

# **Sistemas Agrivoltaicos no Brasil**

## Estudo de potencial e viabilidade técnico-econômicos



## Informações Legais

### Editor:

Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH  
SCN Quadra 1, Bloco C, Sala 1501, Ed. Brasília Trade Center, 70711-902, Brasília-DF, Brazil  
Telefone: +55 61 2101-2170  
E-mail: ger-bra-ep@giz.de  
Website: [www.energypartnership.com.br/](http://www.energypartnership.com.br/)

### Autores:

Kathlen Schneider, Engenheira Civil, Mestra.  
Laís Vidotto, Engenheira Ambiental  
Ramom Morato, Engenheiro Agrônomo  
Ricardo Rüther, Engenheiro Metalúrgico, PhD  
Lucas Nascimento, Engenheiro Elétrico, PhD

### Conceito & design:

Gustavo Costa

### Créditos das imagens

Os direitos autorais das respectivas imagens são fornecidos diretamente em cada uma das imagens

### Última atualização:

Junho/2024

### Tradução:

Março/2025

### Publicação:

Novembro/2025

As contribuições de conteúdo da Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ), bem como a obra completa, estão sujeitas às respectivas leis de direitos autorais. As contribuições de terceiros estão devidamente marcadas. A reprodução, uso posterior ou distribuição, bem como qualquer outro uso não previsto na legislação de direitos autorais, requer o consentimento por escrito da GIZ. A reprodução parcial desta obra é permitida apenas com a devida citação da fonte.

Este estudo foi elaborado pela GIZ em nome do Ministério Federal da Economia e Energia (BMWE), no âmbito da Parceria Energética Brasil-Alemanha. As conclusões e opiniões expressas são de responsabilidade exclusiva dos autores e não representam a posição do parceiro ou das partes interessadas das Parcerias Climáticas e Energéticas da Alemanha.

Todos os direitos reservados.

### Instituições Parceiras



Federal Ministry  
for Economic Affairs  
and Energy

MINISTÉRIO DE  
MINAS E ENERGIA

GOVERNO DO  
**BRASIL**  
DO LADO DO Povo BRASILEIRO

German-Brazilian  
**Energy Partnership**

### Organização Implementadora

**giz**

Deutsche Gesellschaft  
für Internationale  
Zusammenarbeit (GIZ) GmbH

# Índice

1. Introdução .....	10
2. Tecnologia agrovoltaica: conceito, história e aplicações .....	12
2.1 Conceito e breve histórico .....	12
2.2 Aplicações e tecnologias.....	15
2.3 Modelos de Negócios.....	17
3. Estado da arte para sistemas agrovoltaicos em todo o mundo .....	19
3.1 Alemanha .....	19
3.1.1 DIN SPEC 91434 – Definições e categorização .....	19
3.1.2 DIN SPEC 91434 – Proposta agrícola .....	20
3.1.3 DIN SPEC 91434 – Pré-requisitos técnicos e de planejamento para sistemas agrovoltaicos .....	21
3.1.4 Um caso de sistema agrovoltaico na Alemanha.....	21
3.2 Itália .....	23
3.2.1 Diretrizes italianas – Definições .....	23
3.2.2 Diretrizes italianas – Categorização .....	23
3.2.3 Um caso de sistema agrovoltaico na Itália.....	24
3.3 França .....	24
3.4 Japão.....	26
3.5 China .....	27
3.6 Croácia.....	29
3.7 Estados Unidos.....	29
3.8 Chile .....	32
3.9 Coreia do Sul .....	33
3.10 Austrália .....	34
3.11 Brasil .....	34
4. Sistemas agrovoltaicos no Brasil.....	40
4.1 Sistemas existentes.....	40
4.1.1 Ecolume.....	40
4.1.2 Aldeia Pankara.....	40

4.1.3 CCampo .....	42
4.1.4 UFAL .....	42
4.1.5 Projeto agrivoltaico da Cemig, da EPAMIG e do CPQD .....	44
4.1.6 Projeto Agrivoltaico de P&D da Fotovoltaica/UFSC e da Repsol .....	44
4.1.7 Considerações sobre os sistemas agrivoltaicos existentes no Brasil .....	44
4.2 Potencial de diferentes produtos agrícolas para sistemas agrivoltaicos no Brasil.....	45
4.2.1 Aspectos socioeconômicos .....	45
4.2.2 Aspectos do sistema agropecuário.....	49
4.2.3 Aspectos dos sistemas solares fotovoltaicos .....	52
4.3 Modelos de negócios e oportunidades de financiamento para sistemas agrivoltaicos no Brasil .....	54
4.3.1 Possíveis modelos de negócios no contexto brasileiro.....	54
Oportunidades de financiamento existentes para energia solar em terras agrícolas.....	55
4.4 Benefícios e desvantagens dos sistemas agrivoltaicos no contexto brasileiro .....	62
4.4.1 Análise SWOT.....	62
4.4.2 Benefícios .....	63
4.4.3 Desafios.....	63
5. Contexto do estudo de caso .....	64
5.1 Associação dos Produtores Orgânicos de Iranduba (APOI) .....	64
5.2 Iniciativas: CSA Manaus e Cesta Verde .....	65
5.3 Projeto de sistema agrivoltaico .....	66
5.3.1 Projeto de sistema agrivoltaico.....	66
5.3.2 Projeto de sistema fotovoltaico.....	66
5.3.3 Projeto de sistemas agrícolas.....	71
5.4 Análise Econômica.....	71
5.4.1 Custos de energia elétrica das famílias e da cozinha industrial.....	72
5.4.2 Potência e produção de energia dos sistemas agrivoltaicos propostos .....	72
5.4.3 CAPEX dos sistemas propostos.....	74
5.4.4 OPEX dos sistemas propostos.....	75
5.4.5 Cenários potenciais de perda de produtividade agrícola e economia de energia elétrica associados ao sistema agrivoltaico .....	75
5.4.6 Indicadores econômicos: VPL, TIR e Período de Payback Descontado.....	75

5.5 Recomendações sobre operação e manutenção.....	76
5.5.1 Diretrizes de manutenção do sistema fotovoltaico .....	76
5.5.2 Identificação de problemas e tipos de manutenção.....	76
5.6 Conclusões .....	78
6. Conclusões e recomendações sobre o sistema agrivoltaico no contexto brasileiro.....	79
Referências.....	81

# Lista de Figuras

Figura 1 - Primeiros modelos agrivoltaicos. © Goetzberger e Zastrow (a), A. Nagashima (b) .....	12
Figura 2 - Sistema agrivoltaico com frutas orgânicas em <i>nachtwey</i> , Alemanha.....	13
Figura 3 - Sistema agrivoltaico com frutas orgânicas em <i>nachtwey</i> (2), Alemanha .....	13
Figura 4 - Um agricultor realizando a colheita de arroz com um sistema agrivoltaico logo acima da plantação de arroz na vila de Gidong, Coreia do Sul.....	14
Figura 5 - Tipos de sistemas agrivoltaicos que foram implementados comercialmente.....	15
Figura 6 - Projeto conceitual de um sistema de captação da água da chuva com tanque de armazenamento .....	16
Figura 7 - Módulos solares bifaciais que servem como cercado para o gado .....	16
Figura 8 - Sistema fotovoltaico vertical associado a estufas .....	16
Figura 9 - Local de pesquisa de sistemas agrivoltaicos com painéis solares monofaciais, translúcidos e bifaciais .....	16
Figura 10 - Sistema Tubesolar .....	17
Figura 11 - Custos típicos de instalação de sistemas fotovoltaicos comparados aos custos de diferentes configurações de sistemas agrivoltaicos .....	17
Figura 12 - Representação da Categoria 1.....	20
Figura 13 - Representação da Categoria 2 .....	20
Figura 14 - Projeto Heggelbach construído em 2016.....	22
Figura 15 - O uso combinado da terra para o sistema agrivoltaico e o cultivo de batata aumentou, para 186%, a eficiência no uso da terra no local de teste de Heggelbach.....	22
Figura 16 - Sistema agrivoltaico com cidras na fazenda da família Lancellotta .....	24
Figura 17 - Sistema agrivoltaico da Sun'R na França .....	25
Figura 18 - Projeto agrivoltaico no vinhedo do Domaine de Nidolères (Pirenéus Orientais).....	26
Figura 19 - Primeiro projeto agrivoltaico vertical no Japão .....	27
Figura 20 - Os maiores sistemas agrivoltaicos existentes, com plantação de goji berries na China .....	28
Figura 21 - Estufa agrivoltaica com flores e pomelo na China.....	28
Figura 22 - Sistema agrivoltaico de iluminação uniforme (EAS), o novo projeto agrivoltaico chinês.....	28
Figura 23 - Sistema fotovoltaico agrícola MRac, da empresa chinesa Mibet .....	28
Figura 24 - Sistema fotovoltaico agrícola MRac, da empresa chinesa Mibet .....	28
Figura 25 - Sistema agrivoltaico da NESI na China – um dos maiores do país .....	29
Figura 26 - Os 5 C's para o sucesso de um projeto agrivoltaico .....	30
Figura 27 - Fazenda agrivoltaica para atrair espécies polinizadoras, tais como abelhas, mamangavas e borboletas .....	31

Figura 28 – Colheita abaixo do sistema agrivoltaico no Jack's Solar Garden .....	31
Figura 29 – Uma agricultora trabalha na colheita no Jack's Solar Garden.....	32
Figura 30 – Projeto agrivoltaico da Grafton Solar.....	32
Figura 31 – Projetos Piloto no Chile.....	32
Figura 32 – Áreas rurais com sistema fotovoltaico agrícola promovidas pela Q CELLS no vilarejo de Gwandang .....	33
Figura 33 – Informações sobre a estrutura agrivoltaica para esse experimento (A) e foto do cultivo em crescimento sob o painel solar (B) .....	34
Figura 34 – Ovelhas desfrutam da sombra do painel seguidor de eixo duplo na Gatton Solar Farm, na Universidade de Queensland (créditos da foto: Sarah Haskmann) .....	34
Figura 35 – Novo módulo fotovoltaico da BYD produzido para aplicações agrivoltaicas na feira The Smarter.....	35
Figura 36 – Sistema agrivoltaico proposto no projeto Ecolume.....	40
Figura 37 – Sistema agrivoltaico e montagem do sistema aquapônico abaixo dos módulos .....	40
Figura 38 – Representantes da aldeia Pankará e do projeto .....	41
Figura 39 – Plantação de melão no sistema agrivoltaico.....	41
Figura 40 – Membros da CCampo, OCB e Fotovoltaica UFSC na frente do sistema agrivoltaico em construção e cooperados realizando o plantio na área de controle próxima à central .....	42
Figura 41 – Projeto do sistema agrivoltaico.....	43
Figura 42 – Sistema agrivoltaico com sete estruturas de módulos fotovoltaicos.....	43
Figura 44 – Esquema do projeto agrivoltaico de P&D da Fotovoltaica/UFSC e da Repsol .....	44
Figura 45 – Percentual de estabelecimentos classificados como agricultura familiar em relação ao número total de estabelecimentos, por municípios – 2017 .....	47
Figura 46 – Delimitação proposta para a região do Matopiba .....	48
Figura 47 – Pesquisa do sistema agrivoltaico da Universidade de Purdue sobre plantações de soja e milho .....	50
Figura 48 – Níveis de Irradiância Solar por região .....	53
Figura 49 – Potencial de geração solar fotovoltaica em rendimento energético anual (kWh/kWp.ano).....	54
Figura 50 – Local do estudo de caso – Associação APOI.....	64
Figura 51 – Produção de safras das famílias da APOI .....	65
Figura 52 – Mulher agricultora da Associação APOI .....	65
Figura 53 – Modelo operacional da APOI.....	66
Figura 54 – Local do sistema agrivoltaico elevado .....	67
Figura 55 – Localização da casa de vegetação agrivoltaica .....	67
Figura 56 – Casa de vegetação agrivoltaica .....	68

Figura 57 – Projeto de sistema agrivoltaico elevado .....	68
Figura 58 – Gráfico de consumo de energia e produção de energia por mês.....	73
Figura 59 – Custos típicos de instalação de sistemas fotovoltaicos comparados aos custos de diferentes configurações de sistemas agrivoltaicos .....	74
Figura 60 – Exemplo de módulos sujos e módulos limpos.....	77
Figura 61 – Sistema suspenso com grande maquinário na Itália.....	79
Figura 62 – Módulos fotovoltaicos bifaciais instalados verticalmente para aplicações como cercas.....	80

# Listas de tabelas

Tabela 1 - Configurações de diferentes modelos de negócios agrivoltaicos .....	18
Tabela 2 - Resumo das estruturas regulatórias internacionais.....	37
Tabela 3 - Tabela de resumo dos projetos agrivoltaicos identificados no Brasil .....	45
Tabela 4 - Condições da linha PRONAF ABC + Bioeconomia para financiamento de tecnologias de energia renovável.....	56
Tabela 5 - Condições da linha PRONAF Agroindústria .....	57
Tabela 6 - Condições da linha de crédito do PRONAMP .....	57
Tabela 7 - Condições de financiamento do INOVAGRO .....	58
Tabela 8 - Financiamento das condições do PROIRRIGA.....	58
Tabela 9 - Condições de financiamento do PRODECOOP.....	59
Tabela 10 - Condições de financiamento do FNE SOL para produtores rurais.....	60
Tabela 11 - Condições de financiamento da FNO Rural Verde para projetos de energia renovável .....	60
Tabela 12 - Condições de financiamento da FCO Rural para projetos de energia renovável .....	61
Tabela 13 - Condições de financiamento do BNDES FINAME Baixo Carbono .....	61
Tabela 14 - Análise SWOT da tecnologia agrivoltaica no Brasil.....	62
Tabela 15 - Características do módulo fotovoltaico .....	67
Tabela 16 - Características do sistema.....	67
Tabela 17 - Análise de sombreamento .....	69
Tabela 18 - Produção de energia esperada.....	71
Tabela 19 - Rendimento Diário Simulado .....	71
Tabela 20 - Consumo médio de energia das quatro famílias .....	72
Tabela 21 - Consumo médio de energia da cozinha industrial .....	72
Tabela 22 - Consumo médio de energia da cozinha industrial.....	73
Tabela 23 - Custo estimado de sistemas agrivoltaicos elevados .....	74
Tabela 24 - CAPEX das diferentes configurações de sistema fotovoltaico propostas.....	74
Tabela 25 - Cenários de perda de produtividade e economia de energia.....	75
Tabela 26 – VPL, TIR e período de <i>payback</i> descontado .....	76

# 1. Introdução

O Brasil é um território continental que apresenta uma riqueza ambiental, sendo composto por exuberantes e diversas fauna e flora, abrigando mais de 5 milhões de km<sup>2</sup> de floresta amazônica (IBGE, 2021) e muitos outros biomas locais, tais como o Cerrado, o Pantanal, a Caatinga e a Mata Atlântica. A diversidade e a riqueza mencionadas são refletidas na cultura e na identidade brasileiras, representando a incontestável promessa de pesquisas futuras sobre a exploração da conservação da biodiversidade para o bem de todos.

Por outro lado, o Brasil também é uma das sociedades mais desiguais e excludentes, com uma estrutura rural centrada na indústria de agronegócios de larga escala e padrões difusos de urbanização, que resultam em muitos brasileiros vivendo sem usufruir dos direitos de acesso adequado a recursos, à infraestrutura e a serviços comuns (BRANDÃO, 2016). Nesse contexto, para muitos de seus habitantes, o Brasil é um lugar de insegurança alimentar e de pobreza energética, fenômenos que afetam mais intensamente populações rurais e grupos marginalizados que vivem em comunidades vulneráveis.

Apesar de ser um dos maiores produtores de alimentos do mundo, tendo a agricultura de grande escala como a base de sua economia, o Brasil retornou ao Mapa da Fome da ONU desde 2022 (FAO, 2022). Mais de 60 milhões de brasileiros enfrentam algum nível de insegurança alimentar, com os mais graves níveis afetando a população nas regiões Norte e Nordeste e as áreas rurais (REDE PENSSAN, 2022). As monoculturas e a indústria do agronegócio também são alguns dos principais impulsionadores do desmatamento da Amazônia e do aumento do uso de agrotóxicos no Brasil. Desde 2019, o uso disseminado de agrotóxicos no Brasil está crescendo em um ritmo acelerado (NUNES et al., 2021). É preciso observar que o atual modelo de agronegócio brasileiro não leva em consideração a riqueza e a biodiversidade do País.

Outro desafio enfrentado pelas áreas rurais brasileiras e pelos grupos vulneráveis é o acesso precário a serviços confiáveis e sustentáveis de energia. A energia é um componente essencial de todos os sistemas sociais econômicos, desempenhando um papel crucial no desenvolvimento sustentável global. A falta de acesso a serviços de energia e a qualidade precária desses mesmos serviços são fatores que levam a processos de exclusão social e impedem o desenvolvimento de comunidades com essas características (GUZOWSKI; MARTIN; ZABALOY, 2021). Apesar de o Brasil apresentar excelentes recursos de radiação solar (INPE, 2017), a pobreza energética afeta principalmente comunidades isoladas em áreas rurais e áreas urbanas densamente povoadas, marcadas principalmente, pela pobreza e pela pouca infraestrutura (GUZOWSKI; MARTIN; ZABALOY, 2021). Em números, 11% dos domicílios brasileiros, aproximadamente 8 milhões de unidades

consumidoras, ainda vivem em condições de pobreza energética e, em áreas rurais, esse número chega a 16% (aproximadamente 11,6 milhões de unidades consumidoras) (BEZERRA et al., 2022; IBGE, 2019a).

A tecnologia solar fotovoltaica (PV) é considerada uma das principais soluções para combater as mudanças climáticas, e tem crescido significativamente na última década. De acordo com o relatório *Snapshot of Global PV Markets 2023* emitido pela Agência Internacional de Energia (IEA), a capacidade instalada fotovoltaica chegou a quase 1,2 TW até o fim de 2022 (IEA, 2023). No entanto, ao contrário da energia eólica e dos combustíveis fósseis, usinas solares demandam considerável espaço, o que faz com que seja desafiador encontrar locais adequados para grandes instalações fotovoltaicas (HERMANN et al., 2022). Para abordar esse problema, uma solução envolve integrar sistemas fotovoltaicos em várias áreas de atividades humanas, incluindo edifícios (energia fotovoltaica integrada em edifícios [BIPV]), lagos (usina solar flutuante) e uso de terras para fins de agricultura (sistema agrivoltaico) (HERMANN et al., 2022).

Nesse contexto, o uso combinado de terras para agricultura e geração de energia solar tem o potencial para se tornar uma poderosa ferramenta de superação dos desafios mencionados acima. Sistemas agrivoltaicos geram energia renovável sem ocupar as áreas de terras destinadas à produção de alimentos (TROMMSDORFF et al., 2022). Essa tecnologia também possui o promissor potencial de se tornar uma ferramenta resiliente para enfrentamento das mudanças climáticas. Os sistemas agrivoltaicos podem oferecer proteção ao solo contra radiação solar excessiva, calor e seca (FRAUNHOFER INSTITUTE, 2022). Nesse contexto, sistemas agrivoltaicos podem trazer benefícios para as atividades de pastagem ao criarem um microclima de resfriamento e proporcionando abrigo do sol, do vento e de predadores para a pecuária. Um exemplo que corrobora que a sombra fornecida pelos sistemas agrivoltaicos pode beneficiar o bem-estar animal é um estudo no qual pesquisadores observaram que ovelhas passam mais de 90% das horas do dia dentro dos limites da sombra fornecida por árvores (PENT et al., 2021).

Este relatório tem como objetivo apresentar

informações detalhadas sobre a tecnologia agrivoltaica, incluindo aplicações ao longo da história, regulatórias e atuais, bem como as aplicações em nível global e os projetos e aplicações de sistemas. Também inclui uma visão geral específica do País, apresentando os sistemas agrivoltaicos existentes no Brasil, o potencial da tecnologia considerando a diversidade regional do País, os potenciais benefícios e desvantagens e as recomendações para o desenvolvimento da tecnologia no contexto brasileiro.

## 2. Tecnologia agrivoltaica: conceito, história e aplicações

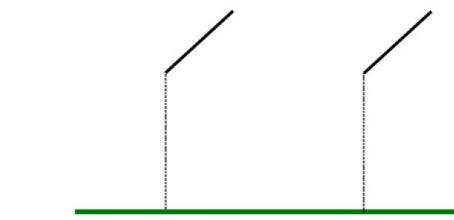
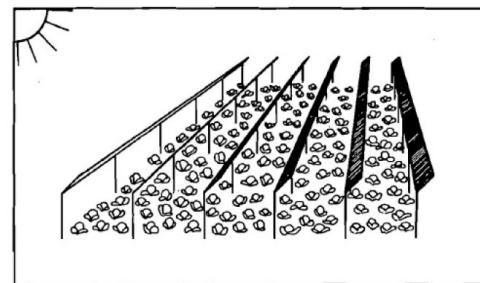
Este capítulo abordará uma visão geral dos sistemas agrivoltaicos, incluindo aplicações históricas e atuais em nível global. Além disso, conterá uma explicação das diferentes configurações dos sistemas agrivoltaicos, incluindo os vários projetos de sistemas e tecnologias de componentes que estão atualmente no mercado.

### 2.1 Conceito e breve histórico

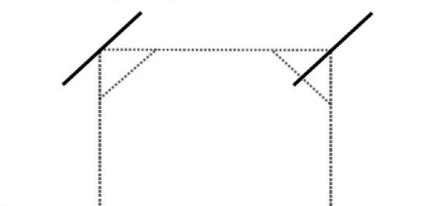
Um sistema agrivoltaico pode ser definido como uma tecnologia que visa o uso simultâneo de terrenos para a agricultura e a geração de energia fotovoltaica (GOETZBERGER & ZASTROW, 1982). O sistema agrivoltaico pode aumentar a eficiência do uso da terra, apresenta estruturas de suporte adaptadas e pode ser implementado em associação a várias safras. O sistema agrivoltaico está em rápida ascensão, mas definições e projetos padrão ainda estão ausentes em muitos estados e países. Os sistemas podem ser chamados de diversas formas, tais como “uso combinado”, “co-localização”, “Agri-PV”, “Agro-PV”, “agrivoltaico”, “agri-solar”, “energia solar compartilhada” ou “energia solar amigável a espécies polinizadoras”, dependendo da região e das aplicações específicas ao redor do mundo (MACKNICK et al., 2022). No presente documento, o termo “agrivoltaico” foi selecionado devido ao seu uso disseminado e por ser utilizado nas principais referências utilizadas para o presente estudo, tais como a publicação “*Agrivoltaics: Opportunities for Agriculture and the Energy Transition*” pelo Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems na Alemanha (2022).

A tecnologia agrivoltaica foi mencionada academicamente pela primeira vez em 1981, pelo professor Adolf Goetzberger, o fundador do *Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems* na Alemanha, e seu colega Armin Zastrow, em uma publicação na revista *Solar Energy* (GOETZBERGER & ZASTROW, 1982). O artigo intitulado “*On the coexistence of solar energy conversion and plant cultivation*” [sobre a coexistência da conversão de energia solar e o cultivo de plantas] serviu como o passo inicial para a criação do conceito de sistemas agrivoltaicos. No entanto, esse conceito permaneceu por muitos anos esquecido, até o primeiro sistema ter sido criado em 2004, construído no Japão por Akira Nagashima, que se referiu ao modelo como “energia solar compartilhada” (TOLEDO; SCOGNAMIGLIO, 2021). Ambos os modelos agrivoltaicos mencionados são mostrados na **FIGURA 1**.

Figura 1 - Primeiros modelos agrivoltaicos. © Goetzberger e Zastrow (a), A. Nagashima (b)



(a) Conceitualização elaborada por Goetzberger e Zastrow (1981)



(b) Primeiro modelo desenvolvido por Akira Nagashima no Japão (2004)

Fonte: Toledo (2021)

Desde então, sistemas agrivoltaicos têm crescido rapidamente na Europa, na Ásia e nos Estados Unidos (HERMANN; SCHÖNBERGER, 2022). Esses sistemas existem em várias escalas, de pequenas configurações para agricultura familiar até instalações em larga escala com mais de 700 MW na China, por exemplo.

Dentro do contexto internacional, há um potencial significativo para sistemas agrivoltaicos de pequena escala, os quais podem proporcionar benefícios sociais notáveis às famílias envolvidas. Países como o Japão, a Itália e a Coreia do Sul, nos quais a disponibilidade de terras é limitada, considerando as suas populações, já estão investindo em sistemas agrivoltaicos para diversificar as fontes de renda no setor agropecuário (HERMANN; SCHÖNBERGER, 2022).

A Alemanha é um dos países pioneiros no desenvolvimento da tecnologia agrivoltaica (FIGURA 2 e FIGURA 3). Em termos de pesquisa, o país hospeda vários projetos que fornecem dados para o aperfeiçoamento contínuo da tecnologia. Além disso, a Alemanha se destaca na criação de diretrizes técnicas para sistemas agrivoltaicos. O Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems (ISE) e a Universidade de Hohenheim realizaram uma colaboração com o Instituto Alemão para Normatização (DIN) e outros parceiros para desenvolver o padrão DIN SPEC 91434<sup>1</sup>. Publicado em maio de 2021, este documento intitulado “*Agri-photovoltaic systems – Requirements for primary agricultural use*” [Sistemas agrifotovoltaicos – requisitos para uso inicial na agricultura] visa estabelecer um método de testes para sistemas agrivoltaicos. Ele tem como objetivo fornecer procedimentos padronizados de medição agrivoltaica para relatórios e documentação para órgãos legislativos, financeiros e autoridades de aprovação, bem como para estágios pós-teste e certificação por especialistas e organizações de certificação.

**Figura 2 - Sistema agrivoltaico com frutas orgânicas em nachtwey, Alemanha**



Fonte: Hermann et al. (2022)

**Figura 3 - Sistema agrivoltaico com frutas orgânicas em nachtwey (2), Alemanha**



Fonte: Hermann et al. (2022)

Considerando o contexto de mudanças climáticas, o crescimento populacional e o aumento da demanda por energia elétrica, é esperado que a tecnologia fotovoltaica continue a se expandir e obter mais protagonismo na matriz energética global. No entanto, há também uma necessidade crescente de produção de alimentos, levando à competição por terra e espaço, especialmente em áreas densamente povoadas. Como os sistemas fotovoltaicos convencionais podem ocupar áreas significativas de terra, a tecnologia agrivoltaica emerge como uma alternativa crucial para o uso eficiente da terra em países densamente povoados (TOLEDO; SCOGNAMIGLIO, 2021).

O uso combinado de terras para a produção de alimentos e a geração de energia oferece várias vantagens para ambas as finalidades que vão além de fornecer eficiência para a terra (HERMANN; SCHÖNBERGER, 2022), tais como:

- Redução da necessidade de irrigação ou otimização da irrigação: os sistemas agrivoltaicos podem reduzir a necessidade de irrigação devido à redução de evapotranspiração, além de também haver a possibilidade de coleta de água da chuva para fins de irrigação;
- Redução da erosão eólica: a presença de estruturas de instalação fotovoltaicas pode atuar como proteção ou escudo para as safras, reduzindo o impacto da erosão eólica;
- Redução do uso de agrotóxicos e antifúngicos devido a uma proteção mais aprimorada das plantas;
- Utilização da estrutura de instalação fotovoltaica para proteção das safras: as estruturas de suporte dos painéis fotovoltaicos podem fornecer proteção adicional para as safras, tais como sombra ou proteção de intempéries, além de poderem ser utilizadas para a instalação de redes ou mantas de proteção;

1 <https://www.en-standard.eu/din-spec-91434-agri-photovoltaic-systems-requirements-for-primary-agricultural-use/>

- Otimização da disponibilidade de luz para as safras: alguns sistemas agrivoltaicos utilizam a tecnologia do seguidor solar para otimizar a disponibilidade de luz para as safras, o que aprimora as suas condições de crescimento;
- Eficiência aprimorada do módulo por meio de melhor resfriamento convectivo: sistemas agrivoltaicos podem resultar em melhor resfriamento de módulos fotovoltaicos, o que pode resultar em aumento da eficiência de geração de energia;
- Maior eficiência dos módulos bifaciais devido ao aumento da altura acima do solo e linhas de módulos adjacentes: o desenho e a configuração de sistemas agrivoltaicos podem aprimorar a eficiência dos módulos bifaciais, que têm a capacidade de coletar a luz solar de ambos os lados.

Além dos benefícios técnicos que podem resultar em um grande aumento na geração de energia e na produção de alimentos, a tecnologia agrivoltaica também pode gerar vantagens sociais e econômicas aos agricultores. Esses sistemas fornecem maior autonomia energética para a agricultura familiar (FIGURA 4) e oferecem o potencial de diversificação de renda por meio da venda de excedentes de energia. No Japão e na Coreia do Sul, por exemplo, a implementação de projetos agrivoltaicos tem sido direcionada por um foco em benefícios sociais para agricultores e comunidades rurais. No Japão, a tecnologia foi introduzida para o enfrentamento dos desafios do declínio populacional em áreas rurais e da redução de renda advinda de cenários do agropecuário, especialmente após a catástrofe de Fukushima, que resultou na contaminação de safras agrícolas. Na Coreia, os formuladores de políticas pretendem criar um regime de aposentadoria relacionado ao sistema agrivoltaico, pois reconhecem a mudança demográfica no setor agropecuário, já que as pessoas estão envelhecendo e muitos agricultores se aposentando e enfrentando a realidade de ter uma renda reduzida (SCHINDELE et al., 2020).

**Figura 4 - Um agricultor realizando a colheita de arroz com um sistema agrivoltaico logo acima da plantação de arroz na vila de Gidong, Coreia do Sul**



Fonte: Hanwha Solutions (JAE-HYUK; COUNTY, 2022)

No caso dos países mencionados acima, por meio da integração do uso combinado de energia solar, agricultores podem gerar rendas alternativas da venda de energia solar, ao mesmo tempo em que preservam as terras cultivadas abaixo das instalações agrivoltaicas para um possível uso futuro para fins agropecuários. Tanto o Japão quanto a Coreia do Sul têm criado regulamentos para incentivar a participação local, assegurando, assim, uma distribuição descentralizada e igualitária de projetos agrivoltaicos (SCHINDELE et al., 2020). Na Coreia do Sul, por exemplo, o governo planeja instalar, até 2030, 100.000 sistemas agrivoltaicos em fazendas, para assim proporcionar uma segurança de aposentadoria para agricultores; será fornecido a eles uma renda mensal de aproximadamente 1.000 dólares dos EUA graças às vendas de energia elétrica (HERMANN; SCHÖNBERGER, 2022). Ao contrário do que ocorre na França, local em que projetos agrivoltaicos tendem a ser relativamente grandes, e na China, local em que não há limites de tamanho, o foco do Japão e da Coreia do Sul em projetos de menor escala beneficia os agricultores e as comunidades locais, fomentando a resiliência econômica e o uso sustentável das terras (SCHINDELE et al., 2020).

Para assegurar os benefícios da adoção da tecnologia agrivoltaica, é essencial que todas as etapas do planejamento, do projeto e da instalação dos sistemas sejam realizados adequadamente. No Brasil, a tecnologia ainda está na fase piloto de implementação e, nos próximos anos, será crucial realizar mais estudos sobre a adequação da tecnologia em relação às condições climáticas e às safras locais. Além disso, esses estudos e *insights* obtidos com projetos pilotos são fundamentais para o desenvolvimento de estruturas de diretrizes e/ou regulamentos nacionais que direcionarão o desenvolvimento de sistemas agrivoltaicos.

A falta de diretrizes ou regulamentos nacionais é uma questão relevante e fornecer incentivos sem isso resultou em consequências para a França, na última década. De acordo com o relatório do Fraunhofer ISE (2020), não foram definidos critérios claros para os sistemas agrivoltaicos na primeira rodada de licitações na França, e a participação da produção agrícola acabou sendo muito baixa ou mesmo não existente em alguns projetos. Esse resultado resultou em certa resistência com relação aos sistemas agrivoltaicos no país, especialmente dentro do setor agropecuário (Fraunhofer ISE, 2020). Consequentemente, em 2021, normas para a instalação desses sistemas foram desenvolvidas e publicadas pela Agência de Gestão de Energia e do Meio Ambiente da França (ADEME), que agora serve como uma orientação para projetos atuais e futuros (ADEME et al., 2021).

Outro desafio enfrentado para a implementação da tecnologia é a falta de profissionais qualificados para planejar e instalar projetos no mercado brasileiro. A tecnologia ainda é nova para empresas voltadas à energia

fotovoltaica e até mesmo instituições de ensino, com oportunidades limitadas de cursos disponíveis para profissionais do setor de energia. Além disso, apenas ter conhecimento sobre sistemas fotovoltaicos não é suficiente para o desenvolvimento de um projeto agrivoltaico bem-sucedido. Conforme indicado em guias técnicos, tais como “*Agri-photovoltaic systems – Requirements for primary agricultural use*”<sup>2</sup> (DIN SPEC 91434) da Alemanha e “*Guidelines for The Design, Construction, and Operation of Agrovoltaic Plants*”<sup>3</sup> da Itália, a presença de equipes multidisciplinares é crucial para o planejamento, a manutenção e o monitoramento desses sistemas.

## 2.2 Aplicações e tecnologias

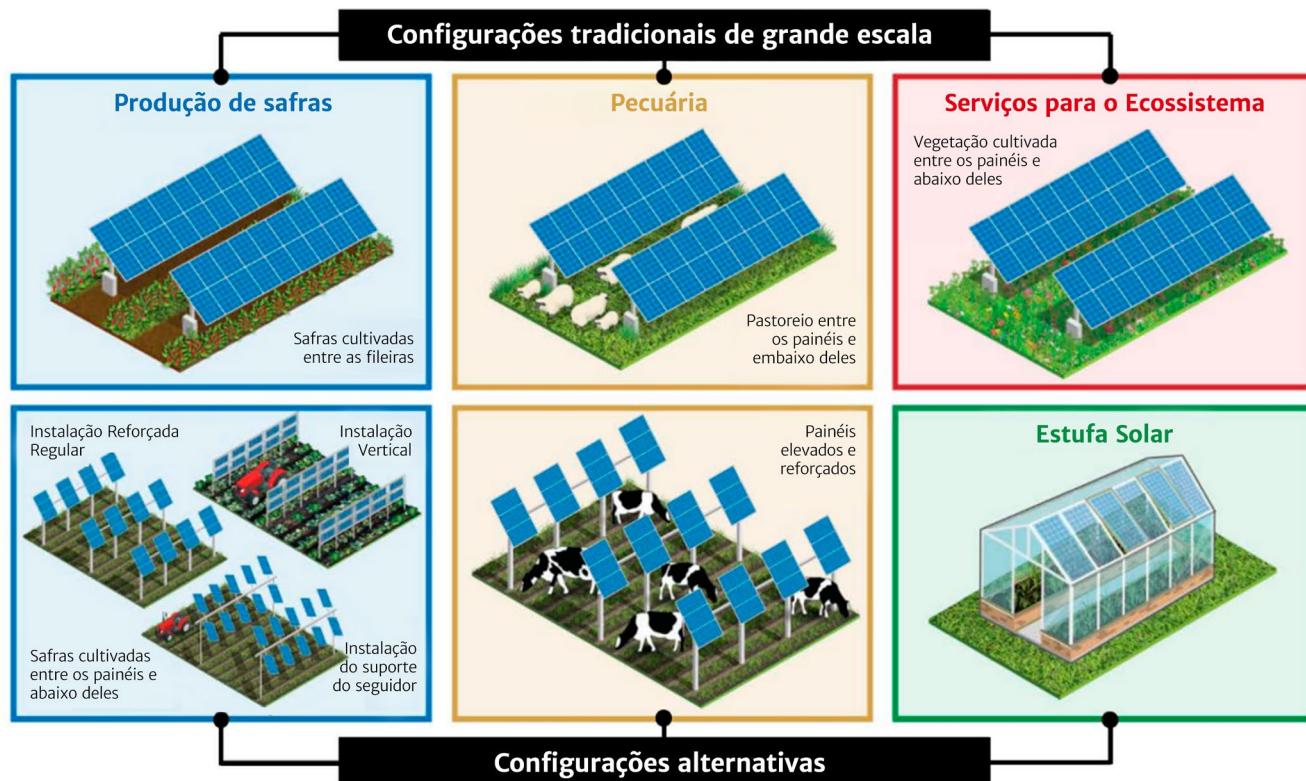
De acordo com Macknick et al. (2022), sistemas agrivoltaicos podem ser categorizados em duas configurações principais: (1) sistemas elevados com produção de safras embaixo abaixo de painéis fotovoltaicos e (2) sistemas inferiores com a safra crescendo entre fileiras de módulos fotovoltaicos. Portanto, os sistemas agrivoltaicos também proporcionam versatilidade, com opções que vão desde configurações mais baixas, permitindo o cultivo da safra entre fileiras de módulos, até

estruturas mais altas, acima de 5 metros de altura, o que permite a passagem de maquinário agrícola abaixo dos painéis fotovoltaicos. Essas estruturas podem ser fixas ou equipadas com sistemas de rastreamento de eixo único ou duplo para otimizar a geração de energia.

Em termos de aplicações (Figura 5), de acordo com Macknick et al. (2022), as categorias principais incluem:

- (1) Produção de safras e alimentos: cultivo abaixo ou entre fileiras de módulos fotovoltaicos;
- (2) Produção pecuária: pastagem abaixo ou nas proximidades dos sistemas, proporcionando conforto térmico através de sombreamento;
- (3) Fornecimento de serviços de ecossistema por meio do manejo da vegetação: criando habitats para espécies polinizadoras, formação do solo, manutenção da biodiversidade e sequestro de carbono;
- (4) Estufas solares: módulos fotovoltaicos instalados acima de estufas, utilizando a estrutura da estufa para a instalação do módulo e oferecendo sombreamento parcial.

Figura 5 - Tipos de sistemas agrivoltaicos que foram implementados comercialmente



Fonte: Macknick (2022)

2 <https://www.en-standard.eu/din-spec-91434-agri-photovoltaic-systems-requirements-for-primary-agricultural-use/>

3 <https://www.pv-magazine.com/2022/07/05/italy-publishes-new-national-guidelines-for-agrovoltaic-plants/>

Além disso, algumas configurações são projetadas para aplicações específicas, tais como os módulos verticais bifaciais ou estruturas distribuídas de forma a facilitar a coleta da água da chuva (FIGURA 6). Os sistemas verticais são mais econômicos em comparação com o sistema agrivoltaico suspenso, devido à subestrutura mais baixa, mas também oferecem menos opções de gerenciamento da iluminação. Uma vantagem dos sistemas interespaciais verticais poderia ser uma redução na velocidade do vento, o que tem um efeito positivo na redução da evaporação das safras (HERMANN; SCHÖNBERGER, 2022). O sistema agrivoltaico vertical pode substituir cercas para a agropecuária e proteger as áreas de pastagem (FIGURA 7).

Outra aplicação interessante do sistema agrivoltaico vertical é a associação com estufas, o que aumenta o albedo da estufa, para assim aumentar a produção de energia elétrica (Figura 8). Esse projeto piloto foi instalado em uma fazenda no Colorado, EUA, o projeto e a simulação foram desenvolvidos pela empresa Sandbox Solar, com seu software SPADE Agrivoltaic. Os períodos de pico para a geração de energia do projeto ocorrem entre às 9:00 horas e às 14:00 horas, com uma geração maior de energia em horários nos quais a geração solar é geralmente mais baixa (WEAVER, 2023).

