



ANÁLISE DE EFICIÊNCIA NA GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA FOTOVOLTAICA

Elismar Ramos Barbosa*¹, Raiane Carolina Teixeira de Oliveira¹, Marcio Arvelos Moraes¹

¹UNIPAM – Centro Universitário de Patos de Minas

Resumo - O crescimento da população mundial, associado ao desenvolvimento tecnológico e industrial, conduz a um grande aumento da demanda energética, principalmente para a energia elétrica. Desta maneira, pode-se argumentar que nas próximas décadas, as fontes alternativas de energia elétrica, tais como os sistemas fotovoltaicos, representarão uma porcentagem significativa na matriz energética mundial. Assim cada vez mais, tem-se empregado esforços para criação de novos materiais na fabricação das células fotovoltaicas e na melhoria da forma de instalação, disposição e controle dos painéis, visando o aumento da eficiência. Dessa maneira, o presente trabalho tem como objetivo avaliar a viabilidade técnica e econômica para a implantação de uma cobertura viva acompanhada de um sistema de arrefecimento que consiste na utilização de um filete de água que cairá na superfície das placas fotovoltaicas do Centro Universitário de Patos de Minas (UNIPAM) visando à diminuição da temperatura e consequentemente no aumento da geração de energia elétrica.

Palavras-Chave – Células Fotovoltaicas, Eficiência, Temperatura.

ANALYSIS OF EFFICIENCY IN THE GENERATION OF PHOTOVOLTAIC ELECTRICAL ENERGY

Abstract - The growth of the world population, associated with technological and industrial development, leads to a great increase in energy demand, mainly for electric energy. In this way, it can be argued that in the coming decades, alternative sources of electricity, such as photovoltaic systems, will represent a significant percentage of the world's energy matrix. Increasingly, efforts have been made to create new materials in the manufacture of photovoltaic cells and to improve the way the panels are installed, arranged and controlled, in order to increase efficiency. The objective of this work is to evaluate the technical and economic feasibility for the implantation of a living cover accompanied by a cooling system consisting of the use of a water fillet that will fall on the surface of the photovoltaic plates of the University

*elismar@unipam.edu.br

Center of Patos de Mines (UNIPAM) aiming at the decrease of temperature and consequently in the increase of electric energy generation.

Keywords - Photovoltaic Cells, Efficiency, Temperature.

I. INTRODUÇÃO

O crescimento da população mundial, associado ao desenvolvimento tecnológico e industrial, conduz a um grande aumento da demanda energética. Os principais recursos energéticos utilizados atualmente são oriundos de fontes não renováveis e poderão esgotar em algumas décadas. A disponibilidade de energia não mais corresponde à simples exploração de novas reservas de recursos naturais e sim, de utilizá-la de forma racional e eficiente, combinando fontes renováveis, como eólica e fotovoltaica [1].

Segundo [2] as reservas de combustíveis fósseis de boa qualidade no Brasil poderão esgotar em aproximadamente 22 anos. E o potencial hídrico para produção de energia elétrica, do qual somente 23% são aproveitados, tem sua maior capacidade na região amazônica, onde a inundação de enormes áreas para a construção de reservatórios das hidrelétricas poderia trazer como resultado uma catástrofe ambiental.

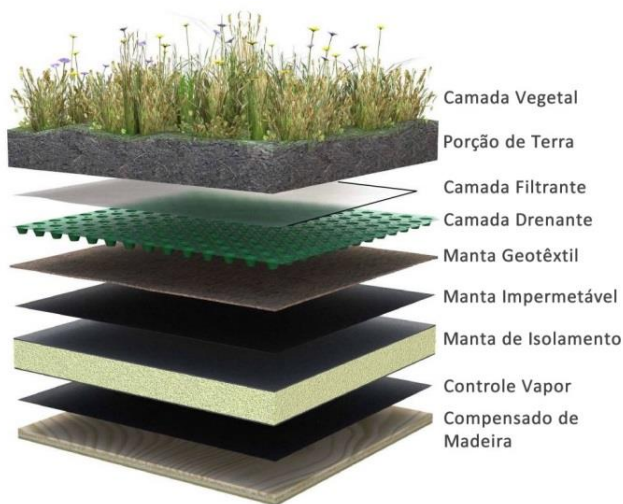
Em busca de novas tecnologias para o uso de energias renováveis, os sistemas fotovoltaicos encontram-se em crescente utilização. Devido isso, tem-se explorado novos materiais como também tem-se desenvolvido pesquisas para buscar o avanço desta tecnologia [3].

