

CAPÍTULO 6

A ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA NO CONTEXTO DOS ODS 7 E 13

Paulo Lube
Eduardo Winter
Stella Maris Monteiro Moraes
Karollyne G. Castro Monsores
Patrícia Maria Dusek

Centro Universitário Augusto Motta (UNISUAM);
Programa de Pós-graduação em Desenvolvimento Local (PPGDL)

RESUMO

Este artigo explora o papel da energia solar fotovoltaica como uma solução estratégica para atender às demandas energéticas globais e mitigar as mudanças climáticas, em alinhamento com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) 7 e 13. Com foco na transição para uma matriz energética mais diversificada e limpa, discute-se o panorama global e brasileiro da energia solar, destacando a queda nos custos e o avanço tecnológico que tornam essa fonte competitiva. O texto aborda a radiação solar, o efeito fotovoltaico e o impacto das políticas públicas no crescimento do setor. A análise conclui que a energia solar é essencial para a promoção de uma economia de baixo carbono, contribuindo para a redução das emissões de gases de efeito estufa e fortalecendo a segurança energética. Assim, percebe-se a importância de investimentos contínuos e incentivos à adoção da energia solar como parte de uma estratégia global para um futuro energético sustentável.

1. INTRODUÇÃO

Atualmente, os impactos ambientais associados à geração de energia elétrica têm ganhado destaque tanto na mídia quanto na vida cotidiana. Diante dessa realidade, esforços são direcionados ao desenvolvimento de soluções que minimizem tais impactos e tornem os sistemas de geração mais eficientes e sustentáveis.

Nesse contexto, Cunha (2019) destaca a energia solar como uma das principais fontes alternativas, cuja viabilidade é comprovada pelo expressivo crescimento da capacidade instalada, tanto no Brasil quanto globalmente. A energia solar tem desempenhado um papel essencial na transição para uma

matriz energética mais sustentável, alinhada às exigências ambientais atuais e futuras.

A energia solar é captada a partir da radiação solar e convertida em energia elétrica por tecnologias como a fotovoltaica e a energia heliotérmica. De acordo com Pereira (2018), a energia fotovoltaica se destaca por ser uma fonte renovável, convertendo diretamente a luz solar em eletricidade, inclusive em dias nublados, por meio do efeito fotovoltaico, cujo elemento principal é a célula solar.

Nos últimos anos, a energia fotovoltaica apresentou um crescimento substancial, acompanhado de reduções significativas nos custos de geração, reforçando seu potencial como pilar de uma matriz energética integrada e sustentável a longo prazo (Pietzcker et al., 2014). Segundo a IEA (2017), até 2040, as fontes renováveis devem representar dois terços dos investimentos em geração de energia, com a energia solar emergindo como a principal fonte de energia de baixo carbono, liderada por países como China e Índia.

Estudos de casos, como o da Jordânia, apontam os desafios ambientais ligados à dependência de combustíveis fósseis e a urgência na adoção de alternativas renováveis, como a energia solar, para mitigar emissões de carbono (Novosel et al., 2015). No Brasil, a alta incidência de radiação solar em todas as regiões coloca o país em posição privilegiada para explorar essa fonte. Embora atualmente represente menos de 1% da geração elétrica, a energia solar fotovoltaica é uma opção promissora para diversificar a matriz energética, sobretudo no Nordeste, onde os níveis de radiação são mais elevados (Villalva e Gazoli, 2015; Lima Júnior, 2018).

Este estudo está em consonância com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) 7 e 13, que tratam, respectivamente, da promoção de energia acessível e limpa, e da ação contra as mudanças climáticas. O avanço da energia solar fotovoltaica contribui significativamente para a mitigação das emissões de gases de efeito estufa e para o alcance das metas globais estabelecidas para enfrentar a crise climática. Assim, este trabalho visa elucidar a relevância da energia solar fotovoltaica na transição energética e na mitigação das mudanças climáticas, ressaltando seus benefícios para o desenvolvimento sustentável.

2. PANORAMA ENERGÉTICO

Desde a Segunda Revolução Industrial, o petróleo tem sido um elemento central nas relações geopolíticas e no funcionamento da economia moderna (BARROS, 2007). Contudo, sua natureza finita e os impactos ambientais decorrentes de seu uso, especialmente as emissões de CO₂, impulsionam a busca por fontes de energia alternativas nos países desenvolvidos.

