

Análise de viabilidades técnica e econômica para uma piscicultura familiar integrada à energia solar

Analysis of technical and economic feasibilities for a family fish farm integrated with solar energy

Yuryanne Carvalho Pinto¹, Aline Marculino de Alcântara², Fábio de Oliveira Amorim³

RESUMO: A utilização de energia solar é uma alternativa para geração de energia mais sustentável e econômica. A aplicação dessa inovação no agronegócio tem demonstrado resultados satisfatórios, caracterizando uma possibilidade de aliar produtividade e sustentabilidade. Este estudo investigou as viabilidades técnicas e econômicas da implantação de um sistema integrado de piscicultura familiar à energia solar. Realizou-se o levantamento de carga dos equipamentos elétricos utilizados no manejo diário da piscicultura, estimativa dos equipamentos e quantidades necessárias para o projeto fotovoltaico, bem como o levantamento de custos da implantação do sistema *Off-Grid*, incluindo materiais, mão-de-obra e impostos para funcionamento legalizado. A partir dos dados analisados, verificou-se que a estimativa do consumo mensal seria de 359,45 kWh. Considerando que a implantação desse sistema será em uma piscicultura familiar, com investimento total de R\$ 26.826,99, o *payback* será de 52 meses, aproximadamente. Tecnicamente, é um projeto que atende às necessidades, por todo o aparato necessário incluído nos cálculos, o que permite o fornecimento de energia mesmo em períodos noturnos, uma vez que alguns equipamentos precisam estar conectados o dia inteiro. Portanto, do ponto de vista técnico e econômico, a implantação do sistema fotovoltaico isolado *Off-Grid* em uma piscicultura familiar é considerado viável.

Palavras-chave: Agrofotovoltaico; Bioeconomia; *Payback*; Sistema *Off-Grid*.

ABSTRACT: The use of solar energy is an alternative for more sustainable and economical energy generation. The application of this innovation in agribusiness has demonstrated satisfactory results, featuring a possibility of combining productivity and sustainability. This study investigated the technical and economic feasibility of implementing an integrated family fish farming system using solar energy. A load survey of the electrical equipment used in the daily management of fish farming was carried out, as an estimate of the equipment and quantities required for the photovoltaic project, as well as a survey of the costs of implementing the *Off-Grid* system, including materials, labor, and taxes for legalized operation. From the data analyzed, it was found that the estimated monthly consumption would be 359.45 kWh. Considering that the implementation of this system will be in a family fish farm, with a total investment of R\$ 26,826.99, the *payback* will be approximately 52 months. Technically, it is a project that meets the needs, with all the necessary equipment included in the calculations, allowing the supply of energy even at night, since some equipment needs to be connected all day. Therefore, from a technical and economic point of view, implementing the *Off-Grid* isolated photovoltaic system in a family fish farm is viable.

Keywords: Agrophotovoltaic; Bioeconomy; *Off-grid* System; *Payback*.

Autor correspondente: Yuryanne Carvalho Pinto
E-mail: flavio.cipriano@professor.ufcg.edu.br

Recebido em: 11/11/2023
Aceito em: 24/07/2024

¹ Mestre em Recursos Aquáticos Continentais Amazônicos pela Universidade Federal do Oeste do Pará, Santarém, PA.

² Doutora em Aquicultura. Docente no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará (UFPA), Campus Itaituba, PA.

³ Mestre em Engenharia de Infraestrutura e Desenvolvimento Energético pela Universidade Federal do Pará (UFPA). Docente na área de Engenharia Elétrica do Instituto Federal do Pará (IFPA), campus de Itaituba, PA.

1 INTRODUÇÃO

Fontes de energias renováveis, como por exemplo, energia fotovoltaica ou solar, biomassa e eólica, são geradas através da utilização de recursos naturais que podem se regenerar ao longo do tempo, sendo consideradas mais sustentáveis do que as fontes de energia não-renováveis, que é o caso por exemplo da utilização de combustíveis fósseis (carvão mineral, gás natural e petróleo) (Araújo *et al.*, 2022).

No Brasil, a energia fotovoltaica ou solar, biomassa e eólica, são tipos de energia renováveis que apresentam grande potencial para serem utilizadas tanto por empresas, quanto pela população (Camboim *et al.*, 2018). Dentre essas, a energia solar apresenta grande potencial para geração de energia elétrica, devido ao alto índice de irradiação solar no País. Devido a este fator, a região Norte, apresenta grande potencialidade para geração de energia, através do uso da energia fotovoltaica ou solar, em relação às outras regiões do Brasil (Sá *et al.* 2019; Silva; Araújo, 2022).

