das lâminas do eletroscópio em (b). Em (c) ilustra mostrando que com uma lâmpada de vapor de mercúrio, luz infravermelha nada ocorre mesmo tendo uma intensidade maior do que a UV.



Fonte: <https://eaulas.usp.br/portal/video.action?idItem=6813&idVideoVersion=9836>. Acesso em: 30 jan 2023.

Para observar se o fóton da luz possui energia suficiente para retirar os elétrons sem usar o simulador, o procedimento inicial, conforme mostrado no vídeo e ilustrado na Figura 2.23. Primeiro tenha o eletroscópio carregado, como em (a). Em seguida, incida luz com comprimento de ondas diferentes. No contexto deste trabalho, ao utilizar a luz da lanterna do celular envolvida com papel celofane azul, conforme as Figura 2.23 (b), (c) e (d), os(as)

alunos(as) devem ter verificado que com o papel celofane azul, o eletroscópio descarrega, observando a aproximação das lâminas.

Já nas Figuras 2.23 (e), (f), (g) e (h) verificaram que o eletroscópio também fica descarregado quando incidiram a luz da lanterna do celular envolvido com papel celofane rosa.

Figura 2.23 – Imagem fotográfica de um eletroscópio de folhas (a) carregado e em (b), (c) e (d) o eletroscópio descarrega mostrado pela aproximação das lâminas devido a incidência da luz da lanterna do celular envolvido com papel celofane azul. Em (g), (h), (i) e (j) temos um eletroscópio descarregando, pela aproximação das lâminas, devido a incidência da luz da lanterna do celular envolvido com papel celofane rosa.



(a)



(b)



(c)



(d)



(e)



(f)



(g)



(h)

Fonte: Arquivo da autora T. L. A. Astrath, 2022.

Dessa forma, é possível comprovar que quanto menor seu comprimento de onda  $e$ , consequentemente, maior a frequência da luz incidente, maior será a energia do fóton  $e$ , assim, maior a energia transferida aos elétrons, resultando em maior a energia cinética. No nosso caso, o efeito mais pronunciado foi quando os(as) alunos(as) utilizaram o papel celofane azul,

pois a luz azul possui maior frequência em comparação a luz rosa, fornecendo mais energia para os elétrons do material.

Fica como sugestão caso os(as) alunos(as) tenham a composição do papel celofane azul com o vermelho e ver se a luz lilás terá um efeito maior do que a luz azul.

Portanto, a resposta à questão do que devem observar, é a aproximação das lâminas de papel alumínio, indicando que o eletroscópio descarregou.

Para auxiliar na compreensão do que ocorreu no simulador e no eletroscópio, o Quadro 2.7 apresenta um texto fundamental, útil tanto para os(as) alunos(as) quanto para o(a) próprio(a) docente. Deslocamos o texto para a próxima página para que possa ser feito cópia do mesmo caso ache conveniente utilizar.

Quadro 2.7 – Texto 2.3 explicativo sobre o efeito fotoelétrico a ser entregue aos(às) alunos(as) ou uso do(a) próprio docente.

### TEXTO 2.3 - EFEITO FOTOELÉTRICO

T. L. A. Astrath e H. Mukai

O efeito fotoelétrico é um fenômeno observado em 1887 por Heinrich Hertz durante suas investigações sobre a natureza eletromagnética da luz. Em 1903, Philipp Lenard demonstrou que a energia do elétron emitido era independente da intensidade da luz que incidia na placa. No ano seguinte, Schweidler mostrou que essa energia era proporcional à frequência da luz incidente.

Foi Albert Einstein, em 1905, quem forneceu a explicação<sup>5</sup> para o que realmente ocorria nesse processo. O fenômeno recebe esse nome devido elétrons serem “expulsos” (emitidos) de uma placa metálica quando esta é submetida a uma radiação eletromagnética com um determinado comprimento de onda, geralmente associado a altas frequências.

Einstein considerou o processo de quantização de energia ( $E$ ), em que o fóton (partícula da onda eletromagnética) ao incidir sobre a placa metálica, é absorvido um elétron, cedendo-lhe energia dada por

$$E = hf, \quad (1)$$

em que  $h$  é a constante de Planck (cujo valor é  $6,62 \times 10^{-34} Js$ ), e  $f$  é a frequência da onda. Essa equação foi proposta em 1900 por Max Planck com a hipótese de que “Um elétron, oscilando com frequência  $f$ , emite (ou absorve) uma onda eletromagnética de igual frequência, porém a energia não é emitida (ou absorvida) continuamente” (Ramalho *et al.*, 1977). Essa hipótese foi fundamentada para a radiação eletromagnética emitida pela superfície de um corpo negro. Ou seja, o processo ocorre por pequenos pacotes de onda, denominado de *quantum* (ou *quanta* no plural).

Como observado no simulador, mesmo com a incidência da luz em intensidade máxima, na parte à direita do espectro eletromagnético (correspondente a maiores comprimentos de onda e menores frequências) não há emissão de elétrons. No entanto, mais próximo ao Ultravioleta (UV), a emissão dos elétrons é observada. Isso acontece porque as partículas da onda eletromagnética, os fótons, carregam essa energia em forma de pacotes, ou seja, de forma quantizada, os pequenos pacotes definidos por Planck. Cada fóton transmite sua

<sup>5</sup> A explicação de Einstein o levou a ganhar o Prêmio Nobel, introduzindo a hipótese dos fótons e a relação entre a sua energia e a frequência.

energia em múltiplos inteiros a um elétron, o que significa que o elétron absorve toda a energia do fóton na proporção 1:1.

Lembrando da teoria ondulatória, a frequência ( $f$ , em Hertz - Hz) está relacionada com o comprimento de onda ( $\lambda$ ) da seguinte forma

$$\lambda = \frac{v}{f}, \quad (2)$$

Nesse caso da radiação eletromagnética  $v = c = 3 \times 10^8 \text{ m/s}$ , é a velocidade da luz. Portanto, quanto maior a frequência ( $f$ ), menor o comprimento de onda ( $\lambda$ ). É por isso que, à esquerda no simulador na barra que aparece os comprimentos de onda da radiação eletromagnética da luz incidente, os elétrons são emitidos da placa (a quantidade de elétrons ejetados depende do material). Já à direita, onde há maior comprimento de onda e baixa frequência, os fótons não carregam energia suficiente para arrancar elétrons da placa.

No caso do eletroscópio, quando ele está carregado negativamente, possui um excesso de elétrons. Ao incidir a luz azul, de menor comprimento de onda e, conseqüentemente maior energia dos fótons para superar a função trabalho (um “pedágio” (energia mínima) que os elétrons precisam pagar para sair do metal) do metal das lâminas. Isso faz com que os elétrons recebam energia suficiente para serem arrancados da superfície metálica do eletroscópio resultando na sua descarga. A perda desses elétrons faz com que as lâminas de alumínio, antes afastadas pela repulsão das cargas negativas, se aproximem, indicando a neutralização ou a redução da carga. Esse processo como visto depende do comprimento de onda da luz incidente. Desta forma, a observação da descarga com a luz azul ou a ultravioleta no eletroscópio (e não com a luz branca de maior intensidade) é uma demonstração direta e consistente do efeito fotoelétrico, enfatizando a energia dos fótons, determinada pelo comprimento de onda da luz, é o fator determinante para a ejeção de elétrons e a conseqüente descarga do aparelho.

#### REFERÊNCIAS:

HALLIDAY, D.; RESNICK, R.; WALKER, J. Fundamentos da Física: Ótica e Física Moderna. v. 4, 4. ed. Rio de Janeiro. LTC, 1995.

RAMALHO, F.; DOS SANTOS, J. I. C.; FERRARO, N. G.; SOARES, P. A. T. Os Fundamentos da Física 3: Eletricidade e Física Moderna. São Paulo: Editora Moderna, 1977.



**Finalização:** O(A) professor(a) fará o fechamento da aula com uma discussão coletiva sobre as atividades realizadas e, como forma de revisão de conteúdos, utilizará questões do ENEM sobre os conceitos discutidos. Uma sugestão está disponível a seguir.

**Questão 1: (ENEM/2020)** As células fotovoltaicas (placas semicondutoras compostas de silício) são os componentes principais dos painéis solares e são capazes de converter, com certa eficiência, parte da energia dos raios solares em energia elétrica. Essa conversão é causada pelo fenômeno físico denominado "efeito fotoelétrico", que pode ocorrer em uma variedade de materiais, incluindo metais e semicondutores.

Na superfície dos metais, a sequência de eventos que caracteriza esse efeito, de forma simplificada, é a

- A) absorção de fótons e a emissão de elétrons.
- B) absorção de elétrons e a emissão de fótons.
- C) emissão de fótons e a absorção de elétrons.
- D) absorção e a emissão de elétrons.
- E) absorção e a emissão de fótons.

Resposta: A.

Explicação (as autoras): O efeito fotoelétrico em um metal consiste na emissão de elétrons após a absorção de radiação eletromagnética (fótons).

Fonte: [https://www.deumfisico.com.br/2021/08/enem-2020-2-aplicacao-questaoresolvida\\_98.html](https://www.deumfisico.com.br/2021/08/enem-2020-2-aplicacao-questaoresolvida_98.html). Acesso em: 20 jul 2022.

### **Sugestões de Observações e Avaliação:**

Ao final da Aula 4, o professor pode usar os referenciais teóricos quanto a tipologia, TAS e metodologia STEAM para observar e avaliar os seguintes aspectos:

#### **1. Segundo a Tipologia de Zabala:**

- Conteúdos Conceituais: A capacidade dos(as) alunos(as) de compreenderem conceitos físicos do eletromagnetismo e eletrodinâmica, incluindo: carga elétrica, corrente, diferença de potencial, processos de eletrização; espectro visível da luz; efeito fotoelétrico (como uma introdução da partícula fóton e as

grandezas físicas envolvidas, como intensidade da luz, frequência e energia do elétron);

- Conteúdos Factuais: A compreensão dos(as) alunos(as) sobre os fatos históricos que levaram ao desenvolvimento do efeito fotoelétrico, como os experimentos e observações de Hertz e a descoberta de Einstein;
- Conteúdos Procedimentais: A participação dos(as) alunos(as) na atividade experimental do eletroscópio, mostrando capacidade de interpretar e analisar os efeitos observados. Além disso, na utilização do simulador, testando variáveis (tipo de material, intensidade e comprimento de onda) e refletindo sobre a influência de cada variável nos resultados observados;
- Conteúdos Atitudinais: O questionamento e/ou levantamento de hipóteses durante a realização da atividade experimental, demonstrando compromisso, interesse e curiosidade pelo fenômeno;

## 2. De acordo com a TAS:

Pode-se observar a TAS na forma como os(as) alunos(as) conectam o efeito fotoelétrico aos seus conhecimentos prévios (subsunçores), como comprimento de onda, frequência, energia, eletricidade, entre outros. Isso se manifesta na participação ativa durante a atividade prática, explorando e refletindo sobre os resultados encontrados, e na percepção da relevância das atividades e dos conceitos estudados;

## 3. De acordo com a metodologia STEAM:

A metodologia STEAM será evidente na participação ativa na aula, engajamento e motivação dos(as) alunos(as) na aula. Mais especificamente, na integração das áreas do conhecimento, como:

- Ciência: Ao explicar os fenômenos observados com base nos princípios científicos;
- Tecnologia: Ao manipular o simulador, o eletroscópio e a lanterna do celular como ferramentas de investigação;
- Engenharia e Artes: Seria avaliado, caso os(as) alunos(as) construíssem o eletroscópio, ou o disco de Newton, ou ainda o espectroscópio, como explorar a estrutura e o *design*.
- Matemática: Ao interpretar a relação entre frequência e comprimento de onda da luz, a frequência e energia dos elétrons, entre outras relações quantitativas.

## AULA 5

### Materiais Condutor, Isolante e Semicondutor

**Duração:** 50 minutos.

**Objetivo(s):**

- Diferenciar e identificar materiais condutores, isolantes e semicondutores;
- Compreender ou revisar os conceitos de resistividade, distribuição eletrônica, Princípio de Pauling e níveis de energia.

**Organização da Turma:** Os(As) alunos(as) serão organizados em equipes de três integrantes.

**Recursos:** Simuladores PhET e Física na Escola; computadores da sala de informática; objetos variados que tenham simetria (caderno, frasco plástico; caixa) para trabalhar o modelo da “Cadeira de Piekara”.

**Metodologia:**

1º Momento: Reforçar conceitos ligados ao eletromagnetismo e eletrodinâmica, introduzindo assim os materiais condutores, isolantes e semicondutores, suas propriedades e os dispositivos elétricos que os utilizam; apresentar a distribuição eletrônica e o Princípio de Pauling; abordar os níveis e bandas de energia usando o modelo da “cadeira de Piekara” (Golab-Meyer, 1991).

**Avaliação:** Ocorrerá por meio da observação e registro do professor, juntamente com a análise da participação dos(as) estudantes nas atividades realizadas.

### Desenvolvimento da Aula 5

Nesta aula, os(as) alunos(as) iniciarão utilizando o simulador do PhET ([https://phet.colorado.edu/sims/html/circuit-construction-kit-ac-virtual-lab/latest/circuit-construction-kit-ac-virtual-lab\\_pt\\_BR.html](https://phet.colorado.edu/sims/html/circuit-construction-kit-ac-virtual-lab/latest/circuit-construction-kit-ac-virtual-lab_pt_BR.html)), realizando a atividade “Conduz ou Não Conduz” (Martins e Mukai, 2021). Essa etapa servirá para revisar os conceitos de materiais condutores, e isolantes (dielétricos), além de apresentar os componentes elétricos disponíveis no simulador.

Em seguida, para explicar a maior ou menor mobilidade dos elétrons em um fio, introduz-se o conceito de resistividade por meio do simulador *Physics at School* ([https://www.vascak.cz/data/android/physicsatschool/template.php?s=ele\\_odpor&l=pt.](https://www.vascak.cz/data/android/physicsatschool/template.php?s=ele_odpor&l=pt.)).

Posteriormente, será lembrado a distribuição eletrônica e Princípio de Pauling, e para

completar, será utilizado o modelo da “Cadeira de Piekara”. Por meio da manipulação de diversos objetos, os(as) alunos(as) poderão relacionar a posição do centro de massa e a estabilidade desses objetos com os níveis de energia eletrônicos.

No Quadro 2.8, está apresentado um texto explicativo sobre as características dos materiais condutores, isolantes e semicondutores. Esse texto pode ser utilizado tanto pelos(as) alunos(as) quanto pelo(a) docente. Caso seja utilizado pelos(as) alunos(as), propõem-se a leitura pelos alunos. Apresentamos na próxima página para impressão caso deseje utilizar com os(as) alunos(as).

Quadro 2.8 – Texto 2.4 - Características dos materiais condutores, isolantes e semicondutores a ser entregue aos(as) alunos(as), ou de forma opcional pelo(a) docente.

### Texto 2.4 – Características Materiais: Condutor, Isolante e Semicondutor

T. L. A. Astrath, H. Mukai e M. J. B. Ferreira

Os materiais possuem características físico-químicas. Quanto à condução de corrente elétrica, são classificados como condutores, isolantes (dielétricos), semicondutores e, não menos importantes, os supercondutores. Esse último, no entanto, não é encontrado em sua forma natural, supercondutores são materiais artificiais, preparados em laboratórios.

**Os condutores** são materiais que, quando submetidos a uma tensão, permitem que os elétrons se movam livremente e de forma ordenada, de acordo com o conceito de corrente elétrica. Um exemplo são os metais. Entre os metais, a condutividade se diferencia em ser mais ou menos condutor de eletricidade. Por exemplo, a condutividade em um fio de ouro<sup>6</sup> ( $43,5 \text{ Sm/mm}^2$ ) é menor do que em um fio de cobre ( $61,7 \text{ Sm/mm}^2$ ). Vale ressaltar que a unidade de condutividade é Siemens por metro (S/m), unidade que é o inverso do Ohm ( $1\text{S} = 1/\Omega$ ).

Enquanto que, em **materiais isolantes**, os elétrons livres não possuem essa mobilidade. Os isolantes possuem alta resistividade ( $\rho$ ), que é o inverso da condutividade ( $\sigma$ ). Exemplo incluem borracha (látex), polipropileno (Isopor®), madeira seca e couro seco.

Os **materiais semicondutores**, são materiais que possuem resistividades intermediárias aos condutores e isolantes. A temperatura e agentes dopantes podem aumentar a resistividade nesses materiais, como será visto no decorrer do PE. São materiais que podem ser manipulados para conduzir ou bloquear corrente elétrica. Exemplos são os elementos puros Germânio e o Silício. Sua aplicação também será amplamente discutida ao longo do PE.

#### REFERÊNCIAS:

HALLIDAY, D.; RESNICK, R.; WALKER, J. Fundamentos da Física 3. 4ª Edição. Eletromagnetismo. Rio de Janeiro. LTC Editora, 1996.

RAMALHO, F.; DOS SANTOS, J. I. C.; FERRARO, N. G.; SOARES, P. A. T. Os Fundamentos da Física 3: Eletricidade e Física Moderna. São Paulo: Editora Moderna, 1977.

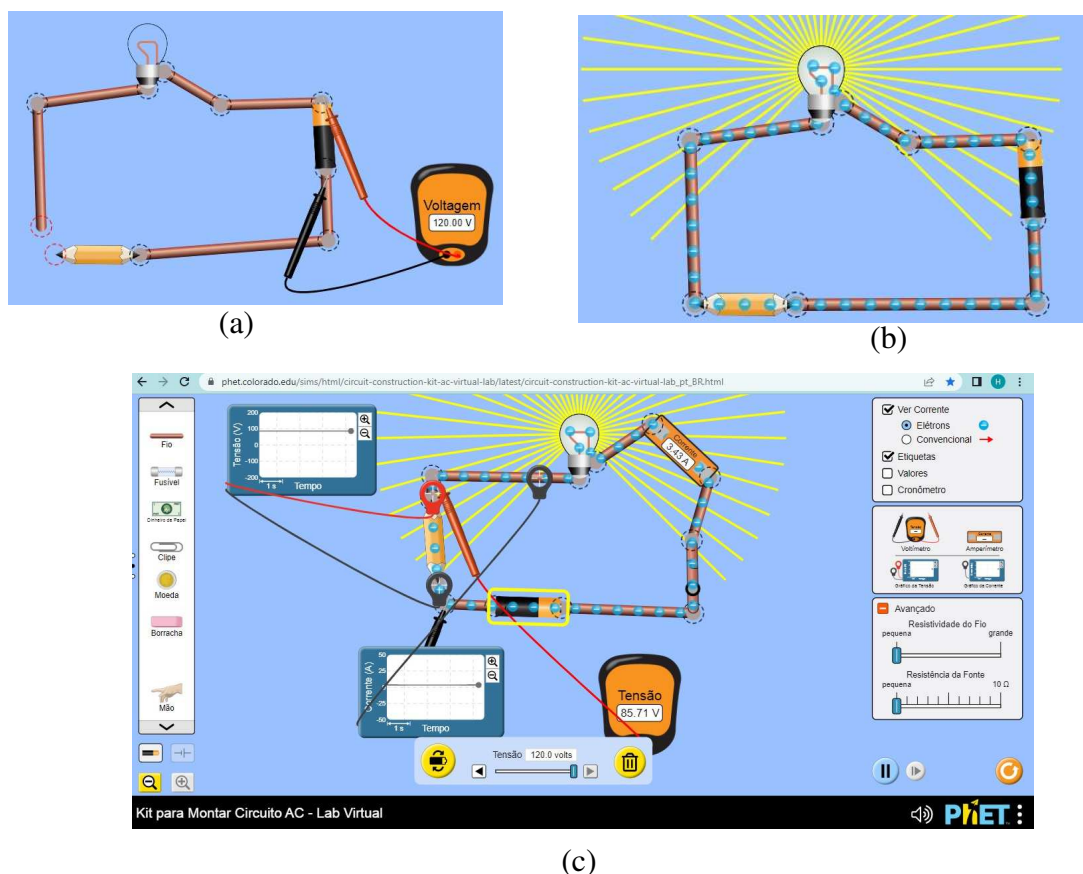
Fonte: Os autores.

<sup>6</sup> S é a unidade Siemens que é o inverso do Ohm, ou seja,  $1\text{S} = 1/\Omega$ . Os valores fornecidos a temperatura de 20 °C.

No PE Martins e Mukai (Martins e Mukai, 2021) propõe um jogo tipo *quiz*, intitulado “Conduz, ou Não Conduz?”. Foi desenvolvido um aparato experimental (construído em dois formatos, utilizando tensões de rede de 127 V e outro de 12 V), e também como realizar o jogo utilizando o simulador do PhET<sup>7</sup>.

O simulador, disponível em: [https://phet.colorado.edu/sims/html/circuit-construction-kit-ac-virtual-lab/latest/circuit-construction-kit-ac-virtual-lab\\_pt\\_BR.html](https://phet.colorado.edu/sims/html/circuit-construction-kit-ac-virtual-lab/latest/circuit-construction-kit-ac-virtual-lab_pt_BR.html)., permite aos(as) alunos(as) montar circuitos e inserir elementos – alguns deles, inclusive, podem ser utilizados os mesmos do circuito real usados no aparato experimental em sala de aula, como o grafite (Figura 2.24).

Figura 2.24 – Cópia de tela da página do PhET ilustrando um circuito em série simples, proposto no jogo conduz – não conduz? via simulador, (a) circuito aberto e em (b) fechando com um grafite no interior do lápis. (c) apresenta diversos instrumentos virtuais para verificar os valores das grandezas físicas.



Fonte: [https://phet.colorado.edu/sims/html/circuit-construction-kit-dc-virtual-lab/latest/circuit-construction-kit-dc-virtual-lab\\_pt.html](https://phet.colorado.edu/sims/html/circuit-construction-kit-dc-virtual-lab/latest/circuit-construction-kit-dc-virtual-lab_pt.html). Acesso em: 12 jul 2022.

Na Figura (c), ilustra diversas ferramentas e funcionalidades incorporadas no simulador que permitem uma análise detalhada dos circuitos. Entre eles, a visualização do gráfico da tensão

<sup>7</sup> O *site* foi atualizado, incorporando nas ferramentas, capacitor, indutor, tensão AC, e visualizador de gráficos de tensão e corrente.

em um intervalo do circuito (antes e depois do “lápis”); o gráfico da corrente em um ponto do circuito (antes da lâmpada); a tensão no “voltímetro” conectado em paralelo no circuito, com a ponteira positiva na extremidade do lápis (onde está a lâmpada) e a outra ponteira no lado que está a bateria (fonte de tensão). Há também um “amperímetro” ligado em série entre a lâmpada e a chave. É possível aumentar ou diminuir a tensão da fonte de 0 a 120 V (indicado na parte inferior da tela) clicando duas vezes sobre a bateria para acioná-la.

No lado direito da tela, ao clicar em “avançado”, é possível aumentar a resistividade tanto no fio quanto na fonte. No lado esquerdo, encontram-se os elementos disponíveis para serem utilizados na montagem do circuito. No canto superior direito, o usuário pode ainda utilizar um cronômetro e assinalar se deseja observar o sentido da corrente (convencional) ou dos elétrons.

Observe que, mesmo que pictoricamente, o simulador permite ilustrar a mobilidade dos elétrons em um fio de cobre. Eles transitam por elementos como grafite, lâmpada, “amperímetro”, que permitem sua passagem contínua pelo circuito em série. Esses elementos são condutores, por onde os elétrons livres “passeiam” pelo circuito, às vezes com maior ou menor mobilidade, dependendo de sua resistividade. É importante lembrar que a resistividade ( $\rho$ ) depende do material e da temperatura, e pode ser obtida pela 2ª lei de Ohm,

$$R = \rho \frac{L}{A}. \quad (2.5)$$

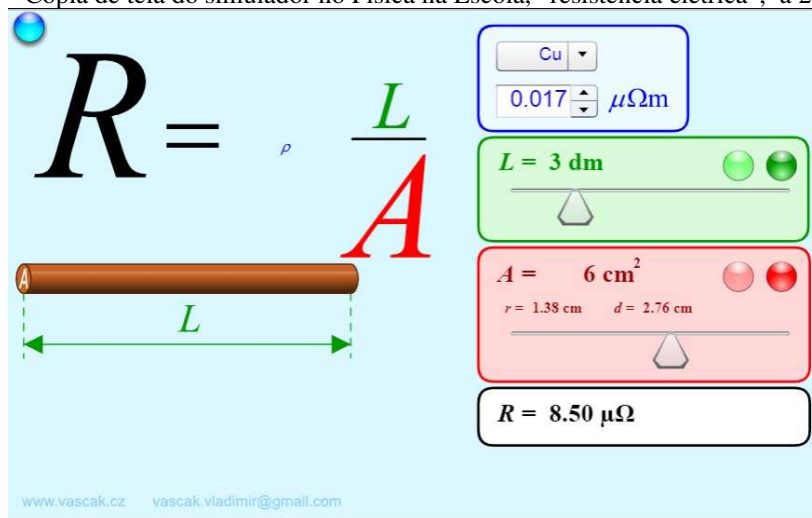
Para explicar essa equação, Vladimir Vascak disponibiliza um simulador<sup>8</sup> no qual é possível variar os valores das grandezas físicas e o tipo do material. O simulador está acessível em: [https://www.vascak.cz/data/android/physicsatschool/template.php?s=ele\\_odpor&l=pt](https://www.vascak.cz/data/android/physicsatschool/template.php?s=ele_odpor&l=pt). Esse simulador pode ser baixado em dispositivos móveis, permitindo que os(as) alunos(as) explorem o que acontece ao variar as grandezas envolvidas em cada material.

Na interface do simulador, observa-se que as variáveis da equação podem ter seu tamanho visualmente alterado (diminuindo ou aumentando), o que auxilia na explicação da relação entre elas. Ao movimentar os controles de “L” (comprimento) e “A” (área da seção transversal) para a esquerda ou para a direita, percebe-se que somente a resistividade,  $\rho$ , se mantém constante na equação, conforme ilustrado na Figura 2.25.

---

<sup>8</sup> A plataforma PhET também disponibiliza outro simulador relevante, intitulado “Resistência em um Fio”, disponível no endereço: [https://phet.colorado.edu/sims/html/resistance-in-a-wire/latest/resistance-in-a-wire\\_pt\\_BR.html](https://phet.colorado.edu/sims/html/resistance-in-a-wire/latest/resistance-in-a-wire_pt_BR.html).

Figura 2.25 – Cópia de tela do simulador no Física na Escola, “resistência elétrica”, a 2ª Lei de Ohm.



Fonte: [https://www.vascak.cz/data/android/physicsatschool/template.php?s=ele\\_odpor&l=pt](https://www.vascak.cz/data/android/physicsatschool/template.php?s=ele_odpor&l=pt). Acesso em: 15 jul 2022.

Ao clicar sobre os botões verdes, o(a) usuário pode alternar a unidade de *cm* para *dm*, e os botões vermelhos variam o tamanho da espessura do material. Uma proposta é que cada aluno(a) explique o que ocorre para cada tipo de material ao realizar essas alterações.

De uma forma geral, até o momento foi apresentado que materiais condutores permitem o trânsito dos elétrons livres, enquanto que nos isolantes isso não acontece. Os isolantes, por sua vez, possuem uma alta resistividade que impede essa mobilidade eletrônica.

Mas, afinal, por qual motivo os elétrons livres possuem boa mobilidade nos materiais condutores e não nos isolantes? Uma das formas de explicar isso é usando a configuração atômica de Bohr: um átomo é constituído, entre outras partículas elementares, do núcleo (formado por prótons e nêutrons) e dos elétrons “orbitando” ao seu redor (lembrando que esse modelo é de 1913, antes do modelo quântico). A camada mais distante do núcleo é denominada de camada de valência, e os elétrons nessa camada são chamados de elétrons de valência ou elétrons livres. Um átomo estável, química ou molecularmente, é aquele que possui 8 elétrons livres (o máximo na camada de valência para a maioria dos elementos). Quanto menor o número de elétrons livres, mais instável será o átomo, o que resulta em uma maior mobilidade para esses elétrons livres.

O processo anteriormente descrito ocorre porque o elétron possui uma determinada energia, o que mantém em seu respectivo nível ou subnível de energia. Esse processo foi descoberto pelo físico Erwin Schrödinger (Modelo quântico – 1926). A forma de distribuição desses elétrons é a chamada a chamada distribuição de Linus Pauling, que apresenta as camadas eletrônicas a partir do núcleo em ordem crescente, indo de K até Q. Lembrando que os subníveis são 4:



*s, p, d, f*. É importante notar a distribuição dos subníveis nem sempre obedece a uma ordem crescente de camadas, a ordem é a ilustrada na Tabela 2.1 por setas que indicam o sentido da leitura. A Tabela 2.1 também apresenta informações sobre os subníveis e o número máximo de elétrons por camada eletrônica em um átomo.

Tabela 2.1 – Dados sobre a distribuição de subníveis em cada camada eletrônica de acordo com Linus Pauling e o número máximo de elétrons em cada camada eletrônica.

