VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA DE SISTEMAS DE BOMBEAMENTO SOLAR PARA AQUICULTURA

Technical and economic feasibility of solar pumping systems for aquiculture

Leite, Breno[1]; Farias Pereira, Fábio[2]; Pereira, Thiago[3]

[1] Universidade Federal de Alagoas, Campus de Engenharias e Ciências Agrárias, Rio Largo-AL, Brasil, breno.leite@ceca.ufal.br

[2] Universidade Federal de Alagoas, Laboratório de Pesquisas em Recursos Naturais, Maceió-AL, Brasil, fabio.pereira@ceca.ufal.br

[3] Universidade Federal de Alagoas, Campus Arapiraca, Arapiraca-AL, Brasil, thiago.alberto@arapiraca.ufal.br.

RESUMO

A crescente demanda por soluções sustentáveis para o abastecimento de água torna o sistema de bombeamento solar uma alternativa viável e promissora. Este estudo investiga a viabilidade técnica e econômica de sistemas de bombeamento solar fotovoltaico aplicados à aquicultura, especificamente na criação de tilápias. A pesquisa foi desenvolvida no Centro de Engenharias e Ciências Agrárias (CECA) da Universidade Federal de Alagoas, utilizando dados de irradiação solar da Estação Agrometeorológica Automática entre 2019 e 2024. A análise demonstrou que o sistema de bombeamento solar apresenta viabilidade econômica com *payback* de 1.8 anos e VPL de R$ 105.54, considerando uma potência de sistema de 0.22 kWp para atender a demanda de 57600 L/dia. O estudo confirma que a energia solar fotovoltaica representa uma solução sustentável e economicamente viável para sistemas de circulação de água em aquicultura, contribuindo para a redução de custos operacionais e a sustentabilidade ambiental do setor.

Palavras-chave: Energia solar fotovoltaica; Bombeamento solar; Aquaponia.

ABSTRACT

The growing demand for sustainable solutions for water supply makes solar pumping systems a viable and promising alternative. This study investigates the technical and economic feasibility of photovoltaic solar pumping systems applied to aquaculture, specifically in tilapia farming. The research was carried out at the Center for Engineering and Agricultural Sciences (CECA) of the Federal University of Alagoas, using solar irradiation data from the Automatic Agrometeorological Station between 2019 and 2024. The analysis showed that the solar pumping system is economically viable with a payback period of 1.8 years and a net present value (NPV) of R$ 105.54, considering a system power of 0.22 kWp to meet a demand of 57600 L/day. The study confirms that photovoltaic solar energy represents a sustainable and economically feasible solution for water circulation systems in aquaculture, contributing to the reduction of operating costs and the environmental sustainability of the sector.

Keywords: *Photovoltaic solar energy; Solar pumping; Aquaponics.*

1 INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas, a aquicultura vem se expandido bastante devido a uma combinação de fatores, incluindo o aumento da demanda por alimentos aquáticos, o desenvolvimento tecnológico e a necessidade de alternativas à pesca tradicional, que vem enfrentando dificuldades como a sobrepesca e a variabilidade natural dos estoques. A aquicultura, por sua vez, oferece uma solução para atender a essa demanda de forma sustentável e controlada (Cornejo-Ponce *et al.*, 2020; Verma *et al.*, 2021). No Brasil, a criação de tilápias destaca-se como a principal vertente aquícola, exigindo sistemas eficientes de circulação e aeração para manter a qualidade do ambiente aquático e atender às demandas de produção.

DOI: https://doi.org/10.46421/sispred.v4.8188

Paralelamente, a busca por fontes energéticas sustentáveis tem estimulado o desenvolvimento de tecnologias renováveis. Entre elas, a energia solar fotovoltaica sobressai como alternativa promissora em setores que requerem elevada eficiência energética aliada à preocupação ambiental. Estudos recentes demonstram que sistemas de bombeamento movidos a energia solar podem reduzir em até 70 % os custos operacionais quando comparados a soluções convencionais (Ioakeimidis *et al.*, 2013). No contexto brasileiro, estudos recentes apontam que a integração de energia solar em estabelecimentos aquícolas potencializa tanto a sustentabilidade econômica quanto ambiental da atividade (Andrade *et al.*, 2022; Camboim *et al.*, 2018; Pinto *et al.*, 2024).

