

Mensurando o índice de refletância solar para a superfície de solo

Measuring the solar reflectance index for the soil surface

Medición del índice de reflectancia solar para la superficie del suelo

Recebido: 12/10/2022 | Revisado: 24/10/2022 | Aceitado: 26/10/2022 | Publicado: 31/10/2022

Yuri Ferruzzi

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2261-6995>
Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Brasil
E-mail: yuri@utfpr.edu.br

Samuel Nelson Melegari de Souza

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3581-902X>
Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Brasil
E-mail: samuel.souza@unioeste.br

Estor Gnoatto

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2948-6935>
Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Brasil
E-mail: gnoatto@utfpr.edu.br

Carlos Eduardo Camargo Nogueira

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3886-9118>
Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Brasil
E-mail: cecn1@yahoo.com.br

Marcos Fischborn

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3262-5203>
Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Brasil
E-mail: fisch@utfpr.edu.br

Resumo

O estudo da refletância solar e, por conseguinte do albedo são essenciais para sistemas fotovoltaicos bifaciais para estimar seu desempenho. Para atender a essa necessidade, instalou-se dois piranômetros, um observando a radiação solar direta e outro a refletida, visando desta forma obter dados do albedo do solo, durante a atividade experimental. O albedo da superfície do solo é um fator importante na relação custo-benefício de um sistema fotovoltaico bifacial. Os conjuntos de dados medidos incluem séries temporais de albedo no período mensal e horários, para o período de 2022. Os resultados preliminares indicaram para um solo típico, o Latossolo Vermelho Eutrófico, que apresenta uma textura argilosa a moderada, um valor de albedo de 0,15 com uma incerteza de medição de $\pm 0,02$; Os dados visam facilitar a compreensão dos valores de albedo e as características necessárias, tanto para a uso em um projeto fotovoltaico bifacial instalado no local, quanto para a sua análise financeira futura, como para melhor estimar o desempenho e reduzir o risco de implantação dos sistemas.

Palavras-chave: Radiação solar; Fotovoltaica; Albedo.

Abstract

The study of solar reflectance and therefore the albedo is essential for bifacial photovoltaic systems to estimate their performance. To meet this need, two pyranometers were installed, one observing the direct and the other the reflected solar radiation, in order to obtain data on the albedo of the ground during the experimental activity. The albedo of the ground surface is an important factor in the cost-benefit ratio of a bifacial photovoltaic system. The measured data sets include albedo time series in the monthly and hourly period, for the period 2022. Preliminary results indicated for a typical soil, Eutrophic Red Latosol, which presents a clayey to moderate texture, an albedo value of 0.15 with a measurement uncertainty of ± 0.02 . The data aims to facilitate the understanding of albedo values and the characteristics required, both for the use in a bifacial photovoltaic project installed on site, for its future financial analysis, and to better estimate the performance and reduce the risk of system deployment.

Keywords: Solar radiation; Photovoltaics; Albedo.

Resumen

El estudio de la reflectancia solar y, por tanto, del albedo, es esencial para los sistemas fotovoltaicos bifaciales con el fin de estimar su rendimiento. Para satisfacer esta necesidad, se instalaron dos piranómetros, uno observando la radiación solar directa y otro la reflejada, con el objetivo de obtener datos del albedo del suelo, durante la actividad experimental. El albedo de la superficie del suelo es un factor importante en la relación coste-beneficio de un sistema fotovoltaico bifacial. Los conjuntos de datos medidos incluyen series temporales de albedo en el período mensual y horario, para el período 2022. Los resultados preliminares indicaron para un suelo típico, el Latosol Rojo Eutrófico, que presenta una textura arcillosa a moderada, un valor de albedo de 0,15 con una incertidumbre de medición de

$\pm 0,02$; Los datos pretenden facilitar la comprensión de los valores de albedo y las características necesarias, tanto para el uso en un proyecto fotovoltaico bifacial instalado in situ, como para su futuro análisis financiero, así como para estimar mejor el rendimiento y reducir el riesgo de despliegue del sistema.

Palabras clave: Radiación solar; Fotovoltaica; Albedo.

