



## DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA HÍBRIDO DE BOMBEAMENTO DE ÁGUA E ARMAZENAMENTO DE ENERGIA SOLAR OFF-GRID PARA ELETRIFICAÇÃO RESIDENCIAL

Marcos Antonio Correa Vieira<sup>1</sup>, Valber de Almeida Pires Filho<sup>2</sup>, Manoel Roberval Pimentel Santos<sup>1,2</sup>, Lázaro João Santana da Silva<sup>1,2,3</sup>

<sup>1</sup>Universidade Federal do Oeste do Pará, Santarém, Brasil  
(marcosvieira22x@gmail.com)

<sup>2</sup> Universidade Federal do Oeste do Pará, Santarém, Brasil

<sup>1,2</sup> Universidade Federal do Oeste do Pará, Santarém, Brasil

<sup>1,2,3</sup> Universidade Federal do Oeste do Pará, Santarém, Brasil

**Resumo:** Este trabalho analisa um sistema híbrido fotovoltaico para bombeamento de água e eletrificação residencial na comunidade Lago da Praia (Santarém-PA). O arranjo permite redistribuir módulos por chave de transferência, ampliando a corrente de carga quando não há bombeamento. A metodologia baseou-se no levantamento técnico do sistema. Os resultados indicam maior eficiência e menor uso de diesel.

**Palavras-chave:** Sistema híbrido; comunidade ribeirinha; configuração fotovoltaica.

### INTRODUÇÃO

A energia elétrica desempenha um papel fundamental no desenvolvimento da sociedade, tanto em áreas urbanas quanto em zonas rurais. Trata-se de uma das formas de energia mais versáteis, pois pode ser transmitida a longas distâncias e convertida em diversas aplicações, como iluminação, aquecimento, movimento e comunicação (VILLALVA, 2021).

Entretanto, de acordo com Lascio e Barreto (2009), o acesso à energia elétrica e ao abastecimento de água potável ainda representa um desafio significativo para comunidades isoladas e regiões afastadas dos centros urbanos. Nessas localidades, a inexistência ou instabilidade da rede elétrica convencional compromete tanto a eletrificação residencial quanto a operação de sistemas essenciais, como o bombeamento de água, impactando diretamente a qualidade de vida das populações locais. Diante desse cenário, soluções baseadas em fontes renováveis, especialmente a energia solar fotovoltaica, têm se mostrado alternativas viáveis, sustentáveis e de baixo impacto ambiental.

Além disso, a utilização da energia solar fotovoltaica em comunidades ribeirinhas contribui significativamente para a melhoria da qualidade de vida dos moradores, possibilitando acesso à informação e comunicação, assim como o uso de ventiladores e a refrigeração de alimentos. Dessa forma, a energia solar apresenta vantagens relevantes e uma importância especial nessas comunidades ribeirinhas, fornecendo acesso a uma energia mais limpa e sustentável, contribuindo para o

desenvolvimento e o bem-estar dessas populações (BARBOSA, 2023).

Os sistemas fotovoltaicos possuem variadas aplicações, podendo ser conectados à rede elétrica, isolados ou híbridos. Os sistemas isolados e híbridos utilizam, de modo geral, tecnologias de armazenamento de energia em baterias, possibilitando o fornecimento de energia elétrica mesmo em períodos de baixa ou ausência de radiação solar (SILVA; BELCHIOR e FONSECA, 2025).

Os sistemas fotovoltaicos híbridos destacam-se por integrar a geração de energia solar, o armazenamento em baterias e fontes auxiliares, como geradores a diesel, possibilitando o atendimento simultâneo de diferentes demandas energéticas. Essa configuração permite que a energia gerada pelos módulos fotovoltaicos seja utilizada tanto para o abastecimento de água quanto para a eletrificação residencial, garantindo maior flexibilidade operacional e confiabilidade do sistema.

Neste contexto, o presente resumo tem como objetivo caracterizar um sistema híbrido de geração e armazenamento de energia solar, destinado ao bombeamento de água e à eletrificação residencial, instalado na comunidade Lago da Praia, localizada à margem esquerda do rio Arapiuns, no município de Santarém-PA. O sistema foi implantado pelo laboratório de energia renováveis (LABER) da Universidade Federal do Oeste do Pará (UFOPA). O estudo descreve os componentes do sistema, o arranjo elétrico adotado e os diferentes modos de operação, com destaque para a estratégia de redistribuição dos

módulos fotovoltaicos entre séries e paralelo, que permite otimizar o uso da energia disponível conforme a demanda dos subsistemas.

