

ANÁLISE DA DEGRADAÇÃO INDUZIDA POR POTENCIAL (PID) E SNAIL TRAILS EM MÓDULOS FOTOVOLTAICOS: UMA BREVE REVISÃO

Vitor Manoel de Souza Pereira¹, Ana Tereza de Abreu Lima², Geovane Lima de Andrade³

¹Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA), Caraúbas- RN, Brasil,
vitor.pereira54490@alunos.ufersa.edu.br

²Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA), Caraúbas- RN, Brasil,
Ana@ufersa.edu.br

³Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA), Caraúbas- RN, Brasil,
geovane.andrade@alunos.ufersa.edu.br

Resumo: A energia solar é viável no Brasil devido à alta incidência solar e reservas de quartzo de alta qualidade, essenciais para a fabricação de células solares eficientes. No entanto, problemas recorrentes comprometem a eficiência destes sistemas. Este estudo de revisão bibliográfica analisou dois fatores de perda de eficiência: PID e snail trails. O objetivo é minimizar os impactos e melhorar a qualidade dos módulos. A análise mostrou que o PID pode causar perdas de até 28% e Snail trails até 27%.

Palavras-chave: Energia solar; Placas solares; Qualidade; Perdas de eficiência, Curva IV.

INTRODUÇÃO

No século XX, a forma de organização da sociedade brasileira foi fortemente influenciada pelo processo de industrialização, em consequência disto, houve um grande progresso no que diz respeito ao desenvolvimento econômico-social do país, principalmente, na melhoria da qualidade de vida da população brasileira, no aumento da produção diversificada de bens materiais e na geração de empregos ocasionada pela especialização dos trabalhadores nas linhas de produção.

Logo, diante do marco histórico supracitado até o momento atual, é imprescindível destacar a importância da eletricidade como instrumento propulsor da evolução do sistema industrial e tecnológico do país. Por conseguinte, nota-se que nas últimas décadas houve um aumento exponencial do consumo de energia elétrica, este por sua vez, é causado pela utilização em grande escala da energia elétrica nos diferentes setores que compõe a infraestrutura do país, em especial, pode-se destacar a grande dependência do setor da saúde pública e privada.

Apesar disto, nos últimos anos observa-se no cenário energético mundial um crescimento gradual na geração de energia elétrica por meio do uso de fontes renováveis, em virtude destas possuírem reservas, praticamente, ilimitadas e contribuirão para a diminuição do elevado impacto ambiental causado a

natureza, sendo exemplos de energias renováveis: a energia solar, eólica, geotérmica, maremotriz e hidrelétrica

De acordo com o BEN¹ (2021), o Brasil apresenta uma matriz energética diversificada, sendo cerca de 15,2% proveniente de fontes não renováveis, advinda do gás natural (8,3%), carvão mineral e derivados (3,1 %), nuclear (2,2%) e derivados de petróleo (1,6%). Mas também, possui por volta de 84,8% oriunda de fontes renováveis obtida por meio da hidráulica (65,2%), biomassa (9,1%), eólica (8,8%) e solar (1,66%).

Ademais, conforme a EPE² (2012, p. 1), o Brasil possui um alto nível de insolação solar e também uma enorme quantidade de reservas de quartzo de alta qualidade, tais fatores são considerados uma grande vantagem para a produção do silício com alto grau de pureza, consequentemente, a fabricação de células fotovoltaicas e placas solares com alto valor agregado. Sendo assim, tais condições são responsáveis por potencializar a atração de novos investidores e desenvolver o mercado interno energético brasileiro.

Neste Contexto, a energia solar se apresenta como uma promissora opção para geração de energia elétrica visto que esta pode ser instalada em diversos locais com exposição à radiação solar. Por outro lado, ainda há uma grande preocupação em escala mundial quanto a fabricação de módulos fotovoltaicos, pois, nota-se que parte destes apresentam uma baixa qualidade,

¹ BEN (Balanço Energético Nacional).

² EPE (Empresa de Pesquisa Energética)

principalmente no que se refere a produção energética, ao serem utilizados a longo prazo.

