

AVALIAÇÃO DA INTEGRIDADE DE MÓDULOS FOTOVOLTAICOS SEMI FLEXÍVEIS APLICADO AO SISTEMA DE GERAÇÃO DE UM CATAMARÃ ELÉTRICO

Moysés Moreira de Moura – moyses_moreira@id.uff.br

Lucas Alves de Melo Vale

Vinícius Pia de Almeida Costa

Daniel Henrique Nogueira Dias

Gilberto Figueiredo

Universidade Federal Fluminense, Escola de Engenharia

4.2. Tecnologias e ensaios de módulos fotovoltaicos

Resumo. O presente trabalho tem como objetivo estudar os módulos fotovoltaicos advindos de novas tecnologias impulsionadas pelas demandas de transição energética globalmente à qual será avaliada a integridade e o desempenho desses módulos semi flexíveis aplicados ao sistema de geração de uma embarcação elétrica do tipo catamarã, utilizado pela Equipe Arariboia na competição nacional de barcos elétricos (Desafio Solar Brasil - DSB). A metodologia aplicada consiste no levantamento de dados obtidos através de dois diferentes tipos de ensaios: Levantamento da curva $I \times V$ dos módulos com carga resistiva variável e teste de eletroluminescência. Serão mostrados os passos executados durante os testes com carga fixa e variável para dois módulos semiflexíveis e um módulo rígido para comparação, além dos resultados obtidos através do ensaio de eletroluminescência. Nesta conjuntura, a avaliação dos módulos é fundamental para as próximas competições e para o conhecimento da sociedade acerca do tópico abordado, visto que os módulos semi flexíveis são relativamente recentes no mercado nacional.

Palavras-chave: Módulo fotovoltaico, Semiflexível, Eletroluminescência.

1. INTRODUÇÃO

Por anos os módulos fotovoltaicos tiveram sua relevância no mercado mundial e atualmente no Brasil, a marca de 2 milhões de sistemas de energia solar foi ultrapassada, segundo Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica, (2023). A partir desse pressuposto, entendemos que o investimento voltado a esse tipo de energia, incentiva não só o uso, como também o surgimento de novas tecnologias atreladas a esses sistemas, como a tecnologia IBC Solar Cells Interdigitated Back Contact (IBC) solar cell technology, de acordo com Solar Magazine (2022), sistemas solares flutuantes, segundo estudo da Braskem (2022) e utilização de abordagem baseada em aprendizagem por transferência usando ResNet18 e ShuffleNet, segundo Hazem Munawer (2023).

Considerando o cenário atual onde se há a necessidade de manter o aquecimento global em 1,5 graus em relação aos níveis pré-industriais até 2026, conforme International Energy Agency (2023), visando cumprir assim o acordo assinado na COP21 de Paris, tem-se a transição energética como principal meio de alcançar esse objetivo. A transição energética consiste na migração da matriz energética focada em combustíveis fósseis para uma matriz com baixa ou zero emissões de carbono, já que a eletrificação de sistemas de mobilidade é uma grande contribuição para a descarbonização. Dessa forma, substituir a geração de energia elétrica para fontes renováveis, como a energia solar, é algo que deve ser incentivado para que as metas sejam atingidas.

Com essas premissas, o Desafio Solar Brasil (DSB) surge promovendo a competição de equipes universitárias e técnicas em nível nacional e fomentando o uso de tecnologias e meios de produção de energia elétrica de forma renovável, na qual as equipes participantes devem desenvolver uma embarcação movida a energia solar e competir em provas de desempenho, como velocidade e manobrabilidade e provas de eficiência, como a prova longa de 6 horas de duração, e, ao final de cada dia, ocorrem diversas palestras sobre temas relevantes com especialistas no assunto.

A Equipe Arariboia é uma equipe de competição sediada na Universidade Federal Fluminense cujo objetivo é desenvolver uma embarcação catamarã movida unicamente a energia fotovoltaica, sendo dividida em células, composta por estudantes de diversos cursos e períodos. Dentro da célula de elétrica, tem-se vários projetos como geração, projeto elétrico, propulsão, bateria e sistemas embarcados, de forma a desenvolver e implementar tecnologias para melhorar o funcionamento do barco e disputar o Desafio Solar Brasil.

O Desafio Solar Brasil possibilita que as equipes obtenham inspirações e tenham contato com diversas ideias e inovações para, futuramente, implementá-las em seus projetos. Desde sua criação em 2012, a Equipe Arariboia vem acumulando prêmios de inovação e conquistando colocações cada vez melhores na competição, conquistando um lugar no pódio pelo terceiro ano consecutivo em 2023. No DSB 2023, a principal inovação do projeto da Equipe Arariboia em relação à competição anterior, foi a utilização de módulos fotovoltaicos (FV) semiflexíveis, que são menores e

