

# Impactos socioeconômicos e ambientais dos sistemas Agrovoltaicos para a sustentabilidade agrícola no Brasil

## Socioeconomic and environmental impacts of agrivoltaic systems for agricultural sustainability in Brazil

Rafaela Ribeiro dos Santos, Hugo Tiago Ribeiro Amaro, Edson Marcos Viana Porto, Wander Guilherme da Silva Leles e Jhennifer Thaina Santos Silva\*

*Departamento de Ciências Agrárias, Universidade Estadual de Montes Claros, Janaúba, Brasil*  
(\*E-mail: [jhenniferferts@hotmail.com](mailto:jhenniferferts@hotmail.com))  
<https://doi.org/10.19084/rca.45780>

Recebido/received: 2026.03.03  
Aceite/accepted: 2026.03.19

### RESUMO

A crescente demanda por soluções energéticas sustentáveis, alinhada aos desafios impostos pelas mudanças climáticas, tem impulsionado o desenvolvimento de tecnologias capazes de conciliar a produção agrícola com a geração de energia renovável. Nesse cenário, os sistemas agrovoltaicos emergem como alternativa inovadora ao integrar módulos fotovoltaicos em áreas de cultivo. Diante do exposto, objetivou-se analisar a relevância e os impactos da aplicação de sistemas agrovoltaicos na agricultura, destacando suas contribuições para a sustentabilidade energética e produtiva na agricultura brasileira. A análise desenvolvida ao longo do trabalho permitiu compreender que os sistemas agrovoltaicos representam uma solução estratégica para os desafios contemporâneos relacionados ao uso eficiente da terra, à produção de alimentos e à geração de energia renovável. Foi possível observar que o conceito, ainda em fase de expansão no Brasil, já se mostra consolidado em diversas regiões do mundo como alternativa sustentável para conciliar agricultura e geração solar fotovoltaica. A aplicação do agrovoltaico possibilita benefícios múltiplos, entre eles a otimização do uso do solo, a diversificação da renda agrícola, a redução de custos energéticos e a contribuição efetiva para a mitigação das mudanças climáticas.

**Palavras-chave:** Agroenergia, Agricultura sustentável, Energia fotovoltaica, Inovação tecnológica.

### ABSTRACT

The growing demand for sustainable energy solutions, coupled with the challenges posed by climate change, has driven the development of technologies capable of reconciling agricultural production with renewable energy generation. In this scenario, agrivoltaic systems emerge as an innovative alternative by integrating photovoltaic modules into cultivated areas. Given this, the objective was to analyze the relevance and impacts of applying agrivoltaic systems in agriculture, highlighting their contributions to energy and productive sustainability in the semi-arid region of Minas Gerais. The analysis developed throughout this work allowed us to understand that agrivoltaic systems represent a strategic solution to contemporary challenges related to the efficient use of land, food production, and renewable energy generation. It was possible to observe that the concept, still in its expansion phase in Brazil, is already consolidated in various regions of the world as a sustainable alternative to reconcile agriculture and photovoltaic solar generation. The application of agrivoltaics enables multiple benefits, including the optimization of land use, diversification of agricultural income, reduction of energy costs, and an effective contribution to mitigating climate change.

**Keywords:** Agroenergy, Sustainable agriculture, Photovoltaic energy, Technological innovation.

## INTRODUÇÃO

A crescente demanda por soluções energéticas sustentáveis, alinhada aos desafios impostos pelas mudanças climáticas, tem impulsionado o desenvolvimento de tecnologias capazes de conciliar a produção agrícola com a geração de energia renovável. Nesse cenário, os sistemas agrovoltáicos emergem como alternativa inovadora ao integrar módulos fotovoltaicos em áreas de cultivo, promovendo o uso dual do solo e possibilitando benefícios econômicos, sociais e ambientais. A aplicação desses sistemas no Brasil tem ganhado relevância, sobretudo diante da necessidade de diversificação da matriz energética e da otimização dos espaços rurais (Casagrande, 2023). A proposta central dos sistemas agrovoltáicos está em viabilizar a produção simultânea de alimentos e eletricidade, favorecendo a resiliência das propriedades rurais e a geração de novas fontes de renda. Estudos apontam que a adoção desse modelo contribui não apenas para a redução de custos energéticos no meio agrícola, mas também para a valorização das áreas produtivas, especialmente em regiões sujeitas a condições ambientais adversas.

No semiárido brasileiro, por exemplo, a aplicação de projetos de geração solar integrada ao cultivo tem se mostrado uma estratégia viável para mitigar processos de desertificação. Isso ocorre porque a presença dos módulos fotovoltaicos reduz a temperatura do solo, diminui a evapotranspiração, melhora a retenção de umidade e contribui para a recuperação da cobertura vegetal; fatores essenciais para reduzir a degradação ambiental intensificada pela ação antrópica, como super exploração do solo e práticas agrícolas inadequadas (Carvalho, 2023).

