

Novos Conceitos de Módulos Fotovoltaicos e Projetos Piloto de Integração

Bolsista Natanael Lopes Dias (CTI) natanael.dias@cti.gov.br

Resumo

O objetivo deste artigo é descrever as etapas do processo de fabricação de módulos solares flexíveis estruturados em materiais laminados plásticos de vinil, tecidos de poliéster ou material similar desenvolvidos no laboratório Fotovoltaico do CTI (LaFoto). Estes módulos foram fabricados para serem incorporados na construção de toldos solares. As etapas do processo estudadas visam simplificar o processo de fabricação destes módulos fotovoltaicos de silício cristalino, através da laminação das células sobre materiais não convencionais mais leves e flexíveis (policarbonato - PCO, poliéster, vinil e tecidos). Os módulos produzidos possibilitarão o desenvolvimento de soluções do tipo fotovoltaicos integrados em edificações (BIPV) e aplicações em toldos e guarda-sóis solares.

Palavras-chave: Módulos fotovoltaicos integrados em edificações; Painéis solares flexíveis; Toldo fotovoltaico.

1. Introdução

Preocupados em garantir a preservação dos recursos naturais, cada vez mais impactados pelo crescimento da população e do consumo, governos, iniciativa privada e consumidores investem no desenvolvimento de projetos que privilegiem a utilização de fontes renováveis de energia. Entre as tecnologias disponíveis para diversificar a matriz energética mundial e que apresenta crescimento mais expressivo é a energia solar fotovoltaica. Acessível e limpa, a energia solar tem sido apontada como uma das principais soluções para geração sustentável. A energia solar no Brasil ultrapassou a marca de 5,7 Gigawatts de capacidade instalada (em Junho de 2020), segundo a Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica (ABSOLAR).

Os módulos fotovoltaicos comerciais utilizam, na sua maioria, células de primeira geração que correspondem a 92% do mercado. No entanto, o processo de fabricação desses módulos é complexo e realizado sobre substratos de vidro, o que restringe de alguma forma a sua aplicação em função do grande peso associado e limitações para designs curvos. Em virtude disso, tradicionalmente os módulos são montados sobre telhados de residências, comércios e indústrias, ou na altura do chão, no caso das usinas solares. O CTI possui um laboratório BIPV, único no Brasil, cujo principal viés é fazer pesquisa com materiais e processos de montagem de painéis com células fotovoltaicas de silício, visando atender requisitos especiais de projetos arquitetônicos que façam uso racional da energia solar. O laboratório possui capacidade para produzir em torno de 600 KWp/ano de módulos com dimensões de até 2000x1300 mm².

Neste artigo é apresentado um processo de fabricação do módulo fotovoltaico de silício cristalino, através da laminação das células sobre materiais não convencionais mais leves e

flexíveis tais como: policarbonato (PCO), poliéster, vinil e tecidos. Os módulos produzidos possibilitarão o desenvolvimento de soluções do tipo fotovoltaicos integrados em edificações (BIPV) e aplicações em toldos e guarda-sóis solares. O trabalho foi feito em cooperação com a empresa AG Têxteis que foi responsável fornecimento dos tecidos de poliéster para os testes de laminação e fabricação dos painéis.

2. Materiais e Métodos

O módulos fotovoltaico foram construídos a partir de um modulo típico composto por uma camada interna única de matriz de células solares de silício policristalino, monocristalino e um conjunto variado de camadas compostas por laminados de filmes de polímeros para promover o empacotamento hermético do módulo (ver a Figura 1).



Figura 1 – Configuração do modulo flexível

A camada Frontal (frontsheet) dos módulos solares processados é composta por um filme laminado transparente multicamada fabricado pela Coveme, marca CLRPYE 50/125/ET. Esse filme é um laminado composto de duas camadas de poliéster transparente de alta performance com filme de proteção UV e com alta resistências a agentes atmosféricos promovendo uma barreira para oxigênio e umidade. Possuindo ainda um alto isolamento elétrico e ótima proteção contra hidrolises dos adesivos.