Nos diversos sistemas produtivos, como é o caso da piscicultura, existe a necessidade de utilização de sistemas energéticos, sendo eles de fonte renováveis ou não renováveis (Martins *et al.*, 2020). E dentro da piscicultura, um dos maiores problemas enfrentados pelos produtores é garantia de oxigenação da água, quando se trata de um grande número de tanques, sendo que esse processo é auxiliado através do uso de aeradores (Cornejo-Ponce *et al.*, 2020; França; Silva, 2022).

Desta forma, a utilização de um sistema fotovoltaico na piscicultura, sendo isolado ou associado à rede elétrica, contribui tanto economicamente, quanto ambientalmente, pois resulta na redução dos diversos impactos causados ao planeta, como por exemplo, a redução da emissão de gases estufa (Lira *et al.*, 2019). Então, com a possibilidade de obtenção e implantação de energia limpa, acaba integrando novas tecnologias ao campo, resultando em uma revolução no modo de produção e consumo (Ioakeimidis; Polatidis; Haralambopoulos, 2013; Hungaro Micheletti; Corrêia, 2022).

A produção da piscicultura na região Norte atingiu um total de 143.096 toneladas, em 2023, em que Rondônia aparece em 4º lugar no *ranking* nacional, com 39,48% desse total, cuja produção é predominantemente de peixes nativos (Peixe BR, 2024).

É notório que a piscicultura é uma de importância econômica no âmbito nacional, porém existe a problemática da maioria dos pequenos produtores não possuem acesso à rede elétrica ou ao alto custo da fatura do consumo de energia, que onera quando da utilização de equipamentos como: bomba d'água, aerador, balanças e alimentadores automáticos. Desta forma, é necessário que se busquem alternativas para auxiliar os produtores a reduzirem seus custos, além de utilizar uma energia mais limpa.

Diante do exposto, o objetivo deste trabalho foi verificar a viabilidade técnica e econômica da implantação de um sistema fotovoltaico, utilizando um sistema fotovoltaico isolado *Off-Grid*, integrado a piscicultura familiar, através do levantamento de custos e *payback* para os piscicultores.

2 MATERIAL E MÉTODOS

Primeiramente, foi realizado um levantamento dos equipamentos elétricos necessários para o desenvolvimento da pesquisa, partindo da premissa que não há distribuição de energia elétrica pela concessionária de energia elétrica local. Em seguida, foram realizadas análises de viabilidades técnicas e econômica da implantação da energia fotovoltaica em um sistema de piscicultura familiar. Complementarmente, foram estimados os custos dos equipamentos e instalação do sistema fotovoltaico isolado (*Off-Grid*). Vale destacar que esse sistema não depende da rede elétrica da concessionária.

Mediante a proposta apresentada, o sistema fotovoltaico *Off-Grid*, é composto pelos seguintes equipamentos: placas ou painéis solares, inversor solar, controlador de carga e banco de baterias (Blue Sol Energia Solar, 2023).

2.1 LEVANTAMENTO DE CARGA

Para determinar o levantamento de carga (consumo de energia), foram considerados os seguintes equipamentos elétricos que hipoteticamente seriam utilizados: aerador, bomba d'água, balança eletrônica e alimentador automático, levando em consideração o consumo (Wh) pelo uso diário e mensal. Essa estimativa se baseou na potência (W) de cada equipamento e o tempo de uso diário (horas/dia), compuseram a fórmula da Equação (1).

$$\text{Consumo de energia diário (Wh)} = \text{Potência (W)} \times \text{Uso diário (h)} \quad (1)$$

A partir do consumo diário de energia estimado de cada equipamento, foi calculado o valor total mensal, multiplicando por 30 dias, tendo, portanto, o total em Wh e após isso, convertendo em kWh.

2.2 PROJETO FOTOVOLTAICO E PAINÉIS

Considerando o sistema fotovoltaico solar isolado (*Off-Grid*), foi realizado o levantamento das quantidades dos equipamentos necessários: painéis solares, inversores, cabos, conectores, controladores de carga e banco de baterias.

O painel solar é um dos principais equipamentos de um sistema fotovoltaico, pois é o responsável pela transformação da energia radiante do sol em energia elétrica. Sendo que esses painéis são constituídos por células fotovoltaicas (células fotoeletroquímicas) ou simplesmente “células solares” (Ferioli *et al.*, 2022).

