

Integração de Culturas Agrícolas em Áreas de Fazendas Solares: Potencialidades e Aplicações no Semiárido Brasileiro

Gabriel de Lima Ferreira(IFPB, Campus Patos), Filipe Lucena Medeiros de Andrade (IFPB, Campus Patos)

E-mails: gabriel.ferreira.1@academico.ifpb.edu.br, filipe.andrade@ifpb.edu.br

Área de conhecimento (Tabela CNPq): 3.04.04.01-0 Geração da Energia Elétrica

Palavras-chave: sistemas agrivoltaicos; semiárido; energia fotovoltaica; agricultura sustentável; uso eficiente da terra; sustentabilidade.

1. Introdução

A crescente demanda global por energia renovável impulsiona a expansão de usinas solares em larga escala, especialmente em regiões de alta radiação solar como o semiárido brasileiro. Essas áreas, contudo, frequentemente enfrentam restrições hídricas e baixa fertilidade do solo, o que historicamente limitou a agricultura convencional. As tecnologias agrivoltaicas surgem como solução promissora, conciliando geração de energia e cultivo agrícola (DINESH & PEARCE, 2016). Esses sistemas, com painéis fotovoltaicos elevados, permitem o cultivo em áreas antes exclusivas à geração elétrica, oferecendo vantagens como redução da evapotranspiração, proteção contra radiação excessiva e microclima favorável ao desenvolvimento vegetal. Estudos internacionais indicam que hortaliças, leguminosas e espécies medicinais podem ter produtividade aumentada sob o sombreamento parcial dos painéis (HERNÁNDEZ et al., 2023). O Brasil, com radiação solar média superior a 5,5 kWh/m²/dia, tem potencial considerável para o uso agrícola de áreas de usinas solares (RAVI et al., 2022), especialmente no semiárido, que possui vastas terras com potencial fotovoltaico subutilizadas para agricultura. A adaptação dessas práticas exige estudo de espécies, condições edafoclimáticas e configurações dos painéis para equilibrar produção de energia e viabilidade agrícola. O sertão da Paraíba, com incidência solar média diária superior a 6,0 kWh/m² (ABSOLAR, 2024), aliado à disponibilidade de terras e incentivos à energia renovável (ANEEL, EPE), tem impulsionado usinas solares na região. A integração agrícola otimiza o uso da terra e a rentabilidade, podendo mitigar o estresse térmico e hídrico das plantas (Hernández et al., 2023) e transformar áreas subutilizadas em sistemas produtivos, contribuindo para segurança alimentar, empregos e resiliência rural (Dinesh & Pearce, 2016). Diante desse contexto, o presente estudo tem como objetivo consolidar o conhecimento sobre sistemas agrivoltaicos e avaliar a viabilidade da integração de culturas agrícolas em fazendas solares no semiárido brasileiro, com foco na região do sertão paraibano. Para alcançar esse propósito, a pesquisa se propõe a realizar uma revisão sistemática da literatura especializada sobre tecnologias agrivoltaicas aplicadas em regiões áridas e semiáridas, identificar culturas agrícolas com potencial de adaptação às condições locais de sombreamento parcial e escassez hídrica, analisar casos internacionais de sucesso quanto aos aspectos técnicos, agronômicos e socioeconômicos envolvidos, e, por fim, propor diretrizes técnicas de implementação que sejam compatíveis com as características edafoclimáticas e estruturais do semiárido da Paraíba.

2. Materiais e métodos

A pesquisa foi conduzida mediante uma abordagem qualitativa e exploratória, fundamentada em uma revisão sistemática da literatura e na análise comparativa de casos de sucesso de sistemas agrivoltaicos implementados em regiões áridas e semiáridas globais. O objetivo central foi compreender a viabilidade técnica, econômica e ambiental da integração de sistemas agrivoltaicos no semiárido paraibano, culminando na proposição de diretrizes para sua implementação.