**Figura 6 - Projeto conceitual de um sistema de captação da água da chuva com tanque de armazenamento**



Fonte: Hermann (2022)

**Figura 7 - Módulos solares bifaciais que servem como cercado para o gado**



Fonte: Next2Sun (2023)

**Figura 8 - Sistema fotovoltaico vertical associado a estufas**



Fonte: SandboxSolar (2023)

Outra aplicação experimental se refere aos **painéis fotovoltaicos solares móveis**. Em abril de 2022, um consórcio holandês constituído por Npk Design, L'orèl Consultancy e LTO Noord anunciou a criação de um sistema agrivoltaico móvel chamado de H2arvester<sup>4</sup>. Esse sistema compreende 168 painéis solares e um sistema de irrigação, com capacidade de fornecimento de água para as áreas circunvizinhas. As tecnologias de módulos fotovoltaicos possuem uma ampla faixa de opções de uso. Determinadas tecnologias, em particular aquelas com transparência ou *backsheet* transparente, oferecem vantagens por permitir mais luz através do módulo (FIGURA 9), o que pode beneficiar significativamente o cultivo agrícola. Além disso, módulos fotovoltaicos bifaciais podem utilizar valores de albedo aumentados (HERMANN; SCHÖNBERGER, 2022).

**Figura 9 - Local de pesquisa de sistemas agrivoltaicos com painéis solares monofaciais, translúcidos e bifaciais**



Fonte: Macknick (2022)

Os modelos especializados de módulos fotovoltaicos foram especificamente desenvolvidos para aplicações agrivoltaicas, incluindo módulos tubulares de película fina (FIGURA 10) e módulos com maior espaçamento entre as

4 <https://www.h2arvester.nl/?lang=en>

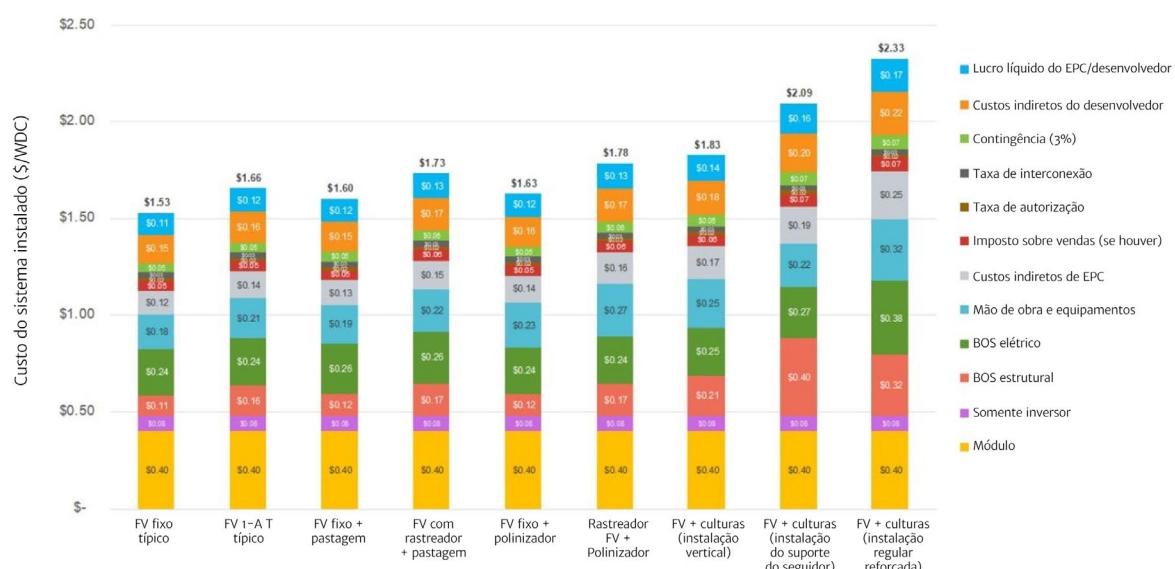
células. Empresas como a alemã Tubesolar and Grip Parity e a austríaca DAS Energy estão ativamente trabalhando com essas tecnologias. Além disso, algumas empresas, como a BYD, estão considerando a possibilidade de fabricação de módulos domésticos para atender especificamente às exigências de sistemas agrivoltaicos. Os módulos tubulares são instalados horizontalmente e prometem fornecer permeabilidade à luz e à água espacialmente uniforme. Esses benefícios são especialmente importantes na produção agrícola sem irrigação artificial (HERMANN; SCHÖNBERGER, 2022).

Figura 10 - Sistema Tubesolar



Fonte: Tubesolar (2023)

Figura 11 - Custos típicos de instalação de sistemas fotovoltaicos comparados aos custos de diferentes configurações de sistemas agrivoltaicos



Fonte: Horowitz et al., 2020

De acordo com Hermann and Schönberger (2022), além de quatro áreas diferentes, também há quatro principais modelos de negócio:

- **Caso base “tudo a partir de um modelo único”:** a primeira seria a mais simples, na qual todas as quatro áreas poderiam ser de responsabilidade do mesmo ator, geralmente uma fazenda. Uma vantagem é o fato de que

essa adaptabilidade em aplicações e tecnologias inovadoras contribui para o crescimento e a implementação contínuas das tecnologias agrivoltaicas em todo o mundo.

### 2.3 Modelos de Negócios

Sistemas agrivoltaicos exigem altos custos, em comparação com sistemas fotovoltaicos convencionais, pois estruturas adaptadas para a combinação de cultivo e geração de energia são necessárias. De acordo com o Relatório do NREL “Capital Costs for Dual-Use Photovoltaic Installations: 2020 Benchmark for Ground-Mounted PV Systems with Pollinator-Friendly Vegetation, Grazing, and Crops”, os custos de sistemas agrivoltaicos reforçados elevados podem ser até 52% maiores do que os de um sistema fotovoltaico fixo convencional (Figura 11). (Horowitz et al., 2020).

Os sistemas agrivoltaicos podem ser totalmente financiados pelos próprios agricultores, que também são beneficiários do sistema, mas outras partes interessadas também podem se envolver com o modelo de negócios, com quatro áreas principais abordadas: (1) propriedade da terra; (2) gestão de terras agrícolas; (3) propriedade/investimento do sistema fotovoltaico e (4) operação do sistema fotovoltaico (HERMANN; SCHÖNBERGER, 2022).

os custos de planejamento do projeto e a complexidade das negociações de contrato são menores;

- **Terra de propriedade externa** nesse modelo de negócios, a terra é arrendada de uma parte interessada externa e as outras três áreas ficam sob a responsabilidade da fazenda. Essa situação exigiria um contrato de arrendamento da terra de longo prazo,

- como no caso de projetos fotovoltaicos instalados no solo;
- **Investimento externo para sistemas fotovoltaicos** para grandes sistemas fotovoltaicos, um investimento externo para os sistemas fotovoltaicos é mais comum do que para sistemas pequenos. Esse modelo de negócios tem o potencial para economias de escala e otimização, graças à maior divisão de trabalho;
  - **Responsabilidades compartilhadas:** Nesse modelo, há uma mistura de *players* envolvidos no sistema agrivoltaico.

**Tabela 1 - Configurações de diferentes modelos de negócios agrivoltaicos**

Modelo de negócios	Função			
	Fornecimento de terras	Gerenciamento agrícola	Fornecimento do sistema FV	Operação do sistema FV
1. Caso base	Fazenda			
2. Terra de propriedade externa	Proprietários de terras	Fazenda		
3. Investimento externo para sistemas fotovoltaicos	Fazenda		Investidores	Fazenda
4. Apenas cultivo e operação	Proprietários de terras	Fazenda	Investidores	Fazenda
5. Apenas cultivo	Proprietários de terras	Fazenda	Investidores	Operadores FV

Fonte: Hermann and Schönberger (2022), com base em Schinidele et al. (2019)

Além disso, há diversos projetos desenvolvimentos por meio de modelos de cooperativa, nos quais tanto o investimento quanto os benefícios da geração de energia poderão ser compartilhados entre os agricultores que participam da cooperativa. Alguns exemplos incluem:

- A Comunidade solar park<sup>5</sup>, em Aasen, na Alemanha, construída com módulos verticais em parceria com a cooperativa de energia Solverde Bürgerkraftwerk Energiegenossenschaft, em 2020 (HERMANN; SCHÖNBERGER, 2022);
- A Gidong Village Power Plant<sup>6</sup>, na Coreia do Sul, que tem parceria com uma cooperativa social de moradores locais para “energia solar compartilhada”, composta em sua maioria por idosos que não podem mais trabalhar no campo (JAE-HYUK; COUNTY, 2022);

A propriedade da terra, a propriedade do sistema fotovoltaico e a operação da fazenda e do sistema fotovoltaico são de responsabilidade de diferentes partes, o que pode aumentar a complexidade do projeto.

Dessa forma, os sistemas podem ser financiados com fundos próprios e ser de propriedade individual, ou podem ser operados parcialmente com arrendamento da terra para a instalação do sistema por um investidor terceiro, por exemplo. As diferentes configurações dos modelos de negócios para sistemas agrivoltaicos, com os diferentes atores e funções, são exibidas na **TABELA 1**.

5 <https://www.renewable-energy-industry.com/news/press-releases/pm-6456-start-of-construction-of-an-innovated-agro-photovoltaic-open-space-plant-in-donaueschingen-aasen-germany>

6 [https://www.koreatimes.co.kr/www/tech/2023/03/129\\_335503.html](https://www.koreatimes.co.kr/www/tech/2023/03/129_335503.html)

7 <https://balkangreenenergynews.com/enerjisa-launches-first-agrovoltaic-pilot-project-in-turkey/>

### 3. Estado da arte para sistemas agrivoltaicos em todo o mundo

A tecnologia agrivoltaica apresentou um aumento considerável na última década e se beneficiou de programas de apoio governamental em todo o mundo. Em 2012, o Japão lançou o primeiro esquema de apoio a sistemas agrivoltaicos, seguido de outros países, tais como China, Coreia do Sul, França e Alemanha (DEPARTMENT OF ENERGY - USA, 2022). Políticas, regulamentos e diretrizes técnicas relacionados a esses sistemas são de grande importância para promover o desenvolvimento sustentável do setor.

Essa seção reúne informações sobre o contexto de regulamentos e diretrizes técnicas relacionados aos sistemas agrivoltaicos em diversos países. Esse conteúdo ajudará a construir a estrutura de melhores práticas internacionais, que irá ajudar a criar um cenário nacional para a tecnologia.

#### 3.1 Alemanha

A Alemanha é um país que se destaca por seus avanços em tecnologia agrivoltaica. De acordo com o relatório “*Agrivoltaics: Opportunities for Agriculture and the Energy Transition—A Guideline for Germany*” pela Fraunhofer ISE (2022), foi estimado que, em 2022, haveria 14 GWp de “sistemas agrivoltaicos suspensos” instalados em todo o mundo, com 1,7 GWp na Alemanha.

O governo alemão pretende aumentar significativamente sua capacidade de energia solar, de 60 GWp para 215 GWp, até 2030. Para conseguir isso, ele planeja utilizar instalações em telhados e no solo, e o sistema agrivoltaico é visto como uma alternativa em potencial, oferecendo benefícios como renda adicional para agricultores e maior resiliência climática. Para incentivar o investimento em sistemas agrivoltaicos, o Governo concedeu elegibilidade para acesso garantido à rede e tarifas “feed-in” nos termos da Lei de Energias Renováveis [Renewable Energies Act] (EEG). Além disso, projetos de sistemas agrivoltaicos receberão uma “tecnologia bônus” para cada kilowatt-hora (kWh) gerado, aumentando assim a sua atratividade. Também poderá haver, para a terra agrícola utilizada para sistemas agrivoltaicos, a qualificação para obter 85% dos subsídios padrão fornecidos pela Política Agrícola Comum da União Europeia (Common Agricultural Policy, CAP), desde que pelo menos 85% da terra permaneça disponível para cultivo. No entanto, a pastagem de ovelhas abaixo de painéis solares padrão não será mais elegível para subsídios. Áreas protegidas e terras de conservação relevantes para a agricultura estão excluídas dessa elegibilidade (NZEMBASSY, 2022).

Atualmente, o sistema agrivoltaico não tem sido completamente incorporado no enquadramento legal, de forma que alguns desafios legais permanecem sem resolução (TROMMSDORFF; KATHER, 2022). Embora nenhum padrão oficial esteja abordando os sistemas agrivoltaicos dentro do corpo das Normas alemãs, o documento intitulado “*Agri-photovoltaic systems - Requirements for primary agricultural use*”<sup>8</sup> (DIN SPEC 91434), publicado em maio de 2021, tem como objetivo estabelecer um método de testes para sistemas agrivoltaicos. O documento busca fornecer uma padronização para medições agrivoltaicas, para fins de notificação e documentação perante órgãos legislativos, financiadores e autoridades com poder de aprovação, bem como para estágios de certificação e pós-teste de sistemas agrivoltaicos por especialistas e organizações certificadoras. Ele tem como objetivo a redução significativa de riscos de natureza técnica para todos os participantes envolvidos nesses tipos de projetos.

##### 3.1.1 DIN SPEC 91434 – Definições e categorização

A definição de sistemas agrivoltaicos apresentada nas diretrizes é destacada abaixo:

- **Sistema fotovoltaico/agrovoltaico agrícola:** uso combinado da mesma área de terra para, primeiramente, a produção agrícola e, em segundo plano, a geração de energia elétrica por meio de um sistema fotovoltaico.

Os sistemas são divididos em duas categorias principais:

- **Categoria I:** sistemas agrivoltaicos com instalação elevada: cultivo abaixo do sistema agrivoltaico;
- **Categoria II:** sistemas agrivoltaicos com instalação no solo: cultivo entre as fileiras do sistema agrivoltaico.

Com base nas especificações de terras agrícolas elegíveis, os sistemas agrivoltaicos em ambas as categorias podem ser ainda divididos em quatro categorias de uso: (A) culturas

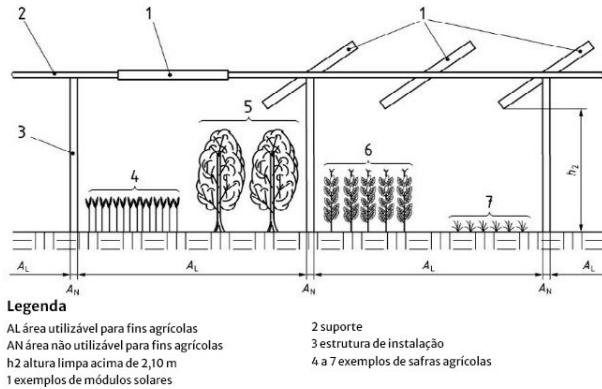
8 <https://www.en-standard.eu/din-spec-91434-agri-photovoltaic-systems-requirements-for-primary-agricultural-use/>

permanentes e perenes, (B) culturas anuais e perenes, (C) pastos permanentes para corte e (D) pasto permanente.

O documento enfatiza a importância de manter a safra em boas condições, seguindo as regras de “cross-compliance” da União Europeia e respectivas normas nacionais. Além disso, explicações mais detalhadas sobre as atividades agrícolas em áreas agrivoltaicas devem ser documentadas em uma proposta de cultivo agrícola, que deverá ser preparada na fase de planejamento anterior à construção do sistema agrivoltaico. Desvios das categorias acima (por exemplo, uma combinação de duas categorias) são possíveis, mas ainda assim devem atender aos requisitos da proposta de cultivo agrícola.

Para ser classificado como Categoria I, o sistema deve atender a determinadas especificações técnicas, principalmente ter uma altura mínima de 2,1 m (entre o solo e a parte inferior do módulo), conforme mostra a **FIGURA 12**.

**Figura 12 - Representação da Categoria 1**

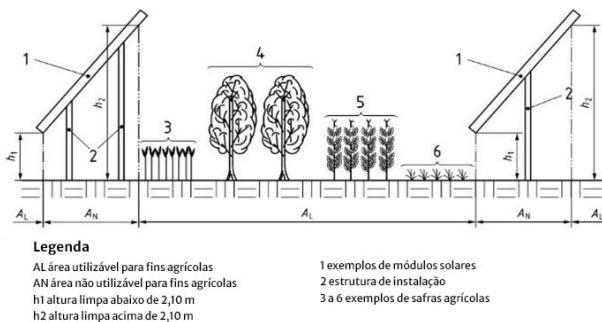


**Figura 1 - Representação da categoria 1**

Fonte: DIN SPEC 91434 (2021)

Por outro lado, a Categoria II é dividida em duas variantes: variante 1, com módulos fixos em um ângulo específico (com a altura da parte inferior do módulo abaixo de 2,1 m), e variante 2, com módulos montados verticalmente ou de forma ajustável (com rastreamento), no qual a altura mínima geralmente é inferior a 2,1 m. A área abaixo dos módulos deve ser considerada terra não utilizável para fins agrícolas (chamada de área An na Figura 13).

**Figura 13 - Representação da Categoria 2**



**Figura 3 - Representação da categoria II, variante 1**

Fonte: DIN SPEC 91434 (2021)

### 3.1.2 DIN SPEC 91434 – Proposta agrícola

O uso da terra e a produção agrícola planejados devem ser definidos em uma proposta de cultivo agrícola para os próximos três anos, ou em ciclo de rotação de safras. As possibilidades de cultivo para a área devem ser adaptadas às safras existentes e adequadamente listadas na proposta de cultivo agrícola.

A proposta de cultivo agrícola é preparada de forma conjunta pelo usuário da terra (agricultor, arrendatário) e pelo contratado de EPC (instalador do sistema fotovoltaico), e deve ser anexada à documentação do projeto. A proposta deverá incluir informações detalhadas sobre os seguintes pontos:

- **Instalação:** a instalação do sistema fotovoltaico em ambas as categorias deve ocorrer de forma distribuída dentro da área do projeto, para assim preservar seu uso agrícola anterior;
- **Perda de terra:** a perda de terra aráveis devido a estruturas deve ser evitada, não excedendo 10% na Categoria I e 15% na Categoria II;
- **Trabalhabilidade de cultivo:** a trabalhabilidade da área de cultivo deve ser assegurada;
- **Disponibilidade e homogeneidade da luz:** a maximização da homogeneidade e da disponibilidade da luz é essencial para assegurar o crescimento das plantas. Esses aspectos devem ser verificados e adaptados às necessidades específicas dos produtos agrícolas, uma vez que a produção agrícola é a prioridade e deve ser assegurada;
- **Disponibilidade de água:** A disponibilidade e a distribuição uniforme de água deverão ser asseguradas para o cultivo. Para que isso seja assegurado, um sistema de irrigação poderá ser utilizado, ou um projeto com avaliação individual relacionada à demanda de água da safra pode ser demonstrado sob as condições climáticas usuais locais;
- **Erosão do solo:** o projeto do sistema deve minimizar os efeitos da erosão do solo causada pelo escoamento de água nos módulos. Um sistema de coleta ou distribuição de água da chuva pode ser implementado;
- **Instalação e desinstalação sem resíduos:** o sistema agrivoltaico, especialmente suas fundações e âncoras, devem ser adequados para desinstalação, para que assim a terra possa voltar à sua usabilidade original após o sistema ser desinstalado;
- **Cálculo de eficiência econômica:** um conceito economicamente viável para uso agrícola, do ponto de vista do agricultor, deverá ser apresentado como parte da proposta de cultivo agrícola;

- **Eficiência no uso da terra:** o rendimento da safra na área total do projeto após a construção do sistema agrivoltaico deve ser de no mínimo 66% do rendimento de referência. A redução do rendimento da safra agrícola é decorrente da perda de terras aráveis como consequência da superestrutura/subestrutura do sistema fotovoltaico e da disponibilidade reduzida de água, entre outros fatores. O rendimento de referência deve ser determinado usando a média de rendimento dos últimos três anos, se o agricultor já estivesse realizando o cultivo antes da instalação do sistema fotovoltaico. Caso contrário, rendimentos de referência de publicações relevantes dos últimos três anos poderão ser utilizados. A estimativa de redução de rendimento na área disponível, que não deve exceder um terço, deverá ter os fatores listados abaixo considerados, e poderá ser realizada por profissionais qualificados.

### 3.1.3 DIN SPEC 91434 – Pré-requisitos técnicos e de planejamento para sistemas agrivoltaicos

Para desenvolver um projeto agrivoltaico, de acordo com o DIN SPEC 91434, há diversas decisões e pré-requisitos técnicos que devem ser considerados, tais como:

- **Disponibilidade e homogeneidade da luz:** a verificação deverá abranger todos os componentes do sistema que influenciam a disponibilidade da luz. Para simplificar o cálculo, materiais em vidro e encapsulamento entre células fotovoltaicas poderão ser considerados um espaço livre de células com 100% de transparência;
- **Requisitos para estruturas de suporte e estabilidade:** estruturas na Alemanha deverão ser projetadas de acordo com os conceitos de segurança dos Eurocódigos;
- **Requisitos para a tecnologia fotovoltaica:** várias tecnologias fotovoltaicas poderão ser utilizadas em sistemas agrivoltaicos, mas certos aspectos precisarão ser considerados e adaptados para assegurar a distribuição e a homogeneidade da luz para cultivo;
- **Requisitos de instalação:** na Categoria I, uma distância vertical de 2,1 m entre o topo das safras e a base inferior do sistema fotovoltaico deverá ser mantida. Além disso, a área não arável não deverá exceder 10% da área total. Na Categoria II (sistemas no nível do solo), o tamanho e a altura dos sistemas deverão ser adaptados ao cultivo específico, e a área não arável não deverá exceder 15% da área total;
- **Outros requisitos de planejamento para a instalação:** o espaçamento entre as fileiras do módulo não é especificado, mas deve cumprir os requisitos previamente listados. Precauções contra danos de maquinário agrícola, tais como a proteção de estruturas de módulos, devem ser incluídas no planejamento;

- **Requisitos de instalação, operação e manutenção:** a continuidade do cultivo ao longo do período do projeto deverá ser assegurada, juntamente com a qualidade do solo após a construção e a desinstalação do sistema fotovoltaico. A conformidade com os requisitos de construção, ocupação da área e segurança é essencial. A manutenção do sistema deverá seguir os regulamentos de sistemas fotovoltaicos e deverá ser evitado o trabalho abaixo do sistema durante intempéries. É recomendada a inspeção periódica para verificação de sujeira nos módulos, e a limpeza deverá ser realizada apenas se necessário, com cuidado para evitar qualquer impacto negativo nas safras quando agentes de limpeza forem utilizados.

### 3.1.4 Um caso de sistema agrivoltaico na Alemanha

Centros de pesquisa agrícola existem na Alemanha desde 2013 (HERMANN; SCHÖNBERGER, 2022), e muitos deles foram de grande relevância para o desenvolvimento da tecnologia em nível mundial. Atualmente, existem poucas empresas e organizações alemãs dedicadas ao sistema agrivoltaico. O *Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems* (ISE) oferece serviços abrangentes de P&D para a indústria, os quais abrangem estratégia, desenvolvimento de projetos, engenharia, compras e monitoramento de operações.

A BayWa r.e., ou seja, uma subsidiária da BayWa e acionista majoritária da T&G, foi uma das primeiras adotantes nesse campo e ativamente busca fazendas interessadas em co-investimento em sistemas agrivoltaicos (NZEMBASSY, 2022). A BayWa r.e. pretende desenvolver 250 MWp em sistemas agrivoltaicos até 2025 (LARGUE, 2021). Outras empresas alemãs no mercado agrivoltaico são a SunFarming, que promove sistemas horizontais elevados adequados para cultivo de frutas, legumes e verduras, ervas, flores e safras especiais, como vinho e amoras; a Next2Sun, especialista em sistemas agrivoltaicos bifaciais verticais; e a Tubesolar, que está comprometida com o desenvolvimento de módulos tubulares de filme fino fotovoltaicos (NZEMBASSY, 2022).

Um bom exemplo de um centro de pesquisa na Alemanha é o da fazenda Hofgemeinschaft Heggelbach, próxima do Lago Constance, na Alemanha, em 2016 (Figura 14), como parte do projeto APV-RESOLA. Foram cultivadas safras de teste, incluindo trigo de inverno, batatas, aipo e gramado de trevos. Para assegurar a exposição consistente à luz solar para as safras, módulos fotovoltaicos bifaciais de vidro duplo foram instalados com uma altura em relação ao solo de cinco metros, voltados para o sudoeste, e com maiores distâncias entre as linhas. O projeto permite a utilização de grandes maquinários, tais como colheitadeiras combinadas, sem limitações significativas. As fileiras são espaçadas em 9,5 metros de distância, com a fileira tendo uma largura de 3,4 metros. A capacidade instalada desse sistema de teste é suficiente para alimentar 62 casas com

quatro habitantes dentro por ano. No entanto, devido ao aumento das distâncias entre fileiras, a capacidade instalada por hectare é aproximadamente 25% mais baixa em comparação com sistemas fotovoltaicos convencionais instalados no solo (HERMANN; SCHÖNBERGER, 2022).

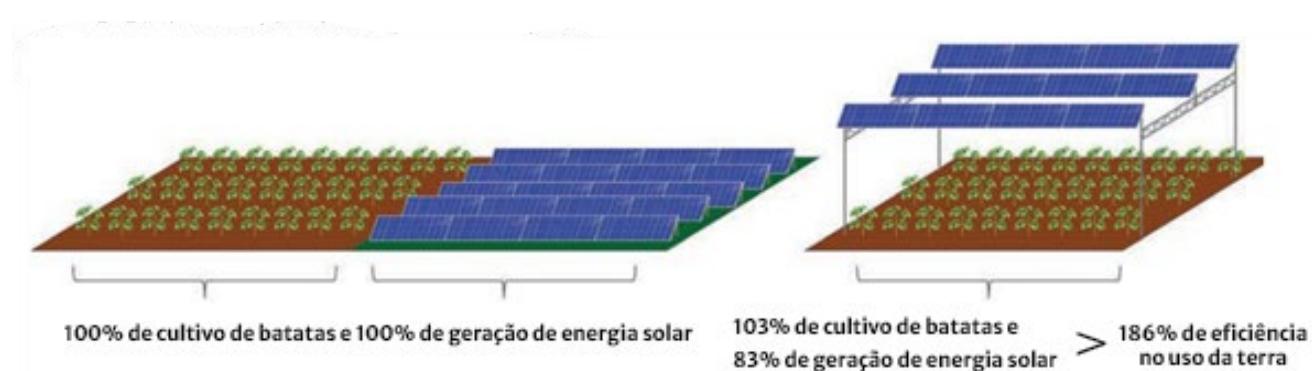
Os resultados do projeto revelaram que a eficiência do uso da terra aumentou para 160% no primeiro ano do projeto (2017), confirmando a viabilidade prática do sistema agrivoltaico. Safras cultivadas abaixo dos módulos fotovoltaicos tiveram um rendimento acima de 80% em comparação com as áreas de referência sem módulos

**Figura 14 - Projeto Heggenbach construído em 2016**



Fonte: BayWa r.e (2023)

**Figura 15 - O uso combinado da terra para o sistema agrivoltaico e o cultivo de batata aumentou, para 186%, a eficiência no uso da terra no local de teste de Heggenbach**



Fonte: Hermann et al. (2022)

fotovoltaicos, o que os tornam comercialmente viáveis. Durante o verão de 2018, houve extremas ondas de calor e os rendimentos de safras ultrapassaram os resultados do ano anterior de forma significativa. A sombra parcial fornecida pelos módulos fotovoltaicos melhorou o rendimento da safra, ao mesmo tempo em que a abundante radiação solar impulsionou a geração de energia solar (HERMANN; SCHÖNBERGER, 2022). Isso levou a uma melhoria de 86% na eficiência no uso da terra durante o teste de safra da batata, conforme mostrado na Figura 15.

### 3.2 Itália

A primeira central agrivoltaica na Itália, que foi um dos projetos pioneiros na Europa, foi instalada em 2002. Ela tem uma capacidade total de 1 MW e está localizado em Apulia. Posteriormente, houve uma expansão gradual de sistemas agrivoltaicos, os quais, por fim, foram reconhecidos como uma estratégia para atingir os objetivos de descarbonização.

Em março de 2022, novas diretrizes nacionais para centrais agrivoltaicas<sup>9</sup> foram lançadas na Itália. Essas diretrizes foram desenvolvidas pelo Ministério de Transição Ecológica, em coordenação com organizações como o Conselho de Pesquisa Agrícola e de Análise Agrícola Econômica (CREA), Gestor de Serviços de Energia (GSE), Agência Nacional para Novas Tecnologias, Energia e Desenvolvimento Econômico Sustentável (ENEA) e Pesquisa de Sistemas de Energia (RSE).

#### 3.2.1 Diretrizes italianas – Definições

As diretrizes, intituladas “*Guidelines for The Design, Construction and Operation of Agrovoltalic Plants*”, têm como objetivo esclarecer as características e os requisitos mínimos para que um sistema fotovoltaico seja considerado um “sistema agrivoltaico”. No geral, dois tipos de sistemas são distinguidos: (1) sistemas agrivoltaicos que asseguram uma interação mínima entre a produção de energia e a produção agrícola e (2) sistemas agrivoltaicos avançados que atendem aos requisitos adicionais e são elegíveis para incentivos estatais pagos por meio de tarifas de energia elétrica, de acordo com o Decreto Legislativo de 3 de março de 2011, nº 28<sup>10</sup>.

As diretrizes são baseadas na Lei italiana nº 108, de 29 de julho de 2021<sup>11</sup>, na qual os sistemas agrivoltaicos são definidos como aqueles sistemas «que adotam soluções integradoras inovadoras com instalação de módulo elevado a partir do solo, também proporcionando a rotação dos próprios módulos, se for necessário, de modo a não comprometer a continuidade das atividades agrícolas e de pastoreio, permitindo a aplicação de ferramentas digitais e agricultura de precisão». Além disso, o regulamento alemão DIN SPEC 91434 “*Agrivoltaic Systems - Requirements for Primary Agricultural Use*” foi considerado nas diretrizes italianas.

Algumas definições presentes nas diretrizes estão listadas abaixo:

- **Sistema Agrivoltaico:** refere-se a um sistema fotovoltaico que adota soluções com o objetivo de

preservar a continuidade das atividades agropecuárias existentes no local de instalação;

- **Sistema Agrivoltaico Avançado:** refere-se a um sistema fotovoltaico que adota soluções com o objetivo de preservar a continuidade das atividades agropecuárias no local de instalação. Esse sistema, seguindo as disposições do Artigo 65 - Decreto Nº 1 de 24 de janeiro de 2012<sup>12</sup>, conforme emenda e suplementação:

- Adotam soluções integradoras inovadoras com instalação de módulo elevado a partir do solo, também proporcionando a rotação dos próprios módulos, se for necessário, de modo a não comprometer a continuidade das atividades de cultivo agrícola e de pastoreio, permitindo também a aplicação de ferramentas digitais e agricultura de precisão”; e
- Pretendem realizar a implementação simultânea de sistemas de monitoramento para verificar o impacto da instalação fotovoltaica em safras, economia de água, produtividade agrícola para diferentes tipos de safras, continuidade das atividades da fazenda, recuperação da fertilidade do solo, microclima e resiliência a mudanças climáticas.

#### 3.2.2 Diretrizes italianas – Categorização

As diretrizes consideram cinco tipos de requisitos (A, B, C, D e E) para sistemas agrivoltaicos. Para a qualificação como um sistema agrivoltaico “básico”, requisitos A, B e (possivelmente) D.2 devem ser atendidos.

- **Requisito A.1:** refere-se à área e estipula que 70% desta deveria ser alocada para cultivo agrícola, cultivo de flores ou pastagem de gado;
- **Requisito A.2:** define a porcentagem máxima da área do módulo, que não deve exceder 40%;
- **Requisito B.1:** está relacionado ao rendimento de produtividade agrícola/pecuária em €/ha ou €/unidade de animais adultos. Esse requisito envolve a comparação do rendimento do sistema fotovoltaico com os rendimentos dos anos anteriores na área. Se não houve produção antes da instalação do sistema fotovoltaico, o rendimento será comparado com o de áreas produtivas próximas ou com o de uma área de controle. Além disso, esse requisito está relacionado à manutenção de

9 [https://anie.it/wp-content/plugins/acd-attach-document/acd-get-document.php?post\\_ID=65204&file\\_name=position-paper-agrovoltalico.pdf](https://anie.it/wp-content/plugins/acd-attach-document/acd-get-document.php?post_ID=65204&file_name=position-paper-agrovoltalico.pdf)

10 <https://www.normattiva.it/uri-res/N2Ls?urn:nir:stato:decreto-legislativo:2011-03-03:28>

11 [https://www.bosettiegatti.eu/info/norme/statali/2021\\_0108\\_ex\\_DL\\_77.pdf](https://www.bosettiegatti.eu/info/norme/statali/2021_0108_ex_DL_77.pdf)

12 <https://www.gazzettaufficiale.it/eli/id/2012/01/24/012G0009/sg>

safras/produção existentes, assegurando que o sistema fotovoltaico não influencie mudanças nas safras produzidas;

- **Requisito B.2:** especifica que a produtividade (rendimento) do sistema de geração fotovoltaico deverá ser de no mínimo 60% do rendimento do sistema padrão de referência em GWh/ha/ano;
- **Requisito C:** tem como foco soluções inovadoras integradas ao sistema agrivoltaico para otimizar o desempenho de geração fotovoltaica e a produtividade agrícola. Ele estabelece os seguintes critérios:
  - (1) A altura mínima do módulo é projetada para permitir a continuação das atividades produtivas existentes OU (2) não foi projetada para manter a produção agrícola OU (3) os módulos estão posicionados verticalmente. Nos casos 1 e 3, o sistema seria considerado um sistema agrivoltaico avançado.
  - Valores de referência: 3 metros de altura para atividade de produção animal e 1 metro para atividade agrícola;
- **Requisito D:** estabelece regras para sistemas com monitoramento de impactos sobre safras, economia de água, produtividade e continuidade das atividades nas fazendas envolvidas. Os valores médios de desempenho deverão ser mantidos ao longo da vida útil da central. O monitoramento é essencial para avaliar diversos aspectos e assegurar a continuidade da produção agrícola associada;
- **Requisito D.1:** monitoramento de economia de água;
- **Requisito D.2:** monitoramento da continuidade da produção agrícola;
- **Requisito E:** o sistema permite a verificação da recuperação da fertilidade do solo, o microclima e a resiliência às mudanças climáticas.

### 3.2.3 Um caso de sistema agrivoltaico na Itália

Projetos em larga escala estão presentes na Itália e a empresa Cero Generation, do Reino Unido, tem uma importante participação no mercado. A empresa obteve financiamento para uma instalação agrivoltaica de 70 MW na Província italiana de Latina e outra de 48 MW na província de Viterbo, na região de Lazio (CERO, 2022).

Um exemplo de sistema agrivoltaico implementado com sucesso na Itália envolveu o uso de painéis solares para fornecer sombra para limoeiros e cidreiras (Figura 16), mitigando os impactos do calor extremo e assegurando a preservação dessas safras. Os resultados demonstraram que o sistema agrivoltaico ajudou a reduzir a temperatura abaixo dos painéis solares, evitando danos potenciais nos

frutos e mantendo as condições originais de crescimento das árvores. Além disso, a produção combinada de energia elétrica a partir de painéis solares e safras de frutas foi observada como sendo mais lucrativa do que as práticas tradicionais de monocultura. Essa implementação do sistema agrivoltaico ilustra seu potencial para proteger safras, aumentar a produtividade agrícola e contribuir para a produção de energia sustentável (PETRONI, 2023).

Figura 16 - Sistema agrivoltaico com cidras na fazenda da família Lancellotta



Fonte: Petroni (2023)

### 3.3 França

Nos últimos anos, tem aumentado o número de empresas que oferecem serviços de sistemas agrivoltaicos na França, tais como a Total, a Sun'Agri e a Ombrea; tudo isso com o apoio do governo em âmbito nacional. Além disso, compras de energia em larga escala estão cada vez mais incorporando projetos agrivoltaicos associados a plantas de safras sofisticadas, tais como vinhedos e pomares (DOE, 2022). De acordo com as estimativas da associação France Agrivoltaïsme, há até 200 projetos agrivoltaicos no país (Figura 17), com muito mais nos estágios de planejamento (MARTIN GREENACRE, 2023).

Uma das razões para esse crescimento pode estar relacionada ao fato de que o governo francês está incentivando o desenvolvimento de sistemas agrivoltaicos em larga escala por meio de contratos competitivos. Em 2021, a França alocou 40 MW de projetos de sistemas agrivoltaicos como parte de sua concessão inovadora de energia fotovoltaica em leilão de energia (SPAES, 2021). Em 2023, o Ministério Francês de Transição Ecológica divulgou os resultados de uma licitação destinada a tecnologias fotovoltaicas inovadoras, conduzida nos termos do Plano Plurianual de Energia (*Programmation Plurianuelle de l'Energie*, PPE). Nesse processo, um total de 172,9 MW de capacidade de energia solar foi alocado pelas autoridades, dos quais 80 MW foram destinados a projetos agrivoltaicos (DEBOUTTE, 2023).

**Figura 17 - Sistema agrivoltaico da Sun'R na França**

Fonte: Spaes (2021)

Apesar do relevante crescimento dos sistemas agrivoltaicos, não há atualmente nenhum conceito ou diretriz oficial para essa tecnologia no país. Embora não haja um documento oficial, em 2021, a Agência Francesa para o Meio Ambiente e Gestão de Energia (ADEME) definiu padrões para sistemas agrivoltaicos por meio de uma série de publicações em seu website<sup>13</sup>. Essas publicações abrangem revisões de conceitos, caracterização de sistemas, estudos de caso, desempenho de sistemas e o estado da arte na França e em vários outros países (ADEME et al., 2021).

No entanto, uma nova legislação que regulará o conceito de sistema agrivoltaico está sendo desenvolvida. De acordo com os novos regulamentos de energia renovável em desenvolvimento, haverá poucas condições para projetos agrivoltaicos (MARTIN GREENACRE, 2023). A legislação incorporará a manutenção de longo prazo ou o desenvolvimento da produção agrícola, de forma semelhante a outros regulamentos existentes. Além disso, a proposta enfatiza que a atividade primária deverá permanecer sendo a agrícola, e o sistema agrivoltaico deverá proporcionar pelo menos um dos seguintes benefícios para a cultura: melhorias no potencial agrícola, adaptação às mudanças climáticas, proteção contra ameaças e melhora do bem-estar animal.

A falta de diretrizes ou regulamentos nacionais é uma questão relevante e fornecer incentivos sem isso resultou em consequências para a França, na última década.

De acordo com um relatório da Fraunhofer ISE (2020), a falta de critérios bem-definidos para sistemas agrivoltaicos durante o processo inicial de licitação na França resultou no envolvimento mínimo ou não existente da produção agrícola em alguns projetos. Consequentemente, isso resultou em resistência com relação ao sistema agrivoltaico no país, especialmente no setor agrícola.