É possível observar que os maiores locais de geração de energia elétrica estão distantes dos grandes centros urbanos, como é o caso da região sudeste que é responsável por consumir em torno de 50,25% da energia produzida no país. Em virtude disto, as usinas de energia solar e eólica são vistas como boas alternativas sustentáveis para atender a demanda energética das áreas urbanas, pois estas podem ser exploradas em diferentes regiões do Brasil tendo um menor prejuízo possível ao meio ambiente (PINHEIRO; GIRELI, 2022).

Na figura 1 representada abaixo, pode-se perceber que entre 2012 a dezembro de 2022 a energia solar fotovoltaica mostrou uma evolução exponencial no Brasil, tanto na geração centralizada, quanto na geração distribuída. Ademais, esse aumento da produção energética, está associado a redução dos custos de instalação dos sistemas fotovoltaicos, o aumento dos incentivos do governo e de empresas privadas por meio de pesquisas científicas e a demanda pelo uso de fontes energéticas limpas, mas também devido a melhoria da eficiência e confiabilidade das placas solares.

Evolução da Fonte Solar Fotovoltaica no Brasil

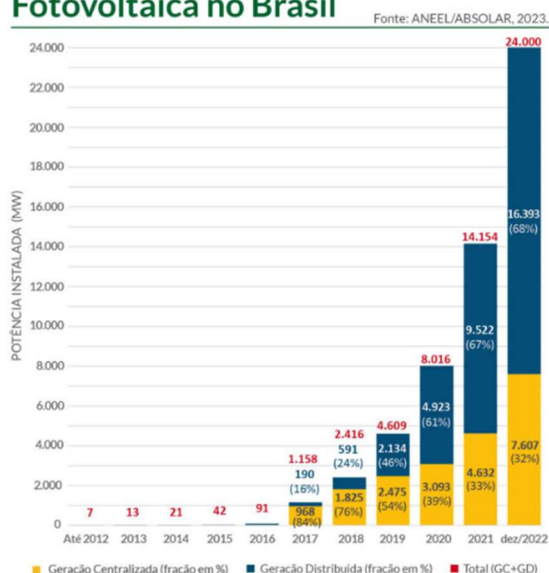


Figura 1- Desenvolvimento da energia solar no Brasil (Adaptado de ABSOLAR, 2022).

Além disto, é válido salientar que a energia solar vem apresentando uma ampla perspectiva de aplicações na indústria, agropecuária, nos comércios e residências, visto que na maior parte da sua extensão territorial o país possui características geográficas, climáticas e facilidade para a instalação de sistemas fotovoltaicos, sem que haja prejuízo ambiental (VIAN et al., 2021).

MATERIAL E MÉTODOS

Este estudo foi baseado em uma pesquisa explicativa de caráter bibliográfico, especificamente, feita a partir de livros didáticos, artigos científicos, teses e sites. Inicialmente, foi desenvolvido uma análise preliminar acerca do tema da pesquisa, sendo mapeadas informações relacionadas a temática abordada. Em seguida, foi realizada uma coleta de dados minuciosa quanto aos fatores de perdas estipulados, organizando-se informações e dados da literatura dos últimos anos. Por fim, o material coletado foi utilizado para a escrita do trabalho, isto é, na caracterização dos fatores de perdas de eficiência e também o levantamento de soluções para a minimização, consequentemente, levando-se em consideração a melhoria do rendimento dos sistemas fotovoltaico na fabricação, instalação e manutenção.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na atualidade, é observado um aumento gradual na utilização de sistemas fotovoltaicos de pequeno e grande porte, tal crescimento associa-se aos benefícios positivos de curto e longo prazo que tais sistemas proporcionam ao setor energético de uma dada localização e aos seus custos de implantação menores, quando comparados aos demais sistemas energéticos existentes.

Em contrapartida, pode ser constatado que tais sistemas fotovoltaicos apresentam diversificados problemas recorrentes durante a sua utilização, sendo a maioria destes problemas ainda desconhecidos pelos proprietários dos sistemas fotovoltaicos e profissionais da área. Ademais, é preciso destacar que estes efeitos das perdas de eficiência de módulos fotovoltaicos estão em sua grande maioria intimamente relacionados ao uso de materiais e métodos de construção de baixa qualidade, por parte das indústrias fabricantes.

