

## **Energia Solar na Sala de Aula: Produção Alternativa de Células Solares como tema motivador interativo no Ensino de Química no Ensino Médio e no Ensino Superior.**

Ana Paula Nazar de Souza, Gabriel Francisco S. da Silva, Jaqueline Dias Senra.

*Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Instituto de Química, Rua São Francisco Xavier, 524, Edifício Haroldo Lisboa da Cunha, IQ, room 312a, Maracanã, 20550-013, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.*

*ana.uerj@hotmail.com*

**Palavras-Chave:** Célula solar, corantes naturais, ensino de Química.

### **Introdução**

As mudanças climáticas provocadas pelo efeito estufa, resultantes do uso massivo de combustíveis fósseis e do desmatamento, intensificados desde a Primeira Revolução Industrial, têm gerado impactos significativos na superfície terrestre. Esse processo, inicialmente impulsionado pelo desenvolvimento social, através da criação de fábricas, da geração de energia elétrica e do avanço nos transportes, trouxe como consequências o aumento da temperatura global e a acidificação dos oceanos, entre outros efeitos negativos (ONU, 2020).

Visando a melhoria e a sustentabilidade das matrizes energéticas, fontes renováveis, como a energia eólica e solar, foram desenvolvidas em paralelo ao conceito de cidades inteligentes. Essas "smart cities" têm como objetivo aprimorar e expandir os serviços urbanos de forma sustentável, utilizando os avanços tecnológicos para promover eficiência e reduzir o impacto ambiental (CASTRO e BARACHO, 2020).

A energia solar, obtida por meio do efeito fotoelétrico que ocorre em semicondutores presentes nas células fotovoltaicas, é uma alternativa promissora. Quando expostos à luz solar, esses semicondutores geram eletricidade. Contudo, o custo de produção das células fotovoltaicas torna essa tecnologia, apesar de sustentável e inesgotável, financeiramente inviável para uma aplicação em larga escala. Isso se deve, principalmente, ao uso de silício cristalino de alto custo, presente em aproximadamente 90% dos módulos solares fabricados atualmente. Além disso, a produção desses painéis ocorre predominantemente na China, onde a eletricidade gerada a partir de combustíveis fósseis é amplamente utilizada no processo de fabricação (SICHULA, 2023; CGEE, 2009).

Desde a descoberta do efeito fotoelétrico por Edmond Becquerel em 1893, diversas alternativas foram desenvolvidas para viabilizar e baratear a produção de células fotovoltaicas. As células solares de primeira geração, fabricadas com silício cristalino dopado com boro e fósforo, ainda dominam o mercado devido à sua eficiência moderada. Já as células solares de segunda geração, baseadas em filmes finos de materiais como silício amorfo, CIGS (seleneto de cobre, índio e gálio), CdTe (telureto de cádmio) e CZTS (sulfeto de cobre, zinco e estanho), surgiram nos anos 1990 como uma alternativa mais acessível. No entanto, sua menor eficiência em comparação às de primeira geração impediu uma adoção mais ampla no mercado de energia solar (POLMAN et al., 2016; RAPHAELA et al., 2018).

As células solares de terceira geração, também conhecidas como células alternativas ou células solares sensibilizadas por corantes (CSSC), apresentam um custo de produção mais baixo e são de manipulação mais simples em comparação com as gerações anteriores. Essas células são compostas por corantes sensibilizadores, dois eletrodos de vidro condutores (como FTO ou ITO), onde um dos eletrodos contém um semicondutor nanocristalino, como o dióxido de titânio ( $\text{TiO}_2$ ), em sua camada condutora, enquanto o outro eletrodo é recoberto com um catalisador de carbono, como o grafite (MAGALHÃES et al. 2023).

O funcionamento dessas células ocorre por meio de um processo fotoeletroquímico, no qual os corantes são excitados pela luz. Os elétrons do orbital molecular ocupado de maior energia (HOMO) são transferidos para o orbital molecular desocupado de menor energia (LUMO) e, posteriormente, para a banda de condução do semicondutor. Esse processo ocorre desde que a diferença de energia entre os orbitais HOMO e LUMO do corante seja maior do que a diferença entre a banda de valência e a banda de condução do semicondutor (SICHULA, 2023).