Pesquisas recentes reforçam que os sistemas agrovoltáicos vão além da simples produção de energia, sendo capazes de alterar o microclima das estufas e plantações, oferecendo condições mais equilibradas para o desenvolvimento vegetal. A integração de módulos fotovoltaicos ao ambiente agrícola não implica sua instalação dentro das estufas, mas sim a utilização de estruturas elevadas sobre a área de cultivo, formando um sombreamento parcial semelhante ao microclima de estufas. Esse arranjo demonstrou impactos positivos no controle da temperatura, luminosidade e umidade, fatores

determinantes para o rendimento das culturas. Experimentos realizados em Portugal evidenciaram que, mesmo com sombreamento parcial, não foram observadas perdas significativas na qualidade das hortaliças produzidas, ao passo que se alcançou um retorno econômico satisfatório com a venda da energia elétrica gerada (Silva, 2024).

No Brasil, a discussão sobre a modernização da agricultura caminha junto com o conceito de agricultura 4.0, que inclui a automação, o uso de sensores e a geração de energia renovável integrada ao sistema produtivo. Nesse contexto, o desenvolvimento de casas de vegetação inteligentes com suplementação artificial de luz em sinergia com módulos fotovoltaicos representa um avanço promissor. Experimentos já indicam que plantas cultivadas sob tais condições apresentam maior crescimento e melhor aproveitamento energético, o que amplia a eficiência do sistema agrovoltáico (Damasceno, 2024). Além disso, persistem dúvidas sobre como o sombreamento parcial provocado pelos painéis solares influencia diferentes culturas agrícolas, já que os resultados experimentais variam conforme o clima, o tipo de solo e a espécie cultivada.

Diante do exposto, este estudo objetivou analisar a relevância e os impactos da aplicação de sistemas agrovoltáicos na agricultura, destacando suas contribuições para a sustentabilidade energética e produtiva na agricultura brasileira. Para alcançar esse propósito, a pesquisa adota uma abordagem bibliográfica e exploratória, de caráter qualitativo, fundamentada na análise de produções científicas nacionais e internacionais relacionadas ao tema. Utilizaram-se como palavras-chave, individualmente e em combinação, os termos: “sistemas agrovoltáicos”, “energia solar fotovoltaica”, “agricultura sustentável”, “semiárido”, “produção agrícola”, “eficiência energética” e “sustentabilidade rural”.

## REFERENCIAL TEÓRICO

### *Energia solar fotovoltaica e sustentabilidade*

A energia solar fotovoltaica representa uma das principais alternativas renováveis para enfrentar os desafios da crise energética e ambiental contemporânea. Trata-se de uma tecnologia que converte

diretamente a radiação solar em eletricidade por meio de células semicondutoras, sendo, portanto, uma fonte limpa, silenciosa e inesgotável. Diferentemente dos combustíveis fósseis, que liberam poluentes e gases de efeito estufa, a geração fotovoltaica não causa emissões durante o processo produtivo, o que a torna estratégica para a transição energética em escala global (Carvalho *et al.*, 2019).

O Brasil apresenta condições privilegiadas para a exploração dessa fonte, visto que se encontra em uma das regiões de maior incidência solar do mundo. A insolação média nacional ultrapassa 5 kWh/m<sup>2</sup> por dia, superior a países europeus que já consolidaram mercados robustos no setor. Essa característica reforça o potencial de expansão da energia solar como instrumento para diversificação da matriz elétrica, reduzindo a dependência de usinas hidrelétricas e minimizando riscos associados a períodos de estiagem, cada vez mais frequentes em decorrência das mudanças climáticas (Pereira, 2019).

A produção descentralizada de energia é outro ponto fundamental quando se discute a sustentabilidade da energia solar fotovoltaica. Ao contrário do modelo tradicional baseado em grandes usinas hidrelétricas e termelétricas, a energia solar pode ser gerada de forma distribuída, diretamente em residências, empresas e propriedades rurais. Isso reduz perdas de energia no transporte, amplia a autonomia dos consumidores e contribui para uma matriz energética mais resiliente. Pesquisas recentes apontam que o crescimento da geração distribuída no Brasil tem sido expressivo, com destaque para os sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica, que já representam uma parcela significativa da capacidade instalada no país (Freitas, 2024).

Além do aspecto ambiental, a energia solar fotovoltaica desempenha um papel socioeconômico importante, sobretudo em regiões rurais e comunidades isoladas. A possibilidade de instalação de sistemas conectados à rede (*on grid*) ou autônomos (*off grid*) amplia o acesso à eletricidade em localidades antes desassistidas, contribuindo para inclusão energética e melhoria da qualidade de vida. Estudos realizados em instituições brasileiras demonstram que projetos de geração fotovoltaica *on grid* resultaram em uma redução média entre 60%

e 90% nos gastos com energia elétrica, a depender da tarifa local e do perfil de consumo da propriedade. Além disso, tais sistemas evitaram a emissão de centenas de toneladas de dióxido de carbono por ano, o que evidencia sua contribuição para a sustentabilidade ambiental e financeira (Freitas, 2024).

