INFRAESTRUTURA AUTÔNOMA DE RECARGA PÚBLICA: DIMENSIONAMENTO FOTOVOLTAICO OFF-GRID NA COMUNIDADE BEIRA RIO

Edson Henrique Torsatto Neto, João Victor Nunes Coelho, Sara Guedes Arantes Moreira.

Universidade do Vale do Paraíba/Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento, Avenida Shishima Hifumi, 2911, Urbanova - 12244-000 - São José dos Campos-SP, Brasil, edhtneto@gmail.com, joaovncoelho@gmail.com, saraguedes670@gmail.com.

Resumo

O presente estudo descreve o desenvolvimento e a implantação de um sistema de carregamento de dispositivos móveis em espaço público utilizando energia solar fotovoltaica. A infraestrutura off-grid foi dimensionada com um painel de 10W, banco de baterias VRLA de 12V 7Ah, controlador de carga PWM de 30A e conversor Step-Down para adequação da tensão de saída para 5V. Os objetivos compreenderam prover múltiplas recargas parciais e emergenciais para a Comunidade Beira Rio, em São José dos Campos (SP), de forma totalmente autônoma. A metodologia abrangeu o levantamento do balanço energético baseado em dados solarimétricos e a execução de testes de bancada e campo. Os resultados práticos validaram a precisão teórica da capacidade de geração diária (35 Wh/dia) e do armazenamento útil estipulado (42 Wh), garantindo eficiência térmica, regulação contínua e estabilidade elétrica. Conclui-se que o sistema cumpriu integralmente sua função técnica e social, democratizando o acesso à infraestrutura elétrica renovável em ambientes urbanos compartilhados e estabelecendo um modelo escalável para futuras intervenções em comunidades.

Palavras-chave: Energia Solar Fotovoltaica. Sistemas Off-Grid. Armazenamento de Energia. Impacto Social.

Área do Conhecimento: Engenharias.

Introdução

A conectividade móvel consolidou-se como uma ferramenta indispensável de comunicação, trabalho, estudo e segurança no cotidiano contemporâneo. Contudo, o acesso a pontos de recarga em áreas públicas, especialmente em comunidades periféricas e espaços de convivência urbana, ainda é notavelmente escasso. A indisponibilidade de fontes de energia abertas ao público limita o uso contínuo de dispositivos móveis, impactando diretamente a integração digital de populações que dependem desses espaços. Para suprir essa carência de infraestrutura, os sistemas fotovoltaicos isolados da rede (off-grid) despontam como soluções tecnológicas viáveis, robustas e autônomas, dimensionadas a partir do balanço energético local para suprir demandas específicas de consumo sem a necessidade de expansão ou sobrecarga da infraestrutura elétrica convencional.

Na região de São José dos Campos, estado de São Paulo, a incidência solar oferece condições altamente favoráveis para o aproveitamento fotovoltaico focado na microgeração (CRESESB, 2026). A transição para fontes renováveis em pequena escala apresenta não apenas benefícios ambientais, mas também econômicos e sociais, ao permitir a criação de "ilhas" de energia independente. Nesse contexto, o dimensionamento elétrico preciso torna-se o pilar central para o sucesso de instalações autônomas, exigindo uma análise criteriosa das Horas de Sol Pleno (HSP), do índice de irradiação sazonal (NASA, 2026) e do comportamento eletroquímico dos bancos de baterias encarregados do armazenamento.

Diante deste cenário, este projeto tem como objetivo central apresentar o dimensionamento matemático, a montagem eletrônica e a validação prática de um carregador solar público direcionado especificamente à Comunidade Beira Rio. A iniciativa busca transpor conceitos acadêmicos da engenharia elétrica para uma aplicação direta de impacto imediato, oferecendo uma resposta concreta a uma necessidade contemporânea latente da população local.

Além de suprir a demanda técnica por energia emergencial e parcial, o projeto possui um importante papel educativo e de inclusão. Ao implantar a tecnologia em praça pública, fomenta-se a

democratização do acesso à infraestrutura elétrica sustentável, permitindo que a população tenha contato real com alternativas limpas de geração elétrica, conscientizando os moradores sobre as possibilidades reais e aplicadas da tecnologia fotovoltaica no cotidiano urbano.

Metodologia

A estruturação do projeto foi conduzida por meio de uma abordagem quantitativa e aplicada, dividida sistematicamente em três etapas fundamentais: o levantamento técnico e especificação dos materiais, o dimensionamento matemático do balanço energético (geração x consumo) e a integração física e lógica do circuito eletrônico off-grid.

Na fase de especificação de materiais, priorizou-se o custo-benefício e a disponibilidade comercial para facilitar futuras manutenções ou expansões. A Tabela 1 detalha os componentes centrais selecionados para a arquitetura de microgeração do projeto.