1. Introdução

A medição da reflectância da superfície do solo, ou o Índice de Reflectância Solar, é uma técnica que tem sido utilizada para medir o albedo espectral dos solos (Costanzini, 2021). Existem muitas aplicações para este índice, uma delas é de quantificar os níveis de umidade do solo, dá a sua correlação com os coeficientes de absorção e espalhamento (Loshelder, 2020) e (Fabre, 2015). Para (Jouttijärvi, 2022), uma outra aplicação está relacionada ao campo das energias renováveis, com a difusão de sistemas fotovoltaicos bifaciais, que geram energia usando radiação solar global e radiação solar refletida, desta forma, a importância do albedo no desempenho do painel solar fotovoltaico se tornou relevante, algumas investigações apontam que quanto maior o valor do albedo melhor será o desempenho dos módulos fotovoltaicos bifaciais, em termos, tanto da potência, como na eficiência dos módulos (Gul, 2018). O índice de reflectância solar é usado para avaliar o comportamento de diversos tipos de solo, bem como, para a superfície refletora, durante uma exposição intermitente (radiação solar direta) e uma exposição de referência (radiação solar refletida) (Tina, 2021). A medição pode ser feita em qualquer escala de tempo, de segundos a horas, mas quando se refere apenas a um valor médio global, deve ser realizada em um tempo comparável com a finalidade da aplicação da medida e do tempo característico daquela determinada da superfície do solo, assim sendo, para solos arenosos bem graduados, a amostragem pode variar de vários segundos a vários minutos, para módulos fotovoltaicos bifaciais que geram energia usando tanto a radiação solar global como a radiação solar refletida, recomenda-se a amostragem diária (Maestri, 2021). Em função do albedo os módulos fotovoltaicos bifaciais podem aumentar o desempenho em relação aos módulos fotovoltaicos tradicionais, porque ambos os lados das células, frontal e traseiro, absorvem a radiação solar (Chaouki, 2021).

Para (Sreenath, 2020) a medição deve utilizar um piranômetro voltado para cima, no plano horizontal e outro piranômetro voltado para baixo para medir a radiação refletida, mas, deve-se considerar cuidadosamente qual modelo de desempenho é requerido como parâmetro de estudo, para então avaliar a propriedade da superfície do solo quanto a densidade de fluxo radiação solar refletida por unidade de área (irradiância refletida) em $W.m^{-2}$ (Harrison, 2014). Este trabalho descreve a implantação de um sistema de medida para o teste de reflectância da superfície do solo, tal dispositivo será usado no estudo de painéis bifaciais, sendo a orientação do local de medição realizada em relação ao plano horizontal (ASTM E1918-06, 2021). Os albedômetros são normalmente instalados de um a dois metros acima de superfícies lisas; o aumento na altura é frequentemente usado em locais com vegetação não controlada (Qin, 2017). Segundo (Garcia, 2019) as medições de albedo do solo atingem em média um índice de 0,24. Sendo que os valores diários de albedo podem variar de 0,148 a 0,236 (Lave, 2015). Um dos aspectos que do estudo de sistemas bifaciais é a medição correta dos módulos fotovoltaicos bifaciais e caracterização da resposta de curto prazo de uma superfície em função a mudanças na irradiância. A irradiância traseira adicional permite um incremento de potência máxima de até 30% sob certas condições (Takebayashi, 2016). No entanto, a não uniformidade da irradiância traseira precisa ser otimizada para atender aos requisitos de projeto e de especificação técnica de módulos fotovoltaicos bifaciais.

2. Metodologia

Albedo é definido como a fração da radiação solar refletida, ou seja, a fração da irradiação solar que é refletida do solo e da cobertura do solo, tal como, grama ou cascalho e corpos d'água na superfície da Terra. As estatísticas de albedo do local para cada local devem incluir perfis diurnos, médias mensais ou anuais (Thurston, 2019), desta forma, o Albedo indica a

capacidade reflexiva de uma superfície. Uma abordagem considerando um albedo como constante demonstra ser suficiente na maioria das aplicações fotovoltaicas, existem alguns casos específicos em que uma descrição mais precisa do albedo é de grande importância (Chiodetti, et al, 2016).