Para o levantamento da quantidade de painéis solares necessários foram considerados aqueles com potência de 280 W, além da irradiação solar de 4,95 kWh/m² no município de Itaituba (Pereira *et al.*, 2017) e uma perda de 20%, relacionada a fatores que podem influenciar na absorção dos raios solares pelas placas, compondo uma fórmula para calcular a energia gerada por painel (Wh), conforme a fórmula apresentada na Equação (2).

$$\text{Energia gerada por painel} = \text{Potência por painel} \times \text{Irradiação solar} \times \% \text{ de perda} \quad (2)$$

Para a conversão da energia gerada por painel de Wh para kWh, basta dividir por 1000. Em seguida, deve-se obter esse valor mensal, conforme fórmula apresentada na Equação (3).

$$\text{Energia gerada por painel (kWh/mês)} = \text{Energia gerada por painel (kWh)} \times 30 \text{ (dias)} \quad (3)$$

Considerando o consumo mensal na propriedade rural, pode-se estimar a quantidade de painéis a serem utilizados através da seguinte fórmula na Equação (4).

$$\text{Quantidade de painéis solares} = \frac{\text{Consumo mensal (kWh)}}{\text{Energia gerada por painel (kWh/mês)}} \quad (4)$$

2.3 INVERSORES

Os inversores são utilizados para converter a energia de corrente contínua (CC) para corrente alternada (CA), possibilitando o uso da energia elétrica gerada pela energia solar fotovoltaica (Ferioli *et al.*, 2022).

Para o cálculo da potência total nos painéis foi utilizada a seguinte fórmula apresentada na Equação (5), ressaltando que a potência do painel (em kW) é a de fábrica (280 W), sem considerar valores de radiação solar e as perdas:

$$\text{Potência total em painéis (kW)} = \text{Quantidade painéis} \times \text{Potência painel (kW)} \quad (5)$$

A partir dessa potência total dos painéis, pode-se determinar a potência do inversor que será utilizado, mediante as várias opções que o mercado oferece, devendo ser considerado também um *overload* de 20%.

2.4 CABOS, CONECTORES E CONTROLADORES DE CARGA

Quanto aos cabos e conectores, para esse projeto serão utilizados cabos de 4 mm² e conectores MC4, específicos para sistemas fotovoltaicos.

Controladores de carga possuem a função de proteger as baterias contra descargas profundas e excesso de carga. Isso influencia no aumento da vida útil, garantindo assim que toda energia produzida pelos painéis solares seja armazenada de forma eficiente nos bancos de baterias (Ferioli *et al.*, 2022).

Para calcular a corrente total (A) dos controladores de carga, foi considerada a corrente contínua de 24 Vcc, através da seguinte fórmula apresentada na Equação (6).

$$\text{Corrente total (A)} = \frac{\text{Produção (Wh)}}{\text{Corrente contínua (Vcc)}} \quad (6)$$

Em que, produção (Wh) = n° de painéis x potência por cada painel.

A partir desse cálculo, será escolhido o controlador com corrente que atenda à necessidade, considerando que no mercado os controladores de carga são vendidos com corrente variando de 10 a 100 A.

2.5 BANCO DE BATERIAS

As baterias armazenam a energia elétrica, destinada ao fornecimento de energia em caso de picos de consumo ou em caso de falha no sistema de retificação e/ou na falta de energia primária, que trabalham em local fixo (Ferioli *et al.*, 2022).

São os equipamentos que elevam o custo dos sistemas, pois além da constante manutenção e/ou reposição necessária, existem exigências nas condições de instalação, que estão relacionadas à questão de ter um cômodo separado, que possa ser fechado com acesso somente de pessoas capacitadas (Silva *et al.*, 2019).

São utilizadas baterias estacionárias, aplicadas a funções que demandam por longos períodos de corrente elétrica moderada, ao invés de sobrecargas por poucos segundos e são recomendadas para serem utilizadas em sistemas fotovoltaicos, pois são construídas com materiais mais nobres, para que tenha maior durabilidade. Além de suportar ciclos profundos (até 80%) característicos dos sistemas de energia solar fotovoltaicos (Solar Brasil, 2016).

Considerando que a capacidade das baterias estacionárias é de 70 Ah, a quantidade de baterias utilizadas no sistema fotovoltaico isolado (*Off- Grid*) foi calculada a partir da fórmula apresentada na Equação (7).

$$\text{Quantidade de baterias} = \frac{\text{Corrente do banco de bateria (Ah)}}{\text{Capacidade da bateria estacionária (Ah)}} \quad (7)$$

Em que, a corrente do banco de baterias (Ah) foi calculada a partir da potência do inversor (kW), considerando a premissa de 10 Ah para cada 100 W. Além disso, a capacidade da bateria estacionária utilizada foi a 70 Ah.

3 RESULTADO E DISCUSSÃO

3.1 VIABILIDADE TÉCNICA

Para a análise de viabilidade técnica, foram considerados os resultados dos cálculos de levantamento de carga (consumo de energia) dos equipamentos elétricos que hipoteticamente seriam utilizados no sistema de piscicultura familiar: aerador, bomba d'água, balança digital e alimentador automático (Tabela 1).