Tabela 1 - Componentes da infraestrutura off-grid

Componente	**Especificação Técnica**	**Função no Sistema**
Painel Fotovoltaico	10W (Marca Resun)	Captação primária de irradiação solar.
Banco de Bateria	VRLA Chumbo-Ácido 12V 7Ah	Armazenamento energético autônomo.
Controlador de Carga	PWM 30A com Display LCD	Gestão de carga, proteção e limite de DoD.
Regulador Step-Down	Entrada 10V-30V / Saída 5V	Adequação de tensão para o padrão USB.

Fonte: Elaborada pelos autores (2026).

Para o dimensionamento elétrico, a primeira etapa consistiu em estimar a demanda energética. Tomou-se como carga média de referência um smartphone atual padrão, equipado com uma bateria de aproximadamente 4000 mAh operando a 3,7V. A energia total demandada (E) para uma recarga completa foi definida pelo produto da tensão pela capacidade de corrente (3,7V x 4Ah), resultando em um consumo nominal de 14,8 Wh.

A captação solar exigiu cálculos conservadores para assegurar o funcionamento no pior cenário sazonal. Através do banco de dados do Centro de Referência para as Energias Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito (CRESESB), utilizando as coordenadas geográficas de São José dos Campos, obteve-se o índice de irradiação. Assumindo uma inclinação ideal de 35 graus orientada ao Norte, definiu-se um índice de Horas de Sol Pleno (HSP) mínimo de 4,35h/dia. Considerando um rendimento global do sistema na casa dos 80% para compensar perdas térmicas e elétricas (Villalva; Gazoli, 2015), a energia gerada diariamente foi projetada através da equação (10W x 4,35h x 0,8), totalizando 35 Wh/dia.

O banco de armazenamento foi estruturado utilizando a bateria selada VRLA de 12V e 7Ah, que fornece uma capacidade bruta de armazenamento de 84 Wh. No entanto, para evitar o desgaste rápido típico das baterias de chumbo-ácido e prolongar sua vida útil, a energia útil disponível foi restrita ao limite de 50% de profundidade de descarga (DoD - Depth of Discharge), visando preservar os ciclos de vida da bateria de chumbo-ácido (Pinho; Galdino, 2014). Consequentemente, a energia útil de operação foi estabelecida em 42 Wh, parâmetro este configurado logicamente na interface do controlador PWM através da função de corte por subtensão (LVD - Low Voltage Disconnect).

Para viabilizar a replicação do projeto, a montagem seguiu um roteiro prático. A fiação foi feita com cabos de cobre flexível de 2,5 mm², bitola adequada para suportar a corrente do sistema e evitar quedas de tensão. A ligação dos equipamentos respeitou uma ordem específica para proteger o controlador PWM (Alicosolar, 2026):

1. Ligação da bateria: A bateria VRLA foi o primeiro componente conectado ao controlador, utilizando terminais do tipo olhal. Antes de fixar os cabos, a tensão foi conferida com um multímetro para checar o nível de carga e garantir que o controlador identificasse automaticamente o sistema de 12V.

2. Ligação do painel solar: Na sequência, o painel de 10W foi conectado usando terminais padrão MC4, que evitam mau contato. Antes do encaixe, a tensão de circuito aberto (Voc) e a corrente de curto-circuito (Isc) foram aferidas com o multímetro para confirmar que a placa estava gerando energia normalmente.
3. Ligação do módulo Step-Down: Por fim, o conversor Step-Down foi conectado à porta de saída (Load) do controlador. É essa peça que recebe a tensão variável da bateria (que flutua entre 11V e 14,4V) e a reduz para 5V constantes, entregando a tensão segura e exigida para o carregamento dos celulares.

Resultados

O desempenho do sistema foi avaliado em duas etapas: ensaios de laboratório (bancada) e uma demonstração prática de validação na Comunidade Beira Rio. Durante a fase laboratorial, o protótipo (Figura 1) apresentou excelente estabilidade operacional. Sob simulação, o conversor Step-Down atuou de forma precisa, mantendo a regulação do barramento em 5V. Verificou-se que a oscilação de tensão na porta USB permaneceu dentro da margem de erro segura (± 5%).

Figura 1 - Montagem eletrônica do protótipo na bancada de testes



Fonte: Elaborada pelos autores (2026).

O balanço energético projetado foi validado pelas métricas de carga e descarga aferidas em bancada. A Tabela 2 apresenta o resumo dos dados técnicos obtidos nos ensaios laboratoriais, comprovando a compatibilidade entre a capacidade de geração (35 Wh/dia) e a margem útil do banco de baterias (42 Wh). O sistema suportou a demanda teórica exigida, mantendo-se acima da cota de subtensão de 11,9V.

Tabela 2 - Resultados das medições de validação nos ensaios de laboratório

Parâmetro Avaliado	Valor Teórico Projetado	Resultado Medido na Bancada	Status da Validação
Tensão de Saída (USB)	5,0 V	4,95 V a 5,03 V	Aprovado (Margem segura)
Tensão de Corte (LVD)	11,9 V	11,9 V	Aprovado (Proteção do DoD)
Capacidade de Geração	35 Wh/dia	34,2 Wh / dia	Aprovado
Recargas Suportadas	2 completas (29,6 Wh)	2 completas	Aprovado

Fonte: Elaborada pelos autores (2026).

