

## Uso de mini placas solares para alimentar uma calculadora: exemplo de experimento didático de baixo custo

### Using micro solar panels to power a calculator machine: an example of a low cost teaching experiment

<sup>1</sup> Mateus Patrício B. Pereira, <sup>2</sup>Everton Cavalcante, <sup>3</sup>Valdeci Mestre da S. Júnior;

<sup>1</sup> Escola Cidadã Integral Manoel Medeiros de Araújo, Vista Serrana PB, Brasil;

<sup>2,3</sup>Universidade Estadual da Paraíba, PB, Brasil

**Resumo:** No presente trabalho apresenta-se de forma sucinta, uma proposta de ensino sobre transformações de energia tratando da conversão de energia solar em energia elétrica usando materiais simples, de baixo custo e de fácil aquisição. O objetivo principal é demonstrar a conversão de energia solar em energia elétrica utilizando materiais de fácil aquisição para a implementação de experimentos no Ensino Médio. Para tanto, propomos atividades e técnicas usando diodos emissores de luz (LEDs) de alto brilho que emitem luz na cor azul e vermelha, que quando expostos a luz solar absorvem essa energia convertendo-a em energia elétrica que pode ser usada para fazer funcionar algum aparelho eletrônico. Esses diodos têm características semelhantes às células fotovoltaicas, sendo formados por semicondutores e junções do tipo p-n. Como resultado, apresentamos uma demonstração prática da utilização dessas mini placas solares na perspectiva do ensino de física, para alimentar uma calculadora doméstica.

**Palavras-chave:** energia solar, experimentos de baixo custo, mini placas solares.

**Abstract:** In the present work, a proposal for teaching about energy transformations is briefly presented, dealing with the conversion of solar energy into electrical energy using simple, low-cost and easy-to-purchase materials. The main objective is to demonstrate the conversion of solar energy into electrical energy using easily acquired materials for the implementation of experiment in high school. Therefore, we propose activities and techniques using high-brightness light-emitting diodes (LEDs) that emit blue and red light. When exposed to sunlight, they absorb this energy converting it into electrical energy that can be used to make some electronic devices work. These diodes have characteristics similar to photovoltaic cells, being formed by semiconductors and p-n junctions. As a result, we present a practical demonstration of the use of these mini-solar plates, from the perspective of teaching physics, to power a home calculator.

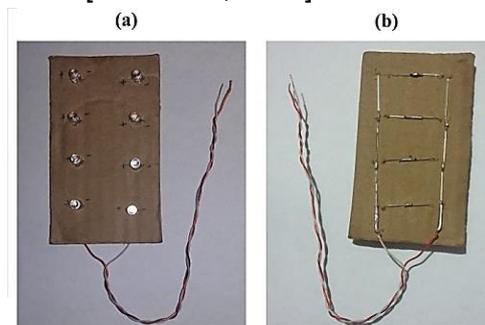
**Keywords:** solar energy, low-cost experiments, mini solar panels.

## Introdução

Diariamente fazemos uso da energia em seus diferentes aspectos e formas. Esse é um tema que tem sido bastante debatido em sociedade, seja por um viés de conscientização ou pelas formas de obtenção e geração desses recursos. Esse artigo é fruto de um estudo que surgiu pela dificuldade de se encontrar um método simples, prático e/ou experimental que trate sobre a conversão direta de energia solar em energia elétrica; visto que, apesar de relativamente baratos, placas ou painéis solares de pequeno porte ainda são pouco procurados pelo público em geral. Perde-se aí a oportunidade de compreender melhor os fenômenos envolvidos no processo, como também, o senso criativo pela construção do material que se pretende estudar, o que é de grande estima para a ciência e, em especial, para a física. Buscando solucionar os problemas observados, propomos um modelo de ensino que trate sobre a conversão direta de energia solar em energia elétrica. Nesse modelo, propomos a utilização de diodos emissores de luz (LED - *Light Emitting Diode*) como fonte de energia. Assim, construímos uma prática experimental de baixo custo com alguns circuitos elétricos, constituídos basicamente de LEDs de alto brilho, papelão, fios de cobre e solda de estanho-chumbo. Esses circuitos foram denominados de mini placas solares fotovoltaicas. A imagem seguinte traz uma das mini placas solares confeccionadas.

**Figura 1:** Mini placa solar. (a) Parte frontal da mini placa solar composta de

oito LEDs de alto brilho. (b) verso da mini placa solar onde é apresentado o plano de ligação e conexões entre os LEDs. [PEREIRA, 2016].