Conforme Montgomery (2017, p. 6), é possível afirmar que a gestão da qualidade é um conjunto de atividades que estão presentes nos processos produtivos que visam operar, gerenciar e inspecionar as características da qualidade em níveis nominais ou exigidos, mas também minimizar a variabilidade existente em torno destes níveis que está associada a diferença dos materiais, no desempenho, na operação dos equipamentos e outros fatores condicionantes.

Em meio a isto, pode ser notado que a gestão da qualidade de módulos fotovoltaicos torna-se cada vez mais importante, visto que a indústria fotovoltaica está se desenvolvendo de forma contínua. Assim, é necessário que haja uma otimização dos módulos quanto a durabilidade, desempenho, confiabilidade, custos e outros fatores. Todavia, é necessário enfatizar que a melhoria da qualidade somente é possível por

meio da análise dos fatores condicionantes das perdas de eficiência existentes nas placas solares, visto que mediante a análise é possível otimizar o processo produtivo.

Logo, neste trabalho são analisados dois fatores que ocasionam a degradação e as perdas de eficiência em placas solares, sendo estes: *Potential-Induced Degradation* (PID) e *Snails Trails*. Além do mais, por meio da análise do diagrama 1 representado abaixo, é perceptível que tais problemas de perdas estão diretamente associados a fabricação, o transporte, a instalação e manutenção das placas solares.

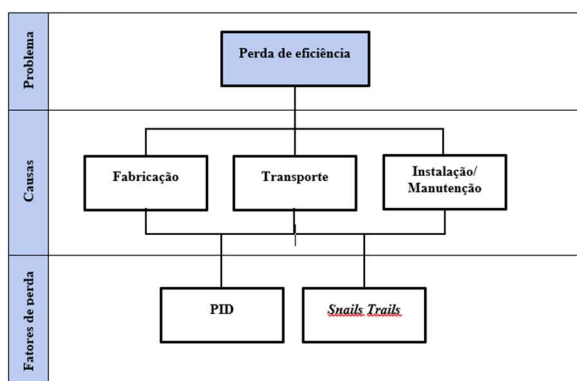


Figura 2- Representação dos fatores e suas causas. (Autoria própria, 2021).

Degradação Induzida por Potencial (PID)

O PID (Potential-Induced Degradation) é definido como sendo a degradação induzida por potencial, este fenômeno é responsável por ocasionar o desgaste e a perda de eficiência em células fotovoltaicas, consequentemente, é capaz de contribuir para a redução da potência dos sistemas fotovoltaicos. Ainda assim, pode ser perceptível que tal efeito ocorre devido à alta tensão que certos módulos fotovoltaicos são expostos durante a produção de energia elétrica e esta por sua vez é capaz de originar as correntes de fuga entre as partes constituintes do sistema.

Segundo Pingel et al. (2010), a manifestação do efeito PID nos módulos fotovoltaicos pode ser observado por meio da utilização do *flash tester* e *electroluminescence camera* (EL). O primeiro é considerado uma análise de laboratório para verificar as características elétricas específicas dos módulos fotovoltaicos, nesta avaliação é usado o padrão internacional IEC 61215 e assim, é gerado uma curva corrente-tensão (curva IV) com as respectivas particularidades do módulo. Já o segundo é considerado uma inspeção que ocorre em uma placa solar, ou seja, é realizado uma averiguação por meio de uma câmera de eletroluminescência visando observar a presença do PID nas células fotovoltaicas e também a sua evolução durante a exposição de uma

tensão fixa (V) e tempo variável (t), sendo visto um exemplo desta inspeção na figura 3.

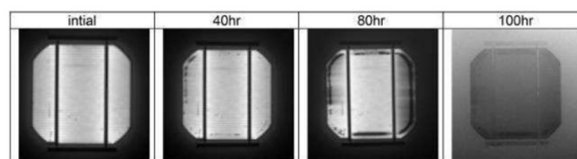


Figura 3- Inspeção do PID da célula solar (Adaptado de PINGEL et al., 2010).

Na figura 3 acima, é visto o surgimento do efeito PID em uma dada célula solar, inicialmente a célula apresenta um aspecto de luz branca uniforme, isto significa que a mesma neste momento possui uma eficiência máxima e ainda não está afetada pelo PID durante a exposição a tensão fixa. Nos momentos seguintes, pode-se notar que a célula começa a apresentar sinais de manchas pretas, estas por sua vez são os primeiros indícios do surgimento do efeito PID e consequentemente a diminuição da eficiência da célula. A partir disto, é possível realizar testes comparativos para a analisar a estabilidade e desempenho da placa solar, mas também para buscar-se compreender quais parâmetros podem contribuir para a manifestação de tal efeito.