Outro benefício de destaque está ligado à capacidade de geração de empregos e fortalecimento das cadeias produtivas locais. A expansão do setor fotovoltaico vem estimulando o surgimento de pequenas e médias empresas voltadas para a instalação e manutenção dos sistemas, o que fortalece a economia regional. Esse processo descentraliza a produção de energia e promove novas oportunidades de renda, ao mesmo tempo em que contribui para a inovação tecnológica. Essa dinâmica vai ao encontro do conceito de sustentabilidade, que envolve não apenas a preservação ambiental, mas também a promoção de justiça social e de desenvolvimento econômico equilibrado (Brito *et al.*, 2023).

O avanço tecnológico também é um fator decisivo para o crescimento do setor. Nos últimos anos, houve uma significativa redução no custo dos equipamentos fotovoltaicos, o que tornou a energia solar mais acessível para diferentes setores da sociedade. Embora ainda existam barreiras, como a dependência de componentes importados e a necessidade de financiamento, a tendência é que os preços continuem em queda à medida que a produção global se expande. No cenário internacional, a energia solar já se mostra competitiva em relação a fontes tradicionais em diversos mercados, e no Brasil essa realidade começa a se consolidar. Isso abre caminho para maior participação da fonte solar na matriz elétrica nacional e fortalece o cumprimento dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) estabelecidos pela Organização das Nações Unidas (Oliveira, 2023).

Outro aspecto que merece atenção é a capacidade da energia solar de promover maior resiliência energética. Em um cenário de mudanças climáticas, marcado por estiagens prolongadas e instabilidade no fornecimento hidrelétrico, a diversificação da matriz elétrica se torna fundamental. A energia solar, associada a outras fontes renováveis como a eólica e a biomassa, permite reduzir a

vulnerabilidade do sistema energético, aumentando a segurança no abastecimento. Nesse sentido, a energia fotovoltaica não deve ser vista apenas como uma alternativa, mas como componente estratégico na construção de sociedades mais resilientes e sustentáveis (Silva e Araújo, 2022).

Do ponto de vista ambiental, a adoção de sistemas solares fotovoltaicos contribui de forma significativa para a redução das emissões de gases de efeito estufa, mitigando os impactos das mudanças climáticas. Estudos comparativos de avaliação do ciclo de vida conduzidos pelo National Renewable Energy Laboratory (NREL, 2013) demonstram que a geração fotovoltaica apresenta emissões médias em torno de 40 g de CO<sub>2</sub>-eq por kWh, enquanto usinas termelétricas a carvão podem superar 900 g de CO<sub>2</sub>-eq/kWh. Resultados semelhantes foram identificados por Hsu *et al.* (2012), que evidenciam que sistemas fotovoltaicos de silício cristalino emitem apenas uma fração dos gases de efeito estufa associados às fontes fósseis. Esses achados reforçam o papel da energia solar como uma das alternativas mais eficazes para a descarbonização da matriz elétrica e para o enfrentamento da crise climática.

A geração fotovoltaica não requer consumo de água em seu processo produtivo, diferentemente das usinas hidrelétricas e termelétricas, que dependem de grandes volumes hídricos. Esse diferencial é essencial em países como o Brasil, que enfrentam crises hídricas recorrentes, especialmente em regiões metropolitanas e agrícolas de grande porte. Por outro lado, é necessário reconhecer que a expansão da energia solar traz consigo desafios que precisam ser considerados. Entre eles, destacam-se a necessidade de gestão adequada dos resíduos provenientes de módulos ao final de sua vida útil e a dependência de insumos tecnológicos importados.

A gestão adequada dos resíduos fotovoltaicos é fundamental para assegurar o ciclo de vida sustentável das energias renováveis e evitar novos impactos ambientais. A energia solar fotovoltaica também tem potencial de fortalecer a inclusão social, e Freitas (2024) destaca que programas voltados à geração distribuída podem ampliar o acesso à eletricidade e reduzir desigualdades em comunidades rurais e isoladas. Essa perspectiva reforça o papel da energia solar como ferramenta de

desenvolvimento social, alinhando-se à ideia de energia como direito básico para todos.