O albedo varia com o espectro de radiação solar incidente, o ângulo solar, a textura da superfície, a rugosidade da superfície e outros (Chiodetti, et al, 2016). A energia relativa do albedo e a capacidade de um painel bifacial de capturar essa irradiação determinam o “ganho bifacial” (Sun, 2018). Segundo (Thurston, 2019) os testes experimentais em painéis bifaciais mostram em aumento de mais de 20% a 30%, esses níveis de desempenho estão relacionados a fatores básicos de orientação são essenciais, como cobertura do solo, (Ng, 2001). Para os albedos de uma superfície coberta por grama verde ou areia branca podem melhorar a potência prevista do BPV em 3,1% e 5,2%, respectivamente (Russell, 2016).

Segundo (Kreinin, et al, 2016) quando o albedo é modificado para um índice maior, ocorre um aumento do ganho bifacial, desta forma, o uso de cascalho branco, telhados de vinil branco, plástico espelhado e metal polido. O (NREL, 2020) relata um ganho bifacial médio de 8% com o uso de concreto de baixo albedo, e que o ganho aumentou para 11% depois que a superfície foi pintada de branco.

Para (Stein, 2017) e (Kreinin, et al, 2016) é possível obter um ganho de 15 a maior que 25%, quando o painel convencional é comparado com os painéis montados em campo. A potência máxima gerada pelo módulo bifacial é o valor que deve ser usado como um análogo da potência do módulo monofacial em condições padrão para especificação do módulo e projetos de sistemas fotovoltaicos (Marion, 2005)

Conforme (Corrêa, 2008) indica que os piranômetros não medem diretamente o Albedo, deve se utilizar a relação entre a radiação global e a radiação refletida, desta forma o albedo de superfície é obtido pela equação [1].

$$A_{sup} = \frac{E_{\mu}}{E_i} \quad [1]$$

Sendo:

A_{sup} = albedo da superfície

E_{μ} = Irradiação refletida

E_i = Irradiação global

Para sistemas fotovoltaicos monofaciais, a radiação refletida no solo normalmente compreende apenas 1% a 2% da radiação total recebida pelo módulo fotovoltaico (Bouchakour, 2020). No entanto, para módulos fotovoltaicos bifaciais onde seu benefício é determinado pela radiação adicional refletida pelo solo em sua parte traseira, uma melhor compreensão dos valores e características do albedo é necessária, na Tabela 1 pode-se verificar vários índices de albedos, (Thurston, 2019).

Tabela 1 - Albedos para tipos de superfícies dos solos.

Tipo de superfície	Albedo
Superfície verde (grama)	23 %
Concreto	16 %
Concreto pintado de branco	60-80 %
Cascalho branco	27 %
Teto de metal branco	56 %
Teto de membrana cinza claro	62 %
Teto de membrana branca	80%

Fonte: Thurston (2019).

Na Tabela 1 é possível perceber quais superfícies refletem melhor a radiação solar, permitindo classificar o solo em teste, com Valores conhecidos. Para as medições de albedo são usados dois piranômetros CM3 (Kipp and Zonen), mostrados na Figura 1, que inicialmente foram calibrados para apresentarem os mesmos valores de radiação solar.

Figura 1 - Piranômetros instalados na configuração para medir o albedo.



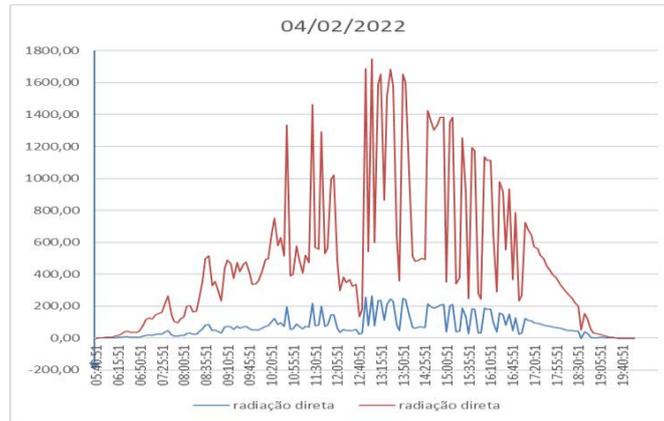
Fonte: Autores.