Esses dispositivos de baixo custo que desenvolvemos, quando expostos à radiação solar, produzem energia elétrica que pode ser usada para fazer funcionar uma calculadora ou outros dispositivos que funcionem a uma tensão de 1,5 a 3,0 Volts e intensidade de corrente na ordem de microampère (com variação de corrente desprezível) ( $\mu\text{A}$ ); que, por coincidência, é exatamente da ordem de grandeza convencional da rede elétrica doméstica.

### Conceitos Básicos:

O LED, pelo seu próprio nome, é um diodo emissor de luz. Os diodos são dispositivos elétricos formados por uma junção de semicondutores tipo  $p$  e tipo  $n$ .

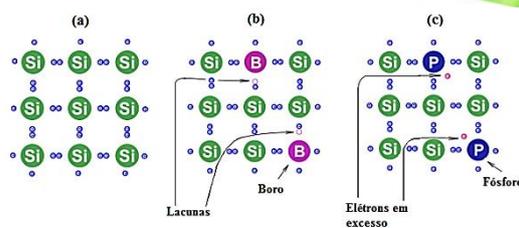
Esses diodos emissores de luz são especialmente utilizados na microeletrônica como em sinalizadores de avisos ou propagandas de lojas e outdoors, na transmissão de dados dos controles remotos, na iluminação residencial, nas telas de celulares, relógios, computadores, televisores e etc. A primeira lâmpada LED – inicialmente na cor vermelha – surgiu em 1962, desenvolvida pelo

engenheiro estadunidense Nick Holonyak Júnior. Alguns anos depois foram desenvolvidas outras lâmpadas nas cores amarela e verde [MERIGO, 2012].

É importante conceituar que tanto painéis fotovoltaicos quanto LEDs, são em geral, semicondutores. Contudo, painéis fotovoltaicos são em sua maioria feitos de Silício; enquanto LEDs são mais comumente fabricados a partir de Arseneto de Gálio (GaAs) e Fosfeto de Gálio (GaP) [HOLLOWAY, 1995]. Tais semicondutores, em sua maioria, são encontrados na natureza com certo tipo de impurezas, ou seja, em sua estrutura cristalina existem átomos de substâncias diferentes (estranhas) daqueles que compõem o material como é o caso do Silício (Si) e do Germânio (Ge), dois dos semicondutores mais comuns utilizados pela indústria. Nesse caso, busca-se alterar, de forma controlada, as propriedades desses materiais, adicionando certos tipos de substância a sua rede cristalina, fazendo um procedimento chamado de dopagem [FILHO, 2009].

Esse é um importante procedimento utilizado nos materiais semicondutores, e é devido a esse procedimento que o LED funciona também, como célula fotoelétrica. A figura a seguir, traz um modelo de uma estrutura de silício que sofre dois processos de dopagem:

**Figura 2:** Dopagem do silício (Si). (a) semicondutor puro sem passar pelo processo de dopagem. (b) semicondutor que sofreu um processo de dopagem tipo *p*, falta de elétrons (lacunas). (c) semicondutor que sofre uma dopagem tipo *n*, excesso de elétrons na estrutura. [ELETRONPI, 2016].



Observa-se que o processo de dopagem consiste em adicionar outros elementos químicos na estrutura do semicondutor. Ao se adicionar o Boro (B), gera-se “buracos ou lacunas” que devem ser preenchidos com elétrons. Esses elétrons são decorrentes do outro processo de dopagem que deve ocorrer quando se adiciona fósforo (P) na estrutura do silício. A dopagem com fósforo (P) deixa um excesso de elétrons na estrutura que circula pelo material quando recebe energia.

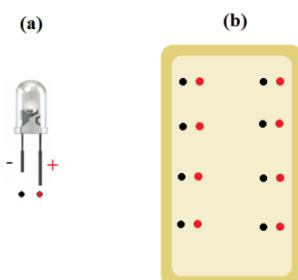
No caso do LED dentro do comprimento de onda do visível, destacam-se dois procedimentos principais de dopagem, que classificam o semicondutor como: semicondutor tipo *n*, para aqueles que possuem um excesso de elétrons em sua rede cristalina, ou seja, excesso de carga *negativa*, e semicondutor tipo *p*, para os materiais que possuem excesso de carga *positiva* em sua rede cristalina, ou seja, falta de elétrons. Para uma leitura mais aprofundada sobre a física de semicondutores recomendamos as referências: [DEDAVID et al, 2007; FILHO, 2009; PEREIRA, 2010; PEREIRA, 2016-2019].