A energia solar fotovoltaica não é apenas uma alternativa técnica de geração elétrica, mas um pilar para a construção de sociedades mais sustentáveis. Sua adoção contribui para mitigar impactos ambientais, promover a segurança energética, ampliar a inclusão social e estimular a inovação econômica. Trata-se, portanto, de um caminho promissor para enfrentar os desafios energéticos do século XXI, desde que acompanhado por políticas públicas eficazes que ampliem os incentivos, consolidem marcos regulatórios estáveis e garantam sua inserção cada vez maior no cotidiano da população (Carvalho *et al.*, 2019; Silva e Araújo, 2022; Brito *et al.*, 2023; Oliveira, 2023; Freitas, 2024).

### *Aplicações dos sistemas agrovoltáticos*

As aplicações dos sistemas agrovoltáticos têm se expandido em diferentes contextos regionais e climáticos, mostrando sua versatilidade como tecnologia capaz de integrar a produção de energia renovável e a agricultura. Essa dualidade de funções proporciona benefícios tanto para o setor energético quanto para o agrícola, apresentando-se como alternativa eficiente no uso do solo e no enfrentamento de desafios ambientais, sociais e econômicos.

Um dos campos de aplicação mais destacados é a produção agrícola em áreas tropicais e subtropicais, onde a insolação intensa pode representar risco à produtividade. Nessas regiões, a instalação de módulos fotovoltaicos cria um microclima mais equilibrado, reduzindo a evapotranspiração e garantindo maior conservação de umidade no solo. A conservação de umidade no solo pode ser favorecida pela instalação de sistemas agrovoltáticos, especialmente em regiões de alta insolação. No Amazonas, por exemplo, iniciativas experimentais têm explorado o uso de protótipos agrovoltáticos em comunidades rurais, principalmente com foco em diversificação produtiva e melhoria do acesso à energia. Embora apresentem potencial para apoiar sistemas de produção como a hidroponia, ainda não há estudos conclusivos que quantifiquem reduções de custos ou impactos diretos na viabilidade econômica local (Jales, 2024).

Dessa forma, pesquisas adicionais são necessárias para avaliar plenamente os benefícios desse modelo na região amazônica. Outra aplicação importante ocorre em áreas semiáridas, como o Nordeste brasileiro e semiárido mineiro, onde o sombreamento parcial dos painéis pode minimizar os efeitos da radiação solar excessiva sobre os cultivos. Nessas condições, a tecnologia agrovoltaica atua como ferramenta estratégica para enfrentar a desertificação e para garantir maior estabilidade produtiva. Experimentos conduzidos em universidades e centros de pesquisa reforçam que a adaptação desse sistema para regiões de baixa disponibilidade hídrica resulta em menor uso de irrigação e em ganhos significativos para agricultores familiares (Jales, 2024).

Além das zonas rurais, a aplicação de sistemas agrovoltaicos tem se estendido a ambientes controlados, como estufas inteligentes. Nessas estruturas, os módulos fotovoltaicos podem ser incorporados ao teto ou às laterais, contribuindo para regular luminosidade, temperatura e ventilação interna. A associação entre casas de vegetação e geração solar representa um avanço para a agricultura de precisão, já que possibilita o cultivo de espécies mais sensíveis em ambientes protegidos, com menor uso de insumos químicos e maior eficiência energética. Essa prática, alinhada aos princípios da agricultura sustentável, aponta para um futuro em que energia e alimento sejam produzidos de forma sinérgica.

As aplicações não se limitam à agricultura de subsistência ou ao pequeno produtor. Projetos em escala piloto e industrial têm demonstrado a viabilidade de implantar sistemas agrovoltaicos em propriedades de médio e grande porte, permitindo tanto o abastecimento interno de energia quanto a comercialização do excedente para a rede elétrica. Um estudo desenvolvido em São Paulo destaca que o uso de painéis bifaciais em áreas agrícolas foi capaz de maximizar a captação solar sem comprometer o desenvolvimento das culturas, reforçando o potencial de replicação da tecnologia em larga escala (Manito *et al.*, 2024).

Outro campo promissor de aplicação está na integração entre o agrovoltaico e a chamada Química Verde. A Química Verde envolve um conjunto de princípios voltados à redução do uso de insumos

químicos nocivos, como fertilizantes sintéticos e pesticidas, priorizando alternativas de menor impacto ambiental. Nesse contexto, a prática agrovoltaica contribui para esse objetivo ao criar microclimas mais amenos, reduzindo o estresse térmico das plantas e, conseqüentemente, diminuindo a necessidade de defensivos químicos em algumas culturas.

Além disso, a integração entre agrovoltaicos e abordagens de Química Verde favorece a adoção de biofertilizantes produzidos a partir de processos biológicos, como compostagem, fermentação e uso de microrganismos benéficos. Biofertilizantes liberam nutrientes de forma gradual, melhoram a estrutura do solo e reduzem a dependência de fertilizantes industriais derivados de combustíveis fósseis. Essa combinação também se alinha às práticas de economia circular, que incentivam o reaproveitamento de resíduos agrícolas e a produção de insumos dentro da própria propriedade rural.