Como exemplo, temos duas preocupações relatadas pelos agricultores no país, destacadas em um webinar conduzido por pesquisadores da Universidade de Ciências Aplicadas de Hochschule<sup>14</sup>, que são o medo de aumento dos custos da terra com potencial de geração de energia agrivoltaica e a possível substituição de atividades agrícolas existentes pela geração de energia. Por exemplo, atualmente, é permitido substituir uma produção de tomates por criações de ovelhas, o que pode não ser permitido pelos regulamentos da Alemanha ou da Itália.

Em termos de estudos de caso na França, um exemplo de projeto agrivoltaico na França é o dos vinhedos do Domaine de Nidolères (FIGURA 18). Os vinhedos cobrem 32 hectares e há um projeto da SunAgri por 4,5 ha de extensão da terra. A região sofreu com os efeitos das mudanças climáticas nos últimos anos, tais como o aumento das temperaturas, maturação precoce das uvas e um aumento da necessidade de água, o que combina com os benefícios dos sistemas agrivoltaicos. Os resultados do sistema incluem melhoria das propriedades organolépticas da produção e uma redução de 20% no consumo de água (SUN'AGRI, 2023).

13 <https://librairie.ademe.fr/energies-renouvelables-reseaux-et-stockage/4992-caracteriser-les-projets-photovoltaïques-sur-terrains-agricoles-et-l-agrovoltaïsme.html>

14 <https://iea-pvps.org/events/workshop-on-legal-frameworks-for-agrovoltaics-in-france-germany-italy-and-israel/>

**Figura 18 - Projeto agrivoltaico no vinhedo do Domaine de Nidolères (Pirenéus Orientais)**

Fonte: Martin Greenacre (2023)

### 3.4 Japão

O sistema agrivoltaico é bem conhecido no Japão, no qual há quase 2.000 sistemas instalados. O primeiro projeto piloto no país, e no mundo, foi iniciado em 2004, na prefeitura de Chiba, por Akira Nagashima. Hoje, estima-se que entre 500.000 a 600.000 MWh de energia sejam gerados anualmente por meio dessa tecnologia, no Japão (aproximadamente 0,8% da energia fotovoltaica gerada em 2019), e que os sistemas estejam associados a mais de 120 tipos de safras. A maior parte dessas fazendas são de pequena escala, cobrindo menos de 0,1 ha, ocupando um total de 560 ha (TAJIMA; IIDA, 2021).

Diversas políticas governamentais têm sido fundamentais para alcançar o desenvolvimento tecnológico do país. Em 2011, o esquema de Tarifa “Feed-In” (FIT) foi institucionalizado no país, com a operação oficialmente tendo início em 2012. Essa política teve o impacto mais significativo no crescimento da geração de energia fotovoltaica na região, que aumentou em 76% de 2012 para 2019. Além da FIT, em 2013, foi emitida uma portaria oficial que estipulou procedimentos e condições para permitir a conversão de terras agrícolas para uso agrivoltaico, seguindo as condições principais:

- (1) A estrutura de montagem é apenas temporária e facilmente removível;
- (2) O painel fotovoltaico escolhido não deve obstruir

o crescimento da safra, assegurando a penetração suficiente da luz solar para o crescimento das plantas e pelo menos 2 m de altura do painel acima do solo para a operação de maquinário agrícola;

- (3) A parcela da terra não deve interferir nas práticas agrícolas das áreas circunvizinhas, incluindo o sistema agrícola de drenagem, nem perturbar a implementação do “Plano de Manutenção da Área de Fomento agrícola”;
- (4) O rendimento anual deve ser reportado e a redução de rendimento não deverá passar de 20% a partir do período anterior à instalação agrivoltaica.

Inicialmente, o proponente poderia aplicar a tecnologia por um período máximo de três anos, (depois estendido para 10 anos em 2018) e ela seria fornecida apenas se o agricultor tivesse demonstrado competência nas atividades agrícolas e na gestão, entre outras condições. Em 2020, a segunda emenda à Lei da FIT foi promulgada, trazendo várias mudanças importantes para a política, inclusive uma significativa para os sistemas agrivoltaicos: a exigência de que instalações fotovoltaicas de pequena escala fotovoltaica (10 a 50 kW) devem atender a “requisitos de uso regional” para obter um certificado de FIT. A lei prevê tratamento preferencial adicional para sistemas agrivoltaicos, para incentivar o seu desenvolvimento. Há três “requisitos de uso regional”: (1) a taxa de autoconsumo deve ser de pelo menos 30%, (2) deve haver uma maneira de confirmar o

autoconsumo real e (3) a energia elétrica gerada deve ser utilizável durante uma situação de desastre (TAJIMA; IIDA, 2021).

Em 2021, a Organização de Desenvolvimento de Nova Energia e Tecnologia Industrial (NEDO) do Japão divulgou novas diretrizes para desenvolver e construir instalações agrivoltaicas, em uma tentativa de aumentar a presença desses projetos no país, que estão passando dificuldades devido à escassez de terras. As diretrizes foram preparadas sob a supervisão do Ministério da Economia, do Comércio e da Indústria (METI) (EMILIANO BELLINI, 2021). As diretrizes consideram que projetos agrivoltaicos não podem exceder a altura de 9 metros devido aos regulamentos de construções prediais. Além disso, projetos usando rastreadores/seguidores ou instalações em estufas e galpões de horticultura foram excluídos das diretrizes.

As safras mais populares nos sistemas agrivoltaicos japoneses incluem gengibre-mioga, Sakaki ou *Cleyera japonica*, *Oryza sativa*, cogumelos shiitake e mirtilos, fuki

ou *Petasites hybridus*, chá, cebolinha, grama para pasto e abóboras. Essa última é a terceira safra mais popular no sistema agrivoltaico devido à sua importância para o país, e não por sua adequação à tecnologia agrivoltaica (TAJIMA; IIDA, 2021).

O primeiro projeto agrivoltaico vertical no Japão foi construído por meio de uma parceria entre a Luxor Solar KK e a Next2Sun AG (Figura 19), conforme reportado no website da Next2Sun<sup>15</sup>. Ao combinar produção agrícola com painéis solares fotovoltaicos dispostos em uma orientação vertical, o projeto visa maximizar a utilização da terra e a geração de energia enquanto promove práticas agrícolas. A central foi construída para o ISEP – Instituto para Políticas de Energia Sustentável, que é uma organização de pesquisa sem fins lucrativos fundada no ano 2000, por especialistas em energia e ativistas do clima. A organização tem como objetivo fornecer recursos e serviços para criar uma sociedade voltada para a energia sustentável.

Figura 19 - Primeiro projeto agrivoltaico vertical no Japão



Fonte: Next2Sun (2022)

### 3.5 China

A China se destaca em termos de capacidade instalada para sistemas agrivoltaicos em todo o mundo. A Fraunhofer ISE relatou que a China teve a maior quota de sistemas agrivoltaicos em 2021, com uma capacidade de 1.900 MW, dos quais 700 MW foram instalados sobre o solo de uma plantação de goji berries cujo crescimento ocorre no Deserto de Gobi (DOE, 2022). O sistema de goji berries

é o maior sistema agrivoltaico do mundo, localizado próximo ao Deserto de Gobi (Figura 20). Goji berries são um ingrediente utilizado nas medicinas tradicionais chinesa, coreana e japonesa. A área era anteriormente desertificada, e os responsáveis pelo início do projeto plantaram alfafa primeiro, para restaurar o solo, antes de instalar o sistema agrivoltaico com goji berries. Há um plano do Baofeng Group para aumentar a capacidade instalada desse projeto para 1 GW (BELLINI, 2020).

15 <https://next2sun.com/en/luxor-solar-kk-is-new-exclusive-partner-of-next2sun-ag-and-realizes-first-agri-pv-project-in-japan/>

**Figura 20 - Os maiores sistemas agrivoltaicos existentes, com plantação de goji berries na China**



Fonte: Bellini (2020)

O apoio do governo desempenhou um papel significativo na promoção do desenvolvimento do sistema agrivoltaico no país, abrindo as portas para os processos de licenciamento e financiamento. Esse suporte tem como origem a crescente necessidade tanto de energia quanto de segurança alimentar. A China importa grandes quantidades de legumes, verduras e frutas, e a independência desses fornecedores é considerada uma prioridade pelo governo.

As estufas agrivoltaicas estão prosperando na China, e são mais associadas ao cultivo de chá, de uvas, de diversos legumes e verduras e de uma gama de cogumelos. As projeções indicam mais de 10 GW de capacidade de projetos agrivoltaicos nos próximos anos, com a maioria dos projetos incorporando a tecnologia BIPV (Energia Fotovoltaica Integrada em Edifícios) integrada a estufas com túneis de plástico com módulos solares convencionais (Figura 21) (MOERMAN, 2021).

**Figura 21 - Estufa agrivoltaica com flores e pomelo na China**



Fonte: Moerman (2021)

As empresas chinesas estão investindo em inovação para estruturas agrivoltaicas. Por exemplo, pesquisadores da Universidade de Ciências e Tecnologia da China trabalharam em um novo projeto que afirma reduzir o efeito do sombreamento nas safras e melhorar a distribuição da luz. Nesse modelo, chamado de Sistema

Agrivoltaico de Iluminação Uniforme, os painéis são instalados em uma altura de pelo menos 2,5 m acima do solo e uma placa de vidro ranhurada é inserida entre os painéis solares (Figura 22) (BELLINI, 2021).

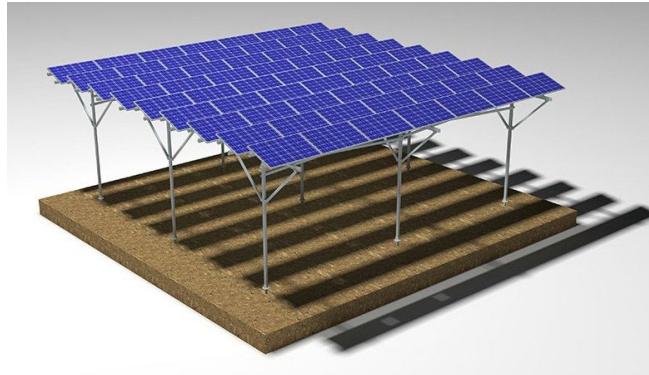
**Figura 22 - Sistema agrivoltaico de iluminação uniforme (EAS), o novo projeto agrivoltaico chinês**



Fonte: Bellini (2021)

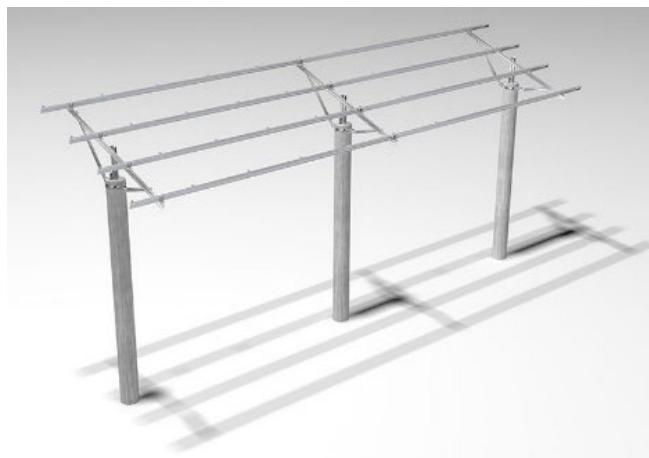
Uma outra inovação foi trazida pela empresa chinesa Mibet, que está investindo em sistemas de instalações agrivoltaicas que podem ser aplicados em diferentes safras (Figura 23) (MIBETENERGY, 2023).

**Figura 23 - Sistema fotovoltaico agrícola MRac, da empresa chinesa Mibet**



Fonte: Mibet Energy (2023)

**Figura 24 - Sistema fotovoltaico agrícola MRac, da empresa chinesa Mibet**





Fonte: Mibet Energy (2023)

Um exemplo de empresas chinesas envolvidas com sistemas agrivoltaiicos é a publicamente listada NESI, responsável por um dos maiores projetos de BIPV agrícolas na China. O projeto tem uma capacidade solar instalada de 40 MW (FIGURA 25). Estufas com vidro real com módulos de BIPV representam 30% de todos os sistemas agrivoltaiicos na China (MOERMAN, 2021).

**Figura 25 - Sistema agrivoltaiico da NESI na China - um dos maiores do país**



Fonte: Moerman (2021)

### 3.6 Croácia

A Croácia tem adotado recentemente um enquadramento legal para sistemas agrivoltaiicos, marcando um passo significativo em direção ao desenvolvimento da tecnologia no país. Os novos regulamentos permitem que os agricultores instalem sistemas fotovoltaicos em terras agrícolas, combinando efetivamente a geração de energia elétrica com as atividades agrícolas. Esse enquadramento legal tem como objetivo promover a adoção de sistemas agrivoltaiicos e facilitar o desenvolvimento sustentável de ambos os setores (MAISCH, 2023).

De acordo com os novos regulamentos agrivoltaiicos, os agricultores podem se beneficiar de subsídios e incentivos para instalar centrais agrivoltaiicas.

Agrotóxicos são agora permitidos em vários tipos de terras, tais como terras agrícolas, lotes não utilizados

e áreas com plantações permanentes, como vinhedos e oliveiras. Essas novas regras concedem a todo agricultor a oportunidade de instalar sistemas agrivoltaiicos em suas terras. É esperado, com esse movimento, o aumento da segurança energética, a redução das emissões de gases de efeito estufa e o aumento da produtividade agrícola por meio da otimização do uso da terra. A Croácia pretende atingir suas metas de energia renovável e promover um setor agrícola mais resiliente (MAISCH, 2023).

Um projeto piloto foi desenvolvido em 2016 no país, na cidade de Mecini, região da Eslavônia. O sistema possui uma capacidade instalada de 500 kW e uma diversidade de legumes e verduras é produzida abaixo da estrutura agrivoltaiica, que é de responsabilidade da Universidade de Osijek (PVEUROPE, 2017).

### 3.7 Estados Unidos

Atualmente, os locais em que há sistemas agrivoltaiicos nos Estados Unidos possuem uma parte significativa deles associada à pastagem de ovelhas e/ou ao habitat de espécies polinizadoras (PVTECH, 2023). Inicialmente, os sistemas eram limitados a lotes para testes e agora há pelo menos cinco locais com sistemas agrivoltaiicos comerciais em operação, situados nos estados de Colorado, de Massachusetts e do Maine (PVTECH, 2023).

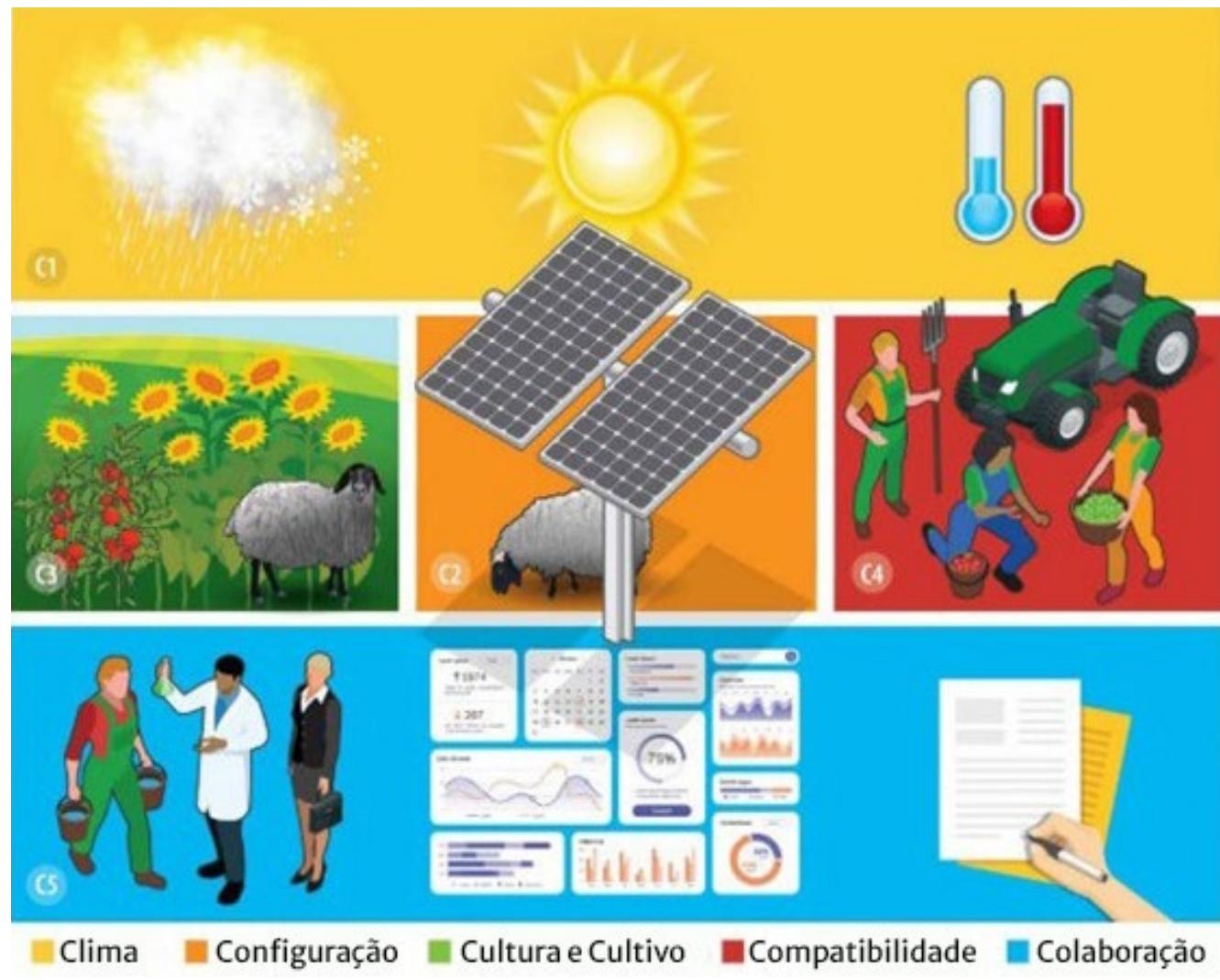
O setor agrivoltaiico nos EUA está recebendo investimentos de diversas organizações. O Departamento de Energia (DOE) está fornecendo US\$ 15 milhões em financiamento de pesquisa para explorar a viabilidade de sistemas agrivoltaiicos para agricultores, a indústria de energia solar e comunidades. Alguns estados estão encorajando a instalação de projetos agrivoltaiicos por meio de incentivos e iniciativas de pesquisa. Massachusetts, por exemplo, tem implementado uma Tarifa “Feed-In” de US\$ 0,06/kWh para projetos agrivoltaiicos em seu programa *Solar Massachusetts Renewable Target* (SMART). Em New Jersey, um programa piloto agrivoltaiico de até 200 MW em áreas rurais não preservadas foi autorizado, juntamente com o financiamento de um sistema de P&D na *Rutgers New Jersey Agricultural Experiment Station*. O Colorado também está investindo em pesquisas agrivoltaiicas (PVTECH, 2023).

Além disso, o Escritório de Eficiência Energética e Energias Renováveis dos EUA está colaborando com o Departamento de Agricultura em pesquisas de base para avaliar o valor econômico, as compensações e os impactos ecológicos dos projetos agrivoltaiicos. Além disso, o Departamento de Energia (DOE) está fornecendo financiamento para o desenvolvimento de novas tecnologias que poderiam facilitar a implementação de sistemas agrivoltaiicos e reduzir os custos associados (PVTECH, 2023).

O projeto de pesquisa do DOE intitulado “*Innovative Solar Practices Integrated with Rural Economies and Ecosystems*”

(InSPIRE) tem fornecido suporte para iniciativas de pesquisas voltadas para sistemas agrivoltaicos desde 2015. O projeto analisou oportunidades e compensações em mais de 25 locais em todo o país, abrangendo produção agrícola, habitat de espécies polinizadoras, serviços para o ecossistema e produção pecuária (MACKNICK et al., 2022).

Figura 26 - Os 5 C's para o sucesso de um projeto agrivoltaico



Fonte: Macknick (2022)

Mais detalhes sobre o que cada C representa estão delineados abaixo, conforme descrito no relatório InSPIRE:

- **Clima, Solo e Condições Ambientais (C1):** as condições ambientais e os fatores do local específico que estão além do controle do proprietário de energia solar, dos operadores de energia solar, dos profissionais de sistemas agrivoltaicos e dos pesquisadores.
- **Configurações, Tecnologias de Energia Solar e Projetos (C2):** a escolha da tecnologia de energia solar, o layout do local e outras infraestruturas que podem afetar a

Os resultados dos projetos piloto que fizeram parte do projeto InSPIRE serviram como contribuição para o documento publicado em agosto de 2022, pelo NREL, intitulado “*The 5 Cs of Agrivoltaic Success Factors in the United States Lessons from the InSPIRE Research Study*”<sup>16</sup>. Os 5 C's do documento são Clima, Configuração, Culturas e Cultivo, Compatibilidade e Colaboração (FIGURA 26).

16 <https://www.nrel.gov/docs/fy22osti/83566.pdf>

disponibilidade de luz e a geração solar;

- **Escolha da Safra e Métodos de Cultivo, Projetos para Sementes e a Vegetação e Abordagens de Manejo (C3):** os métodos, a vegetação e as abordagens agrícolas utilizados para atividades agrivoltaicas e pesquisa;
- **Compatibilidade e Flexibilidade (C4):** a compatibilidade do projeto e da configuração da tecnologia de energia solar com as necessidades competitivas dos proprietários de energia solar, operadores de energia solar, profissionais agrícolas e pesquisadores;

- **Colaboração e Parcerias (C5):** entendimentos e acordos firmados entre as partes interessadas e os setores para apoiar instalações e pesquisas em sistemas agrivoltaicos, incluindo a participação da comunidade, o licenciamento e os acordos legais.

De acordo com o conhecimento obtido dos locais de pesquisa, uma altura de 1,8 m para o módulo aparenta ser a altura viável mínima para o plantio de legumes e verduras abaixo dos módulos, considerando padrões de sombreamento e interação com agricultores. No entanto, os agricultores preferem uma altura de 2,4 m ou mais. Os pesquisadores do projeto estão avaliando o microclima, as características do solo, o sombreamento e as interações com trabalhadores em sistemas com ambas as alturas, em dois locais nos Estados Unidos.

O espaçamento dos módulos, bem como o espaçamento entre as fileiras dos módulos, e diferentes tecnologias fotovoltaicas, com ou sem espaçamento de células, estão sendo estudados por universidades americanas como parte do projeto InSPIRE, que juntamente com os resultados de seus projetos piloto, contribuirão para o desenvolvimento de diretrizes para a tecnologia.

Um importante projeto agrivoltaico nos EUA é chamado de Jack's Solar Garden<sup>17</sup>, sendo o maior local comercialmente ativo do país para pesquisa agrivoltaica (FITZPATRICK, 2023). O Jack's Solar Garden (FIGURA 27, FIGURA 28 e FIGURA 29) é uma fazenda solar de 1,2 MW em Boulder, Colorado, que gera energia suficiente para abastecer aproximadamente 300 residências e possui mais de cinquenta clientes residenciais, além de cinco clientes comerciais. O Sistema agrivoltaico possui a característica de hospedar uma variedade de quarenta tipos de plantas, incluindo amoras, ervas e tomates. Além disso, o local foi enriquecido com 3.000 árvores, arbustos e plantas amigáveis a espécies polinizadoras ao redor dos painéis solares (DOE, 2022).

Um outro exemplo de mais do que 25 locais de pesquisa do projeto InSPIRE é o projeto agrivoltaico em Grafton<sup>18</sup>, localizado em Massachusetts, nos Estados Unidos (Figura 30). Essa instalação de grande escala é uma fazenda solar comunitária de 2 MW com uma capacidade de armazenamento de energia de bateria de 1,4 MW. O projeto integra a geração de energia solar, a produção agrícola no local e numerosas parcerias entre a comunidade de pesquisa.

**Figura 27 - Fazenda agrivoltaica para atrair espécies polinizadoras, tais como abelhas, mamangavas e borboletas**



Fonte: Macknick (2022)

**Figura 28 - Colheita abaixo do sistema agrivoltaico no Jack's Solar Garden**



Fonte: Macknick (2022)

17 <https://www.jackssolargarden.com/>

18 <https://www.aes.com/grafon-solar>

**Figura 29 - Uma agricultora trabalha na colheita no Jack's Solar Garden**



Fonte: Macknick (2022)

**Figura 30 - Projeto agrivoltaico da Grafton Solar**



Fonte: AES (2023)

### 3.8 Chile

De acordo com Jung (2023), o Chile está entre os países mais afetados pelas mudanças climáticas, representando uma ameaça significativa para seu setor agrícola. O país enfrenta o risco de tais consequências como perda de

superfícies de solo de alta qualidade, principalmente por motivos de desertificação, erosão, contaminação e práticas inapropriadas de agricultura, que podem resultar em aumento de demanda por alimentos e energia (GESE et al., 2019). As regiões norte e central, por exemplo, estão passando por uma seca há 12 anos, resultando em uma grave escassez de água que afeta pequenos agricultores. Além da grave seca, outros desafios enfrentados pelos agricultores no Chile colocam em risco o rendimento das safras, tais como eventos climáticos imprevisíveis, como granizo, geada, chuvas intensas e irradiação solar excessiva (JUNG, 2023).

O primeiro projeto agrivoltaico da América Latina foi instalado no Chile em 2017 (Figura 31) e é composto por três sistemas com uma capacidade de 13 kWp instalados nos arredores de Santiago, nos municípios de El Monte, Curacaví e Lampa (HERMANN; SCHÖNBERGER, 2022). A região é caracterizada por alta radiação solar e baixa precipitação anual. Conforme mencionado, há uma seca contínua em um clima que já é seco e ensolarado, e essa condição tem causado diminuição de 20% a 40% de precipitações nos últimos dez anos (HERMANN; SCHÖNBERGER, 2022).

Devido às condições climáticas, agricultores estão buscando instalações com sombreamento para proteger as plantas de queimaduras do sol e da desidratação. O projeto é apoiado pelo governo local e pelo *Fraunhofer Chile Institute*, e os resultados são muito positivos, tanto em termos de produtividade agrícola, quanto em geração de energia (HERMANN; SCHÖNBERGER, 2022).

**Figura 31 - Projetos Piloto no Chile**



Fonte: Hermann (2022)

Os resultados mostram uma redução de irradiação solar medida de 40%, levando a um aumento de 29% na umidade do solo, o que poderia reduzir a demanda por água para

irrigação, no geral. A redução da irradiância solar também protege safras do excesso de sol, e o efeito de resfriamento durante o dia e o aumento da temperatura à noite pode proteger as safras da geada. Dentro da central piloto, a eficiência no uso da terra para o cultivo de alface aumentou em até 187%, com rendimentos agrícolas não afetados pelo sistema agrivoltaico. A geração de energia elétrica atingiu 87% do total produzido por um sistema fotovoltaico convencional na mesma área, principalmente devido às orientações abaixo do ideal com relação a painel e ao aumento da distância das fileiras (JUNG, 2023).

### 3.9 Coreia do Sul

A Coreia do Sul depende fortemente de importação de energia de outros países, com 95% de sua energia sendo fornecida com fontes advindas de fósseis combustíveis, tais como carvão e petróleo. A atual Lei de Terras Agrícolas sul-coreana proíbe qualquer uso de terras agrícolas para fins que não sejam a agricultura, considerando que o país é pequeno e densamente povoado. Considerando que a maioria dos coreanos vive em apartamentos, sistemas em telhados têm um potencial pequeno de contribuição para geração de energia solar, o que torna o uso combinado do sistema agrivoltaico uma alternativa interessante para fornecer um vasto terreno para a geração de energia fotovoltaica para a transição energética. Nesse contexto, nos últimos anos, vários os formuladores de políticas propuseram a revisão da Lei de Terras Agrícolas, para permitir a instalação de sistemas agrivoltaicos (KIM; OH; JUNG, 2022).

Até 2021, havia 44 projetos de sistemas agrivoltaicos no país, principalmente em escala piloto e de pesquisa, implementados desde 2016. A principal motivação para o desenvolvimento de regulamentos nacionais deriva do potencial que os sistemas agrivoltaicos possuem, no que diz

respeito a obter renda adicional para pequenos agricultores (KIM; OH; JUNG, 2022).

Os regulamentos de sistemas agrivoltaicos na Coreia do Sul estão atualmente passando por revisões, para que a sua implementação seja permitida. Várias propostas foram feitas, com a última em 2021, que permite até 100 kW para cada agricultor e um período de uso temporário de 23 anos.

Também inclui o apoio financeiro do governo e a compra preferencial de energia elétrica agrivoltaica. Espera-se que a proposta revisada seja aprovada em um futuro próximo, após os procedimentos legais necessários junto ao Congresso coreano (KIM; OH; JUNG, 2022).

As empresas sul-coreanas têm demonstrado um forte interesse em sistemas agrivoltaicos. A QCells Division da Hanwha foi selecionada como parceira no Projeto de Padronização de Sistemas Agrivoltaicos pelo governo da Coreia do Sul. Em colaboração com a Universidade de Yeungnam e uma empresa local, a Hanwha Q Cells está trabalhando em avanços em sistemas agrivoltaicos associados a vários cenários agrícolas, incluindo a produção de *Oryza sativa*, campos agrícolas e pomares. A empresa fez investimentos significativos em pesquisa e desenvolvimento, em particular em tecnologias e produtos de energia solar de próxima geração e está planejando alocar KRW 1,5 trilhão (USD 1,2 bilhão) em instalações de pesquisa e fabricação até 2025 (HANWHA, 2022). A QCELLS criou um módulo fotovoltaico compacto, que possui a metade do tamanho de um módulo fotovoltaico tradicional (Figura 32). Isso assegura a utilização eficiente de instalações de energia solar em cenários agrícolas, permitindo a geração de energia elétrica enquanto simultaneamente fornece luz solar suficiente para o crescimento ideal das safras (QCELLS, 2021).

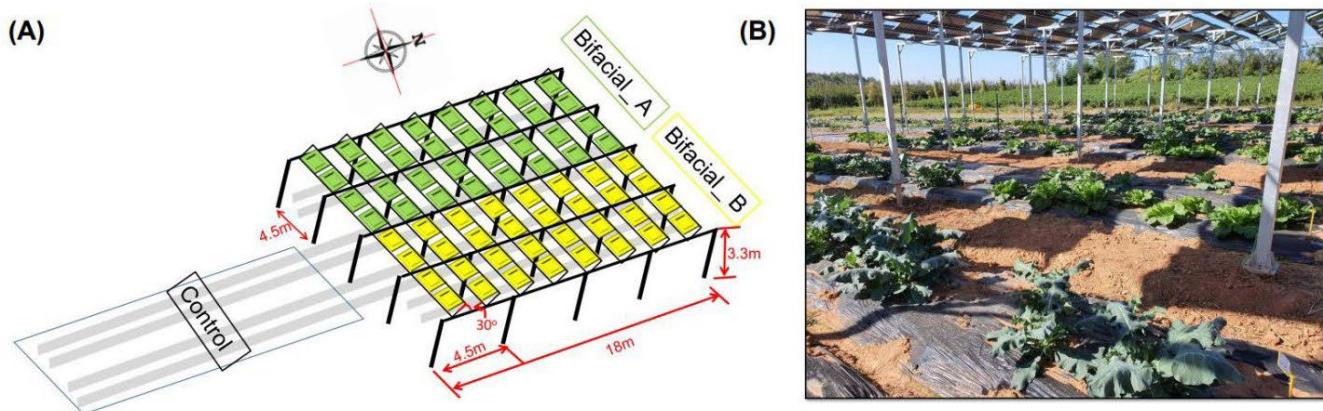
Figura 32 - Áreas rurais com sistema fotovoltaico agrícola promovidas pela Q CELLS no vilarejo de Gwandang, em Namhae



Fonte: Q Cells (2021)

O uso de terras agrícolas é crucial para a segurança alimentar do país, por isso, há uma grande preocupação sobre os impactos dos sistemas agrivoltaicos na produção de alimentos. Com base no contexto sul-coreano, há três lições de destaque: 1) projetos de pesquisa e comprovação devem demonstrar que o impacto do sistema agrivoltaico nas taxas de colheitas é aceitável para a segurança alimentar; 2) deve-se dedicar tempo para persuadir o setor agrícola e os ambientalistas sobre a aceitabilidade do impacto da tecnologia na segurança alimentar e na paisagem; 3) a revisão gradual da lei agrícola, para assegurar o interesse de todas as partes interessadas, incluindo o governo, os agricultores e os ambientalistas (KIM; OH; JUNG, 2022).

**Figura 33 - Informações sobre a estrutura agrivoltaica para esse experimento (A) e foto do cultivo em crescimento sob o painel solar (B)**



Fonte: CHAE et al. (2022)

### 3.10 Austrália

Fazendas solares de larga escala começaram a surgir na Austrália por volta de 2015, com início e desenvolvimento de práticas agrivoltaicas, principalmente dominadas por pastagem de ovelhas. A primeira experiência agrivoltaica teve início em 2015, na Royalla Solar Farm, com pastagem de ovelhas, seguida de mais de uma dúzia de outras fazendas solares com atividades de pastoreio (CLEANENERGYCOUNCIL, 2021). Em 2020, há registro de pelo menos 13 fazendas solares de grande escala com atividades de pastagem de ovelhas na Austrália (Figura 34). Atualmente, essa atividade ainda é a forma predominante de modelo agrivoltaico na Austrália, mas há outras formas de uso combinado no país, tais como horticultura, viticultura, aquicultura e cultivo, mas geralmente em uma escala muito menor (CLEANENERGYCOUNCIL, 2021).

Embora a Austrália tenha desenvolvido centrais pioneiras em sistemas agrivoltaicos há muitos anos, o país ainda carece de uma clara política e regulamentos para a tecnologia. A falta de conhecimento e impedimentos técnicos e econômicos têm desacelerado o desenvolvimento do setor (RENEWECOMONY, 2023).

Em 2022, pesquisadores da Universidade Nacional de Chonnam publicaram os resultados de um estudo que avaliou a combinação de um sistema agrivoltaico com o cultivo de brócolis e repolho (Figura 33). O sistema utilizou módulos bifaciais em uma altura de 3,3 metros. Os pesquisadores analisaram o microclima, incluindo a densidade de fluxo de fótons fotossintéticos (PPFD) e a temperatura do solo abaixo do sistema agrivoltaico, o que resultou em uma pequena diminuição na produção da safra e alterações em metabólitos no brócolis. No entanto, o sombreamento adicional no sistema agrivoltaico teve um impacto positivo na cor do brócolis, o que foi mais interessante em termos de preferência do consumidor (CHAE et al., 2022).

**Figura 34 - Ovelhas desfrutam da sombra do painel seguidor de eixo duplo na Gatton Solar Farm, na Universidade de Queensland (créditos da foto: Sarah Haskmann)**



Fonte: Clean Energy Council (2021)

### 3.11 Brasil

No Brasil, atualmente, não há discussão sobre a regulamentação de sistemas agrivoltaicos, nem há sistemas agrivoltaicos comerciais em operação. Até o momento da conclusão deste relatório, houve apenas alguns projetos

piloto em operação ou na fase de planejamento (consulte a subseção 4.1 Sistemas existentes, pra obter mais informações sobre os projetos piloto existentes no Brasil).

No entanto, algumas empresas do mercado de energia solar estão aumentando o seu interesse em investir em projetos agrivoltaicos no Brasil. De acordo com as notícias relatadas pelo Canal Solar, um grupo de quatro empresas, ARaymond, SNEF Brasil, MMA Advogados e Grupo Porto Trad demonstraram interesse em instalar sistemas agrivoltaicos em solo brasileiro, mas ainda não forneceram uma data ou um local específico para a implementação dos primeiros sistemas (HEIN, 2021). Além disso, a BYD Brasil lançou, em agosto de 2023, na feira Smarter E South America, em São Paulo, seu módulo fotovoltaico adaptado para sistemas agrivoltaicos. O módulo fotovoltaico é chamado de BTV48T e tem uma potência nominal de 355Wp-370Wp (Figura 35), tendo sido totalmente produzido no Brasil e desenvolvido pela equipe nacional de P&D da empresa. O módulo ainda não está disponível comercialmente, mas pode ser produzido sob demanda.

Figura 35 - Novo módulo fotovoltaico da BYD produzido para aplicações agrivoltaicas na feira The Smarter E South America



Fonte: autores (2023)

Apesar de não haver regulamentos no Brasil com relação a sistemas agrivoltaicos, é possível adaptar as aplicações agrivoltaicas ao enquadramento legal de geração distribuída existente, principalmente quando se considera a agricultura de pequena escala.

No Brasil, a geração distribuída foi regulamentada pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) em 2012, por meio da Resolução Normativa REN 482/2012. A REN 482/2012 permitiu, dessa forma, que os consumidores brasileiros gerassem sua própria energia elétrica a partir de fontes renováveis ou cogeração qualificada e fornecessem o excedente para sua rede de distribuição local (MME, 2023).

A REN 482/2012 passou por um processo de revisão e, em 2016, a REN 687/2015 entrou em vigor, trazendo algumas mudanças e atualizações em relação à resolução anterior. Em 2022, o enquadramento legal para Microgeração e Minigeração (MMGD) e o Sistema de Compensação de Energia Elétrica (SCEE) foram estabelecidos nos termos da Lei 14300<sup>19</sup>, que é atualmente o instrumento legal vigente que regula e fornece todas as disposições legais para geração distribuída no País. Em fevereiro de 2023, a ANEEL publicou a REN 1059<sup>20</sup>, que revogou a REN 482/2012 e trouxe melhorias para a conexão e o faturamento de centrais de MMGD, como bem como regras para o SCEE, fazendo com que os regulamentos estivessem alinhados com as disposições da Lei 14300. As principais mudanças entre a antiga REN 482/2012 e a Lei 14300 atual podem ser encontradas em uma publicação por GREENER (2023).

De acordo com a atual legislação, uma central de microgeração distribuída é aquela com capacidade instalada de até 75 kilowatts (kW). A minigeração distribuída possui uma potência instalada de 75 kW e menor que ou igual a 3 MW para fontes despacháveis ou até 5 MW para fontes não despacháveis.

O SCEE permite, por exemplo, o excedente de energia gerado por um sistema de MMGD fotovoltaico durante o dia, para que possa ser injetada na rede e, à noite ou a qualquer hora, a rede devolva a energia para a unidade consumidora e atenda a necessidades adicionais. Quando a energia gerada em um determinado mês é maior do que a quantidade utilizada para compensar a energia consumida naquele período, o consumidor fica com a energia excedente que pode ser distribuída no mesmo mês para outras unidades consumidoras, dependendo do tipo de participação no SCEE, ou transformada em crédito para compensação de consumo nos meses seguintes. De acordo com as regras, os créditos são válidos por 60 meses.

No âmbito da REN 482/2012, todos os componentes da tarifa de energia elétrica foram compensados, ou seja, a cada 1 kWh injetado na rede, 1 kWh foi compensado. Com a Lei 14300 atualmente em vigor, a compensação leva em conta todos os componentes tarifários, com exceção da chamada “TUSD Fio B”, que representa os custos da rede de distribuição e é calculada pela Agência Nacional de Energia

19 Lei 14300/2022: <https://in.gov.br/en/web/dou/-/lei-n-14.300-de-6-de-janeiro-de-2022-372467821>

20 REN 1059/2023: <https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/resolucao-normativa-aneel-n-1.059-de-7-de-fevereiro-de-2023-463828999>

Elétrica tendo como base os custos das distribuidoras, ou seja, esse valor vai variar dependendo da distribuidora local. De acordo com a análise realizada por GREENER (2023), em média, a TUSD B representa cerca de 30% do valor total da tarifa, utilizando as 58 distribuidoras mais importantes do País como base. Em outras palavras, para cada 1 kWh injetado na rede, 0,70 kWh é compensado na conta de energia elétrica.

