



## Implantação de um sistema fotovoltaico *off grid* em casa de vegetação para produção hidropônica

Mairton Gomes da Silva<sup>1\*</sup> , Hans Raj Gheyi<sup>2</sup> , Luan Silva Sacramento<sup>3</sup> , Glaucia Silva de Jesus Pereira<sup>4</sup> 

### RESUMO

A hidroponia é uma técnica de cultivo que se consolidou nos últimos anos, especialmente por necessitar de pequenas áreas para implantação, bem como de menores volumes de água para manutenção da produção em relação ao cultivo tradicional em solo. O principal sistema hidropônico empregado comercialmente é o NFT (técnica do filme laminar de nutrientes), o qual é altamente dependente de energia elétrica para o bombeamento das soluções nutritivas até as bancadas de cultivo. Nesse sentido, soluções sustentáveis para geração de energia têm sido adotadas, a exemplo da energia solar. Portanto, o presente estudo constitui-se da implantação de um sistema fotovoltaico em casa de vegetação para produção hidropônica, localizada na área experimental do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola (PPGEA) da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia (UFRB), Cruz das Almas, Bahia. O sistema fotovoltaico foi dimensionado para suprir a demanda energética simultânea de seis bombas submersas de aquário (15 W cada), distribuídas em seis estruturas de produção independentes. O sistema fotovoltaico *off grid* (energia solar armazenada em baterias) foi projetado para operar em 12 V. Para avaliação da autossuficiência da produção hidropônica usando energia solar, foram realizados quatro ciclos completos de cultivo de alface (46 dias de operação contínua) em duas bancadas hidropônicas distintas (cultivo em telhas e em canais hidropônicos). O custo total para implantação do sistema fotovoltaico foi de R\$ 1.799,09, envolvendo materiais como: painel solar de 150 W, inversor de energia de 1000 W – 12 V/110 V, controlador de carga 20 A, duas baterias estacionárias (uma de 30 Ah e outra de 70 Ah), além de fios e disjuntores. O sistema fotovoltaico demonstrou plena capacidade de suprimento energético durante todo o período experimental de 46 dias, atendendo continuamente às demandas do cultivo hidropônico de alface. O tempo total de operação das bombas atingiu 141 h e 50 min durante o experimento (regime diário de 3 h e 5 min). Sob cultivo em telhas, registraram-se maiores produções de biomassa fresca da parte aérea, da ordem de 381,41; 233,76; 272,96 e 240,93 g planta<sup>-1</sup> (referentes às quatro colheitas sequenciais). Esses valores foram superiores em 32, 15, 29 e 23% em relação ao cultivo em canais hidropônicos tradicionais. Portanto, pode-se concluir que, a integração entre cultivo NFT em telhas e energia solar, são soluções que podem ser adotadas por pequenos produtores hidropônicos em áreas sem energia ou que ocorram frequentes falhas em seu suprimento.

**Palavras-chave:** Autonomia energética, Cultivo sem solo, Energia renovável, NFT em telhas, Soluções sustentáveis.

## Implementation of an off-grid photovoltaic system in a greenhouse for hydroponic production

### ABSTRACT

Hydroponics has emerged as a well-established cultivation technique in recent years, particularly due to its smaller installation area requirements and reduced water consumption compared to traditional soil-based cultivation. Among hydroponic methods, the NFT (Nutrient Film Technique) is the most widely adopted in commercial production. However, its operation relies heavily on electricity to pump nutrient solutions to the cultivation benches. In this context, solar power has been used as a sustainable energy solution to address this dependency. Thus, this study aims to implement a photovoltaic system for powering a hydroponic production greenhouse

<sup>1</sup> Doutorado em Engenharia Agrícola pela Universidade Federal do Recôncavo da Bahia (UFRB). Professor Visitante na UFRB, Cruz das Almas, Bahia, Brasil. \* Autor correspondente: [mairtong@hotmail.com](mailto:mairtong@hotmail.com).

<sup>2</sup> Doutorado em Ciências Agrônomicas pela Université Catholique de Louvain (UCLouvain). Professor aposentado da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), Campina Grande, Paraíba, Brasil.

<sup>3</sup> Graduando em Agronomia pela Universidade Federal do Recôncavo da Bahia (UFRB), Cruz das Almas, Bahia, Brasil..

<sup>4</sup> Graduanda em Engenharia Florestal pela Universidade Federal do Recôncavo da Bahia (UFRB), Cruz das Almas, Bahia, Brasil.



located in the experimental area of the Postgraduate Program in Agricultural Engineering (PPGEA) at the Federal University of Recôncavo da Bahia (UFRB), Cruz das Almas, Bahia, Brazil. The photovoltaic system was designed to meet the simultaneous energy demand of six submersible aquarium pumps (15 W each), distributed across six independent production units. This off-grid solar system (with battery storage) operates at a 12 V DC nominal voltage. To evaluate the energy self-sufficiency of the solar-powered hydroponic production, four complete lettuce cultivation cycles (46 days of continuous operation) were conducted using two distinct hydroponic systems: a roof sheet-based cultivation and conventional hydroponic channels. The total implementation cost for the photovoltaic system was of R\$1,799.09, including the following components: 150 W solar panel, 1000 W power inverter (12 V DC to 110 V AC), 20 A charge controller, two deep-cycle batteries (30 Ah and 70 Ah), electrical wiring, and a circuit breaker. The photovoltaic system demonstrated full energy autonomy throughout the 46-day experimental period, continuously meeting all power demands for hydroponic lettuce cultivation. Total pump runtime reached 141 h 50 min, maintaining a consistent daily operational cycle of 3 h and 5 min. The roof sheet-based cultivation system demonstrated significantly greater fresh shoot biomass production across four successive harvest cycles, with yields of 381.41, 233.76, 272.96, and 240.93 g plant<sup>-1</sup> for the four sequential harvests, respectively. These values represent yield increases of 32, 15, 29, and 23% compared to traditional hydroponic channels. Therefore, this study demonstrates that integration of roof sheet-based NFT cultivation with solar energy constitutes an effective solution for small-scale hydroponic farmers, particularly in areas where electrical energy is not available or presents frequent failures in supply.

**Keywords:** Energy autonomy, Soilless cultivation, Renewable energy, NFT in roof sheet, Sustainable solutions.

## **Implementación de un sistema fotovoltaico off grid en un invernadero para producción hidropónica**

### **RESUMEN**

La hidroponía es una técnica de cultivo que ha cobrado mayor popularidad en los últimos años, especialmente porque requiere de pequeñas áreas para su instalación, así como menores volúmenes de agua para mantener la producción en comparación con el cultivo tradicional en suelo. El principal sistema hidropónico utilizado comercialmente es el NFT (técnica de película de nutrientes), que depende en gran medida de la energía eléctrica para bombear soluciones nutritivas a los bancos de cultivo. En este sentido, se han adoptado soluciones sostenibles para la generación de energía, como la energía solar. Por tanto, el presente estudio consiste en la implementación de un sistema fotovoltaico en un invernadero para producción hidropónica, ubicado en el área experimental del Programa de Postgrado en Ingeniería Agrícola (PPGEA) de la Universidad Federal del Recôncavo da Bahia (UFRB), Cruz das Almas, Bahia. El sistema fotovoltaico fue diseñado para abastecer la demanda energética simultánea de seis bombas sumergibles para acuarios (15 W cada una), distribuidas en seis estructuras de producción independientes. El sistema fotovoltaico off grid (energía solar almacenada en baterías) fue diseñado para operar a 12 V. Para evaluar la autosuficiencia de la producción hidropónica utilizando energía solar, se realizaron cuatro ciclos completos de cultivo de lechuga (46 días de operación continua) en dos encimeras hidropónicas diferentes (cultivo en tejas y en canales hidropónicos). El costo total para la implementación del sistema fotovoltaico fue de R\$ 1.799,09, involucrando materiales como: panel solar de 150 W, inversor de potencia de 1000 W – 12 V/110 V, controlador de carga de 20 A, dos baterías estacionarias (una de 30 Ah y otra de 70 Ah), además de cables y disyuntores. El sistema fotovoltaico demostró plena capacidad de suministro de energía durante el período experimental de 46 días, satisfaciendo continuamente las demandas del cultivo hidropónico de lechuga. El tiempo total de funcionamiento de la bomba alcanzó 141 h y 50 min durante el experimento (régimen diario de 3 h y 5 min). En cultivo en teja se registró mayor producción de biomasa fresca de la parte aérea, del orden de 381,41; 233,76; 272,96 y 240,93 g planta<sup>-1</sup> en cuatro cosechas secuenciales. Estos valores fueron mayores superiores en 32, 15, 29 y 23% en comparación con el cultivo en canales hidropónicos tradicionales. Por tanto, se puede concluir que la integración entre el cultivo NFT en tejas y la energía solar son soluciones que pueden ser adoptadas por los pequeños productores hidropónicos, donde la energía eléctrica no está disponible o presenta frecuentes fallas en el suministro.