O aumento do efeito estufa, causado principalmente pela queima de combustíveis fósseis, é o principal responsável pelo aquecimento global e pelas mudanças climáticas. Em resposta, as energias renováveis vêm

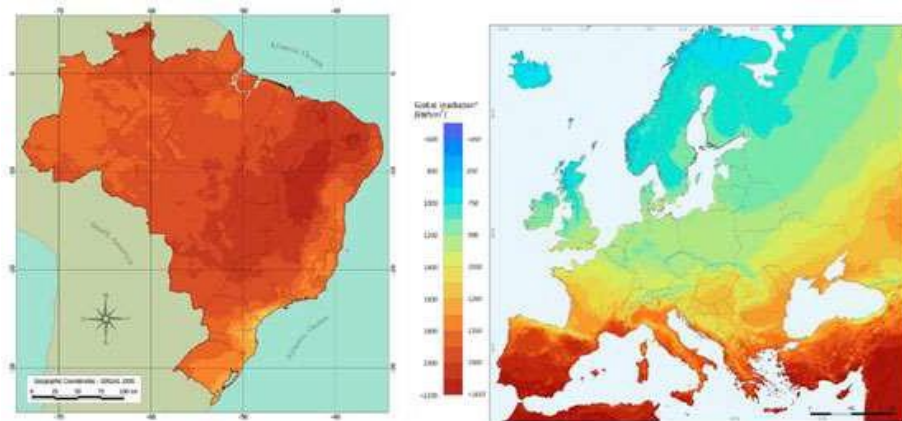
ganhando espaço, oferecendo uma matriz energética mais diversificada e reduzindo a emissão de gases poluentes.

Dentre essas fontes, destaca-se a energia solar, que apresenta características únicas: é inesgotável, silenciosa, estática, simples na operação e modular, podendo ser integrada a edificações e equipamentos. Além disso, ao ser gerada próximo ao ponto de consumo, a energia solar reduz perdas por transmissão, comuns no sistema hidrelétrico brasileiro (ZOMER, 2010).

No cenário global, os investimentos em energia limpa aumentaram 3% em 2017, alcançando US\$ 333,5 bilhões. A China foi a principal responsável por esse crescimento, com recorde de US\$ 132,6 bilhões investidos, enquanto os EUA registraram um aumento de 1% e o Japão uma queda de 16% (BLOOMBERG, 2017). Além disso, os custos da energia solar caíram significativamente, com sistemas fotovoltaicos 25% mais baratos em comparação aos dois anos anteriores.

No Brasil, o recurso solar disponível é superior ao de países como a Alemanha, que utiliza a energia solar em larga escala. O território brasileiro apresenta uma média de irradiação global entre 4,5 e 6,5 kWh/m²/dia (Figura 1), tornando o país altamente favorável para a geração fotovoltaica (COSTA, 2015).

Figura 1. Diferença da irradiação média global no Brasil e na Europa.



Fonte: Atlas Brasileiro de Energia Solar, 2006 e PVGIS, 2012.

As políticas governamentais brasileiras vêm estimulando a expansão da energia solar, possibilitando o surgimento de uma indústria nacional competitiva. Em 2016, o número de microgeradores solares cresceu 407%, com destaque para as instalações residenciais, que representaram 80% do total. A previsão da ANEEL é que, até 2024, haja 886,7 mil unidades consumidoras de energia solar, com uma potência instalada de 3,2 GW.

À medida que o mercado de energia solar se expande, ocorrem reduções de custos e melhorias em competitividade, escala de produção e poder de compra de equipamentos, promovendo uma maior integração dessa tecnologia na matriz energética brasileira (NAKABAYASHI, 2015).

3. ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA

3.1 RADIAÇÃO SOLAR

A maior parte da luz natural que chega à Terra é proveniente do Sol, classificada como radiação eletromagnética. Além de essencial para a vida, a radiação solar pode ser utilizada para gerar eletricidade por meio da conversão fotovoltaica, onde células solares transformam energia solar em energia elétrica. Essa fonte é considerada limpa, confiável e sustentável, uma vez que é abundante, não poluente e inesgotável (BRITO; MAGARREIRO; FREITAS, 2016).