Na etapa de campo, realizada em uma visita de exibição à comunidade, o equipamento foi submetido ao uso real para validação social e técnica da prova de conceito. Durante o período de exposição, o carregador operou com estabilidade ao fornecer recargas parciais simultâneas para os moradores, comprovando a eficácia da montagem estrutural e o êxito no fornecimento de energia descentralizada e autônoma.

Discussão

A análise técnica dos resultados corrobora a eficácia da literatura pertinente ao dimensionamento fotovoltaico de baixa potência. A decisão metodológica de limitar a profundidade de descarga (DoD) em 50% revelou-se um acerto técnico crucial para aplicações em áreas públicas, onde a manutenção preventiva é escassa. Baterias VRLA, quando submetidas a descargas profundas superiores a esse limite, sofrem sulfatação irreversível das placas internas, reduzindo drasticamente seus ciclos de vida (Alicosolar, 2026). A atuação precisa da função LVD do controlador PWM garantiu o seccionamento da carga sempre que esse limite seguro foi atingido, prolongando o investimento estrutural.

Do ponto de vista da engenharia eletrônica, o emprego do conversor Step-Down foi determinante. Ao contrário de reguladores lineares que dissipam o excedente de tensão em forma de calor, a tipologia chaveada do conversor permitiu um rendimento elétrico superior a 85% (Mercado Livre, 2026), minimizando perdas ôhmicas no estágio de acoplamento final ao usuário. Esse fator é imprescindível para sistemas onde a energia total já é estritamente limitada, como no caso do painel de 10W.

Sob a perspectiva do impacto social, a amostragem do protótipo na Comunidade Beira Rio catalisou uma recepção expressivamente positiva, expondo uma demanda latente e negligenciada por infraestrutura de conectividade em espaços urbanos compartilhados. A inserção do equipamento no cotidiano operou como um vetor de inclusão tecnológica, permitindo que a população interagisse de forma tangível com a geração independente e sustentável. Este engajamento estabeleceu uma sólida validação da intervenção comunitária, demonstrando que projetos de engenharia, quando alinhados a propósitos sociais, possuem alto potencial de apropriação e preservação pelos próprios usuários.

Conclusão

O presente projeto cumpriu de forma satisfatória os objetivos propostos ao comprovar, de maneira sistêmica, a viabilidade técnica e o potencial de impacto social da implementação de um carregador solar público off-grid. O rigor metodológico aplicado às etapas de dimensionamento confirmou-se nos dados empíricos: a arquitetura englobando o painel de 10W, a bateria de 7Ah e o estágio de conversão eletrônica operou dentro das margens de regulação esperadas, superando as exigências elétricas de recargas parciais sob o regime seguro de 50% de DoD.

A contribuição fundamental deste trabalho residiu em materializar conceitos teóricos do balanço energético renovável em uma infraestrutura de utilidade pública direta. No entanto, mapearam-se limitações físicas naturais do sistema: a configuração atual (microgeração de 10W) atende exclusivamente a demandas moderadas, impossibilitando conexões simultâneas robustas durante dias sequenciais de alta nebulosidade. Como direções para trabalhos e pesquisas futuras, recomenda-se o detalhamento projetual de um invólucro estrutural definitivo à prova de vandalismo e intempéries (com grau de proteção IP elevado), além do estudo para uma expansão modular da geração fotovoltaica para 50W ou superior, visando aumentar a densidade de usuários simultâneos beneficiados.

Referências

ALICOSOLAR. **Diagrama de conexão do sistema off-grid**. [S. l.], 2026. Disponível em: https://www.alicosolar.com. Acesso em: 8 jun. 2026.

CENTRO DE REFERÊNCIA PARA AS ENERGIAS SOLAR E EÓLICA SÉRGIO DE SALVO BRITO (CRESESB). **Potencial Solar - São José dos Campos, SP.** Rio de Janeiro: CRESESB, 2026. Disponível em: http://www.cresesb.cepel.br. Acesso em: 8 jun. 2026.

MERCADO LIVRE. **Especificações técnicas de componentes eletrônicos off-grid (Bateria VRLA Elgin, Controlador PWM 30A, Painel Solar 10W, Regulador Step-Down)**. [S. l.], 2026. Disponível em: https://www.mercadolivre.com.br. Acesso em: 8 jun. 2026.

NATIONAL AERONAUTICS AND SPACE ADMINISTRATION (NASA). **Temperature vs Solar Activity**. Washington, DC: NASA, 2026. Disponível em: https://science.nasa.gov. Acesso em: 8 jun. 2026.

PINHO, J. T.; GALDINO, M. A. **Manual de engenharia para sistemas fotovoltaicos**. Rio de Janeiro: CEPEL/CRESESB, 2014.

VILLALVA, M. G.; GAZOLI, J. R. **Energia solar fotovoltaica: conceitos e aplicações**. 2. ed. São Paulo: Érica, 2015.