Originalmente, este estudo tinha como objetivo dimensionar um sistema de bombeamento solar para comunidades atendidas pela rede elétrica convencional. Entretanto, a partir de um levantamento de demandas realizado junto à Secretaria de Estado da Agricultura e Pecuária de Alagoas (SEAGRI), o foco foi redirecionado para atender uma necessidade mais premente na região: o abastecimento de água para criação de tilápias, cuja dinâmica de circulação exige alto fluxo constante. O trabalho centra-se, portanto, na aplicação da energia solar fotovoltaica para acionar bombas d'água, visando à redução dos custos de energia. Conforme Zanirato et al. (2011), existem duas abordagens principais: o uso de bombas solares diretas e de bombas convencionais alimentadas por inversores solares, sendo que a vazão depende diretamente da intensidade da radiação solar, o que requer análise detalhada para garantir desempenho e confiabilidade.

Neste contexto, avaliamos a viabilidade técnica e econômica de um sistema instalado no Laboratório de Aquicultura (LAQUA) do Campus de Engenharias e Ciências Agrárias (CECA) da Universidade Federal de Alagoas (UFAL). Além do sistema de bombeamento elétrico convencional, o CECA dispõe de uma estação meteorológica do Laboratório de Irrigação e Agrometeorologia (LIA), responsável pela coleta de dados de irradiação solar. Essa infraestrutura permite confrontar as estimativas teóricas com medições reais, fornecendo subsídios robustos para a avaliação da viabilidade detalhada aqui. Espera-se que a análise de viabilidade técnica e econômica do modelo de bombeamento solar aplicados à aquicultura apresentada neste trabalho possa servir como base para outros trabalhos de subsidiem programas de extensão rural e iniciativas de transferência de tecnologia.

2 METODOLOGIA

2.1 Coleta de dados de irradiação solar

Inicialmente, coletaram-se os dados de irradiação solar diária, no período de janeiro de 2019 a junho de 2024, junto à Estação Agrometeorológica Automática do CECA (UFAL), para garantir que o dimensionamento considerasse condições locais de radiação. Em seguida, determinou-se a vazão mínima necessária para manter a qualidade da água nos tanques de tilápias, a partir da densidade de estocagem e dos parâmetros de qualidade (oxigênio dissolvido, temperatura e pH), com base em *Ferreira et al. (2023)*. Com esse valor de vazão (Q) e a altura manométrica total (HMT) calculada a partir das diferenças de nível e das perdas em tubulação, selecionou-se o equipamento bomba – inversor da NeoSolar, seguindo as diretrizes de Pachaivannan et al. (2025). A curva característica do equipamento foi utilizada para confirmar a operação no ponto ótimo de rendimento hidráulico. Durante o desenvolvimento do estudo, ocorreram tentativas de comunicação com algumas fornecedoras de bombas solares para definir quais

especificações são necessárias para a escolha da bomba. A única fornecedora que obteve resposta foi a NeoSolar, portanto este foi o único equipamento avaliado.

Para o dimensionamento do arranjo fotovoltaico, calculou-se a energia diária requerida pela bomba (E, kWh) conforme a Equação 1.

$$E = \frac{P \,.\, h}{1000} \quad \text{(Eq. 1)}$$

Sendo:

P, a potência nominal da bomba (W); e
h, horas de operação diária.

Em seguida, determinou-se a potência pico do sistema (Psistema, Wp) pela Eq. 2 (de l'Epine e Kaizuka, 2024).

$$P_{sistema} = \frac{E \cdot 1000}{I \,.\, \alpha} \quad \text{(Eq. 2)}$$

Sendo:

I, a irradiação média diária (kWh·m⁻²·dia⁻¹);
α, a eficiência global do módulo fotovoltaico; e
E, a energia diária requerida pela bomba.

Para a análise econômico-financeira, adotou-se o *payback* simples (Equação 3) e o Valor Presente Líquido (Equação 4) conforme metodologias apresentadas em *Solar Water Pumping for Sustainable Water Supply* ([s.d.]) e em Souza e Penha (2020).

$$Payback = \frac{Inv}{R} \quad \text{(Eq. 3)}$$

Sendo:

$Payback$, é o período de retorno de investimento;
Inv, é o investimento inicial; e
R, é o rendimento anual médio.

$$VPL = \sum_{t=1}^{n} \frac{B_t}{\left(1+i\right)^t} \quad \text{(Eq. 4)}$$

Sendo:

VPL, é o valor presente líquido;
B_t, são os benefícios (frente a economia de energia) no ano t;
i, é a taxa de desconto;
n, é o horizonte de análise; e
t, é o tempo.