Com isso, sistemas agrovoltaicos associados à Química Verde potencializam a sustentabilidade da agricultura ao integrar geração de energia renovável, redução do uso de químicos e fortalecimento de cadeias produtivas mais limpas e eficientes (Mira e Mira, 2025).

A literatura internacional mostra exemplos concretos da aplicação agrovoltaica em culturas diversificadas, como uvas, tomates e cereais. Estudos de Dupraz *et al.* (2011) e Valle *et al.* (2017) demonstram que esses sistemas podem contribuir para a resiliência climática, uma vez que as plantas cultivadas sob módulos fotovoltaicos ficam menos expostas a eventos extremos, como secas prolongadas e ondas de calor. Iniciativas em áreas metropolitanas, como as relatadas por Schindele *et al.* (2020), envolvendo telhados agrícolas fotovoltaicos, apontam caminhos promissores para a integração entre agricultura urbana e geração de energia limpa, ampliando a disponibilidade de alimentos frescos e energia sustentável.

No contexto socioeconômico, os sistemas agrovoltaicos têm se mostrado especialmente relevantes para a agricultura familiar e pequenos agricultores. Ao possibilitarem redução de custos com eletricidade e geração de nova fonte de renda, essas aplicações contribuem para a inclusão produtiva e

para a melhoria das condições de vida em comunidades rurais. Iniciativas como a implementação de protótipos em escolas agrícolas e universidades federais reforçam também o potencial pedagógico e científico da tecnologia, aproximando ciência, prática e comunidade local (Tavares, 2023; Jales, 2024).

As aplicações dos sistemas agrovoltáicos abrangem desde a agricultura em pequena escala até grandes projetos industriais, passando por ambientes controlados e áreas de clima adverso. O caráter multifuncional dessa tecnologia não apenas gera energia limpa, mas também promove segurança alimentar, reduz impactos ambientais e impulsiona a inovação no meio rural. Esse conjunto de experiências evidencia que o agrovoltáico se consolida como solução estratégica, integrando ciência, sustentabilidade e desenvolvimento social (Carvalho, 2023; Freitas, 2024).

### *Perspectivas para os sistemas agrovoltáicos*

O avanço dos sistemas agrovoltáicos no Brasil e no mundo demonstra que essa tecnologia ainda se encontra em fase de consolidação, mas já apresenta potencial significativo para transformar a forma como a agricultura e a geração de energia renovável se articulam. As perspectivas futuras apontam para um modelo cada vez mais integrado, no qual a produção de alimentos e energia será pensada de maneira conjunta, com foco em eficiência, sustentabilidade e adaptação às mudanças climáticas. O cenário atual revela que os próximos anos devem ser marcados por inovações tecnológicas, novos arranjos produtivos, fortalecimento de políticas públicas e ampliação da pesquisa científica voltada ao tema.

Do ponto de vista tecnológico, as perspectivas para os sistemas agrovoltáicos apontam para um avanço crescente em direção à agricultura de precisão e à gestão inteligente dos recursos. Estudos indicam que a integração de sensores climáticos, softwares de monitoramento e ferramentas de inteligência artificial podem otimizar tanto a produção agrícola quanto a geração de energia, permitindo ajustes em tempo real conforme as condições ambientais (Barron-Gafford *et al.*, 2019; Weselek *et al.*, 2019). Outra tendência relevante está na ampliação de políticas públicas e programas de incentivo à

energia renovável, que poderão facilitar o financiamento de projetos agrovoltáicos em cooperativas e pequenas propriedades. Nesse cenário, os sistemas deixam de ser apenas uma inovação tecnológica e passam a representar uma estratégia de desenvolvimento regional sustentável, capaz de fortalecer cadeias produtivas locais e reduzir desigualdades no campo.

Regiões como o semiárido nordestino brasileiro e a Amazônia são vistas como espaços estratégicos para a aplicação do agrovoltáico. No semiárido, a tecnologia pode se consolidar como ferramenta de combate à desertificação e de uso racional da água, já que o sombreamento dos painéis contribui para a retenção de umidade no solo (Lacerda *et al.*, 2022). Já na Amazônia, a instalação de sistemas agrovoltáicos pode auxiliar comunidades isoladas, promovendo autonomia energética e possibilitando maior viabilidade de cultivos hidropônicos em áreas que carecem de infraestrutura elétrica (Tavares, 2023).

No semiárido mineiro, as perspectivas são igualmente promissoras. A região apresenta uma das maiores taxas de insolação do Brasil, com destaque para o Norte de Minas Gerais, que já abriga diversas usinas fotovoltaicas em operação. Esse potencial energético, somado à existência de perímetros irrigados como o Projeto Gorutuba e o Projeto Jaíba, cria condições favoráveis para a expansão de sistemas agrovoltáicos, capazes de conciliar agricultura irrigada e geração de energia limpa (Carvalho, 2023; Freitas, 2024). Tais fatores reforçam a ideia que o futuro da tecnologia passa pela adaptação às características locais, aproveitando a infraestrutura já existente e ampliando a sustentabilidade da produção agrícola na região.