Dado o crescente uso desses módulos solares nas cidades, é essencial que esse tema seja abordado em sala de aula, considerando sua natureza transdisciplinar. Além disso, a experimentação desempenha um papel fundamental no processo de aprendizagem de uma ciência essencialmente empírica como a química. Ao realizar experimentos, os alunos podem desenvolver suas habilidades de investigação e compreender de maneira prática os conceitos apresentados (STUART, 2008).

Este trabalho aborda a produção alternativa de células solares como tema motivador para o ensino de química, visando integrar conceitos científicos com sustentabilidade. O objetivo é promover uma aprendizagem interativa e contextualizada, estimulando o pensamento crítico dos alunos sobre energias renováveis. A relevância do tema reside na necessidade de formar cidadãos conscientes sobre o impacto ambiental e o papel da ciência no desenvolvimento de soluções tecnológicas, enquanto a experimentação prática reforça o engajamento e a compreensão dos alunos sobre os princípios químicos envolvidos, a ideia é que essa prática elaborada possa ser aplicada em aulas práticas no 3º ano do ensino médio e para o ensino superior na disciplina de Química Inorgânica Experimental 1.

## **Material e Métodos**

A produção de uma célula solar alternativa pode ser um excelente tema motivador para o ensino de química, tanto no Ensino Médio quanto no Superior, por abordar conceitos de física, química orgânica, inorgânica e eletroquímica. Nossa ideia foi a de criar uma célula solar DSSC utilizando corantes naturais, extraídos de alimentos roxos, usou-se a beterraba, a uva e o açaí.

Iniciou-se o experimento com a extração dos corantes naturais, que podem ser trazidos pelos próprios alunos. Nesse caso compramos pó de beterraba e de uva, baratos, e extrato de açaí preparado previamente pelo professor no laboratório. No preparo do extrato de beterraba, 6,25 g de pó de beterraba foram dissolvidos em 40 mL de água destilada com o auxílio de um bastão de vidro. O extrato de uva foi preparado dissolvendo 3,125 g deste corante em 100 mL de água destilada, pois sua solubilidade é significativamente menor que da uva. Enquanto que para o preparo do extrato de açaí foram pesados 100,00 g de açaí em 400 mL de água destilada

e 400 mL de álcool etílico. O professor pode permitir que os alunos escolham livremente os alimentos, mas deve destacar a importância da presença de grupos hidroxila ou carboxila, e antocianinas desses corantes selecionados, para garantir a adequada sensibilização do filme de  $\text{TiO}_2$  e a cor.



**Figura 1.** Preparo da suspensão de corantes (beterraba)

O semicondutor de  $\text{TiO}_2$  foi preparado adaptando o método exposto por Mazalan et al. (2013), onde 1 g de  $\text{TiO}_2$  comercial moída junto a 1,5 mL de ácido acético a 0,1 M, 1 mL de água destilada e 2 gotas de detergente neutro, com o auxílio de gral e pistilo. Essa mistura adquiriu consistência de pasta rapidamente, por isso em seguida foi adicionada aos eletrodos na sua camada condutora.



**Figura 2.** Preparo da pasta de  $\text{TiO}_2$

Sobre a superfície previamente limpa com detergente e água destilada, dos substratos de FTO aproximadamente ( $3,0 \text{ cm} \times 1,0 \text{ cm}$ ) foi depositada a pasta de  $\text{TiO}_2$  e em seguida, levado em estufa, placa de aquecimento e forno mufla a 100, 200, 250, 300 e 400 °C por 30 min e cortados, para avaliar qual temperatura forneceria melhor aderência da pasta a superfície do vidro, ou seja, melhor formação do contorno de grão na apresentação do caráter condutivo (ABREU, 2024). Essa adição foi realizada sobre a camada condutora do FTO, a qual foi determinada pela medida de resistência elétrica utilizando um multímetro, como demonstra a figura 3.



**Figura 3. a)** Eletrodos de FTO com camada de  $\text{TiO}_2$ , aquecidos em diferentes fontes para formação do grão de contorno. **b)** teste de condutividade do eletrodo de FTO.

Os filmes de  $\text{TiO}_2$  preparados foram imersos em placas de Petri contendo a solução de corante natural, por aproximadamente 24 h, para garantir a máxima adsorção dos corantes pelo filme de óxido. Os béqueres foram mantidos tampados e protegidos da luz em geladeira.