**Palabras clave:** Autonomía energética, Cultivo sin suelo, Energía renovable, NFT en tejas, Soluciones sostenibles.

## **INTRODUÇÃO**

Os sistemas de produção agrícola enfrentam desafios crescentes devido aos efeitos adversos das mudanças climáticas, que têm afetado a disponibilidade de solos agricultáveis e os recursos hídricos. Diante desse cenário, torna-se essencial adotar sistemas de produção sustentáveis e eficientes, capazes de se adaptar a essas limitações. A hidroponia surge como





uma alternativa viável, consistindo no cultivo de plantas sem o uso do solo, por meio de soluções nutritivas (água enriquecida com sais minerais essenciais). Esse método demanda um volume significativamente menor de água em comparação ao cultivo tradicional em solo, além de permitir maior controle sobre o fornecimento de nutrientes e condições de crescimento (Silva *et al.*, 2020a; Silva *et al.*, 2023a; Silva *et al.*, 2024a).

Diferentes técnicas podem ser utilizadas no cultivo sem solo, como o cultivo direto em soluções nutritivas ou em substratos que servem de suporte para o sistema radicular das plantas (Silva *et al.*, 2024a). No entanto, um dos principais desafios enfrentados pelos produtores hidropônicos é o aquecimento das soluções nutritivas durante os períodos mais quentes do ano, o que pode favorecer o surgimento de doenças radiculares; consequentemente, comprometendo a produção (Silva *et al.*, 2020b; Silva *et al.*, 2022; Oliveira *et al.*, 2023; Silva *et al.*, 2024bc).

O principal sistema hidropônico empregado comercialmente é o NFT (técnica do filme laminar de nutrientes). Nesse sistema, as plantas são cultivadas em canais de cultivo, que podem ser específicos para hidroponia ou adaptados a partir de tubulações, como tubos de irrigação (geralmente na cor azul) ou tubos de esgoto sanitário doméstico (na cor branca). Em muitas regiões, especialmente no Nordeste brasileiro, os canais hidropônicos comerciais não estão facilmente disponíveis para compra. Frequentemente, esses canais precisam ser adquiridos nas regiões Sul e Sudeste do Brasil, o que torna a aquisição inviável devido aos custos elevados com frete. Diante disso, os produtores locais têm adaptado a hidroponia utilizando tubulações de irrigação, material que muitas vezes já está disponível em suas propriedades. De acordo com Silva *et al.* (2023a), os canais hidropônicos confeccionados a partir de tubos de irrigação estão sujeitos a uma maior incidência de radiação solar, o que favorece a troca de calor com a solução nutritiva.

Para solucionar esses problemas, o cultivo em telhas de fibrocimento tem se mostrado uma alternativa viável, oferecendo benefícios como menor custo em comparação à aquisição de canais hidropônicos comerciais e melhor conforto térmico para as plantas. Isso ocorre devido a forma com que a estrutura é confeccionada. Por exemplo, para sustentação das plantas nas telhas, utiliza-se lona plástica dupla face com a parte branca voltada para cima, o que impede a incidência direta de radiação solar sobre a solução nutritiva.

Outro fator que compromete a produção na hidroponia NFT é a dependência do fornecimento contínuo de energia elétrica. Isso porque, as bancadas de cultivo são instaladas com uma determinada declividade. Como resultado, durante o período em que o sistema está em repouso, ocorre um déficit hídrico na zona radicular das plantas, que só é suprido no próximo evento de aplicação da solução nutritiva (Silva *et al.*, 2024ab). Dessa forma, a





produção em sistemas de hidroponia NFT é altamente dependente do fornecimento contínuo de energia elétrica, tornando-se bastante suscetível a perdas em caso de interrupções no suprimento de energia.

Com o avanço da energia solar, esse tipo de sistema tem sido cada vez mais adotado em empreendimentos agrícolas (Silva *et al.*, 2017; Pereira; Mendes, 2019; Aira *et al.*, 2021; Waller *et al.*, 2021; Andrade *et al.*, 2022; Coşgun *et al.*, 2024; Santos *et al.*, 2024; Gholami *et al.*, 2025), incluindo instalações hidropônicas (Bassi *et al.*, 2019; Silva, 2022; Cossu *et al.*, 2023; Karim *et al.*, 2023; Sousa *et al.*, 2023; Sudarso *et al.*, 2023; Asgari *et al.*, 2024; Ghasemi-Mobtaker *et al.*, 2024; Lachheb *et al.*, 2024; Zhang *et al.*, 2025), como uma solução sustentável e eficiente para garantir o fornecimento contínuo de energia. Portanto, mesmo um pequeno produtor, ao investir em um sistema de produção hidropônica, deve considerar a viabilidade de integrar energia solar ao projeto, assegurando assim uma produção mais sustentável e reduzindo riscos associados a instabilidades no fornecimento de energia. Assim, estudos que avaliem os custos de implantação da energia solar são essenciais para o segmento da produção hidropônica, pois permitem uma análise mais precisa da viabilidade econômica e dos benefícios a longo prazo dessa integração.

Diante do exposto, o presente trabalho teve como objetivo implantar um sistema de energia solar em uma casa de vegetação para produção hidropônica, com o intuito de promover a sustentabilidade e a eficiência energética nesse setor. Portanto, a implantação do sistema viabilizará o cultivo hidropônico em locais sem acesso à energia elétrica e garantirá segurança produtiva em áreas com fornecimento energético instável.

## **METODOLOGIA**

### **Local da pesquisa**

O sistema fotovoltaico off grid foi instalado em uma casa de vegetação sob condições não controladas (com iluminação natural), protegida nas laterais por telas de sombreamento a 70% e coberta com filme plástico transparente de polietileno de 150 µm. A casa de vegetação, com dimensões de 7,0 m de largura por 24 m de comprimento, possui um pé direito de 2,5 m construído com madeira de eucalipto tratado. A estrutura é complementada por um arco metálico, que eleva a altura total da construção para 4,5 m. Na altura do pé direito, foi instalada uma tela termorefletora (aluminizada). As instalações pertencem ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola (PPGEA) da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia (UFRB), Cruz das Almas, Bahia. Essa casa de vegetação, especificamente voltada para fins didáticos, conta com diversos sistemas hidropônicos instalados em condições produtivas,





destinados a suprir demandas internas e externas. Além disso, o espaço é utilizado para visitas e minicursos, promovendo a disseminação de conhecimento prático sobre o cultivo hidropônico.

### **Descrição dos sistemas hidropônicos**

O sistema fotovoltaico foi projetado para atender às diversas demandas energéticas das bancadas de cultivo, que operam de forma independente, bem como de outras estruturas, como do tipo vertical (formato de pirâmide) e berçários para produção de mudas. Em todas essas estruturas, foi usado o sistema hidropônico NFT (técnica do filme laminar de nutrientes). Com exceção da estrutura do tipo vertical, as telhas ou canais hidropônicos comerciais foram suportadas por cavaletes feitos de tubos de PVC com 50 mm de diâmetro, espaçados a cada 1,00 m. Esse arranjo garantiu uma declividade da bancada de 6,0%. A estrutura vertical foi construída em madeira, com os canais de cultivo confeccionados a partir de tubos de irrigação de PVC com 75 mm de diâmetro, ajustados para uma declividade de 4,0%.

Em cada uma das estruturas, tanto nas horizontais quanto na vertical, foi utilizada uma bomba submersa de aquário (15 W) com vazão de 1000 L h<sup>-1</sup> (Sarlo Better, São Caetano do Sul, SP, Brasil) para bombear a solução nutritiva até os leitos de cultivo, seja na calha das telhas ou nos canais de cultivo.

#### ***Bancada em telhas***

A bancada foi construída com telhas de fibrocimento, medindo 2,44 × 1,10 m cada, totalizando uma dimensão de 10,00 × 1,10 m (Figura 1A). Sobre as telhas, foi instalada uma lona plástica dupla face, com a parte branca voltada para cima. Essa estrutura suporta o cultivo em seis calhas, com orifícios abertos para acomodar as plantas espaçados a cada 0,20 m entre as calhas e 0,35 m dentro de cada calha (profundidade de 0,05 m). Cada calha suporta o cultivo de 25 plantas, totalizando 150 plantas na estrutura completa.

#### ***Bancada em canais hidropônicos comerciais SB 80***

A bancada, com dimensões de 11,00 × 1,80 m (Figura 1B), suporta seis linhas de canais hidropônicos comerciais do tipo achatado (base de 80 mm) (Plásticos Schaefer Ind. e Com. Ltda., Novo Hamburgo, RS, Brasil), espaçadas a cada 0,35 m. Cada canal hidropônico, com 11,0 m de comprimento e orifícios espaçados a cada 0,25 m, possui capacidade para o cultivo de 40 plantas. Portanto, a bancada possui uma capacidade total de produção de 240 plantas.

#### ***Bancada em canais hidropônicos comerciais SB 150***

A bancada, com dimensões de 12,00 × 0,80 m (Figura 1C), suporta três linhas de canais hidropônicos comerciais do tipo achatado (base de 150 mm) (Plásticos Schaefer Ind. e Com.





Ltda., Novo Hamburgo, RS, Brasil), espaçadas a cada 0,25 m. Cada canal hidropônico, com 12,0 m de comprimento e orifícios espaçados a cada 0,40 m, possui capacidade para o cultivo de 30 plantas. Portanto, a bancada possui uma capacidade total de produção de 90 plantas.

**Figura 1** – Bancadas hidropônicas em telhas (A), canais de cultivo (B e C), estrutura vertical (D) e berçários para produção de mudas usando espuma fenólica (E) e substrato de fibra de coco (F).



Fonte: Dos autores.