A laminação dos módulos solares desempenha uma função similar ao de uma máquina de plastificar documentos, entretanto trata-se de um processo muito mais específico e completo com vários de fatores que vão impactar na vida útil do modulo solar. Sendo assim, durante o processo de laminação as camadas de plástico vão se derreter/fundir e formar uma junção perfeita com o intuito de proteger as células de qualquer ação do ambiente.

A máquina laminadora basicamente é composta por uma tampa superior móvel e uma base fixa, ambas com controle de temperatura (termostatizadas) e com acesso a linhas de vácuo. A tampa tem um “lençol” de borracha de silicone formando assim uma câmara hermética na qual pode ser inflada sobre o módulo durante o processo de laminação. A figura 2 mostra o equipamento de laminação com a tampa aberta e a figura da direita mostra um esquema da laminadora fechada em processo.



Figura 2 – Máquina laminadora do modulo flexível

A interconexão das células são feitas, antes da laminação, através de conectores (ou outros materiais), formando-se "strings" (séries de células interconectadas). O lado inferior de uma célula é conectado ao lado superior da célula seguinte até se formar a série de células como o número desejado. Os testes de caracterização I-V foram realizados em condições de irradiação luminosa e temperatura para se obter a curva I-V característica de cada módulo sob teste. Estas curvas fornecem informações sobre o desempenho elétrico como: potência máxima de pico (P_m), tensão de circuito aberto (V_{ca}), tensão máxima de potência (V_{mp}), corrente de curto-circuito (I_{cc}) e corrente de máxima potência (I_{mp}).

Os testes de caracterização foram realizados nas condições padrões de irradiação , $1000\text{w}/\text{m}^2$. O computador envia sinais elétricos variável ao módulo solar simulando uma carga ativa variável no do intervalo de tempo de milisegundos em que flash da lâmpada de xenon se mantém com sua irradiação estável (figura 3).

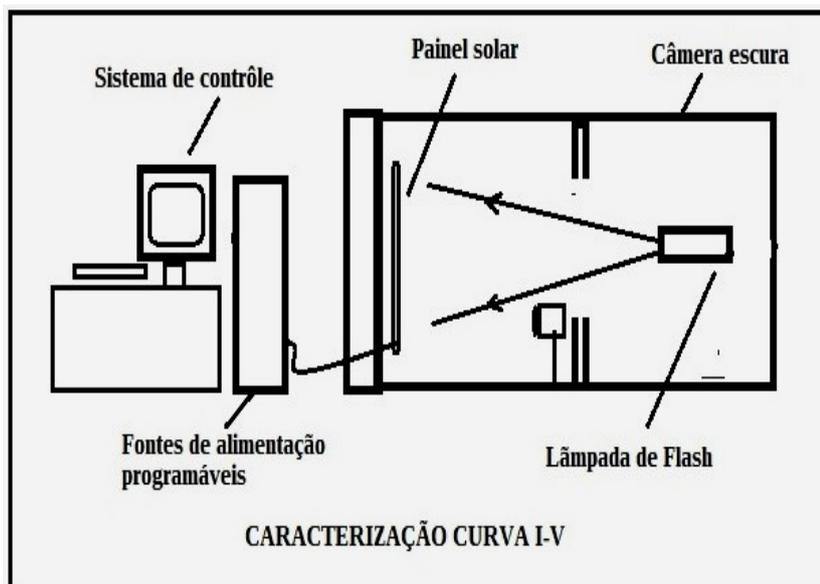


Figura 3 – Esquema do teste de caracterização I-V

O teste de imagem por eletroluminescência (EL) é uma técnica de análise não destrutiva utilizada para diagnosticar defeitos nas células solares e suas conexões internas na matriz de

células do módulo solar . Entre os defeitos mais comuns, não visíveis a olho nu, que podem ser analisado pelo equipamento denominado testador de eletroluminescência são :