Os Piranômetros da Figura 1, foram instalados na configuração para medir o albedo, para tanto, foram montados em uma haste metálica a 2m do solo em estudo e a 1,5m da estrutura suporte, um voltado para cima radiação direta horizontal e o segundo voltado para baixo no plano difuso para determinar o impacto de albedo no desempenho da geração fotovoltaica.

3. Resultados e Discussão

A eficácia do albedômetro montado é mostrado na Figura 02, que mostra o comportamento da radiação solar medida. O gráfico em vermelho descreve o comportamento da radiação solar no plano horizontal e o gráfico em azul, a medida do piranômetros voltado para baixo, que mostra a pouca reflexão do Latossolo Vermelho Eutrófico, mostrado que apesar de não ser um dia de céu limpo é possível obter dados compatíveis e calcular o índice de albedo da superfície.

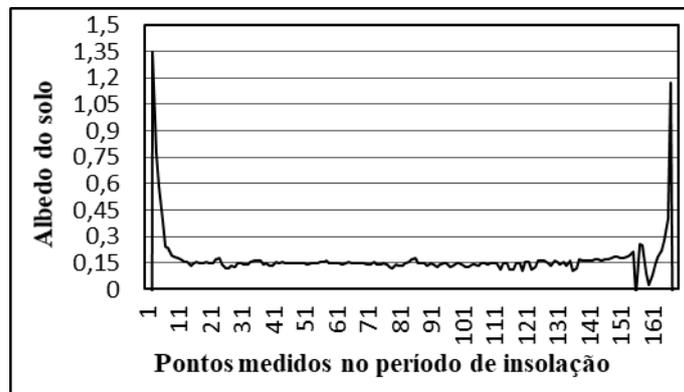
Figura 2 - Medidas do dia 04 de janeiro de 2022.



Fonte: Autores.

O comportamento das medidas de radiação solar mostradas na Figura 2, apresentam uma resposta proporcional entre a medição dos piranômetros permitindo calcular o índice do albedo. A Figura 3 mostra um exemplo de variações de albedo de superfície sob condições parcialmente nubladas, no dia 4 de janeiro de 2022, mostrando que apesar das condições do clima a variação diária do albedo da superfície tem um comportamento estável.

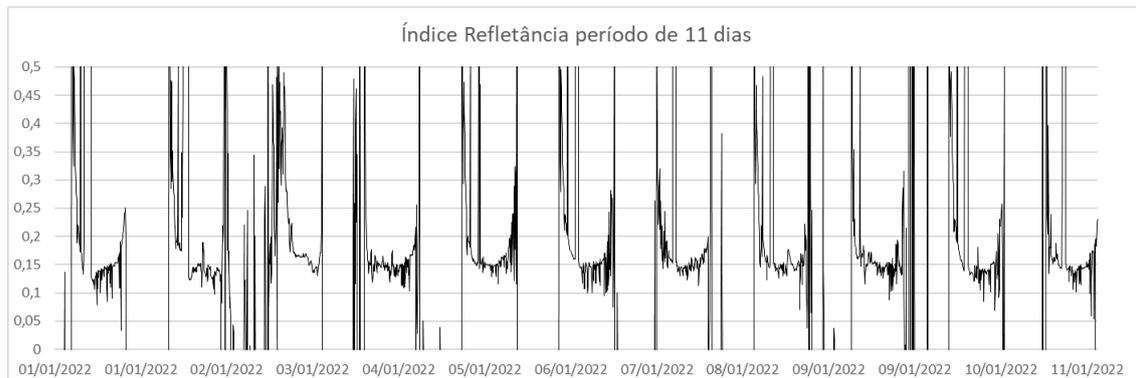
Figura 3 - Albedo da superfície medidas do dia 04 de janeiro de 2022.



Fonte: Autores.

O comportamento do gráfico da Figura 3 demonstra que o índice de reflexão da superfície apresenta um valor próximo ao concreto, indicado na Tabela 1, tais dados foram coletados durante períodos de 11 dias para a superfície, utilizaram como referência o período de insolação das 6:00h as 18:00h, o que resultou em um valor médio para o índice de refletância de aproximadamente 0,154 com desvio padrão de 0,047. Para um estudo ampliar as análises de comportamento, uma série de medidas foi realizada, e os dados são mostrada na Figura 4.