Neste estudo, considerou-se também a autonomia energética durante todo o ciclo produtivo da tilapicultura que inclui a fase inicial com bombeamento contínuo para troca de água (oxigenação), a fase de engorda com operação intermitente de bombas e a fase final com picos de consumo de energia para esvaziamento de tanques.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O Quadro 1 apresenta as médias mensais dos dados de irradiação solar, em MJ/m²/dia, coletados entre 2019 e 2024 na Estação Agrometeorológica Automática (EAA) do CECA:

Quadro 1 – Irradiação Solar Global

MÊS	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	MÉDIA
I (MJ/m²/dia)	21,2	21,4	19,5	18,4	15,5	13,7	14,3	16,1	18,2	19,9	21,1	20,6	18,4

Fonte: Estação Agrometeorológica Automática, Campus de Engenharias e Ciências Agrárias (CECA) da Universidade Federal de Alagoas (UFAL), Rio Largo-AL. Latitude: 9°28'29,1''S; Longitude: 35°49'43,6''W; Altitude: 127,0m.

Atualmente, no sistema do LAQUA, a bomba apresenta uma vazão diária de 57600 L, utilizando uma bomba submersa AC-9000 da *Ocean Tech* com potência de 75 W. A vazão máxima suportada é de 9000 L/h, estando a bomba trabalhando no limite mínimo de 2400 L/h. Como não foi possível encontrar as especificações de consumo da bomba atuando no limite mínimo, considerou-se que a potência seja metade (37.5 W), resultando em consumo diário de energia de 900 Wh ou 0.9 kWh numa tensão de 220 v.

Os dados mostram que a média de irradiação local é de 18.42 MJ/m²/dia ou aproximadamente 5.13 kWh/m²/dia. Estes valores indicam que a região que está no entorno da estação meteorológica do CECA apresenta excelente potencial para aplicações solares fotovoltaicas. Considerando a eficiência dos módulos iguais a 80% e a irradiação solar média da Tabela 1, usando a Equação 2, obtém-se a potência do sistema de 0.22 kWp. Esta baixa potência permite que somente um painel solar seja suficiente para abastecer o sistema com facilidade.

A análise econômica revelou resultados promissores. Um painel solar de 225 Wp fornecido pela NeoSolar custa aproximadamente R$ 319.00. Considerando as tarifas da Equatorial (0.80807 R$/kWh com bandeira verde e fio B de 0.27 R$/kWh), o *payback* calculado foi de 1.8 anos. Com uma taxa de atratividade de 12% ao ano e horizonte de 3 anos, o VPL obtido foi de R$ 105.54, confirmando a viabilidade econômica do sistema. Estes resultados corroboram estudos de Souza e Penha (2020), que demonstraram que sistemas de bombeamento solar para aquicultura pode apresentar *payback* inferior a 2 anos.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A adoção de bombas solares em sistemas de bombeamento para aquicultura apresenta-se como uma solução tecnicamente viável, economicamente atrativa e ambientalmente sustentável. Os dados experimentais coletados no LAQUA (Laboratório de Aquicultura) validaram o desempenho operacional do sistema em condições reais, demonstrando sua aplicabilidade em projetos de pequena e média escala. Complementarmente, as medições da estação meteorológica permitiram correlacionar a eficiência energética do sistema com a variabilidade climática local, reforçando a confiabilidade da tecnologia mesmo em regiões com flutuações sazonais de irradiação solar.

Embora este estudo não tenha aprofundado a análise de perdas de carga na tubulação, o dimensionamento adotado foi concebido para garantir aplicabilidade em diferentes contextos topográficos, tornando-o acessível a comunidades rurais que utilizam a tilapicultura como

fonte de subsistência. Adicionalmente, a adaptabilidade do sistema à aquaponia amplia seu potencial de impacto, integrando produção de peixes e cultivo de vegetais em um modelo circular e eficiente no uso de recursos.

Sob a perspectiva econômica, a análise de *payback* e Valor Presente Líquido (VPL) comprovou a rentabilidade do investimento, com retorno financeiro atraente em prazos compatíveis com ciclos produtivos da aquicultura. A redução de custos operacionais, aliada à independência energética, posiciona esta tecnologia como alternativa estratégica para impulsionar a sustentabilidade no setor aquícola.