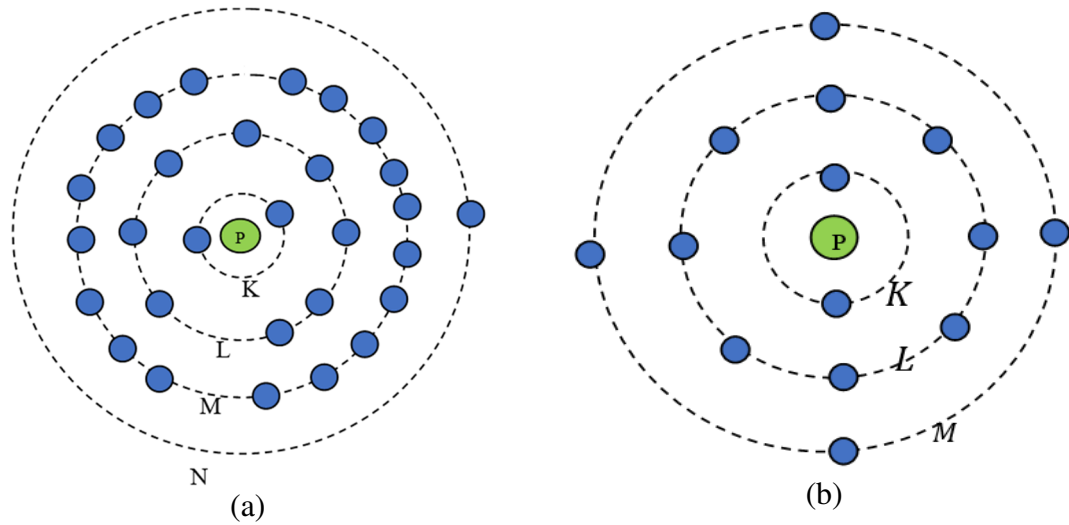
| Níveis | Subníveis   | Número máximo de elétrons |
|--------|-------------|---------------------------|
| K      | 1s          | 2                         |
| L      | 2s 2p       | 8                         |
| M      | 3s 3p 3d    | 18                        |
| N      | 4s 4p 4d 4f | 32                        |
| O      | 5s 5p 5d 5f | 32                        |
| P      | 6s 6p 6d    | 18                        |
| Q      | 7s 7p       | 8                         |

Fonte: Elaborado por H. Mukai, 2022.

Tomando como exemplo um material condutor de nosso interesse, o cobre, com número atômico 29. Dessa forma, o átomo de *Cu* possui 29 elétrons, que são distribuídos nas camadas dos níveis quânticos de energia K, L, M, e N, ilustradas na Figura 2.26, da seguinte forma  $2n^2$

$n = 1 \Rightarrow 2n^2 = 2; n = 2 \Rightarrow 2n^2 = 8; n = 3 \Rightarrow 2n^2 = 18.$

Figura 2.26 – Desenho pictórico da distribuição de elétrons para o (a) cobre, em que os níveis quânticos de energia K=2, L=8, M=18, e N=1. Contendo 29 prótons (P) no núcleo atômico; (b) Silício, em que os níveis quânticos de energia K=2, L=8, M=4. Contendo 14 prótons (P) no núcleo atômico.



Fonte: H. Mukai, adaptado para o Cu e Si com base no texto.

Portanto, o cobre possui apenas um elétron na camada de valência, que é denominado elétron livre, cedendo-o com facilidade. Enquanto que o Silício, ilustrado na Figura 2.26(b), possui 4 elétrons na camada de valência, esses elétrons quando submetidos a um estímulo externo (energia) podem ser liberados para a condução.

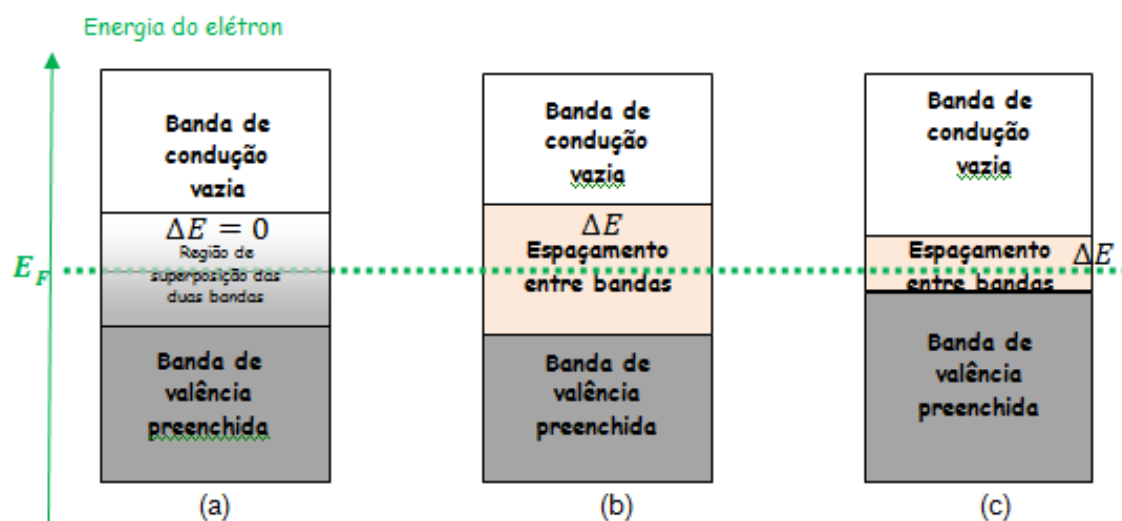
Com base nessa característica, os materiais são classificados da seguinte forma:

- Materiais condutores possuem de 1 a 2 elétrons na camada de valência.
- Materiais semicondutores possuem 3 ou 4 elétrons na camada de valência.
- Materiais isolantes (ou dielétricos) possuem de 5 a 8 elétrons na camada de valência.

No caso dos isolantes, como a borracha (látex), é necessário fornecer uma quantidade muito elevada de energia para que os elétrons se movam da banda de valência para a banda de condução, permitindo a passagem de corrente

Outra forma de se explicar as propriedades dos materiais condutores, isolantes e semicondutores é por meio de um diagrama em termos da energia e de suas bandas, apresentado na Figura 2.27.

Figura 2.27 – Ilustração das Bandas de energia: (a) condutor, (b) isolante e (c) semicondutor. Sendo  $E_F$  o nível de energia de Fermi. O espaçamento entre bandas é chamado de banda proibida, e  $\Delta E$  a sua variação de energia.



Fonte: Adaptada de (Callister, 2008 e Correia *et al.*, 2017) *apud* Martins, 2021.

Nesse diagrama, entre a banda de valência e a banda de condução, há um espaço denominado de banda proibida ou vazia (*gap*). Esse *gap* representa a variação de energia ( $\Delta E$ ) necessária para um elétron passar da banda de valência para a de condução.

Observando a Figura 2.27, a variação de energia é:

- (a) Condutor: A variação de energia é nula ou muito pequena, a passagem do elétron da banda de valência para a de condução é quase que instantânea, pois as bandas se sobrepõem ou são muito próximas.
- (b) Isolante/Dielétrico e (c) Semicondutor: É necessário fornecer energia para que os elétrons consigam passar pela banda proibida. No entanto, a energia exigida é maior no isolante (b) do que no semicondutor (c), pois o *gap* é consideravelmente maior em (b) do que em (c).

Na imagem, também aparece um termo “energia de Fermi”. Essa energia se refere ao nível mais energeticamente ocupado à temperatura de zero absoluto para partículas como os elétrons, que possuem uma característica denominada de spin. O spin dos elétrons tem um valor semi-inteiro ( $\pm \frac{1}{2} \hbar$ ), e estas partículas são classificadas como férmions.

O *spin* é o momento angular intrínseco de cada partícula. De forma ilustrativa, ele é frequentemente representado como uma seta para cima (sinal positivo) ou para baixo (sinal negativo). Seus valores são quantizados por valores inteiros ou semi-inteiros da constante de Planck  $h$  dividida por  $2\pi$  (ou seja, o  $\hbar$ ). As partículas com spin inteiro são denominadas de bósons.

Como podemos tornar o conceito de bandas de energia compreensível para os(as) alunos(as)? Para isso, podemos usar uma abordagem que, embora de analogia, vamos despertar a intuição sobre os níveis de energia e estados de estabilidade em átomos. É crucial, contudo, ter muito cuidado, pois a proposta não é transferir literalmente os conceitos do mundo macroscópico para o nível atômico, mas sim usar um modelo clássico para construir uma base de entendimento.

Podemos utilizar a proposta do artigo de Golab-Meyer (1991), que ela resgata o método da “cadeira de Piekara” para explicar os níveis e as bandas de energia. O modelo da “cadeira de Piekara”, foi publicado no livro *The new face of optics* (a nova face da óptica) em 1973, é um modelo criado pelo Físico Polonês Arkadiusz Henryk Piekara (1904-1989) para descrever conforme citado por Golab-Meyer,

[...] introduz ao leitor a descrição para os níveis de energia de átomos e moléculas, emissão estimulada e espontânea, estatística de Boltzmann e o funcionamento dos masers e lasers (Tradução nossa) (Golab-Meyer, 1991, p. 215).

Nesse artigo, um ponto essencial para explicar os níveis e bandas de energia é o ponto de centro de massa e a questão da estabilidade (equilíbrio estável) de objetos como uma mesa ou

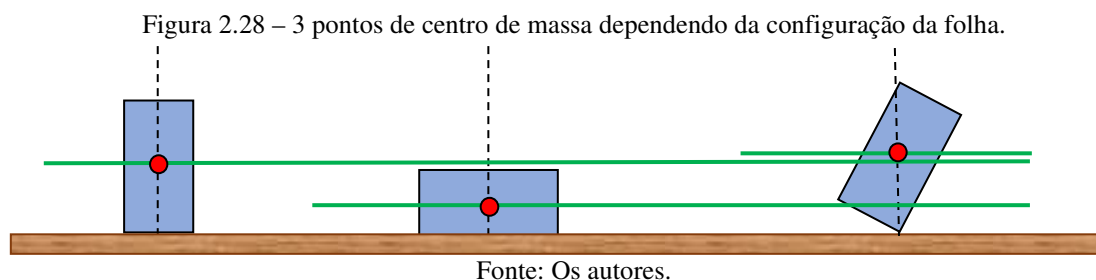
cadeira. Ao observar as diferentes posições de equilíbrios estável, os(as) alunos(as) podem ser conduzidos ao entendimento do termo “degenerescência”.

Essa abordagem utiliza o ponto de centro de massa em relação ao solo como uma analogia para a energia potencial gravitacional ( $E_{pg} = mgh$ ). Golab-Meyer ilustra essa proposta de com o exemplo de uma mesa e seu centro de massa, criado por um aluno de 14 anos.

A degenerescência, em termos de energia, ocorre a nível quântico e se manifesta quando uma partícula possui o mesmo nível de energia, mas diferentes estados físicos. No caso do sistema clássico, no modelo da “Cadeira de Piekara”, do ponto de vista de energia potencial, seriam as múltiplas posições de equilíbrio estável com a mesma energia potencial.

Para ilustrar esse conceito, Golab-Meyer (1991) utiliza a posição do centro de massa de uma mesa, aplicando o mesmo princípio da “cadeira de Piekara”, para demonstrar vários estados possíveis de equilíbrio estável. Seguindo esse mesmo raciocínio, Maximiliano Filho (2019) propôs uma atividade em aula usando uma caixa retangular.

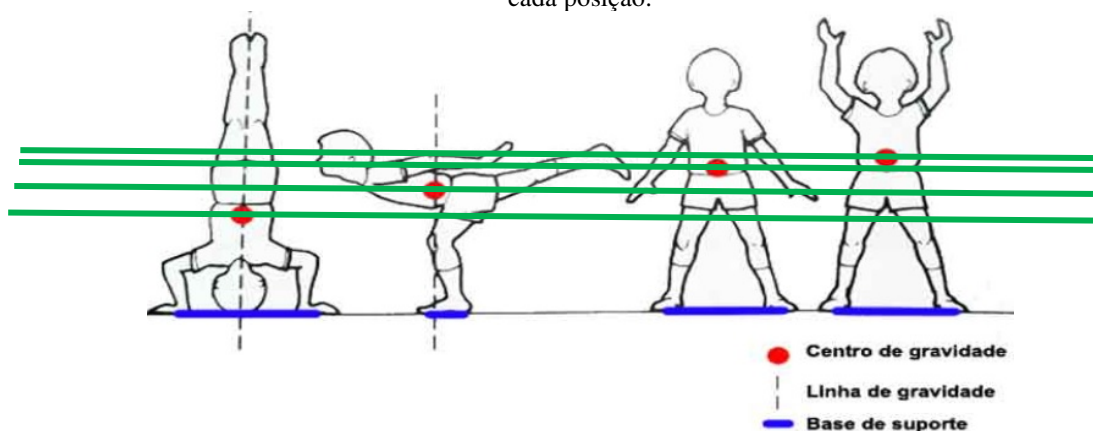
Para entender o raciocínio empregado por esses autores, é fundamental primeiro relembrar o conceito de centro de massa. Uma forma simples de fazer isso é traçar linhas imaginárias, por exemplo, em uma folha de papel, como ilustrado na Figura 2.28.



Ao observar as linhas horizontais, notamos que a energia potencial no centro de massa é diferente nas três configurações da folha. Ela é menor quando a folha está na horizontal, aumenta na posição vertical e é maior na posição inclinada. Cada linha imaginária indica a posição da energia potencial em cada configuração.

No corpo humano, por exemplo, podemos analisar quatro posições de equilíbrio, como as apresentadas na Figura 2.29. Ao acrescentar na imagem a linha verde, que supõe ser níveis de energia, vemos que, dependendo da posição, a energia potencial do ponto de centro de massa é diferente. Isso significa que o espaçamento entre as configurações variou.

Figura 2.29 – Ilustração da posição de centro de massa em 4 posições de equilíbrio, e acrescido pelas autoras as linhas em verde, indicando a energia potencial da posição do CM que coincide com o centro da gravidade em cada posição.



Fonte: Adaptada em uma imagem disponível de <https://redu.com.br/fisica/centro-de-gravidade-e-tipos-de-equilibrio/>. Acesso em: 10 jan 2023.

Se fossem consideradas todas as configurações possíveis que descrevem um equilíbrio estável, o estado de menor energia potencial seria equivalente a uma pessoa deitada em repouso. Já se a pessoa estivesse em pé com os braços para baixo, o ponto de centro de massa estaria no centro do tórax.

Com essa base intuitiva dos exemplos macroscópicos, podemos agora estender o raciocínio para o mundo atômico e os níveis de energia, por meio da questão: “O que essas observações significam para a posição do átomo e seus níveis de energia?”.

A resposta por analogia seria: “O centro de massa indica o átomo e sua posição reflete a quantidade de energia que ela possui”. Portanto, dependendo da “configuração” do átomo (seu estado), sua energia será maior ou menor. Lembrando novamente que essa analogia é um “modelo”, uma representação intuitiva, e não uma descrição literal.

Seguindo com nossa analogia, quanto à “degenerescência”, no nosso modelo, ela se refere ao número de vezes que uma mesma “posição” (nível de energia) pode ocorrer para a mesma energia. Por exemplo, na posição (b) da Figura 2.28, se a pessoa mudar de perna (mantendo o centro de massa na mesma altura), ela terá a mesma energia potencial, mas a forma de posicionar o corpo diferentes – contando 2 vezes a posição de equilíbrio com a mesma energia potencial. Isso análogo a como múltiplos estados quânticos podem ter a mesma energia.

Dessa forma, o modelo da “Cadeira de Piekara” nos fornece uma forma intuitiva de representar os níveis de energia como linhas na horizontal, contidas nas bandas de energia.

Permite também compreender o que é o estado fundamental (estado de menor energia), e ilustrar as múltiplas posições de equilíbrio com a mesma energia, que servem como uma analogia clássica para a degenerescência quântica.

### **Sugestões de Observação e Avaliação**

Ao final da Aula 5 é possível observar e avaliar os seguintes aspectos, com base nos referenciais teóricos adotados neste PE.

#### **1. Quanto a tipologia de Zabala:**

- **Conteúdos Conceituais:** A compreensão de conceitos fundamentais como condutividade e resistividade ( $2^{\circ}$  Lei de Ohm) e sua relação com os materiais condutores, isolantes (dielétricos) e semicondutores. Na distribuição eletrônica e princípio de Pauling e nos níveis e bandas de energia. Na explicação e aplicação desses conceitos em circuitos e dispositivos eletrônicos;
- **Conteúdos Factuals:** O reconhecimento da importância da descoberta da Física Moderna e da relevância dos materiais semicondutores no contexto atual, proporcionando diversos avanços tecnológicos, como o uso de placas fotovoltaicas para a geração de energia elétrica;
- **Conteúdos Procedimentais:** A utilização dos simuladores, testando variáveis, observando e refletindo em como cada uma influencia os resultados, a fim de integrar teoria e prática. Inclui também a representação do centro de massa de um corpo, por meio de desenhos, e das possíveis posições de estabilidade desse corpo, aplicando os conceitos físicos sobre níveis de energia para representações encontradas utilizando o modelo da “Cadeira de Piekara”.
- **Conteúdos Atitudinais:** A autonomia na exploração dos conceitos, a curiosidade, o interesse e o engajamento durante a aula;

#### **2. Em relação a TAS:**

- A participação ativa, explorando e testando variáveis, e a autonomia na atividade do simulador.
- A relação dos subsunçores (conceito de centro de massa) com o desenvolvimento de conceitos mais complexos (níveis de energia).
- A associação do conceito de bandas de energia com o comportamento dos elétrons em diferentes materiais.

### 3. Referente a metodologia STEAM:

Por meio das atividades desenvolvidas (uso dos simuladores e modelo da “Cadeira de Piekara”) e na integração de diversas áreas do conhecimento:

- Ciência: Nas propriedades dos materiais e distribuição eletrônica.
- Tecnologia: No uso dos simuladores.
- Engenharia: Ao observar a aplicação dos materiais semicondutores em tecnologias reais.
- Arte: Ao representar por meio de desenhos a estabilidade de corpos e fazer uma relação com os níveis de energia, utilizando o modelo da “Cadeira de Piekara”.
- Matemática: Nas grandezas diretamente e inversamente proporcionais.

## AULA 6

### Semicondutores e Efeito fotovoltaico

**Duração:** 50 minutos.

**Objetivo(s):** Compreender o efeito fotoelétrico de forma prática e concreta por meio da utilização de simuladores.

**Organização da turma:** Os(As) alunos(as) serão organizados em equipes de 3.

**Recursos:** Simuladores PhET e *Physics at School*; computadores da sala de informática; cadeiras.

#### **Metodologia:**

1º Momento: Utilizar simuladores, disponibilizado pelo PhET, para a compreensão do que é um semicondutor e como ele funciona. Complementar com o uso dos simuladores disponíveis no “*Physics at School*”, nos quais é possível analisar o processo fotovoltaico em nível atômico para o Silício.

2º Momento: Definir o efeito fotovoltaico.

**Avaliação:** Ocorrerá por meio da observação e registro do professor, juntamente com a análise da participação dos estudantes nas atividades realizadas.

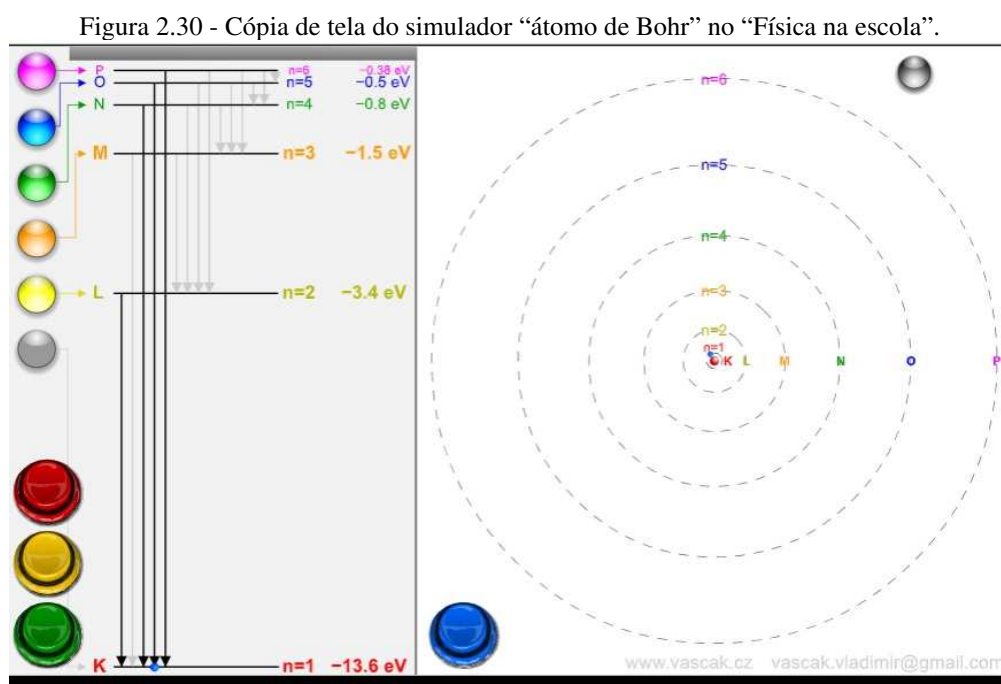
### Desenvolvimento da Aula 6

Nesta aula, para auxiliar na compreensão das mudanças de níveis e bandas de energia, serão utilizados o simulador “Átomo de Bohr” (do *Physics at School*) e “Condutividade” (do PhET). A partir desses recursos, serão definidos os materiais semicondutores - principal matéria-prima de células fotovoltaicas e de outros dispositivos elétricos com o transistor, LDR, LED e o Diodo.

Em seguida, com o apoio de outros simuladores e por meio de uma atividade prática, envolvendo os(as) alunos(as) e cadeiras, será demonstrada a passagem de um elétron da banda de valência para a banda de condução ao ser atingido por um fóton, resultando na formação de lacunas (buracos) e evidenciando a mobilidade de elétrons. Por fim, será definido o efeito fotovoltaico.

Inicialmente, para compreender a mudança de níveis de energia no modelo atômico de Bohr, sugerimos o uso do simulador “Átomo de Bohr”, do “*Physics at School*”, disponível em: <[https://www.vascak.cz/data/android/physicsatschool/template.php?s=atom\\_vodik&l=pt](https://www.vascak.cz/data/android/physicsatschool/template.php?s=atom_vodik&l=pt)>.

A Figura 2.30, apresenta-se que, à esquerda, estão representados os níveis de energia (conforme visto na analogia do modelo da “Cadeira de Piekara”, as linhas horizontais). Ao clicar nos botões coloridos na parte superior esquerda (um para cada nível de energia), pode-se observar o elétron descendo para o nível inferior e liberando energia, ou pulando para o nível superior após ganhar energia.



Fonte: [https://www.vascak.cz/data/android/physicsatschool/template.php?s=atom\\_vodik&l=pt](https://www.vascak.cz/data/android/physicsatschool/template.php?s=atom_vodik&l=pt). Acesso em: 25 jan 2023.



Os botões localizados na parte inferior esquerda do simulador controlam o movimento do elétron na órbita:

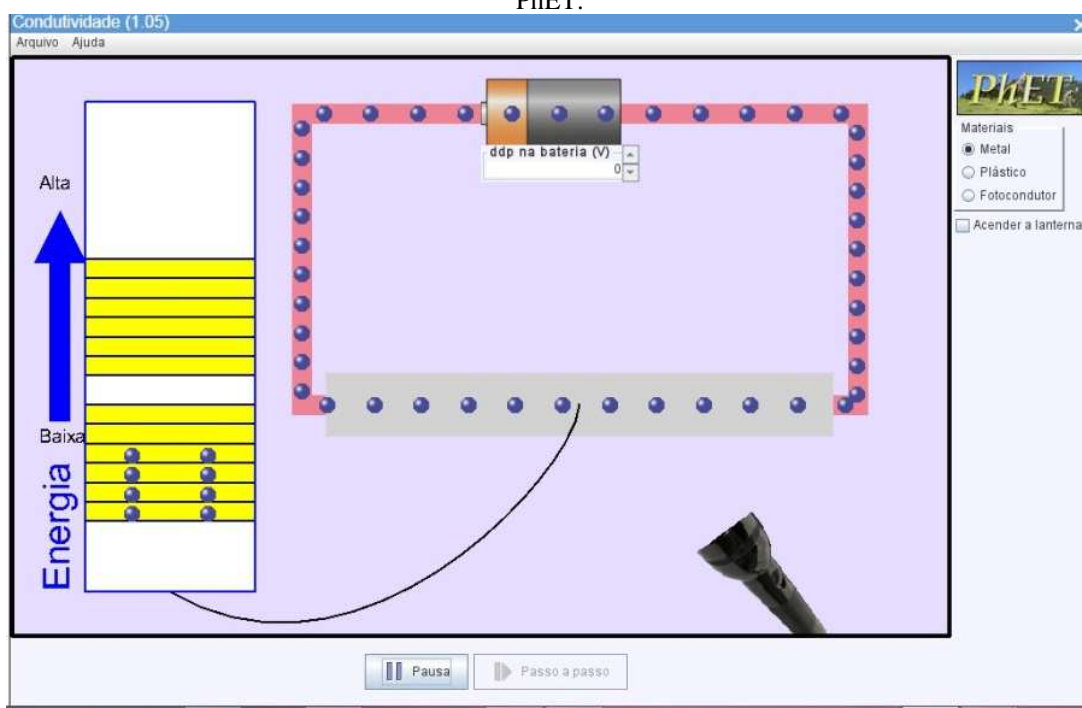
- O botão verde o elétron girar normalmente;
- O botão amarelo diminui a velocidade de rotação.
- O botão vermelho para o movimento do elétron.

Já o botão azul representa o elétron como “onda”, enquanto o botão cinza, no canto superior direito, exibe as equações (as quais não mostradas na imagem da Figura 2.29).

Agora, para entender o comportamento do que ocorre em materiais condutores e isolantes em termos dos níveis de energia, sugerimos utilizar o simulador “Condutividade” do PhET. Ele está disponível em:

[https://phet.colorado.edu/sims/cheerpj/conductivity/latest/conductivity.html?simulation=conductivity&locale=pt\\_BR](https://phet.colorado.edu/sims/cheerpj/conductivity/latest/conductivity.html?simulation=conductivity&locale=pt_BR). Ao acessar o *link*, a primeira tela que aparece é a apresentada na Figura 2.31.

Figura 2.31– Cópia de tela do simulador condutividade disponibilizada pela Universidade de Colorado como PhET.



Fonte:

[https://phet.colorado.edu/sims/cheerpj/conductivity/latest/conductivity.html?simulation=conductivity&locale=pt\\_BR](https://phet.colorado.edu/sims/cheerpj/conductivity/latest/conductivity.html?simulation=conductivity&locale=pt_BR). Acesso em: 10 out 2022.

À direita da tela do simulador, é possível escolher o tipo de material: Metal, Plástico ou Fotocondutor. À esquerda, está apresentado o diagrama com os níveis de energia, semelhantes

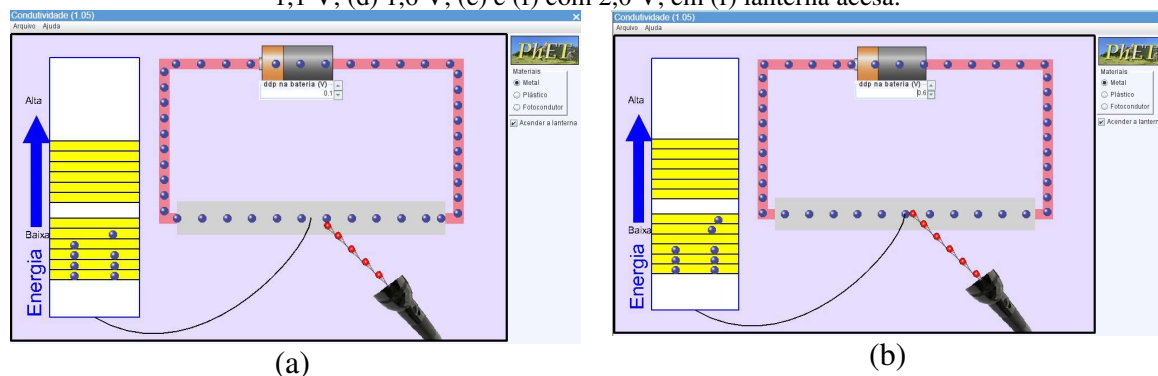
à analogia do modelo da “Cadeira de Piekara” (discutida na Aula 5), com os elétrons ocupando os níveis na parte inferior. Cada bloco representa uma banda, havendo assim a banda de valência, banda proibida (*gap* - espaço vazio) e a banda de condução, como ilustrado na Figura 2.27. Vejamos cada caso.