**Figura 4.** Eletrodos de  $\text{TiO}_2$  48h de imersão nos corantes.

No contra-eletródo foi realizado um depósito da camada de carbono no eletródo de FTO, utilizando uma pinça a qual serviu para segurar o eletródo acima da fumaça de uma vela de parafina, que se aderiu a superfície do vidro, como relatado anteriormente por. Vale destacar uma pequena parte da superfície do FTO precisa ser preservada - para facilitar a leitura da potência gerada na célula -, ou seja, sem a camada carbônica, isso pode ser feito impedindo que todo eletródo entre em contato com a fumaça ou limpado uma pequena parte com algodão ou lenço úmido, como relatado por Mazalan et al. (2013).



**Figura 5.** Deposição da camada de carbono no eletródo de FTO.

Gotas do eletrólito foram adicionadas sobre o filme de  $\text{TiO}_2$ /corante (fotoeletródo) para permear em todo o filme. O contra eletródo foi colocado por cima do fotoeletródo e foi preso com cliques para papel, para evitar o vazamento do eletrólito.

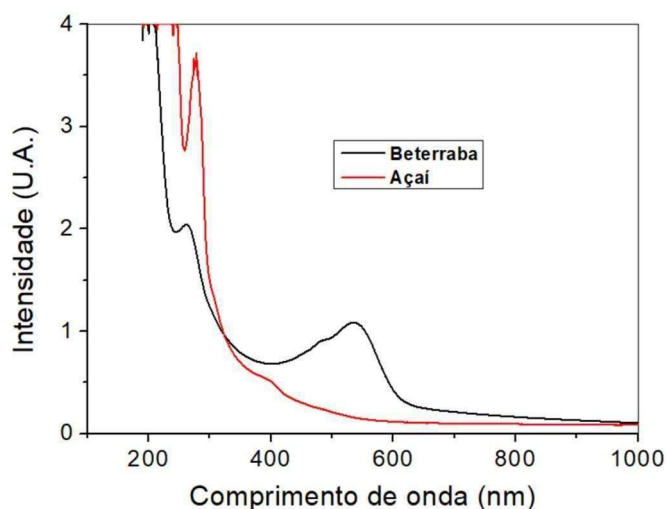


**Figura 6.** Teste na luz eletródo carbono na beterraba

Se um potenciostato ou eletrômetro não estiver disponível, as medidas de corrente e potencial podem ser feitas utilizando um multímetro comum. É interessante mostrar aos alunos o efeito da luz no potencial e na corrente alternando períodos de “claro” e “escuro”.

## Resultados e Discussão

Primeiramente, avaliou-se a região espectral de absorção de luz dos corantes naturais utilizados neste trabalho. Os extratos de Beterraba em pó apresentaram picos de absorção na região do visível em 537 e 480 nm relacionados a transição  $\pi-\pi^*$ , decorrentes da presença de pigmentos naturais como betalaínas e betaxantina, como relatado por Sonai et al. (2015). A beterraba também apresentou absorção na região de 262 nm relacionadas a transição eletrônica  $n-\pi^*$ . Já o extrato de açaí apresentou absorção nas regiões de 390 e 272 nm, relacionadas as transições eletrônicas que ocorrem no flavonoide homoorientina, como destacado por Gallori et al. (2004) e expostos na figura 7.



**Figura 7.** Espectro no UV-VIS dos diferentes corantes analisados – beterraba e açaí.

Serão ainda realizados testes de voltametria cíclica dos extratos utilizados e iremos fazer eletrodos de grafite usando impressão 3D como uma outra produção alternativa dessas células solares.

A intenção do trabalho foi a de elaborar uma célula solar barata e acessível para levar aos alunos de ensino médio e também do ensino superior, o assunto da tematica ambiental, sobre energias sustentáveis e a importancia no desenvolvimento de celulas solares para que fiquem cada vez mais baratas. Os alunos podem através dessa prática entender como ocorre a geração de energia elétrica a partir da excitação de elétrons nos corantes e a importância de semicondutores e condutores elétricos.

Cada substância, devido à sua estrutura molecular e atômica, interage de maneira única com a luz, absorvendo determinados comprimentos de onda e refletindo ou transmitindo outros. No contexto das células solares, especialmente as sensibilizadas por corantes (DSSC), a eficiência de um corante depende de sua capacidade de absorver luz em uma ampla faixa do espectro solar, particularmente nas regiões visíveis e de infravermelho próximo, que são as mais intensas. Os corantes com grupos funcionais, como hidroxilas (-OH) e carboxilas (-COOH), são essenciais para ancorar as moléculas no semicondutor (geralmente  $\text{TiO}_2$ ), facilitando a transferência de elétrons. No caso das DSSCs, corantes orgânicos (extraídos de alimentos ou

fontes naturais) são uma alternativa sustentável aos corantes sintéticos, e sua capacidade de absorção de luz é fundamental para a eficiência da célula. Aqui, podemos destacar aos alunos a química orgânica, relacionando ao estudo das estruturas moleculares dos corantes e de suas interações com a luz, enquanto a química inorgânica pode ser abordada ao explicar os semicondutores, como o dióxido de titânio, que recebe os elétrons excitados pelos corantes.