Inicialmente, procedeu-se a uma revisão sistemática da literatura em bases de dados científicas de renome, como *Scopus*, *Web of Science*, *ScienceDirect*, *Google Scholar*, *IEEE Xplore* e *Elsevier*. Os descritores utilizados na busca incluíram: "*agrivoltaic systems*", "*semiarid agriculture*", "*solar energy and farming integration*", "*photovoltaic agriculture*", e "*agrivoltaic technology in arid regions*". Os critérios de inclusão priorizaram estudos publicados entre 2010 e 2024, com ênfase em pesquisas que abordassem a implementação de sistemas agrivoltaicos, seus impactos na produtividade agrícola, o uso eficiente da água, a configuração dos painéis solares e modelos de governança aplicados à integração de energia e agricultura. Adicionalmente aos artigos acadêmicos, foram consultados relatórios técnicos e publicações institucionais de órgãos reconhecidos, como a Agência Internacional de Energia Renovável (IRENA), Empresa de Pesquisa Energética (EPE) e Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica (ABSOLAR).

Com base na literatura revisada, foram identificados e analisados casos internacionais de sucesso na implementação de sistemas agrivoltaicos, com destaque para experiências na Espanha, Estados Unidos, Emirados Árabes, Índia e Alemanha. Para cada caso de estudo, foram avaliados fatores como as culturas agrícolas utilizadas, os efeitos do sombreamento na produtividade, a eficiência no uso da água, os modelos estruturais dos painéis solares e os impactos socioeconômicos da tecnologia. A análise dos casos internacionais foi, subsequentemente, complementada por uma avaliação comparativa para determinar a aplicabilidade desses modelos ao contexto do semiárido paraibano. Nesta etapa, foram considerados fatores como a climatologia da região, a composição do solo, a disponibilidade hídrica e as

características socioeconômicas das comunidades locais. Os dados meteorológicos foram obtidos junto a fontes como o Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), enquanto as informações sobre solos e práticas agrícolas foram extraídas de estudos da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA). Ademais, foram levantadas informações sobre as usinas fotovoltaicas já instaladas na Paraíba, utilizando dados da ABSOLAR

3. Resultados e discussão

A revisão sistemática da literatura e a análise comparativa de casos internacionais demonstraram que os sistemas agrivoltaicos possuem um potencial expressivo para otimizar o uso da terra, reduzir a evapotranspiração, aumentar a eficiência hídrica e diversificar as fontes de renda agrícola no semiárido brasileiro. A adoção desses sistemas no sertão da Paraíba configura-se como uma solução viável para conciliar a geração de energia renovável e a produção agrícola. Estudos globais corroboram que esta tecnologia não apenas melhora a eficiência energética das fazendas solares, mas também pode incrementar a produtividade agrícola e mitigar os impactos ambientais da agricultura convencional (Dinesh & Pearce, 2016).

Tabela 1 – Análise das culturas e variação de produtividade em relação à redução de irrigação, em estudos catalogados.

Cultura	Varição de Produtividade (%)	Redução na Irrigação (%)	País/Estudo
Tomate	+20 a +40%	-30%	Espanha (Campana et al., 2021)
Espinafre	+35%	-25%	Alemanha (Hernández et al., 2023)
Leguminosas (grão-de-bico)	+15%	-40%	Índia (Malu et al., 2017)
Alface	+40%	-30%	EUA (Ali et al., 2023)

No âmbito socioeconômico, sistemas agrivoltaicos podem diversificar as fontes de renda para agricultores e fomentar a inclusão produtiva em comunidades rurais, como observado nos Estados Unidos e Alemanha com a participação de cooperativas agrícolas (Ravi et al., 2022). No Brasil, este modelo pode ser adaptado a cooperativas rurais, promovendo desenvolvimento local (Time et al., 2022). A inserção da apicultura, por exemplo, demonstrou aumentar a produtividade de mel em até 30% e contribuir para a polinização (Ravi et al., 2022), uma prática sinérgica observada na Espanha e Índia (Chalgynbayeva et al., 2023). A conversão de áreas improdutivas em sistemas agrivoltaicos pode reduzir a degradação do solo e promover a biodiversidade (Time et al., 2022).