A incidência dos raios solares nas placas fotovoltaicas provoca o seu aquecimento, podendo em alguns casos superaquecê-las, levando-as a redução de eficiência. A condutividade dos materiais semicondutores aumenta com a elevação de temperatura, isso inibi a separação de cargas e diminui a tensão produzida pelas células solares, resultando em uma redução de até 25% na produção de energia elétrica [4].

Os telhados verdes, conhecidos também como cobertura viva, foram utilizados pelos povos tradicionais da América Central e pelos povos nórdicos na Europa no século XIX, para criar isolamento térmico nas residências. Esse método, que foi deixado de lado com as inovações tecnológicas, está voltando à tona, com as crescentes preocupações climáticas [5].

Os telhados verdes apresentam membranas para evitar que as águas da chuva penetrem no telhado, também utiliza-se uma camada de drenagem que aproveitam a água das chuvas para serem usadas pelas próprias plantas e por fim uma camada de terra que pode variar sua espessura e uma camada de plantas. Normalmente a vegetação é composta por plantas resistentes à falta de água e que não necessitam podar, para diminuir a manutenção [6]. Na Figura 1 ilustra a composição de um telhado verde.

Figura 1: Corte esquemático de um telhado verde.



Fonte: [6].

Telhados verdes e sistemas de geração de energia solar fotovoltaica são tecnologias que podem contribuir para diminuir o efeito estufa e a economia na conta de energia elétrica. Dessa maneira, o presente trabalho tem como objetivo avaliar a viabilidade técnica e econômica para a implantação de uma cobertura viva acompanhada de um sistema de arrefecimento que consiste na utilização de um filete de água que cairá na superfície das placas fotovoltaicas do Centro Universitário de Patos de Minas (UNIPAM) visando à diminuição da temperatura e consequentemente no aumento da geração de energia elétrica.

II. REFERENCIAL TEÓRICO

Nesta seção serão mostrados os principais temas relevantes para entendimento deste trabalho.

A. Energia Fotovoltaica

A degradação dos módulos fotovoltaicos está relacionada a reações químicas e/ou mecanismos físicos (quebras e fissuras adquiridas na instalação ou manutenção dos módulos) ocasionando perdas graduais de suas principais características elétricas. Entre os vários tipos de degradações identificados, destacam-se os danos ao material encapsulante, as células de silício, que podem reduzir da vida útil do módulo fotovoltaico. Uma das possíveis causas para esse problema são as altas temperaturas que o módulo pode ser submetido quando exposto ao sol, ocasionando a redução da capacidade de absorção da irradiação solar, resultando em

uma redução da geração de energia elétrica [7]. As degradações identificadas nos módulos fotovoltaicos poderão impactar negativamente seu desempenho em longo prazo, fazendo com que a redução anual na geração de energia elétrica supere os 0,8% garantidos pelo fabricante [8].

Com o passar dos anos, os custos dos módulos fotovoltaicos estão menores e sua eficiência maior, porém, a participação deste sistema nas matrizes energéticas ainda é pequena. De acordo com o [9] o emprego dos painéis fotovoltaicos tem ganhado expressivo destaque, devido, ao elevado nível de radiação solar média existente em nosso país e a facilidade de instalação e manutenção deste sistema quando comparado com eólico.

A energia produzida pelos módulos fotovoltaicos depende da irradiação e a temperatura do local. Segundo [10] desenvolveu um sistema utilizando redes neurais capaz de atuar como um seguimento da máxima potência (MPPT), que resolve o problema de sombreamento parcial de módulos em série. O sistema consistia em aplicar, a duas células em série, irradiações diferentes e observar o comportamento da máxima potência alcançado. O autor concluiu que Redes Neurais Artificiais é uma boa opção para utilização em sistemas fotovoltaicos, se destacando em velocidade e no seguimento do máximo absoluto, os métodos clássicos podem ficar presos a um ponto máximo local em que a potência é menor devido a um sombreamento do sistema.

