

# EFEITO DE DIFERENTES CONFIGURAÇÕES DE ENCAPSULAMENTO DE CÉLULAS FOTOVOLTAICAS EM MINI MÓDULOS SOLARES FRENTE À DEGRADAÇÃO EM CALOR ÚMIDO

Lia Costa – liacoshta@gmail.com

Thais Crestani

Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, Escola Politécnica, Núcleo de Tecnologia em Energia Solar (NT-Solar)

Clarissa Guimarães e Miranda

Eduardo Mendes

Rodrigo Garcia

Harison Franca dos Santos

Department of Research & Development, BYD Energy do Brasil, Campinas, SP, Brasil

**Resumo.** Este trabalho avaliou o desempenho de diferentes combinações de encapsulamento em diferentes tecnologias de células solares fotovoltaicas, PERC e TOPCon, p-type e n-type respectivamente, frente à degradação da potência de saída induzida por calor e umidade. Os dispositivos foram construídos através da arquitetura half-cell e topologia vidro/backsheet branco. As configurações de encapsulamento foram baseadas através da associação os encapsulantes EVA, POE e EPE. O ensaio de degradação foi realizado em câmara de condicionamento térmico a 85 °C e 85% de umidade relativa durante 1000 h. Os resultados mostraram uma redução máxima de 16,72% e 6,08% do desempenho ocasionadas principalmente pela formação de ácido acético e entrada de umidade para as células de tecnologia TOPCon e PERC respectivamente – evidenciadas pelas imagens de eletroluminescência. O menor índice de redução de potência foi encontrado para a configurações POE/POE, que foi de 13,97% e 4,79% para as amostras construídas com células TOPCon e PERC, respectivamente.

**Palavras-chave:** módulos fotovoltaicos, n-type TOPCon, materiais encapsulantes.

## 1. INTRODUÇÃO

A evolução de novas tecnologias de células solares movimentada de forma abrupta a evolução e desenvolvimento de diferentes materiais para atender as demandas do mercado fotovoltaico. Quando realizada mudanças na tecnologia de célula aplicada ao módulo, é levado em consideração as características desses dispositivos para viabilizar um novo produto. O último relatório do ITRPV de 2023 (*International Technology Roadmap for Photovoltaic*) mostra o quanto a mudança no mercado vem ocorrendo de forma rápida e expressiva. Na Fig. 1, observa-se a alteração na utilização de células solares PERC do tipo p para células solares TOPCon (células solares com óxido de tunelamento para passivação), tipo n. O mercado, atualmente dominado pela tecnologia PERC, tem gradativamente cedido espaço para dispositivos mais eficientes com substrato do tipo n, e, em menos de 4 anos, o prognóstico é de que seja dominado pelas tecnologias de células tipo n, TOPCon e SHJ (células solares de heterojunção de silício).

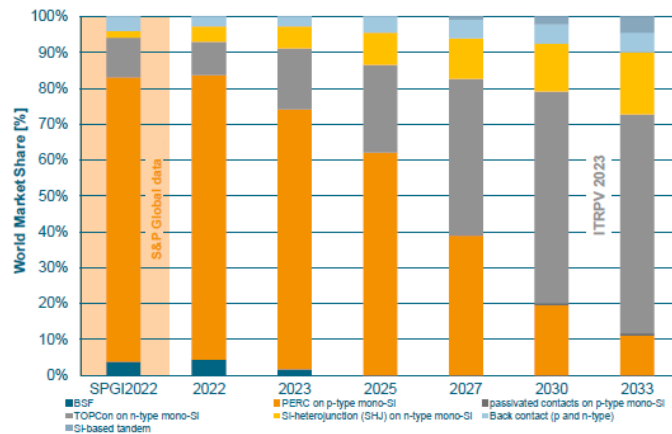


Figura 1 - Participações de mercado para diferentes tecnologias de células solares (ITRPV, 2023).

As células solares com emissor e face posterior passivados (PERC) tiveram a sua primeira publicação em 1989 (Blakers *et al.*, 1989). Uma das características da configuração PERC é a redução da recombinação na superfície posterior por uma combinação de passivação e redução da área de contato metal/semicondutor. Para produzir as células com tecnologia PERC, a difusão de boro está sendo aperfeiçoada. As primeiras células PERC de alta eficiência foram fabricadas em 1988 com 21,8 % de eficiência.