- Células quebradas e microfissuras nas células.
- Detecção de defeitos de contato do barramento
- Detecção de dedos impressos em tela ausentes ou interrompidos
- Detecção de não homogeneidade e matéria estranha no silicone cristalino
- Curto-circuito em células solares

Esta técnica baseia-se no fenômeno da eletroluminescência semelhante ao que ocorre no LED , onde uma corrente elétrica flui pelas células solares , que basicamente são LEDs grandes , ocasionando um recombinação dos portadores provocando emissão de radiação no infravermelho que podem ser capturadas por cameras fotográficas com sensores de imagem sensível na região do infravermelho. Um exemplo de imagem obtida no teste mostrado uma célula quebrada matriz do módulo solar flexível(ver figura 4). Para se produzir a imagem das células do módulo através da eletroluminescência é necessário aplicar uma tensão controlada nos terminais no módulo por um intervalo de tempo curto o suficiente para que as cameras capturem a imagem da radiação eletroluminescente emitida pelas células.

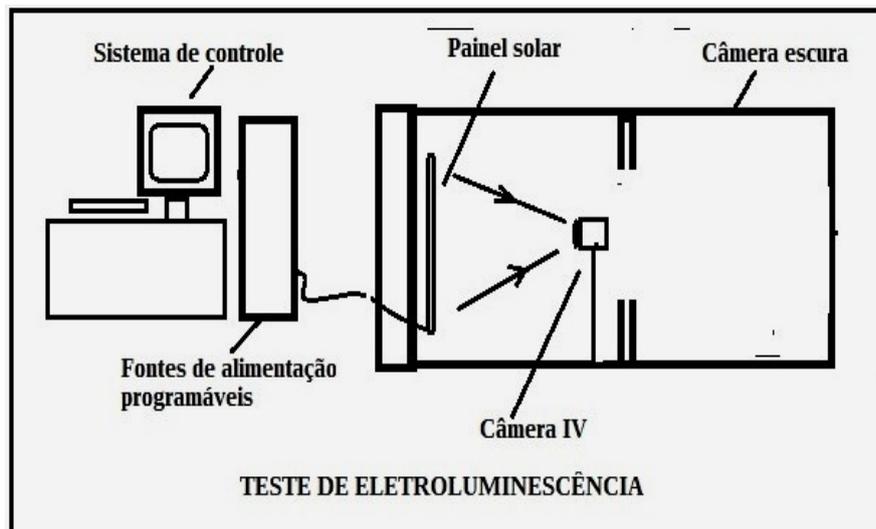


Figura 4 – Esquema do teste de eletroluminescência (EL)

3. Resultados

Foram feitos sei módulos os quais foram submetidos a teste em simulador IxV afim de se extrair parâmetros de performance como PCE, Voc, Jsc e FF. O teste tem função de se determinar as características elétricas do módulo fotovoltaico para isso é traçado sua curva característica I-V. O módulo sob teste é submetido às condições padrões de ensaio, uma fonte de tensão variável realiza uma varredura entre uma tensão negativa em relação aos terminais do módulo, até ultrapassar a tensão de circuito aberto do módulo com a corrente ficando negativamente. Durante esta varredura são registrados pares de dados de tensão e corrente, permitindo o traçado de uma curva característica mostrados na figura 5. Também foram feitos testes de eletroluminescência nos módulos (figura 6) e as fotos obtidas para avaliar

condições físicas dos módulos, como a presença de fissuras (cracks), assim como condições elétricas, células inativas, diodo queimado, problemas de solda, etc.