Um outro destaque deve ser feito ao abordar a eficiência quântica, que refere-se à porcentagem de fótons absorvidos que resultam na geração de pares de elétrons-lacunas (cargas elétricas). Em uma célula fotovoltaica, nem todos os fótons que incidem sobre o dispositivo contribuem para a corrente elétrica gerada. A eficiência quântica, portanto, depende da capacidade do material em converter fótons absorvidos em elétrons que podem ser conduzidos através do semicondutor para gerar corrente elétrica. No caso das células solares, a eficiência quântica está diretamente relacionada à química eletroquímica, que explica a transferência de elétrons entre o corante excitado e o semicondutor (processo redox). Quando o corante absorve a luz, seus elétrons são excitados para um nível de energia mais alto (do HOMO para o LUMO), sendo, então, transferidos para a banda de condução do semicondutor. Esse processo depende das diferenças de energia entre os orbitais do corante e as bandas de condução e valência do semicondutor, destacando a interação entre os conceitos de eletroquímica e a química do estado sólido.

A escolha dos materiais para uma célula solar DSSC precisa levar em conta essas propriedades eletroquímicas e ópticas. A química orgânica fornece os corantes com a estrutura adequada para maximizar a absorção de luz, enquanto a química inorgânica lida com os semicondutores que facilitam a transferência de elétrons. Juntas, essas áreas contribuem para o entendimento e a otimização da eficiência quântica, resultando em uma conversão mais eficaz da luz solar em eletricidade. Podemos testar diferentes tipos de corantes e verificar qual deles produziu maior corrente elétrica sob diferentes condições de luz, assim, o professor pode destacar a importância e a potência da sustentabilidade, na produção de energia renovável, e o quanto isso é uma possibilidade de pesquisa para enfrentarmos a crise ambiental que estamos enfrentando.

Para a fixação dos conceitos relacionados à prática, é recomendável que algumas questões sejam levantadas e respondidas em um relatório do experimento, como, por exemplo:

Explique como o efeito fotoelétrico contribui para a geração de eletricidade nas células solares. Quais são os papéis dos semicondutores nesse processo?

Compare as células solares de primeira, segunda e terceira geração. Quais são as principais diferenças em termos de custo, eficiência e materiais utilizados?

Quais são as funções dos grupos funcionais, como hidroxilas e carboxilas, nos corantes utilizados para sensibilizar o  $\text{TiO}_2$  nas células solares sensibilizadas por corante (DSSC)?

Descreva o conceito de espectro de absorção de luz e sua importância para a eficiência de uma célula solar sensibilizada por corantes. Como isso afeta a escolha dos corantes?

Como o processo fotoeletroquímico nas células solares sensibilizadas por corantes (CSSC) gera eletricidade? Qual é o papel da transferência de elétrons entre os orbitais HOMO e LUMO?

Discuta como o uso de materiais orgânicos em células solares sensibilizadas por corantes pode tornar a tecnologia mais sustentável. Quais são os desafios dessa abordagem?

Explique a importância da eficiência quântica em uma célula solar. Como ela influencia a quantidade de eletricidade gerada a partir da luz solar?

Analise os benefícios e as limitações da aplicação de células solares alternativas (CSSC) em ambientes urbanos. O que poderia ser feito para aumentar sua adoção?

Qual a relação entre o avanço de tecnologias sustentáveis, como as células solares, e o conceito de cidades inteligentes? Como essas tecnologias podem impactar o futuro energético?

Avalie a relevância da experimentação prática no ensino de química ao longo deste projeto. Como a construção e análise de uma célula solar alternativa ampliaram sua compreensão sobre os conceitos de eletroquímica e sustentabilidade?

De zero a 10 qual era o seu nível de conhecimento sobre energia solar antes da aula?

De zero a 10 qual é o seu nível de conhecimento sobre energia solar depois da aula?

A prática proposta visa a desafiar os alunos a pensar, debater e resolver problemas, promovendo o pensamento crítico e a aplicação prática de suas habilidades.