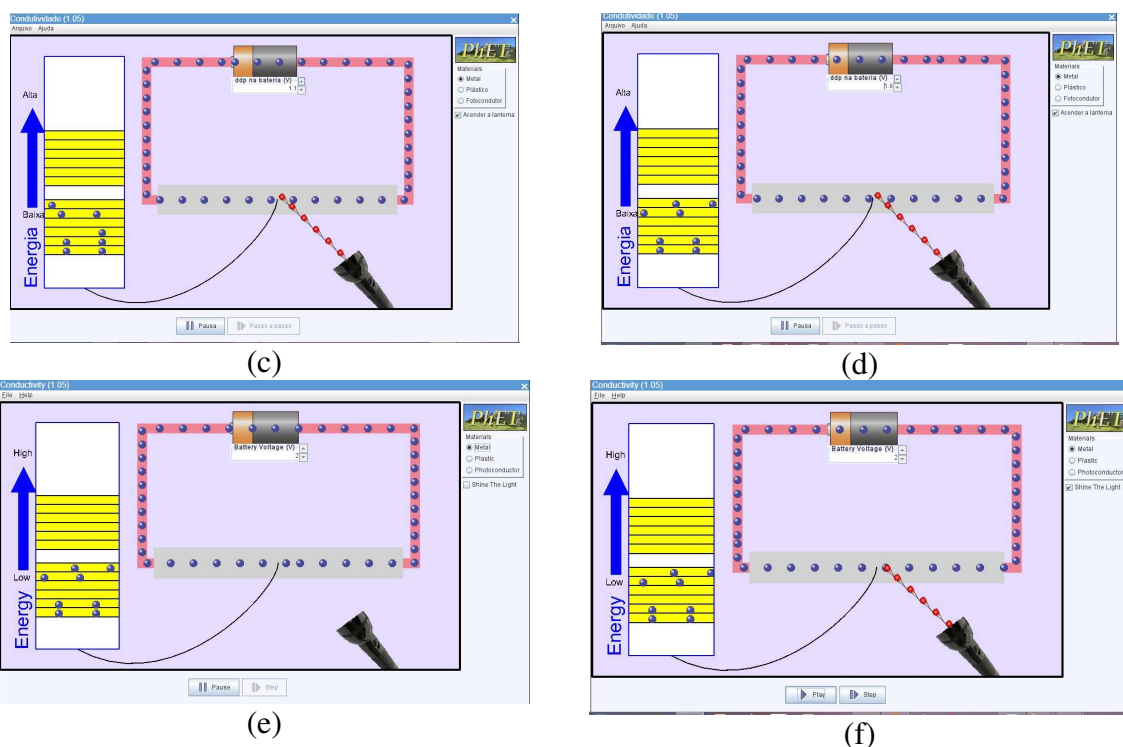
No caso da imagem da Figura 2.32 selecionando um material metálico, observa-se os elétrons livres na banda de valência, indicados à esquerda, em 4 níveis de energia, com dois elétrons livres em cada nível. É importante lembrar que, para um material condutor, a banda de valência e de condução se sobrepõem, e a variação de energia é nula (Figura 2.32(a)). Ao aplicar uma tensão de  $0,1\text{ V}$  (ou seja, fornecer energia ao material condutor), um elétron livre “salta” para um nível acima, na parte condutora (Figura 2.32(a)).

- Aumentando a tensão para  $0,6\text{ V}$ , o elétron à direita “pula” dois níveis acima de energia (Figura 2.32 (b)).
- Em (c), a tensão foi aumentada para  $1,1\text{ V}$ , e mais um elétron muda de nível.
- O mesmo ocorre ao aumentar a tensão para  $1,6\text{ V}$  (d).

Mesmo elevando a tensão até  $2,0\text{ V}$  (que é a tensão máxima), o que aumenta a velocidade de mobilidade dos elétrons, o comportamento condutor se mantém, e eles permanecem em um ponto de baixa energia. Em todos os casos, observou-se que, mesmo incidindo fótons provenientes da luz da “lanterna”, as situações apresentadas nas imagens de (a) a (d) não se alteram, como pode ser comprovado ao comparar a imagem (e) com a imagem (f) para a tensão de  $2\text{ V}$ .

Figura 2.32 – Cópias de tela simulador “Condutividade” PhET. Registros da mobilidade de elétrons no material condutor e nas bandas de energia, com o aumento da tensão e incidindo fótons. (a)  $0,1\text{ V}$ ; (b)  $0,6$ ; (c)  $1,1\text{ V}$ ; (d)  $1,6\text{ V}$ , (e) e (f) com  $2,0\text{ V}$ , em (f) lanterna acesa.



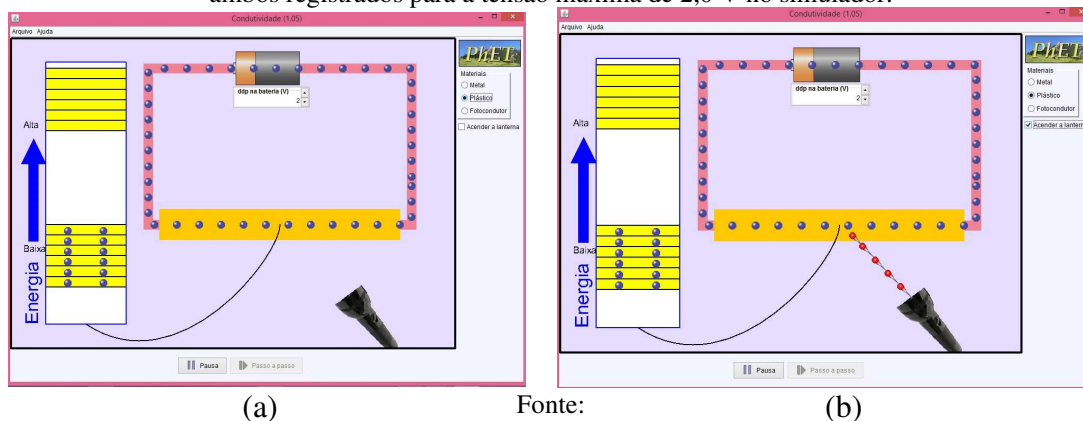


Fonte:

[https://phet.colorado.edu/sims/cheerpi/conductivity/latest/conductivity.html?simulation=conductivity&locale=pt\\_BR..](https://phet.colorado.edu/sims/cheerpi/conductivity/latest/conductivity.html?simulation=conductivity&locale=pt_BR..) Acesso em: 10 out 2022.

Ao selecionar um material isolante, como o plástico, nada acontece: os elétrons não se movem. Todos os elétrons permanecem na banda de valência, que está completa com 8 elétrons, indicando que todos os níveis estão preenchidos. Essa configuração se mantém mesmo quando a “lanterna” é ligada e a luz (fótons) incidem sobre o material (Figura 2.33 (a) e (b)). No simulador, é possível observar que o *gap* aumenta de tamanho, distanciando as duas bandas, com a banda de condução posicionada em um nível de energia alto. Os materiais isolantes também são conhecidos por dielétricos.

Figura 2.33 - Cópias de tela do simulador Condutividade do PhET sobre o comportamento dos elétrons nas Bandas de energia para materiais Plástico/Isolantes. Em (a) sem incidir fótons e em (b) incidindo fótons, ambos registrados para a tensão máxima de 2,0 V no simulador.



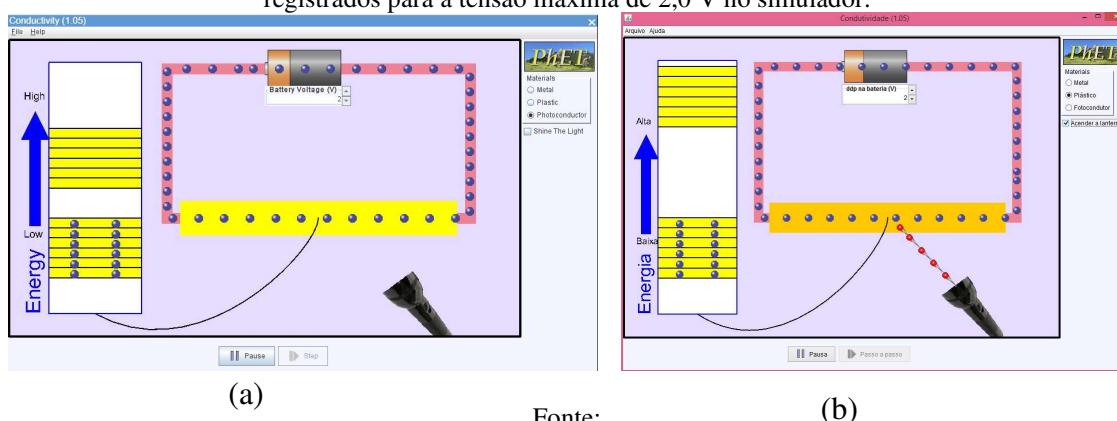
Fonte:

[https://phet.colorado.edu/sims/cheerpi/conductivity/latest/conductivity.html?simulation=conductivity&locale=pt\\_BR..](https://phet.colorado.edu/sims/cheerpi/conductivity/latest/conductivity.html?simulation=conductivity&locale=pt_BR..) Acesso em: 10 out 2022.

Ao selecionar o material fotocondutor, o comportamento inicial é semelhante ao de um isolante (Figura 2.34 (a)), mas com um *gap* menor. Contudo, ao incidir luz sobre ele, os elétrons da banda de valência, ganham energia suficiente para “saltar” os níveis de energia dessa banda e o *gap* (banda vazia), atingindo a banda de condução (Figura 2.34 (b)).

Essa capacidade de conduzir eletricidade por excitação de fótons ocorre porque esses materiais são sensíveis à incidência de luz. Eles são, em essência, isolantes que se tornam condutores sob a influência da luz, e é por essa característica que são classificados como semicondutores.

Figura 2.34 - Cópias de tela do simulador Condutividade do PhET sobre o comportamento dos elétrons nas Bandas de energia para materiais fotocondutor. Em (a) sem incidir fótons e em (b) incidindo fótons, ambos registrados para a tensão máxima de 2,0 V no simulador.



Fonte:

[https://phet.colorado.edu/sims/cheerpj/conductivity/latest/conductivity.html?simulation=conductivity&locale=pt\\_BR](https://phet.colorado.edu/sims/cheerpj/conductivity/latest/conductivity.html?simulation=conductivity&locale=pt_BR). Acesso em: 10 out 2022.

Nos materiais semicondutores, os valores de condutividade ficam entre os dos materiais condutores e os dos isolantes. Como a condutividade é o inverso da resistividade, e normalmente o que se mede é a resistividade dos materiais, a Tabela 2.2 apresenta a resistividade de alguns materiais.

Assim, exemplos comuns de materiais semicondutores são os elementos químicos silício (Si) e germânio (Ge). O silício e o germânio são classificados como elementos quadrivalentes, pois possuem 4 elétrons na camada de valência.

Tabela 2.2 - Resistividade de alguns materiais, a temperatura de 20°C.

| Material                | Resistividade ( $\Omega\text{cm}$ ) |
|-------------------------|-------------------------------------|
| <b>Dielétricos</b>      |                                     |
| $\text{Al}_2\text{O}_3$ | $>10^{14}$                          |
| $\text{SiO}_2$          | $>10^{14}$                          |
| $\text{Si}_3\text{N}_4$ | $>10^{14}$                          |
| MgO                     | $>10^{14}$                          |
| Borracha vulcanizada    | $10^{14}$                           |
| Nylon                   | $10^{14}$                           |

|                       |                       |
|-----------------------|-----------------------|
| Teflon                | $10^{16}$             |
| <b>Semicondutores</b> |                       |
| Ge                    | 40                    |
| SiC                   | 10                    |
| B <sub>4</sub> C      | 0,5                   |
| <b>Condutores</b>     |                       |
| Grafite ou Grafita    | $3,5 \times 10^{-3}$  |
| Prata                 | $1,5 \times 10^{-6}$  |
| Au                    | $2,44 \times 10^{-6}$ |
| Fe                    | $13 \times 10^{-6}$   |
| Cu                    | $1,72 \times 10^{-6}$ |
| Al                    | $2,8 \times 10^{-6}$  |

**Fonte:** Adaptada de Padilha (2000) e Rolim, p. 7 (2002), *apud* Martins (2021).

A seguir, nosso foco estará nos materiais semicondutores, uma vez que eles são o tipo de material central para o funcionamento de uma célula fotovoltaica e de outros dispositivos elétricos, com o transistor, o LDR, o LED e o Diodo.

## • SEMICONdutores

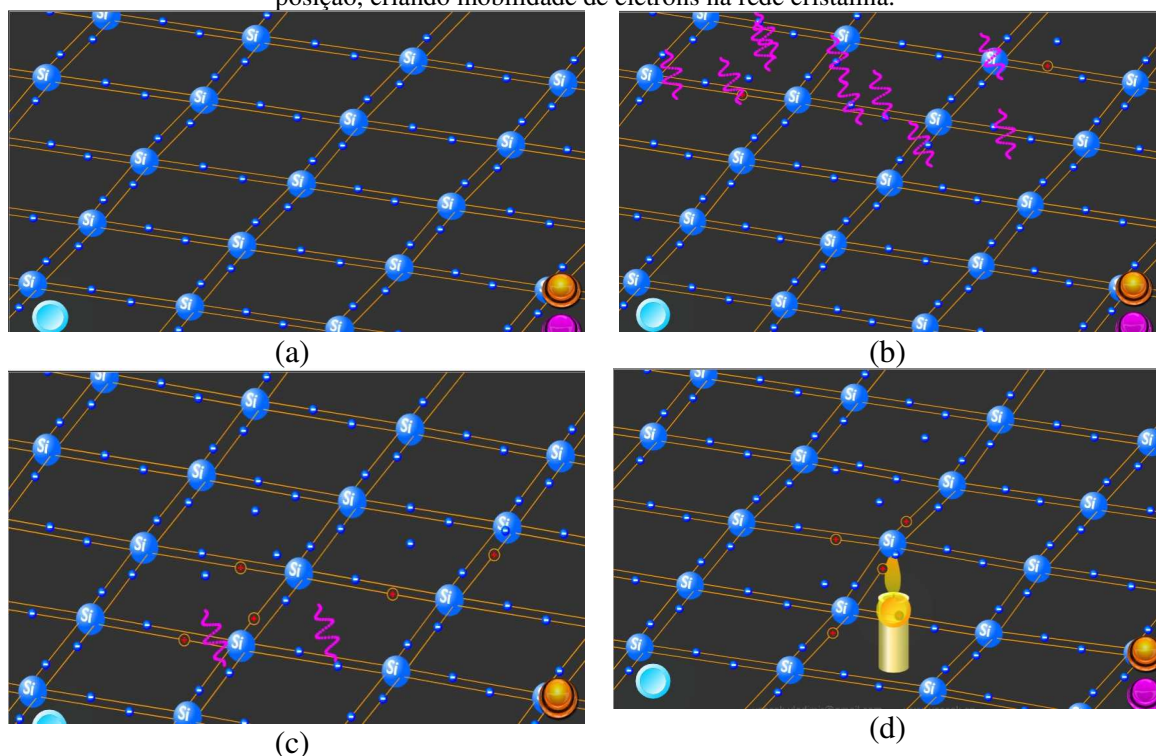
Os semicondutores são materiais que a  $0\text{ K}$  comportam-se como materiais isolantes (dielétricos) e com o aumento da temperatura começam a conduzir elétrons, comportando-se como condutores. Esse comportamento é oposto do que acontece nos materiais condutores, onde o aumento da temperatura eleva a resistividade elétrica (ou seja, a condutividade dos elétrons diminui). Michel Faraday observou esse efeito no século XIX.

Na imagem da Figura 2.35, de outro simulador ainda no site do “*Physics at School*” <[https://www.vascak.cz/data/android/physicsatschool/template.php?s=pol\\_generace&l=pt](https://www.vascak.cz/data/android/physicsatschool/template.php?s=pol_generace&l=pt)>, ilustra o processo de condução no silício:

- Em (a), a simulação mostra o silício puro.
- Em (b), um fóton (representado como uma onda) atinge um elétron, gerando um “buraco”.
- Em (c) esses “buracos” são preenchidos por outros elétrons.
- Em (d), o mesmo processo ocorre quando a rede cristalina do Si (mostrada em (a)) é aquecida. O aquecimento causa agitação térmica, que também forma “buracos” na rede, e esses são subsequentemente preenchidos por elétrons.

Neste simulador específico, os elétrons que criam os “buracos” por excitação externa são os mesmos que depois os preenchem, o que demonstra a dinâmica de movimento e preenchimento no material.

Figura 2.35 – Cópias de tela do simulador, “gerando e recombinação, no Física na Escola. Em (a) uma rede cristalina formada por átomos de Silício, em (b) sendo atingido por fótons, (c) os fótons atingem os elétrons da ligação covalente esses saem e formam buracos, que são preenchidos por elétrons da vizinhança, criando uma mobilidade de elétrons. Em (d) simulando que o aquecimento cria a agitação térmica tirando os elétrons de sua posição, criando mobilidade de elétrons na rede cristalina.



Fonte: [https://www.vascak.cz/data/android/physicsatschool/template.php?s=pol\\_generace&l=pt](https://www.vascak.cz/data/android/physicsatschool/template.php?s=pol_generace&l=pt). Acesso em: 8 nov 2022.

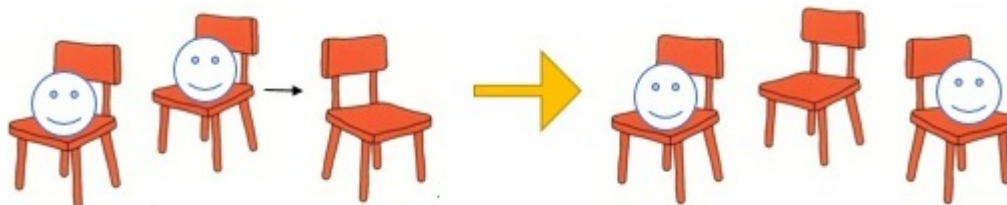
Para complementar a representação dos “buracos” e da mobilidade de elétrons durante a passagem de um elétron da banda de valência para a banda de condução em semicondutores - um processo que ocorre pela incidência de fótons – podemos usar uma atividade prática com os(as) alunos(as) utilizando cadeiras. O objetivo principal desta atividade é que os(as) alunos(as) compreendam essa mobilidade de elétrons de forma intuitiva e prática.

Considerando uma turma de alunos(as) contendo 21 alunos(as), ou misto. O(A) docente posiciona 20 cadeiras em forma de circular pela sala, simbolizando os “buracos”. Os 21 alunos(as) representarão os elétrons, que se moverão para preencher esses “buracos”. Ao comando docente, os(as) alunos(as) precisarão sair de sua posição e ocupar as cadeiras vizinhas. O(A) aluno(a) que não encontrar uma cadeira livre deve permanecer de pé, representando o elétron, caminhar em sentido contrário ao dos “buracos”.



O(A) docente repetirá esse processo, pedindo que um “elétron” (aluno(a)) saia do “buraco” (cadeira) e que os(as) outros(as) alunos(as) passem para a cadeira ao lado. Como ilustrado na imagem da Figura 2.36.

Figura 2.36 – Desenho de alunos(as) representando elétrons e “buraco” (cadeira vazia). Quando um(a) aluno(a) muda de cadeira abre um “buraco”.



Fonte: Elaborado pela autora T. L. A. Astrath.

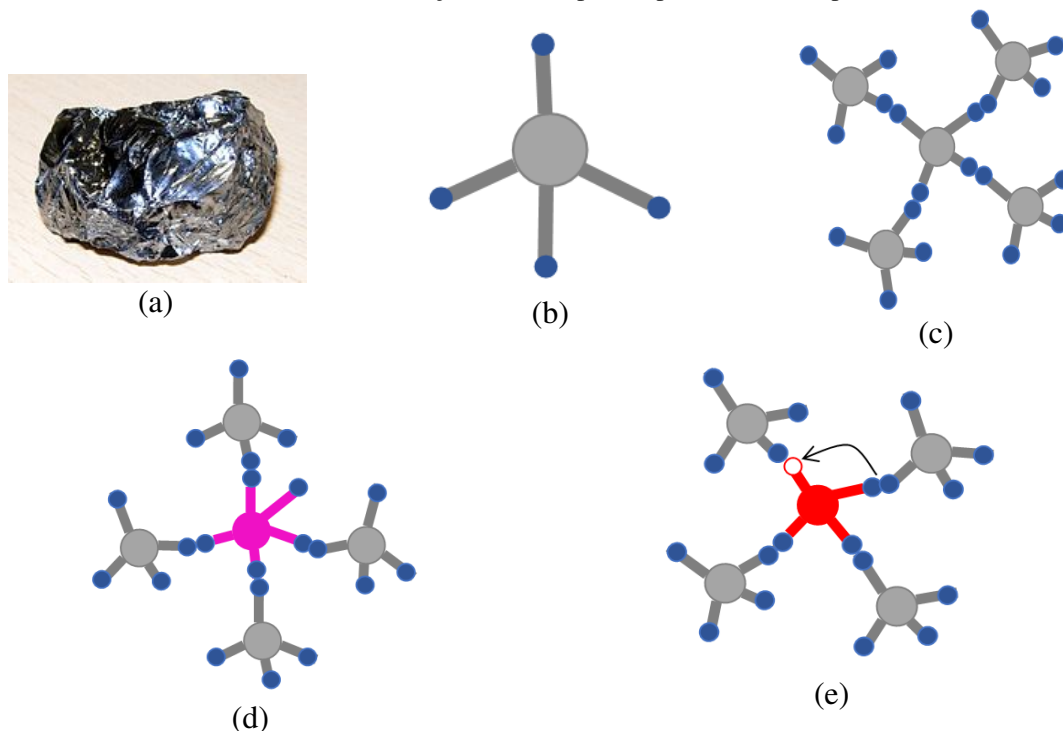
Ao final, o(a) docente deve relacionar o movimento dos “elétrons” (no caso, dos(as) alunos(as)), com a criação de novos “buracos”, que são preenchidos pelos “elétrons” da vizinhança. É fundamental enfatizar que essa movimentação é o que causa o fluxo de elétrons no material e, conseqüentemente, corrente elétrica.

Uma das formas de se aprender é questionando. Mas como podemos melhorar a eficiência desses tipos de materiais? Para entender isso, vamos usar um vídeo disponível no *YouTube*: [https://www.youtube.com/watch?time\\_continue=250&v=w14cvydBC8g&feature=emb\\_log](https://www.youtube.com/watch?time_continue=250&v=w14cvydBC8g&feature=emb_log) o.

O Silício (Si) é um material de cor azul acinzentado, que apresenta um brilho metálico (Figura 2.37 (a)). Na natureza, ele é encontrado em diversos compostos, sendo o segundo elemento mais presente na crosta terrestre, equivalente a 28% de sua massa (o primeiro é o oxigênio). Geralmente, o silício aparece na forma de dióxido de silício (sílica), em argilas, quartzo, areia, entre outros, e também como silicatos (compostos que contêm silício, oxigênio e metais). Quanto à sua estrutura, pode ser amorfo (com aspecto de pó de cor parda) ou cristalino. Uma curiosidade é a coloração em quartzos ( $SiO_2$ ) - uma sílica quase pura, como a ametista (cor lilás), e o citrino (cor amarelada).

Em relação à sua composição, o átomo de silício forma 4 ligações (Figura 2.37 (b)), e possui um elétron (indicado em azul) em cada ligação na sua última camada de valência. Por meio de ligações covalentes, esses elétrons se conectam a outros quatro átomos de silício vizinhos, um em cada extremidade (Figura (c)).

Figura 2.37 – (a) Imagem fotográfica do Silício; Ilustração da (b) estrutura molecular do Silício, (c) arranjo molecular; (d) inserção de um dopante tipo N, e em (e) tipo P.



Fonte: Wikipedia, (b) a (e) H. Mukai baseado no vídeo

[https://www.youtube.com/watch?time\\_continue=250&v=w14cvydBC8g&feature=emb\\_logo](https://www.youtube.com/watch?time_continue=250&v=w14cvydBC8g&feature=emb_logo). Acesso em: 15 nov 2022.

Os elétrons que estão na banda de valência nas ligações covalentes (compartilhamento de um ou mais elétrons entre átomos) precisam absorver energia para ir para a banda de condução. Ao fazer isso, um elétron livre se torna disponível para conduzir energia.

Como já mencionado o silício puro tem baixa condutividade de energia. Para aumentá-la, um átomo pentavalente (como por exemplo, o fósforo) é inserido no material. Esse átomo possui um elétron extra em sua órbita mais externa, que se torna um elétron livre. Esse elétron pode, então, transitar livremente pelo sistema, criando uma carga negativa em excesso. Por isso, esse tipo de dopagem é chamado do tipo N, representado na Figura 2.37 (d) no plano.

Outra opção é a dopagem que, em vez de ter elétrons livres, cria uma falta de elétrons (tenha excesso de prótons), ou seja, “buracos”. Isso é feito com moléculas trivalentes. Nesses casos, um elétron pode saltar de sua vizinhança para preencher um “buraco”, deixando vago um novo “buraco” onde ele estava. Outro elétron pode então vir e preencher esse novo “buraco” e, assim por diante. Esse processo permite a mobilidade dos elétrons nos “buracos”. Esse tipo de dopagem é chamado de tipo P, ilustrado na Figura 2.37 (e) no plano.



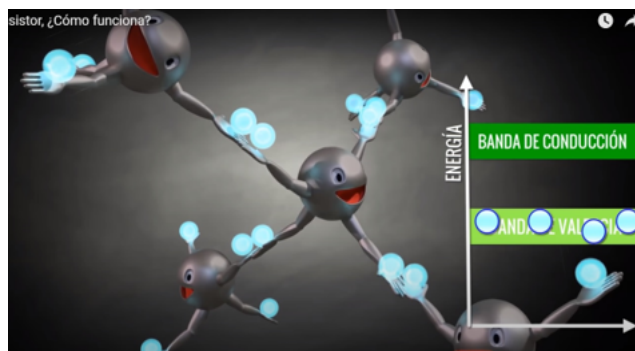
Sugere-se neste ponto, a apresentação do vídeo da Lesics Española, com duração 1:21 (especificamente do minuto 1:02 ao 2:23), o vídeo oferece ilustrações criativas para explicar visualmente esses dois processos de dopagem tipo N e tipo P em semicondutores, como apresentado algumas etapas na Figura<sup>9</sup> 2.38,

- (a) Um átomo de silício com seus elétrons (em azul);
- (b) As ligações covalentes e elétrons na camada de valência completos;
- (c) A inserção de um dopante tipo N, um átomo pentavalente (fósforo) que resulta em um elétron livre (apontado com uma seta na imagem). Esse elétron pode se mover livremente pela rede;
- (d) A introdução de um dopante tipo P em (b), no caso, uma molécula trivalente (Boro). Isso cria uma vacância (“buraco”), representada pelo círculo em verde. Um elétron vizinho pode saltar para esse “buraco”, deixando um novo “buraco” em sua posição original. Esse processo se repete, permitindo a mobilidade dos elétrons e, conseqüentemente, esse processo continua por toda a rede;
- (e) os buracos também podem se mover em direção ao elétron;

Figura 2.38 – Cópia de tela do vídeo de partes do vídeo disponibilizado pela Lesics Española, 2018. (a) um átomo de Silício com 4 elétrons na sua camada de valência, (b) cada átomo se liga a outros quatro átomos formando uma molécula; (c) dopando com um átomo pentavalente (Fósforo)- tipo N – 1 elétron livre; (d) dopando com um átomo trivalente (Boro) – tipo P – uma vacância (buraco); (e) buracos se movem.

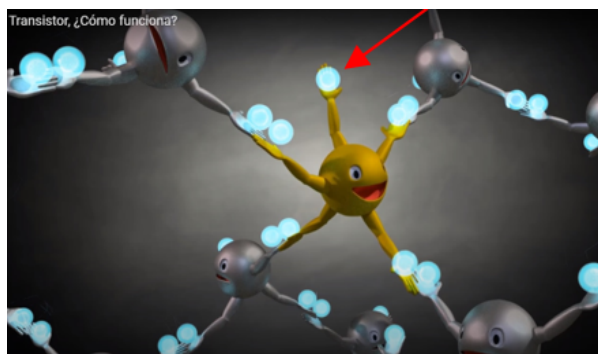


(a)

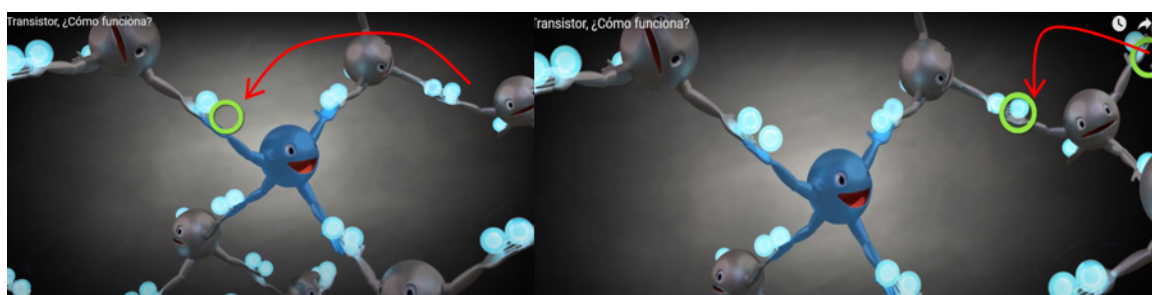


(b)

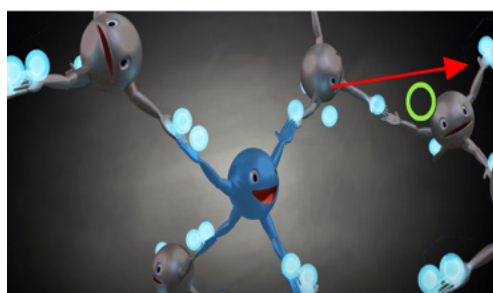
<sup>9</sup> A reprodução de imagens nesse trabalho é somente para fins didáticos, solicitamos que sempre assistam o vídeo e citem sempre a fonte original dos autores que o disponibilizaram, empresa Lesics Española, <https://www.youtube.com/watch?v=w14cvydBC8g&t=250s> no ano de 2018. Registramos os agradecimentos a empresa por um vídeo criativo e claro na explicação do diodo e transistor.