B. Telhado Verde

Os telhados verdes foi uma técnica utilizada pelos Zigurates da antiga Mesopotâmia, correspondendo atualmente à região do Sul do Iraque e na Babilônia devido a isolamento térmica proporcionada. Os Jardins Suspensos da Babilônia estavam localizados no lado leste do Eufrates, num antigo bairro da cidade, entre as margens do rio e os palácios reais [11]. Em seguida os telhados verdes foram difundidos no Império Romano onde árvores eram cultivadas na cobertura dos edifícios. No período renascentista, também foi utilizada essa técnica na Itália e na Índia entre os séculos XVI e XVII [12].

Em 1960 na Alemanha, desenvolveram-se estudos sobre telhados verdes, que comprovaram os benefícios ambientais, econômicos e sociais dessa tecnologia. Essa técnica consiste na aplicação de vegetação em qualquer tipo de edificação que suporte o peso da cobertura, que seja impermeabilizado e que possua sistema de drenagem. Além disso, os telhados verdes reduzem os gastos com energia elétrica, melhoram o conforto térmico e reduzem gastos com ar condicionado [13].

Em suma, além das vantagens ambientais como a purificação do ar urbano, através da fotossíntese e da absorção de poluentes, a implantação da vegetação na cobertura reduz significativamente a necessidade de climatização dos ambientes especialmente no verão, reduzindo a temperatura em até 3°C [13].

III. ESTUDO DE CASO

O sistema fotovoltaico utilizado encontra-se instalado na Cidade de Patos de Minas, mais especificamente no Centro Universitário de Patos de Minas (UNIPAM). “O município está localizado na região do Triângulo Mineiro e Auto Paraíba, com 18° 34’ 44” latitude Sul, 46° 31’ 05” longitude

Oeste e apresenta uma altitude de 832 metros. Para a realização do experimento utilizou-se as placas tipo polocrystalino, fabricante Kyocera, modelo KT 50, tensão padrão 17,11 volts, corrente máxima 3,11 Ampere e potência de 56 Watts, como mostra as especificações técnicas disponibilizadas pelo fabricante apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1: Especificações técnicas do módulo fotovoltaico KC50T da KYOCERA

CARACTERÍSTICA	ESPECIFICAÇÃO TÉCNICA
Máxima Potência	54 Watts
Tolerância	+15% / -5%
Voltagem de Máxima Potência	17.4 Volts
Corrente de Máxima Potência	3.11 Amps
Voltagem de Circuito Aberto	21.7 Volts
Corrente de Curto Circuito	3.31 Amps
Peso	5.0 Kg
Temperatura nominal de operação da célula	47 °C
Icc Coeficiente de temperatura da corrente	$[1.33 \times 10^{-3}] A/^{\circ}C$
Vca Coeficiente de temperatura da tensão	$[-8.21 \times 10^{-2}] A/^{\circ}C$

Fonte: [14].

Após a realização do levantamento bibliográfico relacionado e geração fotovoltaica, bem como, à técnica de telhado verde empregada para promover isolamento térmico em edificações, realizou-se a montagem dos três experimentos propostos na introdução desse trabalho, sendo eles: placas instaladas em estruturas e/ou telhados comuns (Placa I), placa arrefecida por água (Placa II) e placa sobre telhado verde (Placa III).

No primeiro experimento realizou-se medições na Placa I como pode ser observado na figura 2. Assim é possível possuir uma comparação entre os outros experimentos. E verificar se realmente é necessário o resfriamento das placas fotovoltaicas.

Figura 2: Placas em estruturas no telhado comum.



O segundo experimento utilizou-se o bombeamento de água sobre a placa, onde a cada 5 minutos a bomba d'água é ligada permanecendo nesse estado por 2 minutos até que o recipiente fique cheio. O projeto possui tubulações de cano PVC para o reaproveitamento da água. Assim a placa ficará

em uma temperatura ideal para sua produção. O experimento pode ser observado na figura 3.

Figura 3: Placa arrefecida por água.