Por fim, o trabalho apresenta a análise e organização de melhorias no sistema, visando aumentar a eficiência energética, a confiabilidade operacional e a sustentabilidade do fornecimento de energia elétrica e de água, contribuindo para a aplicação de soluções híbridas em comunidades isoladas.

### MATERIAIS E MÉTODOS

A metodologia adotada neste trabalho baseia-se em uma abordagem descritiva e analítica, aplicada ao estudo de um sistema híbrido de geração e armazenamento de energia solar fotovoltaica já instalado em uma comunidade ribeirinha. Inicialmente, foi realizado o levantamento das informações técnicas do sistema, considerando seus componentes, configuração elétrica e fontes de energia utilizadas.

Em seguida, elaborou-se a representação gráfica do sistema por meio de diagramas elétricos, com o objetivo de facilitar a compreensão do arranjo fotovoltaico, da interligação entre os dispositivos e do fluxo de energia nos circuitos em corrente contínua e corrente alternada. A partir desses diagramas, foi realizada a análise do funcionamento do sistema em seus diferentes modos de operação, contemplando o bombeamento de água e a eletrificação residencial.

Por fim, procedeu-se à avaliação do desempenho do sistema e à identificação de possíveis melhorias, visando otimizar a eficiência energética, a confiabilidade operacional e a facilidade de manutenção do sistema híbrido analisado.

### DESCRIÇÃO DO SISTEMA

O sistema analisado consiste em um sistema híbrido de geração e armazenamento de energia solar fotovoltaica, projetado para atender simultaneamente duas demandas principais da comunidade Lago da Praia: o bombeamento de água e a eletrificação residencial e escolar. Trata-se de uma solução adequada para regiões isoladas, onde o fornecimento de energia elétrica convencional é inexistente ou apresenta instabilidade.

Para que o sistema atenda a essas duas finalidades de maneira eficiente, torna-se necessário organizar eletricamente os módulos fotovoltaicos de forma estratégica. Do ponto de vista elétrico, os módulos podem ser conectados em série ou em paralelo, dependendo da necessidade operacional do sistema.

Quando os painéis são conectados em série, ocorre a soma das tensões, enquanto a corrente permanece aproximadamente igual à corrente nominal de um único módulo. Essa configuração é utilizada quando

se deseja elevar a tensão do arranjo, adequando-a aos equipamentos de controle e conversão de energia.

Por outro lado, quando os módulos são conectados em paralelo, a tensão permanece constante e ocorre o aumento da corrente total fornecida pelo conjunto. Essa característica é particularmente vantajosa quando o objetivo é aumentar a corrente de entrada no controlador de carga, favorecendo um carregamento mais rápido do banco de baterias.

Com base nesses princípios de conexão, a geração de energia no sistema é realizada por sete módulos fotovoltaicos, cada um com especificações elétricas de 40 V, 14 A e 605 W, organizados em duas séries distintas. A configuração da série 1 (figura 01), é inicialmente composta por dois painéis conectados em série, assim, aumentando sua tensão para 80V e mantendo a corrente de 14A, sendo destinada prioritariamente ao carregamento do banco de baterias, responsável pelo armazenamento de energia para uso posterior, especialmente para a eletrificação residencial e da escola da comunidade.

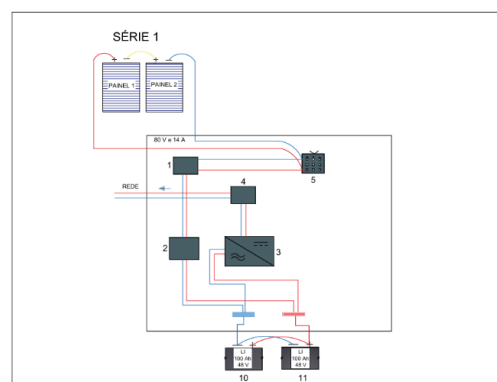


Figura 1. Diagrama da configuração da série 1.

Já a configuração da série 2 (figura 02), composta por cinco painéis, também conectados em série conforme o arranjo definido no projeto, é destinada principalmente à alimentação do sistema de bombeamento de água, por meio do conjunto de conversão e controle formado pelo drive da bomba.

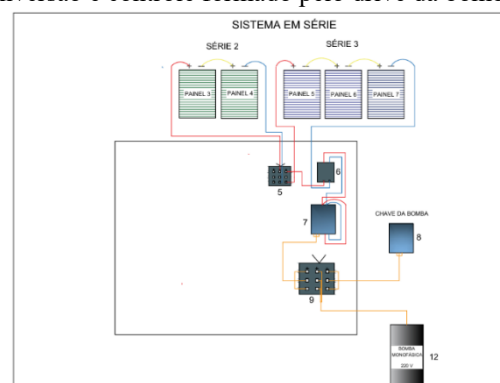


Figura 2. Diagrama da configuração da série 2.