Dado esse contexto, com o atual enquadramento legal para geração distribuída, agricultores podem gerar sua própria energia por meio do SCEE utilizando sistemas de MMGD fotovoltaicos solares, adaptando essa tecnologia para a aplicação de energia agrivoltaica. É compreendido que a geração distribuída geração seria, dessa forma, mais adequada para agricultores familiares e de pequena escala, pois esses sistemas são limitados a 3 MW para fontes não despacháveis, ou 5 MW para fontes despacháveis.

Como regra geral, o cálculo para centrais fotovoltaicas no solo pode ser simplificado, de modo que 1 MW de energia solar fotovoltaica ocupe uma média de 1 hectare de terra. Em outras palavras, para a agricultura de grande escala, um sistema de geração distribuída deveria ocupar uma média de aproximadamente 3 a 5 hectares de terra, o que é bastante insignificante para esses agricultores de grande escala. Sistemas agrivoltaicos que produzem energia para o mercado aberto poderiam ser mais apropriados para eles. No entanto, devido à complexidade do mercado aberto brasileiro, geralmente apenas as grandes empresas comerciais de energia estão envolvidas.

#### Considerações sobre o contexto nacional e internacional regulatório

A tecnologia agrivoltaica está em crescimento global, com vários países tomando medidas significativas para sua implementação e manutenção. Embora os regulamentos de sistemas agrivoltaicos possam não ser muito difundidas, notáveis diretrizes foram estabelecidas ou estão em processo de desenvolvimento em países como Alemanha, Itália, Croácia, Japão, Estados Unidos, Coreia do Sul e França. Além disso, várias nações, incluindo Japão, China, França, Estados Unidos e Coreia do Sul já introduziram programas nacionais de financiamento para apoiar a adoção desses sistemas inovadores. Incentivos gerais, como o Tarifa “Feed-In”, que não são específicos para sistemas agrivoltaicos, existem em alguns destes países e podem servir como uma ferramenta para aumentar a viabilidade dos sistemas agrivoltaicos. Um importante aspecto ao

analisar as diretrizes existentes na Itália, na Alemanha e em outros países, é a preocupação em manter as atividades agrícolas existentes após a introdução da tecnologia agrivoltaica. As medidas são mencionadas para monitorar e assegurar a continuidade da produção agrícola existente, com a agricultura sendo a atividade primária, enquanto a geração de energia será secundária.

Na Alemanha, é exigida a elaboração de um plano de planejamento de produção, assegurando a existência de planejamento de safras, monitoramento e manutenção.

A falta de diretrizes ou regulamentos nacionais no Brasil poderia levar a algumas consequências negativas, tais como o que foi visto na França na década passada, situação na qual a ausência de critérios claros para sistemas agrivoltaicos na rodada inicial de licitações resultou em alguns projetos com muito pouca ou mesmo não existente participação de produção agrícola. Esse resultado tem criado resistência ao sistema agrivoltaico, em especial dentro do setor agrícola (ISE, 2020).

No Brasil, a agricultura constitui um dos principais pilares da economia, e a geração de energia elétrica fotovoltaica está em crescimento exponencial. No entanto, sistemas agrivoltaicos ainda não fazem parte da realidade do País. Algumas empresas demonstraram interesse em instalar sistemas agrivoltaicos no Brasil, mas o mercado ainda está na fase muito inicial de implementação dos primeiros cinco sistemas. Observando as experiências de outros países, é evidente que geradores agrivoltaicos podem resultar em inúmeros benefícios econômicos, ambientais e sociais para as regiões em que foram implementados.

À medida que o Brasil entra na fase de projeto piloto para a tecnologia agrivoltaica, é crucial para as partes interessadas dos projetos e para os operadores do sistema no País que estejam conscientes de tudo o que se aprendeu com a evolução da tecnologia em outras nações. Essa conscientização assegurará a geração eficiente de energia, a produção de alimentos e a manutenção adequada da safra, permitindo que o sistema seja caracterizado como agrivoltaico durante toda a sua vida útil.

Um resumo das estruturas regulatórias internacionais sobre sistemas agrivoltaicos está organizado na Tabela 2. A tabela foi baseada no documento “Characterizing photovoltaic projects on agricultural land and agrivoltaics”, publicado em 2021 pela Agência Francesa para o Meio Ambiente e Gestão de Energia (ADEME).

Tabela 2 - Resumo das estruturas regulatórias internacionais

País	Japão	Estados Unidos	Alemanha	Itália	China	Coreia do Sul	França	Croácia
Regulamentos relacionados a terras agrícolas com energia fotovoltaica	<p>A instalação do sistema fotovoltaico exige conversão temporária para terras não agrícolas.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Conversão temporária por 3 anos renováveis ou 10 anos em áreas desfavorecidas, se: os pilares tiverem mais de 2 metros de altura.</li> <li>- Não houver mais do que 20% de perda de rendimento.</li> </ul>	<p>Restrições em áreas de conservação específicas dos estados.</p> <p>Em Massachusetts, critérios de elegibilidade para assistência específica: altura mínima (2,44 m para módulos inclinados e 3 m para módulos horizontais), com taxa de sombreamento &lt;50%.</p>	<p>A energia fotovoltaica em edifícios (incluindo estufas) é permitida se tiverem sido construídos para outros fins que não a produção de energia solar.</p> <p>Dez estruturas fotovoltaicas instaladas no solo autorizadas por ano, por meio de licitação pública: capacidade máxima de 10 MW, em áreas desfavorecidas. Estufas fotovoltaicas são permitidas se tiverem uma altura mínima de 2 m e uma taxa de cobertura de módulo &lt;50%.</p>	<p>Regulamentos regionais podem adicionar restrições (por exemplo, rendimento na região de Puglia).</p> <p>Contradições regulatórias com relação à energia fotovoltaica instalada no solo: autorização nacional revogada, às vezes proibida em nível regional, mas implementada na terra por meio de arrendamento aos desenvolvedores.</p> <p>Conversão proibida em terras agrícolas permanentes básicas.</p>	<p>Energia fotovoltaica em áreas agrícolas autorizadas, se houver capacidade &lt; 20 MW. Desde 2017, possibilidade de manter a condição de terra agrícola independentemente da capacidade, em caso de produção agrícola conjunta.</p>	<p>Existem restrições, mas, em tempos recentes, vários os formuladores de políticas propuseram revisar a Lei de Terras Agrícolas para permitir legalmente a implementação de sistemas agrivoltaicos.</p>	<p>A jurisprudência do Conselho de Estado da França aceita a coexistência de uma atividade de produção agrícola e uma produção fotovoltaica, desde que o projeto agrícola seja real e plausível.</p> <p>A nova legislação sobre energias renováveis está em desenvolvimento e definirá algumas condições para projetos agrivoltaicos, tais como manutenção de longo prazo ou desenvolvimento de produção agrícola.</p>	<p>A Croácia recentemente adotou um enquadramento legal para sistemas agrivoltaicos.</p> <p>A nova legislação permite que cada agricultor instale o sistema agrivoltaico em suas próprias terras. Ela também menciona que sistemas agrivoltaicos podem ser instalados em locais definidos como terras agrícolas, lotes em desuso e locais que abrigam plantações permanentes.</p>

Definição de Sistema Agrivoltaico	<p>Chamado de “energia solar compartilhada” definido como “uma instalação fotovoltaica em terras agrícolas com continuidade das atividades agrícolas”.</p> <p>Critérios: sem deterioração da qualidade, rendimento &gt;80% em uma média anual e altura &gt;2 m.</p>	<p>Atualmente, não há nenhuma definição oficial para sistemas agrivoltaicos.</p>	<p>Definição dentro do escopo do programa de pesquisa APV-Resola: “um sistema que aumenta a eficiência da terra, permitindo, simultaneamente, a produção agrícola como atividade primária, e a produção de energia como secundária, para alcançar o uso otimizado das sinergias técnicas e econômicas entre essas duas produções”.</p>	<p>Atualmente, não há nenhuma definição oficial para sistemas agrivoltaicos.</p>	<p>Atualmente, não há nenhuma definição oficial para sistemas agrivoltaicos.</p>	<p>Atualmente, não há nenhuma definição oficial para sistemas agrivoltaicos.</p>	<p>Não há nenhum conceito oficial ou diretrizes para sistemas agrivoltaicos.</p> <p>No entanto, a Agência Francesa para o Meio Ambiente e Gestão de Energia (ADEME) definiu, em 2021, padrões para sistemas agrivoltaicos e cita os sistemas como sendo o “acoplamento de uma produção fotovoltaica secundária em uma produção agrícola primária, com uma sinergia operacional demonstrável”.</p>	<p>Informações não disponíveis.</p>
Safras/ Pecuária associada ao sistema agrivoltaico mencionadas na literatura	<p>Gengibre-mioga, Cleyera japonica, Oryza sativa, cogumelos shiitake, mirtilos, fuki, chá, cebolinha, grama para pasto e abóboras.</p>	<p>Colmeias, ovelhas, tomates, flores silvestres para espécies polinizadoras, amoras e ervas.</p>	<p>Trigo, aipo, batata, gramado de trevos, mirtilos, framboesas, maçãs e morangos.</p>	<p>Azeitonas, amêndoas, figo, tomates e limão</p>	<p>Chá, uvas, legumes e verduras, cogumelos e amoras</p>	<p>Brócolis, repolho, arroz, batata, cebola, cevada, feijão, alho, alface e cebolinha</p>	<p>Ovelhas, colmeias, legumes e verduras, arboricultura, cereais, viticultura e pomares</p>	<p>Legumes e verduras, oliveiras e viticultura</p>

Presença de Investimentos ou ferramentas financeiras que fornecem suporte ao sistema agrivoltaico	Oportunidade de financiamento nacional disponível para sistemas agrivoltaicos. O Japão foi o primeiro país a desenvolver um esquema de suporte para sistemas agrivoltaicos, em 2012.	Sim. Várias organizações investindo em sistemas e pesquisa agrivoltaicos. Por exemplo, o DOE está fornecendo USD 15 milhões em financiamento de pesquisa para explorar a viabilidade dos sistemas agrivoltaicos.	Oportunidade de financiamento nacional disponível para sistemas agrivoltaicos.	Sim. O governo italiano criou recentemente um programa de incentivo de € 1,1 bilhão (USD 1.2 bilhão) para sistemas agrivoltaicos.	Os subsídios implementados em nível regional para estufas fotovoltaicas e estufas fotovoltaicas instaladas no solo.	Oportunidade de financiamento nacional disponível para sistemas agrivoltaicos.	Oportunidade de financiamento nacional disponível para sistemas agrivoltaicos.	Informações não disponíveis.
---	--	--	--	---	---	--	--	------------------------------

Fonte: Elaborado pelos autores, com base em ADEME (2022).

## 4. Sistemas agrivoltaicos no Brasil

### 4.1 Sistemas existentes

No Brasil, a tecnologia agrivoltaica ainda não está muito difundida, e os cinco sistemas agrivoltaicos mostrados abaixo estão entre os poucos implementados no País até o momento. Todos são projetos piloto e têm uma conexão com instituições de pesquisa. A localização e a descrição técnica detalhada desses projetos agrivoltaicos existentes estão ilustrados em subcapítulos subsequentes, além das informações sobre sua capacidade instalada, produção de energia, características agrícolas e informações disponíveis sobre os resultados dos projetos.

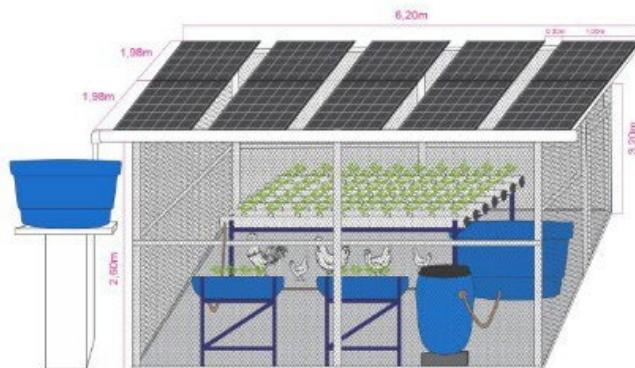
#### 4.1.1 Ecolumne

Um exemplo de um sistema agrivoltaico desenvolvido para unidades familiares de produção agrícola na região semiárida do Brasil é o projeto Ecolumne, localizado em Ibimirim-PE. O projeto foi desenvolvido por uma rede de mais de 40 pesquisadores e foi instalado em uma escola de agroecologia em Pernambuco, no ano de 2019. O modelo proposto consiste em “unidades familiares” que combinam geração de energia com a produção de legumes e verduras, peixes em tanques e galinhas, com o objetivo de gerar benefícios ambientais, sociais e econômicos para um grande número de pessoas na região nordeste semiárida. O sistema agrivoltaico do Ecolumne produz 17 tipos de legumes e verduras utilizando também um sistema aquapônico e duas proteínas animais, destinadas ao consumo dos alunos e funcionários da escola Serta, bem como sementes de umbu, que é uma árvore nativa da Caatinga, que são doadas para o reflorestamento do bioma (a Caatinga é um bioma típico da região semiárida no Brasil) (MARTINEZ, 2022). A Figura 36 mostra um esquema do protótipo experimental, consistindo em 10 módulos fotovoltaicos, e um total de capacidade instalada para energia fotovoltaica de 3,3 kWp.

A unidade experimental (Figura 37) foi projetada para adequação às condições climáticas da região e ocupa uma área de 24 m<sup>2</sup>, com um custo aproximado de USD 4.000. De acordo com os resultados do projeto, a unidade demonstrou uma produção potencial de 4.800 kWh/ano de energia, 130 kg de peixe, 730 ovos de galinha caipira, 816 unidades ou 336 kg de legumes e verduras e 200 unidades de sementes de plantas nativas. Essa produção geraria uma receita anual total de cerca de USD 2.000. As descobertas do projeto revelaram possibilidades de desenvolvimento na região semiárida brasileira, considerando aspectos das mudanças climáticas e o

potencial significativo da energia solar na região por meio de arranjos produtivos locais que contribuam para a geração de renda familiar e a conservação do bioma da Caatinga (LACERDA et al., 2022).

Figura 36 - Sistema agrivoltaico proposto no projeto Ecolumne



Fonte: Lacerda et al. (2022)

Figura 37 - Sistema agrivoltaico e montagem do sistema aquapônico abaixo dos módulos



Fonte: Lacerda et al. (2022)

O sistema proposto tem gerado resultados promissores até o momento, confirmando seu potencial de gerar benefícios ambientais, sociais e econômicos para a região; no entanto, desafios estruturais foram observados, especialmente a falta de políticas públicas de incentivo (MARTINEZ, 2022).

#### 4.1.2 Aldeia Pankara

Outro piloto projeto na região Nordeste foi realizado junto com a Universidade Federal Rural de Pernambuco, em parceria com a Comunidade Indígena Pankará, em dezembro 2020. O projeto visava fornecer água potável segura e cultivo de legumes e verduras por meio de

uma bomba d'água alimentada por energia solar, em combinação com a tecnologia agrivoltaica (Figura 38). O projeto está localizado no bioma brasileiro da Caatinga, na região de Aldeia Serrote dos Campos, em Itacuruba (PE).

O projeto consiste em um sistema de energia solar de 33 kWp com estruturas 3 metros de altura acima do solo, sob as quais um jardim comunitário de 400 m<sup>2</sup> foi estabelecido (ZELLER, 2023). De acordo com o relatório publicado pela Atmosfair<sup>21</sup>, o sombreamento protege do forte sol e das altas temperaturas da Caatinga brasileira. O cultivo de melão<sup>22</sup> foi integrado ao sistema agrivoltaico em parceria

com pesquisadores da Universidade Federal Rural de Pernambuco (FIGURA 39). O projeto prioriza a produção de alimentos orgânicos, a geração de energia e a preservação ambiental, em alinhamento com o conceito de agroecologia (ARAGÃO, 2023). Além da agricultura representada por uma central agrivoltaica, também foi implementada uma instalação de aquicultura, na qual a água e as águas residuais dos tanques de peixes são utilizadas para irrigar e fertilizar árvores frutíferas. Além disso, um sistema aquaponico para o cultivo eficiente de legumes, verduras e ervas está sendo construído (ZELLER, 2023).

**Figura 38 - Representantes da aldeia Pankará e do projeto**



Fonte: Atmosfair (2023)

**Figura 39 - Plantação de melão no sistema agrivoltaico**



Fonte: Agrega (2023)

21 <https://www.atmosfair.de/en/climate-protection-projects/solar-energy/brazil-agrивoltaics-in-the-village-of-the-indigenous-pankara/>

22 <https://www.agrega.org.br/2023/06/13/sistemas-agrofotovoltaicos-e-o-papel-fundamental-do-povo-pankara-junto-a-comunidade-cientifica-em-itacuruba-pe-%ef%bf%6bc/>

#### 4.1.3 CCampo

Na região Norte do Brasil, no estado do Pará, outro projeto piloto foi recentemente desenvolvido com o apoio da associação de cooperativas alemãs DGRV<sup>23</sup>, a Organização das Cooperativas Brasileiras OCB<sup>24</sup> e o Laboratório Fotovoltaica da UFSC<sup>25</sup>. O sistema agrivoltaico da cooperativa CCampo<sup>26</sup> foi instalado em janeiro de 2023 e combinou técnicas agrivoltaias com práticas agrícolas orgânicas e agroecológicas (FIGURA 40). CCampo é uma cooperativa agrícola na região oeste do estado do Pará, no Norte do Brasil, compreendendo mais de 200 famílias cooperadas, com a missão de fortalecer a agricultura familiar e fornecer produtos regionais aos consumidores, com toda a segurança e confiabilidade. O sistema agrivoltaico produzirá pimentões, couve kale, coentro e cebolinha. Além disso, o projeto envolveu treinamento dos membros da cooperativa sobre sistemas

agrivoltaios e práticas orgânicas de agricultura.

Os créditos de energia gerados pelo sistema agrivoltaico serão utilizados para reduzir os custos de energia da agroindústria da cooperativa, os quais incorrem em altos gastos com energia na produção de polpas de frutas, às vezes chegando a 8.000 kWh/mês, equivalente a uma conta de energia elétrica no valor de R\$ 10.000 por mês. Sistemas agrivoltaios, como no caso da cooperativa CCampo, apresentam uma oportunidade significativa para cooperativas brasileiras, pois as cooperativas agrícolas podem investir em sistemas agrivoltaios e criar novos modelos de negócios de Energia Cooperativa com o uso dos créditos gerados. Esses créditos de energia podem ser utilizados para reduzir a conta de energia elétrica da própria cooperativa, e também podem ser distribuídos para membros da cooperativa e outras organizações parceiras.

**Figura 40 - Membros da CCampo, OCB e Fotovoltaica UFSC na frente do sistema agrivoltaico em construção e cooperados realizando o plantio na área de controle próxima à central**



Fonte: OCB Pará (2023)

#### 4.1.4 UFAL

Outro projeto agrivoltaico piloto foi realizado por pesquisadores do Campus de Engenharias e Ciências Agrárias da Universidade Federal de Alagoas (UFAL)<sup>27</sup>, financiado pela Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Alagoas (Fapeal) (Figura 41). O principal objetivo do sistema é avaliar o desempenho da cana-de-açúcar cultivada em associação com o sistema fotovoltaico, com o objetivo de melhor compreender e determinar a eficiência no uso da terra sob essa condição.

As estruturas metálicas possuem 8 metros de altura e pesquisas serão conduzidas para avaliar a viabilidade desse método de produção com a cana-de-açúcar como

safra. De acordo com o pesquisador do projeto, atividades agrivoltaias no local tiveram início em dezembro de 2021 (GONZAGA, 2022).

Os coordenadores do projeto destacaram a necessidade de aumento da altura nas estruturas para acomodar o cultivo de cana-de-açúcar, que é mais elevado do que projetos agrivoltaios típicos em todo o mundo (Figura 42). A manutenção das estruturas metálicas, incluindo pintura a cada seis meses, tratamentos especiais e revestimentos fizeram parte das atividades do projeto. A fundação é feita de concreto reforçado, projetado para resistir às rajadas de vento região. O sistema agrivoltaico foi integrado a uma área na qual já havia sido estabelecido o cultivo de cana-de-açúcar (Figura 43) (UFAL, 2023).

23 <https://www.dgrv.coop/project/brazil/>

24 <https://somoscooperativismo.coop.br/ocb>

25 <https://fotovoltaica.ufsc.br/sistemas/fotov/en/about/>

26 <https://paracooperativo.coop.br/noticias/1921-cooperados-da-ccampo-foram-capacitados-para- atuar-com-sistema-agrifotovoltaico>

27 <https://ufal.br/ufal/noticias/2022/6/pesquisa-vai-avaliar-sistema-agrifotovoltaico-em-plantacao-de-cana-de-acucar>

**Figura 41 - Projeto do sistema agrivoltaico**



Fonte: Gonzaga (2022)

**Figura 42 - Sistema agrivoltaico com sete estruturas de módulos fotovoltaicos**



Fonte: Jornal de Alagoas (2023)

**Figura 43 - Área em que o sistema foi instalado, com a plantação de cana-de-açúcar**



Fonte: Gonzaga (2022)

#### 4.1.5 Projeto agrivoltaico da Cemig, da EPAMIG e do CPQD

Um projeto agrivoltaico no Brasil está localizado no estado de Minas Gerais, um estado com importância agrícola significativa e um dos principais contribuintes para a geração de energia solar no Brasil. O projeto foi desenvolvido em colaboração entre a Companhia Energética de Minas Gerais (Cemig), a Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais (EPAMIG) e o Centro de Pesquisa e Desenvolvimento em Telecomunicações (CPQD). Com um investimento de aproximadamente R\$ 10,5 milhões, o projeto envolve a instalação de unidades piloto para testar vários arranjos de safras e adaptar tecnologias a diferentes condições de clima e solo (CEMIG, 2023).

O projeto tem como objetivo abordar os desafios técnicos, as consequências sociais para pequenos agricultores e o desenvolvimento de fornecedores em potencial para a indústria (CEMIG, 2023). As atividades agrícolas selecionadas para os locais de teste são melancias, morangos, feijões, alface e pastos para gado. É esperado que o projeto continue operando por 30 meses e avalie aspectos agronômicos, a eficiência do uso da água e a qualidade final da produção de energia e de alimentos (AGÊNCIA MINAS, 2024).

#### 4.1.6 Projeto Agrivoltaico de P&D da Fotovoltaica/UFSC e da Repsol

Outro projeto (Figura 44) que ainda está em fase de desenvolvimento é o resultado de uma colaboração entre o Laboratório Fotovoltaica/UFSC, na Universidade Federal de Santa Catarina ([www.fotovoltaica.ufsc.br](http://www.fotovoltaica.ufsc.br)), e o braço brasileiro da empresa espanhola de petróleo e gás Repsol. O foco do projeto é avaliar diversas tecnologias fotovoltaicas para aplicação de sistema agrivoltaico e seus impactos no cultivo de café para a produção agrícola. As diferentes tecnologias fotovoltaicas que serão testadas são módulos bifaciais em estruturas de instalação fixa, módulos bifaciais em sistemas de rastreamento padrão, módulos bifaciais em sistemas de rastreamento com otimização para produção agrícola, módulos tubulares e módulos bifaciais em um sistema de rastreamento com tecnologia fotovoltaica espectralmente seletiva, promovendo a transmissão de luz em comprimentos de onda ideais para a fotossíntese. O projeto teve início em 2024 e será realizado por dois anos.

**Figura 44 - Esquema do projeto agrivoltaico de P&D da Fotovoltaica/UFSC e da Repsol**



Fonte: Fotovoltaica UFSC (2024)

#### 4.1.7 Considerações sobre os sistemas agrivoltaicos existentes no Brasil

A tecnologia agrivoltaica está ganhando força no Brasil, com apenas poucos projetos mostrando seu potencial em diversos cenários agrícolas até o momento. Considerando os dados disponíveis, todos os projetos piloto agrivoltaicos no Brasil ainda são projetos piloto e foram instalados

nos últimos quatro anos. Esses projetos piloto destacam a diversidade do País em termos de condições climáticas e o potencial agrícola, o que pode refletir em um grande potencial para adaptação de diversas aplicações agrivoltaicas para o contexto e a necessidade regionais.

Uma tabela de resumo de todos os projetos agrivoltaicos identificados no Brasil está disponível na Tabela 3.

**Tabela 3 - Tabela de resumo dos projetos agrivoltaicos identificados no Brasil**

Nome do projeto	Instituições envolvidas	Ano	Produção agrícola	Características fotovoltaicas	Localização	Clima
Ecolumne (em operação)	Mais de 40 pesquisadores e equipe destes locais: IPA, Serta, VertSol, Inpe, Embrapa, Insa, entre outros	2019	Sistema aquapônico com vários legumes e verduras, sementes de árvores nativas, peixes e ovos	3,3 kW, pequenas unidades familiares replicáveis	Ibimirim (PE)	Semiárido (região da Caatinga)
CCampo (em operação)	CCampo (cooperativa agrícola), Fotovoltaica UFSC, DGRV e OCB	2023	Pimentões, couve kale, coentro e cebolinha	2,5 m de altura; 74,5 kWp	Santarém (PA)	Úmido (região da Amazônia)
Pankará (em operação)	Comunidade indígena Pankará, Atmosfair, CCBA, Funai e UFPE	2020	Melão	3 m de altura, 33 kWp, associado ao sistema de bombeamento de água	Aldeia Serrote dos Campos, Itacuruba (PE)	Semiárido (região da Caatinga)
UFAL (em operação)	Ceca / UFAL, Fapeal e Usina Santa Clotilde	2021	Cana-de-açúcar	8 m de altura	Rio Largo (AL)	Úmido (região de Mata Atlântica)
Cemig, EPAMIG e CPQD (em desenvolvimento)	Cemig, EPAMIG e CPQD	2023	Melões, morangos, feijões, alface e pastos para gado	Várias tecnologias: painéis fotovoltaicos monocristalinos e bifaciais e estruturas fixas e de rastreamento.	Jaíba e Prudente de Moraes (MG)	Tropical/ Semiárido (Jaíba fica na região da Caatinga e Prudente de Moraes na região do Cerrado/Mata Atlântica)
Fotovoltaica/ UFSC e Repsol (em desenvolvimento)	Repsol e Fotovoltaica UFSC	2024	A ser definida	Várias tecnologias fotovoltaicas, totalizando 100 kWp	Florianópolis (SC)	Úmido (região de Mata Atlântica)

Fonte: Elaborado pelos autores (2024)

## 4.2 Potencial de diferentes produtos agrícolas para sistemas agrivoltaicos no Brasil

O Brasil tem uma grande contribuição para a produção de alimentos em todo o mundo. Das 3054 milhões de toneladas de grãos produzidas no mundo em 2020, 239 (7,8%) foram no Brasil, colocando o País em quarto lugar no ranking de produção mundial, atrás da China, dos Estados Unidos e da Índia (FAOSTAT, 2021).

O setor agrícola brasileiro desempenha um papel crucial na contribuição do Produto Interno Bruto (PIB) do País. Além disso, essa atividade é de grande relevância por sua alta competitividade e seu papel em gerar empregos, riqueza, alimentos, fibras e biocombustíveis para o Brasil e outras nações (EMBRAPA, 2023). Com relação ao impacto econômico do setor agrícola, de acordo com o censo agropecuário brasileiro de 2019, a atividade é a base econômica para 90% dos municípios brasileiros com até 20

mil habitantes (IBGE, 2017).

Neste capítulo, foram analisadas diferentes produções agropecuárias no Brasil, com o objetivo de estudar seu potencial para fins de aplicação agrivoltaica. A análise é dividida em três aspectos principais: (1) aspectos socioeconômicos, (2) aspectos do sistema agropecuário e (3) aspectos dos sistemas solares fotovoltaicos.

### 4.2.1 Aspectos socioeconômicos

Neste capítulo, é apresentada uma visão geral das práticas agropecuárias principais no Brasil, com foco em seu potencial de expansão e sustentabilidade. Foram analisados cenários agrícolas de grande e pequena escala, com destaque para as regiões-chave associadas às principais atividades agrícolas, bem como os aspectos socioeconômicos relacionados a cada uma delas. Além disso, uma caracterização das práticas agrícolas foi

elaborada, bem como o contexto dos agricultores envolvidos nesse setor vital. O conteúdo deste capítulo também inclui o caso especial de Matopiba (região que compreende partes dos estados do Maranhão, Tocantins, Piauí e Bahia) e a região Nordeste.

#### 4.2.1.1 Produção agrícola em larga escala

A produção agrícola em larga escala no Brasil é liderada por **soja, milho, café e cana-de-açúcar**, que são os principais contribuintes para o Valor Bruto da Produção (VBP) (IBGE; CNA, 2021). O VBP do setor agropecuário no Brasil é de aproximadamente USD 250 bilhões, com mais de 80% da receita concentrada nas regiões Centro-Oeste, Sudeste e Sul, de acordo com dados do Ministério da Agricultura e Pecuária (ESTADAO, 2023). Esses números indicam o impacto e a contribuição significativos da indústria agrícola para a economia do Brasil.

A **soja** sozinha representa aproximadamente USD 1,00 de cada USD 3,55 gerados pelo setor agrícola no Brasil - o País é responsável por 50% da participação global da produção de soja (IBGE; CNA, 2021). Em 2006, a produção nacional esteve concentrada na região Centro-Oeste, especialmente no estado do Mato Grosso (ESTADAO, 2022). Depois da soja, o segundo produto no ranking do VBP da agricultura brasileira é a pecuária de corte, representando USD 40 bilhões em 2020, seguido pelo milho, com USD 25 bilhões. O gado leiteiro e a cana-de-açúcar estão em terceiro e quarto lugares, respectivamente, com USD 15 bilhões e USD 14 bilhões. A produção de aves, principalmente frango, também está apresentando crescimento significativo, assim como o café e a carne suína (IBGE; CNA, 2021).

Com relação à produção de **milho**, os principais produtores brasileiros são Mato Grosso, Paraná, Mato Grosso do Sul e Minas Gerais, nessa respectiva ordem. Em particular, a produção do Mato Grosso sozinha supera a de outros estados brasileiros juntos (COÊLHO, 2021).

A estimativa total da produção de **cana-de-açúcar** no Brasil, de acordo com os dados do 1º levantamento da safra de 2022/23, estima a produção total no País atingindo cerca de 600 milhões de toneladas. Entre os estados líderes na produção de cana-de-açúcar no Brasil estão São Paulo, com mais de 300 milhões de toneladas, Goiás, com 75 milhões de toneladas, e Minas Gerais, com 67 milhões de toneladas (CONAB, 2022). Globalmente, há aproximadamente 1,8 bilhão de toneladas de cana-de-açúcar por ano, e o Brasil foi o principal produtor em 2023 (YARA BRASIL, 2023).

De acordo com Barros et al., em um estudo publicado pelo CEPEA, no Brasil, há quase 20 milhões de pessoas trabalhando no setor agrícola, o que representa quase 20% da força de trabalho ativa total do Brasil (BARROS et al.,

2023). O estudo utilizou dados da PNAD (Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios), os quais também mostram que a produção de soja tinha mais de 504 mil pessoas e a de cana-de-açúcar mais de 315 mil pessoas empregadas no total em 2022. O setor mais relevante com relação ao número de trabalhadores é a pecuária de corte, que tinha mais de dois milhões de trabalhadores ativos no mesmo ano.

#### 4.2.1.2 Produção agrícola de pequena escala (agricultura familiar)

A posse de pequenas propriedades rurais ou “agricultura familiar” se refere à terra que é cultivada por meio do trabalho pessoal de agricultores dentro da família e empreendedores familiares no cenário rural, incluindo assentamentos, que estejam atendendo aos requisitos estipulados na Lei 11326 de 2006<sup>28</sup>. Por exemplo, essas propriedades devem não exceder uma área maior que 4 (quatro) módulos fiscais.

No Brasil, o módulo fiscal é uma unidade de medição agrária expressa em hectares, que varia entre cada município, entre 5 e 110 hectares, dependendo das atividades econômicas realizadas e da renda que pode ser obtida por meio delas no município. Por exemplo, no caso de alguns municípios localizados no bioma do Cerrado (a maioria da região Centro-Oeste do Brasil), um proprietário com 4 módulos fiscais poderá ter até 400 hectares e, no bioma da Caatinga (presente na região Nordeste do Brasil), até 260 hectares (MICCOLIS et al., 2016).

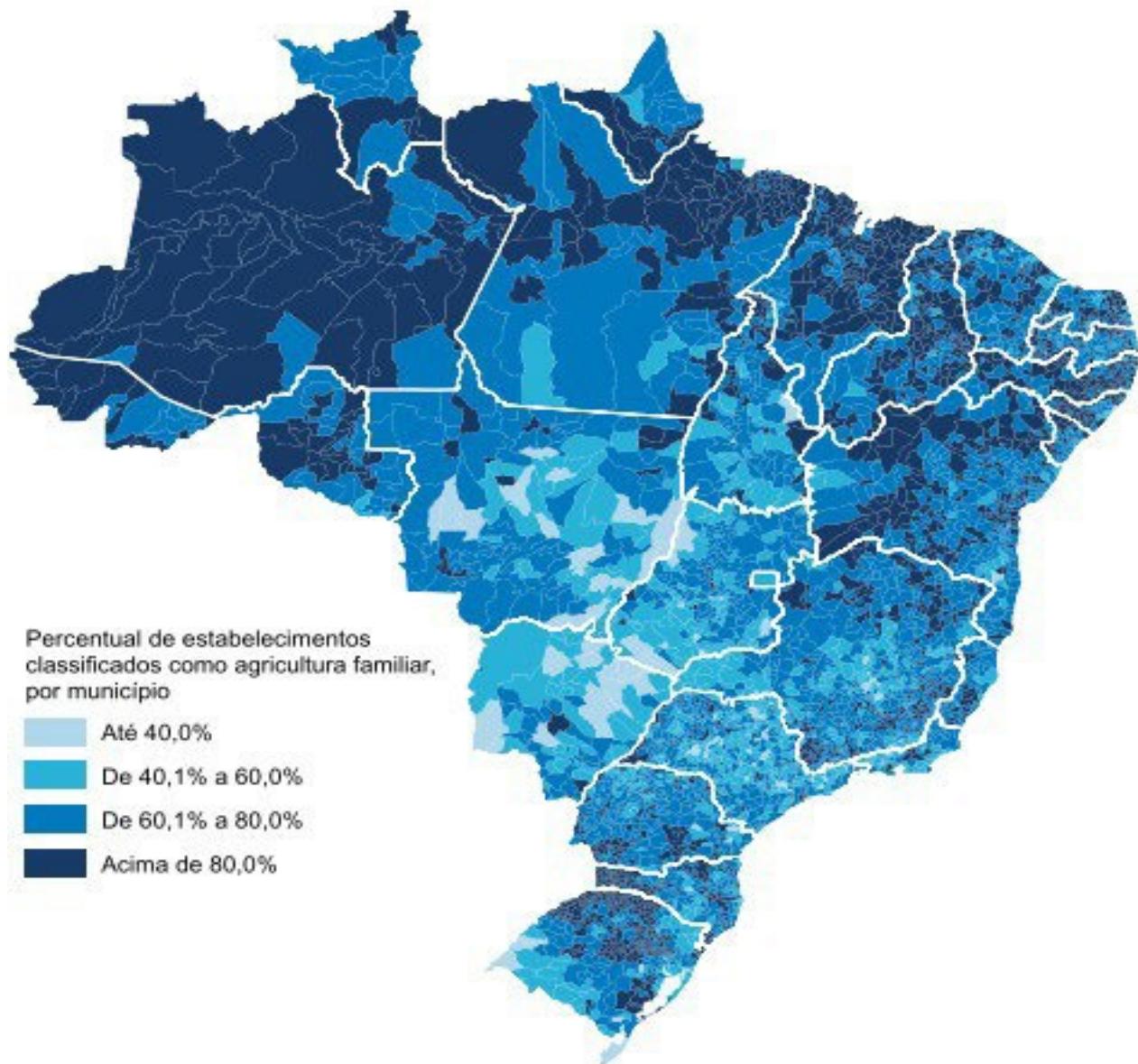
A agricultura familiar de pequena escala representa 77% dos estabelecimentos agrícolas no Brasil (IBGE, 2019b) e contribui significativamente para o Produto Interno Bruto (PIB) nacional. De acordo com os dados do Censo Agropecuário 2017 realizado pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) (2017), a agricultura familiar representa aproximadamente 24% do valor bruto da produção agrícola no País. Os dados do censo também destacam a importância do setor na criação de empregos, uma vez que a agricultura familiar emprega cerca de 10,5 milhões de pessoas, representando mais de 70% da força de trabalho no setor agrícola brasileiro (IBGE, 2017).

Os estabelecimentos caracterizados como agricultura familiar são predominantes em muitos municípios, em especial nas regiões Norte e Nordeste (IBGE, 2017). As regiões Sul e Sudeste também têm um número significativo de municípios nos quais produtores de pequena escala são predominantes em termos de percentagem. Em contrapartida, a região Centro-Oeste do País mostra uma maior presença de produtores e proprietários de terras de grande escala (Figura 45).

28 [https://legislacao.presidencia.gov.br/ficha?/legisla/legislacao.nsf/Viw\\_Identificacao/lei%2011.326-2006&OpenDocument](https://legislacao.presidencia.gov.br/ficha?/legisla/legislacao.nsf/Viw_Identificacao/lei%2011.326-2006&OpenDocument)

**Figura 45 - Percentual de estabelecimentos classificados como agricultura familiar em relação ao número total de estabelecimentos, por municípios - 2017**

**Cartograma - Percentual de estabelecimentos caracterizados como de agricultura familiar em relação ao total de estabelecimentos, por municípios - 2017**



Fonte: IBGE (2019)

A agricultura familiar desempenha um papel crucial no fornecimento de alimentos no Brasil, sendo responsável por aproximadamente 70% dos alimentos consumidos pela população, segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, o IBGE. Portanto, esses estabelecimentos são de grande importância para a segurança alimentar. É notável que agricultores familiares contribuem significativamente para a produção de frutas, legumes e verduras e produtos básicos. Por exemplo, eles são responsáveis por pelo menos 80% da produção de mandioca, 69% do fornecimento de abacaxi, e 42% do consumo total de feijão no País (ZAFALON, 2023).

Apesar de sua vital contribuição para o abastecimento

de alimentos, estabelecimentos de agricultura familiar sempre encaram desafios no que diz respeito à segurança alimentar no País. A região Nordeste tem 47,2% desses estabelecimentos (ZAFALON, 2023) e, ainda assim, é a segunda região no ranking de segurança alimentar. Essa população nas regiões Norte e Nordeste chega a 71,6% e 68%, respectivamente (PENSSAN, 2022). Para abordar esses desafios e fornecer suporte aos agricultores familiares, o envolvimento do governo em programas de assistência básica é crucial (ZAFALON, 2023). Programas como o de abastecimento de água e o programa de bem-estar social Bolsa Família são considerados essenciais para assegurar a estabilidade e o crescimento das práticas de agricultura familiar (ZAFALON, 2023).

