

INFLUÊNCIA DA POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA SOBRE O DESEMPENHO DE MÓDULOS FOTOVOLTAICOS EM VITÓRIA, ES

INFLUENCE OF AIR POLLUTION ON THE PERFORMANCE OF PHOTOVOLTAIC MODULES IN VITÓRIA, ES

BRUNA TONINI*

DENISE COLLY SPALENZA*

ERIKA ACHA EMMERICK*

GABRIELA PASSAMANI MOREIRA DE ALMEIDA*

IGOR DE MORAIS GOMES*

JUANNA LAZZARI*

ROBERTA SOUSA MENEQUINI*

VINÍCIUS FRACALOSSO CITY*

GABRIELA PEDROSA MOREAU**

LUANA LUBE TESCH**

THIAGO SILVA DE SOUZA**

MAXSUEL MARCOS ROCHA PEREIRA***

WARLEY TEIXEIRA GUIMARÃES****

ISSUE DOI: 10.5008/1809.7367.062

RESUMO

Este trabalho teve o objetivo de avaliar a influência da poluição atmosférica sobre o desempenho dos geradores fotovoltaicos em Vitória, ES, através da intensidade da corrente elétrica de curto circuito e da tensão de circuito aberto. Foram instalados oito geradores, divididos em dois grupos de quatro geradores. O primeiro grupo ficou exposto ao acúmulo da poluição atmosférica; o segundo grupo passou por uma limpeza superficial diária. Os resultados indicaram que a poluição atmosférica em Vitória reduz significativamente a tensão de circuito aberto dos painéis fotovoltaicos para todos os horários do dia. Para a corrente de curto circuito, os resultados também apresentaram uma redução significativa provocada pela poluição atmosférica, exceto para o horário das 13h30min, sugerindo-se, portanto, uma prorrogação do tempo de execução do trabalho, visando verificar a casualidade da situação.

* Graduandos em Engenharia Ambiental (FAESA).

** Graduandos em Engenharia Civil (FAESA).

*** Engenheiro Mecânico pela Universidade Federal do Espírito Santo. Mestre em Engenharia Ambiental pela Universidade Federal do Espírito Santo. Doutor em Meteorologia pela Universidade de São Paulo. Professor do Curso de Engenharia Ambiental (FAESA).

**** Engenheiro Agrícola pela Universidade Federal de Viçosa. Mestre em Engenharia Agrícola pela Universidade Federal de Viçosa. Professor dos Cursos de Engenharia Ambiental e Engenharia Civil (FAESA).

Palavras-chave: Energia Solar. Material Particulado. Painéis Fotovoltaicos.

ABSTRACT

This study aimed to evaluate the influence of air pollution on the performance of photovoltaic generators in Vitória, ES, through the intensity of electric current short-circuit and open-circuit voltage. Eight generators were set up, divided into two groups of four generators. The first group was exposed to an accumulation of air pollution, the second group underwent a daily cleaning surface. The results indicated that air pollution in Vitória significantly reduces the open circuit voltage of photovoltaic panels for all times of the day. For the short circuit current, the results also showed a significant reduction caused by air pollution, except for the time of 13:30, suggesting therefore an extension of the time of execution of work in order to verify the causality of this situation.

Keywords: Dust Deposition. Photovoltaic Modules. Solar Energy.

A energia solar fotovoltaica tem apresentado grande crescimento nos últimos anos, principalmente em sistemas conectados à rede (REN21, 2010). Os geradores fotovoltaicos são produzidos em diversos formatos e tamanhos (CHIVELET; SOLLA, 2010) e os novos sistemas de tarifação (PAGLIARO *et al.*, 2010) têm contribuído para maior utilização da energia fotovoltaica em prédios residenciais e comerciais. Este tipo de utilização é visto como um grande mercado global para a expansão da tecnologia e tem se tornado o foco de muitas pesquisas (DOS SANTOS, 2012).

Com a realização da Rio+20, conferência da Organização das Nações Unidas sobre desenvolvimento sustentável, no Rio de Janeiro, em junho de 2012, o Brasil reforça que convive, cada vez mais de perto, com desafios e oportunidades típicos de uma economia em transição e à procura de um modelo de sustentabilidade. País tropical que há pouco tempo ignorava o potencial da energia solar, o Brasil já possui regiões com viabilidade econômica para explorar a tecnologia fotovoltaica.