Apesar de sua abundância, a radiação solar incide de forma desigual nas diferentes regiões do planeta. Portanto, para avaliar o potencial fotovoltaico de uma localidade, é necessário caracterizar a radiação recebida em cada momento. A radiação solar global incidente em uma superfície horizontal pode ocorrer de forma direta ou difusa. A radiação difusa é geralmente medida por piranômetros, solarímetros ou através da actinografia, enquanto a radiação direta é registrada por pireliômetros.

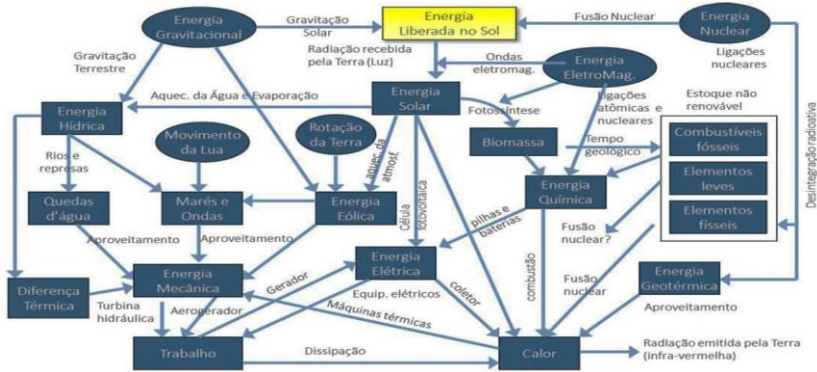
Esses dispositivos, embora precisos, são de alto custo e instalados em locais específicos, limitando sua viabilidade. Além disso, falhas nos registros podem ocorrer. Como alternativa, dados meteorológicos, como temperatura, umidade e a proporção de luz solar, podem ser utilizados para desenvolver modelos matemáticos que estimem a radiação solar direta e difusa (PANDEY; KATIYAR, 2013). Esses modelos podem ser lineares, não lineares (KHATIB et al., 2011), baseados em redes neurais artificiais (SHANMUGAPRIYA; IQBAL, 2015) ou em lógica difusa (DEO; WEN; QI, 2016).

Como o movimento aparente do sol é bem conhecido, é possível determinar os ângulos ideais para maximizar a incidência solar sobre as células fotovoltaicas, garantindo uma maior eficiência.

Embora a energia solar seja renovável na escala humana, eventualmente também se esgotará em um horizonte temporal distante (TAVARES, 2000). Quase todas as formas de energia na Terra, renováveis ou não, derivam da radiação solar.

A Figura 2 ilustra as transformações energéticas decorrentes dessa radiação.

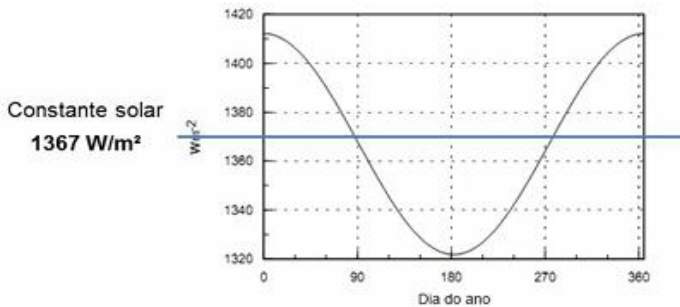
Figura 2. Transformações Energéticas da Radiação Solar.



Fonte: Adaptado de LA ROVERE et al., 1985

A Figura 3 demonstra a variação da intensidade de irradiância solar no topo da atmosfera ao longo do ano, variando de 1.325 W/m² a 1.412 W/m², com uma média de 1.367 W/m², conhecida como constante solar (I_0), adotada pelo World Radiation Center.