#### 4.2.1.3 Caso da região Norte e da região de Matopiba

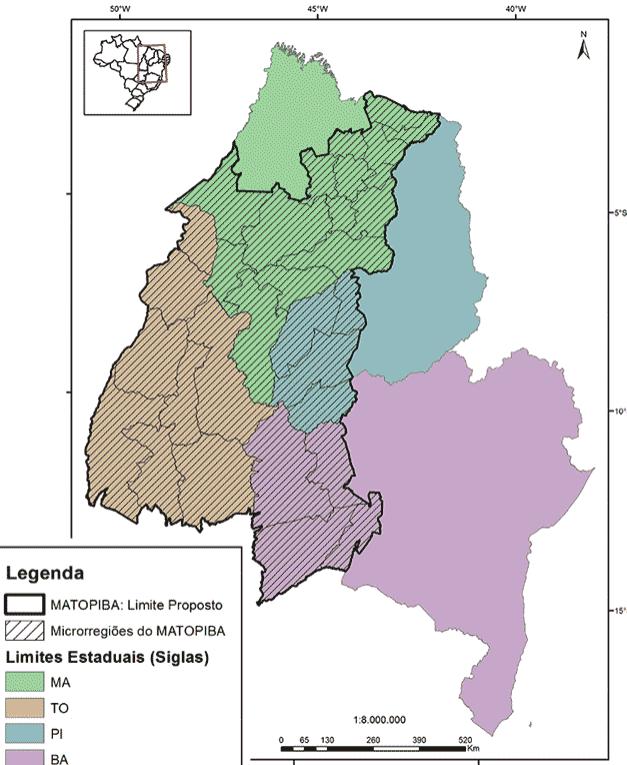
A região Norte do Brasil tem vivenciado um crescimento substancial na agricultura e, em 2020, a região registrou exportações de grãos de aproximadamente 6 milhões de toneladas, marcando um relevante aumento de 15% em relação ao ano anterior (DIERINGS, 2023). Essa região é considerada uma fronteira agrícola e produz uma ampla gama de safras, desde as tradicionais, como mandioca, milho e arroz, até safras voltadas para a exportação, como a soja (DIERINGS, 2023). Essa última foi associada ao desmatamento na floresta amazônica, e também contribui para a diminuição da queda de chuva na região (DIERINGS, 2023).

Um estado em particular que depende do agronegócio, especialmente da agricultura de grãos, é o de Roraima (VELA, 2023). Nesse estado, o cultivo de soja tem demonstrado crescimento substancial na região, e projeções para 2022 indicaram um aumento de 40% nas áreas produtivas até 2023 (SALES, 2023).

Uma das origens da expansão das práticas extensivas de agricultura para regiões como a Norte são as motivações econômicas e financeiras, que estão impulsionando as migrações atuais no Brasil. Os produtores agrícolas buscam manter ou aumentar suas taxas de lucratividade e expandir seus negócios, e isso é um incentivo para que se mudem em busca de novas terras, com custos mais baixos. Regiões dentro dos estados do Maranhão, Tocantins, Piauí e Bahia (também conhecida como Matopiba) apresentam uma tendência de expansão das áreas de cultivo no Brasil. Essa transição agrícola é justificada por algumas características essenciais da “agricultura moderna”, tais como áreas extensas e planas, solos potencialmente produtivos, disponibilidade de água e um clima favorável, com longos dias e alta intensidade de irradiação solar. A transição do uso da terra envolve tanto a expansão quanto a conversão de terras, especialmente na substituição de pastos com agricultura em larga escala, o que é facilitado pela mecanização e intensificação da produção (EMBRAPA, 2023a).

A região Norte está recebendo a principal expansão da agricultura extensiva de grande escala do Nordeste e do Centro-Oeste. A região compreende os estados da região do Matopiba e o estado do Pará. Essa região do Matopiba é considerada uma «nova fronteira agrícola» (Figura 46). Ela produziu 20,5 milhões de toneladas na safra de 2016/2017, e as projeções indicam que é esperado que essa produção alcance 26 milhões de toneladas até 2026/2027 (EMBRAPA, 2023a).

Figura 46 - Delimitação proposta para a região do Matopiba



Fonte: Embrapa (2023a)

Apesar do crescimento econômico associado a essa transição agrícola nos estados do Matopiba, o cenário é marcado por altas taxas de desmatamento. Quase metade da vegetação nativa do Cerrado foi desmatada – e dos 54,5% da área remanescente, 44% estão na região do Matopiba (IPAM, 2022). De acordo com um artigo publicado por Rodrigues et al. (RODRIGUES et al., 2022), a conversão da vegetação nativa do Cerrado em áreas de pastagem já havia causado impactos climáticos para a região, que se tornou quase 1°C mais quente e 10% mais seca.

Considerando os desafios ambientais que o desmatamento causou e os impactos climáticos resultantes observados na região do Matopiba, há uma necessidade urgente de exploração de práticas agrícolas sustentáveis e inovadoras nos respectivos estados. Nesse contexto, sistemas agrivoltaicos apresentam uma solução promissora ao gerar energia renovável com a otimização do uso da terra, além de aprimorar todo o ecossistema e a resiliência social.

#### 4.2.1.4 Caso da região do Nordeste

No Brasil, a chamada “agricultura moderna”, que se refere principalmente à produção em larga escala, parece beneficiar apenas alguns poucos privilegiados, levando a uma concentração significativa de produção e renda em áreas rurais. Os dados do último Censo em 2006 revelam que 8% dos estabelecimentos rurais são responsáveis por gerar 85% do valor agrícola, enquanto as 4,7 milhões de propriedades restantes contribuem apenas com

15% da riqueza total. Além disso, é esperado que essas disparidades aumentem, de acordo com os especialistas (EMBRAPA, 2023a).

A pobreza rural é um problema generalizado no Brasil, com as regiões do Nordeste e do Norte vivenciando esse problema de forma mais intensa. A região do Norte brasileiro é responsável por 94% dos estabelecimentos com uma área igual ou menor do que 100 hectares, que se enquadram nas categorias de renda de “muito pobre” e “pobre”. Em estabelecimentos com mais de 100 hectares, a porcentagem também é alta, com 74% (EMBRAPA, 2023a).

Na região do Nordeste, a presença de agricultura familiar se destaca como uma característica importante, especialmente na região do semiárido. Por outro lado, a Zona da Mata, a mais úmida parte da região, é dominada por um sistema agrícola com foco em monocultura voltada para exportação. Safras de horticultura, especialmente frutas, como melões, uvas, mangas e abacaxis, são as principais expressões da agricultura da região. Além disso, de forma semelhante à região Sudeste, a do Nordeste também possui envolvimento predominante na produção de cana-de-açúcar. Além disso, ela exporta soja, principalmente da Bahia e do Piauí (SYNGENTA, 2023).

O comportamento agrícola na região do Nordeste do Brasil apresentou tendências variáveis nas áreas de colheita e na produção de safras entre 2002 e 2017. Estados como Piauí, Maranhão e Sergipe apresentaram notáveis aumentos nas áreas de colheita impulsionados pelo cultivo de soja e milho. Em contrapartida, outros estados enfrentaram declínios devido aos efeitos da seca, especialmente no bioma da caatinga (CARNEIRO; LIMA, 2017).

Considerando os benefícios comprovados dos sistemas agrivoltaicos, tais como proteção contra o calor e irradiação extremos, redução da evaporação e da necessidade de irrigação, esses sistemas demonstram um potencial compatível com o clima e as características sociais da região do Nordeste. Um projeto piloto que representa um modelo de sistema agrivoltaico que pode responder aos desafios locais da região é o Projeto Ecolume, que é explicado em detalhes no sub-capítulo 2.1.1 deste documento. O modelo pode fornecer segurança energética e alimentar para estabelecimentos de agricultura familiar, ao mesmo tempo em que permite a restauração de terras degradadas ou desertificadas (ENVIRONMENTALNEWS, 2022).

## 4.2.2 Aspectos do sistema agropecuário

Nesse tópico, é explicado o contexto das principais atividades agropecuárias brasileiras, bem como uma perspectiva específica sobre disponibilidade de água e irrigação. Além disso, a situação da região específica do Nordeste brasileiro será destacada.

### 4.2.2.1 Agricultura e pecuária

De acordo com o Monitoramento da Cobertura e Uso da Terra pelo IBGE, de 2000 a 2018, a área agrícola cresceu até 44,8% no Brasil, atingindo cerca de 665 mil km<sup>2</sup>. Essa terra é equivalente a 7,6% do território nacional, incluindo tanto áreas terrestres quanto marítimas. Certas regiões se destacam nessa transição de terras, tais como a parte do nordeste do Mato Grosso, e os municípios de Santarém e Paragominas no Pará, além de Imperatriz, no Maranhão; todos apresentaram um aumento no cultivo de soja. Por outro lado, o estudo revela que, em mais de 18 anos, o Brasil perdeu 7,6% de sua vegetação de floresta. A área de floresta, que era superior a 4 milhões km<sup>2</sup> no ano 2000, diminuiu para 3,7 milhões km<sup>2</sup> em 2018, representando 42,4% do território do País. Além disso, outras vegetações, incluindo os biomas do Cerrado, da Caatinga e dos Pampas, perdeu mais de 10% de sua área durante o mesmo período (IBGE, 2020).

De acordo com a pesquisa realizada pelo Instituto de Manejo e Certificação Florestal e Agrícola (Imaflora), soja, milho, cana-de-açúcar, arroz e feijão são as maiores safras da agricultura brasileira em termos de área plantada. Esses cinco produtos agrícolas foram responsáveis por mais de 70% do total de terras cultivadas no Brasil, de 1985 a 2017 (ESTADAO, 2022).

#### 4.2.2.1.1 Soja

A safra da soja cultivada no Brasil para a produção de grãos é a de uma planta herbácea. A altura das plantas varia dependendo das condições ambientais e da variedade. O ideal é que a altura da planta tenha uma variação entre 60 e 110 cm, o que facilita a colheita mecânica em campos comerciais e ajuda a evitar o acamamento. A floração da soja é influenciada pelo fotoperíodo, que é a duração do dia. Como se trata de uma planta de dias curtos, a soja determina a sua floração e aumenta o seu ciclo em condições de dias longos. Juntamente com a intensidade da radiação, a duração e a qualidade do espectro de luz afetam significativamente as características morfológicas e fenotípicas da soja, tais como altura da planta, indução da floração e ontogenia (NEPOMUCENO; FARIA; NEUMAIER, 2021).

Em termos de dados de produção, o Brasil relatou uma produção de soja de 123,8 milhões de toneladas em uma área de 40,9 milhões de hectares, com uma produtividade de 3.026 kg/ha até maio de 2022 (CONAB; EMBRAPA, 2023). A produção brasileira de soja é responsável por aproximadamente 42% da produção mundial (USDA, 2023). O estado do Mato Grosso é o maior produtor de soja do Brasil, representando 39,9 milhões de toneladas de produção em uma área de 10,9 milhões de hectares, com uma produtividade de 3.663 kg/ha no mesmo período (CONAB; EMBRAPA, 2023).

Embora a soja esteja entre as safras que mais sofrem com os efeitos do sombreamento, pesquisadores italianos descobriram, por meio de experimentos com sistemas agrivoltaicos, que o impacto é menos significativo do que o esperado (BELLINI, 2022). O estudo abordou diferentes configurações com várias taxas de sombreamento, e os resultados mostraram uma média de apenas 8% na redução do rendimento de grãos de soja para o todo sistema agrivoltaico, o que está muito abaixo dos limites estabelecidos em centrais agrivoltaicas na Alemanha e na Coreia do Sul.

#### 4.2.2.1.2 Milho

Na região Centro-Sul do Brasil, o cultivo do milho ocorre após a colheita da soja, com a semeadura concentrada no verão/outono brasileiro, comumente conhecida como a segunda safra. Ao longo das últimas décadas, o milho se tornou a maior safra agrícola do mundo, superando a produção de antigas concorrentes como o arroz e o trigo, se tornando a primeira safra a ultrapassar 1 bilhão de toneladas de produção (FAEB, 2022). Na safra de 2021/2022, a produção de milho global foi de cerca de 1,22 bilhão de toneladas (COÊLHO, 2022). De acordo com a Conab (2019), o estado do Mato Grosso se tornou o líder em produção de milho no País, com um rendimento de 31,3 milhões de toneladas, com a segunda safra de milho

representando 95% da produção total na colheita de 2018/19 (REHAGROBLOG, 2023). O cultivo de milho exibe um padrão razoavelmente distribuído em diferentes regiões, com os principais estados produtores sendo Mato Grosso, Paraná, Goiás, Mato Grosso do Sul e Minas Gerais, nessa ordem (FAEB, 2022).

Mesmo que o milho e a soja sejam considerados safras intolerantes à sombra, pesquisadores nos Estados Unidos estão desenvolvendo estudos práticos sobre a compatibilidade dessas safras com os sistemas agrivoltaicos (Figura 47).

Os pesquisadores estão trabalhando na determinação do espaçamento ideal entre os painéis fotovoltaicos, para evitar que o excesso de sombras interfira na produção de safras (BOWMAN; MILLER; ROSENBERG, 2022). Além disso, um artigo publicado por Sekiyama et al. (2019) mostrou que é possível o crescimento de milho sob a sombra de painéis agrivoltaicos sem que haja uma redução relevante de rendimento. Os resultados do estudo mostram que o crescimento da biomassa da palha de milho abaixo dos painéis do módulo fotovoltaico espaçados em intervalos de 0,71 m não ultrapassou 96,9% da produção na área de controle (SEKIYAMA; NAGASHIMA, 2019).

Figura 47 - Pesquisa do sistema agrivoltaico da Universidade de Purdue sobre plantações de soja e milho



Fonte: Bowman, Miller and Rosenberg (2022) | Créditos da foto: Kelly Wilkinson

#### 4.2.2.1.3 Cana-de-açúcar

Em 2021, o Brasil se tornou o maior produtor de cana-de-açúcar do mundo. O valor da produção da cana-de-açúcar chegou mais de USD 15 bilhões, com mais de 715 milhões de toneladas colhidas de uma área com aproximadamente

10 milhões de hectares. Esse desempenho foi disseminado em mais de 170 mil estabelecimentos, refletindo a robusta indústria de cana-de-açúcar do País. O rendimento médio por hectare atingiu mais de 70 kg, destacando a eficiência e a produtividade do cultivo da cana-de-açúcar no Brasil (IBGE, 2023).

Com relação à safra de 2020/21, o Brasil foi responsável pela produção de 654,5 milhões de toneladas de cana-de-açúcar, dedicados à produção de 41,2 milhões de toneladas de açúcar e 29,7 bilhões de litros de etanol (CONAB, 2021). O estado de São Paulo tomou a liderança na produção de cana-de-açúcar, contribuindo com 54,1% da quantidade total produzida durante a colheita. A produção de São Paulo, em números, incluía 48,4% de etanol (14,3 bilhões de litros) e 63,2% de açúcar (26,0 milhões de toneladas) (CONAB, 2021; NACHILUK, 2021).

#### 4.2.2.1.4 Pecuária de corte

A indústria de pecuária de corte no Brasil é amplamente desenvolvida em todos os estados e ecossistemas, exibindo grande diversidade em termos de densidade de gado em diferentes regiões, taxas de crescimento do rebanho e sistemas de produção praticados. Esses sistemas abrangem diferentes estágios de reprodução, criação e engorda, de forma independente ou combinada, utilizando pastagens nativas e cultivadas, com ou sem alimentação suplementar em ambientes de pastagem ou confinamento. No entanto, sistemas mais intensivos, envolvendo suplementação de pastagem ou confinamento, vêm ganhando cada vez mais importância, principalmente nas regiões do Centro-Oeste e do Sudeste. A indústria brasileira de pecuária de corte apresenta uma ampla gama de sistemas de produção, abrangendo desde pecuária extensiva com base em pastagens nativas e cultivadas com mínima produtividade, até a chamada pecuária intensiva, caracterizada por pastagens de alta produtividade, suplementação de pastagens e confinamento (CEZAR et al., 2005).

Globalmente, é esperado que a produção de carne bovina chegue a 59,6 milhões de toneladas em 2023, de acordo com as estimativas do Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (USDA) (GLOBO RURAL, 2023). O Brasil tinha, em 2021, um rebanho bovino de 224,6 milhões de cabeças (mais gado do que pessoas!), de acordo com os dados do IBGE, como parte da Pesquisa da Pecuária Municipal (PPM). Entre os estados, Mato Grosso continua sendo o líder da produção pecuária com 32,4 milhões de cabeças, representando 14,4% do rebanho nacional, seguido de Goiás (10,8%). No nível municipal, São Félix do Xingu, no Pará, mantém o primeiro lugar, com 2,5 milhões de cabeças (BRASIL, 2022). No acumulado do ano de 2022 em comparação com o mesmo período de 2021, o Brasil aumentou as vendas de carne bovina em 40,88% (em USD) e 22,66% (em Kg), e exportou carne bovina para 153 países (SOARES; XIMENES, 2023).

A integração-lavoura-pecuária-floresta (ILPF) no Brasil é uma estratégia de produção que combina diferentes sistemas agrícolas, pecuários e florestais dentro de uma mesma área. Seu objetivo é otimizar o uso da terra e aumentar a produtividade, além de diversificar a produção enquanto reduz a necessidade de abertura de novas áreas. A ILPF proporciona inúmeros benefícios, incluindo a

melhoria do bem-estar animal, o aumento da ciclagem de nutrientes no solo, a preservação da biodiversidade e a sustentabilidade na agricultura (EMBRAPA, 2023b). Além disso, resulta em uma produção diversificada e uma maior eficiência na utilização dos recursos naturais. A implementação da ILPF está ganhando força, com aproximadamente 15 milhões de hectares já adotando essa abordagem no Brasil (JOHNDEERE, 2023).

#### 4.2.2.1.5 Legumes e verduras

O mercado brasileiro de legumes e verduras é caracterizado pela alta diversidade e segmentação, com a maioria da produção concentrada em seis safras principais: batata, tomate, melancia, alface, cebola e cenoura. Curiosamente, mais da metade dessa produção é atribuída aos esforços da agricultura familiar de pequena escala (VILELA; LUENGO, 2022). De acordo com o Censo Agropecuário de 2017 (IBGE), houve 336 mil estabelecimentos agrícolas envolvidos com horticultura no Brasil, com a distribuição ocorrendo desta forma: Nordeste (41,0%), Sudeste (28,0%), Sul (16,5%), Norte (9,7%) e Centro-Oeste (4,7%). Com relação à produção de tomate, 29,3% de todos os tomates no País são produzidos no estado de Goiás, e 21,4% em São Paulo. O estado de Santa Catarina lidera na produção de cebola (28,1%), seguido da Bahia (15%) (CNA, 2021).

Os legumes e verduras folhosos são amplamente cultivados em todo o Brasil, sendo que as regiões Sudeste e Sul são as maiores contribuidoras, responsáveis por 84% da produção. Na safra de 2016, São Paulo foi o maior produtor de alface, rendendo 14.199,3 caixas de nove dúzias cada. Notadamente, a produção de alface em São Paulo é primordialmente concentrada no “cinturão verde”, com os centros principais de produção em Sorocaba (54,2%), São Paulo (16%) e Mogi das Cruzes (12,2%) (VILELA; LUENGO, 2022).

A área total estimada dedicada ao cultivo de legumes e verduras folhosos no Brasil abrange 174.061 hectares, com a alface ocupando a maioria em 49,9%, seguida de rúcula (22,8%), repolho (15,3%), couve kale (6,1%), espinafre (1,0%) e outras variedades (4,9%). A produção total de mais de 1.317,6 toneladas é distribuída entre diferentes legumes e verduras folhosos, com a alface liderando com 43,7%, seguida de repolho (31,7%), couve kale (9,1%), agrião (7,6%), espinafre (3,1%), rúcula (2,0%) e outras variedades (2,1%) (VILELA; LUENGO, 2022).

#### 4.2.2.2 Disponibilidade de Água e Irrigação

Em uma escala global, o setor agrícola é o maior consumidor de terra e recursos hídricos. As projeções indicam um aumento de 40% na demanda global por água até 2030 e 55% até 2050, com uma expectativa de mais de 40% da população mundial vivendo em regiões que enfrentam falta d'água. No contexto rural brasileiro, o uso da água é responsável por 83% do consumo total de água

no Brasil, sendo que 72% são destinados à irrigação. A irrigação está em rápida expansão no Brasil, com a área de terra irrigada aumentando significativamente de 462 mil hectares, em 1960, para 6,1 milhões de hectares, em 2014, principalmente por meio da adoção de sistemas de pivô central (EMBRAPA, 2023c).

Uma das necessidades para o presente e o futuro é aumentar a eficiência das práticas de irrigação. Atualmente, é estimado que aproximadamente 40% da água é perdida devido a sistemas de irrigação inadequados ou vazamentos em tubulações no Brasil (EMBRAPA, 2023c). Apesar de ter reservas substanciais de água doce, incluindo o maior Aquífero do mundo (o Guarani), o Brasil enfrenta uma distribuição desigual de água entre suas regiões: o Norte contém 68,5%, o Centro-Oeste 15,7%, o Sul 6,5%, o Sudeste 6,0%, e o Nordeste 3,3%.

Os dados do IBGE mostram que várias safras, incluindo cana-de-açúcar, arroz, soja e milho são comumente irrigadas no Brasil (EMBRAPA, [s.d.]). No entanto, apesar do crescimento no número de estabelecimentos com irrigação (4,7% por ano, de 2016 a 2021, de acordo com dados do IBGE), algumas safras importantes, como feijão, café e milho verde têm sistemas de irrigação apenas em uma limitada porcentagem de estabelecimentos agrícolas (EMBRAPA, [s.d.]).

Para abordar a variabilidade da água em algumas regiões, pequenos reservatórios, barragens subterrâneas e captação de água da chuva são soluções em potencial para aumentar a disponibilidade da água e reduzir a vulnerabilidade em regiões com recursos hídricos instáveis (EMBRAPA, 2023c). Automação e tecnologia, tais como sistemas de

informação geográfica e agricultura de precisão, podem melhorar muito o gerenciamento da irrigação, otimizando quando e o quanto deve ser irrigado. Além disso, aumentar a capacidade e o treinamento do setor agrícola é crucial para implementar efetivamente esses avanços (BASSOI, 2021).

#### 4.2.3 Aspectos dos sistemas solares fotovoltaicos

O nível de irradiância solar varia nas diferentes regiões do Brasil devido a fatores como latitude, altitude, clima e cobertura de nuvens. No entanto, em todas as regiões do País, o potencial de irradiância solar é notável, o que cria oportunidades para o desenvolvimento de projetos de energia solar em diferentes escalas. Isso inclui centrais fotovoltaicas de grande escala, bem como a implementação de sistemas de geração distribuída em casas, estabelecimentos comerciais e indústrias, e sistemas agrivoltáicos.

A [Figura 48](#) ilustra o valor médio anual da irradiância solar diária nas cinco regiões do Brasil. A região Nordeste tem o maior potencial solar, com uma média diária de irradiância horizontal global de 5,49 kWh/m<sup>2</sup>. As regiões Sudeste e Centro-Oeste têm valores de irradiância global horizontal diária próximos a 5,07 kWh/m<sup>2</sup>. No Sul, a média diária de irradiância horizontal global é de 4,53 kWh/m<sup>2</sup> e, no Norte, é de 4,64 kWh/m<sup>2</sup>. Os valores relativamente mais baixos de irradiância solar na região Norte são explicados pelas características climáticas, com frequentes nuvens reduzindo a quantidade de radiação solar incidente sobre a superfície. Como resultado, a média diária global de irradiância nos planos horizontal e inclinado é próxima à da região Sul, e a irradiação normal direta é menor do que a de todas as outras regiões do País.

Figura 48 - Níveis de Irradiância Solar por região



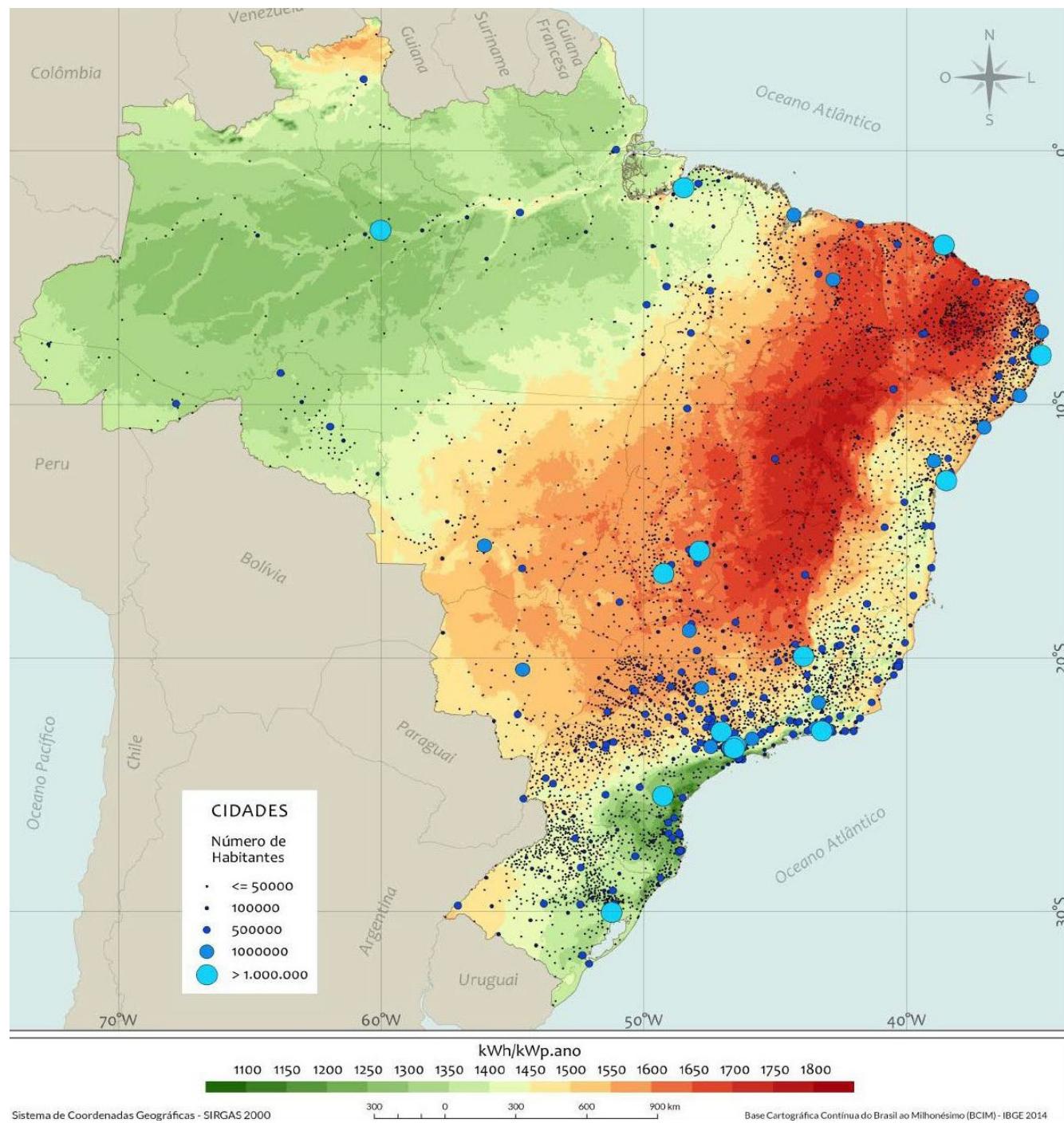
Fonte: INPE (2017)

No Brasil, a geração de energia elétrica por meio de painéis solares fotovoltaicos tem imenso potencial, como pode ser visto no mapa exibido na Figura 49. O mapa ilustra o rendimento energético máximo anual (medido em kWh de energia elétrica gerada por ano para cada kWp de energia fotovoltaica instalada) em todo o Brasil. Além disso, a figura mostra círculos azuis espalhados pelo território brasileiro, para destacar áreas de concentração populacional. Mesmo

em regiões com menor incidência solar, como o Sul e o Norte, é possível para gerar mais energia solar do que nas partes com muito sol na Alemanha, por exemplo.

Portanto há um enorme potencial para energia fotovoltaica no Brasil, em todas as regiões do País, e isso já está comprovado graças ao crescimento significativo dos sistemas de geração distribuída no País.

Figura 49 - Potencial de geração solar fotovoltaica em rendimento energético anual (kWh/kWp.ano)



Fonte: INPE (2017)

#### 4.3 Modelos de negócios e oportunidades de financiamento para sistemas agrivoltaicos no Brasil

A seção conclusiva do presente Relatório Informativo descreverá principalmente os modelos de negócios e de financiamento atualmente existentes no Brasil, destacando seu potencial aplicabilidade a sistemas agrivoltaicos. Em além de apresentar uma visão geral do contexto atual e oportunidades, o presente relatório oferece recomendações de incentivos por meio de políticas para promover a adoção de sistemas

agrivoltaicos, com inspiração nas práticas globais de melhor caso.

##### 4.3.1 Possíveis modelos de negócios no contexto brasileiro

Conforme mencionado no subcapítulo da Austrália, fazendas solares de larga escala começaram a surgir na Austrália por volta de 2015, momento em que também houve o início do desenvolvimento de práticas de sistemas agrivoltaicos, principalmente dominadas por pastagem de ovelhas. A primeira experiência agrivoltaica teve início em 2015, na *Royalla Solar Farm*,

com pastagem de ovelhas, seguida de mais de uma dúzia de outras fazendas solares com atividades de pastoreio (CLEANENERGYCOUNCIL, 2021). Em 2020, havia um registro de pelo menos 13 fazendas solares de larga escala com pastagem de ovelhas na Austrália. Atualmente, essa atividade ainda é a forma predominante de modelo agrivoltaico na Austrália, mas há outras formas de uso combinado no país, tais como horticultura, viticultura, aquicultura e cultivo, mas geralmente em uma escala muito menor (CLEANENERGYCOUNCIL, 2021).

Embora a Austrália tenha desenvolvido centrais pioneiras em sistemas agrivoltaicos há muitos anos, o país ainda carece de uma clara política e regulamentos para a tecnologia. A falta de conhecimento e impedimentos técnicos e econômicos têm desacelerado o desenvolvimento do setor (RENEWECOMONY, 2023).

No Brasil, com o atual enquadramento legal para geração distribuída, agricultores podem gerar sua própria energia por meio do SCEE utilizando sistemas de MMGD fotovoltaicos solares, adaptando essa tecnologia para a aplicação de energia agrivoltaica. É compreendido que a geração distribuída seria, portanto, mais adequada para agricultores familiares e de pequena escala, uma vez que esses sistemas estão limitados a 3 MW ou 5 MW. Para agricultores de larga escala, sistemas agrivoltaicos para gerar energia para o mercado aberto podem ser mais adequados. No entanto, o mercado aberto é muito complexo, no qual, geralmente, apenas grandes players do mercado de energia se envolvem.

De acordo com a Lei Brasileira 14300, a geração distribuída pode ser aplicada em quatro modalidades diferentes. Elas são:

- **Autoconsumo local:** a energia é gerada e consumida na mesma unidade consumidora;
- **Autoconsumo remoto:** a energia é gerada e consumida em diferentes unidades consumidoras, desde que ambas estejam no nome do mesmo proprietário (seja ele uma pessoa física ou jurídica) e na concessão de uma mesma distribuidora;
- **Desenvolvimento com múltiplas unidades consumidoras:** a geração de energia para áreas comuns de um complexo com múltiplas unidades consumidoras localizadas na mesma propriedade ou em propriedades adjacentes, desde que não sejam separadas por estradas públicas ou propriedades de terceiros que não fazem parte do complexo;
- **Geração compartilhada:** geração para um grupo de consumidores que se organizam em uma cooperativa, consórcio, condomínios de prédio ou voluntários contendo pessoas físicas ou qualquer forma de associação civil configurada para esse propósito,

desde que todas as unidades consumidoras estejam em uma área de concessão da mesma distribuidora.

Todas as opções mencionadas acima de geração distribuída fornecem o enquadramento legal necessário para tornar modelos de negócios para sistemas agrivoltaicos viáveis, conforme aqueles mencionados na **Tabela 1** ilustrada no subcapítulo 1.2 **Modelos de Negócios**. Nesse contexto, é observado um imenso potencial da modalidade de geração distribuída compartilhada, por exemplo, a ser aplicada em cooperativas e associações de agricultura familiar existentes, com as quais poderia haver fácil adaptação de suas estruturas legais para o compartilhamento de créditos de energia por meio de sistemas agrivoltaicos em suas produções agrícolas existentes.

### Oportunidades de financiamento existentes para energia solar em terras agrícolas

Nos últimos anos, surgiram no Brasil diferentes tipos de opções de financiamento para projetos de energia solar. Alguns deles são exclusivos para pessoas físicas ou jurídicas, enquanto outros abrangem ambas. Há também aqueles exclusivos para o setor rural, que tem como objetivo fomentar o desenvolvimento de produtores e empresas rurais. O presente capítulo tem o objetivo de apresentar as oportunidades de financiamento atualmente disponíveis para propriedades agrícolas para o uso de tecnologias de energia solar.

O **Plano Safra** é um dos principais programas do governo federal brasileiro, por meio do Ministério da Agricultura, para promover a produção rural no País, ao garantir créditos para investimentos e custos da produção agrícola. O Plano Safra é principalmente destinado a pequenos e médios produtores rurais e, todos os anos, desde 2003, o governo tem alocado fundos para o programa, que é válido por um ano, tendo início em 1º de julho até junho do ano seguinte. Para a edição de 2023/2024 do Plano Safra, o governo disponibilizou um montante de mais de USD 90 bilhões em diversas opções de crédito rural (CNN BRASIL, 2023; GOVERNO FEDERAL, 2023a). Os recursos anunciados para pequenos agricultores chegam a mais de USD 16 bilhões, enquanto os recursos para grandes e médios produtores eram próximos a USD 75 bilhões.

As linhas de crédito do Plano Safra pertencem a vários programas, com os principais sendo o Programa Nacional de Fortalecimento da Agricultura Familiar (**PRONAF**) e o Programa Nacional de Apoio ao Médio Produtor Rural (**PRONAMP**). Há também recursos para outros programas, tais como **INOVAGRO**, **MODERAGRO**, **PRODECOOP**, **PROIRRIGA**, **RENOVAGRO**, entre outros. Cada programa do Plano Safra tem subdivisões específicas, com taxas de juros que variam de acordo com o programa específico. A classificação em uma ou outra modalidade varia de acordo com a atividade realizada pelo produtor rural, de

acordo com a receita correspondente anual e o tamanho da propriedade. Essa diferenciação existe precisamente para estimular a produção de pequenos produtores, uma vez que eles tendem a ter menores vantagens competitivas em comparação com grandes produtores.

Outro instrumento financeiro que pode ser utilizado pelos agricultores rurais para adotar sistemas fotovoltaicos de energia solar são os **Fundos Constitucionais de Financiamento (FNO, FNE e FCO)**. Esses fundos estão estabelecidos na Constituição Brasileira, por meio da Lei 7827 de 1989, que tem por objetivo promover o desenvolvimento econômico e social de determinadas regiões (MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO E DO DESENVOLVIMENTO CONSTITUCIONAL, 2023). Cada fundo é direcionado a uma região específica do País: Fundos Constitucionais de Financiamento do Centro-Oeste (FCO), do Nordeste (FNE) e do Norte (FNO).

Outra opção de financiamento que pode ser interessante para agricultores é o **FINAME** (Financiamento de Máquinas e Equipamentos).

O FINAME é um programa do BNDES (Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social) que oferece crédito para a aquisição de maquinário, equipamentos, veículos e outros bens de capital a serem utilizados no exercício da atividade econômica do cliente.

Essas linhas e programas de financiamento são apresentados com mais detalhes nos próximos subcapítulos.

#### 4.3.2.1 Programa de Fortalecimento da Agricultura Familiar (PRONAF)

O Programa Nacional de Fortalecimento da Agricultura Familiar (PRONAF) é uma linha de crédito e parte do “Plano Safra” do Governo Federal, que tem por objetivo prestar assistência diferenciada a vários grupos de agricultores familiares, tais como assentados da reforma agrária, beneficiários do crédito fundiário, agricultores familiares de baixa renda, dinâmicas de agricultores familiares e até mesmo povos e comunidades tradicionais, como os povos indígenas, quilombolas, pescadores artesanais, ribeirinhos e outros.

**Tabela 4 - Condições da linha PRONAF ABC + Bioeconomia para financiamento de tecnologias de energia renovável.**

<b>Taxa de juros</b>	<b>Até 5% a.a.</b>
<b>Valor máximo de financiamento</b>	R\$ 200 mil (aproximadamente USD 40 mil)
<b>Período máximo de financiamento</b>	10 anos
<b>Período máximo de carência</b>	5 anos
<b>Bancos nos quais essa linha de crédito está disponível</b>	BNDES, Banco do Brasil, Banco do Nordeste, Banco da Amazônia, Banrisul, Sicredi, Sicoob, entre outros

Fonte: Elaborado pelos autores (2024)

O PRONAF está presente em quase todos os municípios do País e sua implementação ocorre por meio de bancos públicos e privados, do BNDES e de cooperativas de crédito rural. O PRONAF fornece linhas de crédito personalizadas para as necessidades da agricultura familiar, cada qual com sua especificidade, para atender a determinados fins ou grupos-alvo. As linhas de crédito rural atualmente disponíveis no âmbito do PRONAF são: PRONAF Custo, PRONAF Mais Alimentos (Investimento), PRONAF Microcrédito Produtivo Rural, PRONAF “A”, PRONAF “A/C”, PRONAF Agroindústria, PRONAF Industrialização, PRONAF ABC + Floresta, PRONAF ABC + Semiárido, PRONAF ABC + Agroecologia, PRONAF ABC + Bioeconomia, PRONAF Mulher, PRONAF Jovem, PRONAF Cotas-Partes, PRONAF voltado para a produção (PROGRAMA NACIONAL DE FORTALECIMENTO DA AGRICULTURA FAMILIAR, 2023).

Entre essas linhas disponíveis, as que podem financiar sistemas solares fotovoltaicos são PRONAF ABC + Bioeconomia e PRONAF Agroindústria, ambos apresentados em mais detalhe nos próximos subcapítulos.

##### 4.3.2.1.1 PRONAF ABC + Bioeconomia

O mecanismo de financiamento **PRONAF ABC + Bioeconomia** permite o financiamento de investimentos no uso de tecnologias de energia renovável, tecnologias ambientais, armazenamento de água, pequenos aproveitamentos hidroenergéticos, silvicultura e a adoção de práticas conservacionistas e de correção da acidez e fertilidade do solo, visando sua recuperação e melhoramento da capacidade produtiva (PROGRAMA NACIONAL DE FORTALECIMENTO DA AGRICULTURA FAMILIAR, 2023).