(c)



(d)



(e)

Fonte: <https://www.youtube.com/watch?v=w14cvydBC8g&t=250s>. Acesso em: 20 nov 2022

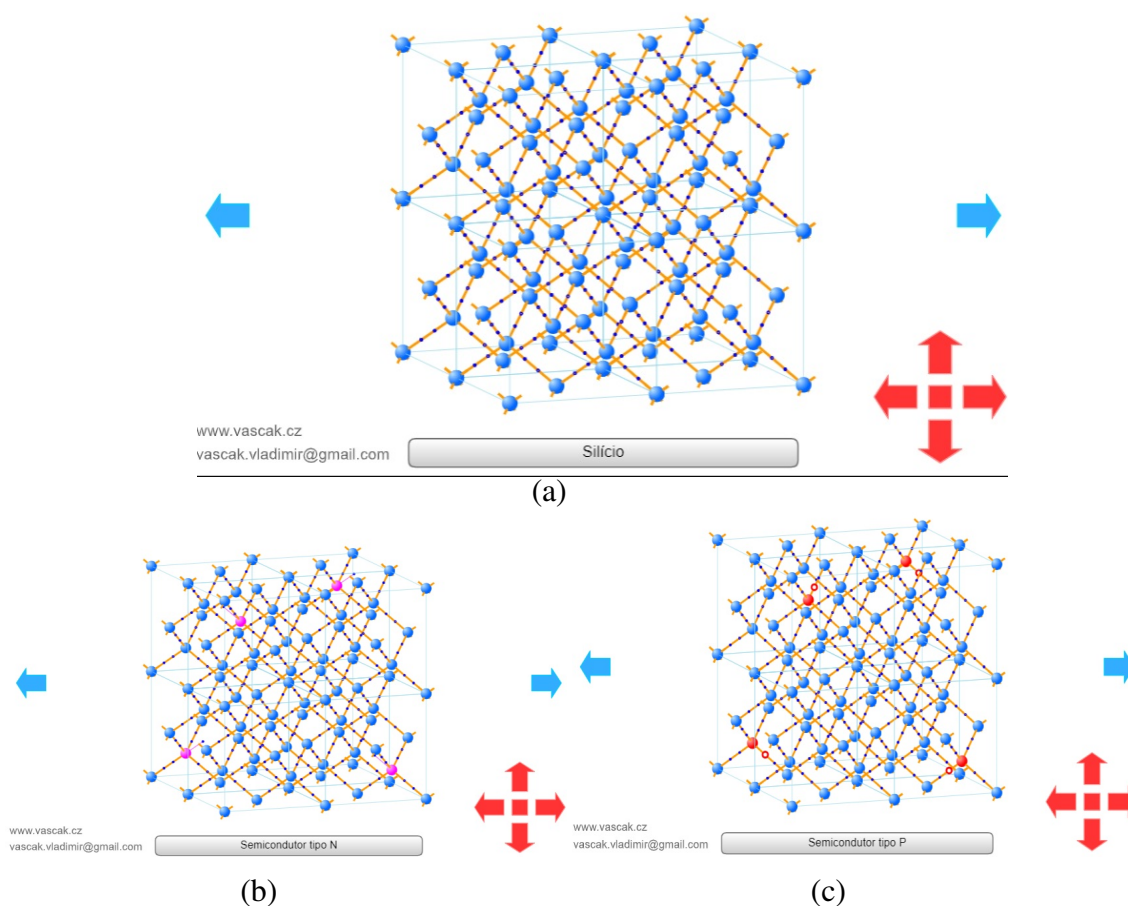
Para observar uma simulação em uma rede cristalina do silício, será utilizado o simulador “Semicondutores” em “*Physics at School*”, disponível em: [https://www.vascak.cz/data/android/physicsatschool/template.php?s=pol\\_polovodice&l=pt](https://www.vascak.cz/data/android/physicsatschool/template.php?s=pol_polovodice&l=pt).

Na Figura 2.39 apresenta-se:

- Em (a) o silício em seu estado puro (sem impurezas).
- Em (b) o silício dopado com dopantes tipo N;
- Em (c) o silício dopado com dopantes tipo P.

Nesse simulador, é possível rotacionar a rede cristalina clicando nas setas vermelhas, o que permite visualizá-la de diferentes ângulos.

Figura 2.39 – (a) cópia de tela do simulador “semicondutor” (*Physics at School*,) representando uma rede cristalina do Silício. Em (b) a rede dopada com molécula tipo N e em (c) tipo P.



Fonte: [https://www.vascak.cz/data/android/physicsatschool/template.php?s=pol\\_polovodice&l=pt](https://www.vascak.cz/data/android/physicsatschool/template.php?s=pol_polovodice&l=pt). Acesso em: 21 nov 2022.

No simulador principal (Figura 2.39), é possível alterar o tipo de dopagem seguindo a sequência de imagens da Figura 2.39 de (a) para (b) e depois para (c), simplesmente clicando sobre o nome na parte inferior da imagem. Para visualizar a rede cristalina no plano (bidimensional) clique nas setas em azul para a direita ou esquerda. É importante notar que embora essa funcionalidade permite observar a mesma sequência para a rede tridimensional (clicando no quadro em cinza na parte inferior do simulador), não é possível observar a mobilidade dos elétrons.

Para compensar essa limitação e demonstrar a mobilidade, sugerimos um simulador adicional, também desenvolvido pelo mesmo autor, focado especificamente na dopagem do tipo P. Antes de apresentar sobre esse simulador, é importante informar que os semicondutores são classificados em duas categorias principais;

- **Intrínsecos:** Referem-se a rede cristalina pura, sem impureza (como ilustrados nas imagens da Figura 2.39 (a)). Exemplos são o silício (Si) e o germânio (Ge) em seu

estado de alta pureza. Assim a sua condutividade é determinada apenas pela sua estrutura eletrônica inerente e pela temperatura. A baixas temperaturas (próximo ao zero absoluto, eles se comportam como isolantes. Conforme a temperatura se eleva, alguns elétrons da banda de valência ganham energia suficiente para saltar para a banda de condução, criando elétrons livres e “buracos” na banda de valência. Nesses materiais o número de elétrons livres é sempre igual ao número de “buracos” na banda de valência. Sua condutividade é relativamente baixa e difícil de controlar, o que a torna de pouca utilidade prática em sua forma pura para a maioria de aplicações eletrônicas.

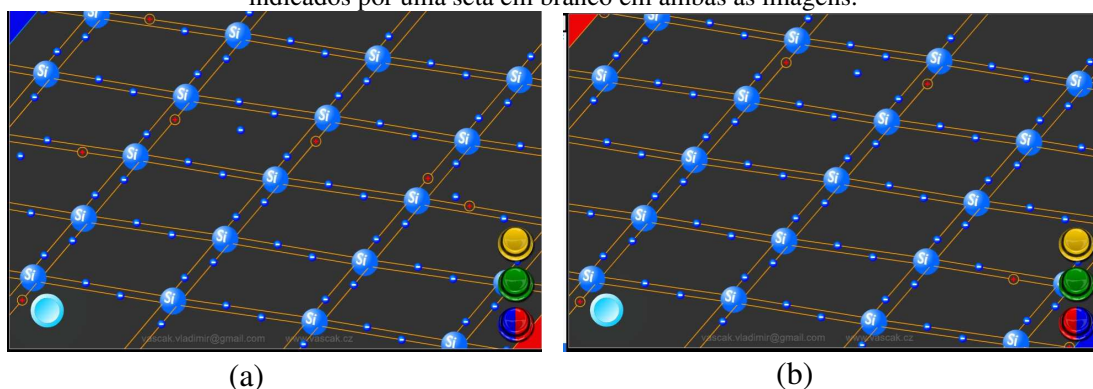
- Extrínsecos. São os semicondutores intrínsecos que teve sua condutividade alterada e controlada pela adição intencional de uma pequena quantidade de átomos de impureza, ou seja, os dopados. Incluem os do tipo N (Figura 2.39 (b)) ou os do tipo P (Figura 2.39 (c)). Que são os que veremos por meio do simulador a seguir.

Na Figura 2.40 é apresentado uma cópia de tela do simulador “semicondutor intrínseco”, disponível em:

[https://www.vascak.cz/data/android/physicsatschool/template.php?s=pol\\_pohyb\\_der&l=pt](https://www.vascak.cz/data/android/physicsatschool/template.php?s=pol_pohyb_der&l=pt).

Este simulador é específico para um semicondutor intrínseco com dopagem do tipo P e permite a mudança de polaridade. Na imagem (a) os elétrons se movem da esquerda para a direita, e na imagem (b) da direita para a esquerda. Essa mudança é controlada clicando no botão de cor vermelha/azul.

Figura 2.40– Cópia de tela do simulador “semicondutores intrínsecos” (*Physics at School*). Rede Cristalina do Si dopados tipo P, os elétrons (a) movem-se da esquerda para a direita e em (b) da direita para a esquerda, indicados por uma seta em branco em ambas as imagens.



Fonte: [https://www.vascak.cz/data/android/physicsatschool/template.php?s=pol\\_pohyb\\_der&l=pt](https://www.vascak.cz/data/android/physicsatschool/template.php?s=pol_pohyb_der&l=pt) . Acesso em: 21 nov 2022.

Observe, no simulador representado na Figura 2.40, que em (a) e (b) os buracos positivos (em vermelho) são preenchidos pelos elétrons (em azul). Esse preenchimento faz com que novos

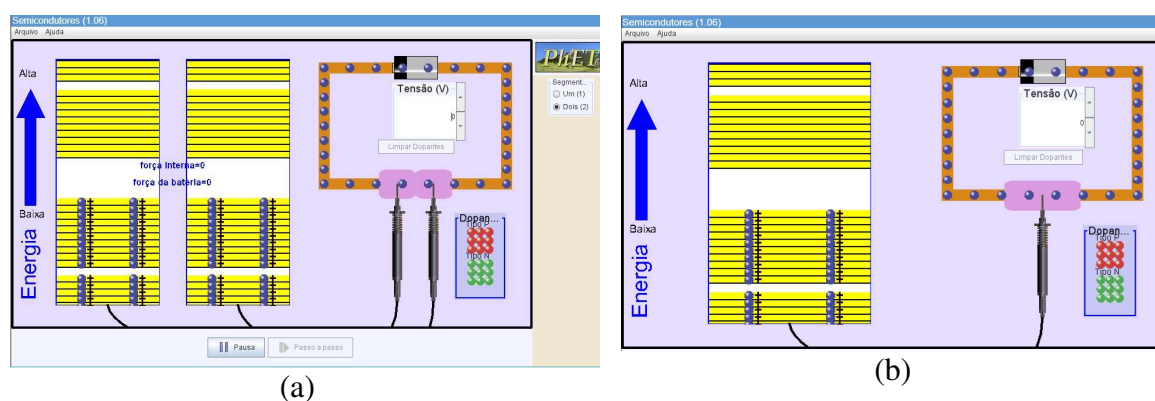
buracos surjam, e o processo continua, similar ao que foi apresentado para 4 átomos na Figura 2.35 (e).

Até o momento, foi apresentado como ocorre o processo de mobilidade dos elétrons e como, ao expor um material semicondutor à luz visível, ocorre o surgimento de uma corrente (e consequentemente uma tensão elétrica). Esse fenômeno é conhecido como efeito fotovoltaico. No caso do simulador “condutividade”, apresentada nas Figuras 2.31 a 2.34, foi demonstrado o comportamento de um material fotocondutor.

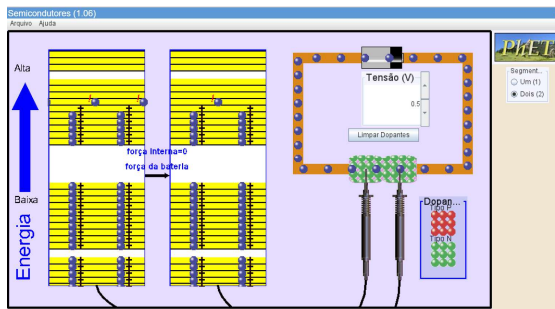
Para compreender o processo que ocorre em um material semicondutor em termos das bandas de energia, sugere-se o uso do simulador “Semicondutores” disponibilizado pelo PhET, da Universidade de Colorado, disponível para no site: [https://phet.colorado.edu/pt\\_BR/simulation/legacy/semiconductor](https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulation/legacy/semiconductor).

Como ilustrado nas imagens da Figura 2.41, nesse simulador é possível mudar o tipo de material semicondutor e observar o que ocorre com os elétrons nos níveis de energia, tanto com dopantes do tipo P quanto do tipo N. Em processos que envolve muitos átomos, os elétrons livres ganham mobilidade no material. A letra *f*, presente nas imagens da Figura 2.41 vem da palavra *free* em inglês, que significa “livre”.

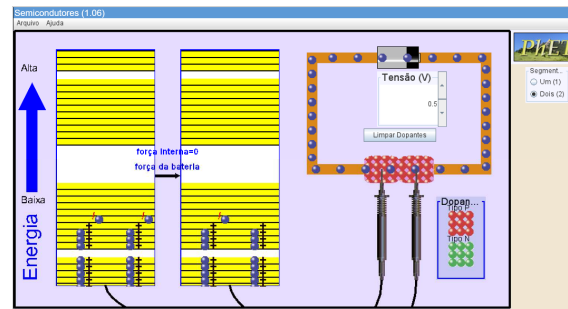
Figura 2.41 - Cópias de tela do simulador “supercondutividade” (PhET). Apresenta-se em (a) a página inicial com 2 segmentos e em (b) com 1 segmento e tensão nula; (c) e (e) dois dopantes tipo N com 0,5 V e 4 V respectivamente; (d) e (f) dois dopantes tipo P com 0,5 V e 4 V respectivamente; (g) dopante tipo N e (h) dopante tipo P, com dois segmentos, 1,5 V; (i) 1,5 V dopante N-P e (j) 0 V, dopante P-N, também com dois segmentos.



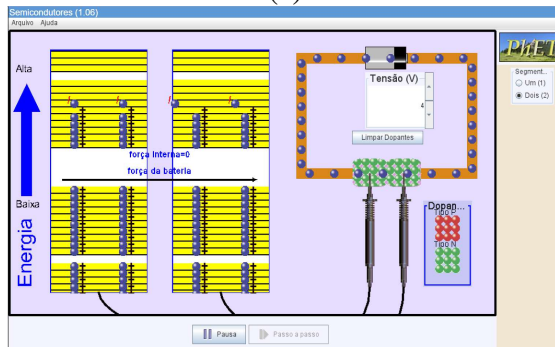




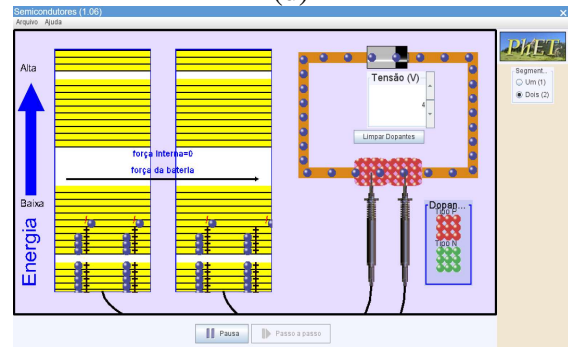
(c)



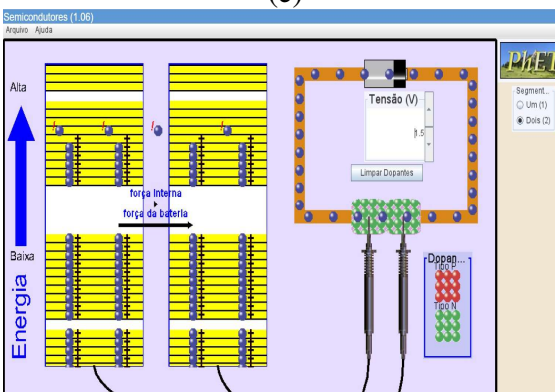
(d)



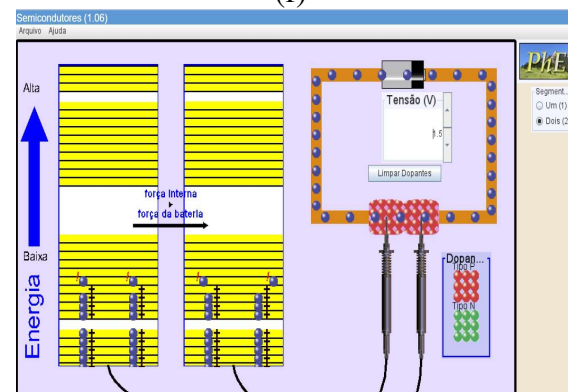
(e)



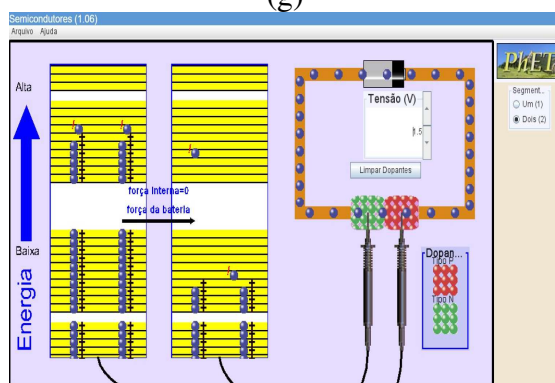
(f)



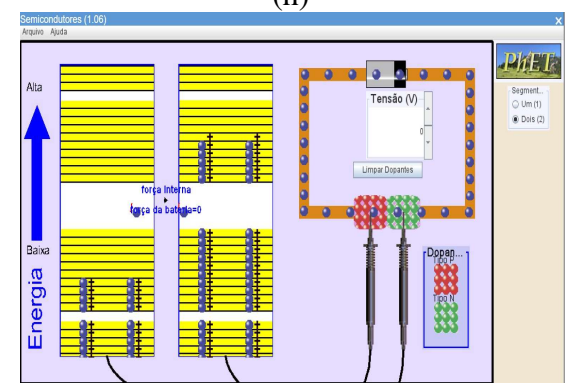
(g)



(h)



(i)



(j)

Fonte:

[https://phet.colorado.edu/sims/cheerj/semiconductor/latest/semiconductor.html?simulation=semiconductor&locale=pt\\_BR](https://phet.colorado.edu/sims/cheerj/semiconductor/latest/semiconductor.html?simulation=semiconductor&locale=pt_BR). Acesso em: 8 nov 2022.

Para melhorar a eficácia do material semicondutor e permitir sua aplicação em dispositivos eletroeletrônicos e outros, utilizam-se dopantes por meio de um processo conhecido como difusão (Astrath, 2015).

Quando são utilizados dopantes do tipo N, percebe-se a presença de elétrons livres na banda de condução (Figura 2.41 (c), (e) e (g)). O oposto ocorreu ao se utilizar dopantes tipo P (Figura 2.39 (d), (f) e (h)) os elétrons ocupam a banda de valência que não está totalmente preenchida por elétrons, resultando na formação de “buracos”.

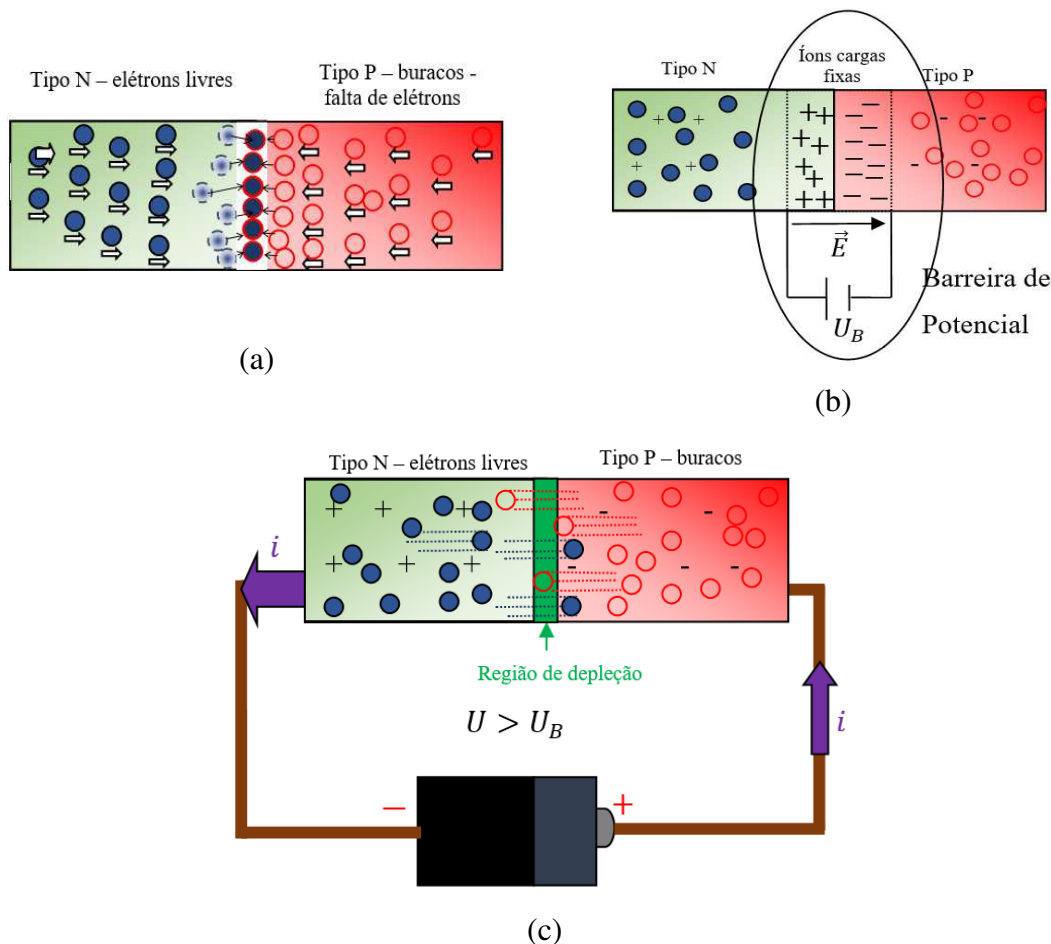
Quando um material semicondutor dopado está sob tensão elétrica, como pode ser observado nas imagens (Figura 2.41 de (c) a (g)), um campo elétrico é criado no material, exercendo força externa sobre os elétrons livres. Esses elétrons, ao ganharem energia suficiente para superar a barreira de potencial, movem-se da região com dopagem tipo N para a região com dopagem tipo P, ou seja, de uma região com excesso de elétrons para outra com falta de elétrons (“buracos”).

Ao conectar um material semicondutor com duas regiões tipo P (Figura 2.41 (d), (f) e (h)), a força externa, ou a força da bateria, é proporcional a tensão aplicada. Nesse caso, ambas as regiões apresentarão “buracos”. O mesmo acontece ao conectar um material semicondutor com dois tipos N (Figura 2.41 (c), (e) e (g)), porém ambas as regiões apresentarão excesso de elétrons.

O processo mais comum em dispositivos é a união de um material dopado com impurezas do tipo P, e do outro lado soldadas ao material dopado com impurezas do tipo N, como ilustrado na Figura 2.41 (i) e (j). Como no material do tipo P possui “buracos” na rede e o do tipo N elétrons livres, ocorre espontaneamente uma difusão de elétrons livres e “buracos” na região da junção: os elétrons livres da vizinhança preenchem os “buracos” próximos, conforme ilustrado na Figura 2.42 (a).

Após algum tempo, atinge-se um equilíbrio entre os cátions e ânions (cargas fixas), gerando uma área denominada de zona de depleção (Figura 2.42 (b)). Essa zona se forma devido a um campo elétrico criado pelos íons positivos e negativos deixados pelas impurezas dopantes somente com a tensão  $U_B$ . A força elétrica desse campo atua de forma oposta ao movimento dos elétrons livres quanto dos “buracos”, impedindo o processo de difusão.

Figura 2.42 – Ilustração do processo de condutividade em um material semiconductor (a) da zona de depleção entre os dopantes do tipo P e do tipo N, com os elétrons livres se aniquilando com os buracos vizinhos de forma espontânea; (b) barreira formada após a saturação pelos íons dos dopantes gerando um campo elétrico com tensão  $U_B$ ; e (c) Junção PN, terminais P e N submetidos a uma tensão  $U$  fornecendo energia aos buracos e elétrons a ultrapassar a barreira de potencial, caso do Diodo.



Fonte: H. Mukai, baseada no texto.

Na Figura 2.41 (c), os terminais P e N são submetidos a uma tensão externa  $U$  fornecendo energia aos “buracos” e elétrons para ultrapassarem a barreira de potencial. Quando  $U > U_B$ , gera-se uma corrente de grande intensidade. O que acontece é que quando o elétron preenche o “buraco” (à sua esquerda, ou à direita do leitor), é como se o “buraco” se movesse no sentido oposto. No entanto, é o elétron que se move, preenchendo um “buraco”, e deixando seu local de origem vazio, que, por sua vez, será preenchido por outro elétron, e assim o processo continua.

Observa-se que na etapa do simulador do PhET apresentado por meio da Figura 2.40 (f) que, quando a força interna é nula e a externa é máxima, há elétrons livres se movendo por terem superado a barreira de potencial. Isso é fundamental para o funcionamento do dispositivo



eletrônico denominado Diodo<sup>10</sup>, conforme foi descrito anteriormente e ilustrado nas etapas apresentadas na Figura 2.41.

Esse processo confere ao material uma condutividade suficiente para uso em equipamentos eletrônicos, como diodos, *LEDs*, transistores, entre outros. Para uma demonstração visual sobre o que ocorre além dos diodos como já apresentado, sugerimos apresentar o restante do vídeo <sup>11</sup> “*Transistor; Cómo funciona?*” disponível em <<https://www.youtube.com/watch?v=w14cvydBC8g&t=250s>> que também trata sobre os transistores.

Durante a implementação do PE e a análise das respostas dadas pelos(as) alunos(as), sentimos que faltou um experimento envolvendo o diodo e LEDs para que os(as) alunos(as) compreendessem de forma mais clara o papel do semicondutor em seu interior.

Por isso, no Apêndice II, disponibilizamos um material complementar: um circuito simples com LEDs e um transistor. Este material visa possibilitar a exploração da compreensão de uma das funções desses componentes em um circuito elétrico.

Após essa abordagem do processo de dopagem e sua aplicação em diodos, e compreendermos como os semicondutores se comportam na presença de uma diferença de potencial externa, vamos apresentar a abordagem do efeito fotovoltaico nas Placas Solares (fotovoltaicas).

No Quadro 2.9, disponibilizamos um texto explicativo sobre o efeito fotovoltaico como um material para o(a) aluno(a). Esse material também pode ser utilizado pelo(a) docente para conduzir as explicações e os esclarecimentos, além de propor a dinâmica da “dança das cadeiras” e guiar os(as) alunos(as) na compreensão do papel da energia solar no efeito fotovoltaico. A disponibilização está deslocada para as páginas seguintes de forma que o(a) docente possa fazer a cópia e dentro do contexto do PE.

---

<sup>10</sup> Um diodo é um componente eletrônico que permite que o fluxo de corrente elétrica ocorra em apenas um sentido, funcionando como uma válvula unidirecional. Entre suas principais funções em um circuito está o de retificação (converter CA em CC), proteção de inversão de polaridade e sobretensões e controle (direcionar o fluxo de corrente). Ele é composto de dois terminais: ânodo e cátodo, e a corrente somente flui do ânodo para o cátodo, devido a sua estrutura interna ser feita de materiais semicondutores. Há diversos tipos de Diodo, incluindo o LED como será apresentado posteriormente. Referência: Oliveira, T., 2021. “Diodos: o que são, como funcionam e pra que servem!”. Disponível em: < <https://eltgeral.com.br/diodos-tudo-o-que-voce-precisa-saber/>>. Acesso em: 12 mar 2025.

