

Modelagem de potencial energético de painel fotovoltaico a partir de dados de base de sensoriamento remoto por satélite

Marcos Guedes do Nascimento¹, Raimundo Aprígio de Menezes Júnior², Bruno César Bezerra Nóbrega de Souza³ e Sergio Costa de Mello³

¹Universidade Federal da Paraíba. Centro de Ciências Exatas e da Natureza. Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio ambiente. *Campus I. João Pessoa-PB, Brasil (CEP 58051-900)*.

²Universidade Federal da Paraíba. Centro de Energias Alternativas e Renováveis. Departamento de Engenharia de Energias Renováveis. *Campus I. João Pessoa-PB, Brasil (CEP 58051-900)*.

³Universidade Federal da Paraíba. Centro de Ciências Exatas e da Natureza. Departamento de Física. *Campus I. João Pessoa-PB, Brasil (CEP 58051-900)*.

Resumo. O aumento da população mundial nos últimos séculos e o estabelecimento da sociedade de consumo fizeram a demanda por recursos naturais atingir níveis acima da capacidade de regeneração da natureza. Além disso, o emprego de fontes não renováveis de energia, sobretudo, os combustíveis fósseis, causaram problemas ambientais sem precedentes, a exemplo da poluição do solo, das águas e do ar, tendo esta última com uma de suas consequências, a aceleração do efeito estufa. Deste modo, a procura por soluções às questões ambientais e por garantia de meios de sobrevivência às próximas gerações se tornaram objetivos centrais da ciência na contemporaneidade. Dentre as áreas de estudo, destaca-se aquela voltada ao desenvolvimento de tecnologias que propiciem a acessibilidade a fontes renováveis à sociedade. Seguindo esta linha de ação, a presente pesquisa tem por objetivo modelar matematicamente um painel solar, composto por células fotovoltaicas padrão, a ser implementado no edifício sede do Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente da Universidade Federal da Paraíba. Na circunstância admitida por conjectura, o painel fotovoltaico capta a energia proveniente da radiação solar incidente na localidade considerada, durante os anos de 2015 a 2020, sendo as informações sobre a irradiância média obtidas na base de dados de sensoriamento remoto por satélite TERRACLIMATE. A análise sobre os resultados alcançados revela que, ordinariamente, os valores de corrente elétrica ficaram contidos no intervalo que vai de 2,5 A a 5,0 A e, a potência, por sua vez, variou entre 120 W e 210 W. Para um ano qualquer, a irradiância solar sobre o local se manteve entre 75 W/m² e 150

Recebido
15/10/2021

Aceito
18/04/2022

Publicado
30/04/2022



Acesso aberto



ORCID

- ID 0000-0003-4551-8463
Marcos Guedes do Nascimento
ID 0000-0002-2311-1278
Raimundo Aprígio de Menezes Júnior

W/m². A corrente média, no que lhe concerne, apresentou variação entre 3 A e 5 A, enquanto que a potência média oscilou de 140 W a 200 W. Gerar energia elétrica a partir de células fotovoltaicas, apesar de só ser possível no período diurno, para o local onde se propõe instalar o painel fotovoltaico, ficou evidenciado que caso seja devidamente armazenada em baterias, a quantidade gerada é suficiente para suprir demandas de baixo e médio consumo de energia, uma vez que o saldo de produção mensal está acima de 140 W.

Palavras-chave: Fonte renovável; Sustentabilidade; Placa solar; Energia Fotovoltaica; Geração de energia.

Abstract. *Photovoltaic panel energy potential modeling from satellite remote sensing base data.* The increase in world population in recent centuries and the establishment of a consumer society made the demand for natural resources reach levels above nature's capacity for regeneration. In addition, the use of non-renewable energy sources, especially fossil fuels, caused unprecedented environmental problems, such as the pollution of soil, water and air, the latter having, as one of its consequences, the acceleration of the Green house effect. Thus, the search for solutions to environmental issues and for guaranteeing the means of survival for the next generations have become central objectives of contemporary science. Among the areas of study, the one focused on the development of technologies that provide Access to renewable sources to society stands out. Following this line of action, this research aims to mathematically model a solar panel, composed of standard photovoltaic cells, to be implemented in the head quarters building of the Graduate Program in Development and Environment at the Federal University of Paraíba. In the circumstance admitted by conjecture, the photovoltaic panel captures energy from solar radiation incident on the location considered, during the years 2015 to 2020, with the information on the average irradiance obtained through the remote sensing data base of the TERRACLIMATE satellite. The analysis of the achieved results reveals that, ordinarily, the values of electric current were contained in the interval that goes from 2.5 A to 5.0 A, and the power, in turn, varied between 120 W and 210 W. For any given year, the solar irradiance on the site remained between 75 W/m² and 150 W/m². The average current, as far as it is concerned, varied between 3 A and 5 A, while the average power ranged from 140 W to 200 W. Generate electricity from photovoltaic cells, although it is only possible during the day, specifically for the place where you propose to install the photovoltaic panel, it was evidenced that if it is properly stored in batteries, the amount of energy generated is sufficient to meet demands of low and medium energy consumption, since the balance of monthly production is above 140 W.

0000-0002-7533-6831

Bruno César Bezerra
Nóbrega de Souza

0000-0002-5149-4851

Sérgio Costa de Mello

Keywords: Renewable source; Sustainability; Solar plate; Photovoltaics energy; Power generation.

Introdução

A produção energética é uma das bases do desenvolvimento humano, fato preconizado pela descoberta do fogo ainda na pré-história. A conexão do homem com as fontes de energia se estreitou cada vez mais com o passar dos anos, pois houve aumento da demanda e, logo, da dependência em relação a elas, até que chegássemos ao momento contemporâneo, no qual diversas obras arquitetônicas são construídas para produção de energia. Um exemplo disto são as hidrelétricas, que constituem a base de geração energética em países como o Brasil, que conta com uma vasta rede de transmissão para levar eletricidade por todo o país.