## Metodologia

Nosso trabalho consistiu em montar painéis elétricos usando LEDs, que são conectados por meio de ligações em série e em paralelo. Inicialmente, deve-se atentar para um fato importante sobre a polaridade dos LEDs, que são diodos, e por isso têm um único sentido para a corrente elétrica em sua

estrutura. O LED é composto de dois terminais: um positivo (ânodo) e outro negativo (cátodo). As mini placas solares foram confeccionadas com ligações do tipo mistas (série e paralelo) e as conexões entre os terminais metálicos dos LEDs e dos fios condutores foram feitas com solda de estanho-chumbo. A imagem a seguir mostra o plano de ligação de uma mini placa solar de oito LEDs:

**Figura 3:** Plano de Ligação de uma mini placa solar de oito LEDs. (a) LED de alto brilho utilizado. (b) organização dos LEDs no papelão utilizado, atentando-se para os pontos preto e vermelho que são os polos negativo e positivo dos LEDs, respectivamente. [PEREIRA, 2016].



Foram usados oito LEDs de auto brilho na mini placa solar, mas essa quantidade pode ser maior ou menor, dependendo da tensão e da corrente que se queira para o protótipo. Os materiais utilizados na confecção das mini placas solares foram:

- LEDs de alto brilho nas cores azul (aprox. 450nm), vermelha (aprox. 660nm) e verde (aprox. 530nm). Todos com 5,0mm de diâmetro;
- Pedacinhos de papelão nas dimensões (10cm x 6,0cm);
- Fios de cobre (usados em cabos de rede de internet: RJ-45);
- Ferro de solda;
- Solda de estanho-chumbo;

- Clip metálico;
- Capacitor eletrolítico de 1,0 $\mu$ F (opcional).

Note que podem ser usadas quantidades diferentes de LEDs nas mini placas solares. Em nossos testes experimentais observamos que esse arranjo de circuito misto foi o que apresentou melhores resultados para a tensão e corrente elétrica produzidas, desde que a intensidade da corrente elétrica seja da ordem de microampères.

### Resultados e Discussões:

A montagem da calculadora como experimento didático foi realizada na Escola Estadual de Ensino Fundamental e Médio Cel. Manoel Medeiros de Araújo, na cidade de Vista Serrana, no estado da Paraíba, onde um de nós autores atua como professor. As figuras a seguir exibem o arranjo confeccionado para a realização das medidas experimentais apresentadas neste trabalho, bem como, a aplicação da unidade de ensino em uma das turmas da escola. As mini placas solares podem ser usadas para fazer funcionar aparelhos ou equipamentos que operem nas condições descritas anteriormente de tensão e corrente elétrica. Pensando nisso, usamos uma calculadora que funciona com uma pilha de 1,5 Volts e corrente na ordem de microampère ( $\mu$ A).

**Figura 4:** Mini placas solares confeccionadas pelos estudantes. (a) estudantes medindo a diferença de potencial e corrente elétrica produzidas por uma mini placa solar. (b) estudantes usando uma mini placa

solar para alimentar uma calculadora.

(a)



(b)



Atualmente o ensino de física tende a um *Teaching for test* [REDISH, 1999] amparado numa educação bancária e pouco libertadora [FREIRE, 1996], que remete a um ensino mercadológico e de pouco impacto social na formação do estudante enquanto um entendedor da tecnologia que o cerca.

Motivados pela ideia de que é possível um ensino de física onde haja uma maior interação professor-aluno, no intento de entender os recursos tecnológicos que o cercam, construímos nossa abordagem em sala de aula baseada na aprendizagem significativa; idealizada principalmente por Ausubel, Moreira e Moreira & Masini [AUSUBEL, 1963; 1968; 2000; MOREIRA, 1999; 2002; 2005; 2006; 2011; MOREIRA & MASINI, 1982]. Buscamos sair da abordagem de ensino centrada no professor e

tentamos utilizar os conhecimentos prévios do estudante ao seu favor. Para isso, usamos um modelo de ensino do tipo: *Team-Based Learning* de curta duração [OLIVEIRA, 2016] para a construção da mini placa solar, visando o entendimento do efeito fotovoltaico como responsável na conversão de energia solar em elétrica. O próprio Moreira defende, em suas Unidades de Ensino Potencialmente significativas que o ensino deve partir da formulação de situações-problema [MOREIRA, 2011]. Em nosso modelo de ensino para o efeito fotovoltaico criamos, dentre outras, a seguinte situação-problema: “como é possível que o Sol possa fazer a calculadora funcionar”? Notamos um grande engajamento dos estudantes nessas aulas e que houve uma diferenciação progressiva dos conceitos físicos como: frequência, corrente, tensão e até mesmo do aspecto corpuscular da luz. Assim, dividimos com o leitor a possibilidade de utilizar nossa experiência com suas turmas, ao passo que instigamos sua criatividade na proposta de modelos semelhantes.

#### Agradecimentos:

Agradecemos a CAPES e ao CNPq pelo apoio financeiro.

