

## **DESENVOLVIMENTO DE UM SPIN COATER PARA FABRICAÇÃO DE FILMES FINOS APLICADOS EM CÉLULAS SOLARES**

SÉRGIO ROBERTO GOULART FERREIRA<sup>1</sup>; MARCEL LUIZ BASSO<sup>2</sup>; ÉVERTON GRANEMANN SOUZA<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Universidade Católica de Pelotas - UCPel – [sergio.ferreira@sou.ucpel.edu.br](mailto:sergio.ferreira@sou.ucpel.edu.br)

<sup>2</sup>Universidade Católica de Pelotas - UCPel – [marcel.basso@ucpel.edu.br](mailto:marcel.basso@ucpel.edu.br)

<sup>3</sup>Universidade Católica de Pelotas - UCPel – [evertton.granemann@ucpel.edu.br](mailto:evertton.granemann@ucpel.edu.br)

### **1. INTRODUÇÃO**

Os avanços científicos e tecnológicos têm impulsionado a busca por soluções sustentáveis para as demandas energéticas globais, com o objetivo de mitigar os impactos ambientais sem comprometer o desenvolvimento das futuras gerações. Nesse contexto, a energia solar vem se consolidando como uma das principais alternativas. Dentre as diversas tecnologias fotovoltaicas, as células solares sensibilizadas por corante (DSSCs) destacam-se por seu baixo custo de produção, menor impacto ambiental e bom desempenho em condições de baixa luminosidade (CHEN, 2012).

A eficiência dessas células está diretamente ligada à qualidade dos filmes finos utilizados como camada ativa, cuja uniformidade e espessura são fatores críticos para o processo de geração de energia. O equipamento Spin Coater, neste sentido, surge como uma ferramenta essencial, capaz de produzir filmes homogêneos com controle preciso, o que é fundamental para o avanço das pesquisas em DSSCs. Sua simplicidade e eficiência conferem flexibilidade para aplicação em diferentes contextos de pesquisa e inovação tecnológica.

O desenvolvimento de um Spin Coater acessível a laboratórios acadêmicos é crucial, pois não só fomenta o avanço científico, mas também democratiza o acesso a tecnologias fotovoltaicas de nova geração. Tal esforço está em consonância com o Objetivo de Desenvolvimento Sustentável 7 (ODS 7), que visa garantir o acesso universal a uma energia limpa e sustentável.

O presente trabalho tem como objetivo projetar e implementar um protótipo de Spin Coater com controle eletrônico de rotação e tempo, visando a fabricação de filmes finos de dióxido de titânio (TiO<sub>2</sub>) para aplicação em células solares DSSC.

### **2. METODOLOGIA**

O projeto foi desenvolvido no laboratório de eletrônica da Universidade Católica de Pelotas – UCPel, onde realizou-se uma pesquisa bibliográfica sobre os diferentes modelos de equipamentos disponíveis no mercado, destacando parâmetros como a rotação nominal do motor, faixa de ajuste de velocidade, potência utilizada, além das dimensões físicas e requisitos de alimentação elétrica. Esses dados possibilitaram comparar as alternativas e compreender quais características atendem melhor às necessidades do projeto, sendo assim foram escolhidos o motor e o drive a serem utilizados: Motor Kalatec, modelo KTC-42BLS04-J (Brasil) e Drive Kalatec, modelo KTC-BLD120J (Brasil).

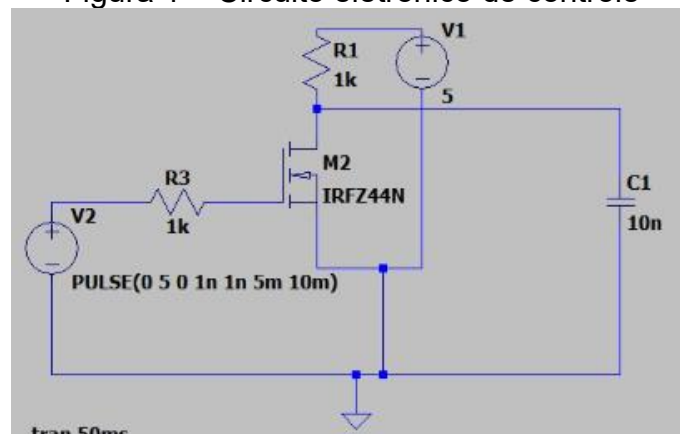
Partiu-se então para a parametrização da velocidade do motor, que consiste em estabelecer a relação entre a tensão aplicada ao motor e sua velocidade. Para essa parametrização, foram utilizados os seguintes equipamentos: Osciloscópio