Figura 4 - Albedo da superfície medidas do dia 04 de janeiro de 2022.



Fonte: Autores.

Os intervalos de amostragem permitiram avaliar a influência de diferentes condições de nuvens, e os efeitos de distorção no sinal do piranômetros, quando da passagem de nuvens que produzem um efeito lento, ampliando o valor de algumas amostras, esse fenômeno pode-se observar na Figura 4, que evidencia ainda uma variabilidade significativa do albedo nas horas do pôr do sol e do nascer do sol, o que confirma a analisar dos dados no período de insolação das 6:00h as 18:00h.

4. Conclusão

O presente trabalho auxilia tanto no projeto quanto no planejamento de desenvolvimentos futuros e existentes de sistemas fotovoltaicos, sistemas solares de aquecimento de ambientes e sistemas de aquecimento solar de água para aumentar sua potência relativa; assim, ajudando a reduzir as emissões de carbono e garantir energia para as gerações futuras.

Os principais efeitos observados foram, que a superfície do solo limpo, tipo Latossolo Vermelho Eutrófico típico textura argilosa moderado (terra vermelha) observado, não apresentou mudança significativa no índice 0,15, o efeito da elevação solar no albedo permaneceu quase constante. Nos períodos de chuva houve um declínio notável no valor albedo.

Cobertura de nuvens na condição de céu limpo em comparação com as condições de céu, parcialmente nublado, ou nublado mostram, um albedo de maiores valores sob a condição de céu limpo em comparação com as condições de céu, parcialmente nublado, ou nublado. No entanto, alguns resultados mostram que um efeito de picos de valor da radiação direta quando do movimento rápido das nuvens em um curto período de tempo o que pode causar uma mudança significativa nos valores registrados de albedo.

Como sugestões para trabalhos futuros, propõe-se a troca do fundo do experimento, para assim mensurar o efeito de diferentes albedos e seus efeitos em sistemas fotovoltaicos bifaciais.

Referências

- ASTM E1918-16. (2016). Standard Test Method for Measuring Solar Reflectance of horizontal and low-slope surface in the field, *ASTM International*, West Conshohocken, PA, <https://www.astm.org/e1918-21.html>
- Bouchakour, S. et al. (2020). Monitoring, modelling and simulation of bifacial PV modules over normal and high albedos, *International Conference on Renewable Energy Research and Application*, 9, 252-256. d10.1109/ICRERA49962.2020.9242869
- Chaouki G., Fahad F. A., Oussama R., & Abdul K. H. (2021). Sensitivity analysis of design parameters and power gain correlations of bi-facial solar PV system using response surface methodology. *Solar Energy*, 223, 44-53 10.1016/j.solener.2021.05.024.
- Chiodetti, M., et al. (2016). *PV bifacial yield simulation with a variable albedo model*. *European Photovoltaic Solar Energy Conference*, 5(4), 1449-1455, <https://www.researchgate.net/publication/338370497>
- Corrêa, M. de P., & Ceballos, J. C. (2008). UVB surface albedo measurements using biometers. *Revista Brasileira De Geofísica*, 26, (4), 411-416. <https://www.scielo.br/j/rbg/a/98BNzSBYtyyw8YLPxVM9KTL/?lang=en>