Tabela 1. Levantamento de carga dos equipamentos elétricos utilizados no sistema de piscicultura familiar

Levantamento de Carga				
Item	Equipamento	Potência (W)	Uso diário (h)	Consumo (Wh)
1	Aerador	367,75	24	8826,00
2	Bomba d'água	100	24	2400,00
3	Balança eletrônica	5	4	20,00
4	Alimentador automático	367,75	2	735,50
Total Diário (Wh)				11981,50
Total Mensal (Wh)				359.445,00
Total Mensal (kWh)				359,45

Considerando a potência e o uso diário, em que aerador e bomba d'água, respectivamente com potência de 367,75 e 100 W, são utilizados durante 24 horas, a balança eletrônica (5W) é utilizada por um período de 4 horas e ao alimentador automático de 367,75 W por um período de 2 horas, totalizam um consumo diário de 11981,50 Wh. Desta forma, o consumo mensal foi 359,45 kWh, considerando que a estimativa do consumo mensal de todos os equipamentos elétricos seria de 359.445 Wh.

Os equipamentos utilizados nesse estudo são os mais básicos utilizados em uma piscicultura familiar e o tempo de uso está compatível com o sistema de manejo adotado, considerando que os peixes precisam de aeração contínua, bem como a bomba d'água, já que se trata de um sistema aberto com troca de água (Brabo *et al.*, 2015; Souza; Pontuschka; Sousa, 2017).

Além disso, há um incremento para melhorar a eficiência do manejo alimentar, com o uso de um alimentador automático, que promove menor custo com mão de obra, melhor conversão alimentar e desempenho zootécnico e durante o fornecimento de ração, esta pode ser ajustada conforme os parâmetros químicos e físicos da água reduzindo a sobra de ração e os impactos ambientais (Brito *et al.*, 2017).

Com relação ao projeto fotovoltaico propriamente dito, foi considerado o sistema isolado (*Off-Grid*). Portanto, foram estimadas as quantidades de painéis solares, inversores, cabos, conectores, controladores de carga e banco de baterias necessários para a geração de energia solar fotovoltaica (Tabela 2).

Conforme descrito na Tabela 2, o sistema para a geração de energia solar fotovoltaica instalado seria composto por 11 painéis solares, com uma geração média de energia de 33,94 kWh/mês, utilizando um inversor de 3 kW, com potencial máximo de 3,6 kW, pois considerou-se 20% de *overload*. Além disso, 22 cabos de 4 mm² e 11 pares de conectores MC4. Com relação aos controladores de carga, seriam utilizados dois destes com corrente de 70 A, para atender à necessidade do sistema, sem correr risco de falhas. O banco de baterias teria cinco baterias estacionárias de 70 Ah, capazes de manter o sistema em pleno funcionamento no período noturno.

Tabela 2. Equipamentos necessários para a implantação de um projeto fotovoltaico em uma piscicultura familiar

Painéis Solares	
Potência por painel (W)	280
Irradiação solar média (kWh/m ²)	4,95
Perda (%)	20
Energia gerada por painel (Wh)	1108,80
Energia gerada por painel (kWh)	1,11
Energia gerada por painel (kWh/mês)	33,26
Consumo mensal (kWh)	359,45
Quantidade de painéis	10,81
Quantidade de painéis (exato)	11
Inversor	
Quantidade painéis	11
Potência painel (kW)	0,28
Potência total em painéis (kWp)	3,08
Potência Inversor (kW)	3
<i>Overload</i>	0,2
Máxima potência Inversor (kW)	3,6
Cabos e Conectores	
Cabos 4mm ² (m)	22
Conectores MC4	11 pares
Controladores de carga	
Produção (Wh)	3080
Corrente contínua (Vcc)	24
Corrente total (A)	128,33
Corrente Controlador de Carga (A)	70
Quantidade de Controladores	2
Total Corrente Controladores (A)	140
Banco de baterias	
Potência Inversor (kW)	3
Potência Inversor (W)	3000
Corrente do banco de bateria (Ah)	300
Capacidade da bateria estacionária (Ah)	70
Quantidade de baterias	4,29
Quantidade baterias (exato)	5

O Brasil é um país que possui grande potencial para produzir energia elétrica através da energia solar, por características geográficas e climáticas favoráveis. Além de possuir uma matriz energética com relevante participação de fontes renováveis, realidade verificada em poucos países no mundo, implicando em redução nas emissões de gases de efeito estufa por unidade de energia consumida, quando comparado a outros países. A implantação do uso de energia sustentável no meio rural é uma forma de economia, no entanto, ainda é pouco aproveitada pela população (Ferreira *et al.*, 2018; Soares *et al.*, 2023).