O ganho de competitividade da energia solar ocorre no momento em que a Agência Nacional de Energia Elétrica, ANEEL, estimula a geração de eletricidade em casas, prédios e empresas, através da Resolução 482, publicada em 17/04/12, que estabelece regras para a instalação de pequenas centrais geradoras, com até 1,0 MW de potência instalada, e para a permuta de energia com a concessionária distribuidora local (ANEEL, 2012).

No Estado do Espírito Santo, o governo começou a incentivar a tecnologia fotovoltaica em residências, propondo a implantação de um bairro solar no município da Serra, com o objetivo de gerar energia elétrica para consumo dos moradores e, também, para inserção no sistema nacional de energia. Entretanto, o desempenho dos equipamentos instalados na região da Grande Vitória poderá ser reduzido, em virtude da ação da poluição atmosférica no sombreamento dos geradores fotovoltaicos, pois quando conectadas em série, as células de um gerador fotovoltaico estão sujeitas ao efeito do sombreamento, impedindo a passagem de corrente elétrica das outras células, o que também ocorre no caso de geradores ligados em série.

Diante do exposto, este trabalho teve como objetivo avaliar a influência da poluição atmosférica sobre o desempenho dos geradores fotovoltaicos em Vitória, ES, através da intensidade da corrente elétrica de curto circuito e da tensão de circuito aberto.

O FUNCIONAMENTO DO GERADOR FOTOVOLTAICO

O Sol é a maior fonte de energia disponível para a Terra e transfere luz e calor através de radiação eletromagnética. De toda a energia emitida pelo Sol, apenas $1,0 \times 10^{18}$ kWh/ano chega ao nosso planeta, em decorrência da elevada distância percorrida pela radiação (PEREIRA; OLIVEIRA, 2011).

Por muito tempo a humanidade buscou o aproveitamento da energia solar, mas somente a partir da década de 1980 foram alcançados níveis de eficiência satisfatórios na conversão para eletricidade. Os maiores avanços na tecnologia ocorreram com a utilização do silício policristalino, que possui a relação custo/eficiência suficiente para a expansão da indústria fotovoltaica e conseqüente penetração no mercado de geração de energia (EPIA, 2011).

O dispositivo fotovoltaico elementar é a célula fotovoltaica de silício, que permite a conversão direta da energia luminosa em energia elétrica, com base nas propriedades dos materiais semicondutores. A célula é constituída por duas camadas de silício, que são dopadas quimicamente com o objetivo de se criar uma diferença de potencial elétrico. Ao captarem a energia solar, os elétrons periféricos saltam a barreira do potencial, criando uma corrente contínua.

Isoladamente, as células fotovoltaicas produzem pouca energia. Por isso, para a produção de energia elétrica em larga escala, as células são ligadas em série e em paralelo, permitindo obter uma tensão maior e uma capacidade de corrente elétrica maior. Os geradores fotovoltaicos são constituídos de células ligadas em série e estão disponíveis no mercado em potências que variam até algumas centenas de Watts. Os maiores fabricantes de geradores fotovoltaicos estão localizados na Alemanha, China, Japão e Estados Unidos (SCARPA, 2009).

Por sua vez, os geradores também podem ser ligados em série e em paralelo, dependendo das características desejadas para a tensão e corrente elétrica. Na associação em série, a tensão do arranjo é a soma das tensões individuais dos geradores e a corrente elétrica é a mesma para todos os geradores. Na associação em paralelo, a tensão do arranjo é a mesma em todos os geradores, enquanto a corrente elétrica é a soma das correntes produzidas por cada gerador fotovoltaico.

A associação de células em série, assim como o arranjo de geradores fotovoltaicos em série, tem como desvantagem o efeito do mau funcionamento e/ou do sombreamento de uma célula ou gerador sobre os demais, afetando a produção de energia elétrica de todo o sistema. Uma célula sombreada ou em más condições ficará submetida a uma tensão inversa igual à soma das tensões das demais células do circuito. Em conseqüência, dissipará a potência gerada pelas outras células, podendo provocar uma elevação da temperatura e sofrer danos irreversíveis (PEREIRA, 2012). O fenômeno é conhecido pela formação de pontos quentes ou *“hot spot”*.