As perspectivas econômicas também são relevantes e devem se intensificar nos próximos anos. O custo da energia solar fotovoltaica vem caindo mundialmente, o que favorece a expansão da tecnologia. Em paralelo, espera-se que programas de financiamento voltados ao pequeno agricultor sejam ampliados, permitindo que a agricultura familiar tenha maior acesso a sistemas agrovoltáicos. Isso é essencial, considerando que muitos produtores ainda enfrentam dificuldades de acesso ao crédito e à informação. Nesse sentido, iniciativas como o PRONAF ECO podem ganhar maior destaque,

funcionando como instrumento de democratização do acesso a tecnologias limpas no meio rural (Campos *et al.*, 2020). O fortalecimento de políticas públicas será decisivo para que o agrovoltaiço não se torne restrito a grandes empreendimentos, mas alcance também os agricultores de menor porte.

Em relação aos aspectos ambientais, as perspectivas futuras reforçam o papel do agrovoltaiço na mitigação das mudanças climáticas. O modelo se apresenta como alternativa fundamental para reduzir a emissão de gases de efeito estufa e, ao mesmo tempo, contribuir para a segurança alimentar. A integração entre energia e agricultura é vista por organismos internacionais como uma das estratégias de adaptação mais eficazes diante de cenários de instabilidade climática. A tendência é que os próximos anos tragam maior valorização desse tipo de sistema em agendas globais, como os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), em especial aqueles voltados à fome zero, energia limpa e ações contra a mudança do clima (Carvalho *et al.*, 2019).

Do ponto de vista científico e acadêmico, as perspectivas também são amplas. Universidades, institutos federais e centros de pesquisa devem intensificar o desenvolvimento de projetos experimentais e estudos de viabilidade que avaliem os impactos do agrovoltaiço em diferentes culturas e condições climáticas. No Brasil, exemplos como o da Universidade Federal Rural do Semiárido (UFERSA), no Rio Grande do Norte, já mostram a importância de iniciativas acadêmicas para validar e aprimorar a tecnologia (Jales, 2024). No norte de Minas Gerais, a Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais (EPAMIG) tem realizado experimentos com resultados promissores que auxiliarão no entendimento dos sistemas em condições semiáridas. Há tendência de crescimento de parcerias internacionais, com trocas de experiências entre países que já avançaram no tema, como Alemanha, Japão e Espanha. Essa articulação deve impulsionar o aprimoramento técnico e científico, ampliando as possibilidades de aplicação do agrovoltaiço. O futuro também aponta para a integração do agrovoltaiço com outras práticas sustentáveis, como a Química Verde e a economia circular, como relatado no texto.

Outro ponto relevante nas perspectivas futuras está ligado ao empreendedorismo e inovação no meio rural. A implementação de sistemas agrovoltaiços abre espaço para novos modelos de negócios, como cooperativas energéticas e arranjos produtivos locais que reúnem agricultores em torno de usinas solares comunitárias. Essas iniciativas podem reduzir custos individuais, aumentar a competitividade dos pequenos produtores e ampliar o alcance social da tecnologia. A inovação tecnológica também pode gerar empregos qualificados, tanto na instalação e manutenção dos sistemas quanto no desenvolvimento de soluções digitais de monitoramento e gestão (Brito *et al.*, 2023).

Contudo, a tendência é que esses obstáculos sejam gradualmente superados com o avanço da pesquisa científica, a ampliação das linhas de financiamento e a formulação de políticas públicas consistentes. Nesse sentido, a gestão de energia limpa para o agronegócio exige planejamento financeiro adequado e incentivos institucionais para se tornar viável em escala maior.

As perspectivas futuras para os sistemas agrovoltaiços são amplas e promissoras. A tecnologia tende a se consolidar como uma solução estratégica para conciliar produção agrícola e geração de energia renovável, contribuindo para a sustentabilidade ambiental, o fortalecimento da segurança alimentar e a diversificação da renda rural. O futuro aponta para uma maior integração com inovações tecnológicas, políticas públicas de incentivo, práticas sustentáveis e fortalecimento do papel da agricultura familiar. Assim, os sistemas agrovoltaiços devem desempenhar papel central na construção de um modelo de desenvolvimento mais justo, resiliente e sustentável para a agricultura brasileira.

O Quadro 1 apresenta de forma comparativa as principais limitações e os benefícios associados aos sistemas agrovoltaiços, servindo como ferramenta de análise para produtores, pesquisadores e formuladores de políticas públicas.

A partir dessa síntese, é possível afirmar que os sistemas agrovoltaiços, quando planejados de forma criteriosa, têm potencial para transformar as limitações em oportunidades de inovação no campo.