A integração do sistema fotovoltaico aos sistemas de produção piscícolas estão se popularizando, em virtude da comodidade, economia, além dos benefícios ambientais,

tornando a atividade um pouco mais sustentável, como se observa por exemplo, com o protótipo de aerador alimentado por energia solar, elaborado a partir de materiais reutilizados, equipamentos de controle eletrônico e placas fotovoltaicas (Camboim *et al.*, 2018). Ou ainda, ao abastecer um sistema de aquaponia conectado à placa solar fotovoltaica (Siqueira *et al.*, 2018; Andrade *et al.*, 2022), bem como para conectar bomba em um sistema de criação intensiva (Silva *et al.*, 2019).

Esse sistema fotovoltaico integrado à energia solar em uma piscicultura familiar é tecnicamente viável, pois os equipamentos são compatíveis com a necessidade energética para manter o sistema funcionando, mesmo em horário noturno.

Em se tratando de viabilidade técnica, um sistema solar fotovoltaico foi conectado a um sistema aquapônico, para que fosse abastecido, utilizando bomba d'água, bateria, controlador de carga, inversor, baterias estacionárias e placas solares. Apesar do sistema ter apresentado falhas, devido a dias nublados, a instalação do sistema fotovoltaico foi considerada uma ótima opção para diminuição dos gastos, uma vez que há necessidade do funcionamento constante da bomba (Andrade *et al.*, 2022).

É também observado que, mesmo sendo construído um protótipo de aerador, é extremamente necessário que haja um banco de baterias (Segundo; Mota; Vieira, 2015). Isso pode configurar inviabilidade técnica nos sistemas citados, diferente dos resultados desse estudo que demonstram viabilidade técnica, pois os equipamentos necessários e a projeção das quantidades atendem às necessidades diuturnamente, sem correr riscos de falhas.

3.2 VIABILIDADE ECONÔMICA

Para estimar o orçamento do material necessário para instalação, levou-se em consideração que seriam utilizados 11 painéis 280W, 1 inversor 3kWh, 2 controladores de carga 70A/24Vcc, 5 baterias estacionárias (70A/24Vcc), 22 cabos (24mm²) e 11 conectores MC4, a um preço unitário de R\$ 646,60, R\$ 2.493,00, R\$ 701,90, R\$ 650,52, R\$ 1,26 e R\$ 10,71, respectivamente. Desta forma, o detalhamento da estimativa dos custos totais dos materiais necessários para a obtenção do sistema fotovoltaico isolado em sistema de piscicultura familiar perfaz o valor total de R\$ 14.408,43 (quatorze mil, quatrocentos e oito reais e quarenta e três centavos), conforme descrito na Tabela 3.

Além disso, deve-se levar em consideração o valor, a homologação e a instalação do projeto. O valor foi estimado baseando-se na premissa de que para cada kWp, o preço é R\$ 4.032,00 (valor médio no mercado local). Então nesse caso, já que a potência total dos painéis seria de 3,08 kWp, logo tem-se um custo de R\$ 12.418,56, totalizando R\$ 26.826,99 (vinte e seis mil, oitocentos e vinte e seis reais e noventa e nove centavos) (Tabela 3).

Os valores apresentados foram estimados com base no valor que é cobrado comercialmente no mercado local, podendo variar conforme a região e marca dos equipamentos, bem como o valor do projeto básico, homologação e instalação do sistema.

A tarifa rural no município de Itaituba, é classificada na categoria B2 – Convencional. As tarifas de TUSD (R\$/MWh), TE (R\$/MWh) e os impostos ICMS, PIS e COFINS contabilizam um valor para áreas rurais de R\$ 1,17 por kWh, de acordo com a Resolução Homologatória n° 3.243, de 15 de agosto de 2023, que homologa o resultado da

Revisão Tarifária Periódica (RTP) de 2023 da Equatorial Pará Distribuidora de Energia S.A. (Equatorial Pará), as tarifas de Uso do Sistema de Distribuição (TUSD) da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL).

Tabela 3. Orçamento de equipamentos, mão de obra e tramitação necessários para a implantação de um projeto fotovoltaico em uma piscicultura familiar

Orçamento do material necessário			
Item	Quantidade	Preço unitário (R\$)	Subtotal (R\$)
Painel 280W	11	646,60	7112,60
Inversor 3kW	1	2493,90	2493,90
Controlador de carga 70A/24Vcc	2	701,90	1403,80
Bateria estacionária 70A/12Vcc	5	650,52	3252,60
Cabos 4mm ²	22	1,26	27,72
Conectores MC 4 (pares)	11	10,71	117,81
Total (R\$)			14.408,43
Mão de obra e Tramitação			
Item	Potência total dos painéis (kWp)	Valor do kWp (R\$)	Subtotal (R\$)
Projeto, Homologação, Instalação	3,08	4032,00	12.418,56
Total (R\$)			26.826,99

A partir da estimativa de consumo de energia de 359,45 kWh e da tarifa rural com impostos (R\$ 1,17/kWh), o valor final da fatura de energia seria R\$ 420,56 (quatrocentos e vinte reais e cinquenta seis centavos) e considerando que em áreas rurais não é cobrada taxa de iluminação pública, mesmo naquelas que existe a distribuição de energia pela rede elétrica da concessionária (Tabela 4). Com base nestas informações, iniciou-se a análise de viabilidade econômica do projeto, levando-se em consideração a fatura mensal de energia e o cálculo do *Payback*.