## Conclusões

O objetivo deste projeto é que os estudantes construam uma célula solar e analisem sua resposta sob diferentes condições de iluminação, realizando medições de corrente e voltagem com o auxílio de um multímetro. A produção dessa célula permite discutir a conversão de energia solar em energia elétrica, bem como explorar conceitos como semicondutores, corantes e funções orgânicas. Essa atividade promove o desenvolvimento do raciocínio científico de forma significativa, abordando temas que geralmente recebem pouca atenção na Educação Básica e no ensino superior.

## Agradecimentos

FINEP, FAPERJ, CAPES, CNPq.

## Referências

ABREU, Roterdan Fernandes. **Análise da estabilidade térmica e das propriedades elétricas da matriz  $Ba_2TiSi_2O_8$ , com adição de  $TiO_2$ , para aplicações em alta frequência (banda c)**. 2024. Tese (Doutorado em Engenharia de Teleinformática) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Teleinformática da Universidade Federal do Ceará.

CASTRO, Juliana Martins de; BARACHO, Renata Maria Abrantes. O patrimônio cultural nas cidades inteligentes. **Em Questão**, Porto Alegre, v. 26, n. 3, p. 298-326, set/dez. 2020.

Causas e efeitos das mudanças climáticas <https://www.un.org/pt/climatechange/science/causes-effects-climate-change>. Acesso em: 01 set. 2024.

CGEE - Centro de Gestão e Estudos Estratégicos. PRODUÇÃO DE SILÍCIO GRAU SOLAR NO BRASIL Nota Técnica Brasília, DF Março, 2009.

GALLORI, S. BILIA, A. R. BERGONZI, M. C. BARBOSA, W. L. R. VINCIERI, F. F. Polyphenolic Constituents of Fruit Pulp of Euterpe oleracea Mart. (Ac, ai palm). **Chromatographia** 2004, 59, June (No. 11/12).

MAGALHÃES, Leticia F. ALVESB, Rafael B. CUNHA, Leticia R. C. ROCHAB, Leonardo A. SCHIAVON, Marco A. Elaboração de um método lúdico para o ensino de química: um jogo baseado em células solares sensibilizadas por corante. **Quim. Nova**, Vol. 46, No. 10, 1015-1022, 2023.

MAZALAN, M. MOHD NOH, M. WAHAB, Y. NORIZAN, M. N. MOHAMAD, I. S. **Development of Dye-Sensitized Solar Cell (DSSC) Using Patterned Indium Tin Oxide (ITO) Glass**. 2013 IEEE Conference on Clean Energy and Technology (CEAT).

ONU - Causas e efeitos das mudanças climáticas. 2020. Disponível em: <https://www.un.org/pt/climatechange/science/causes-effects-climate-change#:~:text=Temperaturas%20mais%20elevadas%20aumentam%20o,do%20que%20a%20m%C3%A9dia%20global.>

Acesso em: 01 set. 2024.

POLMAN, Albert. KNIGHT, Mark, GARNETT, Erik C. EHRLER, Bruno. SINKE, Wim C. Photovoltaic materials: Present efficiencies and future challenges. **Science**, Vol 352, Issue 6283, 2016.

RAPHAELA, Ellen. SILVA, Mariana Nascimento. SZOSTAKB, Rodrigo. SCHIAVONA, Marco Antônio. e NOGUEIRA, Ana Flávia. Células solares de perovskitas: uma nova tecnologia emergente. **Quim. Nova**, Vol. 41, No. 1, 61-74, 2018 Revisão <http://dx.doi.org/10.21577/0100-4042.20170127>

SICHULA, Vincent A. Synthesis and Characterization of a Metal-Free Organic DyeSensitizer for Solar Cell: An Advanced Organic Chemistry ResearchBased Laboratory. **J. Chem. Educ.** 2023, 100, 279–288

SONAI, Gabriela G., MELO JR, Maurício A., NUNES, Julia H. B., MEGIATTO JR, Jackson D. .NOGUEIRA, Ana F. Células solares sensibilizadas por corantes naturais: um experimento introdutório sobre energia renovável para alunos de graduação. **Quim. Nova**, Vol. 38, No. 10, 1357-1365, 2015.

STUART, R. C. **Habilidades cognitivas manifestadas por alunos do ensino médio de química em atividades exerimentais investigativas**. Dissertação de Mestrado, Universidade de São Paulo, 2008.