### ***Estrutura vertical***

Essa estrutura em formato de pirâmide suporta oito canais hidropônicos, sendo quatro de cada lado (Figura 1D). Confeccionados com tubos de irrigação com 75 mm de diâmetro, cada canal possui 3,0 m de comprimento e orifícios espaçados a cada 0,20 m, totalizando 15 orifícios por canal. Dessa forma, a estrutura tem capacidade para produzir até 120 plantas. Esse espaçamento é ideal para o cultivo de plantas de menor porte, como coentro e rúcula.

### ***Berçários para produção de mudas***

Foram construídos dois berçários distintos, um para acomodar as mudas produzidas em espuma fenólica e o outro para aquelas cultivadas em substrato. A bancada foi construída com telhas de plástico, medindo  $2,44 \times 0,50$  m cada. No berçário destinado às mudas produzidas em espuma fenólica, a bancada teve uma dimensão total de  $2,44 \times 0,95$  m (Figura 1E). Sobre as telhas, foi instalada uma lona plástica dupla face, com a parte branca voltada para cima. Essa estrutura suporta o cultivo em 12 calhas, com orifícios abertos, para acomodar as mudas, espaçados a cada 0,08 m entre as calhas e 0,10 m dentro de cada calha (profundidade de 0,021 m). Cada calha suporta o cultivo de 22 mudas, totalizando 275 mudas na estrutura completa. Para o berçário destinado às mudas produzidas em substrato (Figura 1F), foi usada apenas uma telha, coberta com lona plástica dupla face (parte branca voltada para cima). Nessa bancada, o substrato é umedecido por capilaridade.

### ***Preparo e manejo das soluções nutritivas***

Tanto para o preparo das soluções nutritivas quanto para a reposição do consumo hídrico das plantas, foi utilizada água de abastecimento (condutividade elétrica – CEa de  $0,3 \text{ dS m}^{-1}$ ).

Para o fornecimento das soluções nas bancadas com telhas e com canais comerciais (base de 80 mm), foram utilizados reservatórios independentes, cada um com capacidade para 1000 L. No entanto, foi adotado um volume de 1,0 L de solução nutritiva por planta. Para ajustar os volumes necessários, os reservatórios foram equipados com torneiras-boia, permitindo a regulagem para 150 e 240 L nas bancadas com telhas e com canais de cultivo, respectivamente. Nessas duas bancadas acompanharam-se quatro ciclos de produção da alface. Para repor o consumo hídrico das plantas, o reservatório contendo a solução nutritiva foi conectado a um reservatório de abastecimento com capacidade para 180 L. Dessa forma, à medida que as plantas consumiam a solução, a água era automaticamente repostada no reservatório principal, mantendo o volume necessário de solução nutritiva. Os reservatórios de abastecimento foram equipados com uma régua graduada, fixada ao lado de uma mangueira transparente, para permitir a leitura precisa do nível da água. Essa configuração facilitou o monitoramento do





volume de água consumido diariamente pelas plantas. Posteriormente, com base nas variações observadas no nível da água, foi possível calcular o consumo hídrico ao longo do ciclo do cultivo.

Tanto na bancada com canais comerciais com base de 150 mm quanto na estrutura vertical, de forma independente, foram utilizados dois reservatórios interligados de 100 L cada. A reposição do consumo hídrico das plantas foi realizada de maneira automática (controlando o nível da água com torneira-boia), conectando-se os reservatórios diretamente à rede de abastecimento local. As disponibilidades de soluções por planta foram de 1,5 e 2,0 L sob cultivo na estrutura vertical e na bancada com canais, respectivamente. No berçário de produção de mudas, foi utilizado um reservatório com capacidade para 60 L, sendo o volume efetivamente usado de 50 L.

A formulação da solução nutritiva utilizada para macronutrientes foi baseada na proposta de Furlani *et al.* (1999) para hortaliças folhosas. Já os micronutrientes e o ferro (13% Fe-EDTA) foram fornecidos pelos compostos Micromix® e GeoQuel® (Rigrantec Tecnologias para Sementes e Plantas Ltda., Porto Alegre, RS, Brasil) nas quantidades de 25 e 16 mg L<sup>-1</sup>, respectivamente. Para os macronutrientes, foram fornecidas as seguintes quantidades (mg L<sup>-1</sup>): 750 de nitrato de cálcio, 500 de nitrato de potássio, 150 de fosfato monoamônico (MAP) e 400 de sulfato de magnésio. Essa formulação, após o preparo, apresenta uma CE de 2,0 dS m<sup>-1</sup>. A solução com essa concentração foi utilizada em todas as bancadas e na estrutura vertical. No entanto, no berçário de produção de mudas, foi utilizada uma concentração de 50%, com a CE ajustada para 1,0 dS m<sup>-1</sup>. Como nessas estruturas há uma produção contínua, os níveis de CE das soluções eram periodicamente monitorados. Como critério, quando a CE atingia valores em torno de 1,0 dS m<sup>-1</sup>, era adicionada nos reservatórios uma solução concentrada para retornar a CE ao valor de 2,0 dS m<sup>-1</sup>. No caso do berçário de produção de mudas usando espuma fenólica, quando a CE atingia aproximadamente 0,5 dS m<sup>-1</sup>, ocorria a reposição com solução concentrada para retornar a uma CE de 1,0 dS m<sup>-1</sup>.

### **Condução dos cultivos**

Por 46 dias consecutivos (sem interrupções), os cultivos foram realizados. Nas bancadas com telhas e canais comerciais com base de 80 mm, cultivou-se alface com o objetivo de avaliar o desempenho dessa espécie nessas estruturas. As mudas de alface do grupo varietal crespa cv. ‘Jade’ (Sakata Seed Sudamerica Ltda., Bragança Paulista, SP, Brasil) foram produzidas em espuma fenólica Seicho® (pH = 4,3 e CE = 0,2 dS m<sup>-1</sup>, em célula de 2 × 2 × 2 cm) (Mizu Indústria e Comércio de Produtos Ornamentais e Agrícolas, Holambra, SP, Brasil). A produção





foi dividida por bancada em quatro partes, permitindo a colheita semanal. Para garantir a reposição contínua, mudas foram produzidas toda semana, seguindo o planejamento detalhado na Tabela 1.

**Tabela 1** – Planejamento de semeio e colheita da alface.

| Semeio     | Berçário   | Transplântio | Colheita   |
|------------|------------|--------------|------------|
| 06/02/2025 | 08/02/2025 | 24/02/2025   | 21/03/2025 |
| 13/02/2025 | 15/02/2025 | 03/03/2025   | 28/03/2025 |
| 21/02/2025 | 24/02/2025 | 11/03/2025   | 05/04/2025 |
| 28/02/2025 | 05/03/2025 | 18/03/2025   | 12/04/2025 |

**Fonte:** Elaboração pelos autores.

Na bancada com canais comerciais com base de 150 mm, foram cultivados hortelã, manjeriço e pimenta. As mudas de manjeriço e pimenta foram produzidas a partir de sementes, enquanto as de hortelã foram obtidas por meio de estaquia. Para isso, estacas (ramos) foram retiradas de plantas adultas cultivadas em sistema hidropônico; em seguida, colocadas para enraizar em espuma fenólica. Após o enraizamento, as mudas foram transferidas para o mesmo berçário utilizado para produção das mudas de alface.

No caso da estrutura vertical, foram conduzidos cultivos de coentro e rúcula. A produção das mudas de coentro foi realizada em copos plásticos de 80 mL, preenchidos com substrato de fibra de coco ‘Golden Mix’ ( $\text{pH} = 6,0 \pm 0,3$  e  $\text{CE} = 1,2 \pm 0,6 \text{ dS m}^{-1}$ ) (Amafibra Ltda., Artur Nogueira, SP, Brasil). Após o semeio, os copos foram dispostos em um berçário, onde receberam irrigações exclusivamente com água. Esse processo foi mantido desde a semeadura até o transplântio, por um período de 10 dias. A rúcula foi semeada em espuma fenólica; posteriormente, dispondo-se no mesmo berçário utilizado para a produção das mudas de alface.

### Dimensionamento do sistema fotovoltaico

Inicialmente, foi realizado um levantamento detalhado para atender a todas as demandas energéticas necessárias ao funcionamento das bombas responsáveis pelo bombeamento das soluções nutritivas até as bancadas de cultivo. Já estavam instaladas e em pleno funcionamento seis bombas submersas de 15 W, com o sistema projetado para permitir uma ampliação futura de bombas desse mesmo modelo.

### Cálculo da demanda energética diária

Corresponde ao número de bombas (NB) alimentadas pelo sistema, multiplicado pela potência de cada bomba (Pot, W) e pelo número de horas de funcionamento diário (NHF, h), conforme descrito na Equação 1. O NHF correspondeu à programação estabelecida para a aplicação das soluções nutritivas nas estruturas de cultivo. Pela sua praticidade e facilidade de





uso, os temporizadores analógicos são amplamente utilizados por pequenos produtores hidropônicos. No entanto, uma limitação desses equipamentos é a capacidade de programação, que permite apenas intervalos de 15 min para a aplicação das soluções nutritivas. Por essa razão, a programação mais comum adotada pelos produtores é de ciclos de 15 min de aplicação seguidos de 15 min de repouso durante o dia. Já durante a noite, as aplicações são realizadas em intervalos mais espaçados, por exemplo, a cada 2, 3 ou 4 h (Silva *et al.*, 2023a; Silva *et al.*, 2024bc). Portanto, não há necessidade de aplicações durante o período noturno. Dessa forma, o NHF foi calculado em 7 h e 15 min, consistindo em ciclos de 15 min de aplicação seguidos de 15 min de repouso, entre 6:00 h e 18:00 h.

$$\text{Demanda energética (Wh)} = \text{NB} \times (\text{Pot, W}) \times \text{NHF} \quad (1)$$

Considerando o número de seis bombas em operação simultânea, cada uma com potência nominal de 15 W, e um tempo de funcionamento diário de 7 h e 15 min, a demanda energética total do sistema foi calculada em 652,5 Wh dia<sup>-1</sup>.