Rígol, modelo DHO 4204 (China), Tacômetro Digital Impac, modelo IPTL-900 (Brasil), Fonte Simétrica Politerm, modelo POL-16B (Brasil), Multímetro Digital Metex, modelo MXD-4660A (Coreia do Sul) e Microcontrolador Arduino, modelo Uno (Itália).

Com a fonte, foi gerado um sinal de tensão no drive que controla o motor. Esse sinal foi verificado com um multímetro. No osciloscópio, foi medido a frequência de rotação do motor utilizando sensores Hall presentes no equipamento, o mesmo procedimento foi realizado com o Arduino, no qual foi desenvolvido um código, em linguagem de programação C/C++, utilizando o ambiente de desenvolvimento integrado Arduino IDE, versão 2.3.6, já o tacômetro foi utilizado para a leitura direta da velocidade no eixo do motor.

Um circuito eletrônico foi desenvolvido para compatibilizar os sinais de baixa tensão do microcontrolador com o drive do motor, assegurando a proteção dos equipamentos, bem como precisão e segurança no ajuste da velocidade. Com o auxílio do software Spice, versão 24.1.9, desenvolvido pela Analog Devices (Estados Unidos), foi possível modelar e simular o circuito proposto, verificando previamente seu comportamento antes da implementação prática.

Figura 1 – Circuito eletrônico de controle



Após essa etapa, foi realizado o design do equipamento. Para isso, utilizamos os softwares CorelDraw, versão online gratuita, disponibilizada pela Corel Corporation (Canadá) e Fusion 360, versão 2603.1.15, desenvolvido pela Autodesk (Estados Unidos) que possibilitaram a criação do projeto em 2D e 3D. O design não se restringiu apenas à parte estética, mas também levou em consideração aspectos funcionais, como a disposição dos componentes eletrônicos, a ventilação adequada, a ergonomia de uso e a facilidade de manutenção.

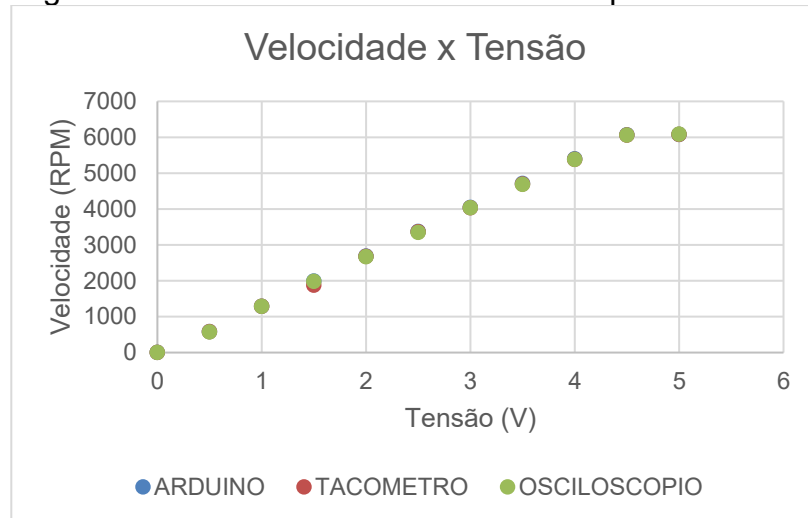
### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A parametrização do motor apresentou resultados alinhados com as expectativas teóricas. Como podemos observar detalhadamente na Figura 2, o comportamento do sistema mostrou linearidade da tensão aplicada com a velocidade medida.