Esse mecanismo de financiamento pode ser solicitado por agricultores e produtores familiares rurais, pessoas físicas, que apresentam uma Declaração de Aptidão ao PRONAF (DAP) válida e que atendam aos requisitos para inscrição. A Tabela 4 apresenta as condições gerais dessa linha de financiamento para a aquisição de tecnologias de energia renovável. É importante observar que a disponibilidade da linha de crédito pode variar de acordo com a região e a filial bancária, além das condições de crédito oferecidas.

#### 4.3.2.1.2 PRONAF Agroindústria

O PRONAF Agroindústria foi criado para fornecer apoio à implementação, à expansão ou à modernização de agroindústrias familiares, as quais transformam a produção agrícola em produtos com maior valor agregado. Os recursos do PRONAF Agroindústria podem ser utilizados para a aquisição de maquinário, equipamentos, veículos utilitários, construção e renovação de instalações e aquisição de matérias-primas, além de investimentos em tecnologias de energias renováveis, tais como a utilização de biomassa, vento, miniusinas de biocombustíveis e substituição de tecnologia de combustível fóssil por renovável nos equipamentos e maquinários agrícolas de uso da agroindústria.

Para ter acesso ao PRONAF Agroindústria, o agronegócio

deve estar registrado no Programa Nacional de Agricultura Familiar (PRONAF) e ser considerado uma unidade familiar de produção rural. Além disso, a agroindústria deve estar localizada em uma área rural e ter como sua principal atividade o processamento de produtos agrícolas produzidos pela própria unidade familiar.

O propósito da PRONAF Agroindústria é promover a adição de valor à produção agrícola, gerando renda e melhorando a qualidade de vida das famílias agrícolas. Além disso, o programa procura fomentar o desenvolvimento sustentável e a diversificação das atividades produtivas no campo. A Tabela 5 apresenta as condições gerais dessa linha de crédito. É importante observar que a disponibilidade de uma linha pode variar de acordo com a região e a agência bancária, além das condições de crédito oferecidas.

**Tabela 5 - Condições da linha PRONAF Agroindústria**

Taxa de juros	Até 6% a.a.
<b>Valor máximo de financiamento</b>	Pessoa Física - Até R\$ 200 mil (aproximadamente USD 40 mil) <b>Pessoa Jurídica</b> - Até R\$ 7 milhões (aproximadamente USD 1,4 milhão) Cooperativa - Até 35 milhões (aproximadamente USD 7 milhões), com R\$ 45 mil (aproximadamente USD 9 mil) por membro da cooperativa.
<b>Período máximo de financiamento</b>	Até 10 anos
<b>Período máximo de carência</b>	Até 3 anos
<b>Bancos nos quais essa linha de crédito está disponível</b>	BNDES, Banco do Brasil, Banco do Nordeste, Banco da Amazônia, Caixa, entre outros

Fonte: Elaborado pelos autores (2024)

#### 4.3.2.2 Programa Nacional de Apoio ao Médio Produtor Rural (PRONAMP)

O **Programa Nacional de Apoio ao Médio Produtor Rural (PRONAMP)** também é um programa pertencente ao Plano Safra, assim como o PRONAF. A diferença está no público-alvo de cada iniciativa. Enquanto o PRONAMP atende às propriedades de médio porte, o PRONAF é destinado aos agricultores familiares. Produtores rurais com uma renda anual bruta de até R\$ 2,4 milhões (aproximadamente USD 500 mil) podem solicitar uma linha de crédito com o PRONAMP. Além disso, é necessário que o tomador esteja em dia com as obrigações financeiras e tributárias e apresente um projeto técnico para o uso do crédito.

O PRONAMP pode financiar atividades de custeio e

investimento. A modalidade PRONAMP Custeio atende despesas operacionais, que auxiliam na manutenção da propriedade. Por sua vez, a modalidade PRONAMP Investimento serve para melhorar a produção agrícola do produtor que a solicita, seja por meio da aquisição de maquinário ou da implementação de um sistema de energia renovável, por exemplo.

A Tabela 6 apresenta as condições de financiamento do PRONAMP de forma mais detalhada. É importante observar que as condições e os critérios de financiamento podem variar de acordo com a instituição financeira que oferece a linha de crédito.

Taxa de juros

**Tabela 6 - Condições da linha de crédito do PRONAMP**

<b>Taxa de juros</b>	8% a.a.
<b>Valor máximo de financiamento</b>	Até R\$ 430 mil (aproximadamente USD 90 mil) por ano-safra
<b>Período máximo de financiamento</b>	Até 8 anos
<b>Período máximo de carência</b>	Até 3 anos
<b>Bancos nos quais essa linha de crédito está disponível</b>	BNDES, Banco do Brasil, Caixa, Santander, entre outros.

Fonte: Elaborado pelos autores (2024)

#### 4.3.2.3 Programa de Incentivo à Inovação Tecnológica na Produção Agrícola (INOVAGRO)

O **Programa de Incentivo à Inovação Tecnológica na Produção Agrícola (INOVAGRO)** tem como objetivo fornecer suporte aos investimentos necessários para incorporar a inovação tecnológica em propriedades rurais, para assim aumentar a produtividade, a adoção de boas práticas agrícolas e administração da propriedade rural, além da entrada competitiva de produtores rurais

em diferentes mercados consumidores. Os beneficiários desse programa são os produtores rurais (pessoas físicas e jurídicas) e suas cooperativas.

A **Tabela 7** apresenta mais detalhadamente as condições de financiamento do INOVAGRO. É importante observar que as condições e os critérios de financiamento podem variar de acordo com a instituição financeira que oferece a linha de crédito.

**Tabela 7 - Condições de financiamento do INOVAGRO**

<b>Taxa de juros</b>	10,5% a.a.
<b>Valor máximo de financiamento</b>	Empresa individual - R\$ 1,3 milhão (aproximadamente USD 260 mil) por cliente Empresa coletiva - R\$ 3,9 milhões (aproximadamente USD 800 mil), dentro dos limites individuais
<b>Período máximo de financiamento</b>	Até 10 anos
<b>Período máximo de carência</b>	Até 3 anos
<b>Bancos nos quais essa linha de crédito está disponível</b>	BNDES, Banco do Brasil, Caixa, Santander, entre outros.

Fonte: Elaborado pelos autores (2024)

#### 4.3.2.4 Programa de Financiamento à Agricultura Irrigada e ao Cultivo Protegido (PROIRRIGA)

O **Programa de Financiamento à Agricultura Irrigada e ao Cultivo Protegido (PROIRRIGA)** tem como objetivo:

- Apoiar o desenvolvimento da agricultura irrigada que seja sustentável, tanto econômica quanto ambientalmente;
- Incentivar o uso de estruturas de produção em ambientes protegidos, para aumentar a produtividade e a qualidade da colheita;
- Proteger a fruticultura em regiões com climas temperados contra a incidência de granizo.

Os beneficiários do programa são os produtores rurais (pessoas físicas e jurídicas) e suas cooperativas de produção agrícola. Os sistemas fotovoltaicos de energia solar não são diretamente mencionados nos itens financiáveis do

programa, no entanto, é mencionado que “investimentos relacionados com todos os itens inerentes aos sistemas de irrigação, inclusive infraestrutura elétrica, reserva de água e equipamento para monitoramento da umidade no solo” são financiáveis (BANCO CENTRAL DO BRASIL, 2022a). Portanto, é possível que projetos relacionados à energia solar fotovoltaica possam ser financiados, desde que estejam em conformidade com as diretrizes do programa. Se o produtor rural estiver interessado em implementar um sistema de irrigação com um sistema de energia solar utilizando o PROIRRIGA como linha de financiamento, é importante verificar com a instituição financeira escolhida quais são as condições e requisitos para o financiamento desse tipo de equipamento.

A **Tabela 8** apresenta as condições de financiamento do PROIRRIGA. As condições e critérios de financiamento podem variar, de acordo com a instituição financeira que oferece a linha de crédito.

**Tabela 8 - Financiamento das condições do PROIRRIGA**

<b>Taxa de juros</b>	10,5% a.a.
<b>Valor máximo de financiamento</b>	Empresa individual - R\$ 3,3 milhões (aproximadamente USD 660 mil) Empresas coletivas - R\$ 9,9 milhões (aproximadamente USD 2 milhões), respeitando o limite individual.
<b>Período máximo de financiamento</b>	Até 10 anos
<b>Período máximo de carência</b>	Até 3 anos
<b>Bancos nos quais essa linha de crédito está disponível</b>	BNDES, Banco do Brasil, Caixa, Banrisul, entre outros.

Fonte: Elaborado pelos autores (2024)

#### 4.3.2.5 Programa de Desenvolvimento Cooperativo para Agregação de Valor à Produção Agrícola (PRODECOOP)

O **Programa de Desenvolvimento Cooperativo para Agregação de Valor à Produção Agrícola (PRODECOOP)** tem como objetivo fornecer crédito para a modernização de sistemas produtivos e de comercialização do complexo agroindustrial das cooperativas brasileiras. Os beneficiários desse programa incluem:

- Cooperativas singulares de produção agrícola, agroindustrial, aquícola ou pesqueira;
- Cooperativas centrais formadas exclusivamente por cooperativas de produção agrícola, agroindustrial, aquícola ou pesqueira;
- Federações e confederações que atuem diretamente na fabricação de insumos e no processamento e industrialização da produção, desde que sejam formadas exclusivamente por cooperativas de

produção agrícola, agroindustrial, aquícola ou pesqueira.

O PRODECOOP disponibiliza recursos financeiros para projetos de investimento em infraestrutura, aquisição de maquinário e equipamentos, bem como melhoria dos processos produtivos, incluindo “implantação de sistemas para geração e cogeração de energia e linhas de ligação, para consumo próprio como parte integrante de um projeto de agroindústria” (BANCO CENTRAL DO BRASIL, 2022b). Em outras palavras, entre os itens financiáveis do programa, não há menção específica a sistemas de energia solar fotovoltaica; no entanto, é possível que esses sistemas sejam elegíveis para financiamento, desde que cumpram as diretrizes do programa.

A **Tabela 9** apresenta as condições de financiamento do PRODECOOP. As condições e critérios de financiamento podem variar, de acordo com a instituição financeira que oferece a linha de crédito.

**Tabela 9 - Condições de financiamento do PRODECOOP**

<b>Taxa de juros</b>	11,5% a.a.
<b>Valor máximo de financiamento</b>	Até R\$ 150 milhões (aproximadamente USD 30 milhões) por cooperativa
<b>Período máximo de financiamento</b>	Até 10 anos
<b>Período máximo de carência</b>	Até 3 anos
<b>Bancos nos quais essa linha de crédito está disponível</b>	BNDES, Banco do Brasil, Caixa e Banrisul.

Fonte: Elaborado pelos autores (2024)

#### 4.3.2.6 Fundos Constitucionais de Financiamento (FNE, FNO e FCO)

Os **Fundos Constitucionais de Financiamento (FNE, FNO e FCO)** são instrumentos de políticas públicas de crédito criados pela Constituição Federal de 1988, para promover o desenvolvimento econômico e social das regiões Norte, Nordeste e Centro-Oeste do Brasil, respectivamente.

Esses fundos são administrados pelo **Banco do Nordeste (FNE)**, pelo **Banco da Amazônia (FNO)** e pelo **Banco do Brasil (FCO)** e possuem recursos oriundos das receitas de impostos do País. Os recursos desses fundos são utilizados para financiar projetos produtivos de pessoas físicas e jurídicas que estão localizados nas áreas que esses fundos correspondentes abrangem. O financiamento pode ser alocado para vários setores da economia, tais como agricultura, indústria, comércio, serviços, infraestrutura, entre outros.

Os fundos têm condições de juros, prazos e períodos de carência diferenciados, que variam de acordo com o tipo de projeto e a localização da empresa. Além disso, os fundos também têm linhas de crédito específicas para setores estratégicos, tais como energia renovável, turismo,

agricultura familiar, entre outros. O objetivo é contribuir para a geração de empregos e renda, bem como para o desenvolvimento sustentável das regiões beneficiadas.

Os subcapítulos a seguir mostram as linhas dos Fundos Constitucionais que podem ser boas oportunidades para produtores rurais obterem financiamentos em sistemas fotovoltaicos solares no campo.

##### 4.3.2.6.1 FNE SOL – Banco do Nordeste

O **Fundo Constitucional de Financiamento do Nordeste (FNE)** tem como objetivo promover o desenvolvimento econômico e social da região Nordeste do Brasil. O FNE é administrado pelo Banco do Nordeste do Brasil (BNB) e sua área de aplicação abrange todos os estados nordestinos, além do norte dos estados de Minas Gerais e Espírito Santo, incluídos na área de operação da Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste (SUDENE) (GONÇALVES; ESTEVES, 2019).

O Programa de Financiamento do BNB para Micro e Minigeração Distribuída de Energia Elétrica e Sistemas Off-grid (FNE SOL) tem como objetivo financiar projetos de micro e minigeração distribuída de fontes renováveis. Os

beneficiários do programa são empresas, produtores rurais e pessoas físicas, e os componentes dos sistemas de energia elétrica fotovoltaica, eólica, de biomassa ou pequenas centrais hidroelétricas (PCH), bem como sua instalação, são

elegíveis para financiamento.

A Tabela 10 apresenta as condições de financiamento do FNE SOL disponíveis junto ao BNB para produtores rurais.

**Tabela 10 - Condições de financiamento do FNE SOL para produtores rurais**

<b>Taxa de juros</b>	4,39% a.a. - 4,94% a.a. (dependendo do tamanho do produtor rural)
<b>Valor máximo de financiamento</b>	R\$ 100 mil (aproximadamente USD 20 mil)
<b>Período máximo de financiamento</b>	Até 12 anos
<b>Período máximo de carência</b>	6 meses
<b>Bancos nos quais essa linha de crédito está disponível</b>	Banco do Nordeste do Brasil (BNB)

Fonte: Banco do Nordeste do Brasil (2021)

#### 4.3.2.6.2 FNO Rural Verde – Banco da Amazônia

O **Fundo Constitucional de Financiamento do Norte (FNO)** tem como objetivo fomentar o desenvolvimento da região Norte, com recursos destinados ao financiamento dos setores produtivos da indústria, agronegócio, agricultura, turismo, comércio e serviços, inovação, tecnologia e produtos essenciais de biodiversidade, seguido de apoio para a infraestrutura econômica da região, com projetos destinados à logística e ao saneamento.

Os recursos são fornecidos pelo Banco da Amazônia (BASA) e, em sua condição de administrador dos recursos do FNO, o BASA realiza operações que têm como objetivo principal atender aos segmentos produtivos de menor porte (mini/micro e pequenos empreendedores, microempreendedores individuais e agricultura familiar) (BANCO DA AMAZÔNIA, 2023). A área de atuação do FNO compreende os sete estados da região Norte: Acre, Amapá, Amazonas, Pará, Rondônia, Roraima e Tocantins.

Uma das linhas do FNO que pode ser utilizada para financiar investimentos em sistemas de produção de energia renovável para consumo pelas próprias empresas rurais é a

linha FNO Rural Verde. Os beneficiários da linha FNO Rural Verde incluem:

Produtores rurais e pessoas físicas ou jurídicas;

Populações tradicionais da Amazônia (povos indígenas, comunidades quilombolas, comunidades ribeirinhas, extrativistas, pescadores artesanais, entre outros povos da floresta) não abrangidas pelo PRONAF;

Pessoas jurídicas no setor rural, incluindo empreendedores individuais, empresas individuais de responsabilidade limitada (EIRELLI), associações e cooperativas, organizadas de acordo com a legislação vigente no País.

Além de investimentos em energias renováveis, essa linha também fornece suporte a empresas com a adoção de veículos movidos à energia elétrica, híbridos ou com energia renovável, incluindo a estrutura de fornecimento elétrico; obras ecológicas; projetos que apoiam a biodiversidade e atividades no escopo da Agricultura de Baixo Carbono. A Tabela 11 mostra as condições de financiamento de sistemas de energia renovável da FNO Rural Verde.

**Tabela 11 - Condições de financiamento da FNO Rural Verde para projetos de energia renovável**

<b>Taxa de juros</b>	6,87% a.a.
<b>Valor máximo de financiamento</b>	Varia de acordo com a capacidade de pagamento do beneficiário.
<b>Período máximo de financiamento</b>	12 anos
<b>Período máximo de carência</b>	6 anos
<b>Bancos nos quais essa linha de crédito está disponível</b>	Banco da Amazônia

Fonte: Banco da Amazônia (2023)

#### 4.3.2.63 FCO Rural – Banco do Brasil

O **Fundo Constitucional de Financiamento do Centro-Oeste (FCO)** possui taxas de juros mais baixas do que as do mercado, maior prazo de pagamento e maior período de carência do que a maioria das linhas de financiamento, e R\$ 20 milhões (aproximadamente USD 4 milhões) é o

valor máximo financiado pelo Fundo (GOVERNO FEDERAL, 2023b). Os beneficiários do FCO são produtores ou empreendedores rurais (desde os micros até os de grande porte) que desenvolvem suas atividades nos estados de Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Goiás ou no Distrito Federal (GOVERNO FEDERAL, 2023b). Pessoas interessadas

em obter financiamento junto aos recursos do FCO devem procurar um banco credenciado com essa linha de financiamento.

Uma das linhas disponíveis do FCO para produtores rurais no Banco do Brasil é a linha FCO Rural, que está disponível para cooperativas de produção, produtores rurais, pessoas

físicas ou jurídicas e associações localizadas na região Centro-Oeste. A FCO Rural tem como objetivo atender ao setor de produção agrícola e agroindustrial.

A [Tabela 12](#) apresenta as condições de financiamento da FCO Rural oferecidas pelo Banco do Brasil.

**Tabela 12 - Condições de financiamento da FCO Rural para projetos de energia renovável**

<b>Taxa de juros</b>	7% a.a. – 10% a.a.
<b>Valor máximo de financiamento</b>	R\$ 20 milhões (aproximadamente USD 4 milhões)
<b>Período máximo de financiamento</b>	Até 20 anos
<b>Período máximo de carência</b>	Até 12 anos
<b>Bancos nos quais essa linha de crédito está disponível</b>	Banco do Brasil

Fonte: Banco do Brasil (2023)

#### 4.3.2.7 BNDES Finame Baixo Carbono

A Agência Especial de Financiamento Industrial (FINAME) é uma empresa pública brasileira subsidiária do BNDES. Ou seja, o BNDES é responsável por gerenciar, supervisionar e coordenar os programas da FINAME. A FINAME oferece diversas linhas de crédito e tem como objetivo financiar a produção e a comercialização de maquinário e equipamentos nacionais novos que estejam credenciados junto ao BNDES para empresas/pessoas brasileiras operando em diversos setores da economia no País. O objetivo da FINAME é promover a modernização da indústria brasileira e estimular o desenvolvimento econômico do País.

Entre as diferentes linhas de financiamento existentes, a linha FINAME Baixo Carbono apresenta oportunidades para que produtores rurais adquiram seus próprios sistemas de energia solar. A linha BNDES FINAME Baixo Carbono financia a aquisição de bens e serviços de baixo carbono, tais como equipamentos e tecnologias que ajudam a reduzir as emissões de gases de efeito estufa. Podem ser financiados os seguintes itens: sistemas de geração de energia solar e eólica, aquecedores solares, ônibus e caminhões elétricos, ônibus e caminhões híbridos alimentados exclusivamente por biocombustível

e outros maquinários e equipamentos com maiores taxas de eficiência energética.

Os beneficiários dessa linha incluem:

- Empresas sediadas no País;
- A administração pública;
- Empreendedores individuais e microempreendedores;
- Produtores rurais (pessoas físicas residentes e domiciliadas no País);
- Transportadores de cargas autônomos e pessoas físicas associadas a cooperativas de transporte rodoviário de cargas;
- Fundações, associações e cooperativas sediadas no País;
- Pessoas físicas residentes e domiciliadas no País; e
- Condomínios.

As taxas de juros da FINAME Baixo Carbono variam de acordo com o porte da empresa, o valor financiado, o prazo de pagamento e a garantia oferecida. A [Tabela 13](#) apresenta as condições de financiamento dessa linha.

**Tabela 13 - Condições de financiamento do BNDES FINAME Baixo Carbono**

<b>Taxa de juros</b>	Taxa de juros TFB, TLP ou SELIC + taxa do BNDES (0,95% a.a.) + Taxa do Agente Financeiro (3,5% a.a.) <sup>29</sup>
<b>Valor máximo de financiamento</b>	Varia de acordo com o projeto e a capacidade financeira da empresa.
<b>Período máximo de financiamento</b>	Até 10 anos
<b>Período máximo de carência</b>	Até 2 anos
<b>Bancos nos quais essa linha de crédito está disponível</b>	Instituições financeiras credenciadas junto ao BNDES

Fonte: Banco Nacional de Desenvolvimento Social (BNDES) (2023)

29 As taxas da linha FINAME Baixo Carbono são calculadas por operações indiretas e são compostas por Custo Financeiro, Taxa do BNDES e Taxa do Agente Financeiro. [Entenda como isso é calculado](#).

#### 4.4 Benefícios e desvantagens dos sistemas agrivoltaicos no contexto brasileiro

Esta seção comprehende uma análise dos pontos fortes, dos pontos fracos, das oportunidades, e das ameaças com relação à tecnologia agrivoltaica no contexto brasileiro, bem como os benefícios técnicos, econômicos e sociais das aplicações agrivoltaicas, considerando as diferentes regiões e análises dos tópicos anteriores. Além disso, inclui benefícios e desafios em potencial para a implementação de sistemas agrivoltaicos nessas regiões.

**Tabela 14 - Análise SWOT da tecnologia agrivoltaica no Brasil**

	PONTOS FORTES +	PONTOS FRACOS -
FATORES INTERNOS	<ul style="list-style-type: none"> <li>+ Setor de energia solar bem estabelecido e crescendo rapidamente. O setor agrícola impulsiona a economia do País.</li> <li>+ Abundância de recursos naturais (irradiância e terras agrícolas).</li> <li>+ Diversidade agrícola</li> <li>+ Oportunidades existentes de financiamento para energia solar.</li> <li>+ Colaboração internacional.</li> <li>+ Aumento da conscientização sobre o meio ambiente e as mudanças climáticas.</li> <li>+ Existência de centros de pesquisa e universidades internacionalmente reconhecidos sobre pesquisa em energia solar e agrícola</li> <li>+ Existência de programas de P&amp;D.</li> <li>+ Demanda por aplicações de energia renovável em áreas rurais.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Tecnologia ainda desconhecida no País.</li> <li>- CAPEX Alto.</li> <li>- Poucos projetos no País e no mundo.</li> <li>- Falta de componentes e estrutura adaptados para os sistemas agrivoltaicos.</li> <li>- Falta de conhecimento técnico sobre a integração entre safras locais e sistemas agrivoltaicos.</li> <li>- Falta de profissionais especializados em sistemas agrivoltaicos.</li> <li>- Falta de dados sobre safra e produção animal relacionadas ao sistema agrivoltaico.</li> </ul>
FATORES EXTERNOS	OPORTUNIDADES +	AMEAÇAS -

#### 4.4.2 Benefícios

Conforme mencionado no SUBCAPÍTULO 2.2, as duas categorias básicas de sistemas agrivoltaicos, de acordo com Macknick et. al (2022), são sistemas elevados com a produção de safra abaixo do painel fotovoltaico, e sistemas inferiores com a safra sendo cultivada entre as fileiras de módulos fotovoltaicos. Os autores também definem as principais categorias de aplicação como **Safra e produção de alimentos, Produção pecuária, Fornecimento de serviços para o ecossistema e Estufas**. Entre essas várias aplicações, as configurações técnicas do sistema agrivoltaico também são diferentes, e seus benefícios podem variar desde o fornecimento de sombreamento até proteção contra geada ou calor extremo, para reduzir as taxas de evaporação. Além disso, os autores identificaram 5 aspectos relevantes de sucesso para projetos agrivoltaicos: Clima, Configuração, Culturas e Cultivo, Compatibilidade e Colaboração (consulte o SUBCAPÍTULO 3.7).

A ampla gama de configurações agrivoltaicas possíveis pode ser um bom aspecto da tecnologia para o Brasil, considerando a vasta diversidade de escalas de estabelecimentos agrícolas e características climáticas. A região Norte e a região do Matopiba, por exemplo, poderiam se beneficiar do aspecto de uso combinado da tecnologia. No contexto de altas taxas de desmatamento para a criação de novas terras para pasto e trabalhos agrícolas, o uso combinado poderia ser uma ferramenta que geraria renda adicional para famílias locais, evitando assim a remoção da vegetação florestal nativa para a criação de novos campos agrícolas. Além disso, o aumento da renda para pequenos agricultores da região poderia fazer com que esses agricultores tivessem maior rentabilidade por área e recursos para realizar a transição para práticas agrícolas mais sustentáveis.

Na região Centro-Oeste, as configurações de estruturas mais altas adaptadas a maquinário de grande porte poderiam ser adequadas para a agricultura de larga escala nessa região, e o benefício de reduzir a evaporação e a necessidade de irrigação beneficiaria muitas das safras locais, como as plantações de soja e milho. A região Sudeste lidera com a maior porcentagem de área irrigada, representando 39,8%, seguida do Sul, com 25% (BADRA, 2022). Os sistemas agrivoltaicos podem otimizar os sistemas de irrigação existentes, quando disponíveis, e também oferecem benefícios em regiões nas quais esses sistemas não estão presentes, o que os tornariam economicamente viáveis. Esse aspecto de otimização da

irrigação também é relevante, considerando as condições da região Nordeste, que é considerada semiárida e sofre com a escassez de água e os altos níveis de irradiação, conforme mencionado no SUBCAPÍTULO 4.2.1.4. Além disso, como essa região é também marcada por altas taxas de pobreza rural, esses sistemas poderiam oferecer benefícios sociais e econômicos relevantes.

No geral, sistemas agrivoltaicos apresentam oportunidades sociais e econômicas para agricultores em várias regiões do País, oferecendo maior autonomia energética para geração de energia para consumo próprio e o potencial de criar uma renda agregada para agricultores por meio do arrendamento ou da criação de créditos de energia por meio do sistema de geração distribuída. Como inspiração, há programas nacionais financiados para sistemas agrivoltaicos em um contexto de agricultura de pequena escala no Japão e na Coreia do Sul e, nos moldes destes, seria possível criar fluxos de renda combinados e aumentar a qualidade de vida dessas populações.

#### 4.4.3 Desafios

No Brasil, os sistemas agrivoltaicos ainda não são amplamente adotados, o que pode representar uma barreira inicial para a implementação desses projetos, uma vez que os interessados em instalá-los podem não ter acesso a modelos de projetos adequados, módulos adaptados (tais como aqueles com maior espaçamento ou módulos tubulares) e estruturas adaptadas (por exemplo, estruturas mais altas ou menos pilares de suporte) para sistemas agrivoltaicos. Além disso, a falta de profissionais com experiência técnica em projetos agrivoltaicos e na integração desses sistemas com as safras impede a implementação da tecnologia nessa etapa. Os sistemas agrivoltaicos também possuem um CAPEX mais alto, em comparação com instalações fotovoltaicas regulares, o que pode representar um desafio relevante, em particular para estabelecimentos de agricultura familiar, os quais possuem, na maior parte das vezes, um baixo poder de investimento.

Se não considerarmos as limitações iniciais sobre equipamentos, profissionais e custos, há a falta de diretrizes ou regulamentos nacionais no Brasil, e isso pode ser, inicialmente, uma barreira para o desenvolvimento de projetos agrivoltaicos. A adoção da tecnologia sem um estudo adequado do contexto climático, da compatibilidade de práticas agrícolas e da configuração agrivoltaica pode comprometer os rendimentos resultantes e afetar a credibilidade da tecnologia, o que já aconteceu na França, por exemplo.

## 5. Contexto do estudo de caso

A utilização de sistemas fotovoltaicos surgiu como uma estratégia importante para atender às necessidades de energia e, ao mesmo tempo, otimizar o uso da terra. Esses sistemas de uso combinado da terra para geração de energia e agricultura, que são a tecnologia agrivoltaica, constituem o contexto deste estudo de caso. O presente estudo de caso gira em torno da Associação dos Produtores Orgânicos de Iranduba (APOI), situada no estado do Amazonas, no Brasil. Fundada em 2017, a APOI se dedica a promover a agricultura familiar de pequena escala.

O centro das iniciativas da APOI está na adoção de um modelo de negócios em torno da “Comunidade que Sustenta a Agricultura” (CSA), um empreendimento pioneiro em agricultura sustentável. Além do consumo de energia residencial regular dos membros da APOI, a associação planeja construir uma cozinha industrial, com o apoio do Fundo Amazônia<sup>30</sup>. A cozinha industrial aumentaria consideravelmente os gastos de energia da associação.

Nesse contexto, o principal objetivo do presente Estudo de Caso é o de desenvolver um estudo de viabilidade técnica e econômica de um projeto agrivoltaico, com duas configurações específicas. Os resultados visam apoiar a associação APOI em futuros projetos fotovoltaicos, e para servir como uma inspiração para outros projetos agrivoltaicos no contexto brasileiro.

Esta seção inicial fornece uma explicação do processo de definição e oferece a contextualização do local do Estudo de Caso. Além disso, uma caracterização abrangente do local escolhido será incluída nesta seção.

Figura 50 - Local do estudo de caso - Associação APOI



Fonte: Autores (2024)

30 <https://www.fundoamazonia.gov.br/pt/home/>

31 Fruta nativa da Amazônia

### 5.1 Associação dos Produtores Orgânicos de Iranduba (APOI)

A iniciativa escolhida para o estudo de caso, a Associação dos Produtores Orgânicos de Iranduba (APOI), é dirigida pela Presidenta Neiliane Paz, e foi financiada em 2017. A Associação APOI está localizada no município de Iranduba (Figura 50), no estado do Amazonas. As famílias envolvidas nesse estudo de caso moram nas áreas do Ramal do Peixe Boi e Ramal do Pupunhal. Os produtores orgânicos familiares de pequena escala que fazem parte da associação foram deslocados das margens do Rio Solimões devido ao fenômeno de deslizamento de terra, que ocorre quando a erosão da água causa o colapso das margens dos rios, afetando a terra que eles utilizavam para cultivar alimentos como sua fonte de renda. As principais safras produzidas pelas famílias são legumes e verduras, repolho, agrião, alface, cebolinha, jerimum, coentro, salsa, banana, limão e cupuaçu<sup>31</sup> (Figura 51 e Figura 52). Suas práticas de agricultura incluem estratégias orgânicas e de agrossilvicultura.

**Figura 51 – Produção de safras das famílias da APOI**

Fonte: Foto de Ramom Morato (2023)

**Figura 52 – Mulher agricultora da Associação APOI**

Fonte: Foto de Ramom Morato (2023)

Com relação ao consumo de energia, atualmente, as principais despesas energéticas para famílias de produtores são com sistemas de ar-condicionado para suas casas, para o bombeamento de água de poços e para o bombeamento de água para irrigação. Há um projeto para a construção de uma cozinha industrial para ajudar os agricultores locais. O objetivo da cozinha industrial é de permitir que agricultores façam uma melhor limpeza, explorando alternativas de processamento e armazenamento dos seus produtos. Ela permitirá atividades como o

acondicionamento a vácuo de mandioca e legumes e verduras, o processamento (mínimo) de legumes e a fabricação de polpa das frutas. A cozinha está planejada para ser construída com recursos do Fundo Amazônia e a previsão é de que comece a operar entre o segundo semestre de 2024 e o ano de 2025. Esse projeto aumentará a conta de energia elétrica da associação, e o projeto agrivoltaico pode ajudar nisso. As contas de energia elétrica das famílias atualmente variam entre R\$ 200 e R\$ 450/mês (equivalente a 300–600 kWh/mês), mas aumentarão com os custos de operação da cozinha industrial.

Com relação às condições climáticas da região, Iranduba está no coração da Floresta Amazônica, o que significa que está sob um clima equatorial caracterizado por altas temperaturas e mínimas variações durante todo o ano. As temperaturas diárias variam entre 25°C e 32°C, com as noites permanecendo relativamente quentes. Chuvas pesadas e constantes são características da região, que é marcada por duas principais estações: a úmida e a seca. O período mais úmido abrange de dezembro a maio, e a temporada mais seca ocorre de junho a novembro, embora a chuva persista mesmo durante o período mais seco.

## 5.2 Iniciativas: CSA Manaus e Cesta Verde

A APOI tem um objetivo de trazer a agricultura sustentável para a comunidade e, para isso, faz uso de um modelo de negócios conhecido como a “Comunidade que Sustenta a Agricultura” (CSA). O modelo de CSA é uma parceria entre agricultores e consumidores, na qual as responsabilidades, riscos e recompensas da agricultura são compartilhados. Ele tem surgido como um modelo de sucesso e prospera com a colaboração, unindo produtores de alimentos orgânicos e agroecológicos e consumidores conscientes, em um compromisso mútuo de apoio para a agricultura local.

Para um modelo de CSA bem-sucedido, um grupo fixo de consumidores se compromete a cobrir o orçamento anual da entidade agrícola por um período, geralmente um ano. Como contrapartida, esses consumidores recebem os produtos da fazenda por meio de “cestas de alimentos”, sem quaisquer custos adicionais. Essa abordagem permite que o agricultor tenha dedicação livre para o cultivo, sem as pressões do mercado e de preços. Esse modelo está ativo no Brasil desde 2011, e está presente em quase todos os estados do País (CSA Brasil, 2023).

Atualmente, há 12 famílias de produtores agrícolas associadas à APOI, que encaminha sua produção por meio do modelo de CSA (Iniciativa CSA Manaus) e outra iniciativa chamada de Cesta Verde. Este último consiste no mesmo modelo de “cestas de alimentos”. Além de fornecer suporte aos consumidores, a APOI também tem como objetivo fornecer alimentos mais saudáveis aos consumidores, incentivando os associados a adotar técnicas de produção agroecológica. Quatro das 12 famílias produzem orgânicos e abastecem 82 famílias consumidoras, que recebem a

produção mensal e apoiam financeiramente o modelo de negócios (Figura 53). Essas quatro famílias foram

consideradas neste estudo de caso.

**Figura 53 - Modelo operacional da APOI**



Fonte: Elaborado pelos autores (2024)

### 5.3 Projeto de sistema agrivoltaico

#### 5.3.1 Projeto de sistema agrivoltaico

#### 5.3.2 Projeto de sistema fotovoltaico

O principal objetivo do estudo de caso foi avaliar a viabilidade técnica e econômica de um projeto de energia agrivoltaica para atender às necessidades específicas dos pequenos agricultores. Dessa forma, o projeto dos sistemas foi proposto para alinhamento com as realidades econômicas desses agricultores e sua disponibilidade de recursos. Para definir os projetos de sistema agrivoltaico, alguns passos foram seguidos:

- Informações sobre os planos futuros da associação foram reunidos, como bem como o número de associados e como o modelo de negócios da associação funciona;
- A localização das fazendas e a infraestrutura existente foram investigadas;
- As condições do clima e dados sobre irradiação foram obtidos de bancos de dados;
- O tamanho necessário dos sistemas fotovoltaicos foi estimado;
- Definição dos componentes do sistema fotovoltaico e dos aspectos do projeto;

- Simulações no PVsyst mostraram a produção de energia;
- Simulações no Google Sketchup mostraram os impactos do sombreamento.

Em todo o estudo, dois sistemas foram propostos: um sistema agrivoltaico elevado e um sistema agrivoltaico em uma casa de vegetação. O último é uma estrutura semelhante a de uma estufa, mas aberta nas laterais e tem como objetivo a proteção das safras em caso de chuvas intensas. Conforme mencionado, foi simulada a sombra que afeta as safras, a fim de evitar sombreamento intenso na produção agrícola e encontrar o melhor projeto de sistema. Alguns dos aspectos dos sistemas propostos e seus componentes estão disponíveis nos próximos tópicos.

- Tecnologia de módulo fotovoltaico

Para os sistemas agrivoltaicos da casa de vegetação e elevado, foram escolhidos módulos bifaciais.

A simulação foi realizada utilizando módulos fotovoltaicos disponíveis no software PVsyst (Tabela 1), que são de um fabricante conhecido por sua confiabilidade de acordo com classificações como PVEL e PV-tech. Os módulos foram também escolhidos por serem amplamente utilizados no País, em escala comercial.

**Tabela 15 - Características do módulo fotovoltaico**

Sistema	Material do Módulo	Bifacial	Potência	Dimensões
Sistema no Solo	Mono PERC, Vidro Duplo	Sim	440 Wp	2117 mm x 1052 mm
Casa de Vegetação	Mono PERC, Vidro Duplo	Sim	440 Wp	2117 mm x 1052 mm

Fonte: Elaborado pelos autores (2024)

- Inclinação, ângulo e orientação do módulo fotovoltaico

Para o posicionamento dos sistemas, foi considerada a posição geográfica dos locais e as estruturas e produção agrícolas existentes. O principal objetivo é minimizar qualquer impacto que o sistema agrivoltaico proposto possa causar na produção agrícola existente. Os resultados estão disponíveis na Tabela 15.

Ao longo da análise de sombreamento, foi possível observar que a melhor orientação para ambos os sistemas, nesse aspecto, seria aquela voltada para o oeste (azimute de

90°), pois nessa orientação o sombreamento sobre as safras poderia ser melhor distribuído se as safras fossem posicionadas de forma diferente, mas foi optado por manter a orientação original, voltada para o norte (azimute de 0°), pois as safras já estão estabelecidas e uma das premissas deste projeto foi interferir o mínimo possível na produção agrícola existente. Uma simulação com o sistema voltado para o oeste mostrou que, com essa orientação, a queda de produção de energia seria pequena em comparação com a orientação ao norte e ideal (0,78%) para o sistema elevado e para a casa de vegetação (0,76%).

**Tabela 16 - Características do sistema**

Sistema	Coordenadas	Inclinação do Módulo	Azimute
Sistema agrivoltaico elevado	-3.2528 S, -60.1365 W	10°	0° Norte
Casa de vegetação	-3.2528 S, -60.1365 W	10°	0° Norte

Fonte: Elaborado pelos autores (2024)

Os locais propostos para os sistemas seriam o sistema agrivoltaico elevado instalado na fazenda Doquinha, conforme mostra a Figura 54.

**Figura 54 - Local do sistema agrivoltaico elevado**

Fonte: Autores (2024)

E o sistema de casa de vegetação instalado na casa da Dona Walda, conforme mostra a Figura 55, na qual há outras casas de vegetação já instaladas.

**Figura 55 – Localização da casa de vegetação agrivoltaica**

Fonte: Autores (2024)

- Projeto da estrutura de instalação

Para a casa de vegetação agrivoltaica e o sistema agrivoltaico elevado, o objetivo foi criar um sistema que poderia ser replicado e utilizar materiais que já estavam em uso pelas famílias, tais como madeira para a estrutura física e filme plástico na casa de vegetação, para as áreas sem módulos. Em vez de plástico, painéis de vidro também poderiam ser utilizados na casa de vegetação.

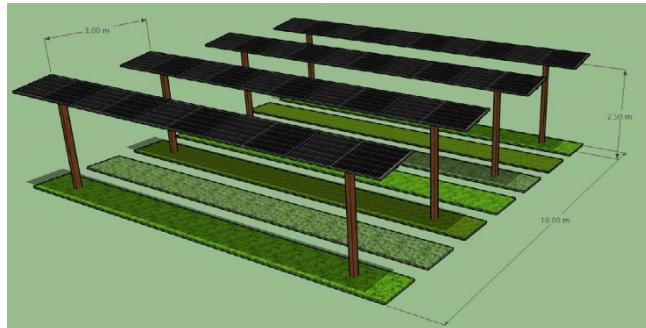
O sistema de casa de vegetação agrivoltaica é de aproximadamente cinco por onze metros, com quinze módulos, conforme visto na Figura 56.

