



# Projeto e criação de protótipo solar para medição de corrente elétrica de diferentes tipos de células solares

## Design and creation of a solar prototype for measuring the electric current of different types of solar cells

Lucas Henrique Rodrigues de Lima)<sup>1</sup>, Marcos Paulo Belançon<sup>2</sup>

### RESUMO

Atualmente, painéis fotovoltaicos são vistos como fontes de energia limpa. Após alguns anos de uso, geram energia equivalente à necessária para sua produção, operando por muitos anos adicionais sem emissão de poluentes. No entanto, sua fabricação causa impactos ambientais, e sua eficiência ainda está abaixo do limite teórico de 29,4%. Portanto, pesquisas focadas na melhoria da eficiência e no desenvolvimento de materiais que demandem menos energia na produção dessas células são essenciais. O objetivo desta pesquisa é projetar um protótipo solar com ajuste de inclinação e uma Placa de Circuito Impresso (PCI). Esta placa avaliará o comportamento da corrente elétrica em células solares feitas de diferentes tipos de vidro (comerciais e especiais), abrangendo quatro células solares (COURSERA, 2017a,b; BELANÇON, 2022).

**PALAVRAS-CHAVE:** célula solar; geração; PCI; protótipo solar, vidros.

### ABSTRACT

Currently, photovoltaic panels are viewed as clean energy sources. After a few years of use, they generate energy equivalent to that required for their production, operating for many additional years without emitting pollutants. However, their manufacturing causes environmental impacts, and their efficiency is still below the theoretical limit of 29.4%. Therefore, research focused on improving efficiency and developing materials that require less energy in the production of these cells is essential. The aim of this research is to design a solar prototype with tilt adjustment and a Printed Circuit Board (PCB). This board will evaluate the electrical current behavior in solar cells made from different types of glass (commercial and special), covering four solar cells.

**KEYWORDS:** solar cell; generation; PCI; solar prototype, glasses.

### INTRODUÇÃO

As mudanças climáticas e o aquecimento global, impulsionados pelas emissões de CO<sub>2</sub> oriundas da queima de combustíveis fósseis e carvão na geração de energia elétrica, destacam a necessidade de explorar novas alternativas sustentáveis de geração de energia. Neste contexto, a energia solar emerge como uma dessas alternativas, atendendo às crescentes demandas energéticas globais (DATA, 2023).

A eficiência das células solares é fortemente influenciada pelos materiais empregados e suas respectivas propriedades ópticas e elétricas. Nesse sentido, é de grande importância investigar diferentes tipos de vidro, cuja interação com a luz solar pode resultar em melhorias na transmissão de

<sup>1</sup> Bolsista da UTFPR. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, Paraná, Brasil. E-mail: lima.1992@alunos.utfpr.edu.br. ID Lattes: 6760342731349773.

<sup>2</sup> Docente no Curso de Física/DAFIS/UTFPR. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, Paraná, Brasil E-mail: marcosbelancon@utfpr.edu.br. ID Lattes: 5440773107691592.

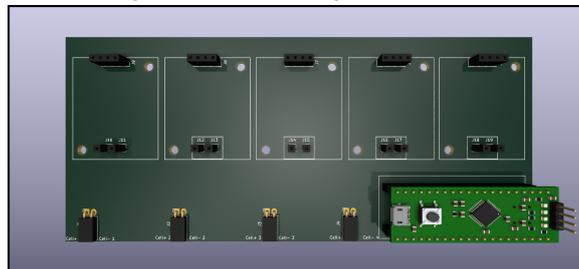


luz e, conseqüentemente, na eficiência das células solares. Portanto, o desenvolvimento de protótipos que permitam uma avaliação precisa do comportamento da corrente elétrica em diferentes tipos de células solares sob variadas condições é crucial para avançar na pesquisa e desenvolvimento de tecnologias fotovoltaicas mais eficientes (WILT et al., 2011).

### CRIAÇÃO DA PLACA DE CIRCUITO IMPRESSO (PCI)

O primeiro passo na criação de uma Placa de Circuito impresso (PCI) envolve o projeto do esquemático e do *footprint*, para o qual foi utilizado o software livre *Kicad*. A Figura 1 mostra a PCI desenvolvida em 3D. Observa-se que existem cinco demarcações quadradas na PCI, indicando o local de fixação dos sensores de corrente elétrica *WCS2702*. O *WCS2702* é um sensor de corrente que permite a medição de correntes AC e DC em circuitos eletrônicos. Ele é baseado no princípio da detecção de campo magnético gerado pela corrente que passa por um condutor. Ele detecta um sinal de corrente elétrica variando de 0 a 2A na entrada, e o converte para um sinal de tensão analógica proporcional à corrente medida na saída. O sinal de corrente já convertido para tensão é enviado para um microcontrolador *STM32* através da PCI. O microcontrolador, ilustrado no canto inferior direito da Figura 1, processa os dados e gera um gráfico representando a corrente elétrica de cada célula solar.