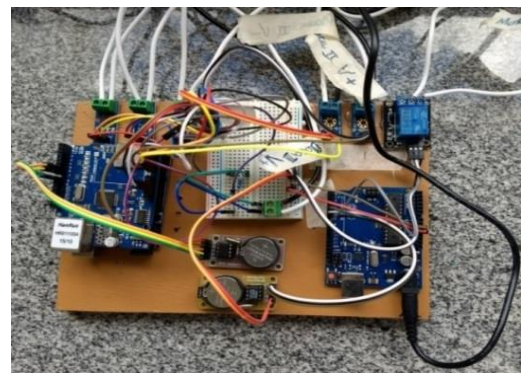
Para o experimento do jardim verde, construiu-se um suporte de madeira para sustentar as placas sobre o jardim. Os painéis fotovoltaicos foram instalados a uma altura 70 cm do solo, como pode ser observado na figura 4.

Figura 4: Placa sobre telhado verde.



A coleta de dados foi realizada através de um microcontrolador (Arduino) de plataforma open-source de prototipagem eletrônica com hardware e software livre. Os dados foram gravados nos intervalos de cinco minutos e armazenados em um cartão de memória micro SD como mostra a Figura 5.

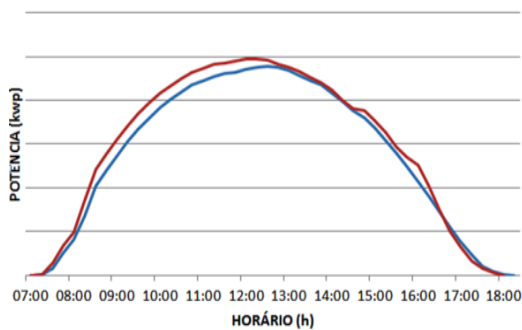
Figura 5: Coleta de dados (microcontrolador).



IV. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Uma usina solar, com tecnologia fotovoltaica, necessita de irradiação solar para entrar em operação. Como as placas é diretamente conectada à uma carga o objetivo é produzir o máximo de energia no período em que houver irradiação disponível. De acordo os dados obtidos através de análise da geração de energia durante todo ano de 2016 e 2017, foi possível obter a curva característica de geração por horas do dia, o regime de produção diário dos meses em estudo é previsto de acordo com o formato de curva potência (kWp) por horário (horas) como indicado na Figura 6. A curva em vermelho indica a potência gerada por horas dia, em 2017. E a curva em azul indica a potência gerada por horas dia, em 2016, nos horários de 07:00 às 18:00 horas.

Figura 6: Curva da potência gerada na microusina em kWp pela hora do dia.



Analisado o comportamento da produção de energia por horas do dia, pode-se concluir que a potência gerada em kWp apresenta um índice maior de produção entre 10:00 e 14:00 horas. Durante esse período a irradiação solar é maior e consequentemente a temperatura aumenta, diminuindo a eficiência na geração. Após a confirmação da geração por horas do dia, iniciou-se a coleta de dados nos três sistemas.

Com o objetivo de obter um parâmetro de comparação e de certificar se as placas tem desempenho parecido realizou-se a montagem de todas sobre o concreto. Com isso, a geração total de energia foi de 448,20 Wh, sendo, 157,89 Wh na placa I, 156,31 Wh na placa II e 157,68 Wh na placa III. A Figura 7 e 8 apresenta a comparação da geração de energia entre as três placas, antes da montagem do experimento.

Figura 7: Geração total de Energia por placa antes da montagem do experimento.