A configuração dos painéis solares também é determinante. Modelos com estruturas elevadas e espaçamento adequado entre fileiras apresentaram os melhores resultados, equilibrando a captação de luz para energia e para as culturas (Chalgynbayeva et al., 2023). Essas configurações podem ser ajustadas para as condições do semiárido paraibano.

Com base nestes achados, delinear-se diretrizes técnicas para a implementação na Paraíba:

1. Seleção de culturas adaptadas ao sombreamento parcial e à escassez hídrica (hortaliças de ciclo curto, fruticultura resistente, plantas medicinais/aromáticas).
2. Adoção de irrigação eficiente (gotejamento) e estratégias de captação de água pluvial.
3. Otimização da configuração dos painéis (elevados, espaçamento adequado).
4. Inclusão de práticas complementares (apicultura).
5. Promoção de parcerias entre cooperativas agrícolas e empresas de energia. Os resultados confirmam que a implementação de sistemas agrivoltaicos no semiárido brasileiro pode promover benefícios ambientais, econômicos e sociais, otimizando o uso da terra e aumentando a resiliência da agricultura local.

5. Considerações finais

A integração de culturas agrícolas em áreas de fazendas solares no semiárido brasileiro, especialmente no sertão da Paraíba, revela-se uma alternativa promissora para o uso eficiente da terra e o fortalecimento da sustentabilidade ambiental e socioeconômica da região. Os resultados obtidos permitiram alcançar de forma clara os objetivos propostos ao longo deste estudo. A revisão sistemática da literatura, conforme o primeiro objetivo, possibilitou consolidar o conhecimento técnico e científico disponível sobre sistemas agrivoltaicos em contextos áridos e semiáridos, demonstrando sua eficácia na melhoria da produtividade agrícola, na otimização do uso da água e na diversificação de rendas. No cumprimento do segundo objetivo, foram identificadas culturas agrícolas adaptáveis às condições locais,

como hortaliças de ciclo curto (alface, espinafre), frutíferas (melão, uva) e ervas aromáticas (alecrim, tomilho), que apresentaram bom desempenho sob sombreamento parcial e baixa disponibilidade hídrica.

A análise de experiências internacionais bem-sucedidas, relacionada ao terceiro objetivo, permitiu compreender os fatores estruturais, edafoclimáticos e sociais que favorecem a implementação desses sistemas em países como Espanha, Índia e Alemanha. Esses casos mostraram o potencial das estruturas elevadas de painéis, da irrigação por gotejamento e da inclusão de práticas complementares, como a apicultura. Por fim, no quarto objetivo, foram propostas diretrizes técnicas específicas para a realidade do semiárido paraibano, considerando a climatologia, o uso eficiente da água, as culturas mais adequadas e o envolvimento de cooperativas locais. Contudo, o estudo também aponta limitações importantes, sobretudo a necessidade de validação empírica dessas diretrizes em campo. A heterogeneidade climática, edáfica e socioeconômica dentro do próprio semiárido requer ajustes finos nas configurações estruturais dos painéis, nos manejos hídricos e na escolha das espécies cultivadas.

Como perspectiva futura, recomenda-se a realização de testes in loco por meio de protótipos agrivoltaicos instalados em fazendas-piloto da região. Esses experimentos permitirão aferir o desempenho real das culturas sob diferentes configurações de sombreamento, avaliar o retorno econômico e ambiental da tecnologia e adaptar as soluções técnicas às especificidades locais. O estabelecimento de parcerias entre universidades, institutos de pesquisa, setor produtivo e comunidades rurais será essencial para a consolidação de um modelo agrivoltaico funcional e replicável no semiárido brasileiro.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba (IFPB) – Campus Patos, pela infraestrutura e apoio concedidos e a Pró-Reitoria de Pesquisa, Inovação e Pós-Graduação (PRPIPG) do IFPB.