Tabela 4. Fatura mensal de energia

Fatura mensal de energia	
Item	
Consumo mensal (kWh)	359,45
Tarifa com impostos (ICMS, PIS e COFINS) (R\$/kWh)	1,17
Valor da fatura mensal (R\$)	420,56
Iluminação pública (R\$)	0,00
Valor final da fatura (R\$)	420,56

Em sistema de piscicultura familiar, considerando os quatro equipamentos analisados (balança digital, aeradores, alimentador automático e bomba d'água), o consumo de 359,45 kWh/mês é relativamente baixo, tendo em vista que há equipamentos que são utilizados durante 24 horas, como o aerador e a bomba d'água. Esse valor depende da potência do equipamento, por exemplo, um aerador de uma piscicultura semi-intensiva de tambaqui em tanque escavado, consumiu 249,75 kWh/mês, sem considerar a tarifa dos impostos (Souza; Pontuschka; Sousa, 2017).

O mesmo ocorreu em um “Sisteminha” da EMBRAPA que registrou consumo de 21,6 kWh/mês, de uma bomba d’água de 30 W de potência, durante 24 horas. No caso do presente estudo, a bomba d’água utilizada tinha 100 W, por isso o consumo seria superior (Silva *et al.*, 2019).

Constatando-se que o *Payback*, ou seja, o tempo de retorno do investimento, desse sistema fotovoltaico isolado *Off-Grid* para uma piscicultura familiar, foi estimado considerando o reajuste anual da tarifa de energia (12,90% em média por ano), a manutenção do sistema fotovoltaico (0,5% ao ano em média com 9,3% de inflação referente ao ano de 2022) (Tabela 5). Conforme os dados consolidados na Tabela 5, o reajuste da tarifa sempre se inicia no mês de agosto, findando até o mês de julho do ano seguinte, onde, a partir do mês de agosto do ano corrente, um novo reajuste é efetivado, e assim, sucessivamente (ANEEL, 2023).

No entanto, a manutenção do sistema fotovoltaico, devido à sua facilidade e rapidez, a manutenção de sistemas de energia solar possui valor bem reduzido, em torno de 0,5% do custo inicial do sistema, sendo que o valor final do serviço é proporcional ao tamanho do projeto (Portal Solar, 2014). Para a análise em questão, o valor de manutenção sofre reajuste a cada início de ano, considerando a taxa de inflação de 9,3% calculada para o ano de 2022 (Dados Mundiais, 2022), como referência para os anos subsequentes.

Assim sendo, o *Payback* obtido foi de, aproximadamente, 52 meses, ou seja, 4 anos e 4 meses, conforme descrito na Figura 1. Hipoteticamente, ao considerar a instalação do sistema fotovoltaico no mês de novembro de 2023 e, levando-se em consideração o *Payback* de 52 meses, verifica-se que, em fevereiro de 2028, atinge-se o tempo de retorno do investimento.

Dessa forma e, considerando o *Payback* obtido e que a vida útil do sistema fotovoltaico é em média 25 a 30 anos (Pinho; Galdino, 2014), observando o período de garantia do fornecedor e a manutenção correta dos equipamentos, conclui-se que o sistema fotovoltaico é viável tecnicamente e economicamente.

Quanto à análise econômica, o sistema fotovoltaico integrado à piscicultura familiar demonstrou viabilidade. O método mais utilizado para avaliar é o *Payback*, intervalo de tempo necessário para resgatar a aplicação inicial, em que é feita uma análise do fluxo de caixa dos recursos investidos e verifica-se em que momento o saldo da aplicação se iguala a zero. Quanto menor o tempo de retorno, menor o risco envolvido (Junior; Sousa, 2015).

Diante desses exemplos, observa-se que a energia solar vem se tornando uma alternativa interessante para os produtores rurais que desejam reduzir custos nas faturas de energia, aliada às políticas públicas que estão fomentando o segmento através de novas linhas de crédito, facilitando a aquisição e a instalação de sistemas fotovoltaicos e ajudando a ampliar esse mercado (Hungaro Micheletti; Corrêa, 2022).