<sup>11</sup> Em maio de 2025, ao verificar os links disponibilizados esse vídeo não estava mais disponibilizado pela Lesics Española e sim pela Sabis Ingeniería Civil.

Quadro 2.9 – Texto 2.5 explicativo sobre o efeito fotovoltaico destinado aos(às) alunos(as) e/ou ao(a) docente.

**Texto 2.5 - EFEITO FOTOVOLTAICO**  
T. L. A. Astrath, H. Mukai e M. J. B. Ferreira

Em 1839, o físico francês Edmond Becquerel verificou pela primeira vez o efeito fotovoltaico, quando mergulhou numa solução eletrolítica placas metálicas, de platina ou prata, ele constatou que produziam uma pequena diferença de potencial quando expostas à luz (Loschi, 2017).

Charles Fritts, em 1880, desenvolveu os primeiros painéis solares (fotovoltaicos), de estado sólido e a primeira célula solar (fotovoltaica) feita de um material semicondutor, o selênio. No entanto, a eficiência era inferior a 1%.

Em 1954, três cientistas do laboratório Bell Labs, - Calvin Fuller, Gerald Pearson e Daryl Chapin - criaram painéis solares utilizando junções P-N de silício, atingindo uma eficiência de aproximadamente 6%. Isso os tornou viáveis para aplicações práticas e impulsionou as comunicações via satélite (Lima, *et al.*, 2020). A partir de então, a utilização e comercialização de placas fotovoltaicas cresceram exponencialmente em diversos ramos.

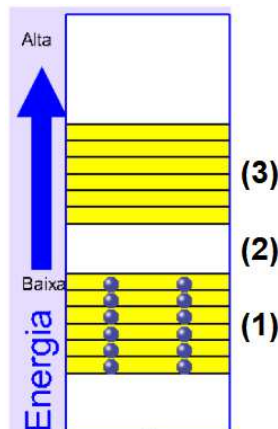
O efeito fotovoltaico está relacionado à incidência de luz em um material semicondutor, gerando eletricidade. Dessa forma, “um dispositivo capaz de converter a luz diretamente em energia elétrica, através da produção de uma tensão e uma corrente elétrica sob iluminação, é denominado célula fotovoltaica” (Lima, *et al.*, 2020, p. 1).

É importante notar que, diferente da luz que incide em uma placa metálica e ejeta um elétron para se propagar entre duas placas condutoras, como ocorre no efeito fotoelétrico, no efeito fotovoltaico a luz (fótons) incide sobre um material semicondutor e o processo de geração de corrente ocorre dentro do próprio material.

Uma forma intuitiva de entender esse processo é por meio de uma comparação com a “dança das cadeiras”.

As células fotovoltaicas são constituídas de um material semicondutor em que temos uma banda de valência (1) preenchida por elétrons, um *gap* intermediário (2) entre um condutor e um isolante e uma banda de condução vazia (3), conforme ilustra a Figura 1.

Figura 1- Cópia de parte da tela de parte do simulador “Condutividade” (PhET) disponibilizada pela Universidade de Colorado.

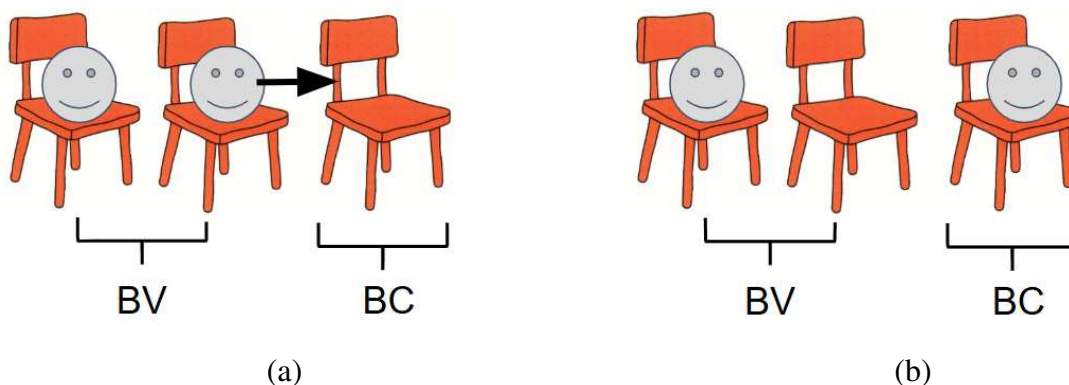


Fonte: Adaptado de:

[https://phet.colorado.edu/sims/cheerpj/conductivity/latest/conductivity.html?simulation=conductivity&locale=pt\\_BR](https://phet.colorado.edu/sims/cheerpj/conductivity/latest/conductivity.html?simulation=conductivity&locale=pt_BR). Acesso em: 03 fev 2025.

Mas, é possível que os elétrons saltem para a banda de condução ao receber energia e isso acontece por meio da incidência de luz. Dessa forma, podemos relacionar esse processo com uma fila de cadeiras parcialmente ocupada por pessoas, representando um material semiconductor. As cadeiras inicialmente ocupadas por pessoas simbolizam a banda de valência, preenchida pelos elétrons, e as cadeiras livres representam a banda de condução, inicialmente desocupadas, Figura 2 (a).

Figura 2 – Comparação da banda de valência e de condução de um material semiconductor por meio da representação de cadeiras (buracos) e elétrons (pessoas).



Fonte: T. L. A Astrath, imagens da cadeiras adaptada de

<https://br.pinterest.com/pin/215609900886542202/>. Acesso em: 03 fev 2025.

Agora, suponha que uma das pessoas receba um impulso (energia) e se levante para ocupar a cadeira vazia bem à sua frente. Esse movimento ilustra um elétron que, ao absorver

energia de um fóton, salta da banda de valência para a banda de condução deixando um “buraco” na banda de valência. Esse “buraco” (ausência de elétron) pode, então, ser preenchida pelo elétron vizinho. Nessa comparação, isso faz com que as pessoas da fileira se movam sucessivamente para ocupar os espaços vazios, como apresentado na Figura 2 (b).

Agora, imagine um espaço em que acontece uma dança das cadeiras. No início, há um equilíbrio em que cada pessoa está sentada em uma cadeira, sem espaços vazios e sem ninguém de pé. Esse é o estado inicial de um material semiconductor puro.

Porém, para deixar a dança mais dinâmica e movimentada, são adicionadas mais cadeiras e pessoas. Esse seria o análogo ao processo de dopagem em um semiconductor para aumentar sua condutividade elétrica:

- A adição de pessoas representa a dopagem tipo N (adição de átomos pentavalentes gerando elétrons livres no material).
- A adição de cadeiras representa a dopagem tipo P (adição de átomos trivalentes que criam “buracos” que facilitam o deslocamento dos elétrons).

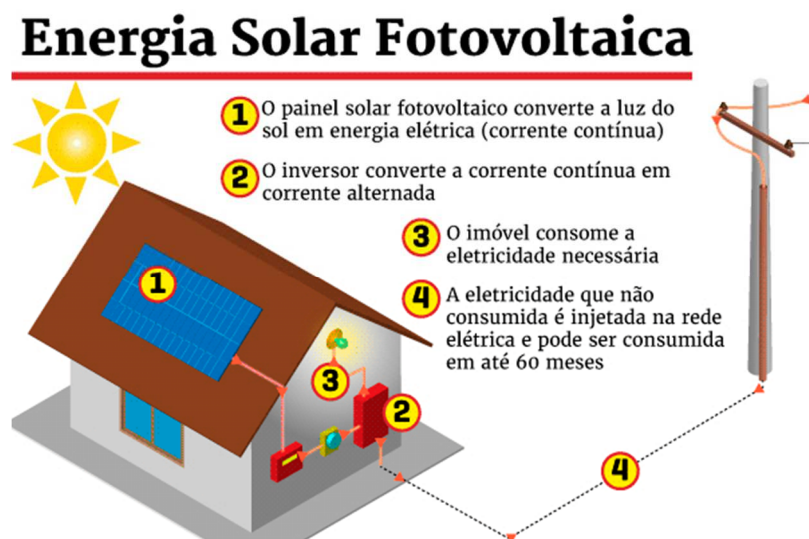
Quando colocamos as cadeiras e as pessoas juntas em um mesmo espaço, formamos a junção PN, ou seja, a união de um material dopado tipo P com um material dopado tipo N. Mas inicialmente, as pessoas de pé começam a se sentar nas cadeiras vazias e não há movimento. Essa é a zona de depleção que ocorre em uma junção PN em uma célula fotovoltaica: uma área onde os elétrons e buracos se neutralizam, dificultando o movimento e criando uma barreira de potencial que precisa ser superada.

Para que a dança comece, precisamos de um estímulo, algo que forneça energia para que as pessoas levanten de suas cadeiras e comecem a se mover para outras. Neste caso, sugere-se começar a tocar uma música bem “dinâmica”. No caso da célula fotovoltaica, essa “música” é a luz solar, que fornece a energia necessária para os elétrons, criando assim pares de elétron-“buraco”. O campo elétrico da junção, então, separa essas cargas, criando uma diferença de potencial que permite o fluxo de elétrons e, conseqüentemente, de corrente elétrica.

Na prática, o que acontece é que os painéis compostos por células fotovoltaicas transformam energia solar em energia elétrica por meio do efeito fotovoltaico. A energia inicialmente é gerada em corrente contínua (CC), um inversor converte essa corrente

contínua em corrente alternada (CA), que é a utilizada para o consumo, por exemplo em uma residência. A energia excedente é injetada na rede elétrica, e o consumidor tem até 60 meses para utilizá-lo (regra da ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica) no Brasil)), conforme explicado na Aula 1. A Figura 3, ilustra como esse processo ocorre em um sistema fotovoltaico residencial.

Figura 3 - Ilustração em gif sobre o funcionamento de uma placa fotovoltaica instalada em uma residência.



Fonte: <https://pandasolar.com.br/como-funciona/>. Acesso em: 03 fev2025.

## REFERÊNCIAS

LIMA, A. A. et. al. Uma revisão dos princípios da conversão fotovoltaica de energia. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, vol. 42, 2020. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/rbef/a/zmFYrhnnhLQ8dMHk7CDmSfs/?lang=pt>>. Acesso em: 22 jul 2023.

LOSCHI, H. J., Compreendendo um sistema fotovoltaico. **ResearchGate**, 2017. Disponível em: <[https://www.researchgate.net/profile/Hermes-Jose-Loschi/publication/322578530\\_Compreendendo\\_um\\_sistema\\_fotovoltaico/links/5a60bd0f45851517c7aeeda7/Compreendendo-um-sistema-fotovoltaico.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Hermes-Jose-Loschi/publication/322578530_Compreendendo_um_sistema_fotovoltaico/links/5a60bd0f45851517c7aeeda7/Compreendendo-um-sistema-fotovoltaico.pdf)>. Acesso em: 22 jul 2023.

Fonte: Os autores.

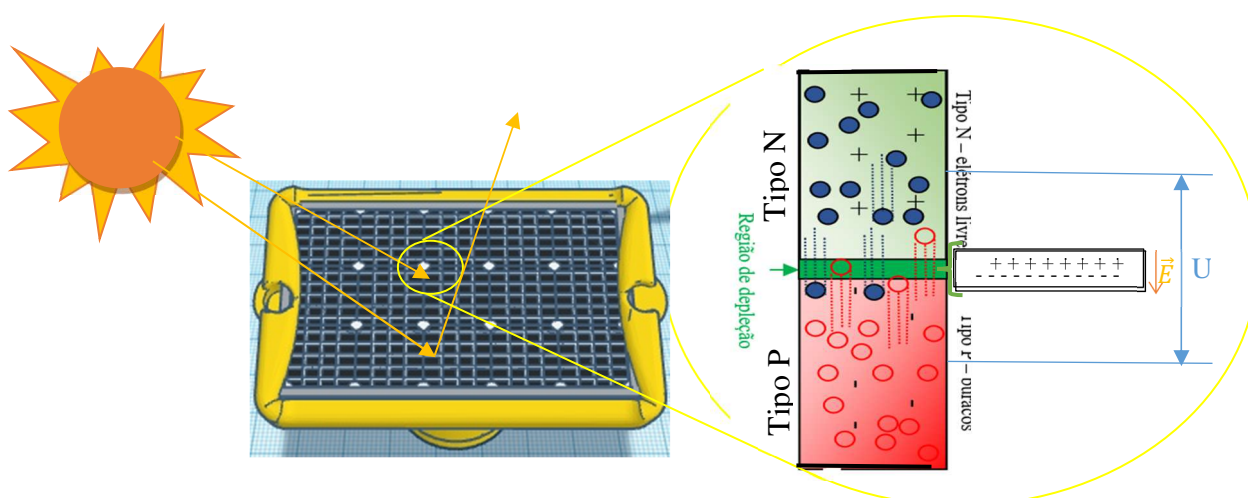
Para completar o que foi apresentado até agora, descreve-se a seguir detalhadamente como a “música” citada no texto age, “olhando” para a estrutura da célula fotovoltaica, ou seja, como é o processo que ocorre em seu interior que transforma energia solar em energia elétrica.

Em uma célula fotovoltaica, a espessura da placa de silício com dopagem tipo N é mais fina do que a da placa com dopagem tipo P. No entanto, a quantidade de dopagem na camada tipo N é maior do que na tipo P. Por conta dessas características, a região de depleção na parte do tipo P é maior do que na do tipo N.

Os fótons de alta frequência, que “vêm” da energia solar (como ilustrado na Figura 2.43), são os responsáveis por fornecer a energia para a movimentação dos elétrons livres dos átomos no interior das placas, gerando a corrente elétrica. Como a camada dopada tipo N é mais fina e a luz incide por esse lado, os fótons atingem diretamente a zona de depleção.

Ao atingir um átomo de silício, o fóton arranca um elétron, provocando um “buraco”. Esse “buraco”, por sua vez, virá a ser preenchido por um elétron de outro átomo vizinho, gerando assim elétrons livres e “buracos” na zona de depleção. Os elétrons e “buracos” se recombinam, deixando para trás íons fixos (cargas que não se movem). Esses íons positivos de um lado e negativo do outro geram um campo elétrico.

Figura 2.42 – Imagem ilustrativa indicando a luz solar incidindo sobre uma placa fotovoltaica, parte da luz refletida na placa, e parte absorvida. E em detalhe a emissão do elétron livre quando atingida pelo feixe de luz absorvido. Em destaque a movimentação dos elétrons pela atração dos elétrons devido a dopagem tipo P e os “buracos” pela dopagem tipo N. Na imagem a direita, os símbolos + e – representam os íons que geram um campo elétrico, e por causa de sua presença há uma separação de elétrons de um lado e sua deficiência (“buracos”) de outro o que gera a ddp (U).



Fonte: H. Mukai, utilizando a imagem da placa do *software* Tinkercad da Autodesk.

Devido ao campo elétrico formado ao longo da zona de depleção na junção PN, os elétrons são atraídos para o lado da dopagem tipo P, enquanto os “buracos” são atraídos para a dopagem tipo N. Essa separação de cargas resulta no acúmulo de elétrons em um terminal e de “buracos” (deficiência de elétrons) no outro. É esse acúmulo de cargas que cria uma diferença de potencial  $U$  entre os terminais da célula (como ilustrado na Figura 2.43). É essa ddp que impulsiona os elétrons a se moverem por um circuito elétrico externo conectado, gerando uma corrente elétrica. Portanto, esses movimentos no interior de uma célula fotovoltaica são cruciais para a geração de energia elétrica a partir da energia solar.

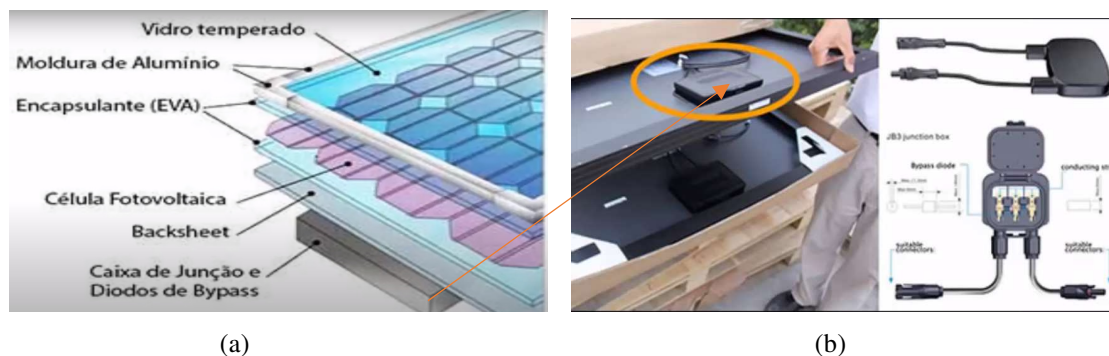
Portanto, quando um elétron é arrancado, ele se torna um elétron livre com energia suficiente para saltar da camada de valência para a de condução. E o processo se repete com outros átomos, resultando em um fluxo contínuo de elétrons da banda tipo  $N$  e de “buracos” da banda do tipo  $P$ , impulsionado pelo campo elétrico existente na junção entre as bandas. Enquanto houver luz solar incidente, esse processo de geração de corrente continua.

No entanto, é importante notar que parte da luz incidente é refletida, e nem todos os elétrons livres conseguem ir para a banda condutora, podendo ser recombinados em “buracos” da rede. Por essas razões, o rendimento de energia na maioria dos coletores residenciais varia de 15 a 20%. Uma placa fotovoltaica de um metro quadrado tem uma massa maior que 10  $kg$ , e contém 36 células fotovoltaicas conectadas em série por meio de uma faixa condutora extremamente fina, dispostas verticalmente (de cima para baixo), formando um circuito. Por fim, as placas são ligadas em série, formando um circuito em forma de uma tira.

Para saber com mais detalhes como é composto uma placa fotovoltaica, fizemos uma pesquisa na *internet* e a mais didática foi a de sites comerciais. Na Figura 2.44 (a) apresentamos uma imagem em que descrevem as partes da composição de uma placa.

Além da moldura de alumínio, as tiras das células fotovoltaicas são cobertas por uma lâmina de vidro temperado (tratado com substância antiaderente e antirreflexo), colocadas entre encapsulantes (EVA) que irão proteger as células dos raios UV que causa o envelhecimento, e também de temperaturas extremas e da umidade.

Figura 2.44– Imagens de: (a) partes de uma placa solar, (b) fita condutora no verso da célula para conectar uma célula em outra;



Fonte: (a) (portal solar, 2018). Disponível em: <https://quapro.com.br/como-funciona-o-painel-solar-fotovoltaico-placas-fotovoltaicas/> . Acesso em: 20 mar 2023 e (b) Elétrica & Cia, [s.d.]. Disponível em: <http://membros.cursoeletricaecia.com.br/projeto-painel-solar-profissional/>. Acesso em: 20 mar 2023.

Abaixo dos encapsulantes, há um filme plástico branco de espessura acentuada que possui 3 camadas, denominado de *backsheet*. Sua função é proteger os componentes internos e agir como um isolante elétrico; seu valor é em torno de 8% do valor do painel solar. Na parte de trás, está a caixa de junção, em detalhes na imagem (b), onde ficarão os cabos para acoplar as outras placas e formar uma série de painéis solares (Portal solar, 2018).

Referências de apoio:

LIMA, A. A. *et al.* Uma revisão dos princípios da conversão fotovoltaica de energia. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, vol. 42, 2020. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/rbef/a/zmFYrhnnhLQ8dMHk7CDmSfs/?lang=pt>>. Acesso em: 22 jul 2023.

LOSCHI, H. J. Compreendendo um sistema fotovoltaico. **ResearchGate** 2017. Disponível em: <[https://www.researchgate.net/profile/Hermes-Jose-Loschi/publication/322578530\\_Compreendendo\\_um\\_sistema\\_fotovoltaico/links/5a60bd0f45851517c7aeeda7/Compreendendo-um-sistema-fotovoltaico.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Hermes-Jose-Loschi/publication/322578530_Compreendendo_um_sistema_fotovoltaico/links/5a60bd0f45851517c7aeeda7/Compreendendo-um-sistema-fotovoltaico.pdf)>. Acesso em: 22 jul 2023.

Brief history of photovoltaics: P1 (1839-1954). Disponível em: <[https://www.youtube.com/watch?v=6STeF6DW\\_Kw](https://www.youtube.com/watch?v=6STeF6DW_Kw)>. Acesso em: 25 jul 2023.

PORTAL SOLAR, 2018, disponível em: <https://quapro.com.br/como-funciona-o-painel-solar-fotovoltaico-placas-fotovoltaicas/> . Acesso em: 20 mar 2023.

**Finalização:** Para finalizar, o(a) docente poderá aplicar questões do ENEM sobre os conceitos discutidos nas aulas, como uma forma de revisão dos conteúdos. Algumas sugestões de questões estão disponíveis a seguir:



**Questão 1: (ENEM/2017 Libras)** As células fotovoltaicas transformam luz em energia elétrica. Um modelo simples dessas células apresenta uma eficiência de 10%. Uma placa fotovoltaica quadrada com 5 cm de lado, quando exposta ao sol do meio-dia, faz funcionar uma pequena lâmpada, produzindo uma tensão de 5,0 V e uma corrente 100 mA. Essa placa encontra-se na horizontal em uma região onde os raios solares, ao meio-dia, incidem perpendicularmente à superfície da Terra, durante certo período do ano. A intensidade da luz solar, em W/m<sup>2</sup>, ao meio-dia, nessa região é igual a

A)  $1 \times 10^2$ .

B)  $2 \times 10^2$ .

C)  $2 \times 10^3$ .

D)  $1 \times 10^6$ .

E)  $2 \times 10^6$ .

Resposta: C.

Resolução (as autoras): O primeiro passo é descobrir a área da placa quadrada, sabendo que o lado vale 5centímetros que é equivalente a 0,05metros, descobrimos a área total:

$$\text{Área} = \text{lado}^2 = (5 \times 10^{-2})^2 = 25 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

Como a corrente elétrica vale 100mA e a tensão vale 5V, podemos descobrir a potência elétrica útil, ou seja, com uma eficiência de 10%:

$$P = i U = (100) (10^{-3})(5) = 0,5W$$

Dessa forma, a potência elétrica total que chega na placa pode ser calculada por uma regra de três simples:

$$\begin{array}{ccc} 0,5W & \text{_____} & 10\% \\ P_T & \text{_____} & 100\% \\ P_T = 5W \end{array}$$

Para determinar a intensidade da luz solar, em W/m<sup>2</sup>, basta descobrir a razão entre potência e área.

$$I = \frac{P}{A} = \frac{5W}{25 \times 10^{-4} \text{ m}^2} = 0,2 \times 10^4 \frac{W}{\text{m}^2} \text{ ou } 2000 \frac{W}{\text{m}^2} .$$

Fonte: <https://www.aio.com.br/questions/content/as-celulas-fotovoltaicas-transformam-luz-em-energia-eletrica-um-modelo>. Acesso em: 9 fev 2023.

**Questão 2: (ENEM/2021)** O Brasil possui um nível de irradiação solar tão alto que mesmo no local menos ensolarado do país é possível gerar mais eletricidade solar que no local mais ensolarado da Alemanha, que investe muito no desenvolvimento e implantação de plantas fotovoltaicas.

No ano de 2013, a quantidade de energia elétrica gerada em toda a Alemanha a partir de células solares, cuja eficiência média é de 15%, somou 30 000 GWh em uma área estimada de 170 km<sup>2</sup>. Por sua vez, no chamado cinturão solar brasileiro, a irradiação chega a atingir 2 200 kWh/m<sup>2</sup> anuais. Uma alternativa de geração de energia elétrica nessa região é a instalação de células solares como as da Alemanha, que podem abastecer milhões de residências. No Brasil, nos últimos anos, o consumo médio residencial foi da ordem de 2 000 kWh anuais.

PIERRO, B. Para aproveitar o sol. Pesquisa Fapesp, n. 258, ago. 2017 (adaptado).

O número de residências, em milhões, que poderiam ser abastecidas caso fossem instalados, no cinturão solar brasileiro, painéis solares com área e eficiência equivalentes aos utilizados na Alemanha é mais próximo de:

- A) 2,3
- B) 15
- C) 28
- D) 56,1
- E) 187

Resposta: C.

Resolução (as autoras): Sabendo que no cinturão solar brasileiro, a irradiação chega a atingir 2200 kWh/m<sup>2</sup> e a área estimada é de 170 km<sup>2</sup> ou 170 × 10<sup>6</sup> m<sup>2</sup>, podemos calcular quanto de radiação aproveitamos nessa área total. Portanto, a energia total nessa área é:

$$E_T = 2200 \frac{kWh}{m^2} (170 \times 10^6 m^2) = 374 \times 10^9 kWh$$

Como a eficiência média é de 15%, a energia útil convertida em elétrica é:

$$E_{\text{útil}} = (374 \times 10^9 kWh) (0,15) = 56,1 \times 10^9 kWh$$

Como o consumo médio de uma residência é de 2000 kWh anuais, então o número de residências que poderiam ser abastecidas caso fossem instalados no cinturão solar brasileiro.

$$\begin{aligned} n^{\circ} \text{ de residências} &= \frac{56,1 \times 10^9 kWh}{2000 kWh} = 0,02805 \times 10^9 = 28,05 \times 10^6 \\ &= 28,05 \text{ milhões.} \end{aligned}$$

Fonte: <https://www.tutorbrasil.com.br/forum/viewtopic.php?t=102715>. Acesso em: 9 fev 2023.

**Questão 3: (ENEM/2021)** Uma empresa produz painéis solares de energia elétrica, com a forma de retângulo que geram 5 MWh (megawatts-hora) por metro quadrado. Cada painel tem 3 m de largura e 6 m de comprimento o selo verde de eficiência é obtido se cada painel solar gerar, no mínimo, 150 MWh de energia solar. Para obter o selo verde, a empresa decide alterar apenas a largura dos seus painéis solares.

O número mínimo, em metro, que a empresa deve aumentar na largura dos seus painéis solares é

- A) 2.
- B) 4.
- C) 5.
- D) 10.
- E) 12.

Resposta: A.

Resolução (as autoras): Como é necessário que o painel gere no mínimo 150 MWh de energia solar e sabemos que a cada 1 m<sup>2</sup> são gerados 5 MWh. Podemos encontrar qual é a medida da área mínima necessária para produzirmos estes 150 MWh. Para isso, devemos:

$$\text{Área} = \frac{150 \text{ MWh}}{5 \frac{\text{MWh}}{\text{m}^2}} = 30 \text{ m}^2.$$

Dessa forma, precisamos de uma área de, no mínimo, 30m<sup>2</sup>. Como a área do retângulo é igual ao produto do comprimento pela largura. E, sabendo, que o comprimento vale 6 m e que a largura é de 3 m mais um acréscimo de  $x$  metros. Temos que:

$$\text{Área} = \text{Comprimento} \times \text{Largura}$$

$$30 = 6 (3 + x)$$

$$30 = 18 + 6x \Rightarrow 6x = 30 - 18 \Rightarrow 6x = 12 \Rightarrow x = \frac{12}{6}$$

$$x = 2 \text{ m}$$

Portanto, o número mínimo, em metro, que a empresa deve aumentar na largura dos seus painéis solares para gere, no mínimo, 150 MWh de energia solar é 2 metros.

Fonte: <https://www.exercicios-resolvidos.com/2022/01/enem-2021-r-uma-empresa-produz-paineis.html>. Acesso em: 9 fev 2023.

### Referências de apoio:

- BRUM, J. A. História dos semicondutores – Unicamp, 2014. Disponível em: <[https://sites.ifi.unicamp.br/brum/files/2014/01/FI\\_JAB\\_1s2012\\_P1\\_Ch2\\_Historia.pdf](https://sites.ifi.unicamp.br/brum/files/2014/01/FI_JAB_1s2012_P1_Ch2_Historia.pdf)>.

Acesso em: 10 jul 2023.

FADIGAS, E. A. F. A. (2004). Energia Solar Fotovoltaica: Fundamentos, Conversão e Viabilidade técnico-econômica. GEPEA – Grupo de Energia, Escola Politécnica Universidade de São Paulo.

SWART, J. W. Conceitos Básicos para Semicondutores, Unicamp, Disponível em: <<https://www.ccs.unicamp.br/cursos/ee941/download/cap02.pdf>> Acesso em: 10 jul 2023.

Transistor, ¿Cómo funciona?. Lesics Española, 21/07/2018, Duração: 7:43. Disponível em: <[https://www.youtube.com/watch?time\\_continue=250&v=w14cvydBC8g&feature=emb\\_logo](https://www.youtube.com/watch?time_continue=250&v=w14cvydBC8g&feature=emb_logo)>. Acesso em: 10 jul 2023.

MARQUES, G. C.; FURUKAVA, C.; Experiência sobre o Efeito Fotovoltaico. Física na Prática, 05/12/2018. Duração: 8:52. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=03wBqCIwuJc>>. Acesso em: 10 jul 2023.

- MARQUES, G. C.; FURUKAVA, C.; Efeito fotovoltaico: a energia dos fótons. Física na Prática, 06/12/2019. Duração: 7:31. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=E8GAVKkEfkh>>. Acesso em: 10 jul 2023.