A sociedade moderna intensificou as buscas por fontes de energia, sobretudo, após a revolução industrial, majorando a exploração de recursos disponíveis (Zanirato e Rotondaro, 2016). Na primeira revolução industrial, o carvão mineral foi usado em larga escala para produção de energia a vapor destinada ao funcionamento das máquinas. Já na segunda revolução industrial, elas precisavam de energia elétrica e de derivados do petróleo para funcionarem. Os combustíveis fósseis, com isto, passaram a ser a base da matriz energética mundial; contudo, apesar de serem essenciais até hoje, são recursos não renováveis e, portanto, precisam ser substituídos gradativamente (Carvalho, 2014).

A partir da segunda metade do século vinte, a necessidade de se utilizar recursos renováveis passou a ser temática recorrente nos eventos internacionais a nível mundial para discussão acerca do meio ambiente, envolvendo governantes e especialistas. Dentre estes eventos, a Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento realizada na cidade do Rio de Janeiro, conhecida como ECO'92, ganhou notoriedade por ter como uma das prioridades temáticas, o levantamento de diretrizes e ações que são capazes de contribuir para estabilização das concentrações de gases liberados na atmosfera e que corroboram com a intensificação do efeito estufa (Goldemberg e Prado, 2010). Dentre as recomendações estabelecidas, está o estímulo ao emprego de fontes renováveis para geração de energia aos mais diversos fins (Diegues, 1992).

Nestas discussões, o conceito de sustentabilidade tem ganhado notoriedade, mostrando aqueles que a almejam que para alcançá-la, as atenções não podem estar inclinadas apenas ao suprimento da demanda atual da população, mas é preciso que estejam voltadas também à garantia de suficiência de recursos às gerações futuras (CMMAD, 1988). Assim, a constatação da escassez cada vez maior dos recursos naturais para geração de energia, evidencia-se a urgência do emprego de fontes renováveis para esta destinação, em substituição as fontes naturais não renováveis, como os derivados do petróleo, do carvão e do gás natural (Goldemberg e Prado, 2010).

Impulsionadas por esforços de governos, comunidade acadêmica e sociedade civil em torno das questões ambientais, a produção de energia com base em fontes renováveis têm se destacado em todo o mundo, dentre as quais, despontam: (I) a energia solar, captada por células fotovoltaicas que permitem a formação de corrente fotoelétrica (Lewis, 2016); (II) a energia eólica proveniente de correntes de vento que fazem girar as hélices do aerogerador, o qual converte a energia mecânica em elétrica (Blaabjerg e Ma, 2017); (III) a energia das correntes de águas, que é transformada em eletricidade quando o volume hídrico é submetido a uma queda considerável de nível e passa rapidamente por hélices, que ao girarem fazem esta conversão (Šćekić et al., 2020); (IV) a energia de biomassa, que é proveniente de insumos orgânicos por meio de processos físicos e químicos (Masud, 2019); e (V) a energia geotérmica, que é proveniente do interior do solo

e convertida em eletricidade, depois de processada nas usinas geotermas (Manzella, 2015).

Dentre estas fontes renováveis, a que provem da irradiação solar se destaca em razão de sua abundância, especialmente, nas regiões tropicais, já que nelas, os raios solares chegam à atmosfera terrestre com pouca inclinação, com notoriedade ainda maior nas áreas próximas a linha do equador, onde os raios solares são praticamente perpendiculares à superfície terrestre. O nordeste brasileiro, localizado próximo à linha do equador, é possuidor de elevadíssimo potencial para geração de energia fotovoltaica e, por isto, esta fonte de energia foi a escolhida para este estudo.

Sabendo-se da relevância em se buscar formas de energia sustentáveis para as edificações nas cidades e da possibilidade de gerar energia elétrica a partir de painéis fotovoltaicos, este estudo tem como principal propósito fazer modelagem de um painel constituído por células fotovoltaicas padrão, utilizando-se de dados sobre a irradiância solar contidos em base de dados de sensoriamento remoto por satélites de um local predefinido. Para tanto, serão apresentados a evolução do cenário da energia solar nos últimos anos, no Brasil e no mundo; as equações de cálculos matemáticos utilizados para obtenção dos valores de corrente e potência do modelo de painel fotovoltaico adotado; os dados da base de sensoriamento remoto TERRACLIMATE sobre irradiância solar da cidade de João Pessoa, entre os anos de 2015 até 2020, no ponto de coordenadas geográficas onde está o Prédio do Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente da Universidade Federal da Paraíba (PRODEMA/UFPB); os gráficos de tensão, corrente e potência, a partir das informações adquiridas na base de dados e do processamento dos cálculos para obtenção dos valores e os valores mensal e anual da potência média possível de ser gerada pelo modelo de painel considerado para este estudo.

Revisão de literatura

Os primeiros relatos acerca do aproveitamento da energia solar remontam há milhares de anos, quando foi aplicada pelo homem pré-histórico com a finalidade de proporcionar iluminação em ambientes (Hémery et al., 1993). A energia solar, desde então, tem sido destinada a diversos fins; durante a antiguidade, por exemplo, ela foi empregada para secagem de peles e alimentos, bem como para atear fogo em madeira, por intermédio de lentes de vidro, a exemplo das lentes de Fresnel, que favorecem a concentração de raios solares de maneira eficiente, após eles cruzarem a superfície refratária, corroborando a ocorrência de conversão fototérmica e fotovoltaica (Al-Jumaily e Al-Kaysi, 1998; Perini et al., 2017).