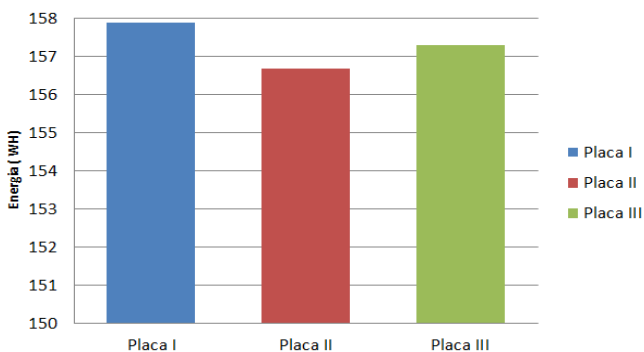
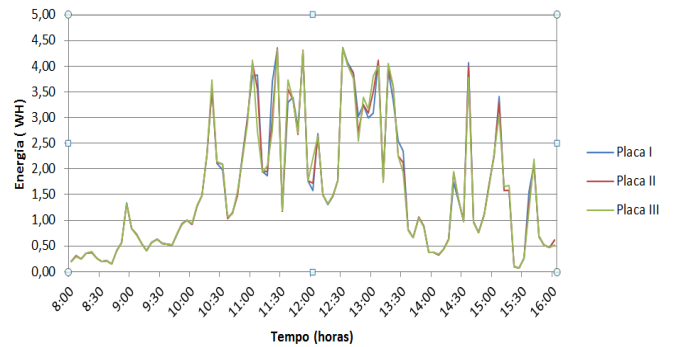


Figura 8: Geração de Energia por horas do dia antes da montagem do experimento.



Analisando os dados obtidos através da Figura 7 e 8, observa-se que a geração de energia nas três placas são aproximadamente a mesma.

Após a validação da eficiência das placas, iniciou-se as medições dos três sistemas que resultaram na geração de total de energia de 502,7 Wh, sendo, 156,21Wh na placa I instalada sobre o telhada de concreto, 172,68 Wh na placa II instalada sobre o jardim e 173,81 Wh na placa III instalada junto ao sistema de arrefecimento. A Figura 9 e 10 apresenta a comparação da geração de energia elétrica nas placas fotovoltaicas.

Figura 9: Geração total de Energia por placa depois da montagem do experimento.

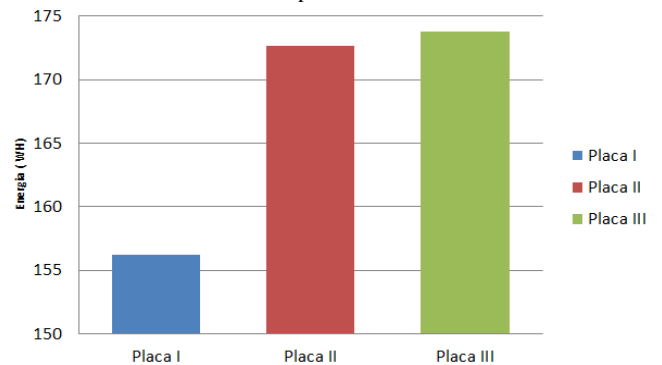
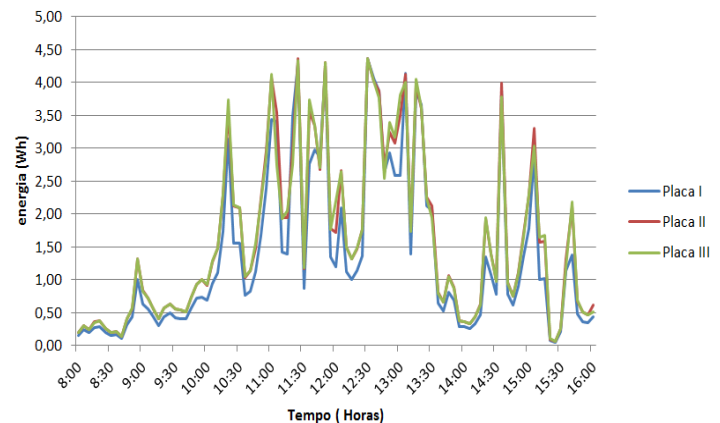


Figura 20: Comparação da geração de energia entre as três placas por horas do dia.



Verificou-se, que os dados obtidos na placa II implementada no telhado verde, e na placa III onde foram implementados sistemas de arrefecimento a produção de energia elétrica aumentou em aproximadamente 9,8% se comparada com a placa instalada sobre o telhado de concreto.