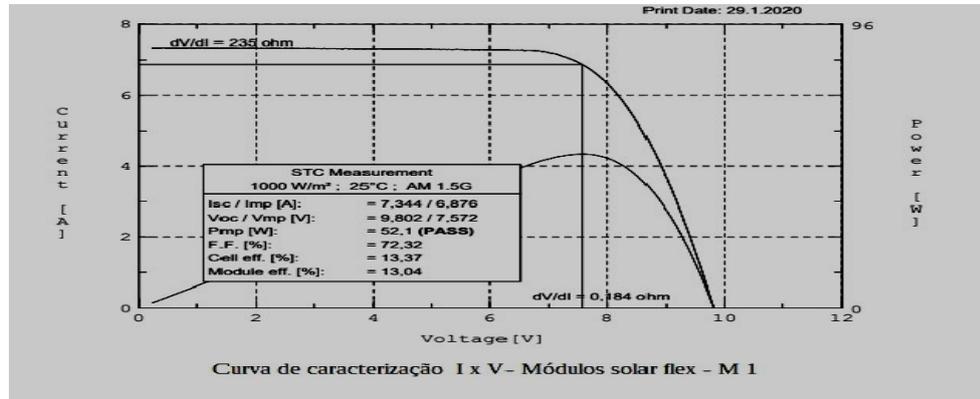


Figura 5– Teste de caracterização I-V

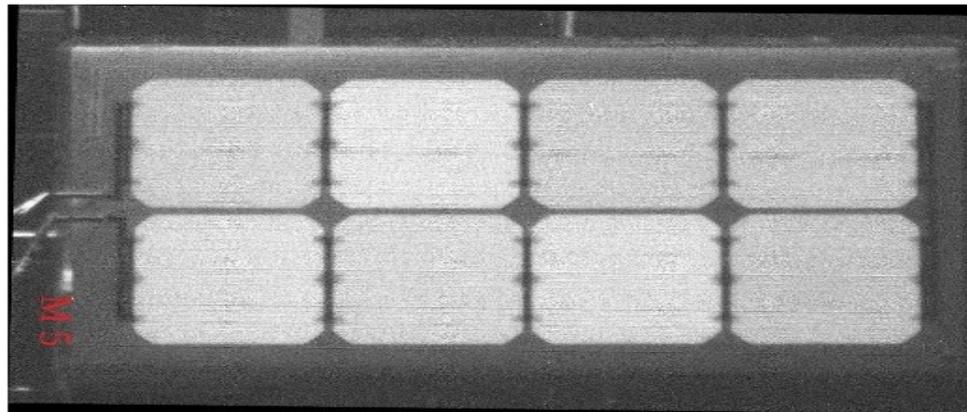


Figura 6 – Teste de eletroluminescência (EL).

Foram produzidos seis módulos solares (M1 a M6) flexíveis seguindo as etapas do processo de laminação descritas anteriormente, sendo que o processo de soldagem das células foi todo manual (ver figura 7) (ver tabela abaixo).

Resultados dos testes elétricos dos módulos solares obtidos da curva I x V							
Módulo	matriz	Célula	Tipo	Backsheet	Isc/Imp(A)	Voc/Vmp(V)	P(W)
M1	4x4	Policristal	1	Vinil - marron	7,34/6,88	9,80/7,57	52,1
M2	4x2	Policristal	2	Vinil - marron	3,39/6,89	4,89/3,84	26,5
M3	4x2	Policristal	2	Poliéster	7,35/6,83	4,87/3,82	26,1
M4	4x2	Policristal	3	Poliéster	7,35/6,83	4,86/3,82	26,4
M5	4x2	Monocristal	3	Vinil azul	5,14/4,81	5,12/3,91	18,8
M6	8x2	Monocristal	3	Vinil azul	5,14/4,82	10,2/7,94	38,8

Os módulos solares flexíveis montados com estrutura traseira (backsheet) composta de camadas de lona de vinil ou de lona de tecidos poliéster apresentaram bons resultados nos primeiros testes elétricos e de eletroluminescência. Somente uma das amostras, o módulo 6 (M6), apresentou um fratura na célula que foi revelado nos testes de eletroluminescência (teste EL) , contudo isso não afetou significativamente a eficiência do módulo devido as características construtivas da célula do fabricante SunPower. Nenhum dos protótipos apresentou formação de bolhas na inspeção visual.