No século XX, o alto grau de complexidade atingido pelos problemas ambientais decorrentes do uso de combustíveis fósseis; o aumento da demanda por energia durante a terceira revolução industrial, por motivo da implementação da eletrônica e da robótica nos processos de produção e; as crises do petróleo que atingiram o mundo entre as décadas de 1970 e 1980, fizeram com que a busca por fontes alternativas de energia, especialmente as renováveis, se tornasse mais intensa, provocando uma expressiva ampliação da indústria solar. De acordo com as informações contidas na Figura 1, a geração de energia fotovoltaica no mundo aumentou consideravelmente nos últimos anos, passando de 39 GW, em 2010, para 760 GW, em 2020, o que representa um aumento de cerca de 1.850% em uma década (REN21, 2021).

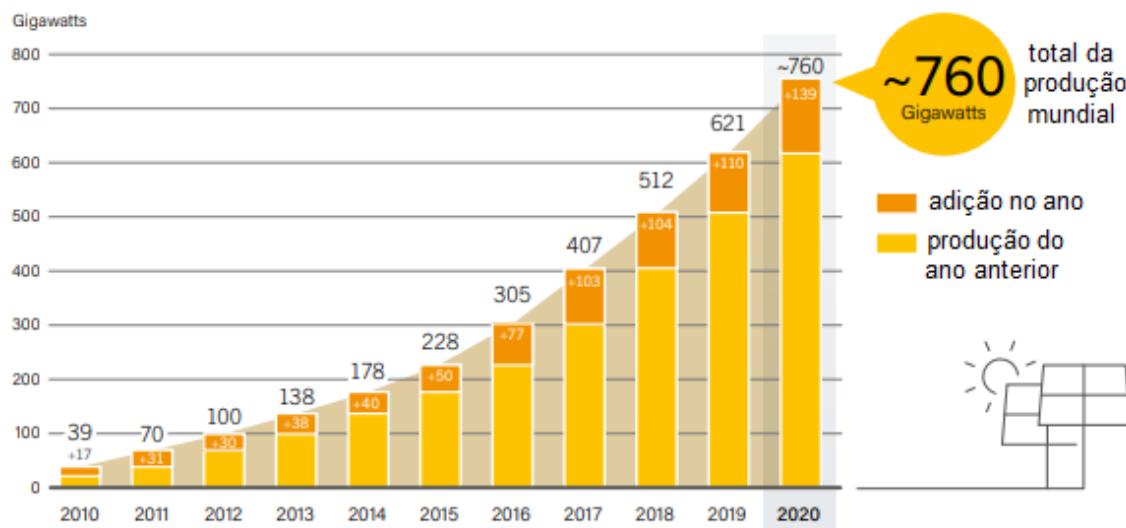


Figura 1. Capacidade global solar fotovoltaica e adições anuais 2010-2020. Fonte: REN21 (2021).

Atualmente, 11,2% da energia consumida no mundo provem de recursos renováveis, sendo 4,2% derivados de energia solar, geotérmica e de biomassa, o que demonstra um aumento gradual na utilização destas modalidades de energia (REN21, 2021). Em se tratando de Brasil, a energia solar atualmente corresponde a cerca de 2% da matriz energética, podendo chegar a 2,9% até o final do ano, havendo um incremento de mais de 2.000% em apenas três anos (Brasil, 2021). A Figura 2 revela que em 2016 a energia solar correspondia apenas a 0,02% do total de energia demandada pelos brasileiros e, na época, estimava-se que este recurso só representaria 3% da matriz energética do país no ano de 2024 (Newtech, 2016), não obstante, foi constatado que este número possivelmente será alcançado ainda em 2021.

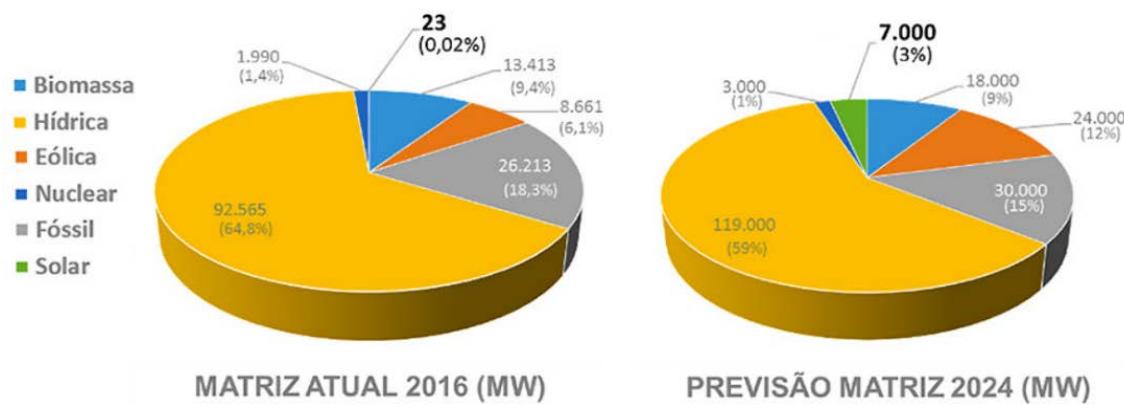


Figura 2. Participação renovável no consumo global de energia entre 2009 e 2019. Fonte: Newtech (2016).

O modelo de desempenho de painel fotovoltaico considerado neste estudo é o que se mostra na Figura 3. Nele, está representado um circuito com uma fonte de corrente fotogerada i_L , que por sua vez, conecta-se em paralelo com um diodo, atravessado por uma corrente i_D . Ademais, instalou-se duas resistências, uma em série R_s , para simular a resistência interna devido aos contatos metálicos da célula por onde passa a corrente I e outra em paralelo R_p , para simular a dissipação de energia na junção do diodo com a fonte de corrente, por onde passa a corrente de fuga i_p .