O sistema possui uma lógica de operação flexível baseada na redistribuição dos módulos fotovoltaicos conforme a condição de funcionamento da bomba. Quando o bombeamento de água não está em operação, uma chave de transferência permite que dois módulos da Série 2 sejam realocados para a Série 1. Nessa condição, a Série 1 passa a operar com quatro painéis em paralelos (figura 3), organizados de modo a aumentar a corrente disponível para o controlador de carga, podendo atingir aproximadamente 28 A, enquanto mantém a tensão do arranjo em torno de 80 V.

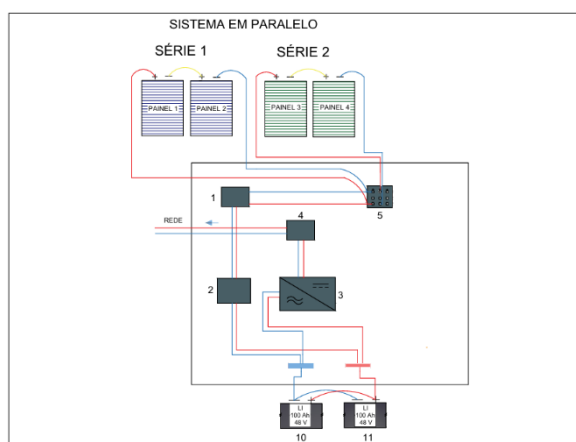


Figure 3. Configuração do sistema em paralelo.

Com isso, há aumento da potência fornecida ao banco de baterias, acelerando o processo de carregamento e otimizando o aproveitamento da energia solar disponível. A Série 2, por sua vez, permanece com três módulos e deixa de operar o sistema de bombeamento durante esse modo.

A energia armazenada no banco de baterias é utilizada para suprir a eletrificação residencial, garantindo o fornecimento de energia elétrica para iluminação, ventilação, refrigeração e outros equipamentos essenciais, inclusive durante períodos sem incidência solar. O banco de baterias, composto por 2 unidades com capacidade individual de 100 Ah e 48 V, é gerenciado por um controlador de carga, responsável por proteger os acumuladores contra sobrecarga e descarga profunda, assegurando maior vida útil ao sistema de armazenamento.

O sistema conta ainda com um inversor, responsável pela conversão da energia em corrente contínua (CC), proveniente dos módulos fotovoltaicos, em corrente alternada (CA), adequada ao funcionamento da bomba. Para garantir a continuidade do abastecimento de água em períodos prolongados de baixa irradiação solar, o sistema dispõe de uma fonte auxiliar constituída por um gerador a diesel, que pode ser acionado por meio de uma chave de transferência

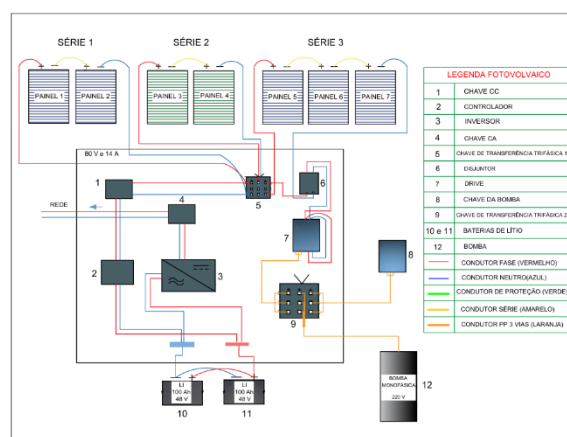


Figure 4. Diagrama do sistema elétrico do sistema.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise do sistema híbrido instalado na comunidade Lago da Praia demonstra que a configuração adotada, atende de forma satisfatória às demandas simultâneas de bombeamento de água e eletrificação residencial, utilizando exclusivamente a energia solar como fonte primária e um gerador a diesel como fonte auxiliar.

Observa-se que a divisão inicial dos módulos fotovoltaicos em duas séries distintas permite a priorização operacional das cargas conforme a necessidade da comunidade. A Série 2, destinada ao bombeamento, garante o funcionamento da bomba durante períodos de alta incidência solar, enquanto a Série 1 assegura o carregamento do banco de baterias, responsável pela alimentação das cargas residenciais.

Um dos principais resultados verificados é a flexibilidade operacional proporcionada pela chave de transferência, que permite a redistribuição de dois módulos para o sistema de armazenamento quando o bombeamento não está em operação. Essa estratégia aumenta a corrente disponível para o controlador de carga, elevando a potência direcionada ao banco de baterias e reduzindo o tempo necessário para atingir níveis adequados de carga. Como consequência, há melhor aproveitamento da energia solar disponível e menor dependência da fonte auxiliar.