REFERÊNCIAS

ANDRADE, Elaine da Costa; DA TRINDADE, Hébelys Ibiapina; OLIVEIRA, Graciliano Paiva; JÚNIOR, Wady Lima Castro; NETO, José Júlio Gomes; FILHO, Raimundo Nonato da Silva; SILVA, Yago de Medeiros; SILVA, Sâmila Marla Sales de Almeida. Análise de um sistema aquapônico utilizando placa solar fotovoltaica no município de Codó-MA / Analysis of an aquaponic system using photovoltaic solar panels in Codó-MA. **Brazilian Journal of Development**, [S. l.], v. 8, n. 3, p. 20558–20572, 2022. DOI: 10.34117/BJDV8N3-319.

CAMBOIM, Laércio Ferro; ANJOS, Thiago Brandão Dos; SANTOS, Rafael Sol Dos; CAVALCANTI, Luiz Antônio Pimentel. Desenvolvimento de protótipo de aerador fotovoltaico aplicado à piscicultura de pequeno e médio porte. **Revista Brasileira de Gestão Ambiental e Sustentabilidade**, [S. l.], v. 5, n. 10, p. 665–675, 2018. DOI: 10.21438/RBGAS.051019.

CORNEJO-PONCE, Lorena; VILCA-SALINAS, Patricia; LIENQUEO-ABURTO, Hugo; ARENAS, María J.; PEPE-VICTORIANO, Renzo; CARPIO, Edward; RODRÍGUEZ, Juan. Integrated aquaculture recirculation system (Iars) supported by solar energy as a circular economy alternative for resilient communities in arid/semi-arid zones in southern south america: A case study in the camarones town. **Water**, [S. l.], v. 12, n. 12, p. 1–17, 2020. DOI: 10.3390/W12123469.

DE L'EPINE, Melodie; KAIZUKA, Izumi. Trends in PV Applications 2024. [S. l.], 2024. DOI: 10.69766/JNEW6916. Disponível em: https://iea-pvps.org/trends_reports/trends-in-pv-applications-2024/. Acesso em: 8 jul. 2025.

FERREIRA, Joao G.; BERNARD-JANNIN, Leonard; CUBILLO, Alhambra; LENCART E SILVA, Joao; DIEDERICKS, Gerhardus P. J.; MOORE, Heather; SERVICE, Matthew; NUNES, Joao Pedro. From soil to sea: An ecological modelling framework for sustainable aquaculture. **Aquaculture**, v. 577, p. 739920, 2023. DOI: 10.1016/J.AQUACULTURE.2023.739920.

IOAKEIMIDIS, C.; POLATIDIS, H.; HARALAMBOPOULOS, D. Use of renewable energy in aquaculture: An energy audit case-study analysis. **Global Nest Journal**, v. 15, n. 3, p. 282–294, 2013. DOI: 10.30955/GNJ.000943.

PACHAIVANNAN, Partheeban; MANIMUTHU, Shiva; JEGADEESAN, Vishnupriyan. Comparative energy performance analysis of solar water pumping systems across diverse climate zones. **Journal of Engineering Research**, v. 13, n. 2, p. 923–937, 2025. DOI: 10.1016/J.JER.2024.03.011.

PINTO, Yuryanne Carvalho; DE ALCÂNTRA, Aline Marculino; DE OLIVEIRA AMORIM, Fábio. Análise de viabilidades técnica e econômica para uma piscicultura familiar integrada à energia solar. **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente**, v. 17, p. e12247–e12247, 2024. DOI: 10.17765/2176-9168.2024V17N.ESPECIAL.E12247.

Solar Water Pumping for Sustainable Water Supply. [s.d.]. Disponível em: https://www.worldbank.org/en/topic/water/brief/solar-pumping. Acesso em: 8 jul. 2025.

SOUZA, Gabriela Romana; PENHA, Roberto Silva Da. Viabilidade Econômica de um Projeto de Investimento de Energia Fotovoltaica. **RAGC**, v. 8, n. 35, 2020. Disponível em: https://revistas.fucamp.edu.br/index.php/ragc/article/view/2076.

VERMA, Shrey; MISHRA, Shubham; CHOWDHURY, Subhankar; GAUR, Ambar; MOHAPATRA, Subhashree; SONI, Archana; VERMA, Puneet. *Solar PV powered water pumping system – A review. Materials Today: Proceedings*, [S. l.], v. 46, p. 5601–5606, 2021. DOI: 10.1016/J.MATPR.2020.09.434.

ZANIRATO, Leandro Diniz; MOURA, Leandro César De; CORDEIRO, Thiago Roberto Nunes. **Técnicas de bombeamento de fluídos aplicando energia solar fotovoltaica**. [S. l.], 2011. Disponível em: http://repositorio.utfpr.edu.br:8080/jspui/handle/1/9928. Acesso em: 8 jul. 2025.