- ATECH-INFO, Célula fotovoltaica., 02/03/2020 Duração: 7:10. Disponível em: <[https://www.youtube.com/watch?v=VH5\\_G9noaTk](https://www.youtube.com/watch?v=VH5_G9noaTk)>. Acesso em: 10 jul 2023.



Vimos que os materiais semicondutores são o “coração” de uma célula fotovoltaica. No entanto, os semicondutores têm várias aplicações no nosso dia a dia, incluindo os LEDs, diodos e transistores.

## I. DIODOS

Os diodos são componentes semicondutores com duas funções principais:

- A primeira é permitir a passagem de corrente elétrica em um único sentido, conhecida como polarização direta. Para isso, o terminal positivo da fonte de tensão é conectado ao material com dopagem tipo P e o terminal negativo é conectado ao material com dopagem tipo N, favorecendo fluxo de elétrons.
- A segunda função, chamada de polarização inversa ou reversa, ocorre quando o terminal positivo da fonte de tensão é conectado ao material com dopagem tipo N e o

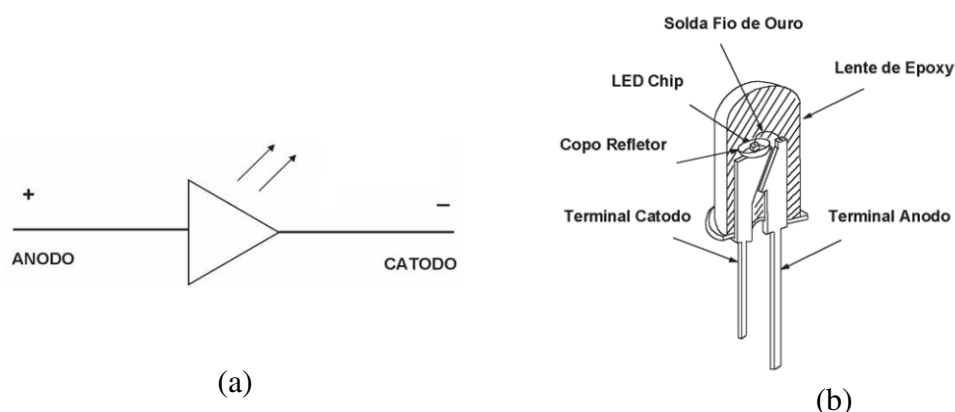
terminal negativo é conectado ao material com dopagem tipo P. Dessa forma, a barreira de potencial torna-se tão grande que não há fluxo de elétrons, e o material se comporta como um isolante. O processo foi apresentado na Figura 2.42.

## II. LEDs

Os LEDs (*Light Emitting Diodes* ou Diodos Emissores de Luz) também são componentes semicondutores. Embora seja muito utilizado e comentado hoje em dia, ele foi inventado em 1963, inicialmente na cor vermelha, e era utilizado em rádios, televisores e outros equipamentos para simbolizar se estavam desligados ou ligados. Já no século XX, surgiram as lâmpadas LED, que apresentavam várias vantagens em comparação com as lâmpadas incandescentes e fluorescentes, como maior eficiência em termos de consumo de energia e vida útil mais longa. Hoje, é possível obter LEDs em todo o espectro de cores (Scopacasa, [s.d.]). Os inventores do LED que emite de forma eficiente a cor azul, ganharam o prêmio Nobel de Física no ano de 2014 (Heber, 2014), sendo eles os pesquisadores japoneses: Isamu Akasaki, Hiroshi Amano e Shinji Nakamura. A função de um LED é transformar energia elétrica em luz, mas essa transformação é diferente das lâmpadas convencionais.

O LED é um componente bipolar e possui um terminal chamado ânodo e outro chamado cátodo, Figura 2.45 (a). Dependendo da polarização, ele pode ou não permitir a passagem da corrente elétrica. A parte mais importante de um LED é o *chip* semicondutor, Figura 2.44 (b), onde se encontra a junção PN, a região tipo P (falta de elétrons – “buracos”) e a região tipo N (com excesso de elétrons), criando uma barreira natural para o fluxo de elétrons, a barreira de potencial (Scopacasa, [s.d.]).

Figura 2.44 – (a) Representação simbólica do LED e (b) partes de um LED sendo o chip semicondutor, com dimensões muito reduzidas, responsável pela geração da luz.



Fonte: [https://www.lumearquitetura.com.br/pdf/LA\\_Pro1/02%20-%20pro\\_leds\\_Vis%C3%A3o\\_Geral.pdf](https://www.lumearquitetura.com.br/pdf/LA_Pro1/02%20-%20pro_leds_Vis%C3%A3o_Geral.pdf).

Acesso: 5 mar 2023.



Ao final da Aula 6 é possível, por meio dos referenciais teóricos adotados neste PE, observar e avaliar:

1. De acordo com a Tipologia de Zabala:

- Conteúdos Conceituais: A compreensão de conceitos fundamentais da Física Moderna, como as propriedades dos materiais semicondutores e o processo de dopagem, o efeito fotovoltaico e sua aplicação em tecnologias como as placas fotovoltaicas, LEDs e transistores; a diferenciação dos materiais semicondutores dos isolantes e condutores; a descrição do funcionamento do LED.
- Conteúdos Factuais: O reconhecimento dos diversos avanços e tecnologias que os materiais semicondutores e o efeito fotovoltaico proporcionam.
- Conteúdos Procedimentais: A utilização dos simuladores para uma melhor compreensão do efeito fotovoltaico, visualizando o funcionamento e o processo de dopagem em um material semiconductor.
- Conteúdos Atitudinais: A curiosidade e o interesse dos(as) alunos(as) sobre a aplicação dos materiais semicondutores em novas tecnologias e nos impactos do efeito fotovoltaico em tecnologias sustentáveis.

2. Em relação a TAS:

A conexão de novos conhecimentos (materiais semicondutores e efeito fotovoltaico) com os subsunçores sobre circuitos elétricos, eletricidade e/ou tecnologia; e a compreensão do funcionamento dos materiais semicondutores e de sua utilização no dia a dia;

3. Em relação a metodologia STEAM:

A participação ativa nas aulas; a exploração de situações do cotidiano e a integração das novas informações com outras áreas do conhecimento. Por exemplo:

- Ciência: ao estudar as propriedades físicas dos semicondutores e o efeito fotovoltaico.
- Tecnologia: nas aplicações tecnológicas dos semicondutores no cotidiano; uso de simuladores;
- Engenharia: na concepção ou análise dos sistemas com semicondutores, entre elas a placa fotovoltaica.
- Arte: na animação apresentada para a dopagem de átomos de Silício (disponível no *You Tube* e nos *designs* tecnológicos dos dispositivos eletrônicos;
- Matemática: ao resolver problemas práticos envolvendo semicondutores.

## AULA 7

### Aplicação do Mini Painel Fotovoltaico

**Duração:** 50 minutos

**Objetivo(s):**

- Compreender, na prática, o funcionamento de um painel fotovoltaico a partir do movimento dos carrinhos movidos a energia solar;
- Observar, registrar e coletar dados do movimento dos carrinhos para analisar a trajetória, relacionar tempo, posição e velocidade, e calcular a velocidade média e a energia cinética.
- Promover o uso da experimentação como ponto de partida para a compreensão de conceitos físicos como transformação de energia e cinemática.

**Organização da turma:** Os(As) alunos(as) serão organizados em trios na quadra da escola.

**Recursos:** carrinhos movidos a células fotovoltaicas construídos na aula 3; trena ou fita métrica; lápis; ficha de coleta de dados; câmera do celular (para a filmagem das corridas); folha de papel milimetrado.

**Metodologia:** A atividade abordará conteúdos procedimentais, factuais, atitudinais e conceituais.

1º Momento: Organização na quadra da escola e apresentação dos jurados aos(às) alunos(as) e dos carrinhos aos jurados. Eles deverão avaliar primeiramente o nome mais criativo e o de melhor *design*.

2º Momento: Realização da corrida de carrinhos realizada na quadra da escola (ou outro local onde haja incidência de luz solar e tenha espaço para a atividade) e coleta de dados da posição de do tempo. Filmar a trajetória do carrinho, mantendo a câmera do celular fixa em uma posição que filme toda o percurso.

3º momento – Premiação do nome mais criativo, melhor *design* e o de melhor desempenho de velocidade.

**Avaliação:** Será realizada por meio da observação e registro do(a) docente durante as atividades desenvolvidas, incluindo a corrida de carrinhos, a coleta dos dados e participação dos(as) alunos(as) durante a aula.



### **Desenvolvimento da Aula 7**

#### **❖ Corrida de Carrinhos: Aplicação do Mini Painel Fotovoltaico.**

**Duração:** 30 minutos.

A professora explicará o andamento da aula, que consistirá em uma competição de carrinhos movidos a energia solar. Os(As) alunos(as) serão levados para a quadra da escola (ou outro espaço aberto que incida luz solar e tenha piso reto), onde estarão marcados o ponto de largada e o ponto de chegada, com marcações de 1 metro em 1 metro.

Primeiramente, cada trio fará a apresentação dos carrinhos, incluindo os nomes que deram a eles. Em seguida receberão a ficha com as instruções para dados, disponível para uso no Quadro 2.10.

Quadro 2.10 – Ficha para coleta de dados da atividade experimental da corrida de carrinhos.

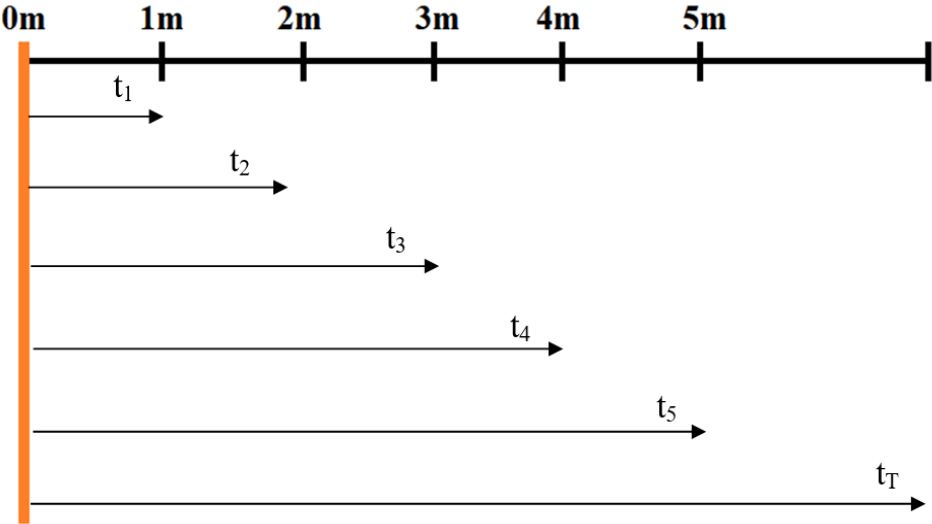
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |                                                                                                                                          |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  <p><b>MNPEF</b><br/>Mestrado Nacional<br/>Profissional em<br/>Ensino de Física</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |  <p><b>U<br/>E<br/>M<br/>N<br/>P<br/>E<br/>F</b></p> <p>Universidade Estadual de Maringá<br/>Centro de Ciências Exatas<br/>Departamento de Física<br/>Programa de Pós-Graduação do<br/>Mestrado Nacional Profissional em<br/>Ensino de Física</p> |  <p><b>SBF</b><br/>SOCIEDADE BRASILEIRA DE FÍSICA</p> |
| <p align="center"><b>Instruções para a Coleta de dados e Corrida de Carrinhos</b><br/>T. L. A. Astrath, H. Mukai e M. J. B. Ferreira</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Marque no solo as posições na trajetória retilínea do carrinho, de 1 metro em 1 metro, a partir da origem.</li> <li>2. Posicione o carrinho no início do seu trajeto (a origem);</li> <li>3. Posicione o celular com a câmera voltada para o lado do carrinho, em um ponto que fixo que consiga registrar todo percurso.</li> <li>4. Ligue a câmera antes de iniciar a corrida;</li> <li>5. Ao comando do(a) docente, libere o carrinho;</li> <li>6. Nesse instante, acione o cronômetro e anote o tempo gasto a cada 1 metro a partir da origem (Figura 1), sendo <math>t_T</math> o tempo do percurso total. Anote os dados na Tabela 1. Repita este procedimento mais 5 vezes.</li> </ol> <p align="center">Figura 1 – Ilustração de como marcar as posições para medida do tempo para cada posição.</p>  <p align="center">Fonte: Os autores.</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>7. Desligue a câmera do celular. Verifique se a imagem está adequada para análise, mostrando para o(a) professor(a).</li> </ol> |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |                                                                                                                                          |

Tabela 1 – Dados experimentais da posição e do respectivo tempo que o carrinho levou para percorrer, repetido 5 vezes ( $t_a$ ,  $t_b$  ...  $t_e$ ). Para cada tomada de dados anote em cada coluna, ou seja, na vertical.

| Corrida | Posição (m) | $t_a$ (s) | $t_b$ (s) | $t_c$ (s) | $t_d$ (s) | $t_e$ (s) |
|---------|-------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
|         | 0,00        | 0,00      | 0,00      | 0,00      | 0,00      | 0,00      |
| 1º      | 1,00        |           |           |           |           |           |
| 2º      | 2,00        |           |           |           |           |           |
| 3º      | 3,00        |           |           |           |           |           |
| 4º      | 4,00        |           |           |           |           |           |
| 5º      | 5,00        |           |           |           |           |           |
| Total   |             |           |           |           |           |           |

Fonte: Os(As) alunos(as).

8. Calcule a média dos tempos e obtenha o valor da velocidade média de cada etapa.

9. Gráficos e análise do tipo de movimento: Utilizando o *software Tracker*.

- Represente a posição e o tempo de percurso em um gráfico.
- Analise o comportamento do gráfico e determine qual foi o tipo de movimento do carrinho.
- Qual foi a velocidade média do móvel? Compare com a média dos resultados obtidos nas Tabelas 1 e 2.

Fonte: Os autores.

Observações importantes:

- Ter uma comissão para avaliação (juízes) com 3 pessoas;
- Serão premiados com chocolate (sugestão) o carrinho com o melhor *design* e mais bonito, o nome mais criativo, e o que tiver melhor desempenho na corrida.

### ❖ **Análise dos Dados da Corrida de Carrinhos – Parte I**

**Duração:** 20 minutos

Após a corrida, os(as) alunos(as) retornarão à sala de aula e, em trios, calcularão o cálculo a média dos tempos, a velocidade média de cada etapa, e os valores de energia cinética, utilizando a equação:  $E_c = \frac{1}{2} m v^2$ . Isso irá permitir saber, em média, o quanto de energia elétrica foi convertido em energia cinética no intervalo de tempo da medição.

Essa atividade funciona como um organizador prévio, pois promove a experimentação e permite que o(a) aluno(a) amplie sua compreensão. Ela parte de conceitos básicos, como posição e tempo, para explorar noções mais complexas da cinemática, como velocidade e aceleração. Esses conceitos serão usados para interpretação do movimento do carrinho e estabelecendo conexões entre a conversão de energia solar em energia mecânica (cinética).

As demais análises dos resultados relacionadas a parte da cinemática estão descritas na Aula 8.

### **Sugestões de Observações e Avaliação**

Ao final da Aula 7 é possível, por meio dos referenciais teóricos adotados no PE, observar e avaliar:

#### 1. De acordo com a Tipologia de Zabala:

- Conteúdos Conceituais: Compreensão de conceitos da cinemática (posição, tempo e velocidade média), e energia cinética;
- Conteúdos Factuais: Atribuir nome aos carrinhos; Marcações no piso de um em um metro; Localização da realização da atividade (dia ensolarado, pista plana e local amplo); Material dos carrinhos;
- Conteúdos Procedimentais: Organizar-se em trios; Realização da corrida de carrinhos; Coleta de da posição e tempo; Siga as instruções da ficha de coleta de dados e preencher as Tabelas de dados; Filmar a trajetória do carrinho; Calcular a média dos tempos e a Energia cinética

- Conteúdos Atitudinais: Colaboração/Trabalho em equipe; Respeito às regras; Curiosidade/Interesse pela Ciência; Engajamento na atividade; Persistência na realização da corrida e análise de dados; Utilização adequada dos carrinhos e equipamentos;
2. De acordo com a TAS:
- Aparecem na ênfase da experimentação, na coleta e análise de dados) e na reflexão do(a) aluno(a) sobre a própria experiência do uso de um carrinho por ele(a) construído.
3. De acordo com a metodologia STEAM:
- Ciência: Estão presentes na observação da coleta de dados; A análise científica; Abordagem dos conceitos das grandezas da cinemática, energias solar, elétrica, mecânica e cinética;
  - Tecnologia: Uso da câmera do celular; Como ferramenta de inovação/aplicação o mini painel fotovoltaico.
  - Engenharia: Design e construção do carrinho; Solução de problemas; estruturação e análise do local da competição.
  - Artes: Análise do design, criatividade e beleza dos carrinhos; Comunicação (apresentação formal dos carrinhos).
  - Matemática: Dividir o espaçamento de forma equidistante de 1 em 1 metro, Representação dos dados experimentais; calcular a média dos tempos, calcular a velocidade média e a energia cinética. Análise quantitativa dos resultados obtidos.

## AULA 8

### Transformações de Energia e aplicação dos questionários

**Duração:** 50 minutos

**Objetivo(s):**

- Explorar a lei de conservação de energia e os conceitos de cinemática;
- Descrever as transformações de energia envolvidas na corrida de carrinhos;
- Discutir os impactos ambientais e os benefícios de uma placa fotovoltaica.

**Organização da turma:** Os(As) alunos(as) serão organizados em trios.

**Recursos:** *software Tracker*; computadores da sala de informática; *datashow*; folhas de papel milimetrado.

**Metodologia:**

1º Momento: Construir os gráficos de posição *versus* tempo em folha milimetrada (papel milimetrado);

2º Momento: Coletar os dados da posição *versus* tempo utilizando o *Software Tracker* a partir dos vídeos das corridas. O *software* gera automaticamente o gráfico.

3º Momento: Analisar e discutir os dados obtidos, revisando os conteúdos sobre transformações de energia e os conceitos de cinemática.

**Avaliação:** A avaliação será feita por meio da observação e registro do(a) professor(a) durante as atividades desenvolvidas, como a análise gráfica dos dados e a participação dos(as) alunos(as) nas aulas.

### **Desenvolvimento da Aula 8**

❖ **Revisão de Conteúdo**

Duração: 20 minutos

Entregar o questionário sobre a construção dos carrinhos para os(as) alunos(as) responderem. Disponível no Apêndice I.

Após recolher os questionários, para a revisão de conteúdos, distribua os textos (Quadro 2.11) recortados de forma individual para que cada um leia o seu em voz alta. Para motivar grampeie uma bala, um bombom, ou algo que possa motivar os(as) alunos(as) de forma diferenciada.

Quadro 2.11 – Textos e frases para ser recortados de forma individual e a leitura ser feita na ordem apresentada.

| <b>Frases e textos para serem recortados e entregues para leitura individual</b>    |                                                                                                                                                                                                                                                         |
|-------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|    | 1. Condutor: elétrons livres (1 a 3 elétrons na banda de valência)                                                                                                                                                                                      |
|    | 2. Dopagem: processo em que são adicionadas impurezas a um semicondutor.                                                                                                                                                                                |
|    | 3. Energia mecânica equivale à soma da energia cinética (movimento) com a energia potencial (armazenada por um corpo).                                                                                                                                  |
|    | 4. A célula fotovoltaica não funciona apenas com a luz solar, elas também podem gerar eletricidade com a luz de outras fontes, embora a eficiência possa ser menor                                                                                      |
|  | 5. Transistor: é um dispositivo semicondutor e tem como função amplificar e controlar a passagem de corrente elétrica em um circuito. Suas aplicações: amplificação de áudio (computadores, TVs, celulares), aparelhos de ar Condicionado, entre outros |
|  | 6. . Silício e Germânio são os semicondutores mais utilizados.                                                                                                                                                                                          |
|  | 7. Semicondutor tipo N: material carregado negativamente (excesso de elétrons)”.<br>                                                                                 |



8. Lei da conservação de energia: a energia não pode ser criada nem destruída, apenas transformada de uma forma para outra.



9. LED é um componente eletrônico semicondutor que, quando uma corrente elétrica flui através dele, elétrons e lacunas de carga se recombina na estrutura semicondutora, liberando energia na forma de fótons de luz visível.



10. As placas fotovoltaicas não funcionam à noite, pois dependem da energia da luz solar para estimular as células fotovoltaicas e gerar uma corrente elétrica.



11. Efeito fotoelétrico: os elétrons são ejetados da superfície de um material após exposição à radiação com energia suficiente, sem nenhuma direção definida para serem coletados. Ocorre principalmente em materiais metálicos.



12. Semicondutor Tipo P: material carregado positivamente (devido à falta de elétrons).



13. Um diodo é um dispositivo eletrônico de dois terminais que permite a passagem de corrente elétrica em apenas uma direção, bloqueando-a na corrente na direção oposta. É usado em fontes de alimentação, carregadores de bateria e em circuitos retificadores para converter corrente alternada em contínua.





|                                                                                     |                                                                                                                                                                                                                                                                          |
|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|    | 14. Semicondutor: estão numa situação intermediária (4 elétrons na banda de valência). Quando os elétrons ganham energia (luz, temperatura ou dopagem) suficiente para superar a banda proibida, eles se tornam portadores de carga móvel e podem conduzir eletricidade. |
|    | 15. O efeito fotoelétrico foi investigado e documentado por Heinrich Hertz em 1887.                                                                                                                                                                                      |
|    | 16. Existe diferença entre placa fotovoltaica e placa de aquecimento solar.                                                                                                                                                                                              |
|    | 17. A primeira célula fotovoltaica foi criada em 1983.                                                                                                                                                                                                                   |
|  | 18. Vantagem dos painéis fotovoltaicos: é uma energia limpa, renovável, proporciona a redução das contas de energia e um impacto ambiental positivo.                                                                                                                     |
|  | 19. Velocidade média: descreve a taxa de deslocamento de um objeto ao longo de um certo intervalo de tempo.                                                                                                                                                              |
|  | 20. Desvantagem dos painéis fotovoltaicos: apresentam preços elevados em relação às fontes não renováveis.                                                                                                                                                               |
|  | 21. Efeito fotovoltaico: é um fenômeno físico em que a luz incidente em um material semicondutor gera uma diferença de potencial elétrico (tensão) através do material, resultando na geração de uma corrente elétrica.                                                  |
|  |                                                                                                                                                                                                                                                                          |

### ❖ **Análise dos dados da corrida de carrinhos**

**Duração:** 30 minutos

Nesta parte da aula, os(as) alunos(as), em grupos, representarão graficamente os dados da posição e seu respectivo tempo médio em folha de papel milimetrado (disponibilizada pelo(a) docente), E traçarão pela média dos pontos o comportamento do gráfico.

Em seguida, serão levados para a sala de informática. Cada grupo irá abrir no computador o *software Tracker* (instalado previamente pelo(a) docente ou técnico responsável. Disponível em: <https://physlets.org/tracker/>) e utilizará as filmagens das corridas, obtidas na Aula 7, para gerar o gráfico da posição em função do tempo. O(A) docente, demonstrará passo a passo de como usar o *software Tracker* por meio do *Datashow*, conforme a descrição contida no Quadro 2.12.

**Observação:** o *Software Tracker*, atua como um organizador prévio. Ele permite que os(as) alunos(as) façam a transição de conceitos familiares, como posição e tempo, para noções mais abstratas. Isso conecta conceitos fundamentais de cinemática com o estudo da conversão de energia na célula fotovoltaica, necessário para o aprofundamento no tema.

Quadro 2.12 – Procedimento para utilização do Software Tracker.

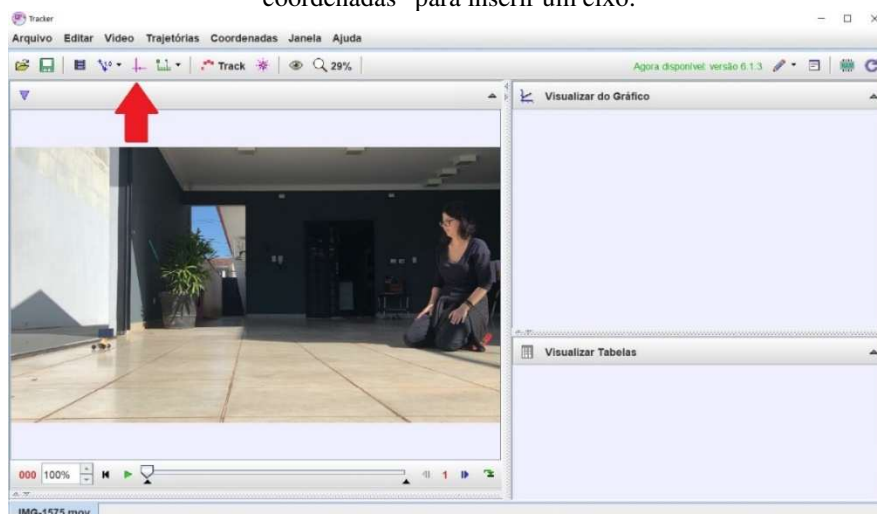
#### **Passo a passo da utilização do *software Tracker***

1 - Vá em "Arquivo" e depois em "Abrir" para escolher o arquivo de vídeo.

2 - Defina o eixo de coordenadas e uma escala usando uma referência.

- ❖ Clique no botão  “Mostrar ou ocultar os eixos de coordenadas”, como indica a seta vermelha na Figura 1, para inserir um eixo. Inicialmente, o eixo aparecerá no centro da imagem.
- ❖ Posicione a origem (eixo 0), no início do movimento. A barra indica a direção do "x" positivo e está no lado direito. Se o movimento for para a esquerda, clique para girar o eixo e oriente-o da melhor forma possível, pois um bom alinhamento melhorará a captura de dados.

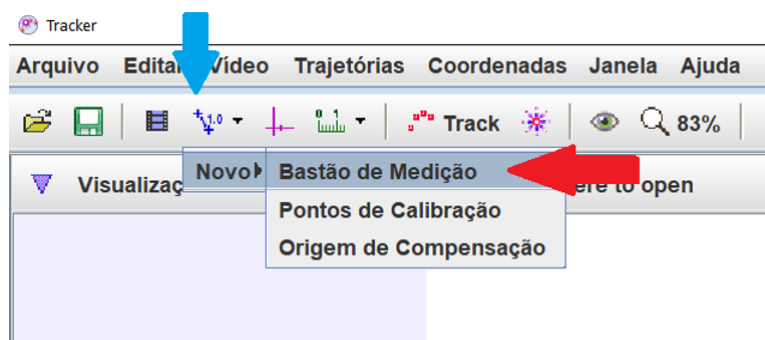
Figura 1- Cópia de tela do software *Tracker* indicando a opção “Mostrar ou ocultar os eixos de coordenadas” para inserir um eixo.



Fonte: *software Tracker*. Arquivos da autora T. L. A. Astrath.

3 - Defina a escala. Para isso, clique no botão  “Fita métrica com transferidor” (indicado pela seta azul na Figura 2). Em seguida, selecione “novo” e, por fim, “Bastão de Medição” (conforme a seta vermelha). Marque dois pontos de referência e defina a distância correspondente.

Figura 2- Cópia de tela do *software Tracker* após clicar em “Fita métrica com transferidor”, “Novo” e por último em “Bastão de Medição”.

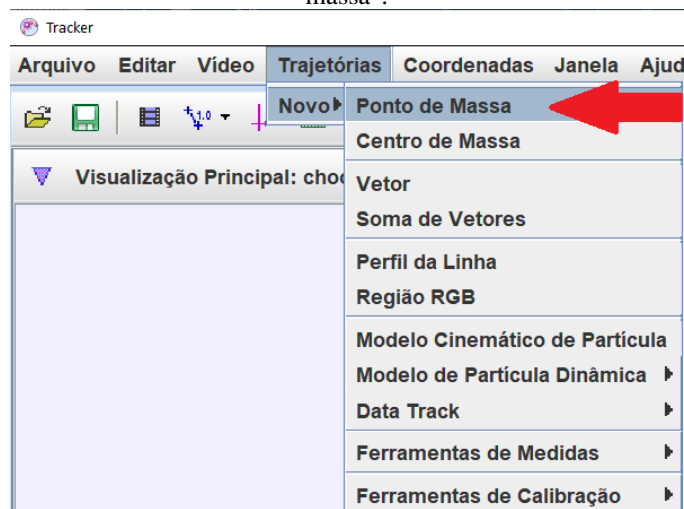


Fonte: *software Tracker*.

5 - Posicione o centro de massa do corpo (carrinho) com a origem do eixo, para iniciar a captura do movimento no tempo zero.

6 – Clique em "Trajetória", depois em "Novo" e, em seguida, em "Ponto de massa", (conforme Figura 3).