O PID é observado em nível da célula, módulo e sistema, tal efeito pode afetar a eficiência em diferentes graus de atuação. Nos últimos anos, em meios aos experimentos desenvolvidos por cientistas, pode-se notar que os principais fatores que ocasionam o agravamento da manifestação do PID estão relacionados as condições ambientais (umidade e temperatura), condições elétricas (exposição a alta tensão), a qualidade das placas e células solares (materiais e métodos de fabricação).

Conforme Nagel, Metez e Wangemann (2011), é possível destacar alguns casos específicos que podem ocasionar o aparecimento e a distribuição do PID sobre os sistemas fotovoltaicos:

Nível de célula: pode-se perceber que a qualidade do material da célula é um fator condicionante do PID, visto que existem células que variam a qualidade do silício e as concentrações de defeitos que estão presentes em sua estrutura, ainda assim é preciso considerar a forma como o revestimento antirreflexo é colocado sobre a célula, isto é, as diferentes técnicas de deposição.

Nível de módulo: é perceptível que o tipo de material encapsulante (principalmente o EVA) apresenta uma larga influência para aparição do efeito, assim há alguns materiais que possuem uma maior condutividade quando estão interagindo com a umidade e temperatura. Outro fator que pode condicionar este efeito é o vidro utilizado no módulo, isto é, as propriedades específicas do vidro escolhido para a cobertura das partes constituintes podem

apresentar uma influência significativa quanto a interação com as condições externas do meio.

Nível de sistema: é notado que a falta de uma ligação eficiente da diferença de potencial entre a célula e a terra (aterramento) pode contribuir de forma significativa para o surgimento do PID, visto que as correntes de fuga poderão percorrer pelo sistema.

Na figura 4, é mostrada a influência que o material encapsulante pode ter para o surgimento do efeito PID, para tal foi realizado alguns experimentos com variadas combinações de materiais, isto é, foram feitas suposições de combinações considerando variados materiais encapsulantes (propriedades distintas), células solares resistentes e propensas ao PID.

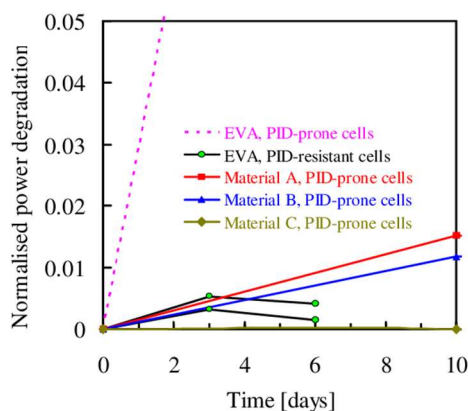


Figura 4- Análise do PID em materiais encapsulantes (NAGEL; METEZ; WANGEMANN, 2011)

Já na figura 5, observa-se a curva IV obtida por meio da avaliação de um módulo fotovoltaico exposto ao PID. Para tal foi usado um traçador de curva IV 400 HT instruments (1000V e 15A). Em meio a este teste, pode-se notar os efeitos nocivos que o PID ocasiona na eficiência dos módulos comparando-se as curvas IV do módulo com PID e a sua curva referência, é estimado que haja uma perda de até 28% na potência dos módulos que possuem o PID (MUEHLEISEN et al., 2018).

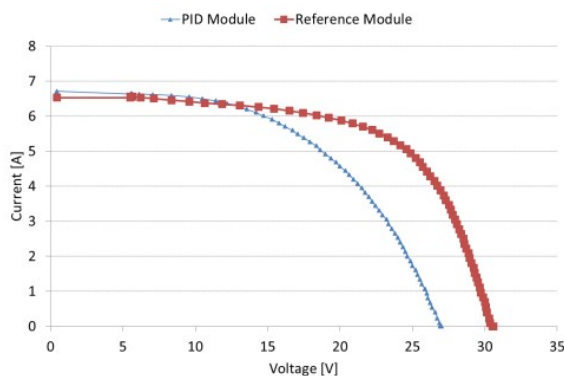


Figura 5- Análise da curva IV em um módulo com PID (MUEHLEISEN et al., 2018).