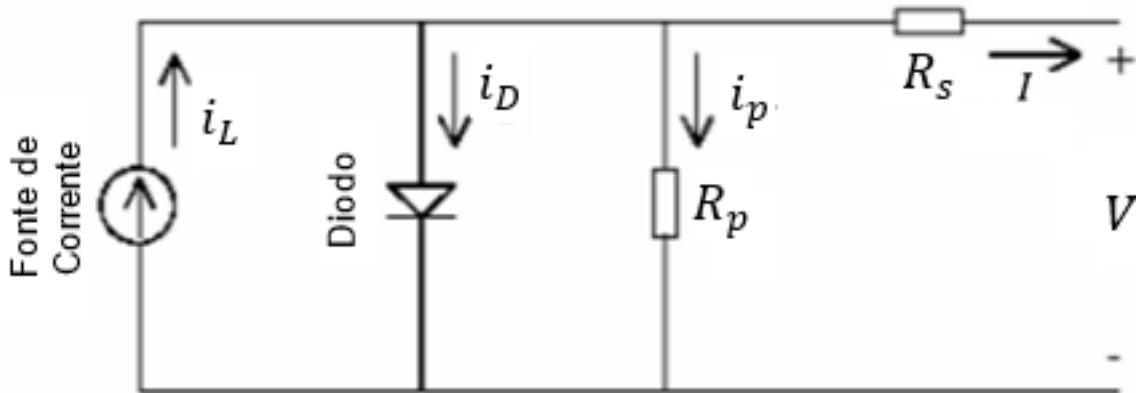


Figura 3. Circuito equivalente de um painel fotovoltaico. Fonte: Hecktheuer (2001).

Seja I_o a corrente de saturação reversa do diodo, I_{pv} a corrente fotoelétrica do sistema, V_t a tensão térmica do módulo e m a constante de idealidade do diodo, de forma que $1,0 \leq m \leq 1,5$ e $m = 1$, em se tratando de um diodo ideal (Soto et al., 2006). A relação entre a tensão V e a corrente de saída I do módulo fotovoltaico encontra-se expressa na equação:

$$I = I_{pv} - I_o \cdot \left[e^{\left(\frac{V+R_s \cdot I}{m \cdot V_t} \right)} - 1 \right] - \frac{V + R_s \cdot I}{R_p} \quad (1)$$

A tensão térmica (V_t) é proporcional ao número de células em série (N_s) e à temperatura (T) na junção P-N, contudo, com respeito à intensidade da carga do elétron ($e = 1,60217646 \cdot 10^{-19} C$), esta tensão apresenta uma relação inversa de proporcionalidade. Para estabelecimento da igualdade, utiliza-se a constante de Boltzmann ($k = 1,380650310 \cdot 10^{-23} J/K$) como fator multiplicador, de tal maneira que se obtém a equação 2 (Santos et al., 2019):

$$V_t = \frac{N_s \cdot k \cdot T}{q} \quad (2)$$

Quanto à corrente fotoelétrica (I_{pv}), a mesma é influenciada pela temperatura e a irradiancia. Para o cálculo dela, habitualmente, considera-se a irradiancia direta normal ou DNI (K_i) como sendo $1000 w/m^2$ e a temperatura de normalização (T_n) igual a $25 ^\circ C$, tais valores são tomados como padrão para testes em dispositivos fotovoltaicos (Kipper et al.,

2018). Segundo dados contidos no Atlas Brasileiro de Energia Solar, G_n se refere a irradiação direta normal ou DNI, que corresponde a taxa de energia que recai sobre uma superfície da placa, em posição ortogonal ao plano que a contém (INPE, 2017), enquanto que a temperatura nominal é a que se supõe ter o ambiente no qual a placa está exposta (T). A equação da corrente fotovoltaica é dada por:

$$I_{pv} = (I_{pvn} + K_i \cdot \Delta T) \frac{G}{G_n} \quad (3)$$

$$I_{pv_n} = I_{sv_n} \cdot \left(\frac{R_p + R_s}{R_p} \right) \quad (4)$$

Quando a tensão fica negativa, ultrapassando o valor usual da constante térmica $V_t = 25mV$, ocorre a polarização inversa, aparecendo a corrente de saturação I_s , que tem sentido contrário ao fluxo de carga e se torna aproximadamente igual a corrente original (i) do circuito $I_s \approx i$. A corrente de saturação I_s é dependente de T , dobrando de valor, a cada elevação da temperatura em 10 °C e reduzindo em metade, a cada diminuição em 10 °C (Letcher e Fthenakis, 2018). Além de depender da temperatura, a corrente de saturação reversa ($I|o$) é influenciada também pelo coeficiente de difusão de elétrons no interior das junções P-N, pela densidade de portadores e por outros parâmetros físicos (Fahrenbruch e Bube, 1983), de modo que para o cálculo de I_o , temos:

$$I_o = \frac{I_{sc_n} + K_i \cdot \Delta T}{e^{\left(\frac{V_{oc_n} + K_v \cdot \Delta T}{m \cdot V_t}\right)} - 1} \quad (5)$$

Dentre as grandezas da equação 5, o coeficiente de variação da tensão com a temperatura de um circuito aberto K_v , a corrente de curto circuito I_{sc_n} e a tensão de circuito aberto V_{oc_n} nas condições padrões de funcionamento são novidades. Tais grandezas, junto com as tensões e correntes nominais, permitem que seja calculado o valor de potência máxima do sistema. Para isto, deve-se garantir que as exigências padrões sejam atendidas ($G_n = 1000 w/m^2$ e, através do uso de um multímetro, obter as medidas de tensão de circuito aberto V_{oc_n} e corrente de curto-circuito I_{sc_n} , mantendo desconectados, durante as leituras, o painel e a carga. Tendo os valores de corrente e tensão, as curvas de corrente e de potência em função da voltagem ($I \times V$ e $P \times V$) podem ser traçadas, caracterizando assim, o painel fotovoltaico. Na Figura 4 estão representadas as curvas características de um painel solar, com destaque às mudanças ocorridas nas curvas devido as variações da irradiação e da temperatura.