Do ponto de vista energético, o sistema apresenta ganhos significativos de eficiência quando comparado a soluções isoladas exclusivamente a diesel, uma vez que reduz o consumo de combustível, os custos operacionais e os impactos ambientais associados à emissão de gases poluentes. Além disso, o armazenamento em baterias garante autonomia energética durante o período noturno ou em condições de baixa irradiação solar, assegurando continuidade no fornecimento de energia elétrica às residências.

Entretanto, algumas limitações podem ser observadas. A capacidade de armazenamento do banco de baterias



impõe restrições ao tempo de autonomia do sistema, especialmente em períodos prolongados de baixa geração solar.

Além disso, a necessidade de operação manual da chave de transferência pode depender da atuação dos usuários locais, o que pode influenciar diretamente no desempenho ideal do sistema.

A presença do gerador a diesel como fonte auxiliar aumenta a confiabilidade do abastecimento de água, porém sua utilização implica custos adicionais com combustível e manutenção, reforçando a importância de otimizar ao máximo o uso da geração fotovoltaica.

De modo geral, os resultados indicam que o sistema híbrido apresenta boa eficiência operacional, elevada flexibilidade energética e adequada adaptação às condições de uma comunidade isolada. A estratégia de redistribuição dos módulos fotovoltaicos demonstra-se tecnicamente viável e contribui para o melhor aproveitamento da energia gerada, consolidando o sistema como uma solução sustentável e funcional para aplicações em regiões ribeirinhas.

### CONCLUSÃO

O presente trabalho permitiu a análise e compreensão do funcionamento de um sistema híbrido de geração e armazenamento de energia solar fotovoltaica aplicado ao bombeamento de água e à eletrificação residencial em uma comunidade ribeirinha.

A partir do estudo realizado, verificou-se que a configuração adotada apresenta boa eficiência operacional, sendo capaz de atender simultaneamente às duas demandas principais do sistema. A utilização de dois arranjos fotovoltaicos distintos possibilita a priorização das cargas conforme a necessidade, enquanto a estratégia de redistribuição dos módulos por meio da chave de transferência contribui para o melhor aproveitamento da energia solar disponível.

O uso do banco de baterias mostrou-se fundamental para garantir a continuidade do fornecimento de energia elétrica às residências, especialmente em períodos de baixa ou ausência de radiação solar. Além disso, a presença de uma fonte auxiliar a diesel aumenta a confiabilidade do sistema, assegurando o funcionamento do bombeamento de água em situações críticas.

De modo geral, o sistema híbrido analisado apresenta-se como uma solução viável, flexível e sustentável para comunidades isoladas, reduzindo a dependência de combustíveis fósseis e contribuindo para a melhoria da qualidade de vida da população local. Entretanto, destaca-se a importância de aprimoramentos futuros, especialmente relacionados à automação do sistema e à otimização do armazenamento de energia, visando aumentar ainda mais sua eficiência e autonomia operacional.

### AGRADECIMENTOS

Agradeço à Universidade Federal do Oeste do Pará e ao Laboratório de Energias Renováveis pelo suporte institucional. Agradeço também à comunidade Lago da Praia pelo apoio na realização deste trabalho.



### REFERÊNCIAS

- BARBOSA, G. C. V. S. A adaptação de Comunidade Ribeirinha às novas tecnologias: a Energia Solar Fotovoltaica. Trabalho de Curso (Licenciatura em Física) – Campus Universitário de Ananindeua, Universidade Federal do Pará, Ananindeua, 2023. Disponível em: <https://bdm.ufpa.br/handle/prefix/6496>. Acesso em: 31 de março de 2026.
- LASCIO, M. A. D., BARRETO, E. J. F., 2009. Energia e desenvolvimento sustentável para a Amazônia rural brasileira: eletrificação de comunidades isoladas. Com a colaboração de Daniel Pioch e Écio Rodrigues. Brasília: Ministério de Minas e Energia.
- SILVA, F. C. A., BELCHIOR, F. N., FONSECA, M. N., 2025. Sistema fotovoltaico off-grid com baterias em zona rural – estudo de caso. Revista Observatorio de La Economia Latinoamericana, Curitiba, v. 23, n. 1, p. 01–21.
- VILLALVA, M. G., 2026. Armazenamento de energia: tecnologias de baterias elétricas. Disponível em: <https://canalsolar.com.br/armazenamento-de-energia-tecnologias-de-baterias-eletricas/>. Acesso em: 06 fev. 2026.