Outro exemplo foi um sistema de fornecimento de energia elétrica através de módulos fotovoltaicos, visando alimentar uma bomba em sistema de produção denominado de “Sisteminha EMBRAPA”, localizado em uma área rural que não possui acesso à rede elétrica convencional, com objetivo de manutenção de uma criação de peixes. Apesar do custo elevado do sistema fotovoltaico isolado, o sistema foi considerado como a melhor opção para suprir às necessidades das comunidades mais afastadas e que não tem acesso à rede de energia elétrica (Silva *et al.*, 2019).

Tabela 5. Análise do fluxo de caixa, para cálculo de *payback*

Tempo (mês)	Mês	Investimento	Retorno acumulado	Payback	Negativo	Positivo	
1	nov/23	-R\$ 26.826,99	R\$ 420,56	-R\$ 26.406,43	-R\$ 26.406,43	FALSO	
2	dez/23	-R\$ 11,27	R\$ 420,56	-R\$ 25.997,14	-R\$ 25.997,14	FALSO	
3	jan/24	-R\$ 146,61	R\$ 420,56	-R\$ 25.588,81	-R\$ 25.588,81	FALSO	
4	fev/24		R\$ 420,56	-R\$ 25.180,47	-R\$ 25.180,47	FALSO	
5	mar/24		R\$420,56	-R\$ 24.772,13	-R\$ 24.772,13	FALSO	
6	abr/24		R\$420,56	-R\$ 24.363,79	-R\$ 24.363,79	FALSO	
7	mai/24		R\$ 420,56	-R\$ 23.955,45	-R\$ 23.955,45	FALSO	
8	jun/24		R\$420,56	-R\$ 23.547,11	-R\$ 23.547,11	FALSO	
9	jul/24		R\$420,56	-R\$ 23.138,77	-R\$ 23.138,77	FALSO	
10	ago/24		R\$ 474,81	-R\$ 22.676,18	-R\$ 22.676,18	FALSO	
11	set/24		R\$474,81	-R\$ 22.213,59	-R\$ 22.213,59	FALSO	
12	out/24		R\$474,81	-R\$ 21.751,00	-R\$ 21.751,00	FALSO	
13	nov/24		R\$474,81	-R\$ 21.288,41	-R\$ 21.288,41	FALSO	
14	dez/24		R\$474,81	-R\$ 20.825,82	-R\$ 20.825,82	FALSO	
15	jan/25		-R\$ 160,24	R\$474,81	-R\$ 20.364,36	-R\$ 20.364,36	FALSO
16	fev/25			R\$474,81	-R\$ 19.902,91	-R\$ 19.902,91	FALSO
17	mar/25	R\$474,81		-R\$ 19.441,45	-R\$ 19.441,45	FALSO	
18	abr/25	R\$474,81		-R\$ 18.980,00	-R\$ 18.980,00	FALSO	
19	mai/25	R\$474,81		-R\$ 18.518,54	-R\$ 18.518,54	FALSO	
20	jun/25	R\$474,81		-R\$ 18.057,09	-R\$ 18.057,09	FALSO	
21	jul/25	R\$474,81		-R\$ 17.595,63	-R\$ 17.595,63	FALSO	
22	ago/25	R\$ 536,06		-R\$ 17.072,93	-R\$ 17.072,93	FALSO	
23	set/25	R\$536,06		-R\$ 16.550,22	-R\$ 16.550,22	FALSO	
24	out/25	R\$ 536,06		-R\$ 16.027,52	-R\$ 16.027,52	FALSO	
25	nov/25	R\$536,06		-R\$ 15.504,82	-R\$ 15.504,82	FALSO	
26	dez/25	R\$536,06		-R\$ 14.982,11	-R\$ 14.982,11	FALSO	
27	jan/26	R\$536,06		-R\$ 14.460,65	-R\$ 14.460,65	FALSO	
28	fev/26	R\$536,06		-R\$ 13.939,18	-R\$ 13.939,18	FALSO	
29	mar/26	R\$536,06	-R\$ 13.417,72	-R\$ 13.417,72	FALSO		
30	abr/26	R\$536,06	-R\$ 12.896,26	-R\$ 12.896,26	FALSO		
31	mai/26	R\$536,06	-R\$ 12.374,80	-R\$ 12.374,80	FALSO		
32	jun/26	R\$536,06	-R\$ 11.853,33	-R\$ 11.853,33	FALSO		
33	jul/26	R\$536,06	-R\$ 11.331,87	-R\$ 11.331,87	FALSO		
34	ago/26	R\$605,21	-R\$ 10.741,25	-R\$ 10.741,25	FALSO		
35	set/26	R\$605,21	-R\$ 10.150,64	-R\$ 10.150,64	FALSO		
36	out/26	R\$ 605,21	-R\$ 9.560,03	-R\$ 9.560,03	FALSO		
37	nov/26	R\$605,21	-R\$ 8.969,41	-R\$ 8.969,41	FALSO		
38	dez/26	R\$605,21	-R\$ 8.378,80	-R\$ 8.378,80	FALSO		
39	jan/27	R\$ 605,21	-R\$ 7.789,54	-R\$ 7.789,54	FALSO		
40	fev/27	R\$ 605,21	-R\$ 7.200,28	-R\$ 7.200,28	FALSO		
41	mar/27	R\$605,21	-R\$ 6.611,03	-R\$ 6.611,03	FALSO		
42	abr/27	R\$605,21	-R\$ 6.021,77	-R\$ 6.021,77	FALSO		
43	mai/27	R\$605,21	-R\$ 5.432,51	-R\$ 5.432,51	FALSO		
44	jun/27	R\$ 605,21	-R\$ 4.843,25	-R\$ 4.843,25	FALSO		
45	jul/27	R\$605,21	-R\$ 4.254,00	-R\$ 4.254,00	FALSO		
46	ago/27	R\$683,28	-R\$ 3.586,67	-R\$ 3.586,67	FALSO		
47	set/27	R\$683,28	-R\$ 2.919,34	-R\$ 2.919,34	FALSO		
48	out/27	R\$683,28	-R\$ 2.252,01	-R\$ 2.252,01	FALSO		
49	nov/27	R\$ 683,28	-R\$ 1.584,68	-R\$ 1.584,68	FALSO		
50	dez/27	R\$ 683,28	-R\$ 917,35	-R\$ 917,35	FALSO		
51	jan/28	R\$ 683,28	-R\$ 251,50	-R\$ 251,50	FALSO		
52	fev/28	R\$ 683,28	R\$ 414,34	FALSO	R\$ 414,34		
53	mar/28	R\$ 683,28	R\$ 1.080,19	FALSO	R\$ 1.080,19		
54	abr/28	R\$ 683,28	R\$ 1.746,03	FALSO	R\$ 1.746,03		
55	mai/28	R\$ 683,28	R\$ 2.411,88	FALSO	R\$ 2.411,88		
56	jun/28	R\$ 683,28	R\$ 3.077,72	FALSO	R\$ 3.077,72		
57	jul/28	R\$ 683,28	R\$ 3.743,57	FALSO	R\$ 3.743,57		
58	ago/28	R\$ 771,43	R\$ 4.497,56	FALSO	R\$ 4.497,56		
59	set/28	R\$ 771,43	R\$ 5.251,55	FALSO	R\$ 5.251,55		
60	out/28	R\$ 771,43	R\$ 6.005,54	FALSO	R\$ 6.005,54		
61	nov/28	R\$ 771,43	R\$ 6.759,53	FALSO	R\$ 6.759,53		
62	dez/28	R\$ 771,43	R\$ 7.513,51	FALSO	R\$ 7.513,51		