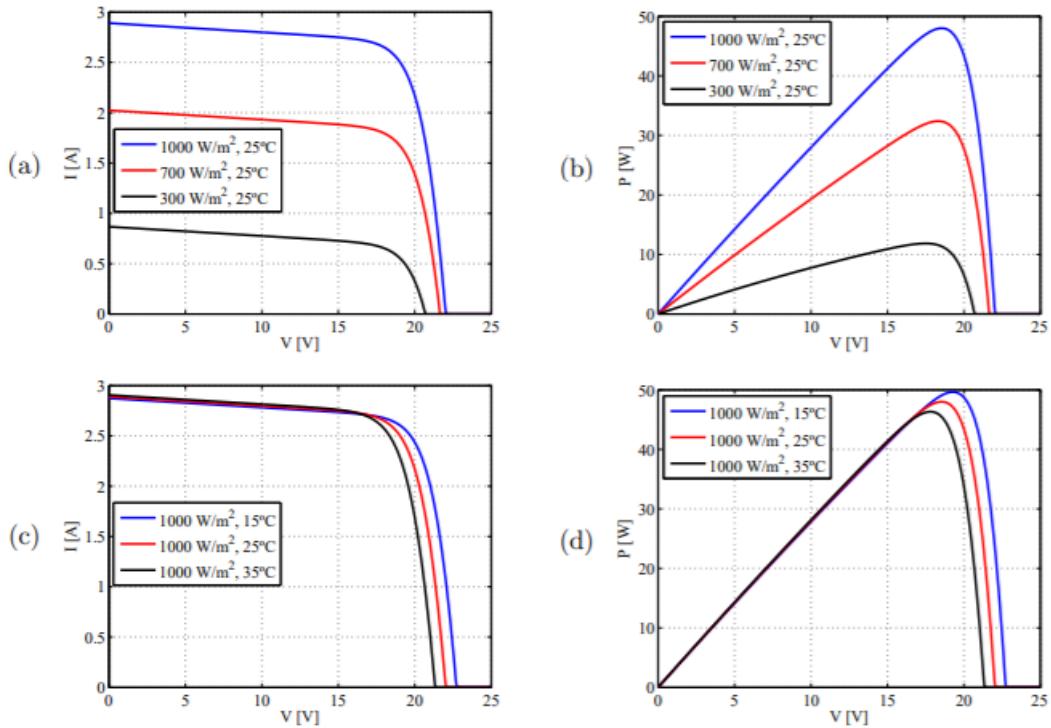


Figura 4: (a) Curva I x V para $T = 25^\circ\text{C}$ e vários valores de irradiância; (b) Curva P x V quando $T = 25^\circ\text{C}$ para vários valores de irradiância; (c) Curva I x V para $G = 1.000 \text{ W/m}^2$ e vários valores de temperatura; (d) Curva P x V para $G = 1.000 \text{ W/m}^2$ e vários valores de temperatura. Fonte: Cupertino (2015).

Materiais e métodos

Foi utilizado o método hipotético-dedutivo, a partir de indagações insurgentes das limitações e insuficiências no uso de fontes renováveis para fornecimento de energia. Desta problemática, surgiu a hipótese de que seja possível produzir satisfatoriamente energia elétrica pela utilização de placa fotovoltaica, a qual passou pelo processo de falseamento, de modo a ser confirmada ou descartada.

Tratou-se de uma pesquisa bibliográfica que através da ferramenta de computação em nuvem Google Earth Engine (GEE), foi obtido da base de sensoriamento por satélite TERRACLIMATE, a irradiância solar média mensal, dada em W/m^2 , no período compreendido entre 2015 e 2020, em João Pessoa, referente ao ponto de coordenadas geográficas (-7,139498486481094, -34,8439730892816), onde está instalado as dependências do prédio do PRODEMA/UFPB.