#### ***Dimensionamento do banco de baterias***

O banco de baterias deve ser dimensionado para garantir uma autonomia adequada, ou seja, o sistema deve ser capaz de funcionar sem insolação por um período que pode variar de um a três dias. A tensão do sistema (TS) adotada foi de 12 V. Dessa forma, a capacidade necessária do banco de baterias foi calculada conforme a Equação 2.

$$\text{Capacidade da bateria (Ah)} = \frac{\text{DEP} \times \text{autonomia}}{\text{TS} \times \text{profundidade de descarga}} \quad (2)$$

Considerando que o sistema será responsável por fornecer energia às bombas de forma intercalada durante o dia, adotou-se um período de autonomia de 12 h. Essa configuração permite uma redução na corrente elétrica necessária do banco de baterias. Além disso, a bateria selecionada possui uma profundidade de descarga de 20%, o que significa que apenas 20% da sua capacidade total será utilizada regularmente, prolongando sua vida útil e garantindo maior confiabilidade ao sistema. Após os cálculos realizados, determinou-se que a capacidade necessária do banco de baterias foi de 135,9 Ah. Para atender a essa demanda, optou-se pela utilização de duas baterias estacionárias Freedom® (Gigantec Comércio Eletrônico Ltda., Pinhais, PR, Brasil), uma com capacidade de 30 Ah e outra com 70 Ah, conectadas em paralelo.





### **Seleção do painel solar**

Foi utilizado um painel solar modelo RS6E-150P com potência de 150 W (36 células, tensão e corrente de máxima potência de 17,91 V e 8,38 A, respectivamente) (Resun Solar Energy Co., Ltd., Changzhou, China). Conforme o fabricante, esse painel pode gerar até 900 Wh dia<sup>-1</sup> para um dia com 6 horas de sol.

### **Dimensionamento do controlador de carga**

Com base na potência do painel e na tensão de operação do sistema, a corrente elétrica do controlador de carga foi calculada utilizando a Equação 3.

$$\text{Corrente (A)} = \frac{\text{Potência do painel}}{TS} \quad (3)$$

Baseado na potência do painel solar de 150 W e com operação do sistema em 12 V, calculou-se a corrente elétrica de 12,5 A. Assim, foi selecionado um controlador de carga PWM de 20 A (Knap<sup>®</sup> Importação e Exportação Ltda., São Paulo, SP, Brasil).

### **Escolha do inversor**

Considerando a possibilidade de futuras ampliações do sistema, optou-se pela aquisição de um inversor com capacidade nominal de 1000 W Leboss<sup>®</sup> (potência de pico de 2000 W) para converter 12 V da bateria para 110 V (Knap<sup>®</sup> Importação e Exportação Ltda., São Paulo, SP, Brasil).

Na Tabela 2 é apresentado um resumo dos resultados dos cálculos envolvidos no dimensionamento do sistema fotovoltaico.

**Tabela 2** – Resultados dos cálculos envolvidos no dimensionamento do sistema fotovoltaico.

| Parâmetros                                 | Valor/unidade              |
|--------------------------------------------|----------------------------|
| Demanda energética diária                  | 652,5 Wh dia <sup>-1</sup> |
| Capacidade necessária do banco de baterias | 135,9 Ah                   |
| Corrente elétrica do controlador de carga  | 12,5 A                     |

Fonte: Elaboração pelos autores.

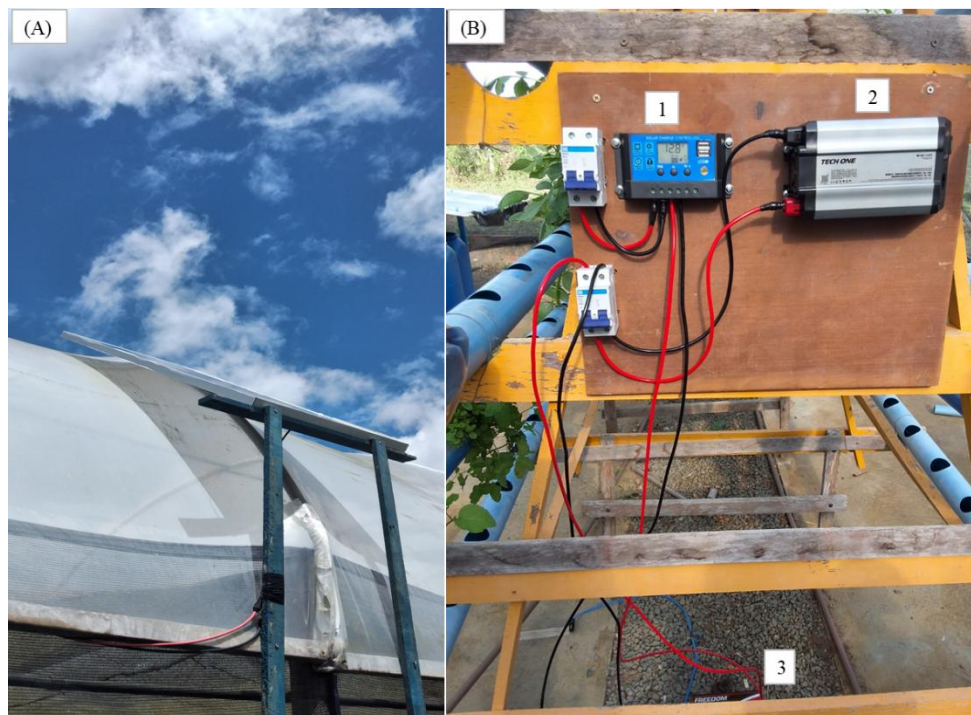
### **Instalação do sistema fotovoltaico**

O painel solar foi instalado sobre a estrutura do arco da casa de vegetação (no sentido norte e uma inclinação de 30°). Para reduzir os custos com fiação, o sistema (composto por controlador de carga, conversor e banco de baterias) foi fixado diretamente na estrutura da hidroponia vertical (Figura 2). Para garantir maior segurança ao sistema, foram instalados disjuntores para controlar a energia proveniente do painel solar, bem como entre o banco de baterias e o conversor.





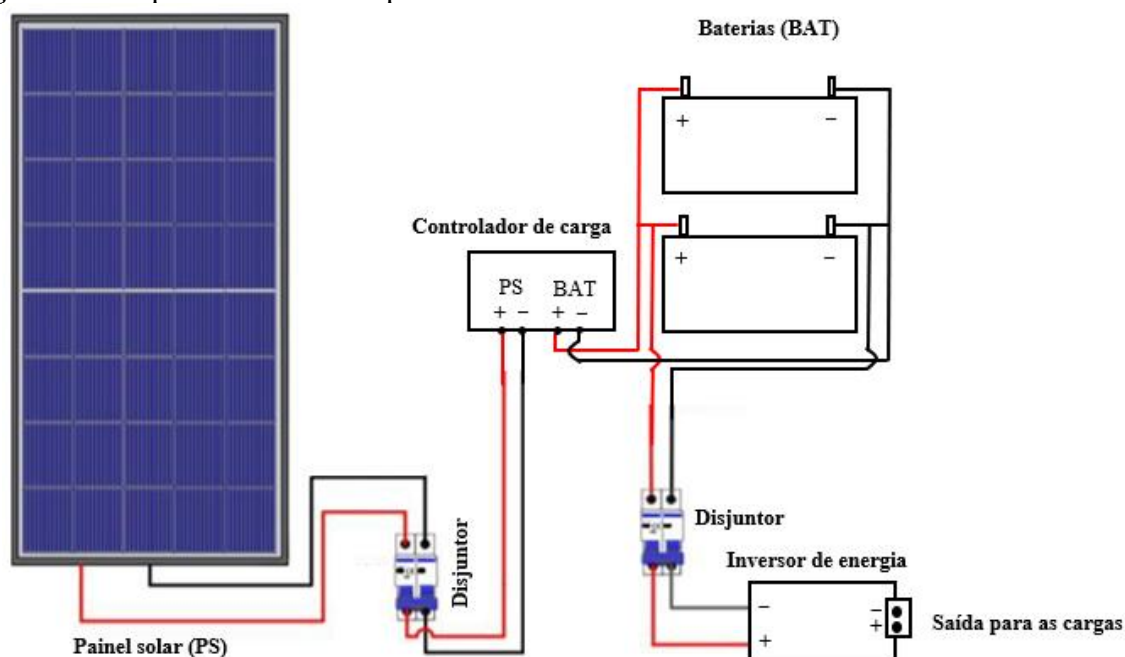
**Figura 2** – Disposição do painel solar sobre a casa de vegetação (A) e os componentes do sistema fotovoltaico (B). 1 – controlador de carga, 2 – inversor de energia e 3 – banco de baterias.



Fonte: Dos autores.

A Figura 3 apresenta o esquema elétrico simplificado do sistema, visando facilitar a compreensão do processo de montagem e dos componentes envolvidos.