Ainda assim, por meio da análise realizada na figura 4 é possível observar que o tipo de material encapsulante usado na construção de módulos fotovoltaicos pode influenciar de forma considerável quando se leva em consideração o efeito PID, ou seja, é um fator que contribui para a diminuição da eficiência dos módulos. Em síntese, os resultados obtidos nas figuras 4 e 5 podem ser explicados por meio da influência das propriedades intrínsecas que cada material apresenta e também como estas interagem quanto as variações do meio externo, especificamente, as condições ambientais.

Todavia, é preciso enfatizar que como fora explicado por Nagel, Metez e Wangemann (2011), ao se analisar o surgimento do efeito PID é necessário levar em conta um conjunto de fatores em nível de célula, módulo e sistema que podem condicionar a manifestação, bem como as suas consequências, mas também é necessário buscar alternativas viáveis que possam minimizar a degradação ocasionada pelo PID.

Segundo Luo et al. (2017) e Naumann et al. (2013), em meio a distintas experiências práticas foram desenvolvidas algumas medidas preventivas para minimizar os efeitos negativos decorrentes do PID sobre os sistemas fotovoltaicos, tais soluções práticas são apresentadas abaixo em diferentes níveis e resumidas na tabela 1:

Nível de célula: neste caso, é considerado como solução a modificação da folha emissora (Si), ou seja, deve-se buscar utilizar o método de deposição de silício mais adequado a configuração da célula solar desejada (modificação das propriedades), tendo como ênfase o aumento da condutividade e resistência ao PID da célula. Outra solução, seria a modificação do revestimento antirreflexo de Si das células solares.

especificamente, a inserção de uma fina camada de material dielétrico resultando no aumento da eficiência e durabilidade das células.

Nível de módulo: é recomendado a escolha de um vidro de cobertura com material adequado ao módulo, para tal é necessário avaliar as propriedades do vidro escolhido, mas também levar em conta o custo e a resistividade volumétrica, um exemplo é o vidro de aluminossilicato quimicamente resistente. Outra solução, seria a escolha de um material de encapsulação com boa estabilidade térmica, estabilidade contra a degradação UV, proteção elétrica para o módulo, resistência a umidade e temperatura, isto é, a escolha de um encapsulante com propriedades específicas condizentes com o módulo, como exemplo têm-se os materiais encapsulantes de poliolefina, ionômeros e silicone que vem sendo bastante utilizado na substituição do EVA.

Nível de sistema: no caso dos sistemas que utilizam inversores é sugerido a utilização de um aterramento

adequado, sendo uma alternativa viável devido a sua eficácia e o baixo custo. Já a segunda solução está associada a regeneração do sistema a partir do uso de um dispositivo elétrico externo (*pv offset box*) capaz de fornecer um potencial positivo, especificamente, a aplicação de uma tensão reversa entre os módulos e a terra durante a noite. A terceira solução, é a utilização de micro inversores nos módulos FV, visto que tais dispositivos são capazes de eliminar a perda de potência ocasionada pelo PID, e tem como consequência, otimizar a tensão máxima do sistema.

Nível	Solução preventiva para PID
Célula	Modificação do emissor de Si.
	Modificação do revestimento antirreflexo Si.
Módulo	Escolha de um vidro de cobertura com material adequado.
	Seleção de um material de encapsulação apropriado.
Sistema	Ligação adequada do aterramento de um sistema FV.
	Aplicação de uma tensão positiva sobre o sistema e a terra durante a noite.
	Utilização de micro inversores no sistema.

Tabela 1- Soluções para PID (Autoria própria, 2021).

Snail Trails (Trilhas de caracol)

Os *Snail Trails* (trilhas de caracol), por sua vez, são considerados deformações que ocorrem nos módulos fotovoltaicos. Podem ser observados entre o conjunto de células interligadas e o material encapsulante utilizado na placa solar. Ainda assim, considera-se que tal manifestação apresenta, em grande parte dos casos, um formato não uniforme e semelhante aos caminhos que são deixados por caracóis, mas também pode ser observado a partir do formato de pequenas linhas escuras dispersas ou descolorações parciais que estão presentes nas células solares.