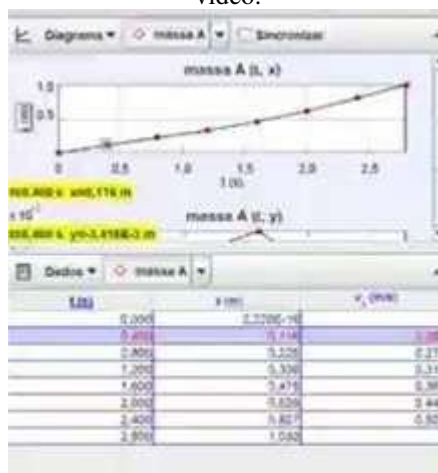
Figura 3 - Cópia de tela do *software Tracker* após clicar em "Trajetória", depois em "novo" e em "Ponto de massa".



Fonte: *software Tracker*.

Para capturar o movimento em cada intervalo de tempo, aperte "SHIFT" e clique no centro de massa do carrinho. Ao lado, aparecerá o gráfico de posição *versus* tempo, e abaixo, a tabela de dados, como apresentado na Figura 4.

Figura 4 – Exemplo de como aparece a imagem do gráfico e da tabela de dados após sua coleta manual no vídeo.



Fonte: Arquivo da autora T. L. A. Astrath.

Fonte: As autoras.

Caso se tenha mais tempo, ou vá fazer somente esta atividade da corrida de carrinhos, é interessante que o(a) docente e os(as) alunos(as) analisem os gráficos de posição *versus* tempo médio, tanto o obtido manualmente quanto o gerado pelo *software Tracker*. A partir dessa análise poderão discutir o tipo de movimento que os carrinhos realizaram (MRU ou MRUV). Além disso, com base no cálculo da energia cinética de cada carrinho, realizado na aula anterior, os(as) alunos(as) poderão explorar o processo das transformações de energias

envolvidas: da energia solar para a energia elétrica e desta para a energia mecânica (representada pela energia cinética do carrinho).

É importante considerar nessa análise se a superfície estava completamente plana, sem inclinação, para garantir a precisão dos dados coletados. Da mesma forma, a câmera de filmagem deve estar fixa em uma posição que permita gravar todo o movimento do carrinho, assegurando uma análise visual completa e sem distorção da perspectiva de filmagem, pois isso influencia na coleta dos dados da real posição do carrinho durante a sua trajetória.

O Quadro 2.13 oferece um texto de apoio que foi elaborado para professores e alunos(as), abordando os conceitos de transformações de energia e a Lei de Conservação da Energia, complementando a atividade prática. O quadro será deslocado para a próxima página para que se possa fazer cópia do mesmo caso ache interessante entregar aos(as) alunos(as).

Quadro 2.13 – Texto de apoio para o(a) professor(a) e alunos(as) sobre as transformações de energia e a Lei de conservação.

### Texto de apoio

#### Transformações de Energia e a Lei de Conservação da Energia

T. L. A. Astrath e H. Mukai

A palavra energia vem do grego “energeia”, que significa trabalho. Ela está constantemente presente em nossas vidas, permeia nossas atividades diárias, nos fenômenos da natureza e interações. Sua presença é fundamental que se tornou indispensável.

Conforme apontam os autores: Souza, Damásio e Magnabosco, a energia é

A base da vida. Sem a energia não haveria nenhuma forma de vida; Que dá movimento às coisas, ao vento, às ondas do mar, às marés; Que nos permite viver, respirar, sentir, amar; Que permite a realização de tarefas, de plantar, de fabricar, de transportar; Que permite que nós possamos sentir a vida, as sensações, as emoções (Souza; Damásio; Magnabosco; 2018, p. 6).

Atualmente, diversas fontes de energia são utilizadas e convertidas, por meio de dispositivos específicos, em energia elétrica. A partir dela, outras formas de energia podem ser obtidas. Entre elas, temos (Bucussi, 2006):

- A energia hidrelétrica, gerada pelo movimento das águas.
- A eólica produzida pelos ventos.
- As termoeletricas, que utilizam a queima de combustíveis fósseis.
- A energia solar, proveniente da luz e do calor do Sol (radiação eletromagnética direta ou indireta), que gera energia elétrica por meio de células fotovoltaicas.

Podemos ainda classificar a energia em três tipos principais: cinética, potencial e mecânica.

A energia cinética ( $E_c$ ), está diretamente ligada ao movimento dos corpos e depende exclusivamente da massa e do módulo da velocidade do corpo. Ela pode ser calculada pela equação

$$E_c = \frac{1}{2}mv^2,$$

em que a velocidade é uma grandeza vetorial que descreve a rapidez de um corpo, ou seja, a taxa de variação da posição de um corpo em relação ao tempo. Pode ser obtida pela razão entre o deslocamento ( $\Delta x$ ) e o intervalo de tempo ( $\Delta t$ ), como mostra a equação em uma dimensão:

$$v = \frac{\Delta x}{\Delta t}.$$

A energia potencial ( $E_p$ ) está relacionada ao armazenamento de energia e, como descrevem Sears e Zemansky (2008, p 214) “fornece o potencial ou a possibilidade da realização de um trabalho”. Existem diversas formas de energia potencial, como a elétrica, gravitacional, química e elástica).

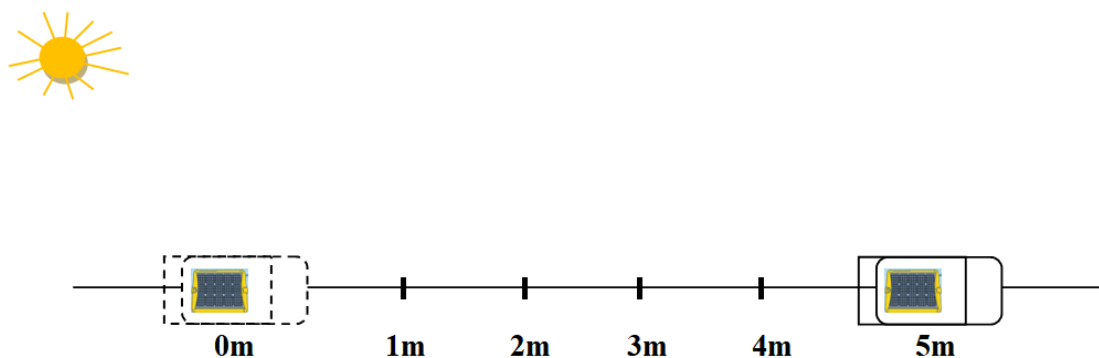
Por sua vez, a energia mecânica ( $E_m$ ) é definida como a soma da energia potencial e cinética de um sistema, conforme a equação:

$$E_m = E_p + E_c.$$

Em todas essas formas, a energia está intrinsecamente ligada à capacidade de um corpo realizar trabalho. É fundamental compreender que a energia é “uma quantidade que se conserva independente dos processos físicos que estão ocorrendo naquele sistema” (Grandi *et al.*, 2018, p. 40). Analogamente à Lei de Lavoisier (Lei da Conservação das Massas), que afirma “na natureza, nada se cria, nada se perde, tudo se transforma”, a energia não pode ser criada e nem destruída, apenas transformada de uma forma para outra.

No experimento do carrinho, ilustrado pela Figura 1, ocorrem diversas transformações de energia que obedecem à lei da conservação da energia total. A primeira transformação envolve a conversão de energia solar (radiação eletromagnética) em energia elétrica por meio de células fotovoltaicas, e desta, em energia mecânica – especificamente, a energia cinética do movimento do carrinho.

Figura 1– Ilustração da transformação de energia utilizada neste trabalho, representando um carrinho com placa solar se movimentando para explorar a transformação de energia solar em elétrica e de elétrica em cinética.



Fonte: As autoras.

É importante distinguir a Lei da Conservação de Energia Total Geral da Lei de Conservação da Energia Mecânica. A conservação de energia mecânica considera apenas as formas cinética e potencial. Em um sistema conservativo e isolado, a energia mecânica total se mantém constante; não há troca de energia com o ambiente externo. Nesse cenário, a energia potencial é transformada em energia cinética e vice-versa, mas a energia mecânica inicial é igual à energia mecânica final.

Contudo, em um sistema dissipativo (ou aberto), a energia mecânica não se conserva, tendendo a diminuir ao longo do tempo. Isso ocorre pela presença de forças dissipativas, como o atrito ou a resistência do ar, que transformam parte da energia mecânica em energia térmica (calor), dissipando-a para o ambiente.

No caso do carrinho movido a energia solar, temos um sistema aberto. A energia mecânica final do carrinho é maior que a inicial. Isso ocorre porque, embora a lei da conservação da energia geral seja mantida (energia solar em elétrica, elétrica em mecânica), não há conservação da energia mecânica do carrinho isoladamente. A energia elétrica é fornecida para o motor pela placa fotovoltaica, o que faz o carrinho se mover, resultando em um acréscimo de energia cinética no sistema.

Ou seja, a energia mecânica do carrinho não se conserva porque ele recebe energia de uma fonte externa (o Sol). Portanto,

$$E_{m\text{final}} = E_{m\text{inicial}} + W_{\text{forças externas}},$$

sendo  $W$  o trabalho. No dia a dia, essa situação é muito comum. Por exemplo, em um carro em movimento, o motor queima combustível para fornecer energia mecânica e movimentar o veículo. Da mesma forma, em um elevador subindo, o motor elétrico realiza trabalho para aumentar a energia potencial do elevador.

### Referências de Apoio

Guia de Referência para a Cobertura Jornalística de Energias Renováveis. Disponível em: <https://institutoideal.org/guia-de-referencia-para-a-cobertura-jornalistica-de-energias-renovaveis/>. Acesso em 22 de jul. de 2023.

BUCUSSI, A. A. **Introdução ao conceito de energia**. In: Textos de apoio ao professor de Física. Porto Alegre: UFRGS, Instituto de Física, Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física, v. 17, n.3, 2006. Disponível em: <[https://www.if.ufrgs.br/tapf/v17n3\\_Bucussi.pdf](https://www.if.ufrgs.br/tapf/v17n3_Bucussi.pdf)>. Acesso em 22 de jul. de 2023.

GRANDI, S. C. *et. al.* Levantamento das abordagens e tendências referente ao conceito de energia para o Ensino de Física nas atas do SNEF de 2013 A 2017. **Revista Valore**, Volta Redonda, 3 (Edição Especial): 38-48, 2018.

SEARS, F.; YOUNG, H. D.; ZEMANSKY, M.W. **Física I**. 12. ed., São Paulo: PEARSON, 2008, v. 1



SOUZA, J. L. M.; DAMÁSIO, E. C.; MAGNABOSCO, J. W. S. **Uso racional de energia.** Curitiba: LAMOSA/DSEA/SCA/UFPR, 2018. 21p. (Plataforma Moretti - Série do Projeto Tecnologia Social).

Fonte: as autoras.

Como fechamento da aula, lembrar sobre os impactos ambientais das placas fotovoltaicas

#### **Impactos Positivos (Benefícios):**

- Redução de emissões de gases de efeito estufa e de poluentes atmosféricos: energia solar diminui a necessidade de queimar combustíveis fósseis, que liberam gases do efeito estufa (gás carbônico, metano) e poluentes atmosféricos (óxidos de enxofre e nitrogênio, material particulado) que causam chuva ácida e problemas respiratórios.
- Fonte de Energia Renovável e “Inesgotável”: A luz solar é abundante e não se esgota como as demais (carvão, petróleo,...).
- Menor necessidade de grandes infraestruturas: Comparada a hidrelétrica ou termoeletricas para uso residencial.
- Descentralização energética: A possibilidade de gerar energia perto de onde ela será consumida, reduzindo perdas de transmissão.

#### **Impactos Negativos (Desafios/Custo):**

- Fabricação e descarte: Discutir como lidar com o lixo eletrônico utilizado para a produção de uma placa fotovoltaica e o seu descarte;
- Ocupação de áreas: A necessidade de grandes extensões de terras para usinas solares em grande escala.
- Intermittência: A energia solar só é gerada durante o dia e com sol o que exige sistemas de armazenamento (baterias) ou outras fontes de energia para complementar à noite ou em dias nublados.
- Custos: Ainda não ser acessível a comunidade de menor renda familiar.

Uma sugestão é propor aos(as) alunos(as) a seguinte pergunta: “Com a experiência de construir o carrinho e ver a placa funcionando, vocês pensaram nos impactos ambientais positivos e negativos do processo de construção? O que gerou lixo e o que se pode reaproveitar?”

O foco dessa resposta seria “o que gerou lixo” e “o que foi reaproveitado”:

A maioria dos materiais foram reaproveitados como: papelão para a base, tampinhas de garrafa PET, o motor, mas alguns tiveram que ser adquiridos como a placa fotovoltaica, elásticos, palitos de madeira, canudos de plástico. Mesmo o material para o enfeite ou os substituídos pelos(as) alunos(as) a maioria utilizou materiais de fácil acesso e disponíveis da aula de artes. O importante, é que eles(as) considerem:

- Ciclo de Vida do Produto: Mesmo em uma escala pequena, eles começam a perceber que a produção e o descarte de materiais têm consequência.
- Consumo Consciente: Refletir sobre a origem dos materiais e o destino do que não é mais usado.
- Economia Circular: A importância em reutilizar e reciclar, como no caso do motor, do papelão.
- Responsabilidade Ambiental: Estimula uma postura mais proativa em relação ao meio ambiente.

### **Sugestões de Observações e Avaliação:**

Ao final da Aula 8, será possível observar e avaliar o aprendizado dos(as) alunos(as), utilizando os referenciais teóricos citados ao longo do PE. As avaliações podem focar os seguintes aspectos:

#### **1. Conforme a Tipologia de Zabala:**

- Conteúdos Conceituais: Entendimento da Lei de Conservação de Energia (a energia não pode ser criada e nem destruída, apenas transformada); Compreensão de conceitos da cinemática (posição, velocidade e aceleração); Entendimento de transformações de energia (energia solar, transformando em energia elétrica e, subsequentemente, em energia mecânica (cinética); Benefícios do uso da Placa Fotovoltaica (conhecimento sobre as vantagens da energia solar como uma fonte renovável).
- Conteúdos Factuais: Observar a precisão na medição de tempo durante a corrida, bem como a coleta e o registro dos dados.
- Conteúdos Procedimentais: Analisar a capacidade de representar graficamente a posição *versus* tempo corretamente, tanto manualmente quanto com o *Software Tracker*, e a habilidade de relacionar as informações da análise do gráfico ao tipo de movimento ocorrido;

- Conteúdos Atitudinais: Verificar a postura e o respeito dos(as) alunos(as) no trabalho em grupo e as discussões, o questionamento e/ou levantamento de hipóteses após a representação gráfica, além do compromisso, interesse e curiosidade durante a aula; Leitura das frases; Impactos do efeito fotovoltaico em tecnologias sustentáveis; Reflexão, responsabilidade com o meio ambiente.

2. Conforme a TAS:

Observar a conexão dos novos conceitos com seus subsunçores (conhecimentos prévios), relacionando a atividade prática do carrinho solar (sua construção e corrida) aos conceitos aprendidos em aulas anteriores. O interesse e a motivação na análise de dados são fatores cruciais para que a aprendizagem significativa ocorra.

3. Conforme a metodologia STEAM:

Avaliar a participação ativa na confecção dos gráficos, tanto manualmente quanto com *Software Tracker*. Isso inclui a integração de outras áreas do conhecimento:

- Ciência: Nos conceitos físicos envolvidos.
- Tecnologia: Na utilização do *Software Tracker* para a representação gráfica e análise do tipo de movimento do carrinho a partir da filmagem da gravação da corrida.
- Engenharia: Ao observarem fatores que afetam a eficiência do carrinho.
- Arte: Na representação e estética dos gráficos.
- Matemática: Na confecção e análise dos gráficos.

## AULA 9

### Aplicação dos questionários e *Feedback*.

**Duração:** 50 minutos

**Objetivo:** Aplicar um questionário avaliativo contendo as mesmas questões do questionário diagnóstico, com o acréscimo de três questões referentes a aplicação das aulas.

**Organização da turma:** Os(As) alunos(as) serão organizados individualmente em suas carteiras, dispostas em filas.

**Recursos:** Questionário impresso, premiação e *feedback*.

**Metodologia:**

1º Momento: Aplicação do questionário impresso (semelhantes ao questionário diagnóstico), e de um *quiz* na plataforma digital *Kahoot!*®

2º Momento: Premiação.

3º Momento: Momento do *feedback* (retorno) dos(as) alunos(as) e do(a) professor(a).

**Avaliação:** A avaliação será realizada por meio da observação e registro do(a) professor(a) das atividades desenvolvidas pelos(as) alunos(as), como a participação dos(as) alunos(as) durante as aulas.

**Desenvolvimento da Aula 9****❖ Investigação final.**

**Duração:** 25 minutos.

Os(As) alunos(as) responderão novamente o questionário aplicado no primeiro dia, Apêndice I, e o *quiz* aplicado na plataforma *Kahoot!*® Apêndice I.

**❖ Premiação**

**Duração:** 10 minutos.

Os membros da comissão avaliadora (juízes) realizam a premiação às equipes. O prêmio fica a critério do(a) docente. Lembrando que são três categorias a serem premiadas.

**❖ Feedback e Finalização**

**Duração:** 10 minutos.

Em seguida, haverá uma atividade de retorno dos(as) alunos(as) e do(a) professor(a). Os(As) alunos(as) poderão expressar suas opiniões sobre as aulas, as metodologias utilizadas e a sequência didática, e propor o que consideram que poderia ser modificado. O(A) professor(a), por sua vez, dará um retorno sobre o desempenho dos(as) alunos(as) por meio de observações do envolvimento com as atividades realizadas durante a aula.

**Sugestões de Observação e Avaliação:**

Ao final da Aula 9, é possível, por meio dos referenciais teóricos adotados no PE, observar e avaliar:

- Se houve indícios de aprendizagem por meio do questionário avaliativo.
- Se os(as) alunos(as) conseguiram conectar os subsunçores aos novos conhecimentos adquiridos ao longo da sequência didática;
- Os pontos que podem ser melhorados e/ou adaptados;
- Se os(as) alunos(a) conseguem refletir sobre seu aprendizado, fazendo uma autocrítica sobre o desempenho do carrinho e as escolhas feitas.

## **FINALIZAÇÃO DA SEQUÊNCIA DIDÁTICA**

A avaliação do processo de ensino e aprendizagem será realizada de forma contínua, cumulativa por meio de atividades, entre elas: trabalho em grupo, esquema e montagem experimental; discussões coletivas sobre o conteúdo; participação no *quiz* e na competição.

A estratégia de recuperação para os(as) alunos(as) que não atingirem os objetivos propostos será a construção de um mapa mental com o tema “Célula Solar”.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente Produto Educacional foi desenvolvido no programa de Pós-Graduação no Mestrado Profissional Nacional em Ensino de Física (MNPEF) do polo da Universidade Estadual de Maringá, aprovado pelo comitê de ética da UEM por meio da Plataforma Brasil, no ano de 2023. Este material teve como objetivo principal aprofundar os conceitos físicos relacionados a uma célula fotovoltaica, abordando o efeito fotoelétrico e fotovoltaico, transformações de energia, lei da conservação de energia, velocidade e tipos de movimento.

Reconhecendo que a escassez de aulas de Física nas escolas frequentemente resulta em uma transmissão superficial do conteúdo e na formação de ideias abstratas por parte dos(as) alunos(as), acredita-se que este produto educacional possa ser uma ferramenta valiosa para professores. Ele foi concebido para auxiliar na elaboração de aulas sobre parte de conteúdos da Mecânica, Eletromagnetismo e Física Moderna, podendo tanto complementar aulas de reforço, dada sua abrangência, quanto ser utilizado em módulos específicos para otimizar o tempo disponível para cada conteúdo.

Adicionalmente, o produto educacional é construído com base na metodologia STEAM (Ciência, Tecnologia, Engenharia, Artes e Matemática). Escolhemos essa abordagem, entre outros motivos, para que os(as) estudantes compreendam que o conhecimento não é fragmentado, mas sim interligado, com cada área complementando as demais. Dessa forma, é possível trabalhar conceitos diversas disciplinas (componentes curriculares):

- Geografia: coordenadas geográficas e os trópicos de Câncer e de Capricórnio.
- Química: átomo de Bohr, camada de valência e distribuição eletrônica.
- Física: os conceitos de energia, cinemática, eletrostática e eletromagnetismo. Bem como semicondutores, efeito fotoelétrico e o efeito fotovoltaico.
- Biologia: sustentabilidade;
- Tecnologia: diversos recursos como o uso de simuladores, vídeos e os vários avanços tecnológicos, como a própria placa fotovoltaica;
- Engenharia e da Artes: a construção de um carrinho movido a energia solar, que envolveu o planejamento, teste e revisão do carrinho, considerando fatores como o equilíbrio e leveza da estrutura, estimulando a criatividade e inovação para um *design* otimizado.

- Matemática: medidas e unidades, cálculos, noção de proporção e representação gráfica, entre outros.

A metodologia STEAM, por conter uma metodologia ativa, posiciona o(a) aluno(a) como sujeito central e ativo no processo de ensino-aprendizagem. Ao aliar as aulas com o uso de simuladores, vídeos, experimentos práticos, um tema do cotidiano e a construção, corrida e competição de carrinhos com placas fotovoltaicas, aumentamos a motivação, o interesse e a curiosidade dos(as) estudantes. Isso aproxima a Física do mundo real e desenvolve habilidades cruciais como a criatividade e o trabalho em equipe.

A Teoria da Aprendizagem Significativa de David Ausubel foi essencial para a elaboração e implementação da sequência didática. Por meio dela, compreendemos como o conhecimento é construído. Aliada à metodologia ativa STEAM, com aulas e atividades dinâmicas e práticas, e a constante interação entre os estudantes. Eles puderam relacionar novos aprendizado com o conhecimento prévio (subsunçores). Isso não só facilitou a compreensão e retenção, mas também aumentou o engajamento e a motivação, elementos fundamentais para uma aprendizagem significativa.

A utilização da tipologia de conteúdos de aprendizagem propostos por Zabala (1998) na estrutura da sequência didática permitiu o desenvolvimento integral do indivíduo. Durante o processo de ensino-aprendizagem, consideramos não apenas os conceitos, teorias, fatos e acontecimentos - como em uma abordagem tradicional -, mas também as ações, habilidades e atividades práticas, atitudes e valores desenvolvidos ao longo da formação.

Portanto, acreditamos que este produto educacional, elaborado a partir de uma problemática real, fundamentado na Teoria da Aprendizagem Significativa de David Ausubel e na metodologia STEAM, e estruturado de acordo com Zabala (1998), contribui significativamente para o desenvolvimento de diversas habilidades nos(as) estudantes. Ele possibilita uma aprendizagem verdadeiramente significativa por meio de um ensino atrativo e eficaz. Para o(a) professor(a), essa proposta se torna uma valiosa ferramenta para contornar desafios como a carência de materiais de apoio e de recursos, a formação inadequada, o número reduzido de aulas e a abstração de conceitos que dificultam a relação do conteúdo estudado em sala com o cotidiano dos(as) alunos(as).

Destaques dos pontos chaves deste Produto Educacional:

- Objetivo Central: conceitos físicos da célula fotovoltaica;
- Lacuna que o produto preenche: dificuldade e superficialidade no Ensino de Física.

- Metodologia STEAM: integração de diversas áreas do conhecimento.
- Metodologia Ativa – seu papel principal foi engajamento dos(as) alunos(as), com destaque para a utilização de simuladores, vídeos, o modelo da “Cadeira de Piekara”, a dinâmica da “Dança das Cadeiras”, a montagem e corrida de carrinhos movidos a energia solar, e a leitura final de mensagens conceituais.
- TAS – importante para a construção do conhecimento.
- Sequência Didática e Tipologia de Zabala – contribuição para o desenvolvimento integral.

Para o futuro, almeja-se que este produto educacional não apenas sirva como um valioso recurso de apoio didático para professores de Física do Ensino Médio, mas que também inspire a criação de novas sequências didáticas que integrem metodologias ativas e abordagens STEAM. Espera-se que sua aplicação em diferentes contextos escolares e realidades regionais possa gerar novas pesquisas e adaptações, consolidando sua eficácia e potencial transformador no processo de ensino-aprendizagem em Física, tornando-a mais acessível e engajadora para os(as) estudantes.



## REFERÊNCIAS

- ASTRATH, E. A. C. (2015). Princípios de uma usina fotovoltaica: uma aplicação ao ensino médio. Dissertação, Programa de Pós-Graduação do Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física, Departamento de Física, Universidade Estadual de Maringá. Disponível em: <<http://www.dfi.uem.br/dfimestrado/?q=node/57>>. Acesso em: 30 jul 2023.
- ASTRATH, T. L. A. (2025). Célula Fotovoltaica: uma aplicação para explorar conceitos de Física Moderna e Transformações de Energia. Dissertação, Programa de Pós-Graduação do Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física, Departamento de Física, Universidade Estadual de Maringá. Disponível em: <<http://www.dfi.uem.br/dfimestrado/?q=node/57>>.
- BRASIL. Ministério da Educação. Base Nacional Comum Curricular. Brasília, 2018.
- BRITO, P. P. (2019). Uma abordagem experimental com materiais de baixo custo no ensino da Óptica Geométrica. Dissertação, Programa de Pós-Graduação do Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física, Departamento de Física, Universidade Estadual de Maringá. Disponível em: <<http://www.dfi.uem.br/dfimestrado/?q=node/57>>. Acesso em: 30 jul 2023.
- BUSTAMANTE, M. C. A descoberta dos raios cósmicos ou o problema da ionização do ar atmosférico. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 35, n.2, 2603 (2013).
- BUCUSSI, A. A. Introdução ao conceito de energia. In: Textos de apoio ao professor de Física. Porto Alegre: UFRGS, Instituto de Física, Programa de PósGraduação em Ensino de Física, v. 17, n.3, 2007.
- CATELLI, F., PEZZINI, S. Observando espectros luminosos - Espectroscópio portátil. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v.21, n. especial: p. 339-344. 2004.
- GOLAB-MEYER, Z. “Piekara’s chair”: Mechanical model for atomic energy Level The Physics Teacher 29, 215 (1991); <https://doi.org/10.1119/1.2343284>
- HENRIKSEN, D.; MEHTA, S.; MEHTA, R. Design thinking gives STEAM to teaching: a framework that breaks disciplinary boundaries. In: Khine, M.S.; Areepattmannil, S. (ed). **STEAM Education Theory and Practice**. Cham, Suíça: Springer Nature, 2019.
- LIBÂNEO, J. C. **Didática**. São Paulo: Cortez Editora, 1990.
- LIMA, A. A. *et. al.* Uma revisão dos princípios da conversão fotovoltaica de energia. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, vol. 42, 2020. . Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/1806-9126-RBEF-2019-0191>>. Acesso em: 06 mai. 2024
- MARTINS, R. S. e MUKAI, H. (2021). Eletrodinâmica de forma lúdica – quis: conduz ou não conduz? Produto Educacional, disponível em: <http://www.dfi.uem.br/dfimestrado/?q=node/60>. Acesso em: 30 jul 2023, parte integrante da Dissertação, Programa de Pós-Graduação do Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física, Departamento de Física, Universidade Estadual de Maringá. Disponível em: <<http://www.dfi.uem.br/dfimestrado/?q=node/57>>. Acesso em: 30 jul 2023.

MAXIMILIANO FILHO, J. Ensino de Materiais Semicondutores: uma proposta para o ensino médio. Trabalho de Conclusão de Curso – Graduação - Licenciatura em Física – Universidade Federal de Uberlândia, Instituto de Física, 58fls. (2019) Disponível em: <https://repositorio.ufu.br/bitstream/123456789/28138/4/EnsinoMateriaisSemicondutores.pdf>. Acesso em: 28 jan 2023.

MEDEIROS, A. As Origens Históricas do Eletroscópio, Rev. Bras. Ensino Fís. 24 (3), Set 2002, Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0102-47442002000300013>. Acesso em: 15 dez 2022.

MOREIRA, M. A. O que é afinal aprendizagem significativa? Revista cultural La Laguna Espanha, 2012. Disponível em: <http://moreira.if.ufrgs.br/oqueefinal.pdf>. Acesso em: 20 abr 2023.

MOREIRA, M. A. (1995). Monografia nº 10 da SÉRIE ENFOQUES TEÓRICOS. Porto Alegre. Instituto de Física da UFRGS. Originalmente divulgada, em 1980, na serie "Melhoria do Ensino", do Programa de Apoio ao Desenvolvimento do Ensino Superior (PADES)/UFRGS, Nº 15. Publicada em 1985, no livro "Ensino e aprendizagem: enfoques teóricos", São Paulo, Editora Moraes, p. 61-73\_ Revisada em 1995. Disponível em: <https://edisciplinas.usp.br/mod/resource/view.php?id=1732398>. Acesso em: 04 jun 2022.

NOTÍCIAS UFJF. A tecnologia do futuro: pesquisadores potencializam o uso do LED orgânico. 2015 . Disponível em: <https://www.ufjf.br/arquivodenoticias/2015/10/a-tecnologia-do-futuro-pesquisadores-potencializam-o-uso-do-led-organico/>. Acesso em: 10 jun 2022.