Para prevenir a ocorrência dos pontos quentes nos geradores, são empregados diodos de *by-pass* ligados em paralelo com as células. Os diodos evitam o aparecimento de tensões inversas elevadas e oferecem um percurso alternativo para o fluxo da corrente elétrica. Entretanto, na prática, a utilização de um diodo por célula pode elevar consideravelmente o preço de um gerador. Assim, estes devem ser ligados a grupos de células dentro de cada gerador (GAZOLI, 2011).

Além da instalação dos diodos, é importante limpar periodicamente os painéis fotovoltaicos, especialmente daqueles instalados em regiões com alta incidência de poluição do ar. O material particulado depositado sobre o painel, formando uma camada homogênea, influencia a transmissão da luz às células fotovoltaicas e pode diminuir o seu desempenho na produção de energia elétrica em até 5% (PEREIRA, 2012).

O sombreamento causado pela poluição atmosférica pode, em muitos casos, ser reduzido pela chuva, mas também existem chuvas que depositam impurezas sobre a cobertura de vidro dos geradores. Em regiões de pluviosidade média ou alta, a água da chuva pode ser suficiente para manter o gerador com limpeza aceitável ao longo do ano. Porém, em regiões de baixa pluviosidade é necessário recorrer a uma limpeza frequente, sobretudo no período do inverno, sob o risco de o sistema fotovoltaico sofrer uma redução significativa na produção de energia elétrica.

METODOLOGIA

O projeto foi implantado nas Faculdades Integradas Espírito-santenses – FAESA, no município de Vitória, ES, com latitude $-20^{\circ}19'$ e longitude $+40^{\circ}19'$. Os oito geradores fotovoltaicos foram instalados sobre suportes metálicos e divididos em dois grupos de quatro geradores. O primeiro grupo foi definido como a base do estudo e ficou exposto ao acúmulo da poluição do ar; o segundo grupo passou por uma limpeza superficial diária, de modo a não permitir o acúmulo da poluição local. A Figura 1 mostra a instalação dos geradores no estacionamento da FAESA.

Figura 1 – Instalação dos geradores fotovoltaicos sobre suportes metálicos



Conforme a orientação do fabricante, os painéis fotovoltaicos foram direcionados para o norte geográfico, com inclinação de 20° em relação ao plano horizontal. Dessa forma, os painéis ficaram disponíveis a receber a radiação solar durante todo o dia.

O trabalho foi desenvolvido ao longo de sessenta dias ininterruptos, com registros diários da corrente de curto circuito e da tensão de circuito aberto de cada um dos geradores fotovoltaicos. Também foram registradas as condições meteorológicas no momento de cada tomada de dados.

Para a limpeza dos geradores, foi utilizada apenas água tratada. Os painéis foram limpos cerca de 60 minutos antes da primeira medição diária, com o objetivo de evitar a interferência da temperatura sobre os parâmetros estudados.

As medições diárias de corrente e tensão foram realizadas através de um multímetro digital, espaçadas em intervalos de 90 minutos, às 9h, 10h30min, 12h, 13h30min e 15h.

A análise estatística dos resultados foi feita por comparação entre os dados emparelhados da corrente elétrica de curto circuito e da tensão de circuito aberto, produzidas por cada grupo de geradores fotovoltaicos, avaliando a diferença entre as quantidades produzidas pelos dois grupos: com acúmulo de poluição atmosférica x com limpeza superficial frequente. Os testes de hipótese foram realizados ao nível de 5% de significância para amostras dependentes.