Figura 1 – Visualização 3D da PCI



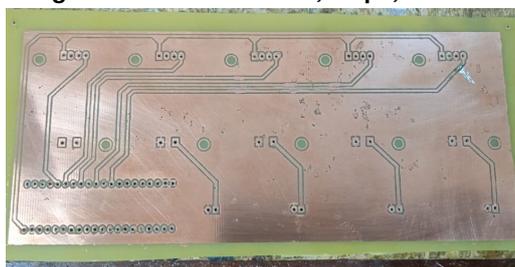
Fonte: Kicad V7.0 (2023). Autoria própria.

A seguir, apresentamos o procedimento para confeccionar a PCI:

- Limpeza da placa virgem de cobre: retire qualquer resíduo de sujeira ou poeira. Esta etapa garante uma boa aderência da tinta do papel fotográfico à placa. Lave a placa virgem de cobre em água corrente usando uma esponja. Para secar, utilize papel toalha e, após a lavagem, toque apenas nas laterais da placa.
- Fixação da tinta do papel fotográfico na placa: a técnica mais simples é a transferência de calor. Neste projeto, utilizou-se um ferro de passar roupas por vinte minutos. É essencial que a transferência de calor seja o mais uniforme possível, assegurando a transferência completa da tinta para a placa;
- Correção de falhas na fixação da tinta com caneta permanente: mesmo após a limpeza da placa e a transferência uniforme de calor, podem surgir pequenas falhas na aderência da tinta. Estas são facilmente corrigíveis com uma caneta permanente. A tinta aplicada ao cobre virgem serve para protegê-lo da corrosão no próximo passo;



Figura 2 – Placa corroída, limpa, e furada



Fonte: Câmera de celular (2023). Autoria própria.

- Corrosão do cobre com perclorato de ferro: a solução age apenas nas áreas desprotegidas de tinta, removendo o cobre visível da placa de fibra de vidro. As áreas cobertas por tinta permanecem intactas, sem reação química. Para acelerar a corrosão, é recomendado realizar o processo em temperaturas mais altas, preferencialmente sob o sol, agitando ocasionalmente o recipiente contendo a solução e a placa.
- Remoção do excesso de tinta com esponja de aço e perfuração dos *Pads*: após a limpeza, perfure os locais destinados aos conectores que serão posteriormente soldados. A Figura 2 ilustra a placa perfurada nos *Pads* usando brocas de 1 mm;
- Soldagem dos conectores para os sensores de corrente elétrica *WCS2702* e o microcontrolador *STM32*: Estes conectores estabelecem a conexão entre as trilhas da PCI, os sensores de corrente e o microcontrolador.
- Por fim, encaixe os sensores de corrente *WCS2702* e o microcontrolador *STM32* na PCI.

## PROJETO DA ESTRUTURA DO PROTÓTIPO

Após a etapa de fabricação da PCI, o próximo passo foi projetar e confeccionar a estrutura na qual as células solares e a PCI devem ser fixadas. Utilizou-se o software *SolidWorks 2022* para a modelagem. Para as partes que necessitaram de impressão 3D, utilizou-se o *Cura 5.4*. Finalmente, para as peças que necessitaram de corte, empregou-se o corte a laser *RDworks*. Na etapa de criação, utilizou-se o Laboratório de Prototipagem (*FabLab*) situado no POLITEC da UTFPR-PB para a confecção das peças.

Utilizando também o *software* online *Tinkercad*, realizou-se o *design* da caixa protetora da PCI. A Figura 3 mostra em cinza a caixa protetora conectada no protótipo, em vista isométrica criada no *software SOLIDWORKS (AUTODESK, 2023)*.

Como a leitura das correntes será realizada sob a iluminação natural do sol, é necessário controlar a inclinação dos dispositivos. Por isso, incluiu-se no projeto um mecanismo de ajuste de inclinação, conforme ilustrado na Figura 3 (VILLALVA, 2020).