**Figura 56 - Casa de vegetação agrivoltaica**

Fonte: Elaborado pelos autores (2024)

O sistema de captura de água foi projetado para a possibilidade de adição de um reservatório de água para irrigação das safras. Essa aplicação funcionaria melhor com painéis de vidro, em vez de filme plástico, nas seções transparentes.

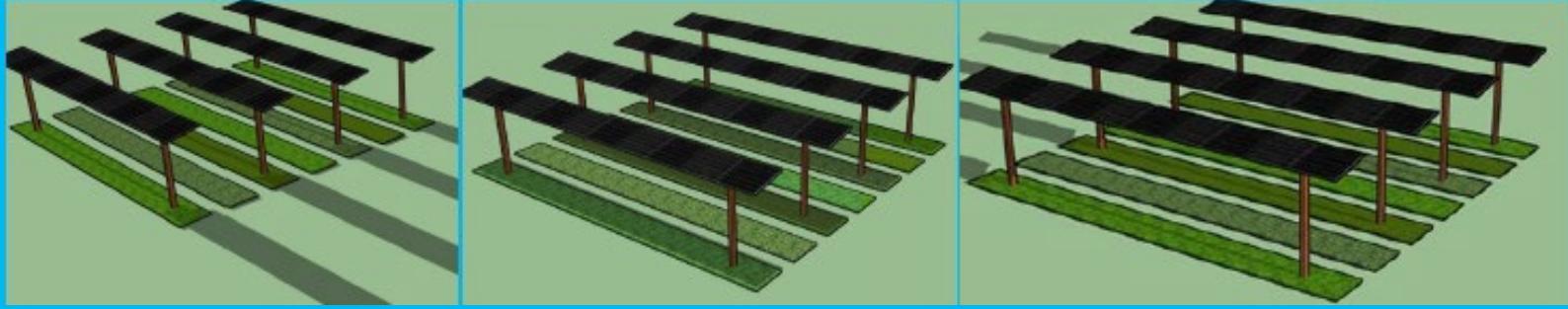
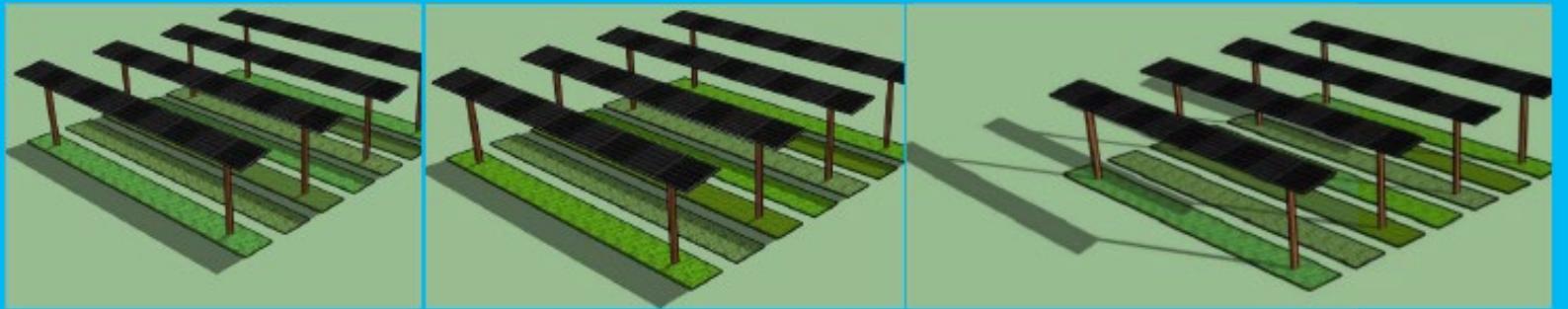
O sistema agrivoltaico elevado ocupa uma área de aproximadamente onze por dez metros, com vinte módulos divididos em quatro funções de cinco módulos, conforme mostrado na Figura 57.

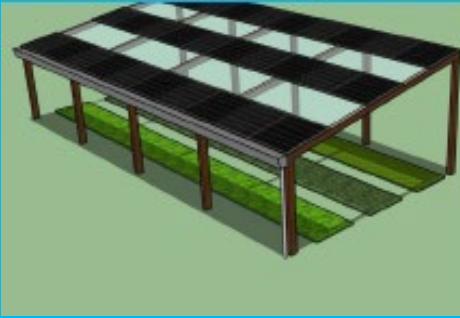
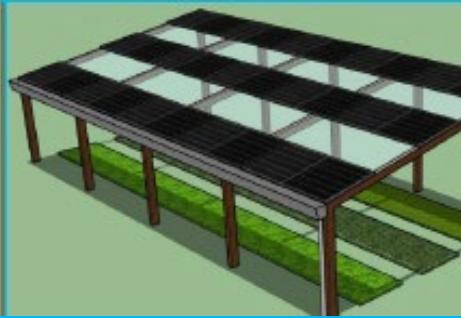
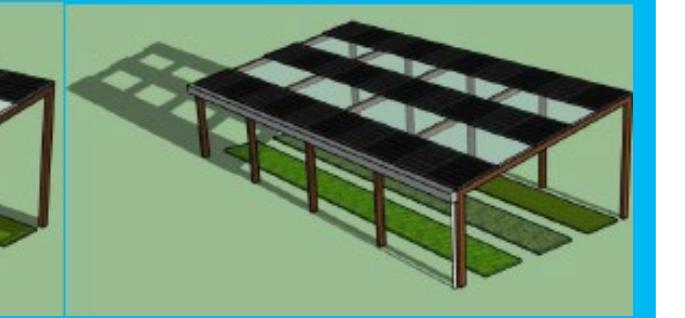
**Figura 57 - Projeto de sistema agrivoltaico elevado**

Fonte: Elaborado pelos autores (2024)

Outro fator considerado ao realizar o projeto dos sistemas agrivoltaicos, foi a quantidade de sombra que as safras recebem durante o dia. A análise de sombreamento foi realizada utilizando o SketchUp para os dias de 22 de setembro e 22 de dezembro, datas próximas às das estações com as maiores e mais baixas temperaturas, respectivamente, que são também as datas do equinócio e do solstício (Tabela 17).

Tabela 17 - Análise de sombreamento

Sistema	Data	Sombreamento
	22/09	<p>O sombreamento na safra abaixo da junção tem início às 6:50h e termina às 17:00h. A sombra está acima da safra, abaixo da respectiva junção, ao meio-dia. As safras entre as junções não receberam sombra durante esse dia.</p> 
Sistema no Solo	22/12	<p>O sombreamento varia ao longo da safra, durante a manhã, e se estabiliza entre as safras por volta das 12h. Em seguida, começa a variar ao longo da safra novamente.</p> 

		O sombreamento tem início às 6h30, centralizado nas safras; por volta das 12h, cobre completamente a safra central e parcialmente as adjacentes. O sombreamento para de ocorrer por volta das 17h.
	22/09	  
Estufa	22/12	O sombreamento cobre a maior parte das duas safras abaixo da parte inferior do telhado por volta das 8h30, depois muda para o espaço entre as safras durante o meio-dia e volta a cobrir as duas safras iniciais por volta das 15h30.

Fonte: Elaborado pelos autores (2024)

Analisando o padrão de sombreamento, podemos concluir que, durante a época mais quente, em setembro, as sombras cobrem as safras abaixo dos módulos, enquanto durante dezembro, quando as temperaturas resfriam, as sombras fornecem cobertura entre as safras. Embora possa haver um padrão de sombreamento mais equalizado com o sistema voltado para o oeste, foi optado por seguir o padrão de plantação existente.

- Produção de energia esperada

A produção de energia esperada dos dois sistemas mencionados foi calculada e está disponível na Tabela 18.

**Tabela 18 - Produção de energia esperada**

Sistema	Energia fotovoltaica	Produção anual de energia
Sistema no Solo	8,8 kWp	12,3 MWh/ano
Estufa	6,6 kWp	8,9 MWh/ano

Fonte: Elaborado pelos autores (2024)

- Rendimento esperado.

O rendimento diário esperado pelos simuladores está na Tabela 19:

**Tabela 19 - Rendimento Diário Simulado**

Sistema	Produção.
Sistema agrivoltaico elevado	3,8 kWh/kWp/dia
Casa de Vegetação	3,7 kWh/kWp/dia

Fonte: Elaborado pelos autores (2024)

### 5.3.3 Projeto de sistemas agrícolas

É recomendado que todas as safras recebam um mínimo de 6 horas de luz do sol direta ao longo do dia, com o ideal sendo por volta de 8 horas. Outra sugestão é a de que legumes e verduras folhosos e tomates, que são mais propensos à desidratação, possam ser plantados em áreas com sombra por volta do meio-dia.

Para fornecer uma melhor simulação do impacto da produtividade com a implementação de projetos agrivoltaicos, softwares como os mencionados abaixo podem ser utilizados:

- **SPADE<sup>32</sup>**: um software desenvolvido pela Sandbox Solar, que foi lançado em 2023, em uma versão beta. O software é uma ferramenta de modelagem feita

especificamente para sistemas agrivoltaicos, que auxilia no projeto e na otimização de painéis solares e das safras por baixo. Ele tem características de análise de desempenho de safras e receita econômica. Ele está ainda em desenvolvimento e não está disponível para uso no contexto brasileiro, somente para o contexto dos EUA;

- **Softwares de simulação de safra agrícola**: softwares que têm como foco a simulação de safras que poderiam ser adaptadas aos sistemas agrivoltaicos, com a alteração de alguns fatores, tais como irradiação e umidade do solo, por exemplo. Alguns exemplos de softwares de simulação de safras são: STICS<sup>33</sup>, WOFOST, APSIM, DSSAT e CropSyst.

### 5.4 Análise Econômica

Um dos principais desafios da tecnologia agrivoltaica no contexto brasileiro, em particular em casos de “agricultura familiar”, é o custo do sistema. Dessa forma, o presente estudo compreende uma análise econômica do projeto agrivoltaico proposto. Para desenvolver a análise econômica, alguns poucos passos metodológicos foram seguidos:

- (1) Foram reunidas contas de energia elétrica de 4 famílias produtoras envolvidas no projeto;
- (2) Foi estimado o consumo de energia elétrica futuro da cozinha industrial;
- (3) Foram calculadas a capacidade de energia e a produção de energia dos sistemas agrivoltaicos piloto propostos, com a finalidade de atender à demanda de consumo de energia elétrica das 4 famílias + a cozinha industrial;
- (4) Foram calculados o CAPEX e o OPEX dos sistemas propostos;
- (5) Foram comparados os cenários de perda de produtividade agrícola com a economia de energia elétrica associada ao sistema agrivoltaico;
- (6) Foram realizados os cálculos dos indicadores econômicos: VPL (Valor Presente Líquido), TIR (Taxa Interna de Retorno de Retorno) e o período de Payback descontado de três cenários diferentes de subsídios:
  - 100% de investimento dos agricultores;
  - 80% de investimento dos agricultores;
  - 60% de investimento dos agricultores;

32 <https://www.agrivoltaic.design/>

33 [https://www6.paca.inrae.fr/stics\\_eng/About-us/Stics-model-overview](https://www6.paca.inrae.fr/stics_eng/About-us/Stics-model-overview)

Foi definido um período de 25 anos para o projeto, a fim de calcular os seus indicadores econômicos. Os passos metodológicos são detalhados nos tópicos deste capítulo, bem como os principais resultados da análise econômica.

#### 5.4.1 Custos de energia elétrica das famílias e da

**Tabela 20 - Consumo médio de energia das quatro famílias**

Casa	Consumo médio de energia (kWh/mês)	Consumo médio de energia (kWh/ano)
Casa 1	475,2	5702,5
Casa 2	486,3	5835,0
Casa 3	296,8	3561,5
Casa 4	270,1	3241,0
<b>Total</b>	<b>1.563,1</b>	<b>18.340,0</b>

Fonte: Elaborado pelos autores (2024)

Além disso, o consumo de energia elétrica da cozinha industrial foi estimado, considerando alguns dos eletrodomésticos associados às atividades e aos produtos

#### cozinha industrial

As contas de energia elétrica das 4 famílias de agricultores foram reunidas para realizar o cálculo da média total dos custos de energia elétrica de suas residências. Esses dados estão disponíveis na Tabela 20.

**Tabela 21 - Consumo médio de energia da cozinha industrial**

Eletrodomésticos	Qtd.	Potência (W)	Horas diárias de uso	Consumo médio (kWh/mês)
Despolpadeira	1	245	3	14,7
Congeladores	2	-	-	144,2
Seladora a vácuo	1	700	3	42,0
Mixer industrial	1	1000	2	40,0
Forno elétrico	1	5000	6 por semana	120,0
<b>Total</b>				<b>360,90</b>

Fonte: Elaborado pelos autores (2024)

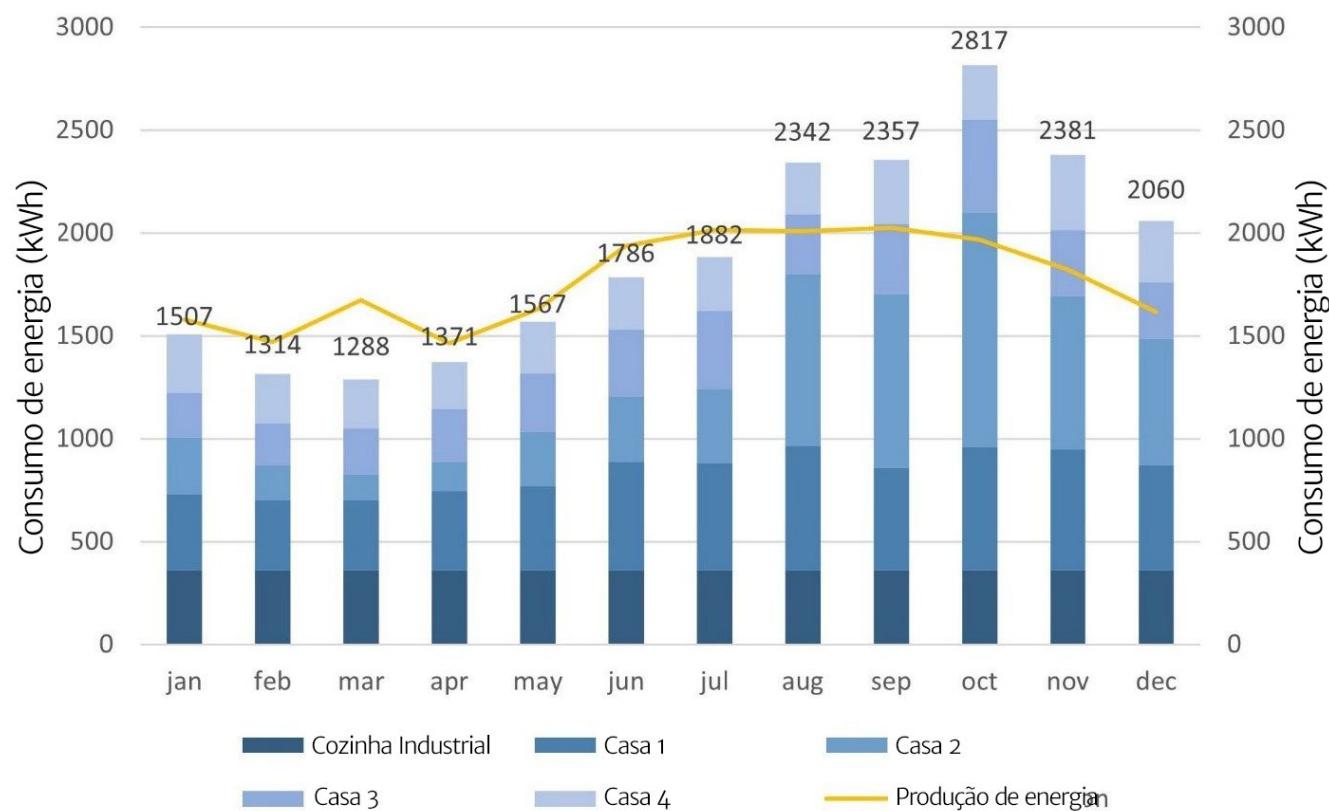
No total, o consumo estimado médio de energia é de 1889,2 kWh/mês, o que resulta em um consumo médio anual de 22,7 MWh/ano.

#### 5.4.2 Potência e produção de energia dos sistemas agrivoltaicos propostos

Considerando os sistemas agrivoltaicos propostos no item 3.2.1 deste documento, e módulos fotovoltaicos da marca JA Solar, a potência estimada do projeto seria de 15,4 kWp.

que a família produz. Essa estimativa está disponível na Tabela 21.

A produção de energia estimada dos sistemas agrivoltaicos foi calculada, resultando em uma média de produção de energia elétrica de 1767,3 kWh/mês, o que resulta em uma média de produção de energia elétrica anual de 21,2 MWh/ano. O consumo médio de energia elétrica de cada casa e da cozinha industrial, bem como a produção de energia elétrica estimada, são representados visualmente no Gráfico da Figura 58.

**Figura 58 - Gráfico de consumo de energia e produção de energia por mês**

Fonte: Elaborado pelos autores (2024)

O tamanho do sistema foi calculado de modo a fornecer a energia elétrica necessária para as 4 casas e a cozinha industrial, considerando o sistema atual de compensação, ou seja, a medição líquida, regulada pela Lei 14.300<sup>34</sup>. O sistema de compensação estabelece que há um valor que deve ser pago, independentemente do consumo e da geração de energia, que é chamado de “tarifa mínima”. O valor da tarifa mínima varia de acordo com os tipos de distribuição/conexão de energia elétrica: se possui uma, duas ou três fases, e se os valores são de 30 kWh, 50 kWh e 100 kWh, respectivamente.

As unidades consumidoras envolvidas neste estudo de caso possuem todas as conexões de uma única fase, e a cozinha industrial será conectada a uma das unidades consumidoras, dessa forma, isso resultará em 120 kWh de energia elétrica que serão cobrados todo mês (30 kWh x 4 unidades consumidoras), independentemente da geração fotovoltaica associada às contas de energia elétrica. O consumo de energia elétrica, a produção e as tarifas mínimas estão dispostos na Tabela 22.

**Tabela 22 - Consumo médio de energia da cozinha industrial**

Descrição	Valor	Unidade
Consumo médio de energia elétrica (por mês)	1889,2	kWh
Geração de energia elétrica (por mês)	1767,3	kWh
Tarifa mínima para as 4 unidades consumidoras (por mês)	120	kWh
[Consumo de energia elétrica - produção de energia elétrica]	122	kWh

Fonte: Elaborado pelos autores (2024)

É importante enfatizar que este estudo de viabilidade econômica foi desenvolvido para verificar a viabilidade do projeto em uma perspectiva global, e que a distribuição de créditos de energia elétrica entre as casas não

foi considerada individualmente. Se o projeto for implementado, diferentes cenários de investimento proporcional de cada família e o valor dos créditos de energia elétrica que seriam transferidos para cada

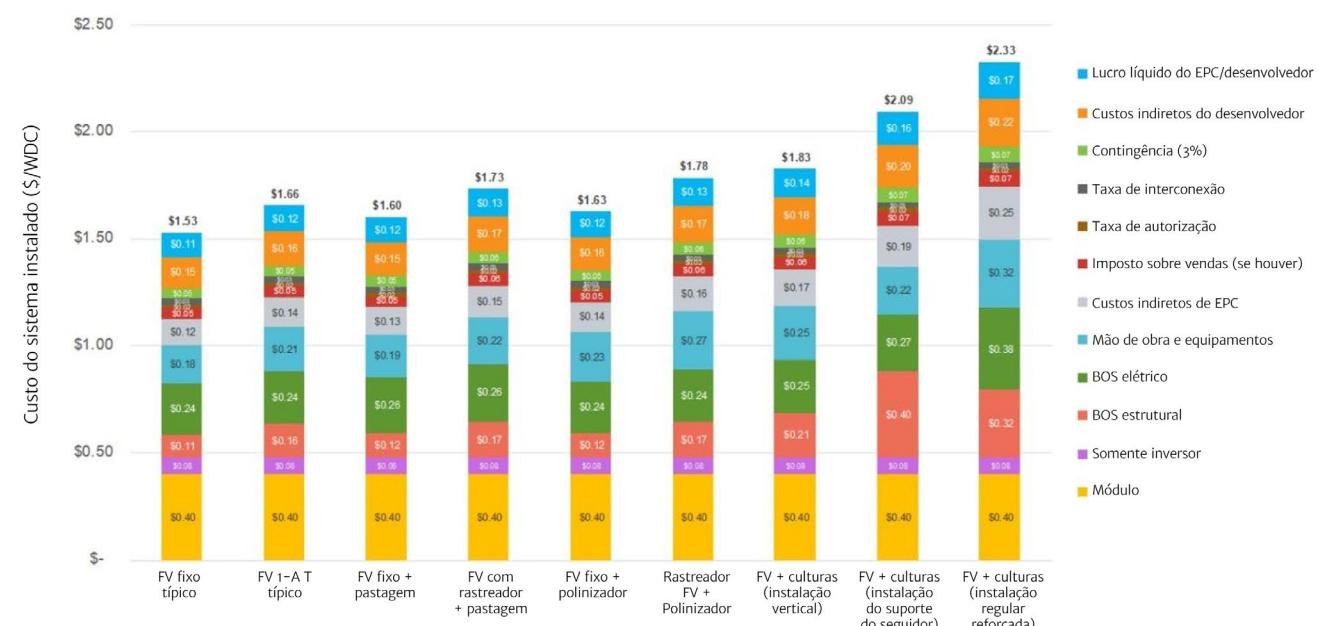
34 [https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2019-2022/2022/lei/l14300.htm](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2022/lei/l14300.htm)

unidade consumidora teriam que ser analisados mais detalhadamente.

#### 5.4.3 CAPEX dos sistemas propostos

A casa de vegetação agrivoltaica proposta neste estudo de caso foi projetada para atender às suas necessidades sem adicionar muita complexidade à estrutura. Assim, a estrutura da casa de vegetação é de madeira, semelhante às existentes, e a estrutura fotovoltaica metálica e os módulos fotovoltaicos considerados no projeto são os convencionais.

**Figura 59 - Custos típicos de instalação de sistemas fotovoltaicos comparados aos custos de diferentes configurações de sistemas agrivoltaicos**



Fonte: Horowitz et al. (2020)

A porcentagem de valor adicional obtido do sistema fotovoltaico padrão e do sistema agrivoltaico elevado (última coluna na FIGURA 59) foi utilizada para calcular o

Os dados de custo para o sistema fotovoltaico padrão no Brasil foram obtidos do estudo Greener Market<sup>35</sup>.

Para estimar o CAPEX do sistema elevado proposto, dados do relatório do NREL “*Capital Costs for Dual-Use Photovoltaic Installations: 2020 Benchmark for Ground-Mounted PV Systems with Pollinator-Friendly Vegetation, Grazing, and Crops*”<sup>36</sup> (Horowitz et al., 2020) foram utilizados (Figura 59).

custo adicional associado ao sistema agrivoltaico elevado quando comparado a um sistema fotovoltaico padrão no Brasil (Tabela 23).

**Tabela 23 - Custo estimado de sistemas agrivoltaicos elevados**

Descrição	Valor	Unidade
Custo do sistema fotovoltaico regular de 6kWp, Greener (Brasil) – Casa de vegetação	4,15	R\$/Wp
Custo adicional (sistema fotovoltaico normal → sistema agrivoltaico elevado)	52,29%	
Custo do sistema fotovoltaico regular de 8kWp, Greener (Brasil)	3,92	R\$/Wp
Custo do sistema agrivoltaico estimado (Brasil)	5,97	R\$/Wp

Fonte: Elaborado pelos autores (2024)

O CAPEX para cada dos sistemas propostos e o CAPEX total para o projeto estão disponíveis na Tabela 24.

35 <https://www.greener.com.br/estudo/estudo-estrategico-geracao-distribuida-2022-mercado-fotovoltaico-2-semestre/>

36 <https://www.nrel.gov/docs/fy21osti/77811.pdf>

**Tabela 24 - CAPEX das diferentes configurações de sistema fotovoltaico propostas**

	Potência (kWp)	Unidade	CAPEX (R\$)	
Sistema de casa de vegetação	6,60	kWp	R\$ 27.423,00	Total
Sistema agrivoltaico elevado	8,8	kWp	R\$ 52.533,12	R\$ 79.956,12

Fonte: Elaborado pelos autores (2024)

#### 5.4.4 OPEX dos sistemas propostos

Os custos operacionais considerados no projeto são aqueles relacionados à manutenção dos sistemas fotovoltaicos.

O custo de manutenção do sistema fotovoltaico foi considerado como 1% a.a. do valor de investimento inicial do sistema no primeiro ano, o mesmo valor adotado em outros estudos de pesquisa sobre a viabilidade econômica de sistemas fotovoltaicos no Brasil (Schneider et al., 2018).

Além disso, uma vez que os inversores geralmente têm uma vida útil mais curta em comparação com os módulos fotovoltaicos, a substituição de dois inversores dos sistemas propostos foi considerada no ano 10 e no ano 20 da análise econômica. O custo da substituição do inversor foi obtido considerando os dados da proporção dos custos do inversor a partir da Figura 59 (Horowitz et al., 2020) e o CAPEX de cada sistema, mostrado na Tabela 24. Além disso, na análise, foi considerada uma taxa de inflação de 3,16%<sup>37</sup> para estimar os custos de manutenção futuros.

#### 5.4.5 Cenários potenciais de perda de produtividade agrícola e economia de energia elétrica associados ao sistema agrivoltaico

Em muitos casos, especialmente em safras resistentes à sombra, a presença de uma estrutura agrivoltaica pode beneficiar as safras e aumentar a produtividade agrícola. Um estudo de 2016 relatou que fazendas com sistemas agrivoltaicos realizando a plantação de safras resistentes à sombra poderiam se beneficiar de um valor econômico 30% maior do que as fazendas convencionais, de acordo com suas simulações (Dinesh & Pearce, 2016). Mesmo que a produção agrícola possa aumentar, uma possível redução de rendimento também pode ocorrer. Regulamentos na França, no Japão e na Alemanha estabeleceram os níveis máximos de redução de rendimento permitidos alcançáveis em sistemas agrivoltaicos em 10%, 20% e 34%, respectivamente (Bellini, 2022).

No presente estudo, três cenários de perda de produtividade foram considerados, para comparar uma perda de renda estimada devido à perda possível de produtividade, para a economia de energia associada aos sistemas agrivoltaicos e fotovoltaicos propostos. Na presente análise, o CAPEX

foi não considerado, apenas os valores operacionais: perda de produtividade, economia de energia e OPEX do sistema fotovoltaico.

Para estimar a perda de produtividade em R\$, foi considerado que a instalação agrivoltaica elevada e as casas de vegetação cobririam aproximadamente 5% das terras produtivas dos agricultores. Além disso, para encontrar a redução de renda equivalente associada à perda de produtividade, o número e o preço das cestas de legumes e verduras foram considerados. As quatro famílias abastecem 82 famílias com cestas mensais contendo legumes e verduras orgânicos, que estão disponíveis em dois tamanhos (pequeno e grande). Considerando que metade deles seria de pequeno porte (R\$140) e metade de grande porte (R\$200), o total mensal da renda obtida com a venda das cestas seria de R\$ 13.940,00 por mês.

Os resultados da análise estão na Tabela 25.

**Tabela 25 - Cenários de perda de produtividade e economia de energia**

Perda de produtividade estimada (%)	Perda de produtividade por ano (R\$)	Economia de energia (R\$) no ano 1, considerando os custos de manutenção fotovoltaica
5%	R\$ 418,20	R\$ 15.127,95
10%	R\$ 836,40	R\$ 15.127,95
15%	R\$ 1.254,60	R\$ 15.127,95
20%	R\$ 1.672,80	R\$ 15.127,95

Fonte: Elaborado pelos autores (2024)

#### 5.4.6 Indicadores econômicos: VPL, TIR e Período de Payback Descontado

Na presente análise econômica, o VPL (Valor Presente Líquido), a TIR (Taxa Interna de Retorno) e o período de payback descontado foram calculados para analisar se os sistemas agrivoltaicos propostos no estudo de caso foram viáveis. É relevante observar que o custo da implementação da cozinha industrial será coberto pelo Fundo Amazônia, e não entra nesta análise.

<sup>37</sup> [https://www.cnbrasil.com.br/economia/depois-de-8-meses-brasil-tem-inflacao-negativa-de-0,08-em-junho-diz-ibge/#:~:text=No%20ano%2C20o%20IPCA%20acumula,Conselho%20Monet%C3%A1rio%20Nacional%20\(CMN\)](https://www.cnbrasil.com.br/economia/depois-de-8-meses-brasil-tem-inflacao-negativa-de-0,08-em-junho-diz-ibge/#:~:text=No%20ano%2C20o%20IPCA%20acumula,Conselho%20Monet%C3%A1rio%20Nacional%20(CMN))

O uso da TMA (Taxa Mínima de Atratividade) nos cálculos foi de 13,5%, o que corresponde à Taxa Selic<sup>38</sup> (uma taxa de depósito interbancário brasileira) e representa uma taxa mínima de retorno que um investimento deve gerar para ser considerado atrativo ou viável. Uma taxa de aumento de 9,2% para a tarifa de energia elétrica foi considerada nesta análise, de acordo com os dados do estudo desenvolvido por Montenegro et al. (2020).

**Tabela 26 – VPL, TIR e período de *payback* descontado**

Investimento dos agricultores	VPL	TIR	Payback descontado
100%	R\$ 98.232,76	24,41%	7 anos 10 meses
80%	R\$ 114.223,99	29,01%	5 anos 10 meses
60%	R\$ 130.215,21	36,59%	4 anos 1 mês

Fonte: Elaborado pelos autores (2024)

Todos os cenários analisados neste estudo mostram resultados econômicos atraentes, com VPLs positivos, TIRs mais altas que a TMA e períodos de *payback* descontado abaixo dos 25 anos do período do projeto.

## 5.5 Recomendações sobre operação e manutenção

No Brasil, não há regulamentos que forneçam diretrizes para a caracterização e a manutenção de sistemas agrivoltaicos, no entanto, documentos de outros países sugerem que assegurar a continuidade das safras ao longo do período do projeto e manter a qualidade do solo após a construção e a desinstalação do sistema fotovoltaico devem ser uma prioridade. Portanto, é recomendado realizar o planejamento da implementação e da manutenção das safras associadas a sistemas agrivoltaicos.

No presente capítulo, algumas diretrizes de manutenção são sugeridas, com base em documentos de outros países e práticas já existentes para sistemas fotovoltaicos regulares, os quais foram adaptados para sistemas agrivoltaicos.

### 5.5.1 Diretrizes de manutenção do sistema fotovoltaico

Inversores de sistemas fotovoltaicos modernos têm como alternativa o monitoramento da geração de energia por meio de aplicativos. Por meio do aplicativo, as pessoas podem acessar informações gerais do sistema e a geração anual, mensal e diária de cada sistema vinculado a ele. Além disso, o aplicativo também permite a visualização do histórico de erros. É necessário designar uma pessoa responsável pelo monitoramento da geração mensal

A VPL, a TIR e o período de *payback* descontado foram calculados para três cenários diferentes de subsídios: 100% de investimento dos agricultores; 80% de investimento dos agricultores e 60% de investimento dos agricultores. Os resultados dos indicadores econômicos estão disponíveis na Tabela 26.

e, além disso, das contas de energia elétrica associadas ao sistema, para assim assegurar que a geração está ocorrendo conforme o esperado e que os créditos estão sendo gerados e distribuídos corretamente.

### 5.5.2 Identificação de problemas e tipos de manutenção

Ao monitorar a geração de energia, deve haver cautela com relação aos períodos nos quais a geração é significativamente reduzida em comparação com o rendimento esperado. Isso poderia indicar um erro do sistema, e uma vez que um erro é identificado, é recomendado que uma empresa especializada realize a manutenção e identifique o problema existente.

Além disso, outros indicadores de problemas na planta, que podem ser facilmente identificados por meio de inspeção visual, podem incluir:

- Verificação de ruídos anormais ou elétricos;
- Observação de rachaduras dos módulos ou módulos que estão retorcidos ou soltos;
- Perceber se há quebras ou torções nas estruturas de instalação.

É importante enfatizar que os cabos não devem ser desconectados por indivíduos não treinados, para evitar que ocorram choques elétricos ou a criação de arcos elétricos, o que pode resultar em acidentes. Além disso, andar sobre os módulos fotovoltaicos ou exercer forte pressão sobre eles deve ser evitado, para prevenir danos nas células fotovoltaicas.

38 <https://www.bcb.gov.br/controleinflacao/taxaselic>

### Manutenção corretiva

A manutenção corretiva de sistemas fotovoltaicos destinados a reparar defeitos ou falhas no sistema fotovoltaico após ocorrerem também tem como objetivo prevenir a recorrência destes. A manutenção corretiva também inclui a substituição de peças e equipamentos com defeitos de fabricação. Esse tipo de manutenção deve ser realizado apenas por funcionários ou empresas terceiras especializadas na área, com equipamentos de segurança apropriados. Entre as ações de manutenção corretiva, temos:

- A medição atual das junções;
- Manutenção geral das caixas de junção;
- Tensão e polaridade;
- Resistência de isolamento;
- Inspeção e substituição de DPS (Dispositivos de Proteção Contra Surtos) operados;
- Avaliação da integridade dos fusíveis CC;
- Crimpagem do conector MC4;
- Substituição de módulos fotovoltaicos danificados.

### Manutenção preventiva

A manutenção preventiva dos sistemas envolve um conjunto de ações que têm como objetivo assegurar a operação apropriada e a longevidade do equipamento e do sistema fotovoltaico como um todo, bem como evitar o mau funcionamento do sistema. Essas ações são realizadas em conformidade com os manuais de manutenção dos equipamentos, seguindo as diretrizes e as recomendações do fabricante, para assegurar a validade da garantia.

Como parte da manutenção preventiva, alguns agricultores podem ser responsáveis por atividades que incluem observar se há sujeira nos módulos e na placa elétrica. Não é necessário limpar o sistema frequentemente; é recomendado que isso seja realizado uma vez por ano, ou em momentos nos quais haja uma espessa camada de sujeira e uma diminuição da eficiência da geração (Figura 60). Em locais com chuvas frequentes, como é o caso da área do estudo de estudo, é muitas vezes desnecessário limpar os módulos, pois a chuva, combinada com a inclinação do módulo, naturalmente removem o acúmulo de poeira.

Figura 60 - Exemplo de módulos sujos e módulos limpos



Fonte: Autores (2024)

Para limpar os módulos fotovoltaicos, é aconselhável contratar uma empresa terceirizada especializada. Durante o processo de limpeza, é essencial assegurar que o sistema não está em operação e as junções estão com o circuito

aberto; a limpeza não deve ser realizada durante a chuva ou em caso de tempestades com raios. A limpeza pode danificar os módulos e outros componentes do sistema. O material de encapsulamento e o vidro que fazem parte dos

módulos fotovoltaicos fornecem proteção contrachoqueis elétricos quando estão intactos. No entanto, se o módulo for rachado ou quebrado, a sua integridade estará comprometida, levando a uma perda de propriedades de isolamento elétrico e representando um risco de choque elétrico.

Além disso, ao limpar os módulos, cuidados devem ser tomados com os produtos de limpeza, para evitar que acabem caindo no solo, o que poderia causar impactos nas safras logo embaixo.

Outro componente para o qual pode ser exigida a manutenção preventiva é a **placa elétrica**. Insetos, pequenos roedores e excrementos de pássaros podem entrar nas placas, dessa forma, a limpeza periódica é necessária para mantê-las em boas condições. A limpeza pode ser realizada a cada seis meses ou conforme determinado por avaliações e necessidade.

Inicialmente, a visual inspeção das placas deve ser realizada, e se apenas sujeira for observada na superfície, os próprios agricultores podem realizar a limpeza utilizando uma escova macia ou esponja. No entanto, qualquer dano mais grave ou se alterações nas conexões e em componentes elétricos forem exigidas durante a manutenção, esses procedimentos deverão ser realizados por uma empresa especializada. A manutenção deve ser realizada preferencialmente ao amanhecer ou ao anoitecer, para evitar interferências na produção. É recomendado não realizar esse procedimento durante chuvas, garoas ou tempestades com raios. Para minimizar o risco de choque elétrico, a limpeza das placas elétricas deve ser realizada com os sistemas desenergizados.

#### Outras orientações de segurança

Com relação à realização de atividades agrícolas abaixo do sistema, é importante evitar trabalhar abaixo do sistema durante intempéries. Além disso, ao realizar a limpeza do módulo, deve haver cautela com relação ao uso de agentes de limpeza, para evitar qualquer tipo de impacto sobre as safras.

### 5.6 Conclusões

O projeto agrivoltaico neste estudo de caso apoiaria diretamente 4 famílias ribeirinhas e teria um impacto em 82 famílias consumidoras, além de apoiar a produção orgânica e as práticas de agrossilvicultura na região da Amazônia. Além disso, o projeto apoiaria financeiramente a operação da cozinha industrial, que aumentará e agregará valor à produção dessas famílias.

No presente estudo, o foco principal foi a implementação de sistemas agrivoltaicos de pequena escala adaptados às necessidades específicas dos pequenos agricultores. Embora seja evidente que o custo inicial desses sistemas seja ligeiramente maior do que para configurações

convencionais fotovoltaicas, o projeto dos sistemas foi proposto para alinhamento com as realidades econômicas desses agricultores, bem como sua disponibilidade de recursos. Nesse contexto, estruturas de madeira foram utilizadas como uma solução econômica e acessível localmente.

No total, as 2 topologias propostas no estudo consistem em 15,4 kWp e gerariam 21,2 MWh de energia elétrica por ano. Uma das principais conclusões deste estudo é que o CAPEX (Investimentos em Bens de Capitais) final para sistemas agrivoltaicos, embora mais alto do que o dos sistemas fotovoltaicos convencionais, permanece dentro de uma faixa razoável. Isso sugere que a barreira financeira da adoção da energia agrivoltaica pode não ser significativamente maior para os pequenos agricultores, especialmente quando se consideram os benefícios de longo prazo.

Na análise econômica, cenários de perda de produtividade foram considerados, e mesmo naquele em que foi considerada uma perda de 20% na produção agrícola, os resultados seriam consideravelmente mais baixos do que a economia de energia que ocorreria com a implementação do projeto. Os indicadores econômicos, tais como o período de payback descontado de 7 anos e 10 meses para o cenário de 100% de investimento dos agricultores, resultaram em números que se parecem muito com aqueles de sistemas fotovoltaicos convencionais, o que reforça que o sistema agrivoltaico pode ser uma escolha viável economicamente para pequenos agricultores que buscam integrar a geração de energia renovável com as atividades agrícolas.