Conforme Filho, Diniz e Duarte (2020) e Filho et al. (2022), é perceptível que existem inúmeras causas que condicionam o surgimento dos *snail trails*. Nos últimos anos, em meios aos estudos experimentais desenvolvidos, considera-se que a causa mais comumente encontrada seja a oxidação da superfície das células fotovoltaicas, esta surge por meio da formação de nanopartículas de prata que aparecem devido difusão e interação da umidade juntamente com a temperatura no material encapsulante (influências das propriedades químicas), ou seja, é ocasionado pela interação das substâncias do

encapsulante com as células. Ainda assim, considera-se os seguintes fatores como condicionantes de tal fenômeno:

- A influência de impressões digitais (dedos) nas interconexões das células, estas são geradas durante o processo produtivo das placas;
- A Interação da umidade com as microfissuras das células;
- A taxa de transmissão de oxigênio e penetração no encapsulante;
- O espaçamento existente entre as células;
- Os arranhões presentes na estrutura (backsheet ou vidro frontal).

As trilhas de caracol podem ser observadas usando-se diferentes técnicas de avaliação, dentre os métodos analíticos utilizados estão os testes de inspeção visual, a análise de máxima potência, microscopia eletrônica de varredura (MEV), espectrometria dispersiva de energia (EDS) e o teste de eletroluminescência (EL). Na figura 6, é mostrado o teste de eletroluminescência, no qual a placa solar é colocada numa sala escura juntamente com uma fonte de alimentação DC, após isto é identificado e visualizado os *snail trails* sobre as células solares.

De acordo com Dolara et al. (2016), é possível afirmar que as trilhas de caracol apresentam consequências significativas quanto a eficiência de módulos fotovoltaicos. Em meio a isto, foram realizados diferentes experimentos para a compreensão do comportamento de *Snail Trails*, nestes foram utilizados 31 módulos fotovoltaicos com potência nominal (P_n) de 220W e 230W. Sendo, na figura 7 representado a curva IV levando-se em conta a análise da potência de pico (P_{mp}) de duas placas com P_n de 220W, uma com pouquíssimas trilhas (#8) e outra com variadas trilhas (#18), como consequência de tal análise pode ser notado que há materiais constituintes das placas que são propensos ao surgimento do efeito, podendo-se contribuir na redução de cerca de 9% a 27% da potência nominal dos módulos.

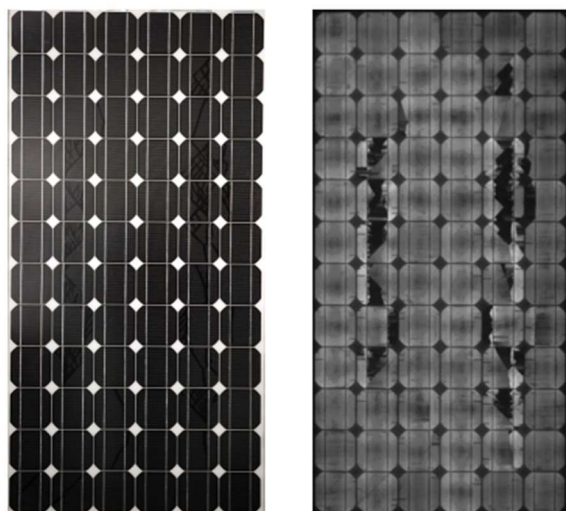


Figura 6- Teste de eletroluminescência de snail trails (KÖNTGES; BOTHE, 2008).

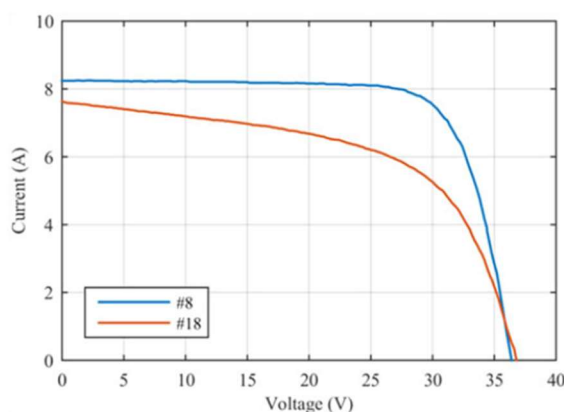


Figura 7- Análise da curva IV em Snail Trails (DOLARA et al., 2016)