PARANÁ. Diretrizes Curriculares da Educação Básica: Física. Curitiba: DEB, 2008.

PARIZOTO, T. C, Usina fotovoltaica entra em funcionamento. UEM, 2020. Disponível em: <[http://noticias.uem.br/index.php?option=com\\_content&view=article&id=24706:usina-fotovoltaica-entra-em-funcionamento&catid=986&Itemid=211](http://noticias.uem.br/index.php?option=com_content&view=article&id=24706:usina-fotovoltaica-entra-em-funcionamento&catid=986&Itemid=211)>. Acesso em: 02 jun 2022.

RAMALHO Junior, F.; DOS SANTOS, J. I. C., FERRARO, N. G.; SOARES, P. A. de T. Os Fundamentos da Física 3: Eletricidade e Física Moderna. São Paulo, Editora Moderna, 1977.

SEARS, F.; YOUNG, H. D.; ZEMANSKY, M.W. **Física I**. 12. ed., São Paulo: PEARSON, 2008, v. 1.

SILVA FILHO, O. L., FERREIRA, M. Modelo teórico para levantamento e organização de subsunções no âmbito da Aprendizagem Significativa. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, vol. 44, e20210339 (2022). Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/1806-9126-RBEF-2021-0339>>. Acesso em: 26 mai 2024

SOUZA, J. L. M.; DAMÁSIO, E. C.; MAGNABOSCO, J. W. S. **Uso racional de energia**. Curitiba: LAMOSA/DSEA/SCA/UFPR, 2018. 21p. (Plataforma Moretti - Série do Projeto Tecnologia Social). Disponível em: <[http://www.moretti.agrarias.ufpr.br/publicacoes/lvt\\_2018\\_uso\\_racional\\_de\\_energia.pdf](http://www.moretti.agrarias.ufpr.br/publicacoes/lvt_2018_uso_racional_de_energia.pdf)>. Acesso em: 26 mai 2024.

STEAM Education Theory and Practice. Cham, Suíça: Springer Nature, 2019.

ZABALA, A. **A Prática Educativa**: como ensinar. Porto Alegre: ArtMed, 1998.

## APÊNDICE I - MATERIAL DISCENTE

|                                                                                                                                                                      |                                                                                                                                                                                                                                                                                |                                                                                                                                          |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  <p><b>MNPEF</b><br/>Mestrado Nacional<br/>Profissional em<br/>Ensino de Física</p> |  <p>Universidade Estadual de Maringá<br/>Centro de Ciências Exatas<br/>Departamento de Física<br/>Programa de Pós-Graduação do<br/>Mestrado Nacional Profissional em<br/>Ensino de Física</p> |  <p><b>SBF</b><br/>SOCIEDADE BRASILEIRA DE FÍSICA</p> |
| <b>Questionário Diagnóstico</b>                                                                                                                                      |                                                                                                                                                                                                                                                                                |                                                                                                                                          |
| <b>Nome:</b>                                                                                                                                                         |                                                                                                                                                                                                                                                                                | <b>Data:</b>                                                                                                                             |
| <p>Instruções</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Leia atentamente cada questão.</li> </ul>                                                                 |                                                                                                                                                                                                                                                                                |                                                                                                                                          |
| <p>1) Já ouviu falar sobre placa fotovoltaica? Como funciona?</p> <hr/> <hr/> <hr/>                                                                                  |                                                                                                                                                                                                                                                                                |                                                                                                                                          |
| <p>2) Quais “fontes” de energia elétrica você conhece?</p> <hr/> <hr/> <hr/>                                                                                         |                                                                                                                                                                                                                                                                                |                                                                                                                                          |
| <p>3) O que você entende por efeito fotoelétrico?</p> <hr/> <hr/> <hr/>                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                |                                                                                                                                          |
| <p>4) O que você entende por efeito fotovoltaico?</p> <hr/> <hr/> <hr/>                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                |                                                                                                                                          |
| <p>5) A energia mecânica é constituída de quais tipos de energia?</p> <hr/> <hr/> <hr/>                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                |                                                                                                                                          |
| <p>6) Descreva o que você conhece sobre a Lei de conservação de energia?</p> <hr/> <hr/> <hr/>                                                                       |                                                                                                                                                                                                                                                                                |                                                                                                                                          |
| <p>7) Como se determina a velocidade média, e a velocidade instantânea de um corpo em movimento?</p> <hr/> <hr/> <hr/>                                               |                                                                                                                                                                                                                                                                                |                                                                                                                                          |
| <p>8) O que fariam sem energia elétrica? E sem a energia solar? Qual a importância de cada uma delas em sua vida?</p> <hr/> <hr/> <hr/>                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                |                                                                                                                                          |
| <p>9) O que você sabe sobre o funcionamento do LED?</p>                                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                |                                                                                                                                          |

---

---

---

10) Já ouviu falar sobre diodo e/ou transistor? Onde?

---

---

---

11) Você sabe como funciona um material semicondutor?

---

---

---

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |                                                                                                                                                                                                                                                                                |                                                                                                                                          |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  <p><b>MNPEF</b><br/>Mestrado Nacional<br/>Profissional em<br/>Ensino de Física</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |  <p>Universidade Estadual de Maringá<br/>Centro de Ciências Exatas<br/>Departamento de Física<br/>Programa de Pós-Graduação do<br/>Mestrado Nacional Profissional em<br/>Ensino de Física</p> |  <p><b>SBF</b><br/>SOCIEDADE BRASILEIRA DE FÍSICA</p> |
| <b>Questionário: Plataforma Kahoot!® ou Impresso</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |                                                                                                                                                                                                                                                                                |                                                                                                                                          |
| <b>Nome:</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                                                                                                                                                                                                                | <b>Data:</b>                                                                                                                             |
| <b>Instruções</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                |                                                                                                                                          |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• Leia atentamente cada questão e marque apenas uma resposta.</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |                                                                                                                                                                                                                                                                                |                                                                                                                                          |
| <p>1) Existe diferença entre placa fotovoltaica e placa de aquecimento solar?</p> <p>( ) Sim</p> <p>( ) Não</p><br><p>2) Qual a vantagem em utilizar a energia gerada por uma placa fotovoltaica?</p> <p>( ) É uma energia limpa, ajuda na economia quanto ao uso de energia provinda de hidrelétricas e das termoeletricas.</p> <p>( ) Baixo custo de aquisição.</p> <p>( ) Geração de energia à noite.</p> <p>( ) Todas as alternativas.</p><br><p>3) O efeito fotoelétrico foi descoberto em 1886 pelo físico Albert Einstein?</p> <p>( ) Verdadeiro</p> <p>( ) Falso</p><br><p>4) Os materiais semicondutores são aqueles em situação intermediária, dependendo da situação pode ser isolante ou condutor?</p> <p>( ) Verdadeiro</p> <p>( ) Falso</p><br><p>5) Fios condutores são assim chamados porque são bons condutores de eletricidade, ou seja, possuem fótons livres.</p> <p>( ) Verdadeiro</p> <p>( ) Falso</p><br><p>6) O semicondutor P é um material carregado negativamente.</p> <p>( ) Verdadeiro</p> <p>( ) Falso</p><br><p>7) O semicondutor N é um material carregado negativamente.</p> <p>( ) Verdadeiro</p> <p>( ) Falso</p><br><p>8) A dopagem é um processo que são adicionadas impurezas ao semicondutor.</p> <p>( ) Verdadeiro</p> |                                                                                                                                                                                                                                                                                |                                                                                                                                          |

☐ Falso

9) A célula fotovoltaica funciona apenas com a luz solar.

☐ Verdadeiro

☐ Falso

10) O silício (Si) e o germânio (Ge) são os semicondutores mais utilizados.

☐ Verdadeiro

☐ Falso

11) A energia solar não é uma alternativa renovável pois o tempo de vida do sol é limitado.

☐ Verdadeiro

☐ Falso

12) Qual é o tempo estimado de vida de um painel?

☐ 5 anos

☐ 25 anos

☐ 15 anos

☐ 35 anos

13) Uma célula fotovoltaica é constituída por cristais de silício.

☐ Verdadeiro

☐ Falso

14) Assinale a alternativa que apresenta uma desvantagem do painel fotovoltaico.

☐ Retirada da vegetação nativa para sua produção.

☐ Elevado impacto ambiental produzido pelos painéis.

☐ Necessidade de extensas áreas para a instalação de painéis.

☐ Preços elevados em relação às fontes não renováveis.



|                                                                                                                                                                      |                                                                                                                                                                                                                                                                                |                                                                                                                                          |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  <p><b>MNPEF</b><br/>Mestrado Nacional<br/>Profissional em<br/>Ensino de Física</p> |  <p>Universidade Estadual de Maringá<br/>Centro de Ciências Exatas<br/>Departamento de Física<br/>Programa de Pós-Graduação do<br/>Mestrado Nacional Profissional em<br/>Ensino de Física</p> |  <p><b>SBF</b><br/>SOCIEDADE BRASILEIRA DE FÍSICA</p> |
| <b>Questionário - Construção do carrinho movido a energia solar</b>                                                                                                  |                                                                                                                                                                                                                                                                                |                                                                                                                                          |
| <b>Nome:</b>                                                                                                                                                         |                                                                                                                                                                                                                                                                                | <b>Data:</b>                                                                                                                             |
| <p>Instruções</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Leia atentamente cada questão.</li> </ul>                                                                 |                                                                                                                                                                                                                                                                                |                                                                                                                                          |
| <p>1) Nome dado ao carrinho movido a energia solar:</p> <hr/> <hr/> <hr/>                                                                                            |                                                                                                                                                                                                                                                                                |                                                                                                                                          |
| <p>2) Quais materiais utilizados para a construção do carrinho movido a energia solar:</p> <hr/> <hr/> <hr/>                                                         |                                                                                                                                                                                                                                                                                |                                                                                                                                          |
| <p>3) Antes de participar desse projeto, você já tinha conhecimento sobre energia solar?</p> <hr/> <hr/> <hr/>                                                       |                                                                                                                                                                                                                                                                                |                                                                                                                                          |
| <p>4) Você já tinha alguma experiência anterior com atividades de construção ou atividades práticas? Se sim, o que?</p> <hr/> <hr/> <hr/>                            |                                                                                                                                                                                                                                                                                |                                                                                                                                          |
| <p>5) Qual é a importância, na sua opinião, da energia solar como fonte de energia renovável?</p> <hr/> <hr/> <hr/>                                                  |                                                                                                                                                                                                                                                                                |                                                                                                                                          |
| <p>6) Quais foram os maiores desafios que você encontrou durante a construção?</p> <hr/> <hr/> <hr/>                                                                 |                                                                                                                                                                                                                                                                                |                                                                                                                                          |
| <p>7) Quais foram as partes mais interessantes ou divertidas da atividade?</p> <hr/> <hr/> <hr/>                                                                     |                                                                                                                                                                                                                                                                                |                                                                                                                                          |
| <p>8) Você acredita que a atividade de construir um carrinho movido a energia solar ajudou você a entender melhor o funcionamento da energia solar?</p> <hr/>        |                                                                                                                                                                                                                                                                                |                                                                                                                                          |

|                                                                                              |
|----------------------------------------------------------------------------------------------|
| <hr/>                                                                                        |
| <hr/>                                                                                        |
| <hr/>                                                                                        |
| 9) Como a energia solar é convertida em energia para movimentar o carrinho?                  |
| <hr/>                                                                                        |
| <hr/>                                                                                        |
| <hr/>                                                                                        |
| 10) Essa experiência prática mudou a forma como você entende a importância da energia solar? |
| <hr/>                                                                                        |
| <hr/>                                                                                        |
| <hr/>                                                                                        |

|                                                                                                                                                                      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |                                                                                                                                          |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  <p><b>MNPEF</b><br/>Mestrado Nacional<br/>Profissional em<br/>Ensino de Física</p> |  <p><b>U<br/>E<br/>MNPEF</b></p> <p>Universidade Estadual de Maringá<br/>Centro de Ciências Exatas<br/>Departamento de Física<br/>Programa de Pós-Graduação do<br/>Mestrado Nacional Profissional em<br/>Ensino de Física</p> |  <p><b>SBF</b><br/>SOCIEDADE BRASILEIRA DE FÍSICA</p> |
| <b>Questionário Avaliativo</b>                                                                                                                                       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |                                                                                                                                          |
| <b>Nome:</b>                                                                                                                                                         |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | <b>Data:</b>                                                                                                                             |
| <p>Instruções</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Leia atentamente cada questão.</li> </ul>                                                                 |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |                                                                                                                                          |
| <p>1) Já ouviu falar sobre placa fotovoltaica? Onde? Como funciona?</p> <hr/> <hr/> <hr/>                                                                            |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |                                                                                                                                          |
| <p>2) Quais “fontes” de energia elétrica você conhece?</p> <hr/> <hr/> <hr/>                                                                                         |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |                                                                                                                                          |
| <p>3) O que você entende por efeito fotoelétrico?</p> <hr/> <hr/> <hr/>                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |                                                                                                                                          |
| <p>4) O que você entende por efeito fotovoltaico?</p> <hr/> <hr/> <hr/>                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |                                                                                                                                          |
| <p>5) A energia mecânica é constituída de quais tipos de energia?</p> <hr/> <hr/> <hr/>                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |                                                                                                                                          |
| <p>6) Descreva o que você conhece sobre a Lei de conservação de energia?</p> <hr/> <hr/> <hr/>                                                                       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |                                                                                                                                          |
| <p>7) Como se determina a velocidade média, e a velocidade instantânea de um corpo em movimento?</p> <hr/> <hr/> <hr/>                                               |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |                                                                                                                                          |
| <p>8) O que fariam sem energia elétrica? E sem a energia solar? Qual a importância de cada uma delas em sua vida?</p> <hr/> <hr/> <hr/>                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |                                                                                                                                          |
| <p>9) O que você sabe sobre o funcionamento do LED?</p> <hr/>                                                                                                        |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |                                                                                                                                          |

10) Já ouviu falar sobre diodo e/ou transistor? Onde?

11) Você sabe como funciona um material semicondutor?

12) O que o você mais gostou nas aulas quanto a metodologia? Por qual (quais) motivos?

13) Em relação ao conteúdo escreva o que você mais gostou de compreender e por qual(quais) motivos?

14) Dê um *feedback* sobre as aulas de forma geral, gostaria de ter mais aulas deste tipo?

## APÊNDICE II – Material complementar: Circuito simples com LED e transistor

T. L. A. Astrath e H. Mukai

Durante a implementação desse PE, sentiu-se a necessidade de acrescentar um circuito simples envolvendo LED e transistor para que o(a) professor(a) possa explorar as características, o funcionamento e as aplicações desses dispositivos para facilitar a compreensão dos(as) alunos(as). Com isso, adicionamos ao PE este material complementar como uma sugestão para o professor.

A ideia é que esse circuito seja reproduzido no *Tinkercad* e posteriormente os(as) alunos(as), em grupos, montarão o circuito com o conjunto formado pelos materiais fornecidos pelo(a) professor(a).

Após uma pesquisa na *internet* um vídeo que chamou atenção foi o “Transistor #06 – Ligando um LED apenas com o toque do dedo” disponibilizado pela GV ensino (2016). O teste foi feito tanto no *Tinkercad* como manualmente e funcionou. O experimento passa a ser apresentado a seguir.

### **Materiais utilizados:**

1 transistor NPN (BC548)

1 LED

1 resistor de 470  $\Omega$  (para o coletor do transistor para limitar a corrente no LED)

1 resistor de 1 k $\Omega$  (para a base do transistor, sensível ao toque)

1 bateria de 9V

1 protoboard

Fios de conexão

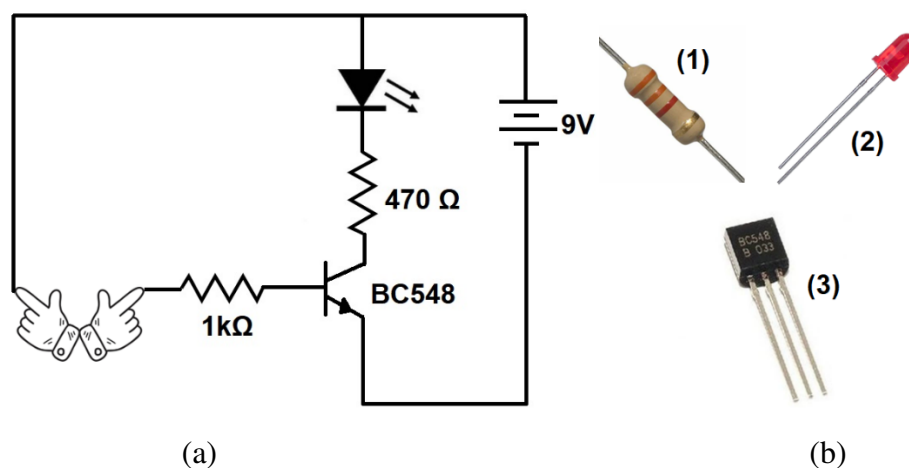
### **Objetivos:**

- Entender como o transistor funciona como amplificador de sinais para acender um LED usando o toque do dedo;
- Demonstrar que um pequeno sinal elétrico pode ser amplificado para acionar um componente, explorando conceitos básicos de eletrônica de forma prática;
- Explorar o funcionamento do LED e do resistor.

Utilizando o *software* Tinkercad:

- 1) Fazer o cadastro no <https://www.tinkercad.com/>.
- 2) Ao abrir a plataforma, selecionar para trabalhar com montagens de circuitos. Na aba a direita em componentes pode se escolhe o básico ou todos, e aparecerão as imagens dos componentes. Para utilizar basta arrastar, para o espaço branco à esquerda, o(s) componente(s) elétrico(s) que irá utilizar.
- 3) Montar o circuito ilustrado na Figura 1.

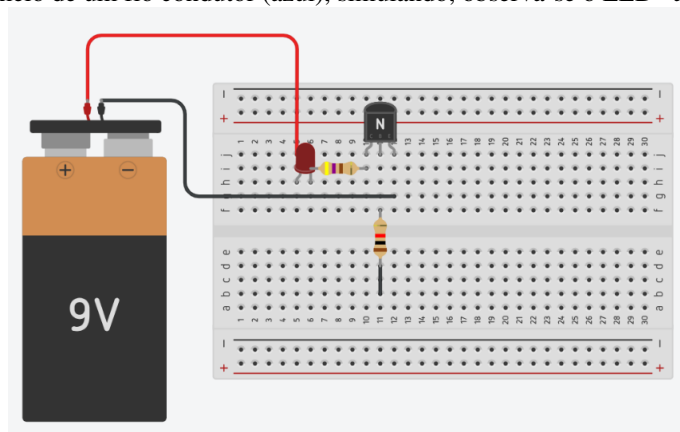
Figura 1 – (a) Esquema do circuito para acender um LED com o toque do dedo, utilizando um transistor como amplificador de sinal. (b) Imagem fotográfica de um resistor (1), um led (2) e um transistor (3).



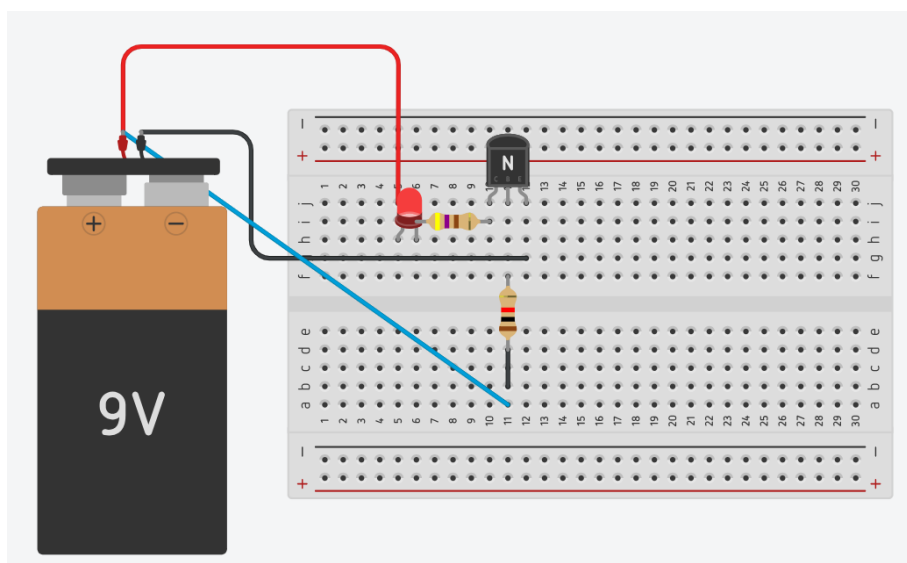
Fontes: (a) Baseada no vídeo <https://www.youtube.com/watch?v=Mm9cHBVPOxk>. (b) sites comerciais da internet. Acesso em: 10 mar 2025.

A montagem do circuito da Figura 1 (a) no Tinkercad é o apresentado na Figura 2.

Figura 2 - Cópia de tela do simulador Tinkercad, apresentando o circuito da Figura 1 (a) utilizando a protoboard. Em (a) somente a montagem do circuito sem a ligação do polo positivo da bateria com o resistor de 1 kΩ e com o LED apagado. Em (b), com a ligação do polo positivo da bateria com o resistor de 1 kΩ feita por meio de um fio condutor (azul), simulando, observa-se o LED “aceso”.



(a)



(b)

Fonte: as autoras por meio do <https://www.tinkercad.com/>.

### Montagem do Circuito:

1º Passo: Insira o transistor NPN na protoboard e identifique os três terminais: coletor, base e emissor.

2º Passo: Conecte o emissor do transistor ao negativo da bateria por meio de fios de conexão.

3º Passo: Insira o LED na protoboard e conecte o ânodo (terminal maior) do LED ao positivo da bateria. O cátodo (terminal menor) do LED deve ser ligado ao coletor do transistor por meio de um resistor de  $470\ \Omega$  para limitar a corrente no LED.

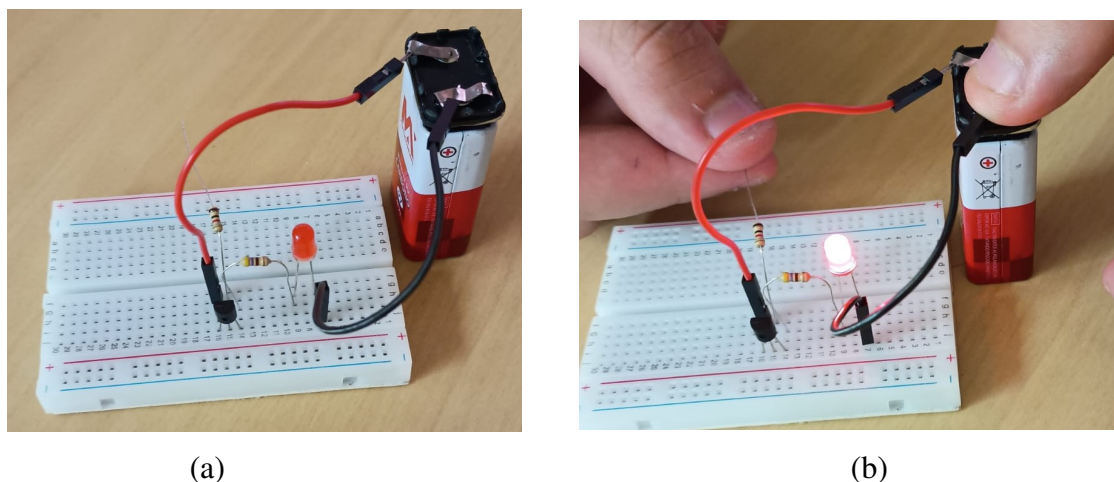
4º Passo: Conecte um resistor de  $1\ k\Omega$  na base do transistor (na vertical), deixando o terminal do resistor livre para o toque.

5º Passo\*: Para que o LED “acenda”, no caso da montagem feita no Tinkercad, esse toque será feito por meio de um fio de conexão entre o resistor de  $1\ k\Omega$  ao polo positivo da bateria. No caso da Figura 2 (b) esse fio de conexão está representado pela cor azul.

Compreendido a parte do *software* Tinkercad os(as) alunos(as), em grupos, podem montar o circuito real. Para isso, cada grupo deve receber o *kit* para a montagem contendo: um transistor NPN (BC548), um LED, dois resistores (um de  $470\ \Omega$  e outro de  $1\ k\Omega$ ), uma bateria de 9V, uma *protoboard* e fios de conexão. Montagem apresentada na Figura 3(a).

Eles devem seguir os mesmos passos realizados para a construção no Tinkercad, modificando apenas o 5º passo. Nesse caso, para o LED acender no circuito real, os(as) alunos(as) devem colocar o dedo indicador da mão esquerda no polo positivo da bateria e encostar o indicador da mão direita no terminal do resistor que está ligado na base do transistor, conforme indicado na Figura 3 (b).

Figura 3 – Imagem (a) do circuito montado em uma *protoboard*, e (b) o LED “aceso” por meio do contato humano na bateria e em um dos terminais do resistor.



Fonte: Arquivo das autoras.

### Por que isso acontece?

O corpo humano possui uma certa resistência elétrica e consegue conduzir uma pequena corrente. Quando o(a) aluno(a) toca no fio, uma pequena corrente passa para a base do transistor, permitindo que o mesmo seja ativado, e mesmo com uma corrente muito pequena, o transistor amplifica esse sinal permitindo que uma corrente maior flua do coletor para o emissor “acendendo” o LED. Quando o dedo é removido, o transistor desliga e o LED “apaga”.

### Por que não tomamos choque?

Não tomamos choque nesse circuito porque a tensão usada é baixa e a resistência da pele limita a corrente consequentemente a corrente que passa pelo nosso corpo é extremamente pequena e segura, mas é o suficiente para que quando entre no transistor ela seja amplificada gerando uma corrente muito maior “acendendo” o LED.



Após a construção do circuito pelos grupos o(a) professor(a) poderá iniciar uma discussão levantando alguns questionamentos a fim de abordar assuntos relacionados ao funcionamento, características e aplicações do LED e transistor.

O(A) professor(a) poderá destacar que tanto o LED quanto o transistor são componentes eletrônicos compostos por materiais semicondutores. Isso significa que eles têm a capacidade de conduzir eletricidade de maneira controlada. No caso do LED, um diodo semicondutor formado por uma junção PN, que emite luz quando uma corrente passa por ele. E o transistor, construído a partir de duas junções PN, que regula o fluxo de corrente, funcionando como um interruptor ou amplificador. Características essas que são fundamentais para o funcionamento desses dispositivos em diversos circuitos eletrônicos.

Nessa atividade, o(a) professor(a) também poderá explorar o resistor e sua finalidade dentro de um circuito, colocando o seguinte questionamento:

- O que acontece se tirarmos o resistor do circuito? E se alterarmos os valores dos resistores?

O LED pode danificar, pois o resistor limita a corrente que passa pelo LED. Sem ele, a corrente pode ser muito alta, danificando o LED ou o próprio transistor. Se alterarmos os valores dos resistores podemos diminuir o brilho (resistores maiores limitam mais a corrente) ou deixá-lo mais brilhante (resistores menores permitem mais corrente).

E deixando que os(as) alunos(as) testem/usem o *software* Tinkercad sugerindo, por exemplo, para retirem os resistores e/ou que alterem os valores dos resistores verificando o que acontece com o brilho do LED.

Outros questionamentos:

1) Podemos substituir o dedo por outro objeto para acionar o LED?

Sim. Poderíamos substituir por um material condutivo, como foi feito na simulação no *Tinkercad*. Porém, não “acenderia” ao usarmos um material isolante, como plástico ou borracha, pois esses materiais não permitem a passagem de corrente elétrica e, portanto, o transistor não receberia o sinal necessário para ativar o circuito e acender o LED.

2) Qual a função do transistor nesse circuito?

O transistor amplifica o sinal gerado pelo toque na base, permitindo o fluxo de uma corrente maior por meio do circuito, possibilitando o funcionamento do LED. Ele atua também como um interruptor, pois só permite que a corrente passe para o LED quando recebe um pequeno sinal na base.

**Fechamento:** O(A) professor(a) poderá abordar incentivar os(as) alunos(as) a refletirem sobre o que eles aprenderam e destacar como o transistor e o LED são usados em projetos do dia a dia.

**Avaliação:** O(A) professor(a) irá avaliar a aula de acordo com o interesse, comentários e compreensão dos(as) alunos(as), além do desenvolvimento das atividades durante a aula, e o resultado experimental final, que deverão entregar por escrito.

### **REFERÊNCIAS:**

GV ENSINO (2016). Transistor #06 – Ligando um LED apenas com o toque do dedo. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=Mm9cHBVPOxk>. Acesso em: 10 mar 2025.

TINKERCAD [s.d.]. Disponível em: <https://www.tinkercad.com/> . Acesso em: 10 mar 2025.

**Agradecimentos:** As autoras agradecem ao Prof. Dr. Breno Ferraz de Oliveira por ter fornecido o material para a execução deste experimento, e ao acadêmico do curso de licenciatura em Física Jefferson Hyan Ferreira por ter ajudado a testar e permitir o registro da foto do circuito funcionando.