Os resultados positivos do estudo mostram que os sistemas agrivoltaicos têm sinergia com os modelos de negócios de «energia compartilhada», que podem se beneficiar da estrutura de associação existente. No Brasil, esse modelo se refere à prática de vários consumidores coletivamente gerarem energia renovável, muitas vezes por meio de painéis solares, e o excedente ser distribuído de volta para a rede, de forma que outras pessoas possam usá-la; nesse caso, com a expansão do projeto nos próximos anos, o excedente de energia do sistema agrivoltaico beneficiaria as despesas individuais de energia de outras famílias da associação.

Um tópico relevante para investigação futura é a quantificação do impacto dos sistemas agrivoltaicos na produtividade agrícola. Futuros estudos devem procurar determinar se esses sistemas contribuem positivamente para o rendimento das safras ou, de outra forma, se há qualquer perda de produtividade relacionada às safras específicas. Isso forneceria importantes insights sobre as consequências do sistema agrivoltaico no ecossistema de pequenos agricultores e a sustentabilidade de suas práticas agrícolas.

## 6. Conclusões e recomendações sobre o sistema agrivoltaico no contexto brasileiro

Considerando o contexto brasileiro, esta seção tem como foco o fornecimento de recomendações para as melhores práticas em futuros sistemas agrivoltaicos. Ela engloba recomendações técnicas e agrícolas para práticas agrícolas de pequena e grande escala, com destaque para os principais potenciais de cada macrorregião nacional, mostrando com mais ênfase os projetos mais adequados para sistemas agrivoltaicos. Também apresenta recomendações sobre as melhores práticas agrícolas e incentivos de políticas para promover os sistemas agrivoltaicos no Brasil.

Considerando sistemas de agricultura de grande escala, no Brasil, soja, milho, cana-de-açúcar, arroz, café e feijão são os líderes de produção. Esses seis produtos agrícolas representaram mais de 70% do total de terras cultivadas no Brasil de 1985 a 2017, e estão localizados principalmente nas regiões Centro-Oeste, e alguns nas regiões Sul e Sudeste. A agricultura de grande escala é uma das principais contribuições para o Valor Bruto da Produção do País. No entanto, são poucos os que se beneficiam da renda gerada pela chamada agricultura moderna, uma vez que 8% dos estabelecimentos rurais são responsáveis por gerar 85% do valor agrícola. Como a agricultura de grande escala ocupa uma extensão considerável de terras para a produção agropecuária, é sempre entendido que, para esse contexto, quando modelos de negócios forem considerados, os sistemas agrivoltaicos para geração de energia para o mercado aberto poderão ser os mais adequados. No entanto, o mercado aberto é muito complexo, no qual,

geralmente, apenas grandes players do mercado de energia se envolvem. Além disso, com a eletrificação do transporte e, eventualmente, de todo o maquinário envolvido na agricultura (ou seja, caminhões, tratores etc.), é esperado que a demanda de energia na agricultura aumente e a autoprodução e a autossuficiência de energia serão um aspecto importante no cenário agrícola nos próximos anos.

Sistemas agrivoltaicos aplicados à agricultura de grande escala deverão ser mais robustos e ter estruturas mais elevadas, para permitir que grandes maquinários possam passar por eles. Além disso, ao aumentar o espaçamento entre os módulos fotovoltaicos para permitir uma maior distribuição de irradiação na safra também pode ser uma boa prática ao aplicar a tecnologia agrivoltaica no cenário de agricultura de grande escala e monoculturas, tais como soja e cana-de-açúcar. Veja um exemplo na Figura 61.

Figura 61 - Sistema suspenso com grande maquinário na Itália



A agricultura de grande escala também engloba a indústria pecuária de corte, e ela é amplamente desenvolvida em todos os estados e ecossistemas, especialmente nas regiões Centro-Oeste e Sudeste. A pecuária de corte está diretamente relacionada ao aumento do desmatamento em algumas regiões do País e, além disso, pode causar degradação do solo; ela é responsável por altas frações de emissões de CO<sub>2</sub> na atmosfera. Aplicações agrivoltaias

para a produção agropecuária também podem ser tornar uma opção para aumentar o bem-estar animal e apoiar a promoção de práticas mais sustentáveis nessa indústria de agricultura de grande escala. Aplicações fotovoltaicas verticais servindo como cercas para os animais também devem ser consideradas como uma aplicação fotovoltaica em potencial para a produção pecuária (Figura 62).

**Figura 62 - Módulos fotovoltaicos bifaciais instalados verticalmente para aplicações como cercas**



Fonte: Next2Sun (2019)

Do outro lado do espectro, a agricultura de pequena escala e familiar representa 77% dos estabelecimentos agrícolas no Brasil, fornece aproximadamente 70% dos alimentos consumidos pela população brasileira e desempenha um papel significativo na criação de empregos, pois emprega cerca de 10,5 milhões de pessoas, representando mais de 70% da força de trabalho do setor agrícola brasileiro. Os estabelecimentos caracterizados como agricultura familiar são prevalentes nas regiões Norte e Nordeste, locais em que há os maiores níveis de pobreza rural no País. Considerando os benefícios comprovados dos sistemas agrivoltaios, tais como proteção contra o calor e irradiação extremos, redução da evaporação e da necessidade de irrigação, esses sistemas demonstram um potencial compatível com o clima e as características sociais da região do Nordeste.

Para pequenos agricultores, o atual enquadramento legal para geração distribuída fornece a eles meios de gerar sua própria energia por meio do sistema de compensação de energia elétrica, adaptando a tecnologia de energia solar a uma aplicação agrivoltaiica. Portanto, sistemas agrivoltaiicos apresentam oportunidades sociais e econômicas para agricultores familiares ao oferecer maior autonomia de geração de energia para autoconsumo e o potencial de fazer com que esta geração se torne renda por meio do

arrendamento ou da geração de créditos de energia por meio do sistema de geração distribuída.

Em termos de incentivos de políticas para o desenvolvimento da tecnologia agrivoltaiica no Brasil, algumas recomendações incluem:

- Elaborar uma diretriz e/ou enquadramento legal nacional que regule a tecnologia agrivoltaiica no País. Essa diretriz/enquadramento legal deve estar alinhado com a Lei 14300;
- Fornecer financiamento para projeto de P&D, para avançar nas pesquisas sobre o assunto e avaliar o potencial do sistema agrivoltaiico no País, considerando a diversidade regional da nação e procurando identificar o potencial e as particularidades de cada região;
- Criar linhas de crédito para agricultura familiar (incluindo eletrificação de todos os transportes e maquinário envolvidos na agricultura) que forneça suporte para instalações agrivoltaiicas para esse público;
- Promover programas de treinamento sobre tecnologia agrivoltaiica para professores em institutos federais, bem como em outras instituições de educação.

# Referências

- [1] ADEME et al. *Caractériser les projets photovoltaïques sur terrains agricoles et agrivoltalisme - Etat de l'art bibliographique.* , 2021.
- [2] AGÊNCIAMINAS. *Projeto sobre uso de energia solar na agricultura avança em Minas Gerais.* Available at: <<https://www.agenciaminas.mg.gov.br/noticia/projeto-sobre-uso-de-energia-solar-na-agricultura-avanca-em-minas-gerais>>. Accessed on: 1 feb. 2024.
- [3] ARAGÃO, M. L. *Sistemas agrofotovoltaicos e o papel fundamental do povo Pankará junto à comunidade científica em Itacuruba, PE.* Available at: <<https://www.agrega.org.br/2023/06/13/sistemas-agrofotovoltaicos-e-o-papel-fundamental-do-povo-pankara-junto-a-comunidade-cientifica-em-itacuruba-pe-/>>. Accessed on: 6 jul. 2023.
- [4] BADRA, M. *Sistemas de irrigação com solar: exemplos de aplicação e benefícios.* Available at: <<https://canalsolar.com.br/sistemas-de-irrigacao-com-solar-exemplos-de-aplicacao-e-beneficios/>>. Accessed on: 10 aug. 2023.
- [5] BANCO CENTRAL DO BRASIL. *Programa de Financiamento à Agricultura Irrigada e ao Cultivo Protegido (Proirriga).* Available at: <<https://www3.bcb.gov.br/mcr/manual/09021771806f500f.htm>>. Accessed on: 3 apr. 2023a.
- [6] BANCO CENTRAL DO BRASIL. *Programa de Desenvolvimento Cooperativo para Agregação de Valor à Produção Agropecuária (Prodecoop).* Available at: <<https://www3.bcb.gov.br/mcr/manual/09021771806f5012.htm>>. Accessed on: 3 apr. 2023b.
- [7] BANCO DA AMAZÔNIA. *Programação Financeira: FNO 2023.* Belém-PA: [s.n.].
- [8] BANCO DO BRASIL. *FCO Rural.* Available at: <[https://www.bb.com.br/pbb/pagina-inicial/cooperativas/fco-rural#](https://www.bb.com.br/pbb/pagina-inicial/cooperativas/fco-rural#/)>. Accessed on: 6 apr. 2023.
- [9] BANCO DO NORDESTE DO BRASIL. *Fne Sol Produtor Rural Mais Sustentabilidade No Campo.* [s.l: s.n.]. Available at: <[https://www.bnb.gov.br/documents/3539268/4214878/CARTILHA\\_FNE\\_SOL\\_V6\\_23-04-2021\\_maisSustentabilidade.pdf/0b04e7c8-f91e-0a2e-8acb-8dbaabd12eb9](https://www.bnb.gov.br/documents/3539268/4214878/CARTILHA_FNE_SOL_V6_23-04-2021_maisSustentabilidade.pdf/0b04e7c8-f91e-0a2e-8acb-8dbaabd12eb9)>.
- [10] BANCO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO SOCIAL (BNDES). *BNDES Finame - Baixo Carbobo.* Available at: <<https://www.bnDES.gov.br/wps/portal/site/home/financiamento/produto/bndes-finame-baixo-carbono>>. Accessed on: 10 apr. 2023.
- [11] BARROS, G. S. C. et al. *Mercado de Trabalho do Agronegócio Brasileiro.* Available at: <[https://www.cepea.esalq.usp.br/upload/kceditor/files/Cepea\\_Mercado\\_de\\_Trabalho\\_4T2022\(1\).pdf](https://www.cepea.esalq.usp.br/upload/kceditor/files/Cepea_Mercado_de_Trabalho_4T2022(1).pdf)>. Accessed on: 10 aug. 2023.
- [12] BASSOI, L. H. *Artigo: Irrigação no Brasil: necessidade e opção estratégica.* Available at: <<https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/62692713/artigo-irrigacao-no-brasil-necessidade-e-opcao-estrategica>>. Accessed on: 31 jul. 2023.
- [13] BELLINI, E. *Giant agrivoltaic project in China.* PV Magazine , p. 1–6, 2020.
- [14] BELLINI, E. *Novel plant design for agrivoltaics.* Available at: <<https://www.pv-magazine.com/2021/08/05/novel-plant-design-for-agrivoltaics/>>. Accessed on: 31 jul. 2023.
- [15] BELLINI, E. *Agrivoltaics for soybeans.* Available at: <<https://www.pv-magazine.com/2022/12/14/agrivoltaics-for-soybeans/>>. Accessed on: 10 aug. 2023.
- [16] BEZERRA, P. et al. *The multidimensionality of energy poverty in Brazil: A historical analysis.* Energy Policy, v. 171, dec. 2022.
- [17] BOWMAN, S.; MILLER, B. J.; ROSENBERG, J. *Can solar panels and row crops coexist on farmland across the skeptical Corn Belt?* Available at: <<https://www.indystar.com/story/news/environment/2022/09/13/purdue-leading-research-to-grow-solar-and-crops-together-in-corn-belt/66843196007/>>. Accessed on: 10 aug. 2023.
- [18] BRANDÃO, C. A. *Espaços da Destituição E as Políticas Urbanas e regionais no Brasil: Uma Visão Panorâmica.* Nova Economia, v. 26, p. 1097–1132, 2016.
- [19] BRASIL. *Rebanho bovino bate recorde em 2021 e chega a 224,6 milhões de cabeças.* Available at: <<https://www.gov.br/pt-br/noticias/agricultura-e-pecuaria/2022/09/rebanho-bovino-bate-recorde-em-2021-e-chega-a-224-6-milhoes-de-cabeças#:~:text=Entre os estados%2C Mato Grosso,2%2C5 milhões de cabeças>>. Accessed on: 31

- jun. 2023.
- [20] CARNEIRO, W. M. A.; LIMA, Y. C. Análise da Agricultura do Nordeste no Início do Século XXI Palavras-chave. 2017.
- [21] CEMIG. Com projeto inovador da Cemig, Epamig e CPQD, produtores rurais poderão cultivar embaixo de usinas solares. Available at: <<https://www.cemig.com.br/release/projeto-permitira-cultivar-embaixo-usinas-solares>>. Accessed on: 1 feb. 2024.
- [22] CERO. Cero Generation executes financial close on 48 MW agrivoltaic solar PV project in Lazio, Italy. Available at: <<https://www.cerogeneration.com/news/cero-generation-executes-financial-close-on-48-mw-agrivoltaic-solar-pv-project-in-lazio-italy>>. Accessed on: 30 jul. 2023.
- [23] CEZAR, I. M. et al. Sistemas de produção de gado de corte no Brasil: uma descrição com ênfase no regime alimentar e no abate. Available at: <<https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/326307/sistemas-de-producao-de-gado-de-corte-no-brasil-uma-descricao-com-enfase-no-regime-alimentar-e-no-abate>>. Accessed on: 31 jul. 2023.
- [24] CHAE, S. H. et al. Agrivoltaic Systems Enhance Farmers' Profits through Broccoli Visual Quality and Electricity Production without Dramatic Changes in Yield, Antioxidant Capacity, and Glucosinolates. *Agronomy*, v. 12, n. 6, 2022.
- [25] CLEANENERGYCOUNCIL. Australian Guide to Agrisolar for Large-Scale Solar. [s.l.: s.n.]. Disponível <<https://assets.cleanenergycouncil.org.au/documents/resources/reports/agrisolar-guide/Australian-guide-to-agrisolar-for-large-scale-solar.pdf>>. Accessed on: 8 feb. 2024.
- [26] CNN BRASIL. Governo anuncia Plano Safra para agricultura familiar e totaliza R\$ 441 bilhões em recursos ao setor. Available at: <<https://www.cnnbrasil.com.br/economia/governo-anuncia-plano-safra-para-agricultura-familiar-e-totaliza-r-441-bilhoes-em-recursos-ao-setor>>. Accessed on: 8 aug. 2023.
- [27] CNN BRASIL. Governo anuncia Plano Safra para agricultura familiar e totaliza R\$ 441 bilhões em recursos ao setor. Available at: <<https://www.cnnbrasil.com.br/economia/governo-anuncia-plano-safra-para-agricultura-familiar-e-totaliza-r-441-bilhoes-em-recursos-ao-setor>>. Accessed on: 8 aug. 2023.
- [28] COÊLHO, J. D. Milho: Produção e mercados. p. 1–11, 2021.
- [29] CONAB. Série Histórica das Safras. Available at: <<https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/serie-historica-das-safras>>. Accessed on: 31 jul. 2023.
- [30] CONAB. Conab realiza pesquisa de campo sobre cana-de-açúcar. Available at: <<https://www.conab.gov.br/ultimas-noticias/4688-conab-realiza-pesquisa-de-campo-sobre-cana-de-acucar#:~:text-Entre%20os%20maiores%20estados%20produtores,,03%20milh%C3%A3es%20de%20toneladas>>. Accessed on: 31 jul. 2023.
- [31] CONAB; EMBRAPA. Soja em números (safras 2022/23). Available at: <<https://www.embrapa.br/soja/cultivos/soja1/dados-economicos>>. Accessed on: 31 jul. 2023.
- [32] CSA Brazil. (2023). <Associação Comunitária CSA Brasil. Available at: <https://csabrasil.org/csa/sobre/>> Accessed on: xxxxxxxx
- [33] DE ALBUQUERQUE MONTENEGRO, A., ANTONIOLLI, A. F., & RÜTHER, R. (2020). Photovoltaic distributed generation in Brazil: Investment valuation for the 27 capital cities. Proceedings of the ISES Solar World Congress 2019 and IEA SHC International Conference on Solar Heating and Cooling for Buildings and Industry 2019, 1448–1456. <https://doi.org/10.18086/swc.2019.25.02>
- [34] DEBOUTTE, G. France allocates 172.9 MW of solar capacity at average price of \$0.09/kWh. Available at: <<https://www.pv-magazine.com/2023/01/09/france-allocates-172-9-mw-of-solar-capacity-at-average-price-of-0-09-kwh/>>. Accessed on: 30 jul. 2023.
- [35] DEPARTMENT OF ENERGY - USA. Market Research Study - Agrivoltaics. [s.l.: s.n.].
- [36] DIERINGS, L. Agricultura em Ascensão: Norte do Brasil se Consolida como Polo de Produção de Grãos e Enfrenta Desafios para Manter o Crescimento. Available at: <<https://eprodutor.com.br/norte-brasil-crescimento-agricola-desafios>>. Accessed on: 29 aug. 2023.
- [37] DIN SPEC 91434, Agri-photovoltaic systems - Requirements for primary agricultural use. Berlin: 2021
- [38] DINESH, H., & PEARCE, J. M. (2016). The potential of agrivoltaic systems. In *Renewable and Sustainable Energy Reviews* (Vol. 54, pp. 299–308). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.10.024>.
- [39] DOE. Market Research Study - Agrivoltaics. [s.l.: s.n.].
- [40] EMBRAPA. Perguntas e respostas. Available at: <<https://www.embrapa.br/agua-na-agricultura/perguntas-e-respostas#:~:text=No%2520Brasil,%>>

- [2520cerca%2520de%252072,1%25%2520abaste-  
cem%2520as%2520%25C3%25A1reas%2520ru-  
rais.>. Accessed on: 31 jul. 2023.](#)
- [41] EMBRAPA. Mudanças socioeconômicas e espaciais na agricultura. Available at: <<https://www.embrapa.br/visao/mudancas-socioeconomicas-e-espaciais-na-agricultura>>. Accessed on: 31 jul. 2023a.
- [42] EMBRAPA. Integração Lavoura-Pecuária-Floresta (ILPF). Available at: <<https://www.embrapa.br/florestas/ilpf>>. Accessed on: 31 jul. 2023b.
- [43] EMBRAPA. Intensificação e sustentabilidade dos sistemas de produção agrícolas. Available at: <<https://www.embrapa.br/visao/intensificacao-e-sustentabilidade-dos-sistemas-de-producao-agricolas>>. Accessed on: 31 jul. 2023c.
- [44] EMILIANO BELLINI. Japan releases new guidelines for agrivoltaics as installations hit 200 MW. PV Magazine, p. 1–6, 2021.
- [45] ENVIRONMENTALNEWS. In Brazil's Semiarid Region, Agrivoltaics Show Promise for Food, Energy Security. p. 1–6, 2022.
- [46] ESTADAO. Conheça quais são as 5 principais culturas plantadas no Brasil. Available at: <<https://summitagro.estadao.com.br/noticias-do-campo/conheca-quais-sao-as-5-principais-culturas-plantadas-no-brasil/>>. Accessed on: 31 jul. 2023.
- [47] ESTADAO. Agronegócio: veja os 10 principais Estados produtores do Brasil. Available at: <<https://summitagro.estadao.com.br/comercio-exterior/agronegocio-veja-os-10-principais-estados-produtores-do-brasil/>>. Accessed on: 31 jul. 2023.
- [48] FAEB. Produção de milho no Brasil e no mundo: principais dados. Available at: <<http://www.sistemafaeb.org.br/noticias/detalhe/noticia/producao-de-milho-no-brasil-e-no-mundo-principais-dados/>>. Accessed on: 31 jul. 2023.
- [49] FAO. The State of Food Security and Nutrition in the World 2022title. [s.l: s.n.]. Available at: <<https://www.fao.org/3/cc0639en/cc0639en.pdf>>.
- [50] FITZPATRICK, A. Farming for crops — and for solar power. p. 1–7, 2023.
- [51] FRAUNHOFER INSTITUTE. Agrivoltaics: Opportunities for Agriculture and the Energy Transition. [s.l: s.n.]. Available at: <<https://www.ise.fraunhofer.de/content/dam/ise/en/documents/publications/studies/APV-Guideline.pdf>>.
- [52] GESE, P. et al. Agrivoltaic in Chile – Integrative solution to use efficiently land for food and energy production and generating potential synergy effects shown by a pilot plant in Metropolitan region 1 . General Introduction. 2019.
- [53] GONÇALVES, M. F.; ESTEVES, L. A. Fundo Constitucional de Financiamento do Nordeste ( FNE ): 30 Anos Contribuindo para o Desenvolvimento Regional. [s.l: s.n.].
- [54] GONZAGA, T. Pesquisa vai avaliar sistema agrofotovoltaico em plantação de cana-de-açúcar. Available at: <<https://ufal.br/ufal/noticias/2022/6/pesquisa-vai-avaliar-sistema-agrofotovoltaico-em-planacao-de-cana-de-acucar>>.
- [55] GOVERNO FEDERAL. Plano Safra 2023/2024 incentiva sustentabilidade e conta com 13 programas para investimentos. Available at: <<https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/noticias/plano-safra-2023-2024-incentiva-sustentabilidade-e-conta-com-13-programas-para-custeio-comercializacao-e-investimentos>>. Accessed on: 7 aug. 2023a.
- [56] GOVERNO FEDERAL. FCO - Fundo Constitucional de Financiamento do Centro-Oeste. Available at: <<https://www.gov.br/sudeco/pt-br/assuntos/fundo-constitucional-de-financiamento-do-centro-oeste>>. Accessed on: 6 apr. 2023b.
- [57] GREENER. Análise do Marco Legal da Geração Distribuída | Lei 14.300 Atualização 2023. Available at: <<https://www.greener.com.br/estudo/analise-do-marco-legal-2023/>>. Accessed on: 27 aug. 2023.
- [58] GUZOWSKI, C.; MARTIN, M. M. I.; ZABALOY, M. F. Energy poverty: conceptualization and its link to exclusion. Brief review for Latin America. Ambiente & Sociedade, v. 24, 2021.
- [59] HANWHA. Plugging into the Sun: How Hanwha is Leading with Innovations in Solar Energy. Available at: <[https://www.hanwha.com/en/news\\_and\\_media/stories/sustainability/plugging-into-the-sun-how-hanwha-is-leading-with-innovations-in-solar-energy.html](https://www.hanwha.com/en/news_and_media/stories/sustainability/plugging-into-the-sun-how-hanwha-is-leading-with-innovations-in-solar-energy.html)>. Accessed on: 28 jul. 2023.
- [60] HEIN, H. Sistemas agrivoltaicos fomentam a energia solar e a produção no campo.
- [61] HERMANN, C. et al. Agrivoltaics: Opportunities for Agriculture and the Energy Transition. n. April, 2022.
- [62] HERMANN, C.; SCHÖNBERGER, F. Agrivoltaics : Opportunities for Agri- culture and the Energy Transition Publishing notes. n. April, 2022.
- [63] HOROWITZ, K. et al. Capital Costs for Dual-Use Photovoltaic Installations: 2020 Benchmark for

- Ground-Mounted PV Systems with Pollinator-Friendly Vegetation, Grazing, and Crops.** [s.l: s.n.]. Available at: <[www.nrel.gov/publications](http://www.nrel.gov/publications)>.
- [64] IBGE. Características gerais dos domicílios e dos moradores : 2019. Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios Contínua, p. 1–8, 2019a.
- [65] IBGE. **Censo agropecuário: resultados definitivos 2017.** Available at: <<https://biblioteca.ibge.gov.br/index.php/biblioteca-catalogo?view=detalhes&id=73096>>.
- [66] IBGE. **Área agrícola cresce em dois anos e ocupa 7,6% do território nacional.** Available at: <<https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-noticias/2012-agencia-de-noticias/noticias/27207-area-agricola-cresce-em-dois-anos-e-ocupa-7-6-do-territorio-nacional#:~:text=Desde o início da série,terrestre e marítima do país>>.
- [67] IBGE. **Amazônia Legal - Base de Dados e Tabelas.** [s.l: s.n.]. Available at: <<https://www.ibge.gov.br/geociencias/cartas-e-mapas/mapas-regionais/15819-amazonia-legal.html?=&t=acesso-ao-produto>>.
- [68] IBGE. **Produção de Cana-de-açúcar.** Available at: <<https://www.ibge.gov.br/explica/producao-agropecuaria/cana-de-acucar/br>>.
- [69] IBGE; CNA. **Panorama do Agro.** Available at: <<https://www.cnabrasil.org.br/cna/panorama-do-agro#:~:text=Temos,hoje,uma agricultura adaptada,vem transformando a economia brasileira.>>.
- [70] IEA. **Snapshot of Global PV Markets 2023.** International Energy Agency. [s.l: s.n.]. Available at: <[https://iea-pvps.org/wp-content/uploads/2023/04/IEA\\_PVPS\\_Snapshot\\_2023.pdf](https://iea-pvps.org/wp-content/uploads/2023/04/IEA_PVPS_Snapshot_2023.pdf)>.
- [71] INPE. **Atlas Brasileiro de Energia Solar.** 2a. ed. São José dos Campos: [s.n.].
- [72] ISE, F. Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems Ise Agrivoltaics : Opportunities for Agriculture and the Energy Transition October 2020 a Guideline for Germany. n. October, 2020.
- [73] JAE-HYUK, B. P.; COUNTY, H. **Agrivoltaics emerge as new income source for aging Korean farmers.** Available at: <[https://www.koreatimes.co.kr/www/tech/2023/03/129\\_335503.html](https://www.koreatimes.co.kr/www/tech/2023/03/129_335503.html)>.
- [74] JOHNDEERE. **ILPF (Integração Lavoura, Pecuária e Floresta).** Available at: <[https://www.deere.com.br/pt/a-nossa-empresa/sustentabilidade/ilpf/#:~:text=Fonte%3A IBGE%2F2017 Os Estados com maiores áreas de,Sul%2C Mato Grosso e Rio Grande do Sul](https://www.deere.com.br/pt/a-nossa-empresa/sustentabilidade/ilpf/#:~:text=Fonte%3A IBGE%2F2017 Os Estados com maiores áreas de,Sul%2C Mato Grosso e Rio Grande do Sul.)>.
- [75] JUNG, D. **Challenges in the Food, Water and Energy Nexus.** Available at: <[https://www.fraunhofer.cl/en/cset/bussines\\_areas/spg/fotovoltaico-integrado/agrovoltaico.html](https://www.fraunhofer.cl/en/cset/bussines_areas/spg/fotovoltaico-integrado/agrovoltaico.html)>.
- [76] KIM, M.; OH, S. Y.; JUNG, J. H. History and legal aspect of agrivoltaics in Korea. **AIP Conference Proceedings**, v. 2635, 2022.
- [77] LACERDA, F. F. et al. Conceito de sistemas agrovoltaicos no Nordeste: uma solução de desenvolvimento ecossustentável para o Semiárido nordestino. **Geography Department University of São Paulo**, v. 42, p. e189543, 2022.
- [78] LARGUE, P. **A berry good effort: BayWa wins award for innovative ‘fruitvoltaic’ system.** Available at: <<https://www.powerengineeringint.com/decentralized-energy/on-site-renewables/a-berry-good-effort-baywa-wins-award-for-innovative-fruitvoltaic-system/>>.
- [79] MACKNICK, J. et al. The 5 Cs of Agrivoltaic Success Factors in the United States: Lessons From the InSPIRE Research Study. n. August, p. 80, 2022.
- [80] MAISCH, M. **Croatia adopts legal framework for agrivoltaics.** Available at: <<https://www.pv-magazine.com/2023/07/28/croatia-adopts-legal-framework-for-agrivoltaics/>>.
- [81] MARTIN GREENACRE. **France imposes regulations on use of solar panels on farms.** Available at: <<https://www.connexionfrance.com/practical/france-imposes-regulations-on-use-of-solar-panels-on-farms/156720>>.
- [82] MARTINEZ, M. Sistema que combina produção de comida e energia solar pode ajudar famílias no semiárido. 2022.
- [83] MIBETENERGY. **MRac Agriculture PV System.** Available at: <[https://www.mibetsolar.com/mrac-agriculture-pv-system\\_c10](https://www.mibetsolar.com/mrac-agriculture-pv-system_c10)>.
- [84] MICCOLIS, A. et al. Restauração ecológica com sistemas agroflorestais: como conciliar conservação com produção. Opções para Cerrado e Caatinga. [s.l: s.n.].
- [85] MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO E DO DESENVOLVIMENTO CONSTITUCIONAL. **Fundos Constitucionais de Financiamento (FNO, FNE, FCO).** Available at: <<https://www.gov.br/mdr/pt-br/assuntos/fun>>.

- [85] [dos-regionais-e-incentivos-fiscais/fundos-constitucionais-de-financiamento-fno-fne-e-fco](https://www.gov.br/aneel/pt-br/assuntos/geracao-distribuida). Accessed on: 1 apr. 2023.
- [86] MME. **Micro e Minigeração Distribuída**. Available at: <<https://www.gov.br/aneel/pt-br/assuntos/geracao-distribuida>>. Accessed on: 27 aug. 2023.
- [87] MOERMAN, R. **An endless appetite for PV**. Available at: <<https://www.pv-magazine.com/magazine-archive/an-endless-appetite-for-pv>>. Accessed on: 30 jul. 2023.
- [88] NACHILUK, K. **Alta na Produção e nas Exportações de Açúcar Marca a Safra 2020/21 de Cana**. Available at: <<http://www.iea.sp.gov.br/out/TerTexto.php?codTexto=15925>>. Accessed on: 31 jul. 2023.
- [89] NEPOMUCENO, A. L.; FARIAS, J. R. B.; NEUMAIER, N. **Características da soja**. Available at: <<https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/cultivos/soja/pre-producao/caracteristicas-da-espécie-e-relacoes-com-o-ambiente/caracteristicas-da-soja>>. Accessed on: 31 jul. 2023.
- [90] NEXT2SUN. **Solar fence for farmers**. Available at: <<https://next2sun.com/en/solar-fence/for-farmers>>. Accessed on: 28 jul. 2023.
- [91] NUNES, A. et al. The use of pesticides in Brazil and the risks linked to human health / O uso de pesticidas no Brasil e os riscos associados à saúde humana. **Brazilian Journal of Development**, v. 7, n. 4, p. 37885–37904, 13 abr. 2021.
- [92] NZEMBASSY. **Agrivoltaic farming gets a boost in Germany – October 2022**. Available at: <<https://www.mfat.govt.nz/en/trade/mfat-market-reports/germany-agrivoltaics-gets-a-boost-october-2022>>. Accessed on: 30 jul. 2023.
- [93] PENSSAN. **Insegurança alimentar e covid-19 no Brasil**. Available at: <<https://olheparaafome.com.br/wp-content/uploads/2022/06/Relatorio-II-VIGISAN-2022.pdf>>. Accessed on: 10 aug. 2023.
- [94] PENT, G. J. et al. Lamb performance in hardwood silvopastures, II: Animal behavior in summer. **Translational Animal Science**, v. 4, n. 1, p. 363–375, 2021.
- [95] PETRONI, A. **The Italian farmers saving an ancient fruit with solar power**. Available at: <<https://www.bbc.com/future/article/20230424-how-agrivoltaics-helped-save-italys-citron-and-lemon-trees>>. Accessed on: 29 jul. 2023.
- [96] PROGRAMA NACIONAL DE FORTALECIMENTO DA AGRICULTURA FAMILIAR. **Linhos de crédito do Pronaf**. **Safra 2022 / 2023**. [s.l: s.n.].
- [97] PVEUROPE. **Innovative 500 kW agrophotovoltaic installation in Croatia**. Available at: <<https://www.pveurope.eu/solar-modules/innovative-500-kw-agrophotovoltaic-installation-croatia>>. Accessed on: 31 jul. 2023.
- [98] PVTECH. **The potential of agrivoltaics for the US solar industry, farmers and communities**. Available at: <<https://www.pv-tech.org/technical-papers/the-potential-of-agrivoltaics-for-the-us-solar-industry-farmers-and-communities>>. Accessed on: 21 mar. 2023.
- [99] QCELLS. **Produce Power While Farming! 'Agrivoltaic System'**. Available at: <[https://new-q-cells.com/en/sub.php?idx=870&division=2&sub\\_division=2&page=1](https://new-q-cells.com/en/sub.php?idx=870&division=2&sub_division=2&page=1)>. Accessed on: 28 jul. 2023.
- [100] REDE PENSSAN. **Inquérito Nacional sobre Insegurança Alimentar no Contexto da Pandemia da Covid-19 no Brasil**. [s.l: s.n.]. Available at: <<https://olheparaafome.com.br/wp-content/uploads/2022/06/Relatorio-II-VIGISAN-2022.pdf>>.
- [101] REHAGROBLOG. **Produção de milho no Brasil e no mundo: principais dados**. Available at: <<https://rehagro.com.br/blog/cenario-da-producao-de-milho-no-mundo>>. Accessed on: 31 jul. 2023.
- [102] RENEWECONOMY. **Lots of solar and lots of sheep, but Australia still too slow on agrivoltaics**. Available at: <<https://reneweconomy.com.au/lots-of-solar-and-lots-of-sheep-but-australia-still-too-slow-on-agrivoltaics>>. Accessed on: 5 feb. 2024.
- [103] RODRIGUES, A. A. et al. Cerrado deforestation threatens regional climate and water availability for agriculture and ecosystems. **Global Change Biology**, v. 28, n. 22, p. 6807–6822, 1 nov. 2022.
- [104] SALES, M. **AGRONEGÓCIO: RORAIMA VAI**
- [105] ULTRAPASSAR 100 MIL HECTARES DE ÁREA COLHIDA DE SOJA EM 2022. Available at: <<https://roraimaemfoco.com/agronegocio-roraima-vai-ultrapassar-100-mil-hectares-de-area-colhida-de-soja-em-2022>>. Accessed on: 30 aug. 2023.
- [106] SCHINDELE, S. et al. Implementation of agrophotovoltaics : Techno-economic analysis of the price-performance ratio and its policy implications. **Applied Energy**, v. 265, n. February, p. 114737, 2020.
- [107] SCHNEIDER, K., SORGATO, M. J., & RÜTHER, R. (2018). **VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA DA APLICAÇÃO DE MÓDULOS FOTOVOLTAICOS ( FV ) DE TELURETO DE CÁDMIO ( CdTe ) EM**. VII Congresso Brasileiro de Energia Solar – Gramado, 17 a 20 de abril de 2018. Available at: <<https://fotovol>>

- [<https://www.infoescola.com/economia/economia-de-roraima>](http://taica.ufsc.br/artigos_em_anais/CBENS_Kathlen_Marcio_Ricardo.pdf). Accessed on: 30 aug. 2023.
- [108] SEKIYAMA, T.; NAGASHIMA, A. Solar sharing for both food and clean energy production: Performance of agrivoltaic systems for corn, a typical shade- intolerant crop. *Environments* - MDPI, v. 6, n. 6, 2019.
- [109] SOARES, K. R.; XIMENES, L. F. **Carne Bovina**. Available at: <[https://www.bnb.gov.br/s482-dspace/bitstream/123456789/1566/3/2023\\_CDS\\_264.pdf](https://www.bnb.gov.br/s482-dspace/bitstream/123456789/1566/3/2023_CDS_264.pdf)>. Accessed on: 31 jul. 2023.
- [110] SPAES, J. **Agrivoltaics prevail in France's tender for innovative PV technologies**. Available at: <<https://www.pv-magazine.com/2021/01/05/agrivoltaics-prevail-in-frances-tender-for-innovative-pv-technologies/>>. Accessed on: 30 jul. 2023.
- [111] SUN'AGRI. **Domaine de Nidolères**. Available at: <<https://sunagri.fr/en/project/nidoleres-estate/>>. Accessed on: 30 jul. 2023.
- [112] SYNGENTA. **Regiões agrícolas do Brasil - Descubra quais são as principais**. Available at: <<https://blog.syngentadigital.ag/regioes-agricolas-brasil/#:~:text=Uma%20das%20principais%20marcas%20da%20agricultura%20do%20Brasil,%20Sul%207%20Goiás%208%20Mato%20Grosso%20Mais%20itens>>. Accessed on: 31 jul. 2023.
- [113] TAJIMA, M.; IIDA, T. Evolution of agrivoltaic farms in Japan. *AIP Conference Proceedings*, v. 2361, n. June, 2021.
- [114] TODOROVIĆ, I. **Enerjisa launches first agrivoltaic pilot project in Turkey**. Available at: <<https://balkangreenenergynews.com/enerjisa-launches-first-agrivoltaic-pilot-project-in-turkey/>>. Accessed on: 29 mar. 2023.
- [115] TOLEDO, C.; SCOGNAMIGLIO, A. Agrivoltaic systems design and assessment: A critical review, and a descriptive model towards a sustainable landscape vision (three-dimensional agrivoltaic patterns). *Sustainability (Switzerland)*, v. 13, n. 12, 2021.
- [116] TROMMSDORFF, M. et al. Agrivoltaics: solar power generation and food production. In: *Solar Energy Advancements in Agriculture and Food Production Systems*. [s.l.] Elsevier, 2022. p. 159–210.
- [117] TROMMSDORFF, M.; KATHER, N. Legal Framework of Agrivoltaics in Germany. v. 050004, 2022.
- [118] Ufal e Usina Santa Clotilde realizam pesquisa com Energia Agrofotovoltaica na Cana-de-açúcar. Available at: <<https://www.youtube.com/watch?v=GxW-Drdg-bDo>>. Accessed on: 24 jul. 2023.
- [119] VELA, J. M. **Economia de Roraima**. Available at:
- [120] VILELA, N. J.; LUENGO, R. DE F. A. **Produção de hortaliças folhosas no Brasil**. Disponível em: <<https://revistacampoenegocios.com.br/producao-de-hortaliças-folhosas-no-brasil/>>. Accessed on: 31 jul. 2023.
- [121] WEAVER, J. FITZGERALD. **Vertical bifacial solar seeking greenhouse albedo and deployment space**. Available at: <[https://pv-magazine-usa.com/2023/07/28/vertical-bifacial-solar-seeking-greenhouse-albedo-and-deployment-space/?utm\\_source=USA+%7C+Newsletter&utm\\_campaign=4a23866487-RSS\\_EMAIL\\_CAMPAIGN&utm\\_medium=email&utm\\_term=0\\_80e-od17bb8-4a23866487-159635170](https://pv-magazine-usa.com/2023/07/28/vertical-bifacial-solar-seeking-greenhouse-albedo-and-deployment-space/?utm_source=USA+%7C+Newsletter&utm_campaign=4a23866487-RSS_EMAIL_CAMPAIGN&utm_medium=email&utm_term=0_80e-od17bb8-4a23866487-159635170)>. Accessed on: 28 jul. 2023.
- [122] ZAFALON, M. **Controversa, agricultura familiar abastece boa parte do Brasil**. Available at: <<https://www1.folha.uol.com.br/mercado/2023/07/controversa-agricultura-familiar-abastece-boa-parte-do-brasil.shtml>>. Accessed on: 31 jul. 2023.
- [123] ZELLER, H. **Brazil: Agriphotovoltaics in the village of the indigenous Pankará**. Available at: <<https://www.atmosfair.de/en/climate-protection-projects/solar-energy/brazil-agriphotovoltaics-in-the-village-of-the-indigenous-pankara/>>.

[www.energypartnership.com.br](http://www.energypartnership.com.br)