A comparação dos resultados obtidos no Arduino com os registrados pelo osciloscópio e pelo tacômetro demonstrou boa precisão geral, com erros relativos bastante baixos. Em relação ao osciloscópio, as diferenças variaram entre -0,08% e 0,87%, valores tecnicamente aceitáveis para aplicações em controle e instrumentação. Já em comparação ao tacômetro, os erros permaneceram entre -

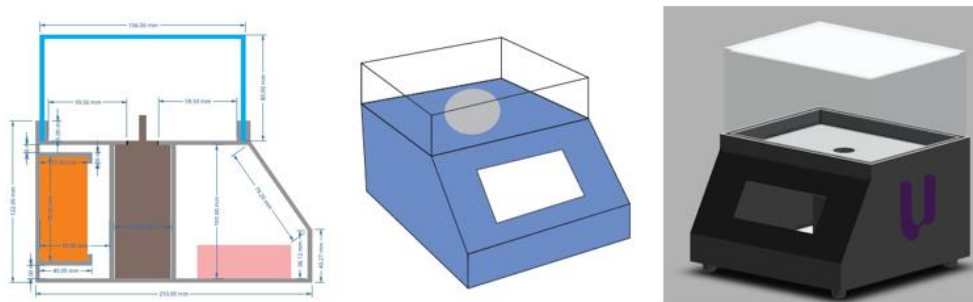
0,17% e 0,23%, confirmando a confiabilidade do sistema de medição para todo o intervalo analisado.

Figura 2 – Tensão e velocidade do motor parametrizado



A modelagem em 3D do Spin Coater foi realizada considerando dimensões que permitissem a adequada disposição dos componentes internos, assegurando acessibilidade para manuseio, ventilação eficiente e funcionalidade do conjunto. Esse processo foi fundamental para antecipar possíveis falhas construtivas e otimizar tanto a estética quanto a funcionalidade do equipamento.

Figura 4 – Modelagem 2D/3D do Spin Coater



## 4. CONCLUSÕES

O projeto do Spin Coater está na sua fase final, com o circuito eletrônico em acabamento e a fabricação do protótipo por impressão 3D em andamento. Os testes preliminares já confirmaram a compatibilidade do sistema de controle e a eficiência do motor dentro da faixa de rotação desejada.

A próxima etapa será a realização de testes de estabilidade em diferentes velocidades, seguidos pela deposição de filmes finos de  $\text{TiO}_2$ . A expectativa é de que o equipamento seja capaz de produzir camadas de alta uniformidade para aplicação em DSSCs (células solares sensibilizadas por corantes). O protótipo se destaca como uma solução inovadora e acessível para laboratórios, com um design e controle precisos que o tornam uma ferramenta valiosa para a pesquisa de materiais, com potencial de impactar positivamente o desempenho das células solares de nova geração.

## 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BORNSIDE, David E.; MACOSKO, Christopher W.; SCRIVEN, L. E. Spin coating: One-dimensional model. **Journal of Applied Physics**, v. 66, n. 11, p. 5185-5193, 1989.

CHAPMAN, Stephen J. **Máquinas Elétricas**. 5. ed. São Paulo: McGraw-Hill, 2013.

Chen, Y., Chen, W., Lin, C., & Lin, H. (2012). "**Highly efficient dye-sensitized solar cells with a dual-layer structured TiO<sub>2</sub> photoanode.**" *Journal of Power Sources*, 218, 30-36.

EMSLIE, Alfred G.; BONNER, Francis T.; PECK, Leslie G. Flow of a Viscous Liquid on a Rotating Disk. **Journal of Applied Physics**, v. 29, n. 5, p. 858-862, 1958.

HOSSEINI, A.; IÇLI, K. Ç.; ÖZENBAŞ, M.; ERÇELEBI, Ç. Fabrication and Characterization of Spin-coated TiO<sub>2</sub> Films. **Energy Procedia**, v. 60, p. 191-198, 2014. Disponível em: [https://www.academia.edu/11801458/Fabrication\\_and\\_Characterization\\_of\\_Spin\\_coated\\_TiO<sub>2</sub>\\_Films](https://www.academia.edu/11801458/Fabrication_and_Characterization_of_Spin_coated_TiO2_Films). Acesso em: 25 ago. 2025.

O'Regan, B., & Grätzel, M. (1991). "**A low-cost, high-efficiency solar cell based on dye-sensitized colloidal TiO<sub>2</sub> films.**" *Nature*, 353(6346), 737-740.

TEIXEIRA, Edwalder Silva et al. Building and Testing a Spin Coater for the Deposition of Thin Films on DSSCs. **Materials Research**, v. 23, n. 6, e20200214, 2020.