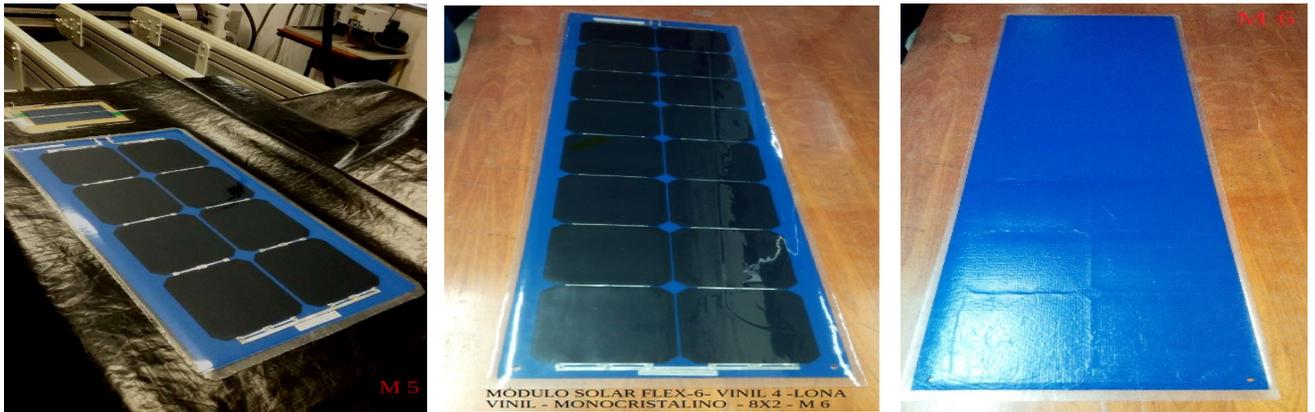


Figura 7 – Módulos produzidos

4. Conclusão

A tecnologia de energia solar fotovoltaica apresenta boa aplicabilidade tecnológica e confiabilidade de desempenho com alta viabilidade econômica e competitividade em um cenário favorável e promissor para sua difusão e popularização no mercado brasileiro. A laminação dos módulos fotovoltaicos de silício cristalino sobre materiais flexíveis como lona de vinil e tecido de poliéster (PETg) mostrou-se apto a ser usado em aplicações como toldos e guarda-sóis. O processo de laminação apresentou bons resultados de performance elétrica e em análise de eletroluminescência bem como boa compatibilidade dos componentes plástico da laminação e o tecido.

5. Referências

<https://www.researchgate.net/publication/47806645> Insights on EVA lamination process Where do the bubbles come from Acesso ; junho 2020

<https://www.researchgate.net/publication/259006840> Influence of Vacuum Lamination Process on Laminate Properties - Simulation and Test Results , Acesso : agosto 2020

Lazewska A.K,E.K. Radziemska . “,Influence of Fragment Size on the Time and Temperature of Ethylene Vinyl Acetate Lamination Decomposition in the Photovoltaic Module Recycling Process”, *Faculty of Chemistry, Gdansk University of Technology, ul. Narutowicza 11/12, PL-80-233 Gdansk, Polan*

<https://www.researchgate.net/publication/273444004> Lamination process and encapsulation materials for glass-glass PV module design . acesso junho 2020.

<https://www.researchgate.net/publication/299042226> Interpreting module EL images for quality control acesso março 2020.

H. D.Assunção “*Degradação de módulos fotovoltaicos de silício cristalino instalado no DEE-UFC*”, *Universidade Federal do Ceará ,Centro de Tecnologia , Departamento de Engenharia Elétrica ,2014*

<https://www.researchgate.net/publication/321128722> 46 Mechanical Testing and Failure Analysis of Photovoltaic Modules . Acesso mai 2020.

K. Dolia , " Accelerated UV Testing and Characterization of PV Modules with UV-cut and UV-pass EVA Encapsulants" Arizona State University , may 2018