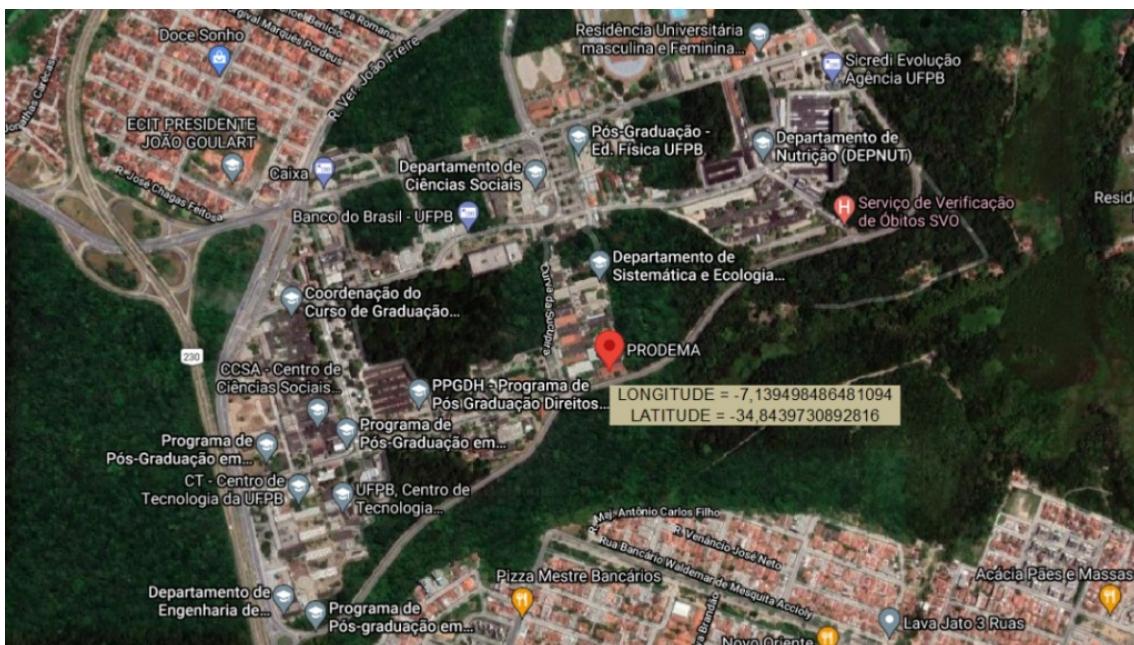


Figura 5. Imagem do ponto considerado e suas respectivas coordenadas. Fonte: Google Maps (2021).

De posse destas informações e tendo ciência do local e do período de tempo que interessa à pesquisa, utilizou-se das equações (1) a (5) para realização dos cálculos da corrente e da potência do sistema fotovoltaico durante os seis anos. Em seguida, foram calculados os valores de corrente e potência média total em cada mês e ano e, ao final, traçado o gráfico que expressa a curva que descreve a corrente e a potência média para um ano qualquer.

Resultados e discussão

As Figuras 5 e 6 trazem no eixo das ordenadas os valores de irradiância, corrente e potência médias da localidade onde se situa o prédio do PRODEMA/UFPB, enquanto que no eixo das ordenadas está a escala de tempo em meses, indo de janeiro de 2015 a dezembro de 2020. É imprescindível que se tenha conhecimento de como realizar a obtenção dos valores destas grandezas nestes gráficos. Considerando-se os valores do eixo vertical referentes à curva verde nos gráficos alusivos ao painel fotovoltaico, é possível obter a partir deles a potência em cada mês, dividindo cada valor por dez; para se obter a corrente média em um certo mês, deve-se tomar o valor que se refere à curva vermelha no referido mês, localizado também no eixo das ordenadas, e dividi-lo por cem. Finalmente, para determinar o valor da irradiância média no mês, basta tomar o valor referente à curva em azul no eixo vertical, concernente ao período que se pretende saber esta informação.

Na Figura 6, percebe-se que, habitualmente, o valor da corrente variou entre 2,5 A e 5,0 A durante os anos estudados, enquanto que a potência oscilou entre 120 W e 210 W. Os valores mais baixos de corrente e potência aconteceram nos meses entre maio e julho de cada ano, que são aqueles que apresentam maior incidência de nuvens e precipitações, a exemplo do mês de julho de 2017, ano no qual ocorreu precipitações mais intensas que o ordinário para o período.

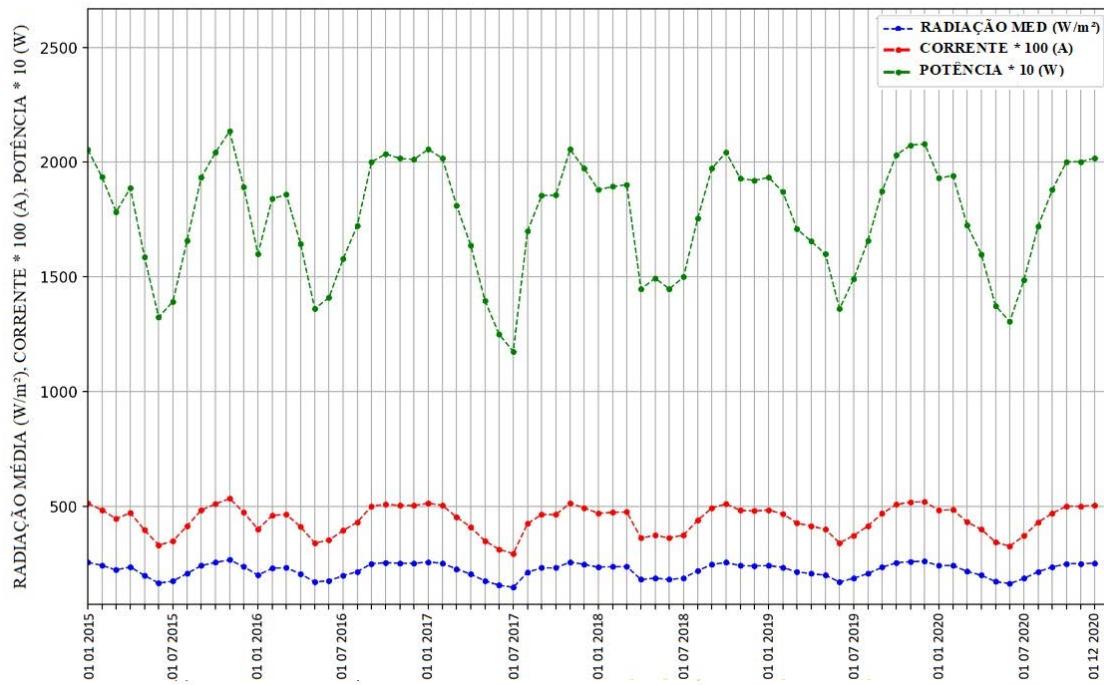


Figura 6. Dados de irradiância, corrente e potência obtidas por meio de cálculos matemáticos e dados da base TERRACLIMATE_João Pessoa_2015 a 2020.