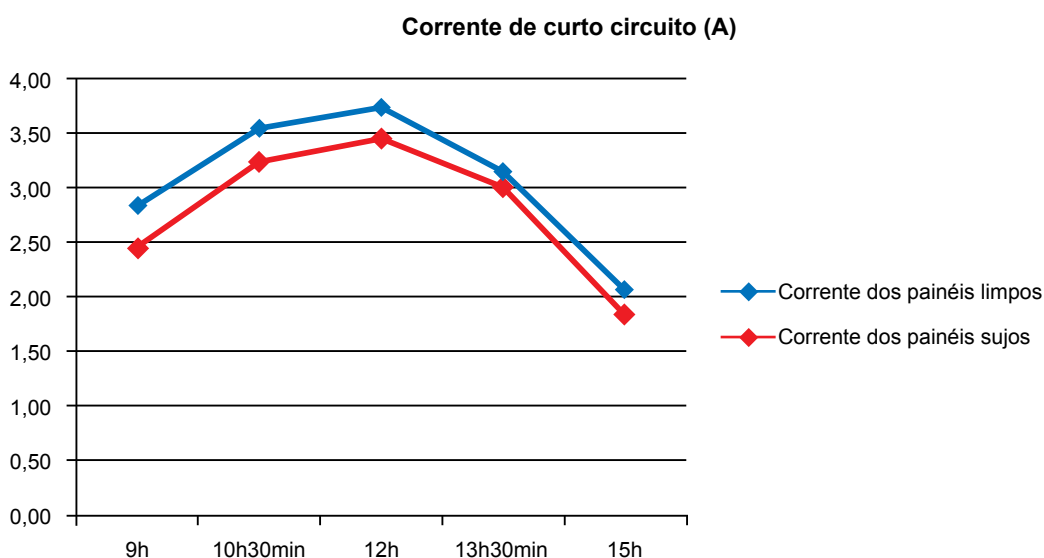
A partir dos resultados obtidos, foram desenvolvidas propostas para solucionar o sombreamento causado pela poluição atmosférica depositada sobre as superfícies dos painéis, avaliando a inclinação com a horizontal e o intervalo máximo de tempo para a limpeza do sistema fotovoltaico.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Ao longo do período em que foram realizadas as medições de corrente e tensão nos geradores fotovoltaicos, as condições meteorológicas apresentaram a predominância do tempo nublado ou parcialmente nublado (69,8% das tomadas de dados), o que reduz a incidência da radiação solar e, conseqüentemente, diminui a produção de corrente elétrica nos geradores fotovoltaicos.

A corrente de curto circuito média de cada grupo de geradores fotovoltaicos pode ser observada na Figura 2, para cada horário estabelecido para a tomada de dados. Observa-se que a maior corrente de curto circuito foi obtida às 12h, como esperado, em virtude do ângulo de incidência dos raios solares.

Figura 2 – Corrente de curto circuito dos geradores fotovoltaicos limpos e sujos

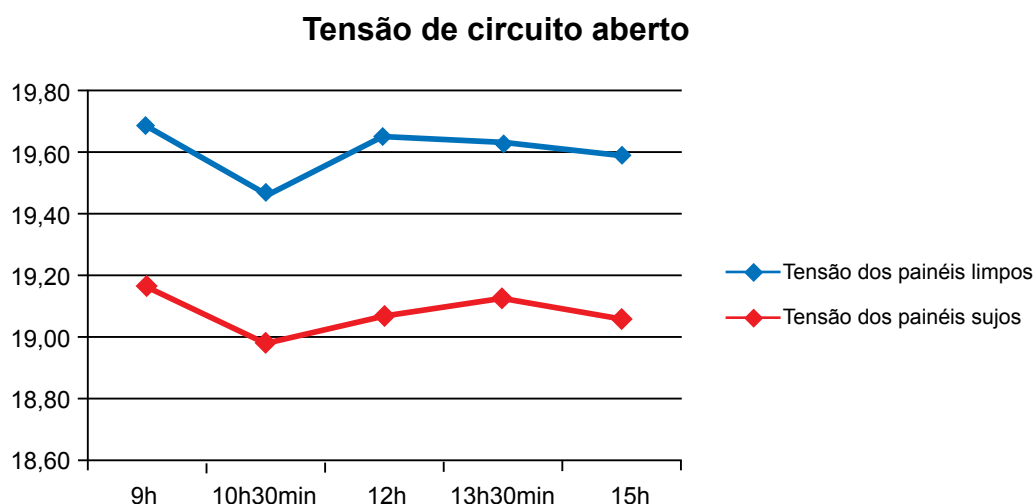


Todas as médias obtidas para os painéis limpos apresentaram valores superiores às médias para os painéis sujos com poluição atmosférica, independentemente do horário da observação. Também podem ser observados maiores valores de corrente elétrica nos geradores no período da manhã, às 9h

e 10h30min, comparativamente aos horários das 13h30min e 15h, o que pode ter ocorrido devido ao maior índice de material particulado em suspensão no ar, acumulado durante o dia, devido à atividade industrial e movimentação de veículos automotores.

A tensão de circuito aberto média dos dois grupos de geradores fotovoltaicos pode ser observada na Figura 3, para cada horário estabelecido para a tomada de dados. Os painéis limpos diariamente apresentaram tensões superiores aos painéis sujos, devido à poluição atmosférica.