## Quadro 1 - Limitações e os benefícios associados aos sistemas agrovoltáicos

Benefícios / Oportunidades	Limitações / Cuidados
Diversificação de renda: produção agrícola + geração de energia	Alto custo inicial de implantação e payback de longo prazo
Redução de estresse térmico e hídrico nas plantas	Necessidade de capacitação técnica para operação e manutenção
Integração entre agricultura e energia limpa com base na Lei 14.300/22 (GD)	Ausência de regulamentação específica para uso múltiplo da terra
Fortalecimento da agricultura familiar com inclusão produtiva	Resistência cultural e social de agricultores à adoção da tecnologia
Maior eficiência no uso da água e melhor adaptação em regiões semiáridas	Possível redução de produtividade em culturas muito exigentes em radiação
Contribuição para mitigação das mudanças climáticas e expansão das renováveis	Impactos ambientais localizados (compactação do solo, alteração de microclima)

Fonte: Autor, 2025.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os sistemas agrovoltáicos apresentam-se como uma alternativa inovadora e estratégica para a promoção da sustentabilidade agrícola em diversas regiões do Brasil, com destaque para regiões desafiadoras, como as regiões semiáridas. Ao integrar a produção de alimentos com a geração de energia solar, tais sistemas contribuem para a diversificação econômica, a eficiência no uso dos recursos naturais e a mitigação dos efeitos das mudanças climáticas. A análise desenvolvida ao longo deste trabalho demonstrou que os benefícios ambientais, sociais e econômicos superam as limitações, desde que haja planejamento adequado e políticas públicas de incentivo.

Embora o alto custo inicial, as lacunas regulatórias e a necessidade de capacitação técnica ainda

constituam barreiras relevantes, esses desafios não anulam o potencial da tecnologia. Pelo contrário, evidenciam a importância de investimentos em pesquisa, extensão rural e políticas de financiamento específicas, capazes de viabilizar o acesso de pequenos e médios produtores a essa solução inovadora.

A experiência internacional, associada às iniciativas locais verificadas em Minas Gerais, mostra que culturas adaptadas ao sombreamento parcial e criações de pequeno porte podem se beneficiar de forma significativa do arranjo agrovoltáico. Além disso, a possibilidade de conciliar segurança alimentar e geração de energia limpa amplia a atratividade do modelo, reforçando seu papel como alternativa para o desenvolvimento sustentável da agricultura brasileira.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Barron-Gafford, G.A.; Pavao-Zuckerman, M.; Minor, R.; Sutter, L.; Barnett-Moreno, I.; Blackett, D.; Thompson, M.; Dimond, K.; Gerlak, A.; Nabhan, G. & Macknick, J. (2019) - Agrivoltaics provide mutual benefits across the food–energy–water nexus in drylands. *Nature Sustainability*, vol. 2, n. 9, p. 848-855.  
<https://doi.org/10.1038/s41893-019-0364-5>
- Brito, M.; Oliveira, F.; Fonseca, M.; Duarte, J.; Sacramento, E. & Lima, L. (2023) - Empreendedorismo, inovação e sustentabilidade: Proposta de uma plataforma de gestão para implantação de uma usina solar fotovoltaica. *Research, Society and Development*, vol. 12, n. 9, art. e13512943301.  
<http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v12i9.43301>
- Campos, M.S.; Bezerra, F. & de Alcântara, L.D.S. (2020) - Análise de viabilidade técnica e econômica do sistema de bombeamento fotovoltaico para irrigação na agricultura familiar. *Anais do Congresso Brasileiro de Energia Solar (CBENS)*.
- Carvalho, G.M.C.P. (2023) - *Uso de sistemas agrovoltáicos para geração de renda em áreas suscetíveis a desertificação*. 88 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza.
- Carvalho, R.; Royer, M.R. & Zanatta, S.C. (2019) - A produção da energia elétrica fotovoltaica—um possível caminho para a sustentabilidade. *Bio-grafia*, vol. 2019, p. 1224-1234.