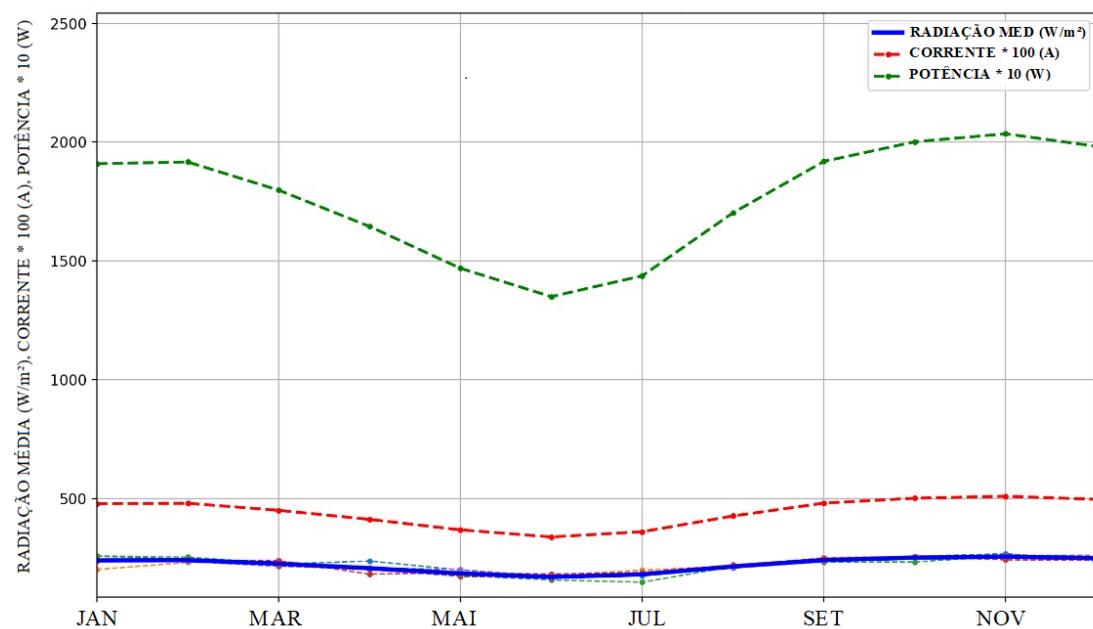


Figura 7. Dados de irradiância, corrente e potência média anual obtidas por meio de cálculos matemáticos e dados da base TERRACLIMATE_João Pessoa_2015 a 2020.

A Figura 7, por sua vez, ao invés de se referir ao período total dos seis anos, faz alusão a média mensal de irradiação solar, corrente e potência, em um ano qualquer, calculadas a partir dos valores referentes aquele mês nos anos de 2015 a 2020. Em termos práticos, isto significa dizer que o valor de irradiação média indicado em janeiro, corresponde à média aritmética dos seis meses de janeiro, entre 2015 e 2020 e, assim, sucessivamente.

De acordo com a Figura 7, nota-se que a irradiação solar sobre as coordenadas geográficas consideradas apresentou flutuações suaves no transcorrer dos meses, mantendo-se entre 75 W e 150 W de potência a cada metro quadrado de área. Os valores da corrente média variaram entre 3 A e 4 A de maio a julho e entre 4 A e 5 A nos demais meses, atingindo os maiores valores entre outubro e dezembro. Com respeito a potência média, conclui-se que durante um ano qualquer, entre os meses de maio e julho, o modelo de painel fotovoltaico considerado forneceu em torno de 140 W. Do início de fevereiro ao final de abril e de meados de julho ao início de setembro, a potência gerada oscilou de 150 W a 190 W, atingindo valores máximos entre outubro e dezembro, quando ultrapassou a marca dos 200 W.

Considerações finais

De acordo com os resultados desta pesquisa, que considerou a suposta adoção de determinado modelo de célula fotovoltaica no prédio do Programa de Desenvolvimento e Meio Ambiente, da Universidade Federal da Paraíba, localizado no Município de João Pessoa, constatou-se que é possível gerar energia elétrica durante todos os meses do ano, empregando painel fotovoltaico para captação de energia solar e conversão da mesma a esta forma de elétrica, mesmo aqueles que se encontram inseridos em um período do ano em que ocorrem muitas precipitações.

A geração de energia por meio de células fotovoltaicas só ocorre durante o período diurno, que tem duração média de 13 h diárias, contudo, mesmo nestas condições, ficou comprovado que a quantidade gerada é suficiente para suprir parte significativa de demanda energética da edificação, tendo um saldo de produção mensal que varia, em média, entre 140 W e 200 W. Se devidamente armazenada em baterias, esta energia poderá atender demandas de baixo e médio consumo de energia, tais como funcionamento de lâmpadas e ventiladores, por exemplo.

Para continuação deste estudo, é recomendado a instalação de painel fotovoltaico no prédio do PRODEMA/UFPB e realização de medidas de corrente e tensão em ao menos três pontos do circuito: entre aerogerador e baterias; entre estas e inversor e; entre este e equipamentos de corrente alternada. As medidas servirão para conhecer o fluxo de corrente nas partes do sistema e assim determinar se para a demanda inicialmente estabelecida, haverá déficit ou excesso de carga. De posse destes dados, será possível definir a intensidade das grandezas de modo que se possa ter a melhor eficiência possível. Posta a situação ótima do circuito, poderá ser feita a comparação dos valores de geração de energia no caso real com aqueles previstos teoricamente na modelagem ora realizada.

Sistemas compostos por placas fotovoltaicas que convertem energia solar em elétrica têm sido utilizados desde o nível residencial até a produção em larga escala, onde tais painéis constituem verdadeiros parques de produção energética. No caso desta pesquisa, ficou manifesto que o litoral paraibano é favorável a instalação de painéis fotovoltaicos a nível residencial, demonstrando ser imprescindível a continuidade desta pesquisa para fomentar o estímulo ao uso deste abundante recurso natural nesta região para fins de geração de energia elétrica.