Além disso, o ajuste de inclinação é crucial, pois, além de otimizar a captação de luz solar, também influencia a interação da luz com os materiais que revestem os dispositivos, neste caso, os vidros que recobrem as células solares. A transmissão de luz através dos vidros é governada pelo

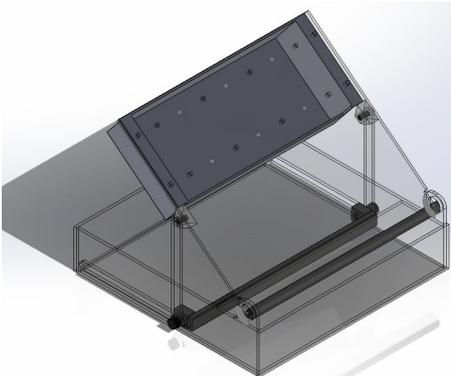


coeficiente de refração, que, por sua vez, é influenciado pelo tipo de vidro e pela sua inclinação em relação à luz incidente. Portanto, ajustar a inclinação pode ajudar a controlar a quantidade de luz transmitida através do vidro e, conseqüentemente, a eficiência da célula solar em converter essa luz em energia elétrica. Dois dos quatro vidros utilizados são especiais, à base de telúrio, e possuem um coeficiente de refração superior aos vidros comerciais de *float glass* e *borosilicate*. Assim, em uma determinada inclinação, um vidro comercial pode transmitir mais irradiação do que os vidros especiais. No entanto, em outra inclinação, devido ao coeficiente de refração, essa relação pode se alterar.

## PROTÓTIPO FINAL

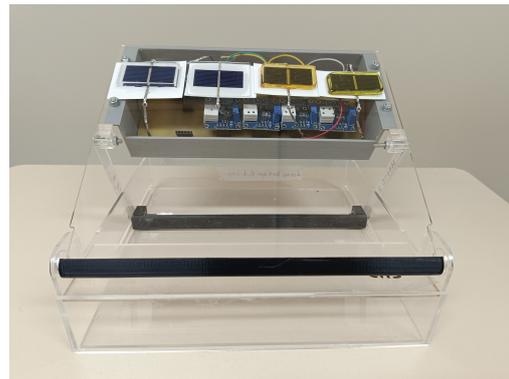
Depois de realizadas todas as etapas anteriormente citadas, o protótipo final com ajuste de inclinação é apresentado na Figura 4. Nota-se que agora todos os componentes necessários para medição estão conectados, incluindo as quatro células solares. Destas, as duas da esquerda são cobertas por vidros comerciais de *float glass* e *borosilicate*, e as duas da direita, cobertas por vidros especiais à base de telúrio (BELANÇON, 2022).

Figura 3 – Protótipo vista isométrica 3D



Fonte: SOLIDWORKS (2023). (Virtuoso, V. D.).

Figura 4 – Protótipo final pronto para ser utilizado



Fonte: Câmera de celular (2023). Autoria própria.

## RESULTADOS DAS MEDIÇÕES ÔHMICAS

Nesta seção, apresentamos as medições da resistência de curto-circuito das trilhas de cobre na Placa de Circuito Impresso. É crucial que as medições de cada circuito que liga os sensores de corrente aos bornes das células solares sejam uniformes, pois variações na resistência podem alterar a corrente lida pelas células solares, comprometendo a precisão dos resultados. Os resultados estão exibidos na Tabela 1.

Como observado na Tabela 1, a resistência média é de aproximadamente  $853m\Omega$ , com uma variação de no máximo 1,23% do valor médio, indicando uma consistência nos resultados.



**Tabela 1 – Resistência de Curto circuito.**

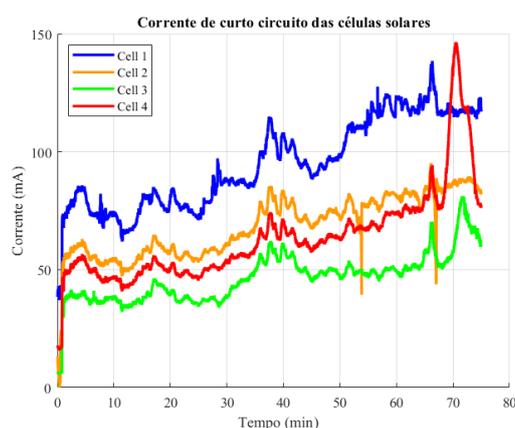
Circuito	Resistência em ( $m\Omega$ )
Sensor 1	854
Sensor 2	864
Sensor 3	853
Sensor 4	843
Media	853

Fonte: Autoria Própria (2023).