**Figura 3** – Esquema elétrico simplificado do sistema.



Fonte: Dos autores.





## **Programação de aplicação das soluções nutritivas e dados no interior da casa de vegetação**

Diferentemente do que foi planejado no dimensionamento do sistema fotovoltaico, que previa um tempo de funcionamento diário das bombas de 7 h e 15 min para emprego de temporizador analógico; na prática, optou-se por uma programação alternativa. Para isso, o controle do acionamento das bombas foi realizado usando um módulo relé de canal único de 30 A, o qual foi conectado a um Arduino Uno. Com o uso desse dispositivo, foi possível programar intervalos de aplicação e repouso personalizados, diferentemente dos ciclos fixos de 15 min comumente empregados nos temporizadores analógicos. Portanto, a programação adotada consistiu em ciclos de 5 min de aplicação da solução nutritiva, intercalados com 15 min de repouso, totalizando 3 h e 5 min de funcionamento ao longo do período das 6:00 h às 18:00 h.

Além do módulo relê, sensores DS18B20 foram integrados ao Arduino Uno para monitorar continuamente as temperaturas das soluções nutritivas nos reservatórios da estrutura hidropônica vertical, bem como nas bancadas em telhas e tubos sob cultivo da alface. Em cada uma das três estruturas, foram instalados módulos de sensor DHT11 para o monitoramento da temperatura do ar e da umidade relativa, além de módulos de sensor de luz BH1750-FVI para a medição da luminosidade no interior da casa de vegetação. Todos esses sensores foram conectados ao mesmo Arduino Uno, garantindo a integração dos dados em um único sistema de controle. Os sensores DHT11 e de luz foram posicionados a uma altura de 2,0 m acima do nível do solo dentro da casa de vegetação. Ainda no Arduino Uno, foi acoplado um módulo shield datalogger, integrado a um relógio de tempo real (RTC, com funções de data, hora e calendário), responsável por registrar os dados coletados. Para o armazenamento dessas informações, utilizou-se um cartão de memória SDHC de 8 GB, onde as médias dos dados eram armazenadas em intervalos de 1 min. O Arduino Uno foi alimentado diretamente pela entrada USB de 5 V do controlador de carga do sistema fotovoltaico, garantindo o funcionamento contínuo e estável do sistema de monitoramento e coleta de dados.

## **Avaliações do crescimento das plantas de alface**

Durante um período de 46 dias, avaliou-se a capacidade do sistema fotovoltaico de sustentar a produção hidropônica de forma energeticamente autossuficiente. Para isso, foram conduzidos quatro ciclos de cultivo de alface, com colheitas semanais realizadas tanto nas bancadas com telhas quanto nos canais hidropônicos. Cada ciclo teve duração de 25 dias na estrutura hidropônica, sendo as colheitas realizadas nos dias 25 (primeira colheita), 32 (segunda colheita), 39 (terceira colheita) e 46 (quarta colheita), respectivamente. Em cada estrutura, nove





plantas foram selecionadas e colhidas para avaliação do diâmetro da copa da planta e produção de massa de matéria fresca da parte aérea. Simultaneamente, as demais plantas com a mesma idade de cultivo também eram colhidas, e, no mesmo dia, novas mudas eram transplantadas para os mesmos locais, garantindo a continuidade do cultivo e a manutenção do ciclo produtivo.

## ANÁLISES E RESULTADOS

### Custos para implantação do sistema fotovoltaico

O material empregado na implantação do sistema fotovoltaico é mostrado na Tabela 3. O custo total do sistema foi de R\$ 1.799,09, onde também é possível visualizar os custos por cada componente que compõe o sistema. Vale ressaltar que esse custo é relativo à região onde o sistema fotovoltaico será implantado; portanto, pode variar conforme o local de origem. No caso deste projeto, a maior parte dos materiais foi adquirida por meio de compras online, o que acabou elevando o valor total devido aos custos com frete, especialmente com as baterias. Dessa forma, recomenda-se que a compra de baterias seja feita localmente, a fim de reduzir os custos associados ao frete e, consequentemente, o valor total do sistema.

**Tabela 3** – Custo dos materiais usados para implantação do sistema fotovoltaico.

| Material                                                  | Quantidade | Valor unitário (R\$) | Valor total (R\$) |
|-----------------------------------------------------------|------------|----------------------|-------------------|
| Bateria estacionária Freedom DF300 12 V 30 Ah             | 1          | 385,60               | 385,60            |
| Bateria estacionária Freedom DF1000 12 V 70 Ah            | 1          | 603,33               | 603,33            |
| Painel solar 150 W policristalino Resun Solar - RS6E-150P | 1          | 290,32               | 290,32            |
| Inversor de energia 1000 W 12 V/110 V                     | 1          | 228,90               | 228,90            |
| Controlador de carga solar 20 A PWM 12 V/24 V             | 1          | 53,44                | 53,44             |
| Cabo Pv 6 mm com 8 m (ligação painel solar)               | 1          | 100,20               | 100,20            |
| Fio extra de 6 mm                                         | 14 m       | 5,45                 | 76,30             |
| Disjuntor bipolar                                         | 2          | 30,50                | 61,00             |
| <b>Total</b>                                              |            |                      | <b>1.799,09</b>   |

Fonte: Elaboração pelos autores.

Estudos dessa natureza ainda são escassos na literatura. Um exemplo relevante é o trabalho de Silva (2022), no qual foi projetado um sistema fotovoltaico para atender uma pequena bancada hidropônica. Nesse sistema, a energia gerada foi direcionada para o funcionamento de uma bomba de 12 V, operando na mesma tensão da bateria, o que eliminou a necessidade de um inversor de energia. Considerando apenas os custos dos componentes fotovoltaicos, como o painel solar e o controlador de carga, o investimento total foi de R\$





448,00. Para o armazenamento da energia gerada pelo painel solar, foi desenvolvido um sistema composto por três pilhas recarregáveis de 4,2 V conectadas em série, totalizando uma tensão de 12,6 V. No estudo de Brandão *et al.* (2018), foi desenvolvido um pequeno sistema hidropônico com capacidade para produção de 100 plantas, alimentado por energia fotovoltaica gerada por dois painéis solares de 75 W cada. No entanto, o trabalho não detalha os custos de implantação do sistema fotovoltaico, o que limita a análise econômica da viabilidade do projeto. Esse estudo demonstra a aplicabilidade da energia solar em sistemas hidropônicos de pequena escala.

No estudo realizado por Souza e Gimenes (2018), os autores avaliaram a viabilidade econômica da implantação de um sistema fotovoltaico para suprir as demandas energéticas de uma produção hidropônica composta por sete casas de vegetação, totalizando uma área interna de 2.475 m<sup>2</sup>, localizada no município de Dourados, Mato Grosso do Sul. Conforme os resultados, constatou-se que a implantação do projeto foi economicamente viável.

### Operação do sistema fotovoltaico

A adoção de sistemas fotovoltaicos em casas de vegetação para produção hidropônica tem ganhado espaço em diversas partes do mundo. Essa solução aumenta a confiabilidade da produção, reduzindo a dependência da rede elétrica e minimizando o risco de interrupções no fornecimento de energia. Dessa forma, tornou-se viável a integração de diversos componentes para o controle dos fatores que influenciam a produção em ambientes protegidos (Sangeetha *et al.*, 2020; Ogbolumani; Mabaso, 2023; Shaker *et al.*, 2023; Chua *et al.*, 2024; Marouani *et al.*, 2024).

No presente estudo, foram conduzidos quatro ciclos de cultivo de alface para avaliar a autossuficiência da hidroponia alimentada por energia solar. Cada ciclo de cultivo correspondeu a uma colheita semanal, totalizando 46 dias de operação do sistema fotovoltaico, que supriu uma demanda energética contínua de 141 h e 50 min. Esses cálculos foram baseados na programação diária de bombeamento da solução nutritiva, com ciclos operacionais de 5 min intercalados por intervalos de 15 min, totalizando 3 h e 5 min de funcionamento diário (no período das 6:00 h às 18:00 h).

Estrategicamente, esse sistema tem a capacidade para suprir uma outra casa de vegetação com estrutura hidropônica empregada para fins de pesquisa em caso de eventuais falhas no fornecimento de energia elétrica. Assim, garantindo a continuidade das atividades de pesquisa durante interrupções no fornecimento de energia elétrica. A estrutura da casa de vegetação compreende 32 canais hidropônicos (tubos de irrigação de 75 mm de diâmetro e 6 m de comprimento), abastecidos por oito reservatórios com as soluções nutritivas (cada um





suprindo quatro canais por meio de uma eletrobomba de 32 W). Cada canal hidropônico suporta o cultivo de até 20 plantas, totalizando 640 plantas. A estrutura ainda contempla um berçário para produção de mudas com capacidade para 600 unidades, seguindo a mesma metodologia de cultivo com espuma fenólica previamente descrita. Concomitantemente dentro do período de avaliação, foi conduzido um experimento também com alface na estrutura mencionada. Na fase de produção de mudas, ocorreu uma interrupção no fornecimento de energia elétrica que persistiu por três dias. Como medida emergencial, a eletrobomba (32 W) do berçário foi acoplada ao sistema fotovoltaico, mantendo-se nesta configuração por sete dias até o transplântio das mudas para o sistema hidropônico definitivo. No mesmo experimento, aos 10 dias de cultivo, ocorreu uma interrupção programada no fornecimento de energia elétrica, que durou todo o dia. Diante disso, as oito eletrobombas foram acopladas ao sistema fotovoltaico. Para evitar o consumo excessivo da carga do banco de baterias, as oito eletrobombas foram divididas em duas redes independentes, cada uma com quatro unidades. Dois novos módulos relé (canal único de 30 A) foram integrados ao Arduino Uno para controlar o acionamento das eletrobombas. Dessa forma, três redes operaram (uma original e duas novas) em horários distintos, mantendo a mesma programação de aplicação de 5 min de funcionamento intercalados com 15 min de repouso.