Figura 3 : Variação da Irradiância solar Extraterrestre ao longo do ano



Fonte: Adaptado de CEPTEL, 2014

3.2 EFEITO FOTOVOLTAICO

Em 1839, o físico francês Alexandre-Edmond Becquerel observou que, ao expor uma solução eletrolítica com eletrodos de metal à luz solar, a condutividade aumentava. Esse fenômeno marcou o início da investigação sobre o efeito fotovoltaico. Em 1873, Willoughby Smith descobriu a

fotocondutividade no selênio sólido, e, em 1876, Adams e Day observaram que a junção de selênio e platina, quando exposta à radiação solar, produzia eletricidade. A primeira célula fotoelétrica foi construída em 1883 por Charles Fritts, que utilizou uma camada fina de ouro sobre selênio semicondutor para criar uma junção (ZILLES et al., 2012).

O efeito fotovoltaico é o processo pelo qual uma célula fotovoltaica, ao ser exposta à luz solar, gera tensão ou corrente elétrica. Este fenômeno é responsável pela conversão de luz solar em eletricidade nos painéis solares. Becquerel descobriu esse efeito ao realizar experimentos com células úmidas, onde notou que a voltagem aumentava quando as placas de prata eram expostas à luz solar (NOCITO; KONCAR, 2016).

Em 1905, Albert Einstein descreveu as leis que regem a natureza da luz e o efeito fotovoltaico, trabalho que lhe rendeu o Prêmio Nobel de Física. Nos anos 1930, surgiram as primeiras células de óxido de cobre e selênio, e, em 1954, células de silício começaram a fornecer energia elétrica (PINTO et al., 2015).

A partir de 1956, a produção de células fotovoltaicas se expandiu com o crescimento da indústria eletrônica e o lançamento de satélites espaciais, que necessitavam de um sistema elétrico confiável e duradouro, já que as baterias não atendiam à demanda crescente de energia. O sistema fotovoltaico se mostrou a solução ideal (PINHO; GALDINO, 2014).

Na década de 1980, o crescimento do uso de energia fotovoltaica disparou, com a instalação de várias centrais solares, além de aplicações em residências e iluminação pública (PINTO et al., 2015).

A luz solar é composta por fótons, que são pacotes de radiação eletromagnética. Quando um fóton atinge uma célula fotovoltaica, a energia é transferida para os elétrons do material semicondutor na junção p-n. Esse ganho de energia faz com que os elétrons se movam para a banda de condução, deixando "buracos" na banda de valência. Esse movimento cria um par elétron-buraco, gerando a corrente elétrica (NOCITO; KONCAR, 2016).

3.3. MOVIMENTO DO SOL DURANTE O ANO

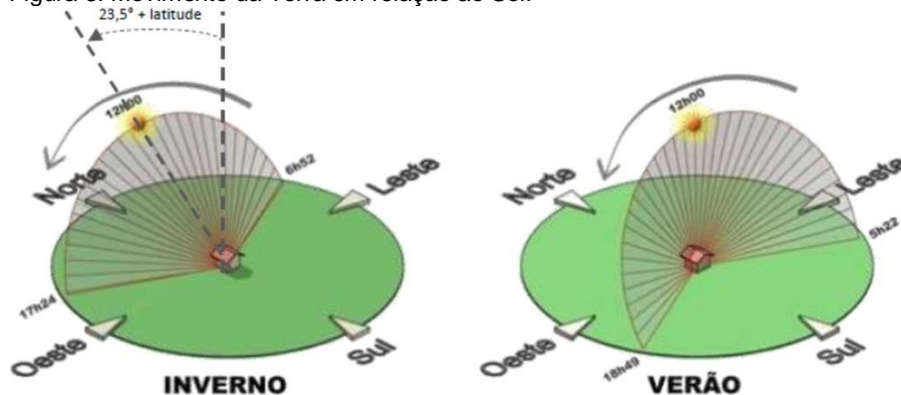
O movimento aparente do sol ao longo do ano, em direção aos polos da Terra, causa uma oscilação observável a partir da superfície terrestre. Essa oscilação ocorre no eixo norte-sul, e é fundamental para determinar a melhor orientação dos painéis solares, a fim de maximizar a captação de energia. A

Figura 3 ilustra esse movimento anual do Sol em relação à Terra (SOLARIZE, 2017).

A radiação solar pode ser captada pelos painéis fotovoltaicos durante todo o dia, no entanto, é ao meio-dia solar que a radiação atinge seu pico de

intensidade, proporcionando o ponto de máxima potência do gerador fotovoltaico (SOLIENS, 2017).