## VALIDAÇÃO DO PROTÓTIPO: MEDIÇÕES DAS CÉLULAS SOLARES

A etapa final consistiu em realizar as medições de corrente elétrica de cada célula solar, sob iluminação natural do sol, de um dia ensolarado e com uma inclinação de  $35^\circ$ . A Figura 5 mostra que as correntes das células 1 e 2 (em azul e laranja, respectivamente) são maiores que as das demais células. Observa-se que a célula solar 3 (em verde) produziu menos corrente elétrica que a célula 4 (em vermelho). Este resultado está em acordo com o esperado, uma vez que as duas primeiras células solares, cobertas por vidros comerciais (denominados *float glass* e *borosilicate*), possuem um coeficiente de refração menor que os vidros especiais 3 e 4 (chamados, respectivamente, de *TZ* e *TZPr*, ambos dopados com telúrio). Assim, uma maior irradiação atinge as células solares com vidros comerciais em comparação com as que possuem vidros especiais, gerando, por consequência, mais corrente elétrica (BELANÇON, 2022).

**Figura 5 – Gráfico da medição realizada dia 10/09/2023 das 14:30 as 15:45.**



Fonte: MATLAB (2023). Autoria própria.

## CONCLUSÕES

Começando pelo projeto e confecção da PCI, testando através das medições de resistência das trilhas na placa, e obtendo uma média de  $853,5m\Omega$  entre cada circuito, têm-se indícios que o circuito de medição foi validado. Acerca das medições de corrente elétrica das células solares sob iluminação natural do sol, os resultados mostraram que as correntes estão de acordo o esperado.



## AGRADECIMENTOS

Agradeço à UTFPR, instituição que financiou a Iniciação Científica da qual tive o privilégio de participar, assim como pela bolsa de auxílio financeiro. Agradeço ao meu professor e orientador Marcos Paulo Belançon, que sempre me auxiliou em todas as etapas do projeto. Agradeço também à equipe de eficiência energética PATO A JATO, que forneceu o material e a impressora 3D para a fabricação da caixa protetora da PCI. Por fim, agradeço ao Laboratório de Prototipagem (FabLab), em especial a Vinícius Duarte Virtuoso, que não mediu esforços para auxiliar na fabricação e montagem do protótipo solar.

## CONFLITO DE INTERESSE

Não há conflito de interesse.

## REFERÊNCIAS

- AUTODESK, TINKERCAD. **PROJETOS 3D**. [S.l.], 2023. Disponível em: <https://www.tinkercad.com/things/iWrjHnTFcs1-caixa-de-protecao-ic-v1/edit>. Acesso em: 20 abr. 2023.
- BELANÇON, M. Paulo. Float, borosilicate and tellurites as cover glasses in Si photovoltaics: Optical properties and performances under sunlight. **Journal of Physics and Chemistry of Solids**, v. 161, n. 110396, 2022.
- COURSERA. **Introdução a células solares / Semana 3 / Eficiência teórica das células solares**. Dinamarca, 2017. Disponível em: <https://www.coursera.org/learn/solar-cells/supplement/dfzjN/theoretical-solar-cell-efficiency>. Acesso em: 1 ago. 2023.
- COURSERA. **Introdução a células solares / Semana 4 / Resumo**. Dinamarca, 2017. Disponível em: <https://www.coursera.org/learn/solar-cells/supplement/0v7xe/summary>. Acesso em: 1 ago. 2023.
- DATA, Our World in. **Emissions by sector**. [S.l.], 2023. Disponível em: <https://ourworldindata.org/emissions-by-sector>. Acesso em: 20 out. 2023.
- VILLALVA, Marcelo. **Como determinar o ângulo de inclinação dos módulos fotovoltaicos**. Canal Solar. Entenda quais são as melhores inclinações para os módulos fotovoltaicos. 11 de julho de 2020, 2020. Disponível em: <https://canalsolar.com.br/como-determinar-o-angulo-de-inclinacao-dos-modulos-fotovoltaicos/>. Acesso em: 13 jul. 2023.
- WILT, David et al. PseudoMorphic Glass to enable high efficiency space photovoltaic devices. In: 2011 37th IEEE Photovoltaic Specialists Conference. [S.l.: s.n.], 2011. P. 001949–001954. DOI: 10.1109/PVSC.2011.6186335.