Portanto, o sistema fotovoltaico demonstrou capacidade não apenas de suprir as demandas energéticas de uma casa de vegetação para fins didáticos, mas também de sustentar estruturas com finalidades de pesquisa.

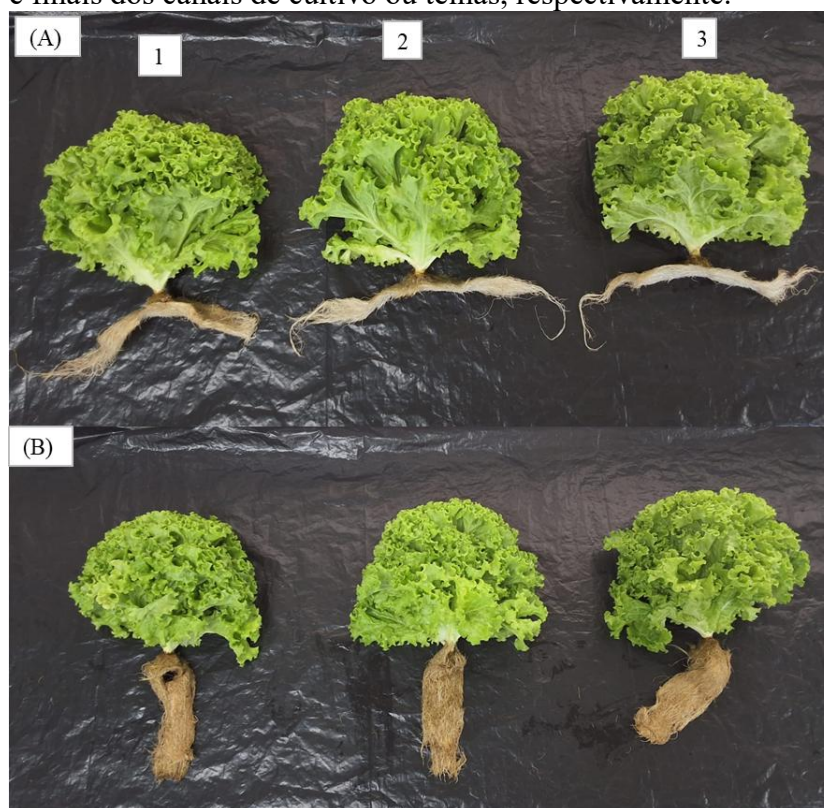
### **Produção da alface em hidroponia NFT em tubos e telhas**

Para comprovar a viabilidade do sistema fotovoltaico, avaliou-se a produção de alface no sistema hidropônico NFT (Nutrient Film Technique – técnica do filme laminar de nutrientes). Paralelamente, comparou-se o desempenho do cultivo em telhas com o sistema convencional de canais hidropônicos comerciais (Figura 4). Os resultados demonstraram que as plantas de alface cultivadas em telhas apresentaram diâmetros da copa estatisticamente maiores em comparação ao cultivo em canais, resultando em maior acúmulo de biomassa fresca da parte aérea (MFPA) (Tabela 4). Os valores de MFPA de 381,41; 233,76; 272,96 e 240,93 g planta<sup>-1</sup> (para as quatro colheitas sequenciais) foram aproximadamente 32, 15, 29 e 23% maiores, respectivamente, comparados com aqueles obtidos sob cultivo em telhas.





**Figura 4** – Plantas de alface cultivadas em hidroponia NFT em telhas (A) e em canais de cultivo (B), colhidas aos 25 dias após o transplante. 1, 2 e 3 – plantas colhidas nas posições iniciais, intermediárias e finais dos canais de cultivo ou telhas, respectivamente.



Fonte: Dos autores.

**Tabela 4** – Diâmetro da copa e produção de massa de matéria fresca (MFPA) da alface em hidroponia NFT em telhas e canais de cultivo. Em cada colheita, médias  $\pm$  desvio padrão ( $n = 9$ ) com letras distintas indicam diferenças significativas conforme o teste F ( $p < 0,05$ ).

| Colheita       | MFPA (g planta <sup>-1</sup> ) |                   | MFPA (g planta <sup>-1</sup> ) |                     |
|----------------|--------------------------------|-------------------|--------------------------------|---------------------|
|                | Telha                          | Canais de cultivo | Telha                          | Canais de cultivo   |
| 1 <sup>a</sup> | 42,89 $\pm$ 1,96a              | 38,22 $\pm$ 1,56b | 381,41 $\pm$ 20,28a            | 258,87 $\pm$ 25,66b |
| 2 <sup>a</sup> | 40,44 $\pm$ 1,59a              | 38,67 $\pm$ 1,00b | 233,76 $\pm$ 32,14a            | 199,09 $\pm$ 16,78b |
| 3 <sup>a</sup> | 39,78 $\pm$ 1,20a              | 38,00 $\pm$ 0,87b | 272,96 $\pm$ 35,59a            | 194,40 $\pm$ 18,48b |
| 4 <sup>a</sup> | 38,33 $\pm$ 1,00a              | 35,67 $\pm$ 1,22b | 240,93 $\pm$ 22,65a            | 185,31 $\pm$ 14,49b |

Fonte: Elaboração pelos autores.

Independentemente do tipo de estrutura de cultivo, as produções obtidas estão de acordo com outros estudos com a mesma cultivar de alface ‘Jade’ (Silva *et al.*, 2023b; Silva, 2023; Costa *et al.*, 2025). No primeiro estudo, a MFPA foi de aproximadamente 225 g planta<sup>-1</sup> sob cultivo em hidroponia floating por 20 dias. No segundo estudo, as produções de MFPA foram de 392 e 440 g planta<sup>-1</sup> na primavera e outono, respectivamente; enquanto Costa *et al.* (2025) registrou MFPA de 344 g planta<sup>-1</sup>. Nos últimos dois estudos, os cultivos foram realizados em hidroponia NFT em tubos, por 25 dias. Os estudos foram realizados também em Cruz das Almas





(BA), e tais resultados foram obtidos nos tratamentos controle (condutividade elétrica de 2,0 dS m<sup>-1</sup> da solução nutritiva de Furlani, preparada em água de abastecimento).

## CONCLUSÕES

Este trabalho foi estruturado em duas etapas: inicialmente, realizou-se o dimensionamento do sistema de energia solar, com a listagem de todos os materiais necessários e seus respectivos custos para a implantação em uma casa de vegetação destinada à produção hidropônica. Na segunda etapa, analisou-se a viabilidade energética do sistema fotovoltaico em seis estruturas hidropônicas, com validação comparativa usando duas bancadas em hidroponia NFT (técnica do filme laminar de nutrientes): cultivo em telhas e em canais.

O sistema fotovoltaico demonstrou plena capacidade de suprimento energético durante todo o período experimental de 46 dias (quatro ciclos de produção), atendendo continuamente às demandas do cultivo hidropônico de alface. O tempo total de operação das bombas atingiu 141 h e 50 min durante o experimento (regime diário de 3 h e 5 min). Sob cultivo em telhas, registraram-se maiores produções de biomassa fresca da parte aérea em relação ao cultivo em canais hidropônicos. Portanto, pode-se concluir que, a integração entre cultivo NFT em telhas e energia solar, são soluções que podem ser adotadas por pequenos produtores hidropônicos.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio financeiro recebido dos seguintes órgãos: Programa de Apoio à Pós-Graduação (PROAP) do primeiro autor (Processo 23007.00012151/2024-33), Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia em Agricultura Sustentável no Semiárido Tropical – INCTAgriS (Processo CNPq/INCT: 406570/2022-1), Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq (Processo 408511/2023-0) e do Instituto de Ciência, Inovação e Tecnologia do Estado da Bahia – Recursos Hídricos e Desenvolvimento Sustentável (INCITE Economia Verde: Edital INCITE N° 005/2022 – Pedido N° 4137/2022).

## REFERÊNCIAS

- AIRA, J.-R.; GALLARDO-SAAVEDRA, S.; EUGENIO-GOZALBO, M.; ALONSO-GÓMEZ, V.; MUÑOZ-GARCÍA, M.-Á.; HERNÁNDEZ-CALLEJO, L. Analysis of the viability of a photovoltaic greenhouse with semi-transparent amorphous silicon (a-Si) glass. *Agronomy*, v. 11, n. 6, p. 1097, 2021. DOI: <https://doi.org/10.3390/agronomy11061097>.
- ANDRADE, E. C.; TRINDADE, H. I.; OLIVEIRA, G. P.; CASTRO JÚNIOR, W. L.; GOMES NETO, J. J.; SILVA FILHO, R. N.; SILVA, Y. M.; SILVA, S. M. S. A. Análise de um sistema aquapônico utilizando placa solar fotovoltaica no município de Codó-MA.