V. CONCLUSÕES

Ao considerar a produção de energia elétrica através do efeito fotovoltaico, constata-se que ela depende diretamente à irradiação solar e inversamente temperatura ambiente, como foi possível constatar através dos resultados apresentado na seção anterior. Com isso, é possível afirmar que ao empregar meios de arrefecimento nas placas, a geração de energia elétrica aumenta, tornando-as mais eficientes. Assim, pode-se dizer que para um determinado sistema já instalado, que necessita de expansão para maior geração, pode-se utilizar um sistema de arrefecimento para suprir parte dessa demanda, ou até mesmo reduzir a quantidade de placas necessárias para uma instalação nova.

REFERÊNCIAS

- [1] KNIJNIK, R. *Energia e meio ambiente em Porto Alegre: bases para o desenvolvimento*.
- [2] ELETROBRÁS. *Relatório Anual Centrais Elétricas Brasileiras*. Disponível em: <http://elektrobras.com/pt/SobreElektrobras/Relatorio_Anuat_Sustentabilidade/2000/Relatório_Anuat_2000.pdf>.
- [3] DAZCAL R. G.; Mello Júnior A. G. *Estudo da Implementação de um Sistema De Energia Solar Fotovoltaica em um edifício da Universidade Presbiteriana Mackenzie*. Disponível em: <<http://www.abenge.org.br/CobengeAnteriores/2008/artigos/3355.pdf>>.
- [4] CHAN - HUI. *Integration of green roof and solar photovoltaic systems*. Paper submitted to Joint Symposium 2011: Integrated Building Design in the New Era of Sustainability. Kowloon Shangri-La Hotel, Hong Kong. 2004.
- [5] BISSOLI; Guilherme, Pereira De Mello, Mário David Pinheiro, C.; Maurício Sanches, Alberti, Ricardo Dantas Gadelha, D. F. F. *Estudo Da Implantação De Um Telhado Verde Na Faculdade De Engenharia Mecânica*. Revista Ciências do Ambiente On-Line, v. 6, n. 1, 2010.
- [6] LARA, Luiz Carlos. *Como construir um telhado verde*. Conheça todos os detalhes. Portal 44 arquitetura, 2017. Disponível em: <http://44arquitetura.com.br/2017/09/telha-do-verde-como-construir/>. Acesso em: 19 mar. 2019.
- [7] NDIHAVE, A; Charki A; Kobi, A; Kèbè, C; Ndiave P; Sambou, V. *Degradations of Silicon Photovoltaic Modules*. In: A Literature Review. Solar Energy 96. p. 140–151.
- [8] SILVA, A.M; Tsukamoto, D.B; Souza, A.C; Melo, F.C; Freitas, L. . *Análise de degradação em módulos fotovoltaicos e os impactos no desempenho do sistema*, 2016.
- [9] GOMES; Hiury S. Daniel H. R. Delfino; Eric A. Cantarutti; Luís A. D. Freitas; Tulio P. Quaresma; Yasmin J. S. Cruz. *Análise Do Potencial Parcial De Geração De Energia Solar Fotovoltaica De Um Campus Universitário*. XIV CEEL - Conferência de Estudos em Engenharia Elétrica, Uberlândia, 2016.
- [10] THALES, L. O. L. R. C. S. A. C. De S. G. C. G. K. Y. *Análise de Desempenho De Sistemas Fotovoltaicos Com Diferentes Ângulos De Inclinação E Azimute Localizados Em Palmas-To*. XIV CEEL - Conferência de Estudos em Engenharia Elétrica, Uberlândia Conferência de Estudos em Engenharia Elétrica, Uberlândia, 2016.
- [11] DISCOVERY, C. *As Sete Maravilhas da Antiguidade*. 2011.
- [12] ARAÚJO, S. R. *As funções dos telhados verdes no meio urbano, na gestão e no planejamento de recursos hídricos*. Soropédica - RJ, p. 5, 2007.
- [13] EDUARDO, Zarzur Alberto; Fabrício, Mofarrej Recchia; Sergio, Ricardo Master Penedo; Francisco, C. P. *Estudo Do Telhado Verde Nas Construções Sustentáveis*. XII Safety, Health and Environment World Congress, 2012.
- [14] KYOCERA. *Placas Fotovoltaicas*. KYOCERA Brasil, 2006. Disponível em: <https://brazil.kyocera.com/>. Acesso em: 12 fev. 2019.