Em 2006 foi desenvolvida a célula solar PERC com eficiência de 23,4 % em substratos de Si tipo n com passivação eficiente da superfície p<sup>+</sup> com Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Na família das células PERC estão as seguintes configurações: PERD simples (célula com emissor passivado diretamente contactado - *passivated emitter rear directly-contacted*), célula PERL (célula com emissor passivado com difusão posterior localizada - *passivated emitter and rear locally diffused*), célula PERT (célula de emissor passivado com região posterior totalmente difundida - *passivated emitter rear totally diffused*), célula PERF (célula de emissor passivado com junção flutuante posterior - *passivated emitter rear floating-junction*), (Green, 2015), (Crestani, 2021).

A tecnologia de células solares TOPCon utiliza o silício monocristalino tipo n, com passivação de óxido de tunelamento na parte traseira, essa tecnologia ganhou participação de mercado em 10% em 2022 e a perspectiva é de que alcance até 60% nos próximos 10 anos. Com base em nossos resultados, espera-se que a tecnologia de células TOPCon, tipo n, se torne o conceito de célula dominante após 2025 (ITRPV, 2023). As primeiras células solares TOPCon foram desenvolvidas pelo instituto Fraunhofer ISE em 2013. (Gosh *et al.*, 2021) apresentou as células solares de contato passivado com óxido de túnel (TOPCon) que estão ganhando mais interesse por possuírem diversas vantagens, como disponibilidade de matéria-prima, fácil sequência de processo e alto potencial de eficiência. Discutindo o desenvolvimento evolutivo desta células solares TOPCon de alta eficiência, os avanços alcançados pelos pesquisadores em diversos aspectos para melhorar a eficiência da célula e o estado atual de comercialização tem se mostrado promissor.

A célula solar estruturada de contato passivado, TOPCon, é uma versão aprimorada da célula solar PERT de primeira geração, oferece a mais alta eficiência de conversão de energia e é a mais disponível comercialmente. A célula solar de primeira geração ainda sofre perdas de recombinação, o que impacta fortemente a eficiência de conversão da célula. Para reduzir as perdas são necessários esforços para suprimir a recombinação, passivando a junção traseira usando uma camada dielétrica, camada de tunelamento, juntamente com uma excelente passivação (Anand e Kale, 2021).

O módulo fotovoltaico apresenta uma estrutura de interconexão das células solares em *strings* onde são interconectadas com os barramentos para então formar uma matriz de interconexão dos materiais semicondutores que gerarão energia. A Fig. 2 apresenta a estrutura convencional de um módulo fotovoltaico, onde o objeto de estudo deste trabalho está localizado na comparação de diferentes combinações de encapsulantes, frontal e traseiro, para diferentes tipos de tecnologias de células solares de silício monocristalino. Os materiais encapsulantes usualmente utilizados pela indústria de módulos evoluiu da utilização de silicone para a utilização de Etileno Vinil Acetato (EVA). O encapsulante é o material que envolve as células solares e as protege de choques e pode impactar positivamente ou negativamente na degradação das células solares.



Figura 2 - Estrutura do módulo fotovoltaico convencional.

A maioria dos módulos fotovoltaicos utiliza Etileno Vinil Acetato (EVA) como material encapsulante. Quando processado da maneira correta, fornece proteção adequada e durável. O EVA, entretanto, não é perfeito e, em algumas aplicações, são necessárias melhores propriedades em termos de inércia química e resistência a altas temperaturas. Nos últimos anos, os encapsulantes de poliolefina (POE) surgiram como uma alternativa importante ao EVA e já estão sendo utilizados em grande escala principalmente em módulos bifaciais (*double glass*) vidro-vidro, onde o potencial formação de ácido acético (que pode ocorrer durante a degradação do EVA) é excluído. Para resistência a altas temperaturas, outro material encapsulante alternativo está disponível, nomeadamente silicone ou polidimetilsiloxano (PDMS). Na verdade, o silicone foi considerado desde o início da tecnologia fotovoltaica, anos 60. Os primeiros módulos fotovoltaicos para aplicações espaciais já utilizavam silicone como encapsulante. Mais tarde, quando os módulos fotovoltaicos começaram a ser comercializados para aplicações terrestres, o encapsulamento de silicone foi a principal opção utilizada pelos fabricantes de módulos no mundo todo. Esta situação durou até a segunda metade da década de 1980, quando os materiais EVA tornaram-se gradualmente o encapsulante preferido dos fabricantes devido ao menor custo e ao processamento mais fácil (Beaucarne *et al.*, 2021).

Foram estudadas a incorporação de aditivos absorvedores de ultravioleta (UVA) e estabilizadores de luz de aminas (HALS) à resina epóxi, outro tipo de encapsulante que pode ser utilizado em módulos fotovoltaicos, dado ao seu potencial para melhorar a estabilidade de desempenho sob exposição à radiação ultravioleta (UV). O desempenho fotovoltaico e de envelhecimento foram examinados através da evolução dos espectros de eficiência quântica externa (EQE), os valores de corrente de curto-circuito e mudança de cor. Com essa análise foi observada a diminuição no desempenho inicial dos módulos, evidenciada nas perdas por curto-circuito quando são incorporados os aditivos. Em relação à estabilidade de desempenho, o aumento do conteúdo de ambos, UVA e HALS, levou a melhores resultados com menor perda de corrente de curto-circuito e amarelamento observado devido à radiação UV. O módulo mais estável, com células incorporadas em compósito contendo 1% de UVA e 1% de HALS, apresentou uma perda de corrente de curto-circuito de 2,8%. O aumento da proteção UV foi obtido em troca do desempenho fotovoltaico inicial (Yarrita *et al.*, 2021).

Um teste de aceleração para estudar os efeitos da incidência de ultravioleta (UV-365) nos materiais encapsulantes de módulos fotovoltaicos foi realizado para estudar a confiabilidade do encapsulante de poliolefina termoplástica (TPO) e EVA. A taxa de diminuição da transmitância e a taxa amarelamento foram encontradas duas ordens de magnitude mais altas para o EVA em comparação com o TPO. Foi observado um incremento de 35% e 12% na cristalinidade para encapsulantes EVA e TPO, respectivamente. Uma taxa de incremento uma ordem de magnitude menor no índice de carbonila e no índice de éter foi encontrada no TPO em comparação com o EVA. Em dezoito dias do teste UV-365 foram suficientes para identificar a descoloração precoce/geração de flúor-fósforos do EVA (Adothu *et al.*, 2022).

Outros tipos de degradação podem ser visualmente notadas em módulos fotovoltaicos, entre elas a delaminação e a descoloração são comumente observadas em módulos fotovoltaicos de silício cristalino em campo. Neste trabalho, foi apresentada uma análise comparativa da descoloração marrom e da delaminação com aparência cinza na parte frontal do etileno acetato de vinila (EVA), para compreender seus efeitos básicos e modos de degradação. O efeito distinto das degradações do EVA descolorido e delaminado nas radiações incidentes foi identificado principalmente na perda de absorção e reflexão, respectivamente, sob diferentes comprimentos de onda. Além disso, foi apresentado o impacto dessas degradações no desempenho do módulo, devido à perda por incompatibilidade dentro do módulo. A investigação do constituinte químico confirmou a presença de delaminação na amostra cinza degradada devido à ausência de agente adesivo interfacial, em contraste com a amostra descolorida. Os resultados da investigação estrutural corroboraram uma diminuição no comportamento cristalino de ambas as degradações. Além disso, impressões de células de silício gravadas foram observadas apenas em amostras delaminadas, o que pode ser a razão de sua aparência acinzentada e maior reflexão (Meena *et al.*, 2020).

O trabalho desenvolvido por (Adothu *et al.*, 2021), laminados de poliolefina termoplástica (TPO) foram preparados e submetidos a testes prolongados de clima úmido e calor. As propriedades do encapsulante TPO foram estudadas e comparadas com o encapsulante EVA. Foram observadas taxas quatro vezes menores de perda de transmitância, mecanismo de degradação induzida por calor e umidade. Além disso, seus componentes foram estudados usando espectroscopia Raman e infravermelho com transformada de Fourier (FTIR). Os espectros Raman revelaram que a taxa de perda do grupo carbonila na borda é uma ordem de grandeza maior que no centro. O FTIR mostrou uma taxa mais alta de formação de ácido acético e grupo hidroxila no EVA em comparação com o TPO. O FTIR também demonstrou que o TPO tem menor absorção de água devido à sua natureza apolar, enquanto o EVA apresenta maior absorção de água devido à sua natureza polar. A taxa de mudança nas propriedades térmicas dos encapsulantes TPO e EVA foi estudada através do ciclo calor-resfriamento-calor. Uma maior taxa de incremento no grau de cristalinidade é encontrada para EVA em comparação com o encapsulante TPO durante o teste prolongado de aceleração de calor úmido. Este estudo ajuda a compreender o comportamento de degradação dos encapsulantes TPO e EVA, os componentes de degradação e o mecanismo para os pesquisadores de encapsulantes e fabricantes de módulos fotovoltaicos quando um módulo fotovoltaico experimenta condições quentes e úmidas (Adothu *et al.*, 2021).

## 2. OBJETIVOS

Este trabalho tem como objetivo avaliar o desempenho de diferentes combinações de encapsulantes em diferentes tecnologias de células solares fotovoltaicas, PERC e TOPCon, p-type e n-type respectivamente, frente à degradação da potência de saída induzida por calor úmido. Para o encapsulamento das amostras, foram utilizadas combinações de EVA, POE e EPE.

## 3. METODOLOGIA

As amostras de mini módulos foram confeccionados pelo departamento de P&D, laboratório 3S, da BYD Energy do Brasil, a fim de se avaliar os impactos das combinações de diferentes encapsulantes para as duas tecnologias de células solares, PERC e TOPCon, tipo p e tipo n, respectivamente. As células solares utilizadas foram de tamanho G12 (210 x 210 mm) com mini módulos de topologia *half-cell* construídos com duas meia células.

As combinações dos diferentes encapsulantes têm como objetivo analisar o impacto quanto a penetração de umidade em diferentes tecnologias de células solares. A metodologia para o processo de fabricação e caracterização dos mini módulos é apresentada na Fig. 3. Após a confecção das amostras, A (EVA/EVA), B (POE/POE) e C (EPE/EPE) para as duas tecnologias de células solares, os mini módulos foram caracterizados. As caracterizações foram realizadas de acordo com a norma IEC 61215:2021, utilizando a MQT 6.1 que explica e condiciona a medição da performance em condições

padrão de teste STC (1000 W/m<sup>2</sup> a 25°C e espectro AM 1.5). A análise de eletroluminescência dos dispositivos foi realizada de acordo com a norma IEC 60904-13:2018.

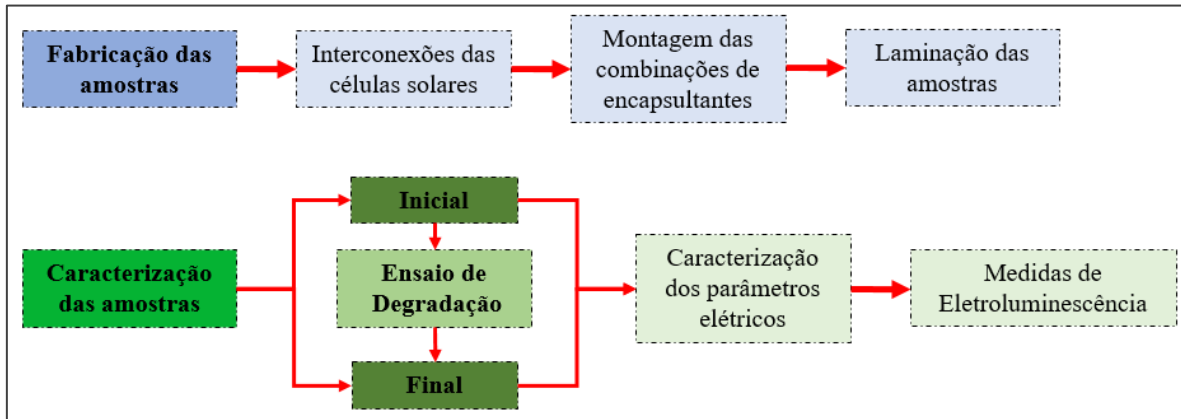


Figura 3 – Fluxograma de desenvolvimento do trabalho.

As amostras foram confeccionadas com as combinações denominadas A, B e C. A amostra A é formada pela combinação da folha frontal e traseira de EVA, a amostra B é a combinação das folhas de POE e a amostra C é a combinação das folhas de encapsulantes EPE. As receitas de laminação utilizadas no processo de fabricação dos mini módulos está apresentada na Tab. 1.

Tabela 1 – Receitas para os processos de laminação das amostras.

Método	Temperatura (°C)	P. Vacuumize (s)	Lamination (s)	M. Press (s)	Inflation (s)
A	145	240	460	21	60
B	138	450	560	21	90
C	145	360	460	21	60

O teste de Calor Úmido é um ensaio de degradação obrigatório para módulos fotovoltaicos de acordo com a IEC 61215-2:2021 (MQT 13) que determina os efeitos de longo prazo de penetração por umidade, nos dispositivos fotovoltaicos. Os mini módulos foram submetidos ao ensaio de degradação com temperatura de teste de  $(85 \pm 2)$  °C com umidade relativa  $(85 \pm 5)\%$  e com duração de 1000 h. A caracterização após o ensaio de degradação ocorreu após um tempo de recuperação entre 2 e 4h  $(23 \pm 5)$  °C e uma umidade relativa inferior a 75%. A Fig.4 apresenta um exemplo visual da topologia de um minimódulo confeccionado.

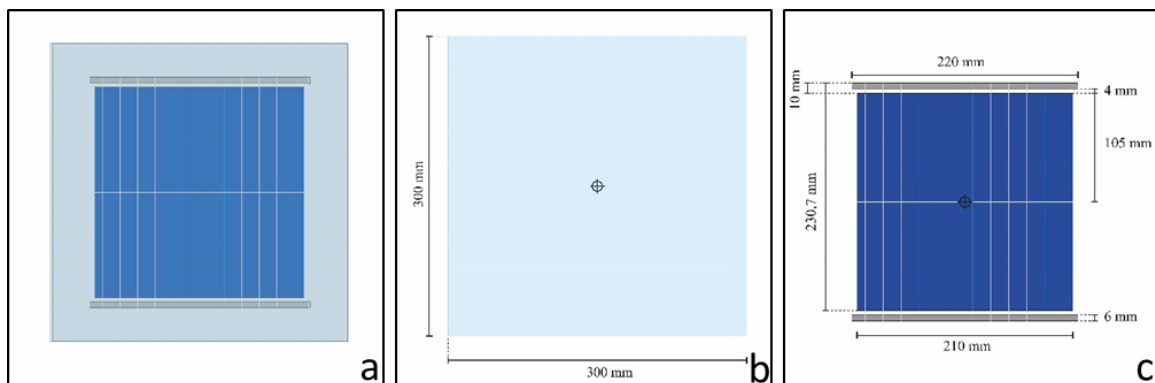


Figura 4 - Características importantes das amostras confeccionadas. (a) arquitetura do conjunto, (b) dimensões totais, (c) dimensões dos elementos.

#### 4. RESULTADOS

Na Fig. 4 apresenta-se o comportamento da performance das amostras testadas antes e após os ensaios de degradação em calor úmido durante 1000 h. Nesse contexto, a partir dela é possível observar que a combinação B, (POE/POE), para ambas as tecnologias de células, promoveu maior resistência frente a redução da performance dos dispositivos. O pior desempenho foi obtido para a combinação A (EVA/EVA), possivelmente pela interação dos compostos oriundos da degradação do EVA com a metalização das células. Além disso, quando se compara as duas tecnologias de células, nota-

se que os dispositivos construídos com tecnologia TOPCon são mais susceptíveis a redução do desempenho, tal fato pode estar associado a tendência dos contatos frontais Ag-Al para células TOPCon serem os que mais se degradam devido à exposição a ácidos, em comparação com a PERC, e ainda pelo fato da maior sensibilidade a degradação desta tecnologia frente a umidade, também em comparação com a PERC. Outro aspecto relevante, está associado ao fato das amostras não possuírem elementos vedantes nas regiões laterais, o que aumenta vertiginosamente a facilidade da entrada de umidade, e beneficia a degradação das células TOPCon frente a tecnologia PERC.

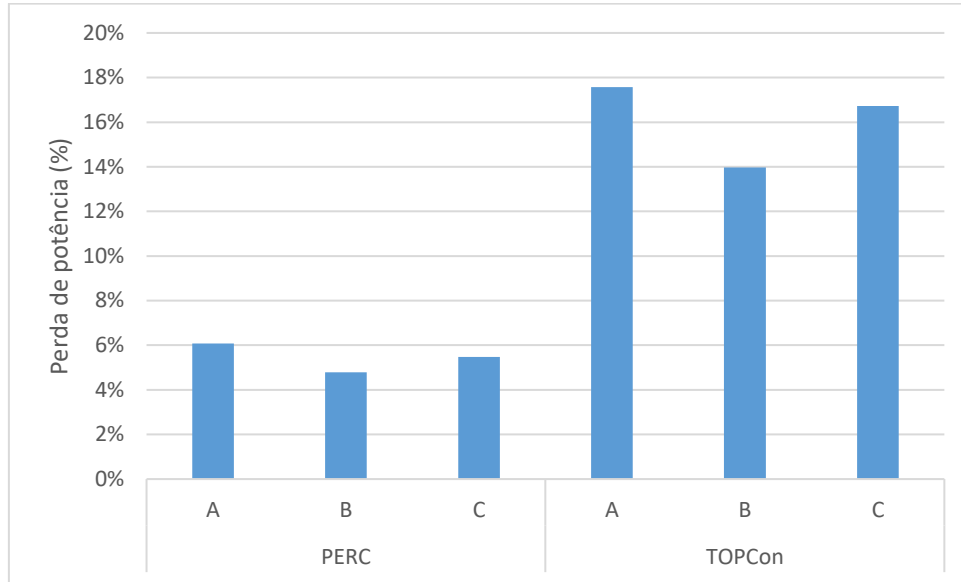


Figura 5 - Perda de potência das amostras antes e após ensaio de degradação.

Os parâmetros elétricos dos dispositivos são apresentados na Tab. 2. Relaciona-se os parâmetros medidos inicial e após o teste de degradação com o resultado da sua variação após o teste. Nessa, são apresentados os dados comparativos de variação da potência máxima, tensão de circuito aberto ( $V_{OC}$ ), corrente de curto-circuito ( $I_{SC}$ ) e a resistência em série ( $R_{Série}$ ). A partir dela, é possível observar que as amostras construídas com células de tecnologia PERC tiveram tendência a redução da resistência série, enquanto as de tecnologia TOPCon não apresentaram o mesmo comportamento. Outro aspecto relevante, é que aparentemente, as variações de Voc ou Isc não se comportam conforme a variação de potência máxima.

Tabela 2 – Parâmetros elétricos dos minimódulos, potência (W), tensão de curto aberto (V), corrente de curto-circuito (A) e resistência em série ( $\Omega$ ).

Célula	Combinação	Variação			
		Pot. (%)	Voc (%)	Isc (%)	Rsérie (%)
PERC	A	6,08	1,43	1,16	20,60
	B	4,79	1,43	1,20	25,93
	C	5,48	2,13	1,33	91,83
TOPCon	A	17,57	0,00	2,91	- 27,86
	B	13,97	0,00	2,87	- 41,98
	C	16,72	-1,43	2,24	9,50

Complementando as afirmações oriundas dos resultados de performance, a Fig. 5 apresenta o comparativo das imagens de eletroluminescência (EL) das amostras antes e após o ensaio de degradação. Deste modo, a partir dela é possível observar que assim como nos resultados quantitativos, as células de tecnologia TOPCon sofreram maior impacto em comparação com as de tecnologia PERC – evidenciado pelo aparecimento de regiões mais escuras formadas pela interações do dispositivo com a umidade. Tal fato pode estar potencializado pela formação de ácido acético por hidrólise

– no caso da combinação A (EVA/EVA), que visualmente apresentou pior resultado, e no caso da combinação B (POE/POE), principalmente pela entrada de umidade das regiões de borda. Um aspecto importante está associado a característica da degradação na combinação A, que envolve deterioração nas regiões em volta dos *wires*, que pode ter ocorrido porque os portadores da célula não foram capazes ou foram menos propensos a serem extraídos eletricamente nesta região, assim como citado em (Sen *et al.*, 2018) para outras tecnologias de células.

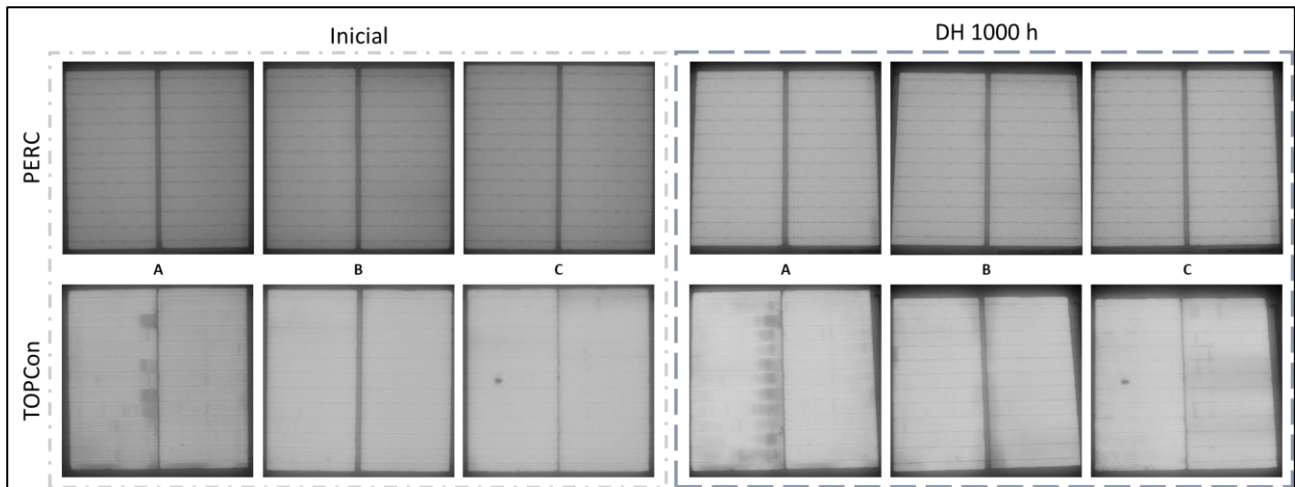


Figura 6 - Comparativo das imagens de eletroluminescência das amostras antes e após o ensaio de degradação.

## 5. CONCLUSÃO

Conforme observado a partir dos resultados obtidos neste trabalho, percebe-se que os dispositivos construídos com células de tecnologia TOPCon estão muito mais propensos a degradação da performance induzida pelo estresse térmico e de umidade. Entretanto, essas variações são pouco perceptíveis através dos dados de Voc e Isc. Com relação a performance dos materiais encapsulantes, o mesmo comportamento é encontrado para ambas as tecnologias (PERC e TOPCon). Nesse contexto, a melhor resistência frente a degradação da performance induzida por calor e umidade é encontrada para combinações de POE/POE, enquanto o pior desempenho foi encontrado para EVA/EVA, possivelmente devido a formação de ácido acético oriundo da hidrólise do EVA, visto que somente a umidade é capaz de reduzir drasticamente a eficiência dos dispositivos.

### Agradecimentos

De maneira sincera ressalta-se os agradecimentos à BYD Energy do Brasil e ao Ministério de Ciência, Tecnologia e Inovação que garantiu a execução das atividades associadas a este trabalho por meio do “Programa de Apoio ao Desenvolvimento a Indústria de Semicondutores - PADIS”.

### REFERÊNCIAS

- Adothu, B., Costa, F. R., Mallick, A. 2021. Damp heat resilient thermoplastic polyolefin encapsulant for photovoltaic module encapsulation. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, v.224. DOI: 10.1016/j.solmat.2021.111024.
- Adothu, B., Costa, F. R., Mallick, A. 2022. UV resilient thermoplastic polyolefin encapsulant for photovoltaic module encapsulation. *Polymer Degradation and Stability*, v. 201. DOI: 10.1016/j.polymdegradstab.2022.109972.
- Anand, N., Kale, P. 2021. Optimization of TOPCon Structured Solar Cell Using AFORS-HET. *Transactions on Electrical and Electronic Materials* volume 22, pages 160–166. DOI: doi.org/10.1007/s42341-020-00220-0.
- Blakers, A.W., Wang, A., Milne A.M., Zhao, J., Green, M.A., 1989. 22.8 % Efficient Silicon Solar Cell, *Applied Physics Letter*, p. 1363, v. 55.
- Beaucarne, G., Dupont, A., Puthenmadom, D., Shephard, N., Sample, T. 2021. Material study of photovoltaic modules with silicone encapsulation after long-term outdoor exposure. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, v. 230. DOI: 10.1016/j.solmat.2021.111298.
- Chen, Y., Chen, D., Liu, C., Wang, Z., Zou, Y., He, Y., Wang, Y., Yuan, L *et al* 2019. Mass production of industrial tunnel oxide passivated contacts (i-TOPCon) silicon solar cells with average efficiency over 23% and modules over 345 W. DOI: doi.org/10.1002/pip.3180.
- Crestani, T. Porto Alegre. 2021. 215p. Tese (Doutorado em Engenharia e Tecnologia de Materiais). Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Tecnologia de Materiais, Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, Brasil.

- Ghosh, D., Bose, S., Das, G., Acharyya, S., Nandi, A., Mukhopadhyay, S., Sengupta, A. 2022. Fundamentals, present status and future perspective of TOPCon solar cells: A comprehensive review, *Surfaces and Interfaces*, v. 30. DOI: 10.1016/j.surfin.2022.101917.
- Green, M. A., 2015. The passivated emitter and rear cell (PERC): From conception to mass production, *Solar Energy Materials and Solar Cells*. p. 190-197, v.143.
- ITRPV – International Technology Roadmap for Photovoltaic – 14 Edition, April 2023. Disponível em: <https://www.vdma.org/international-technology-roadmap-photovoltaic>.
- Meena, R., Kumar, S., Gupta, R. 2020. Comparative investigation and analysis of delaminated and discolored encapsulant degradation in crystalline silicon photovoltaic modules, *Solar Energy*, p. 114-122, v. 203, DOI: 10.1016/j.solener.2020.04.041.
- Sen, C., Wang, H., Wu, X., Khan, M. U., Chan, C., Abbott, M., & Hoex, B. (2023). Four failure modes in silicon heterojunction glass-backsheet modules. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, p. 112358, v. 257.
- Yurrita, N., Aizpurua, J., Cambarau, W., Imbuluzqueta, G., Hernández, J. M., Cano, F. J., Zubillaga, O. 2021. Photovoltaic modules encapsulated in composite material modified with ultraviolet additives, *Solar Energy Materials and Solar Cells*, v. 230. DOI: 10.1016/j.solmat.2021.111250.
- Iqbal, N., Li, M., Sakthivel, T. S., Mikeska, K., Lu, M., Nandakumar, N., ... & Davis, K. O. 2023. Impact of acetic acid exposure on metal contact degradation of different crystalline silicon solar cell technologies. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, p. 112089, v. 250.

### **EFFECT OF DIFFERENT ENCAPSULATION CONFIGURATIONS OF PHOTOVOLTAIC CELLS IN MINI SOLAR MODULES IN FACE OF DEGRADATION IN MOIST HEAT**

**Abstract.** *This work evaluated the performance of different encapsulation combinations used in different photovoltaic solar cell technologies, PERC and TOPCon, p-type and n-type respectively, against output power degradation induced by heat and humidity. The devices were built using half-cell architecture and glass/backsheet topology. The encapsulation configurations were based on the association of EVA, POE and EPE encapsulants. The degradation test was carried out in a thermal conditioning chamber at 85 °C and 85% relative humidity for 1000 h. The results showed a maximum reduction of 16.72% and 6.08% in performance caused mainly by the formation of acetic acid and moisture entry for the TOPCon and PERC technology cells respectively – evidenced by the electroluminescence images. The lowest power reduction rate was found for the POE/POE configurations, which 13.97% and 4.79% for samples built with TOPCon and PERC cells, respectively.*

**Keywords:** *photovoltaic modules, n-type TOPCon, encapsulating materials.*