Ainda por meio da observação da figura 6, pode ser notado que a quantidade e a forma como as trilhas de caracol estão distribuídas contribuem para a perda de eficiência, mas também podem afetar as propriedades químicas dos materiais, a confiabilidade e durabilidade das placas solares. Além disso, é necessário enfatizar que as *snail trails* geralmente apresentam como característica uma propagação lenta que ocorre nos primeiros meses após a instalação e também possuem uma pequena diferença de temperatura em relação as regiões da sua vizinhança, podendo juntamente com outros fatores contribuir para o surgimento dos *hot spots* (pontos quentes).

Tendo em vista que este fenômeno de perda de energia em módulos começou a ser estudado apenas em 2004, poucas soluções práticas são conhecidas, principalmente devido à dificuldade da compreensão ainda que há acerca desta manifestação. Logo, são descritas abaixo algumas soluções que são capazes de

suprimir ou minimizar tais efeitos e resumidas na tabela 2:

Escolha dos materiais dos módulos fotovoltaicos: recomenda-se que durante a escolha dos materiais a serem utilizados em sistemas fotovoltaicos (material encapsulante, vidro, backsheet, e células solares) haja uma atenção maior por parte dos profissionais especializados quanto a análise das propriedades químicas, assim devem sempre ser buscado materiais que apresentem um controle de qualidade rígido comprovado por testes, visto que há materiais que são propensos ao surgimento de *snail trails*.

Manuseio dos módulos: é indicado que se tenha uma grande atenção quanto ao manuseio das placas, principalmente durante o transporte, instalação e manutenção, visto que quaisquer tipos de movimento ou apoio de objetos pode provocar a ação de uma tensão, além de contribuir para o surgimento de microfissuras, e, conseqüentemente o aparecimento de trilhas de caracol.

Manutenção periódica: é aconselhado que haja uma inspeção periódica das placas solares, estas manutenções devem ser realizadas por uma equipe especializada, sendo em alguns casos necessário fazer reparos pequenos ou grandes nos módulos, mas também uma limpeza das partes constituintes ou até mudanças dos locais nos quais as placas estão instaladas, de modo a evitar que os *snail trails* venham a surgir devido as condições ambientais da instalação (umidade, temperatura, vapor de água e gases atmosféricos).

Soluções alternativas para *Snail Trails*

Realizar a escolha de materiais para os módulos de forma analítica.

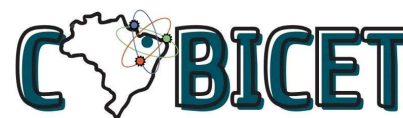
Deve ser tomado cuidado no manuseio dos módulos, visando evitar qualquer impacto.

Efetuar manutenções periódicas das placas solares.

Tabela 2- Soluções alternativas para *Snail Trails* (Autoria própria, 2021).

CONCLUSÃO

Este trabalho apresentou uma abordagem analítica na qual foram estudados dois fatores de perda que contribuem de forma significativa para a diminuição da potência produzida pelos sistemas fotovoltaicos. Para isso, foi levado em consideração a compreensão dos fatores avaliados, as principais causas, a análise da curva IV e por último foram levantadas algumas soluções alternativas que possibilitam a minimização de tais efeitos. Com o estudo desenvolvido pode ser observado a influência das condições ambientais e a



qualidade das placas como sendo os principais causadores destes problemas analisados.

Tendo em vista isto, é recomendado que as indústrias responsáveis pelo processo produtivo de módulos fotovoltaicos, instalem uma gestão da qualidade mais eficiente, na qual sejam realizadas uma maior quantidade de testes em condições específicas com as amostras de placas solares, para que seja possível constatar a qualidade e segurança do equipamento, mas também minimizar os possíveis defeitos que venham a surgir durante o seu uso, priorizando assim um controle rígido de qualidade.

É necessário também que haja um maior investimento na realização de estudos científicos que sejam capazes de contribuir para a redução de tais perdas de eficiência, por meio da utilização de materiais, processos de construção e controle de qualidade rígido. No estudo realizado, notou-se que alguns destes problemas podem ser solucionados a partir da escolha dos materiais e na compreensão de suas propriedades específicas, ressaltando assim a importância de estudar os materiais utilizados, bem como o método construtivo.