consideravelmente mais leves que os painéis rígidos que eram utilizados nos projetos anteriores. Essa mudança se deu devido ao fato das provas que ocorrem durante o DSB terem como principal critério avaliativo o tempo de realização da prova para cada equipe, o que faz com que o peso da embarcação seja uma questão de bastante impacto no desempenho da equipe nas provas e, portanto, busca-se sempre reduzi-lo ao máximo possível. Os módulos FV semiflexíveis são uma tecnologia pouco usada, tendo em vista sua recém inserção no mercado. Essa tecnologia traz certos benefícios aos usuários tendo em vista que pode ser adicionada a várias superfícies, como mostrado por Xiayo Li (2021) e seu peso é reduzido, o que facilita o transporte, instalação e estruturas de sustentação reduzidas. No caso da Equipe Arariboia, a troca dos módulos rígidos pelos semiflexíveis ocasionou em uma redução de peso de quase 78 kg, visto que eram utilizados 4 módulos rígidos de 20 kg cada um, e estes foram substituídos por 10 módulos de 220 gramas cada. Entretanto, apesar das vantagens mencionadas anteriormente, durante a competição os módulos FV semiflexíveis apresentaram uma geração bastante abaixo do esperado em comparação com os painéis rígidos utilizados anteriormente, o que acarretou em um desempenho bastante prejudicado, visto que a baixa geração impossibilitou que o barco alcançasse velocidades mais elevadas sem consumir demasiadamente carga da bateria principal. Além disso, foram observados “hotspots” em diversos painéis, o que gerou dúvidas sobre a qualidade dos módulos semiflexíveis. Sendo assim, fez-se necessário a realização de testes com os módulos FV de forma a constatar a causa do mau desempenho da geração e os impactos que os hotspots ocasionaram nos mesmos, de forma que os problemas observados não se tornem recorrentes. A partir dessa premissa, serão levantados dados reais dos possíveis impactos em sistemas de geração de energia fotovoltaica que utilizam esses painéis de forma a compartilhar o conhecimento e os principais problemas encontrados. Além disso, serão usados dados obtidos através de um sistema de sensoriamento utilizado na embarcação da Equipe Arariboia, através do teste de eletroluminescência e do software compatível com os multímetros Yokogawa que serão utilizados para registro das medições.

2. METODOLOGIA

Neste tópico, serão descritos os procedimentos realizados para ensaiar os módulos fotovoltaicos e como foram selecionados para realização de demais testes, como, teste com carga fixa, teste de eletroluminescência e teste com carga variável para obtenção das curvas VI e potência máxima.

2.1. Seleção da amostra e coleta de dados

Considerando a usabilidade constante de 10 painéis semiflexíveis, pouca geração em determinados momentos de uso e pontos hotspots que ocasionam perda de eficiência como mostrado por Sabine Gressler (2022), necessitou-se um estudo mais aprofundado das causas que poderiam impactar a geração esperada. Buscando observar o desempenho de cada painel separadamente, foi realizado primeiramente um teste de geração individual com foco em obter a curva de geração de cada painel para um determinado período de tempo. Para isso, foi utilizado um circuito com um reostato como carga fixa e sensores juntamente da placa de instrumentação e telemetria para obtenção dos dados computacionalmente. Foi selecionado o ensaio de carga fixa em um ponto fixo de resistência como base de comparação para que todos os módulos alimentassem uma carga de igual valor a fim de realizar a comparação inicial entre eles e selecionar as amostras para os demais ensaios (curva IV e eletroluminescência). A partir dos dados obtidos, busca-se selecionar os painéis com melhor e pior geração para um teste de eletroluminescência, cujo objetivo é verificar a saúde dos módulos, conforme feito e observado por Sujata P. Pathak (2022). É válido salientar que a escolha do reostato como carga se deu devido ao fato das restrições orçamentárias, visto que foram utilizados apenas recursos disponíveis à época da equipe de competição do barco. Dessa forma, optou-se pelo uso do reostato, que era o recurso mais acessível. Durante o teste, foram realizadas medições rápidas de forma a evitar uma variação no recurso solar. Além disso, foi utilizado um módulo de referência calibrado para a comprovação do fato. O módulo de referência aparece na Fig. 3. A curva foi corrigida para a condição padrão de ensaio de acordo com a IEC 60891. Os valores são apresentados na Tab. 4. Os ensaios da curva IV foram realizados com monitoração da irradiância incidente por meio de um módulo de referência.

2.2. Métodos de análise de desempenho dos painéis

Para o teste de geração individual, foram marcados os painéis de acordo com sua posição no arranjo utilizado durante a competição. Como foram utilizadas duas strings com 5 painéis em série, tem-se que Q1, Q2, Q3, Q4 e Q5 representam os 5 painéis da string 1 e T1, T2, T3, T4 e T5 representam os 5 painéis da string 2. Após isso, foram testados os painéis durante o período de 3 minutos e gerados arquivos com os dados de tensão, corrente, potência e tempo para obtenção das curvas posteriormente. É válido salientar que o período de 3 minutos foi definido de forma a evitar que haja uma variação considerável de intensidade do sol entre o primeiro painel testado e o último. Além disso, sabe-se que a potência máxima nominal dos módulos semiflexíveis é de 160W, e o teste foi realizado em um dia de alta radiação solar.

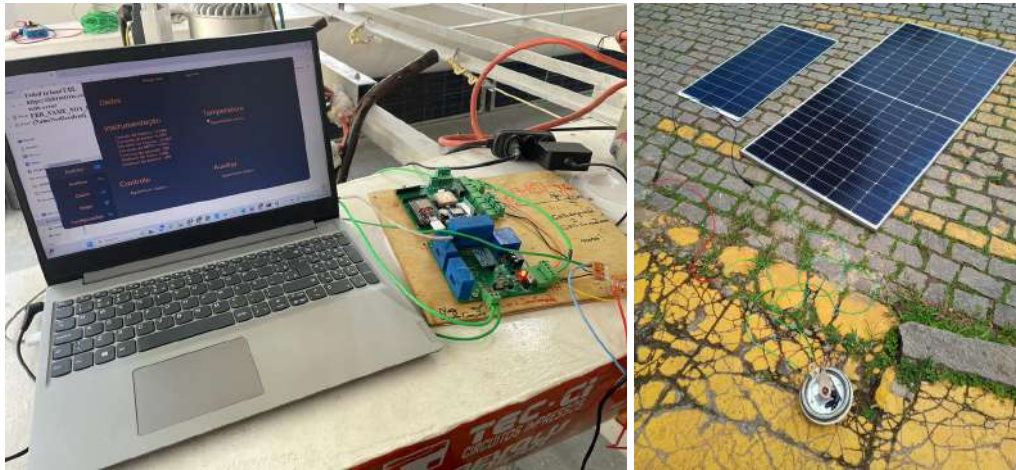


Fig. 1 - Placa de instrumentação utilizada durante o teste com carga fixa e circuito com resistência fixa para teste com carga fixa.

Uma vez realizado o teste, foram separados os painéis de melhor e pior desempenho para o teste de eletroluminescência, juntamente com um painel rígido intacto para comparação. O teste de eletroluminescência é uma técnica de inspeção não destrutiva para avaliar a qualidade e integridade das células em um dado painel, sendo principalmente utilizada para visualizar defeitos nas células não são visíveis a olho nu, como trincas, hotspots (pontos quentes), células defeituosas ou mau contato elétrico entre elas. Os painéis são submetidos a uma dada corrente elétrica e são fotografados a baixa condição de luminosidade com uma câmera adaptada, de forma a destacar um brilho das células fotovoltaicas e, com isso, observar a saúde das células dos painéis.

Após a análise do resultado do teste de eletroluminescência, foi feito o teste de geração novamente para o melhor e pior painel, porém com carga variável de forma a visualizar a curva VI dos painéis e obter os valores de V e I para Pmax. Foram utilizados 3 reostatos de 10 ohms em série, onde a resistência do conjunto se inicia em 30 ohms de forma a alcançar a tensão máxima do módulo, e a resistência é variada manualmente de forma a aumentar a corrente e diminuir a tensão. Para medição e captação dos dados computacionalmente, foram utilizados dois multímetros Yokogawa modelo TY720, que possuem compatibilidade com o programa computacional DMM, através do qual pode-se visualizar as curvas e armazenar os dados em arquivos no formato .csv.



Fig. 2 - Circuito com três reostatos e medidores para teste com carga variável.



Fig. 3 - Módulo de referência à esquerda utilizado nos ensaios ao lado do módulo rígido.

3. TESTES COM CARGAS

Neste tópico, serão apresentados os resultados obtidos através dos testes de geração com carga fixa e com carga variável, fornecendo os gráficos gerados e comentando os valores observados.

3.1. Teste de geração com carga fixa: resistência de 4 ohms

Os painéis semiflexíveis testados possuem os dados de fabricante presentes na Tab. 1

Tab. 1 - Especificações elétricas dos módulos semiflexíveis T3 e Q5 para as condições padrão, STC.

CARACTERÍSTICA	VALOR
Potência Máxima	160 W
Tensão de Potência Máxima	19,33 V
Corrente de Potência Máxima	8,28 A
Tensão de Circuito Aberto	22,90 V
Corrente de Curto-Circuito	8,87 A

No teste de geração com carga fixa foram obtidos os dados expostos nas Fig. 4 e Fig. 5 para os módulos semiflexíveis Q5 e T3, respectivamente.



Fig. 4 - Potência do módulo Q5 para carga fixa.

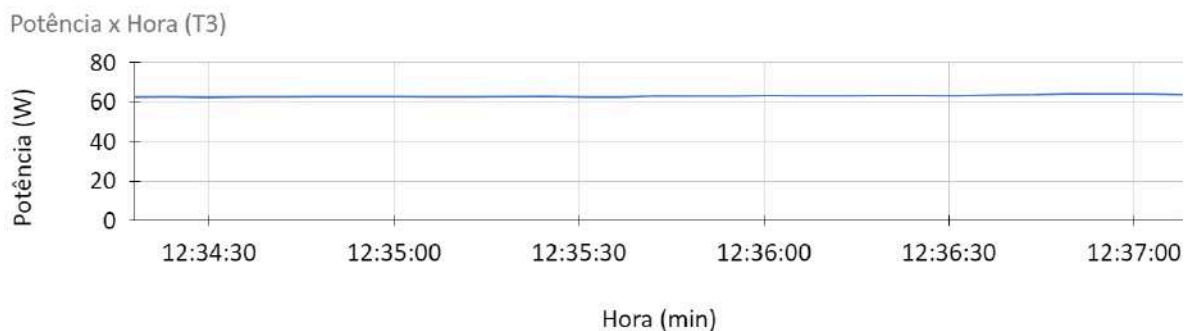


Fig. 5 - Potência do módulo T3 para carga fixa.

Analisando os valores de potência obtidos para cada painel, pode-se observar que os módulos fotovoltaicos Q5 e T3 (Fig. 4 e Fig. 5) tiveram geração muito abaixo da potência máxima especificada pelo fabricante (160W). Nota-se que houveram a presença de vales nas curvas dos painéis Q5, algo que provavelmente ocorreu por falha na variação manual da resistência. Dessa forma, após o teste concluiu-se que o painel com a melhor geração foi o T3, que atingiu a potência máxima de 64W e não apresentou variação significativa, enquanto o painel com a pior geração foi o Q5, que atingiu a potência máxima de 43W e apresentou variação bastante significativa, mesmo desconsiderando os vales.

3.2. Teste de geração com carga variável

O painel rígido testado possui os dados do fabricante presentes na Tab. 2.

Tab. 2 - Especificações elétricas do módulo rígido ensaiado para as condições padrão, STC.

CARACTERÍSTICA	Rígido
Potência Máxima (W)	445
Tensão de Potência Máxima	41,3
Corrente de Potência Máxima	10,78
Tensão de Circuito Aberto	49,1
Corrente de Curto-Circuito	11,53

Após a realização do ensaio de carga variável para os módulos Q5, T3 e rígido foram obtidos a Tab. 3 e os gráficos de Tensão x Corrente e Potência x Tensão para os painéis rígidos, Q5 (pior), T3 (melhor). As Fig. 6, Fig. 7 e Fig. 8 mostram respectivamente os resultados obtidos.

Tab. 3 - Dados obtidos no ensaio de carga variável.

PARÂMETROS	RÍGIDO		SEMIFLEXIVEL Q5		SEMIFLEXIVEL T3	
	Datasheet	Medido	Datasheet	Medido	Datasheet	Medido
Área (m ²)	2,02	2,02	0,78	0,78	0,78	0,78
Potência máxima (W)	445	377,68	160	44,86	160	57,24
Peso (kg)	24,3	24,3	0,22	0,22	0,22	0,22
Potência máxima/Área (W/m ²)	220,30	186,55	205,13	57,42	205,13	73,28
Potência máxima/Peso (W/kg)	18,31	15,54	727,27	177,64	727,27	189,27

Potencia e Corrente x Tensão (Rígido)

Irradiância = 864 W/m² - Temperatura média: 59°C

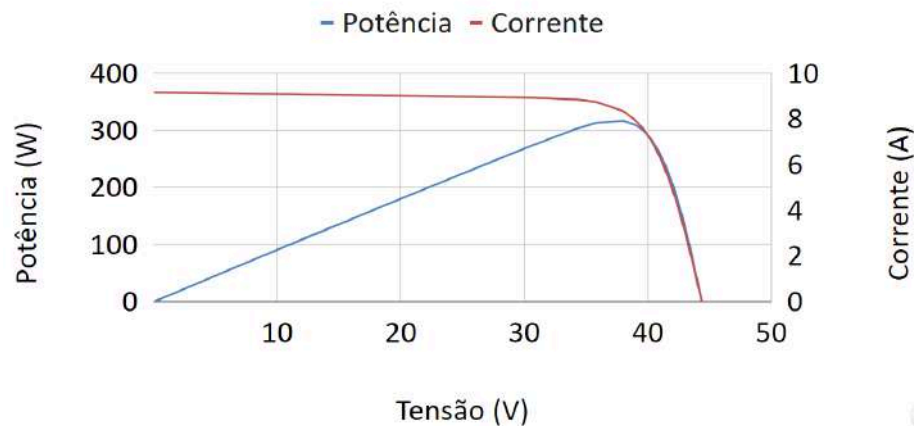


Fig. 6 - Curvas I-V e P-V para o painel rígido.

Potência e Corrente x Tensão (Q5)

Irradiância = 756 W/m² - Temperatura média: 48°C

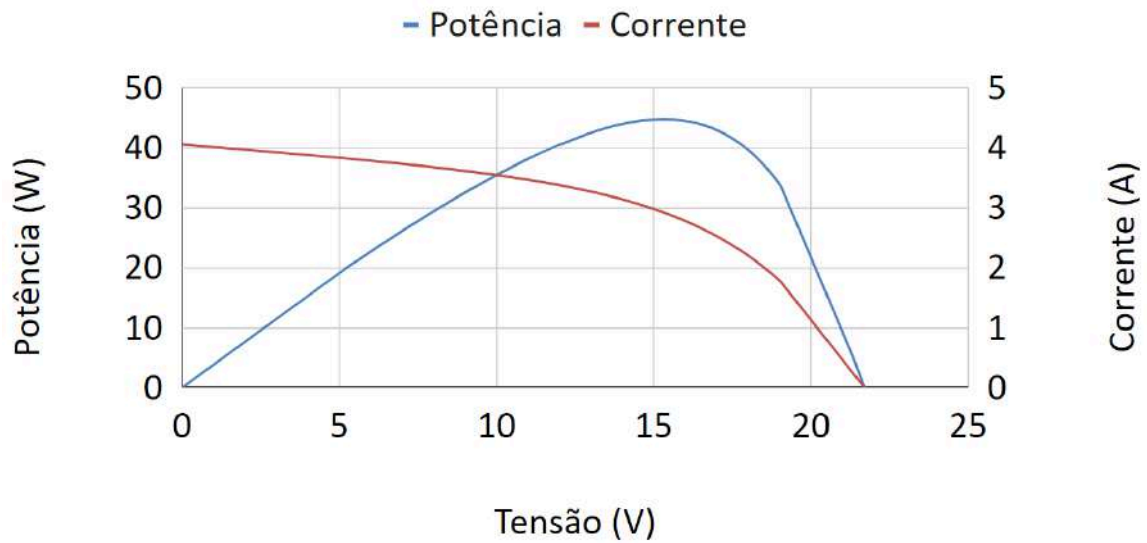


Fig. 7 - Curvas I-V e P-V para o painel semiflexível Q5.

Potência e Corrente x Tensão (T3)

Irradiância = 698 W/m² - Temperatura média: 48,5°C

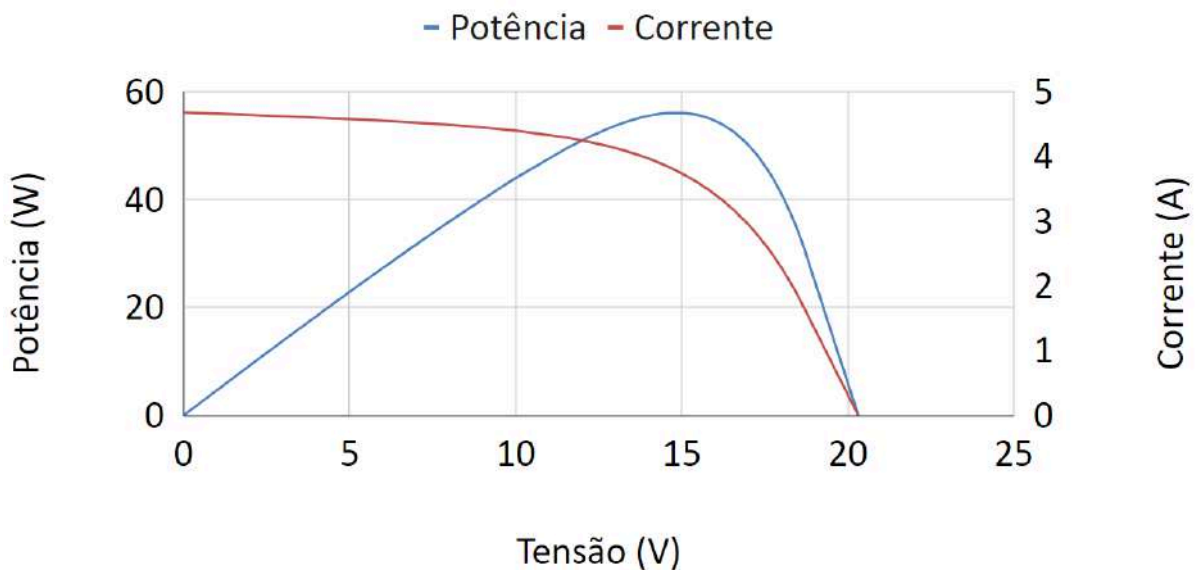


Fig. 8 - Curvas I-V e P-V para o painel semiflexível T3.

Pode-se concluir através da análise gráfica que houve uma melhor performance do painel semiflexível T3 em relação ao painel semi flexível Q5, visto que apresentou uma geração máxima de 12 W a mais, ainda que sob condições de temperatura superiores e irradiância inferiores. Na Tab. 3 observa-se alguns dados encontrados que são fundamentais para esta conclusão.

Após a realização do ensaio, os dados obtidos foram extrapolados, computacionalmente, para as condições padrão de ensaio, STC. Dessa forma, a Tab. 4 foi elaborada e, posteriormente, obteve-se a representação gráfica presente na Fig. 9.

Tab. 4 - Extrapolação dos dados obtidos no ensaio de carga variável para a STC.

Dados	Rígido	T3	Q5
Nominal (W)	445	160	160
STC (W)	435,3	93,9965	66,05575
Dif (%)	-2,2%	-41,3%	-58,7%

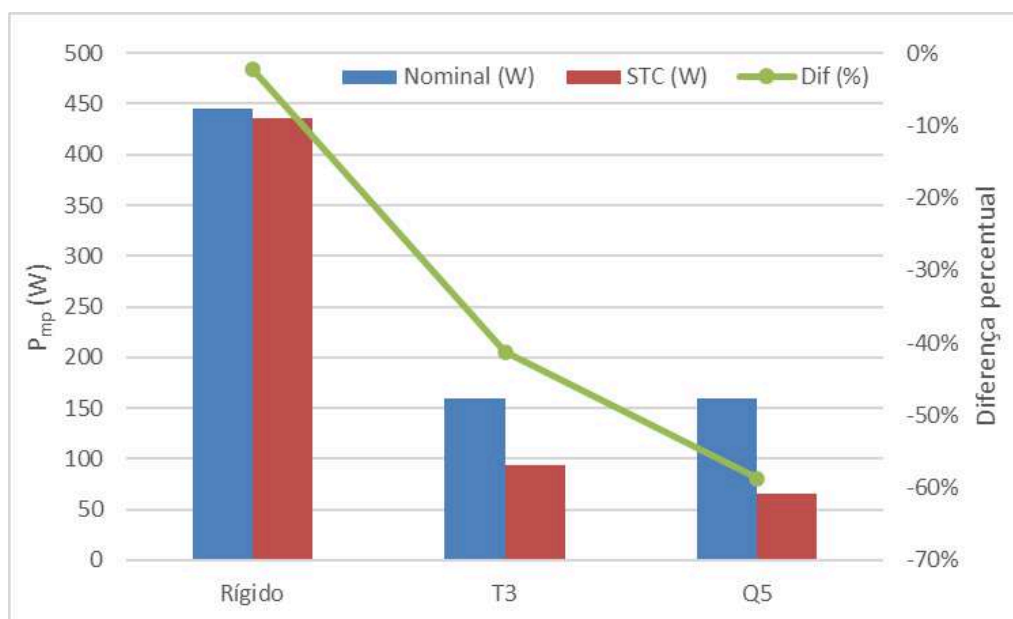


Fig. 9 - Comparação entre a condição nominal e em STC dos módulos ensaiados.

4. TESTE DE ELETROLUMINESCÊNCIA

Após o teste de geração individual, foram separados os painéis semiflexíveis T3 e Q5 para o teste de eletroluminescência juntamente de um painel rígido descrito no tópico 3.2.

A eletroluminescência é o fenômeno responsável pela emissão de radiação quando o circuito elétrico de uma célula é alimentado por uma corrente elétrica, conforme Petraglia e Nardone (2011). A realização do ensaio visa identificar danos sofridos pelos módulos fotovoltaicos que não conseguem ser diagnosticados através de uma inspeção visual, segundo Matos (2020), dentre os defeitos, pode-se citar as microfissuras nas células fotovoltaicas que compõem os módulos. Durante o ensaio é necessário seguir as recomendações da norma internacional IEC TS 60904-13 (2018), responsável por normatizar ensaios de eletroluminescência para módulos fotovoltaicos.

No teste de eletroluminescência todos os módulos foram polarizados diretamente, através de uma fonte de corrente contínua. As fotos foram tiradas utilizando uma câmera profissional com um filtro NIR, acoplado em sua lente, conforme recomendado por Figueiredo et al. (2018), dessa forma o conjunto de aquisição de imagem é capaz de reconhecer a radiação de baixa intensidade emitida pelas células fotovoltaicas ao serem energizadas em tal condição. Ao longo do ensaio, as fotografias foram realizadas quando os módulos foram alimentados com o valor nominal da corrente de curto-circuito, com 10% da corrente de curto-circuito e com o módulo não polarizado, conforme IEC TS 60904-13 (2018).

Na Fig. 10, pode-se ver os equipamentos utilizados e sua disposição para a realização do ensaio de eletroluminescência. Já nas Fig. 11, Fig. 12 e Fig. 13 pode-se observar os resultados obtidos no teste de eletroluminescência com os três módulos sendo alimentados pela corrente nominal:

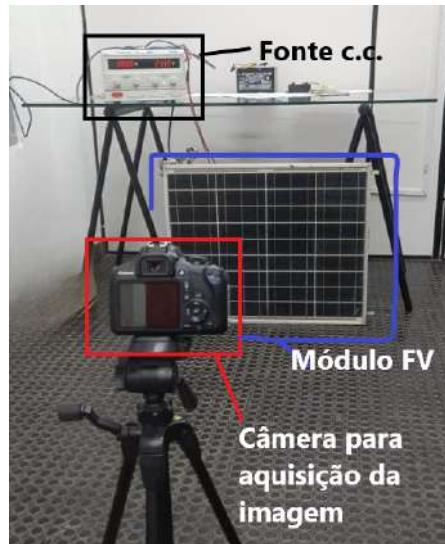


Fig. 10 - Montagem do ensaio de eletroluminescência.

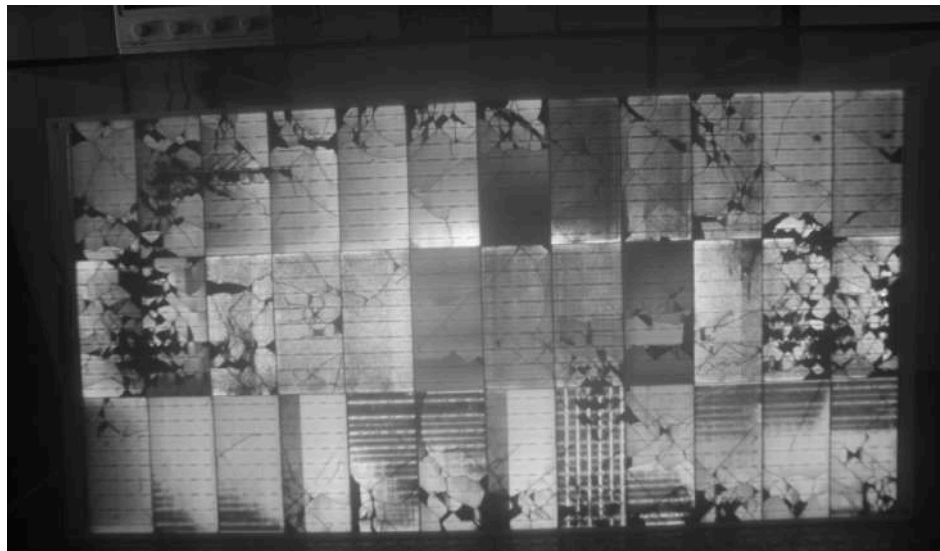


Fig. 11 - Teste de eletroluminescência do módulo T3.

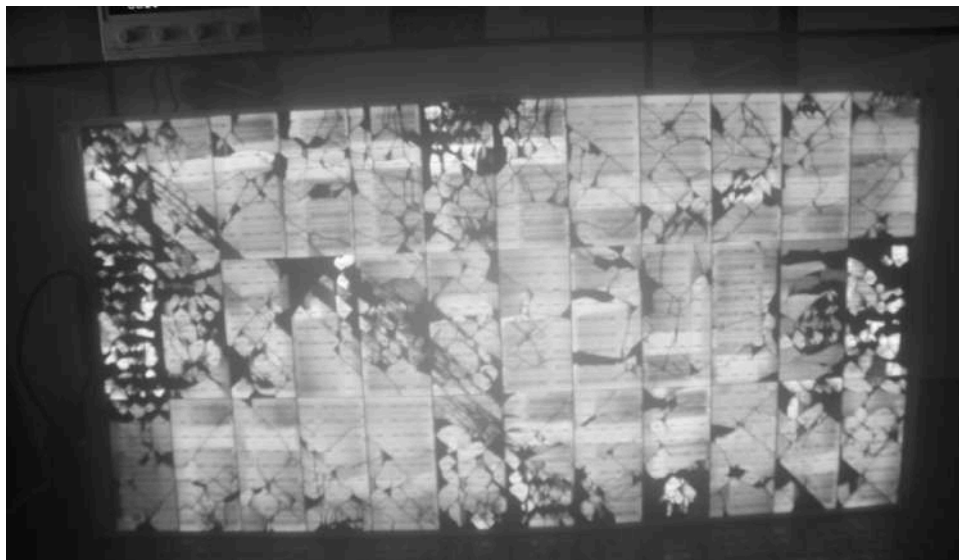


Fig. 12 - Teste de eletroluminescência do módulo Q5.

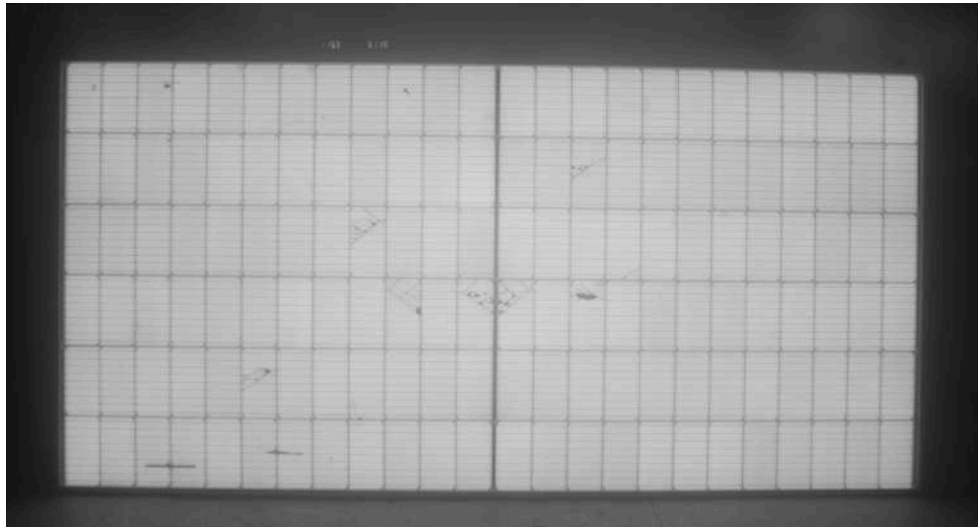


Fig. 13 - Teste de eletroluminescência do módulo rígido.

Ao analisar a Fig. 11 e Fig. 12, é possível verificar que as células fotovoltaicas dos módulos T3 e Q5 possuem diversas microfissuras, conseqüentemente, há um nível elevado de degradação em sua estrutura interna, fator que influencia diretamente na baixa eficiência energética deles na geração de energia elétrica. Além disso, com os resultados obtidos pode-se fazer uma comparação de imagens de eletroluminescência de dois módulos com alto nível de degradação, o T3 e Q5, através da Fig. 11 e Fig. 12, respectivamente, com o módulo rígido em ótimo estado, tendo sua estrutura interna íntegra, através da Fig. 13.

5. CONCLUSÃO

Diante dos resultados obtidos nos dois testes, é possível concluir que a baixa geração apresentada durante o Desafio Solar Brasil foi resultado de danos críticos nas células que não puderam ser observados por meio da inspeção visual nos equipamentos. Existem diversos fatores que ocasionam na danificação das células, como a falta de cuidados com os painéis durante a instalação e retirada dos mesmos nos suportes, a inclinação dos painéis para além do recomendado e os próprios hotspots que ocorreram no decorrer dos dias da competição. Entretanto, a principal suspeita é que os painéis já vieram danificados, visto que foram importados e os danos nas células dificilmente ocorreriam de forma tão intensa nas hipóteses citadas anteriormente.

Considerando tudo o que foi apresentado, pode-se concluir que ambos os módulos semiflexíveis estudados se encontram bastante danificados, conforme foi suspeitado durante a competição e observado nos resultados obtidos através do teste de eletroluminescência. Por conta disso, a geração total foi comprometida, e o barco ficou impossibilitado de atingir o melhor desempenho possível. Durante os testes, foi percebido que todos os módulos apresentaram geração abaixo da metade do valor nominal, mesmo em cenários de alta temperatura e irradiância. Apesar dos inúmeros hotspots que ocorreram durante a competição, o resultado do teste de eletroluminescência só poderia ocorrer caso os painéis já viessem danificados, uma vez que os painéis sofreram danos demasiadamente severos, e que não ocorreu nenhum tipo de acidente que pudesse ocasionar tais danos durante a competição. Entretanto, foi observado uma geração melhor no painel de estudo “T3” em relação ao painel “Q5”, com uma diferença de mais de 10W de potência máxima gerada, algo que também condiz com o resultado de EL, onde o painel T3 se mostrou menos danificado que o Q5. Além disso, o módulo rígido por estar mais intacto conforme observado no resultado do EL, pode-se concluir também uma melhor geração comparado aos semiflexíveis. Dessa forma, o estudo teve grande importância para entender a questão da baixa geração, uma vez que a mesma está atrelada aos danos críticos dos painéis, e através do teste de eletroluminescência pôde-se averiguar que esses danos não foram provenientes dos hotspots, visto que o painel com melhor geração possui hotspot e o com pior geração não possui, ou do mal uso.

Agradecimentos

O estudo contou com o suporte da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro (FAPERJ), no âmbito do programa de Auxílio Básico à Pesquisa (APQ1). Os autores agradecem à FAPERJ e à UFF pelo apoio concedido ao longo da realização desta pesquisa.

REFERÊNCIAS

- Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica, 2023. Brasil chega a 2 milhões de sistemas de energia solar.
- Braskem, 2022. Tecnologia de painéis solares flutuantes potencializa geração de energia para irrigação no campo.
- Enel Green Power, [s.d]. A transição energética.
- Figueiredo, G., Almeida, M. P., Manito, A., Zilles, R., 2018. Alternativa de Baixo Custo para Imagens em Eletroluminescência de Módulos Fotovoltaicos. VII Congresso Brasileiro de Energia Solar, Gramado.
- Hazem Munawer Al-Otum, 2023. Deep learning-based automated defect classification in Electroluminescence images of solar panels.
- IEC TS 60904-13, 2018. Photovoltaic Devices Part 13: electroluminescence of photovoltaic modules, vol. 1.
- International Energy Agency, 2023. Strong policy progress on energy efficiency seen in 2023, but meeting climate goals means moving faster.
- Matos, L. de. 2020. Uso de imagens de eletroluminescência para detecção de danos mecânicos nos módulos fotovoltaicos. Dissertação para obtenção do Título de Mestre em Engenharia. PPGE3M. UFRGS. Porto Alegre.
- Petraglia, A., Nardone, V., 2011. Electroluminescence in photovoltaic cell. Physics Education, [s.l.], vol. 46, n. 5, pp. 511–513.
- Sabine Gressler, Florna Part, Silvia Scherhauser, Gudrun Obersteiner, Marion Huber-Humer, 2022. Advanced materials for emerging photovoltaic systems – Environmental hotspots in the production and end-of-life phase of organic, dye-sensitized, perovskite, and quantum dots solar cells.
- Solar Magazine, 2022. IBC Solar Cells: Definition, Benefits, vs. Similar Techs.
- Sujata P. Pathak, Dr.Sonali Patil, Shailee Patel, 2022. Solar panel hotspot localization and fault classification using deep learning approach.
- Xiaoyue Li, Peicheng Li, Zhongbin Wu, Deying Luo, Hong-Yu Yu, Zheng-Hong Lu, 2021. Review and perspective of materials for flexible solar cells.

EVALUATION OF THE INTEGRITY OF SEMI FLEXIBLE PHOTOVOLTAIC MODULES APPLIED TO THE POWER GENERATION SYSTEM OF AN ELECTRIC CATAMARAN

Abstract. *This present study aims to investigate photovoltaic modules arising from new technologies driven by the demands of global energy transition, evaluating the integrity and performance of these semi-flexible modules applied to the power generation system of a catamaran-type electric vessel, as utilized by Team Arariboia in the national electric boat competition (Solar Challenge Brazil - DSB). The applied methodology involves collecting data through two different types of tests: the current-voltage ($I \times V$) curve analysis of the modules with variable resistive load and electroluminescence testing. The steps performed during the tests with fixed and variable loads for two semi-flexible modules and one rigid module for comparison will be presented, along with the results obtained from the electroluminescence test. In this context, the assessment of the modules is crucial for upcoming competitions and for societal awareness regarding the addressed topic, given that semi-flexible modules are relatively recent in the national market.*

Keywords: *Photovoltaic module, Semi-flexible, Electroluminescence.*