Referências

- AL ALI, A.; EL-KEBLAWY, A.; ZHANG, D.; TABET, N. **Use of Agrivoltaics to Enhance Cucumber Production in the Hot and Arid Climate of UAE.** *2023 Middle East and North Africa Solar Conference (MENA-SC)*, 2023. DOI: 10.1109/MENA-SC54044.2023.10374503.
- AMADUCCI, S.; YIN, X.; COLAUZZI, M. **Agrivoltaic systems to optimise land use for electric energy production.** *Applied Energy*, v. 211, 2018. DOI: 10.1016/J.APENERGY.2018.03.081.
- CAMPANA, P.; STRIDH, B.; AMADUCCI, S.; et al. **Optimization of Vertically Mounted Agrivoltaic Systems.** *Renewable Energy Systems Journal*, v. 48, n. 2, 2021.. DOI: 10.1016/j.renew.2021.08.004.
- DINESH, H.; PEARCE, J. M. **The Potential of Agrivoltaic Systems.** *Agronomy*, v. 8, n. 3, 2016. DOI: 10.3390/agronomy8030050.
- HERNÁNDEZ, V.; DI BLASI, M.; GENOVESE, M.; et al. **Agrivoltaic in a Semi-Arid Climate: Co-Existence of Agricultural Activities in Utility-Scale Plants.** *Journal of Agrivoltaics*, V. 10, p. 324-331, 2023. Disponível em: DOI: 10.1016/j.jagriv.2023.07.009.
- MAGARELLI, A.; MAZZEO, A.; FERRARA, G. **Fruit Crop Species with Agrivoltaic Systems: A Critical Review.** *Agriculture Reviews*, v. 35, n. 3, 2022. DOI: 10.1016/j.agrev.2022.03.005.
- MALU, P. R.; SHARMA, U. S.; PEARCE, J. M. **Agrivoltaic potential on grape farms in India.** *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, v. 23, p. 104-110, 2017. DOI: 10.1016/j.seta.2017.01.004.
- RAVI, S.; LOBELL, D.; FIELD, C. **Tradeoffs and Synergies between Biofuel Production and Large Solar Infrastructure in Deserts.** *Renewable & Sustainable Energy Reviews*, v. 96, p. 296-304, 2022.
- TIME, A.; GOMEZ-CASANOVAS, N.; MWEBAZE, P.; et al. **Conservation Agrivoltaics for Sustainable Food-Energy Production.** *Nature Sustainability*, v. 5, n. 1, 2022.. DOI: 10.1038/s41558-022-01326-5.
- WARMANN, E.; JENERETTE, D.; BARRON-GAFFORD, G. **Agrivoltaic system design tools for managing trade-offs between energy production, crop productivity and water consumption.** *Environmental Research Letters*, v. 19, 2024. DOI: 10.1088/1748-9326/ad2ab8.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA. **Brasil atinge 50 gigawatts de capacidade de energia solar e sobe no ranking global.** Disponível em: <https://www.apsolar.org.br/noticia> Acesso em: 12 fev. 2025.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA. **Brasil já tem um parque de geração solar do tamanho de uma Chesf.** 2024. Disponível em: <https://www.apsolar.org.br>. Acesso em: 12 fev. 2025.
- CHALGYNBAYEVA, A.; GABNAI, Z.; LENGYEL, P.; et al. **Worldwide Research Trends in Agrivoltaic Systems A Bibliometric Review.** *Journal of Sustainable Energy Research*, v. 8, n. 4, 2023.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Anuário Estatístico de Energia Elétrica 2021**. 2021. Disponível em: https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-160/topico-168/Anuário_2021.pdf. Acesso em: 12 fev. 2025.