Figura 3. Movimento da Terra em relação ao Sol.



Fonte: SOLARIZE (2017).

4. ENERGIA LIMPA E AÇÃO CLIMÁTICA

Por ser uma fonte renovável e abundante, a energia solar contribui para a diversificação da matriz energética e a redução da dependência de combustíveis fósseis. Com sua modularidade, ela é aplicável em diferentes escalas, promovendo eletrificação em áreas remotas e melhorando a eficiência energética em sistemas de grande porte. Além disso, a geração distribuída reduz perdas na transmissão e facilita o acesso a fontes limpas de energia.

Em relação ao ODS 13, a substituição de fontes fósseis por energia fotovoltaica contribui para a descarbonização da matriz energética e diminui a pegada de carbono de setores críticos. Essa fonte de energia renovável é fundamental para mitigar o aquecimento global, alinhando-se com as metas globais de redução de CO₂.

Sendo assim, a partir dos conceitos apresentados e das metas da ONU para os ODS 7 e 13, a energia solar tem papel central na transição para uma economia de baixo carbono. Ela não apenas facilita o acesso a energia limpa e moderna, mas também é uma ferramenta eficaz na mitigação das emissões de GEE, promovendo uma economia sustentável e resiliente, alinhada às exigências climáticas globais.

5. CONCLUSÃO

A energia solar fotovoltaica se apresenta como uma solução estratégica no contexto atual de transição energética e combate às mudanças climáticas. Sua contribuição vai além da diversificação da matriz energética,

promovendo a descentralização da geração de energia, maior eficiência no uso de recursos e redução de perdas no sistema elétrico.

O avanço tecnológico e a queda nos custos de sistemas fotovoltaicos têm tornado essa fonte cada vez mais competitiva, acelerando sua adoção em diversas partes do mundo. No Brasil, o vasto potencial solar oferece uma oportunidade única para liderar a implementação de energias renováveis e alcançar metas ambiciosas de sustentabilidade, fortalecimento da segurança energética e promoção de uma economia de baixo carbono.

Nesse cenário, é essencial que políticas públicas, incentivos econômicos e iniciativas privadas continuem impulsionando a adoção de tecnologias solares, garantindo um futuro energético sustentável e em harmonia com os desafios climáticos globais.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BLOOMBERG (Estados Unidos). Bloomberg New Energy Finance. 2017. Disponível em: <https://about.bnef.com/clean-energy-investment/>. Acesso em: 16 out. 2018.

BRITO, Miguel Centeno; MAGARREIRO, Clarisse; FREITAS, Sara. Radiação e Energia Solar. *Gazeta de Física*, Portugal, v. 39, n. 1/2, p.57-59, jun. 2016.

CEPEL ELETROBRAS, 2014, Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos. Rio de Janeiro: CRESESB – Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito.

COSTA, E.R. Limitações no Uso de Coletores Solares sem Cobertura para Sistemas Domésticos de Aquecimento de Água. Dissertação de Mestrado, PROMEC/UFRGS, Porto Alegre RS, 2015.

CUNHA, Eduardo Argou Aires. Aspectos históricos da energia eólica no Brasil e no mundo. *Revista Brasileira de Energias Renováveis*, v.8, n.4, p.689- 697, 2019.

DEO, Ravinesh C.; WEN, Xiaohu; QI, Feng. A wavelet-coupled support vector machine model for forecasting global incident solar radiation using limited meteorological dataset. *Applied Energy*, [s.l.], v. 168, p.568-593, abr. 2016. Elsevier BV.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (França). *Technology Roadmap: Solar Photovoltaic Energy*. Paris: IEA, 2014.

KHATIB, Tamer et al. Modeling of Daily Solar Energy on a Horizontal Surface for Five Main Sites in Malaysia. *International Journal Of Green Energy*, [s.l.], v. 8, n. 8, p.795-819, nov. 2011. Informa UK Limited.

LA ROVERE, E.; ROSA, L. P.; RODRIGUES, A. P., 1985, *Economia e tecnologia da energia*. Rio de Janeiro, RJ: Editora Marco Zero.