#### Referências

- AUSUBEL, D.P. (1963). **The psychology of meaningful verbal learning**. New York, Grune and Stratton.
- AUSUBEL, D.P. **Educational psychology – a cognitive view**. New York: Holt, Rinehart and Winston. 1968. 685p.

AUSUBEL, D.P. **The acquisition and retention of knowledge: a cognitive view.** Dordrecht: Kluwer Academic Publishers. 2000. 212p.

BASSO, V. A. ERMAKOV, F. C. MARQUES, and G. F. de Sá, **“Localization of light: beginning of a new optics,”** Proc. SPIE 10549, 1054905 (2018).

DEDAVID, B. A; GOMES, C. I. e MACHADO, G. **Microscopia Eletrônica de Varredura: Aplicações e preparação de amostras de Materiais Poliméricos, metálicos e semicondutores.** Porto Alegre: EDIPUCRS, 2007. 60p.

ELETRONPI. **Curso de eletrônica: semicondutores.** ilustrações. Disponível em: <<http://www.eletronpi.com.br/ce-024-semicondutor.aspx>>, acesso em 21 dez. 2016.

FILHO, Júlio Mesquita. **Semicondutores. Apostilas.** São Paulo: 2009. Disponível em: <[http://www.feg.unesp.br/~jmarcelo/rest\\_rito/arquivos\\_downloads/apostilas/eb2/semicondut\\_v1.pdf](http://www.feg.unesp.br/~jmarcelo/rest_rito/arquivos_downloads/apostilas/eb2/semicondut_v1.pdf)>, acesso em 10 jan. 2017.

FREIRE, P. **Pedagogia da Autonomia: saberes necessários à prática educativa.** São Paulo: Paz e Terra, 1996.

HOLLOWAY, P. H., **Handbook of compound semiconductors: Growth, Processing, Characterization, and Devices,** Noyes Publications, 1995.

MERIGO, C. **Nick Holonyak, o inventor do LED.** Artigos. B9. 2012. Disponível em: <[http://www.b9.com.br/32100/tech/nick-](http://www.b9.com.br/32100/tech/nick-holonyak-o-inventor-do-led/)

[holonyak-o-inventor-do-led/](http://www.b9.com.br/32100/tech/nick-holonyak-o-inventor-do-led/)>, acesso em 11 jan. 2017.

MOREIRA, M. A. **Teorias de Aprendizagem.** São Paulo: EPU. 1999. 248p.

MOREIRA, M. A. **Aprendizaje significativo: teoría y práctica.** Madrid: Visor. 2002. 100p.

MOREIRA, M.A. **Aprendizagem significativa crítica.** Porto Alegre: Instituto de Física da UFRGS. 2005. 45p. <[http://www.if.ufrgs.br/~moreira/apsi\\_gcritport.pdf](http://www.if.ufrgs.br/~moreira/apsi_gcritport.pdf)>

MOREIRA, M.A. **A teoria da aprendizagem significativa e sua implementação na sala de aula.** Brasília: Editora da UnB. 2006. 185p.

MOREIRA, M.A. **Unidades de Ensino Potencialmente Significativas – UEPS.** Porto Alegre: Instituto de Física da UFRGS. 2011. 22p.

MOREIRA, M.A. e MASINI, E.F.S. **Aprendizagem significativa: a teoria de David Ausubel.** São Paulo: Editora Moraes. 1982. 112p.

OLIVEIRA, T. E., **Aprendizagem Baseada em Equipes (Team-Based Learning): um método ativo para o Ensino de Física,** Caderno Brasileiro de Ensino de Física, v. 33, n. 3, p. 962-986, dez. 2016.

PEREIRA, J. M. T. **Fundamentos de Eletrônica: Diodos de junção p-n.** Teoria. cap.2. Instituto Superior Técnico – IST. 2010. Disponível em: <[https://fenix.tecnico.ulisboa.pt/downloadFile/3779578014803/CAP2\\_Diodo.pdf](https://fenix.tecnico.ulisboa.pt/downloadFile/3779578014803/CAP2_Diodo.pdf)>, acesso em 25 jan. 2019.



PEREIRA, M. P. B. **Usando o led na produção de energia limpa e renovável: construção de mini placas solares fotovoltaicas.** 2016. 35 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Física)–Centro de Ciências Exatas e Sociais Aplicadas, Universidade Estadual da Paraíba, Patos, 2016.

PEREIRA, M. P. B. **Unidade de ensino potencialmente significativa no estudo problematizador dos efeitos fotoelétrico e fotovoltaico.** 2019. 132f. Dissertação (Programa de Pós-Graduação Profissional em Ensino de Física - PPGPEF) - Universidade Estadual da Paraíba, Campina Grande, 2019.

REDISH, E. F., STEINBERG, R. N., **Teaching Physics: Figuring Out What Works**, Phys. Today, 52,1999.