Conflito de interesses

Os autores declaram não haver conflito de interesses.

Referências

- Al-Jumaily, K. E. J.; Al-Kaysi, M. K. A. The study of the performance and efficiency of flat linear Fresnel lens collector with sun tracking system in Iraq. **Renewable Energy**, v. 14, p. 41-48, 1998. [https://doi.org/10.1016/S0960-1481\(98\)00045-7](https://doi.org/10.1016/S0960-1481(98)00045-7)
- Blaabjerg, F.; Ma, K. Wind energy systems. **IEEE**, v. 105, n. 11, p. 2116-2131, 2017. <https://doi.org/10.1109/JPROC.2017.2695485>
- Brasil. Entenda como a matriz elétrica brasileira está mudando: usinas híbridas, que utilizam mais de um tipo de fonte de geração de energia elétrica, têm ganhado espaço. Governo Federal, Brasília, Energia Elétrica, 30 ago. 2021. Disponível em: <<https://www.gov.br/pt-br/noticias/energia-minerais-e-combustiveis/2021/08/entenda-como-a-matriz-eletrica-brasileira-esta-mudando>>. Acesso em: 06 set. 2021.
- Carvalho, J. F. Energia e sociedade. **Estudos Avançados**, v. 28, n. 82, p. 25-39, 2014. <https://doi.org/10.1590/S0103-40142014000300003>
- CMMAD - Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento. **Nosso futuro comum**. Rio de Janeiro: Fundação Getúlio Vargas, 1988.
- Diegues, A. C. S. Desenvolvimento sustentável ou sociedades sustentáveis: da crítica dos modelos aos novos paradigmas. **São Paulo em Perspectiva**, v. 6, n. 1, p. 22-29, 1992.
- Fahrenbruch, A. L.; Bube, R. H. **Fundamentals of solar cells**. 1. ed. London: Academic Press, 1983.
- Google Maps. Imagem de satélite do prédio do PRODEMA/UFPB. 2021. Disponível em: <<https://www.google.com/maps/place/PRODEMA/@7.1394985,34.8487474,1899m/data=!3m1!1e3!4m5!3m4!1s0x7acc2b97e426991:0x9a01949e16480b5!8m2!3d7.1399669!4d-34.8443781>>. Acesso em: 20 ago. 2021.
- Goldemberg, J.; Prado, L. T. The “decarbonization” of the world’s energy matrix. **Energy Policy**, v. 38, n. 7, p. 3274-3276, 2010. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2010.03.040>
- Hecktheuer, L. A. **Análise de associações de módulos fotovoltaicos**. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2001. (Tese de doutorado).
- Hémery, D.; Debeir, J. C.; Deléage, J. P. **Uma história da energia**. Brasília: Editora UnB, 1993.
- INEP - Instituto Nacional de Pesquisa e Estatística. **Atlas brasileiro de energia solar**. 2. ed. São José dos Campos: INPE, 2017.
- Lewis, N. S. Research opportunities to advance solar energy utilization. **Science**, v. 351, n. 6271, p. 351-363, 2016. <https://doi.org/10.1126/science.aad1920>
- Letcher, T.; Fthenakis, V. M. **A comprehensive guide to solar energy systems**. 1. ed. London: Academic Press, 2018.
- Kipper, F. D.; Gasparin, F. P.; Krenzinger, A. Análise de variação dos coeficientes térmicos de módulos fotovoltaicos com a irradiância. Anais do VII Congresso Brasileiro de Energia Solar, ABES, Gramado, 2018.

- Manzella, A. Geothermal energy. **EPJ Web of Conferences**, v. 148, 2017. <https://doi.org/10.1051/epjconf/201714800012>
- Masud, M.; Ananno, A. A.; Arefin, A. M. E.; Ahamed, R.; Das, P.; Joardder, M. U. H. Perspective of biomass energy conversion in Bangladesh. **Clean Technologies and Environmental Policy**, v. 21, n. 4, p. 719-731, 2019. <https://doi.org/10.1007/s10098-019-01668-2>
- Newtech, I. Energia solar fotovoltaica: a revolução energética já começou no Brasil. **Portal Solar**, 10 jan. 2016. Disponível em: <<https://www.portalsolar.com.br/blog-solar/energia-solar/energia-solar-fotovoltaica-a-revolucao-energetica-ja-comecou-no-brasil.html>>. Acesso em: 12 ago. 2021.
- Perini, S.; Tonnellier, X.; King, P.; Sansom, C. Theoretical and experimental analysis of an innovative dual-axis tracking linear Fresnel lenses concentrated solar thermal collector. **Solar Energy**, v. 153, p. 679-690, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2017.06.010>
- REN21 - Renewables 2021. **Global status report**. 2021. Disponível em: <https://www.ren21.net/wp-content/uploads/2019/05/GSR2021_Full_Report.pdf>. Acesso em: 08 jul. 2021.
- Šćekić, L.; Mujović, S.; Radulović, V. Pumped hydroelectric energy storage as a facilitator of renewable energy in liberalized electricity market. **Energies**, v. 13, n. 22, 6076, 2020. <https://doi.org/10.3390/en13226076>
- Soto, W. D.; Klein, S.; Beckman, W. Improvement and validation of a model for photovoltaic array performance. **Solar Energy**, v. 80, n. 1, p. 78-88, 2006. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2005.06.010>
- Zanirato, S. H.; Rotondaro, T. Consumo, um dos dilemas da sustentabilidade. **Estudos Avançados**, v. 30, n. 88, p. 77-92, 2016. <https://doi.org/10.1590/S0103-40142016.30880007>



Informação da Licença: Este é um artigo Open Access distribuído sob os termos da Licença Creative Commons Attribution, que permite uso irrestrito, distribuição e reprodução em qualquer meio, desde que a obra original seja devidamente citada.