Por outro lado, os usuários dos módulos fotovoltaicos devem observar não apenas o custo de curto prazo, mas a qualidade e eficiência que os sistemas apresentam a longo prazo, especificamente, deve ser levado em conta a qualidade de cada material escolhido para o sistema. Ademais, é necessário também enfatizar a importância das manutenções periódicas nos módulos, tendo como objetivo uma inspeção técnica e caso necessário a realização de alguns reparos, sendo estas medidas capazes de otimizar o desempenho do sistema, bem como prevenir o surgimento dos dois fatores de perda que foram estudados durante este trabalho.

AGRADECIMENTOS

Esse trabalho foi fruto de uma pesquisa de Trabalho de Conclusão de Curso. Sendo assim, agradeço imensamente aos que contribuíram de forma significativa para que ele fosse realizado. Pego-me sempre a pensar ao que outrora afirmou Fernando Pessoa “Tudo vale a pena, quando a alma não é pequena”.

REFERÊNCIAS

Associação Brasileira de Energia Solar (ABSOLAR). **Energia Solar Fotovoltaico no Brasil- Infográfico ABSOLAR**. Disponível em: <<https://www.absolar.org.br/mercado/infografico/>>. Acesso em: 08 de fev. 2022.

DOLARA, Alberto et al. **Snail Trails and cell microcrack impact on PV module maximum power**

and energy production. IEEE Journal of Photovoltaics, 2016. 8 p.

Empresa de Pesquisa Energética (org.). **Relatório Final do Balanço Energético Nacional 2021**. Rio de Janeiro: EPE, 2020. Disponível em: <<https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/balanco-energetico-nacional-ben>>. Acesso em: 08 de fev. 2022.

Empresa de Pesquisa Energética (EPE). **Análise da Inserção da Geração Solar na Matriz Elétrica Brasileira**. Rio de Janeiro, 2012. 64 p.

FILHO, N. M.; DINIZ, A. S. A. C.; DUARTE, T. P. **Estudo das causas de Snail Trails em módulos fotovoltaicos de silício cristalino: revisão**. VIII Congresso Brasileiro de energia solar, Fortaleza, 2020. 10 p.

FILHO, Neolmar De M. et al. **Snail trails on PV modules in Brazil's tropical climate: Detection, chemical Properties, bubble formation, and performance effects**. Sustainable Energy Technologies and Assessments, v. 54, 2022.

KÖNTGES, M; BOTHE, K. **Elektrolumineszenzmessung na PV-modulen**. Ep Photovoltaik aktuell 7/8, 2008, p. 36-40.

LUO, Wei et al. **Potential-induced degradation in photovoltaic modules: a critical review**. Energy & Environmental Science, 2017, 43-68.

MONTGOMERY, D. C. **Introdução ao controle estatístico da qualidade**. 7 ed. Rio de Janeiro: LTC, 2017.

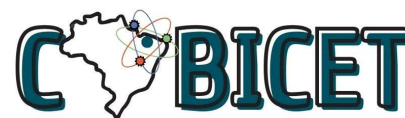
MUEHLEISEN, Wolfgang et al. **Scientific and economic comparison of outdoor characterisation methods for photovoltaic power plants**. Renewable Energy, 2018. v. 134. 18 p

NAGEL, H.; METEZ, A; WANGEMANN, K. **Crystalline Si solar cells and modules featuring excellent stability against potential-induced degradation**. Proceedings of the 26th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, 2011, 7 p.

NAUMANN, V. et al. **Microstructural Analysis of Crystal Defects Leading to Potential-Induced Degradation (PID) of Si Solar Cells**. Energy Procedia, v. 33, p. 76–83, 1 jan. 2013.

PINGEL, Sebastian et al. **Potential Induced Degradation of solar cells and panels**. Conference 35th Record of the IEEE Photovoltaic Specialists, 2010. 9 p.

PINHEIRO, G. F.; GIRELI, T. Z. **Cidades, políticas públicas e perspectivas para 2050 com uma nova**



abordagem sobre a matriz elétrica. Revista Concilium, p. 1060 - 1076, 2022.

VIAN, Ângelo et al. Energia Solar. **Energia solar fundamentos e aplicações.** 1. ed. São Paulo: Editora Blucher, 2021. v. 1.