**Brazilian Journal of Development**, v. 8, n. 3, p. 20558-20572, 2022. DOI: <https://doi.org/10.34117/bjdv8n3-319>.

ASGARI, N.; JAMIL, U.; PEARCE, J. M. Net zero agrivoltaic arrays for agrotunnel vertical growing systems: Energy analysis and system sizing. **Sustainability**, v. 16, n. 14, p. 6120, 2024. DOI: <https://doi.org/10.3390/su16146120>.

BASSI, R. E.; CRUZ, A. A.; SILVA, A.; TOGNOLLI, M. C. S.; COSTA, M. G. A utilização de energia solar para o desenvolvimento de uma proposta de horta hidropônica. In: II Encontro de Gestão e Tecnologia, 2019, São Paulo. **Anais...** São Paulo: Faculdade de Tecnologia da Zona Leste, 2019. Disponível em: [https://www.fateczl.edu.br/engetec/engetec\\_2019/2\\_ENGETEC\\_paper\\_71.pdf](https://www.fateczl.edu.br/engetec/engetec_2019/2_ENGETEC_paper_71.pdf). Acesso em: 26 fev. 2025.

BRANDÃO, L. W. R.; GOMES, A. C. P. C.; SILVA, L. R. S.; ARAÚJO, C. E.; SOUSA, D. B. V.; LEAL, J. E. C. Hidroponia com uso de energia solar - uma forma sustentável de produzir alimentos. In: IX Jornada de Iniciação Científica e Extensão, 2018, Palmas. **Anais...** Palmas, JICE do Instituto Federal do Tocantins, 2018. Disponível em: <https://propi.iftto.edu.br/ocs/index.php/jice/9jice/paper/viewFile/9246/4168>. Acesso em: 07 mar. 2025.

CHUA, W. F. D.; LIM, C. L.; KOH, Y. Y.; KOK, C. L. A novel IoT photovoltaic-powered water irrigation control and monitoring system for sustainable city farming. **Electronics**, v. 13, n. 4, p. 676, 2024. DOI: <https://doi.org/10.3390/electronics13040676>.

COŞGUN, A. E.; ENDIZ, M. S.; DEMIR, H.; ÖZCAN, M. Agrivoltaic systems for sustainable energy and agriculture integration in Turkey. **Heliyon**, v. 10, n. 11, p. e32300, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e32300>.

COSSU, M.; TILOCA, M. T.; COSSU, A.; DELIGIOS, P. A.; PALA, T.; LEDDA, L. Increasing the agricultural sustainability of closed agrivoltaic systems with the integration of vertical farming: A case study on baby-leaf lettuce. **Applied Energy**, v. 344, p. 121278, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2023.121278>.

COSTA, L. F.; AZEVEDO NETO, A. D.; SOARES, T. M.; SANTOS, I. L. N.; SILVA, M. G.; SILVA, P. V. S. R.; FERREIRA, W. J. O.; ROSARIO, A. S. Produtividade e tolerância salina da alface e da rúcula em diferentes sistemas hidropônicos com águas salobras. **Water Resources and Irrigation Management**, v. 14, n. 1-3, p. 88-108, 2025. DOI: <https://doi.org/10.19149/wrim.v14i1-3.5255>.

FURLANI, P. R.; SILVEIRA, L. C. P.; BOLONHEZI, D.; FAQUIN, V. **Cultivo hidropônico de plantas**. Campinas: Instituto Agrônômico, 1999. 52p. (Boletim Técnico, 180).

GHASEMI-MOBTAKER, H.; ATAIEE, F. S.; AKRAM, A.; KAAB, A. Feasibility study of using photovoltaic cells for a commercial hydroponic greenhouse: Energy analysis and life cycle assessment. **e-Prime - Advances in Electrical Engineering, Electronics and Energy**, v. 8, p. 100597, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.prime.2024.100597>.

GHOLAMI, M.; AREFI, A.; HASAN, A.; LI, C.; MUYEEN, S. M. Enhancing energy autonomy of greenhouses with semi-transparent photovoltaic systems through a comparative study of battery storage systems. **Scientific Reports**, v. 15, p. 2213, 2025. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-025-85418-z>.





- KARIM, M. H.; DIANTORO, M.; NASIKHUDIN, N.; LESTAR, S. R. Implementation of agricultural technology urban farming agrivoltaic based system to increase productivity and empowerment of farmer women's community. **Journal of Community Service and Empowerment**, v. 4, n. 1, p. 184-195, 2023. DOI: <https://doi.org/10.22219/jcse/v4i1.25013>.
- LACHHEB, A.; MAROUANI, R.; MAHAMAT, C.; SKOURI, S.; BOUADILA, S. Fostering sustainability through the integration of renewable energy in an agricultural hydroponic greenhouse. **Engineering, Technology & Applied Science Research**, v. 14, n. 2, p. 13398-13407, 2024. DOI: <https://doi.org/10.48084/etasr.6939>.
- MAROUANI, R.; MAHAMAT, C.; KHACHROUMI, S.; BOUADILA, S.; CHERIF, A. Smart PV hydroponic greenhouse for sustainable agriculture in Tunisia. **Engineering, Technology & Applied Science Research**, v. 14, n. 3, p. 14411-14419, 2024. DOI: <https://doi.org/10.48084/etasr.7278>.
- OGBOLUMANI, O. A.; MABASO, B. An IoT-based hydroponic monitoring and control system for sustainable food production. **Journal of Digital Food, Energy & Water Systems**, v. 4, n. 2, p. 106-140, 2023. DOI: [https://doi.org/10.36615/digital\\_food\\_energy\\_water\\_systems.v4i2.2873](https://doi.org/10.36615/digital_food_energy_water_systems.v4i2.2873).
- OLIVEIRA, T. F.; SANTOS JUNIOR, J. A.; SILVA, M. G.; GHEYI, H. R.; ALMEIDA, J. C.; GUISELINI, C. Cultivation of chicory under nutrient solutions prepared in brackish waters and applied at different temperatures. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 27, n. 9, p. 719-728, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v27n9p719-728>.
- PEREIRA, H. M. P.; MENDES, L. F. R. Análise de rendimento do sistema de bombeamento de água por energia solar fotovoltaica para irrigação de um viveiro de mudas. **Revista Vértices**, v. 21, n. 3, p. 463-494, 2019. DOI: <https://doi.org/10.19180/1809-2667.v21n32019p463-494>.
- SANGEETHA, V.; SINDHU, C.; SREEKEERTHI, S.; VASANTHA, V.; AGALYA, P. Solar power based hydroponics monitoring system. **International Journal of Research in Engineering, Science and Management**, v. 3, n. 6, p. 66-71, 2020. Disponível em: [https://www.ijresm.com/Vol.3\\_2020/Vol3\\_Iss6\\_June20/IJRESM\\_V3\\_I6\\_19.pdf](https://www.ijresm.com/Vol.3_2020/Vol3_Iss6_June20/IJRESM_V3_I6_19.pdf). Acesso em: 09 mar. 2025.
- SANTOS, G. A. O.; JORGE, R. M. M.; FARIAS, F. O.; MATHIAS, A. L. Perspective on the use of agrivoltaic systems for the production of secondary metabolites applicable to food: the case for mint. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, v. 67, e24240160, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1590/1678-4324-2024240160>.
- SHAKER, A. C.; SRIVALLI, L. S.; SHARANYA, K.; AKHILA, D.; CHANDANA, T. M. Automated hydroponic system with solar powered battery management system. **International Journal for Research in Applied Science & Engineering Technology**, v. 11, n. 7, p. 748-753, 2023. DOI: <https://doi.org/10.22214/ijraset.2023.54649>.
- SILVA, C. F. R. Energia fotovoltaica aplicada em sistema hidropônico. 2022. 11f. **Trabalho de Conclusão de Curso** (Graduação em Engenharia de Controle e Automação) – Pontifícia Universidade Católica de Goiás, Goiânia, 2022. Disponível em: <https://repositorio.pucgoias.edu.br/jspui/handle/123456789/4972>. Acesso em: 25 fev. 2025.
- SILVA, F. V. P.; FEITOSA, H. O.; PEREIRA, C. F.; SILVA, J. A. S.; FEITOSA, E. O. Potencial de energia solar para a irrigação no município de Barbalha-CE. **Energia na**





**Agricultura**, v. 32, n. 1, p. 57-64, 2017. DOI:

<http://dx.doi.org/10.17224/EnergAgric.2017v32n1p57-64>.

SILVA, M. G.; COSTA, I. P.; ALVES, L. S.; SOARES, T. M.; GHEYI, H. R. Coriander cultivation under different nutrient solution depths in hydroponic systems: a comparison between conventional DFT and adapted DFT with PVC pipes. **Water Resources and Irrigation Management**, v. 12, n. 1-3, p. 29-43, 2023a. DOI:

<https://doi.org/10.19149/wrim.v12i1-3.3077>.

SILVA, M. G.; GHEYI, H. R.; SILVA, L. L.; SILVA, P. C. C.; CORREIA, M. R. S.; QUEIROZ, L. A.; SANTOS, T. S.; JESUS, M. J. S. Plant density to compensate for coriander production losses caused by the isolated and/or combined effects of salt and root-zone temperature stresses. **Water Resources and Irrigation Management**, v. 13, n. 1-3, p. 32-59, 2024b. DOI: <https://doi.org/10.19149/wrim.v13i1-3.3582>.