LIMA JÚNIOR, Claudemiro et al. Energia solar: metodologia para avaliação do local de instalação de sistema fotovoltaico fomentando a educação ambiental. *Revbea*, São Paulo, V. 13, No 3: 233-244, 2018.

NAKABAYASHI, Rennyo. *Microgeração fotovoltaica no Brasil: viabilidade econômica*. Instituto de Energia e Ambiente da USP. São Paulo: USP, 2015.

NOCITO, C.; KONCAR, V.. Flexible photovoltaic cells embedded into textile structures. *Smart Textiles And Their Applications*, [s.l.], p.401-422, 2016.

NOVOSEL, T. et al. (2015). Integration of renewables and reverse osmosis desalination e Case study for the Jordanian energy system with a high share of wind and photovoltaic, *Energy*, 92, 270-278. [Http://dx.doi.org/10.1016/j.energy.2015.06.057](http://dx.doi.org/10.1016/j.energy.2015.06.057).

PANDEY, C. K.; KATIYAR, A. K.. *Solar Radiation: Models and Measurement Techniques*. *Journal Of Energy*, [s.l.], v. 2013, p.1-8, 2013. Hindawi Limited.

PEREIRA, Fabiana Luzia; MENDES, Marina Alves. *O uso de energia solar fotovoltaica como alternativa à redução da fatura de energia elétrica em blocos universitários*. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Civil) - Universidade do Sul de Santa Catarina, 2018.

PIETZCKER, R.; STETTER, D.; MANGER, S.; LUDERER, G. (2014). Using the sun to decarbonize the power sector: The economic potential of photovoltaic and concentrating solar power. *Applied Energy*, 135 (15), 704-720. RIBEIRO, Júlia Werneck; ROOKE, Juliana Maria Scoralick. *Saneamento básico e sua relação com o meio ambiente e a saúde pública*. Monografia de especialização (Análise Ambiental) - Universidade Federal de Juiz de Fora, 2010.

PINHO, J.T.; GALDINO, M. A. *Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos*, Ed. Revisada, 2014, RJ.

PINTO, C.; CATARINO, J.; CORREIA, M.; LEITE, P.; COSTA, S. (2015). *Energia Solar*, projeto FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERCIDADE

DO PORTO (2015), PORTUGAL. Disponível em: http://paginas.fe.up.pt/~projfeup/submit_14_15/uploads/relat1MIEEC03_1.pdf Acesso em: 03 de junho de 2019.

SHANMUGAPRIYA, S.; IQBAL, Mohammad Hashif. Solar Radiation Prediction using Artificial Neural Network. International Journal Of Computer Applications, [s.l.], v. 116, n. 16, p.28-31, 22 abr. 2015. Foundation of Computer Science.

SOLARIZE. Solarize Serviços em Tecnologia Ambiental Ltda. Curso de energia solar, projetista de sistema fotovoltaico conectado à rede, Hans Rauschmayer, Eng. Ronaldo Rocha, Rio de Janeiro (2017).

SOLIENS VIRTUAL ACADEMY. Disponível em: http://www.soliens.com.br/fundamem_tosdeenergiasolarfotovoltaica.pdf .Acesso em: 20 de novembro de 2018.

TAVARES, M, 2000, Aprendendo sobre o Sol. Revista Brasileira de Ensino de Física, vol. 22, no. 1, março 2000.

VILLALVA, Marcelo Gradella; GAZOLI, Jonas Rafael. Energia Solar Fotovoltaica: Conceitos e Aplicações. 2. ed. São Paulo: Érica, 2015.

ZILLES, R.; MACÊDO, W. N.; GALHARDO, M. A. B.; OLIVEIRA, S. H. F. (2012). Sistemas Fotovoltaico Conectado à Rede Elétrica, 1ª ed. 2012, São Paulo: Oficina de Textos.ENERGITAL. Disponível em <https://www.energiatotal.com.br/painel-solar-canadian-275w> Acesso em: 12 de novembro de 2018.

ZOMER, Clarissa Debiase. Megawatt Solar: Geração solar fotovoltaica integrada a uma edificação inserida em meio urbano e conectada à rede elétrica. Dissertação de Mestrado. Santa Catarina: UFSC, 2010.