Figura 3 – Tensão de circuito aberto dos geradores fotovoltaicos limpos e sujos



Ao nível de 5% de significância, concluiu-se que existe diferença significativa entre as tensões médias de circuito aberto observadas nos painéis limpos e sujos, para todos os horários de medições, ou seja, às 9h, 10h30min, 12h, 13h30min e 15h. Tal fato confirma que há influência da poluição atmosférica na redução da tensão de circuito aberto dos geradores fotovoltaicos durante todo o dia.

Quanto às correntes médias de curto circuito, ao nível de 5% de significância, concluiu-se que elas são significativamente diferentes para os horários de medições de 9h, 10h30min, 12h e 15h. Para o horário das 13h30min, o teste de significância indicou diferença insignificante entre as correntes médias de curto de circuito dos painéis limpos e sujos. Isso não permite confirmar a influência da poluição atmosférica na redução da corrente de circuito aberto dos geradores fotovoltaicos durante todo o dia.

CONCLUSÕES

Com base nos resultados obtidos, é possível afirmar que a poluição atmosférica em Vitória, ES, reduz a tensão de circuito aberto dos geradores fotovoltaicos ao nível de 5% de significância. Porém, para a corrente de curto circuito, a influência da poluição do ar não foi evidenciada no horário das 13h30min, embora para os demais horários, 9h, 10h30min, 12h e 15h, os resultados apontem para uma redução significativa.

Em consequência do exposto, recomenda-se avaliar os parâmetros elétricos dos geradores fotovoltaicos durante um maior período de tempo, assim como expandir o trabalho para a medição das quantidades de energia produzidas.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Coordenação de Pesquisa, Extensão e Cultura da FAESA pelo apoio financeiro.

REFERÊNCIAS

ANEEL. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/biblioteca/remissiva_legi.cfm?valida=99512>. Acesso em: 15 out. 2012.

CHIVELET, N. M.; SOLLA, I. F. **Técnicas de vedação fotovoltaica na arquitetura**. Porto Alegre: Bookman, 2010.

DOS SANTOS, I. P.; RÜTHER, R.; NASCIMENTO, L.; JÚNIOR, L. C. P. Ábacos para análise simplificada de orientação e inclinação de sistemas solares fotovoltaicos integrados a edificações: **Anais, IV Congresso Brasileiro de Energia Solar e V Conferencia Latino-Americana da ISES – ABENS**. São Paulo, 2012.

EPIA. Global market outlook for photovoltaics until 2014. 2010. Disponível em: <http://www.epia.org/fileadmin/EPIA_docs/public/Global_Market_Outlook_for_Photovoltaics_until_2014.pdf>. Acesso em: 10 jul. 2011.

FF SOLAR ENERGIAS RENOVÁVEIS LTDA. Disponível em: <<http://www.ffiolar.com/index.php?lang=PT&page=microproducao>>. Acesso em: 10 dez. 2012.

GAZOLI, J. R. **Microinversor monofásico para sistema solar fotovoltaico conectado à rede elétrica**. Tese de Doutorado. *Universidade Estadual de Campinas – Campinas*, 2011.

PAGLIARO, M.; CIRIMINNA, R.; G. PALMISANO. **BIPV: merging the photovoltaic with the construction industry: progress in photovoltaic**. 2010. *Research and applications*, v. 18, p. 61-72.

PEREIRA, F. **Guia de Manutenção de Instalações Fotovoltaicas**. Porto: Publindústria, 2012.

PEREIRA, F. A. S.; OLIVEIRA, M. A. S. **Curso Técnico Instalador de Energia Solar Fotovoltaica**. Porto: Publindústria, 2011.

REN21. *Renewables 2010 Global Status Report*. Paris, 2010.

SCARPA, V. V. R. **Control of the generated power in photovoltaic systems through the maximum power point locus characterization**. Tese de Doutorado. *Universit' a degli Studi di Padova*. Padova, 2009.

Recebido em Abril 2013

Aceito em Novembro 2013

Correspondência para/Reprint request to:

Warley Teixeira Guimarães

Rua Luiz Fernandes Reis, 252/402 – Praia da Costa, Vila Velha, ES

CEP: 29101-120

Email: warleyteixeira@faesa.br