- Costanzini, S., Ferrari, C., Despini F., & Muscio, A. (2021). Standard test methods for rating of solar reflectance of built-up surfaces and potential use of satellite remote sensors. *Energies*, 14(20), 6626-6650. doi:10.3390/en14206626
- Fabre, S., Briottet, X., & Lesaignoux, A. (2015). Estimation of soil moisture content from the spectral reflectance of bare soils in the 0.4–2.5 μm domain. *Sensors*, 15(2), 3262-3281. doi: 10.3390/s150203262
- Garcia, J. L., Casado, A., & Sample, T. (2019). Electrical performance of bifacial silicon PV modules under different indoor mounting configurations affecting the rear reflected irradiance. *Solar Energy*, 177, 471-482. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2018.11.051>
- Gul, M., Kotak, Y., Muneer, T., & Ivanova, S. (2018). Enhancement of Albedo for Solar Energy Gain with Particular Emphasis on Overcast Skies. *Energies*, 11(11), 2881-2898. 10.3390/en11112881
- Harrison, R. G. (2014). *Meteorological measurements and instrumentation*. Wiley.
- Jouttijärvi, S., Lobaccaro G., Kamppinen A., & Miettunen, K. (2022). Benefits of bifacial solar cells combined with low voltage power grids at high latitudes. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 161, 112354-112370. doi.org/10.1016/j.rser.2022.11235
- Kreinin, L., Karsenty, A., Grobgeld, D., & Eisenberg, N. (2016). PV systems based on bifacial modules: Performance simulation vs. design factors, *IEEE 43rd Photovoltaic Specialists Conference (PVSC)*, 2688-2691. 10.1109/PVSC.2016.7750138.
- Lave, M. S. (2015). *Albedo and Diffuse POA Measurements to Evaluate Transposition Model Uncertainty.*, United States. <https://www.osti.gov/servlets/purl/1529054>
- Loshelder, J. (2020). Soil Moisture Content Determination by Means of the Electromagnetic Spectrum. *Civil Engineering Undergraduate Honors Theses*, <https://scholarworks.uark.edu/cveguht/64>
- Maestri, A., Marinoski, D. L., Lamberts, R., & Guths, S. (2021). Measurement of solar reflectance of roofs: Effect of paint aging and a discussion on ASTM E1918 standard. *Energy and Buildings*, 245, 111057. 10.1016/j.enbuild.2021.111057
- Marion, B., et al. Performance Parameters for Grid-Connected PV Systems. (2005). *IEEE Photovoltaics Specialists Conference and Exhibition*, Springfield, 31. 1601-1606. 10.1109/PVSC.2005.1488451.
- Ng, E. (2001). Daylighting Simulation of Heavily Obstructed Residential Buildings in Hong Kong. *International Building Performance Simulation Association Conference*, Brazil, Anais [...] Rio de Janeiro, 2, 1215-1222. Retrieved from http://www.ibpsa.org/proceedings/BS2001/BS01_1215_1222.pdf
- NREL-National Renewable Energy Laboratory, (2020). bifiPV2020 Bifacial Workshop: A Technology Overview. <https://www.nrel.gov/docs/fy21osti/77817.pdf>
- Qin, Y., & He, H. (2017). A new simplified method for measuring the albedo of limited extent targets. *Solar Energy*, 157, 1047–1055. 10.1016/j.solener.2017.09.027
- Russell T. C. R., Saive R., Augusto A, Bowden SG, & Atwater HA, (2017). A influência do albedo espectral em células solares bifaciais: um estudo teórico e experimental. *IEEE J Photovolt*, 7, 1611-1618, 10.1109 / JPHOTOV.2017.2756068
- Sreenath, S., Sudhakar, K., & Yusop, A. F., (2021). Performance assessment of conceptual bifacial solar PV system in varying albedo conditions. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 1078(1), 012033-0122042. doi.org/10.1088/1757-899x/1078/1/012033
- Stein, J. S., Riley, D., Lave, M., Hansen, C., Deline C., & Toor, F. (2017). Outdoor field performance from bifacial photovoltaic modules and systems. *IEEE Photovoltaic Specialist Conference (PVSC)*, 44. p. 3184-3189, 2017, 10.1109/PVSC.2017.8366042.
- Sun, X., Khan, M. R., Deline, C., & Alam, M. A. (2018). Optimization and performance of bifacial solar modules: A global perspective. *Applied Energy*, 212, 1601–1610. 10.1016/j.apenergy. 2017.12.041
- Takebayashi, H., Miki, K., Sakai, K., Murata, Y., Matsumoto, T., Wada, S., & Aoyama, T. (2016). Experimental examination of solar reflectance of high-reflectance paint in Japan with natural and accelerated aging. *Energy and Buildings*, 114, 173-179.
- Thurston, C. W. (2019). NREL Builds first solar database for bifacial albedo. Retrieved. Oct 22, 2022: <https://cleantechnica.com/2019/02/18/nrel-builds-first-solar-database-for-bifacial-albedo/>
- Tina, G. M., Bontempo S. F, Merlo, L., & Bizzarri, F. (2021). Comparative analysis of monofacial and bifacial photovoltaic modules for floating power plants. *Applied Energy*, 281, 116084.