- Casagrande, M.C. (2023) - *Agrovoltaico: aplicação e desempenho de sistemas fotovoltaicos na agricultura*. Trabalho de Conclusão de Curso – Universidade Federal de Santa Catarina, Araranguá.
- Damasceno, J.P.; Rampinelli, G.A.; Marcelino, R.; Stalter, C.C.; Bouchardet, A.T.R.; Mohr, G. & Guber, V. (2024) - Desenvolvimento de sistema de iluminação artificial para suplementação de luz visível em casas de vegetação inteligentes suplementadas por sistemas agrovoltaicos. *Anais do Congresso Brasileiro de Energia Solar (CBENS)*.
- Dupraz, C.; Marrou, H.; Talbot, G.; Dufour, L.; Nogier, A. & Ferard, Y. (2011) - Combining solar photovoltaic panels and food crops for optimising land use: towards new agrivoltaic schemes. *Renewable Energy*, vol. 36, n. 10, p. 2725–2732. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2011.03.005>
- Freitas, V.A. (2024) - *Sustentabilidade e energias renováveis: produção descentralizada de energia solar fotovoltaica*. 108 f. Dissertação (Mestrado em Inovação Tecnológica e Propriedade Intelectual) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.
- Hsu, D.D.; O'Donoghue, P.; Fthenakis, V.; Heath, G.A.; Kim, H.C.; Sawyer, P.; Choi, J.-K. & Turney, D.E. (2012) - Life cycle greenhouse gas emissions of crystalline silicon photovoltaic electricity generation. *Journal of Industrial Ecology*, vol. 16, n. s1, p. S122-S135. <https://doi.org/10.1111/j.1530-9290.2011.00439.x>
- Jales, Y.P.G. (2024) - *Proposta teórica de implementação de um sistema agrovoltaico para a Universidade Federal Rural do Semi-Árido Campus Caraúbas - RN. 2024*. Trabalho de Conclusão de Curso de Engenharia Elétrica, Universidade Federal Rural do Semi-Árido.
- Lacerda, F.F.; Neves, F.M.; Canel, L.X.C. & Lopes, G.M.B. (2022) - Conceito de sistemas agrovoltaicos no Nordeste: uma solução de desenvolvimento ecossustentável para o Semiárido nordestino. *Revista do Departamento de Geografia - Universidade de São Paulo*, vol. 42, art. e189543. <https://doi.org/10.11606/eISSN.2236-2878.rdg.2022.189543>
- Manito, A.R.A.; Almeida, M.P.; Fedrizzi, M.C.; Zilles, R.; Menillo, R.B.; Moraes, M.T. de; Ferreira, T.O.; Cerri, C.E.P. & Cherubin, M.R. (2024) - Considerações para desenho de experimentos de avaliação de desempenho de sistemas agrovoltaicos. *Anais do Congresso Brasileiro de Energia Solar (CBENS)*.
- Mira, A.B. & Mira, A.B. (2025) - A química verde aplicada à agronomia na produção de insumos agrícolas sustentáveis: Uma revisão bibliográfica. *Revista Multidisciplinar do Nordeste Mineiro*, vol. 2, n. 1, p. 1-26. <https://doi.org/10.61164/remunom.v2i01.3451>
- NREL (2013) - *Life Cycle Greenhouse Gas Emissions from Solar Photovoltaic Systems: Harmonization of Global Estimates*. Golden, CO: National Renewable Energy Laboratory.
- Oliveira, J.R.H. (2023) - Energia solar fotovoltaica. *Revista Ibero-Americana de Humanidades, Ciências e Educação*, vol. 9, n. 3, p. 1945-1954. <https://doi.org/10.51891/rease.v9i3.9030>
- Pereira, N.X. (2019) - *Desafios e perspectivas da energia solar fotovoltaica no Brasil: geração distribuída vs geração centralizada*. Dissertação – Universidade Estadual Paulista (UNESP).
- Schindele, S.; Trommsdorff, M.; Schlaak, A.; Obergfell, T.; Bopp, G.; Reise, C.; Braun, C.; Weselek, A.; Bauerle, A.; Högy, P.; Goetzberger, A. & Weber, E. (2020) - Implementation of agrophotovoltaics: techno-economic analysis of the price-performance ratio and its policy implications. *Applied Energy*, vol. 265, art. 114737. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2020.114737>
- Silva, F.M. da (2024) - *Avaliação de sistemas agrivoltaicos na produção de culturas agrícolas*. Dissertação – Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel.
- Silva, H.M.F. & Araújo, F.J.C. (2022) - Energia solar fotovoltaica no Brasil: uma revisão bibliográfica. *Revista Ibero-Americana de Humanidades, Ciências e Educação*, vol. 8, n. 3, p. 859-869. <https://doi.org/10.51891/rease.v8i3.4654>
- Tavares, I.B. (2023) - *Estudo da aplicação da tecnologia agrovoltaica na Amazônia*. Trabalho de Conclusão de Curso – Universidade Federal do Amazonas.
- Valle, B.T.; Simonneau, T.; Sourd, F.; Pechier, P.; Hamard, P.; Frisson, T.; Ryckewaert, M.; Christophe, A. (2017) - Increasing the total productivity of a land by combining mobile photovoltaic panels and food crops. *Applied Energy*, vol. 206, p. 1495-1507. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2017.09.113>
- Weselek, A.; Ehmman, A. & Zikeli, S (2019) - Agrophotovoltaic systems: applications, challenges, and opportunities. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, vol. 39, n. 4, art. 35. <https://doi.org/10.1007/s13593-019-0581-3>