SILVA, M. G.; GHEYI, H. R.; SILVA, L. L.; SOUZA, T. T.; SILVA, P. C. C.; QUEIROZ, L. A.; SANTOS, T. S.; SOARES, T. M. Evaluation of salt and root-zone temperature stresses in leafy vegetables using hydroponics as a clean production cultivation technique in northeastern Brazil. **Horticulture, Environment and Biotechnology**, v. 65, n. 1, p. 95-118, 2024c. DOI: <https://doi.org/10.1007/s13580-023-00547-6>.

SILVA, M. G.; GOMES, E. G. S.; SACRAMENTO, L. S.; PEREIRA, G. S. J.; GHEYI, H. R.; SILVA, T. I. Implantação de módulo hidropônico no Colégio Municipal Poeta Castro Alves em Cabaceiras do Paraguaçu, Bahia. **Revista Macambira**, v. 8, n. 1, p. e081044, 2024a. DOI: <https://doi.org/10.35642/rm.v8i1.1539>.

SILVA, M. G.; SOARES, T. M.; GHEYI, H. R.; COSTA, I. P.; VASCONCELOS, R. S. Growth, production and water consumption of coriander grown under different recirculation intervals and nutrient solution depths in hydroponic channels. **Emirates Journal of Food and Agriculture**, v. 32, n. 4, p. 281-294, 2020a. DOI: <https://doi.org/10.9755/ejfa.2020.v32.i4.2094>.

SILVA, M. G.; SOARES, T. M.; GHEYI, H. R.; OLIVEIRA, M. G. B.; SANTOS, C. C. Hydroponic cultivation of coriander using fresh and brackish waters with different temperatures of the nutrient solution. **Engenharia Agrícola**, v. 40, n. 6, p. 674-683, 2020b. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/1809-4430-Eng.Agric.v40n6p674-683/2020>.

SILVA, M. G.; SOARES, T. M.; GHEYI, H. R.; SANTOS, C. C.; OLIVEIRA, M. G. B. Hydroponic cultivation of coriander intercropped with rocket subjected to saline and thermal stresses in the root-zone. **Revista Ceres**, v. 69, n. 2, p. 148-157, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1590/0034-737X202269020004>.

SILVA, P. C. C.; GHEYI, H. R.; JESUS, M. J. S.; CORREIA, M. R. S.; AZEVEDO NETO, A. D. Seed priming with hydrogen peroxide enhances tolerance to salt stress of hydroponic lettuce. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 27, n. 9, p. 704-711, 2023b. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v27n9p704-711>.

SILVA, P. V. S. R. Procedimento para obtenção das respostas da alface à salinidade em hidroponia e solo. 2023. 155f. **Tese** (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Cruz das Almas, 2023. Disponível em: [https://www1.ufrb.edu.br/pgea/images/Teses/Tese\\_Paulo\\_Vitor.pdf](https://www1.ufrb.edu.br/pgea/images/Teses/Tese_Paulo_Vitor.pdf). Acesso em: 01 abr. 2025.

SOUSA, D. B. V.; VOGADO, G. R.; GONÇALVES, A. C. S.; ROCHA, A. S.; CABRAL NETO, O.; ROSANOVA, C.; ROCHA, B. F. O. S.; PEREIRA, J. D. N. Produção hidropônica





associada ao uso de energia solar. In: CABRAL NETO, O.; ROCHA, A. S.; GONÇALVES, A. C. S.; ROSANOVA, C.; RODRIGUES, F. M.; VIROL, S. L. M. (Org.). **Pesquisa e Tecnologia em Ciências Agrárias**. Rio de Janeiro: Editora e-Publicar, 2023. p. 136-143. DOI: <https://doi.org/10.47402/ed.ep.c2023198812907>.

SOUZA, S. V.; GIMENES, R. M. T. Viabilidade econômica da utilização de energia solar em sistemas de produção hidropônica. **Informe GEPEC**, v. 22, n. 2, p. 27-45, 2018. DOI: <https://doi.org/10.48075/igepec.v22i2.19901>.

SUDARSO, H.; TAQWA, A.; KUSUMANTO, R. Design and implementation of solar power system on lettuce hydroponic greenhouse in Sekayu Musi Banyuasin Regency South Sumatera Province. **International Journal of Research in Vocational Studies**, v. 3, n. 2, p. 29-33, 2023. DOI: <https://doi.org/10.53893/ijrvocas.v3i2.208>.

WALLER, R.; KACIRA, M.; MAGADLEY, E.; TEITEL, M.; YEHIA, I. Semi-transparent organic photovoltaics applied as greenhouse shade for spring and summer tomato production in arid climate. **Agronomy**, v. 11, n. 6, p. 1152, 2021. <https://doi.org/10.3390/agronomy11061152>.

ZHANG, Y.; CHEN, T.; GASPARRI, E.; LUCCHI, E. A modular agrivoltaics building envelope integrating thin-film photovoltaics and hydroponic urban farming systems: A circular design approach with the multi-objective optimization of energy, light, water and structure. **Sustainability**, v. 17, n. 2, p. 666, 2025. DOI: <https://doi.org/10.3390/su17020666>.



| Informações do Artigo                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | Article Information                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Recebido em:</b> 12/04/2025                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | <b>Received on:</b> 2025/04/12                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| <b>Aceito em:</b> 03/11/2025                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | <b>Accepted in:</b> 2025/11/03                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| <b>Publicado em:</b> 04/11/2025                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | <b>Published on:</b> 2025/11/04                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| <b>Contribuições de Autoria</b><br><u>Resumo:</u> Mairton Gomes da Silva, Hans Raj Gheyi<br><u>Introdução:</u> Mairton Gomes da Silva, Hans Raj Gheyi<br><u>Referencial teórico:</u> Mairton Gomes da Silva<br><u>Análise de dados:</u> Mairton Gomes da Silva, Hans Raj Gheyi<br><u>Discussão dos resultados:</u> Mairton Gomes da Silva, Hans Raj Gheyi<br><u>Conclusão:</u> Mairton Gomes da Silva, Hans Raj Gheyi<br><u>Referências:</u> Mairton Gomes da Silva, Hans Raj Gheyi<br>Revisão do manuscrito: Mairton Gomes da Silva, Hans Raj Gheyi, Luan Silva Sacramento, Glaucia Silva de Jesus Pereira<br><u>Aprovação da versão final publicada:</u> Mairton Gomes da Silva, Hans Raj Gheyi, Luan Silva Sacramento, Glaucia Silva de Jesus Pereira | <b>Author Contributions</b><br><u>Abstract/Resumen:</u> Mairton Gomes da Silva, Hans Raj Gheyi<br><u>Introduction:</u> Mairton Gomes da Silva, Hans Raj Gheyi<br><u>Theoretical reference:</u> Mairton Gomes da Silva<br><u>Data analysis:</u> Mairton Gomes da Silva, Hans Raj Gheyi<br><u>Discussion of results:</u> Mairton Gomes da Silva, Hans Raj Gheyi<br><u>Conclusion:</u> Mairton Gomes da Silva, Hans Raj Gheyi<br><u>References:</u> Mairton Gomes da Silva, Hans Raj Gheyi<br><u>Manuscript review:</u> Mairton Gomes da Silva, Hans Raj Gheyi, Luan Silva Sacramento, Glaucia Silva de Jesus Pereira<br><u>Approval of the final published version:</u> Mairton Gomes da Silva, Hans Raj Gheyi, Luan Silva Sacramento, Glaucia Silva de Jesus Pereira |
| <b>Conflitos de Interesse</b><br>Os autores declararam não haver nenhum conflito de interesse de ordem pessoal, comercial, acadêmico, político e financeiro referente a este manuscrito.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | <b>Interest conflicts</b><br>The authors declare that there is no personal, commercial, academic, political or financial conflict of interest regarding this manuscript.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| <b>Como Citar este artigo - ABNT</b><br>SILVA, Mairton Gomes da; GHEYI, Hans Raj; SACRAMENTO, Luan Silva; PEREIRA, Glaucia Silva de Jesus. Implantação de um sistema fotovoltaico off grid em casa de vegetação para produção hidropônica. <b>Revista Macambira</b> , Serrinha (BA), v. 9, n. 1, e091018, Jan.-Dez., 2025. <a href="https://doi.org/10.35642/rm.v9i1.1652">https://doi.org/10.35642/rm.v9i1.1652</a> .                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | <b>How to cite this article - ABNT</b><br>SILVA, Mairton Gomes da; GHEYI, Hans Raj; SACRAMENTO, Luan Silva; PEREIRA, Glaucia Silva de Jesus. Implementation of an off-grid photovoltaic system in a greenhouse for hydroponic production. <b>Revista Macambira</b> , Serrinha (BA), v. 9, n. 1, e091018, Jan.-Dez., 2025. <a href="https://doi.org/10.35642/rm.v9i1.1652">https://doi.org/10.35642/rm.v9i1.1652</a> .                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
| <b>Licença de Uso</b><br>A Licença Creative Commons Atribuição-NãoComercial-CompartilhaIgual 4.0 Internacional (CC BY 4.0). Esta licença permite compartilhar, copiar, redistribuir o manuscrito em qualquer meio ou formato. Além disso, permite adaptar, remixar, transformar e construir sobre o material, mesmo que comercialmente, desde que seja atribuído o devido crédito de autoria e publicação inicial neste periódico.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | <b>Use license</b><br>The Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International License (CC BY 4.0). This license allows sharing, copying, redistributing the manuscript in any medium or format. In addition, it allows adapting, remixing, transforming and building on the material, even commercially, as long as due credit for authorship and initial publication in this journal is attributed.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |