cbecimat26
26° Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais
22 a 26 de novembro de 2026
Costão do Santinho
Florianópolis-SC

Estudo da técnica de reparo de defeitos vítreos em módulos fotovoltaicos

Suylan L.A. Dantas[1]; Fabio E. F. Silva[2]; Kelly C. G. Silva[3], José F. S. Neto[4].
Universidade Federal da Paraíba

Introdução

Nas últimas décadas, o aumento da demanda por eletricidade tem impulsionado o uso de módulos fotovoltaicos como alternativa sustentável e economicamente viável. Apesar do crescimento, persistem desafios ligados à produção, manutenção e descarte desses equipamentos. Embora a vida útil média seja de cerca de 25 anos, falhas podem ocorrer antes, principalmente no vidro protetor das células, que sofre com rachaduras, fissuras e delaminação. Esses defeitos reduzem a eficiência de conversão, aceleram a degradação e muitas vezes levam ao descarte prematuro. Enquanto grande parte dos esforços atuais se concentra em reciclagem e reutilização de materiais, ainda há lacunas em técnicas de reparo direto do vidro. A transmitância do vidro, por sua vez, desempenha papel crucial no desempenho dos módulos, já que influencia a absorção, transmissão e reirradiação, variando conforme os materiais e taxas de cobertura utilizadas.

Objetivos

Este estudo teve por objetivo investigar um método experimental para o reparo de vidro em módulos fotovoltaicos, avaliando a eficácia de uma técnica baseada no preenchimento de defeitos no vidro com uma resina de reparo de para-brisas e analisando os efeitos ópticos e superficiais nas amostras de vidro após o reparo.

Metodologia

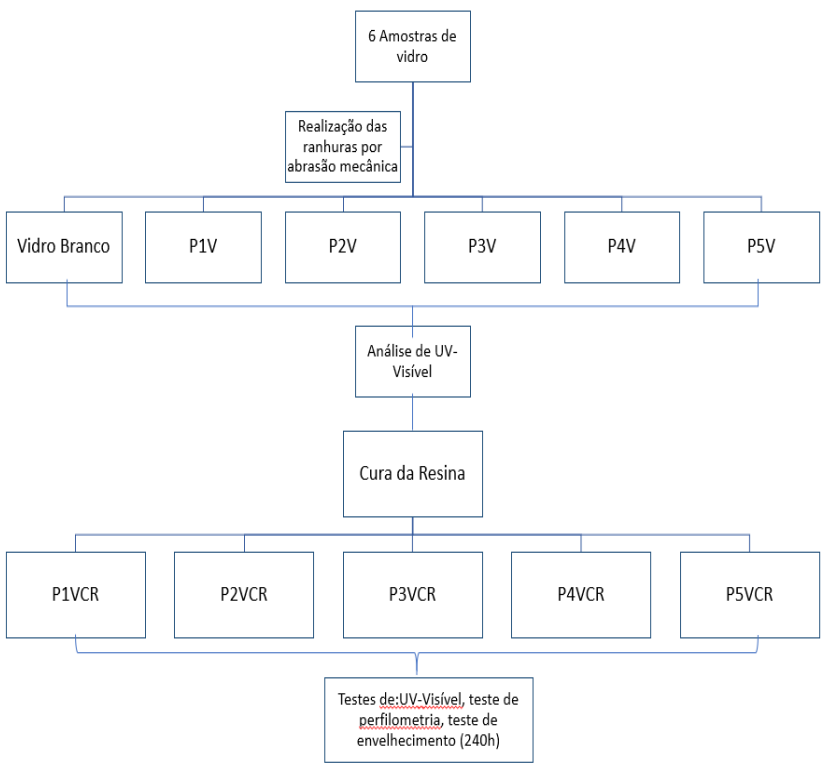


Figura 1: Fluxograma das etapas da pesquisa.

Resultados e Discussão

Perfilometria

As imagens de perfilometria mostraram que a rugosidade tridimensional (Sa) das amostras (Fig. 2) aumentou conforme cresceu a abrasão causada pelo lixamento, resultado esperado do processo. Essas observações são consistentes com os resultados apresentados na Figura 3, incluindo os valores médios e os desvios padrão, sugerindo boa concordância entre as análises qualitativa e quantitativa. O tratamento com resina foi planejado para preencher os sulcos superficiais sem alterar as propriedades ópticas. Nas amostras revestidas, houve uma leve redução da rugosidade (Sa = 46,3 nm para P1V CR e Sa = 37,8 nm para P5V CR), resultado esperado pela ação da resina em suavizar parcialmente os sulcos do lixamento abrasivo.

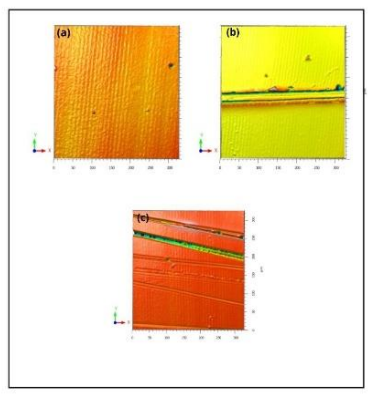


Figura 2 : Imagens da análise de perfilometria: (a) Amostra de vidro branco; (b) Amostra P1V; (c) Amostra P5V.

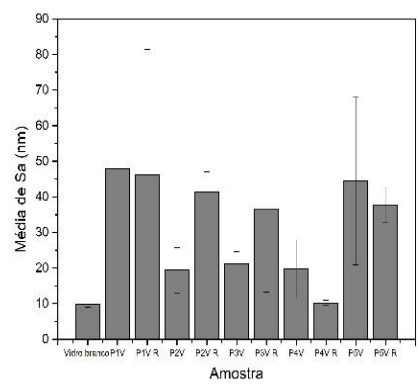


Figura 3 :Resultados da média e do desvio padrão de Sa obtidos a partir de análises de perfilometria.

Testes de envelhecimento

A análise de espectroscopia UV-Vis após o envelhecimento mostrou que a transmitância das amostras permaneceu estável durante 240 horas de exposição, indicando que a resina mantém suas propriedades e não compromete o desempenho óptico do vidro. Os valores de transmitância hemisférica total foram calculados a partir dos dados de transmitância obtidos por meio da espectroscopia UV-Vis, combinados com os resultados do cálculo integral (Çengel, 2012) e dados climáticos da cidade de João Pessoa PB fornecidos pela PVlighthouse (pvlighthouse, 2025). Todos os valores de transmitância hemisférica total são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1: Resultados de transmitância hemisférica total para as amostras sem resina (P1VSR), amostras com resina (P1VCR) e amostras com resina após envelhecimento (P1VCRPE).

Amostra	Transmitância Hemisférica total (%)	Amostra	Transmitância Hemisférica total (%)	Amostra	Transmitância Hemisférica total (%)
Vidro Branco	86,17%	-	-	-	-
P1V S R	87,79%	P1V C R	85,58%	P1V C R PE	85,62%
P2V S R	86,04%	P2V C R	86,05%	P2V C R PE	85,51%
P3V S R	82,22%	P3V C R	85,79%	P3V C R PE	85,36%
P4V S R	85,88%	P4V C R	83,37%	P4V C R PE	85,52%
P5V S R	84,32%	P5V C R	86,05%	P5V C R PE	85,23%

Conclusões

Este estudo investigou o método de reparo vítreo em módulos fotovoltaicos, inspirado em procedimentos utilizados na indústria automotiva. Os resultados indicam que, após o processo de reparo, a recomposição estrutural das amostras foi alcançada, como evidenciado pela inspeção visual que confirmou a uniformidade. De acordo com as análises UV-Vis das amostras de resina antes e depois do período de envelhecimento, os resultados de transmitância não mostraram alterações significativas, demonstrando que a resina utilizada não altera as propriedades ópticas do vidro e, portanto, pode auxiliar no reparo de módulos fotovoltaicos. Os resultados experimentais indicam que a técnica de reparo estudada demonstra viabilidade técnica como uma potencial alternativa à substituição prematura de módulos fotovoltaicos danificados, contribuindo para o prolongamento da vida útil e a redução da geração de resíduos no setor. Além disso, os resultados são consistentes com as iniciativas de economia circular e sustentabilidade, consideradas fundamentais para o fortalecimento da energia solar tanto no Brasil quanto no mundo.

Referências e Agradecimentos

DATSIU, K. C.; HALL, D.; OVEREND, M. Repair of soda–lime–silica glass. Glass Structures & Engineering, v. 3, p. 125–137, 2018.
NOVUS. Windshield edge cavity repair method. Comunicação pessoal com Gento van der Sanden, 1991.
PV LIGHTHOUSE. Disponível em: <https://www.pvlighthouse.com.au>. Acesso em: 19 nov. 2025.

Os autores agradecem à FAPESQ pelo apoio e reconhecem com gratidão o financiamento da FAPESQ, processo nº 51/2024, e do Acordo de Aceitação de Projeto no Brasil nº 238/2025.