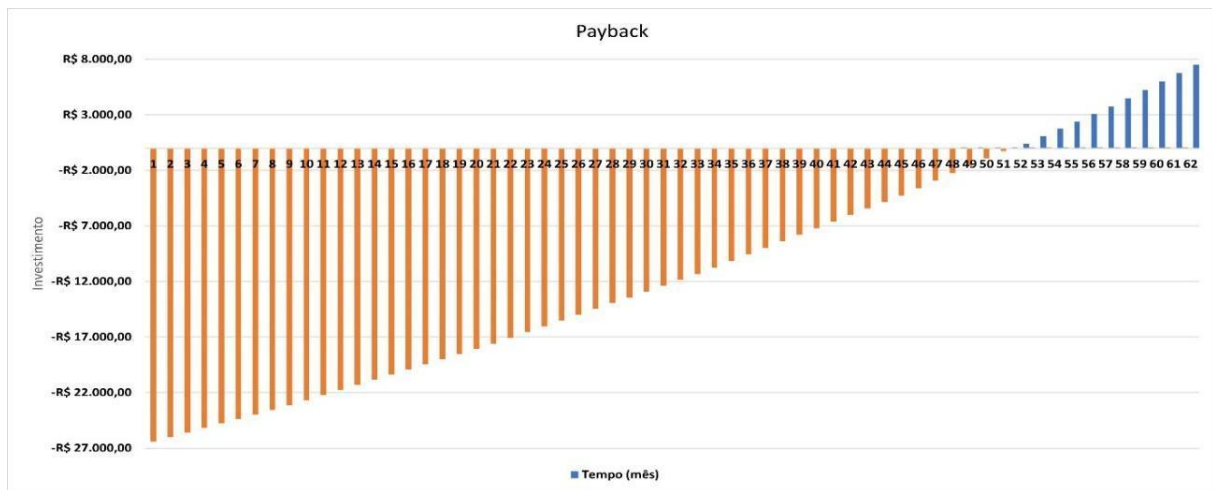


Figura 1. Análise de *payback* de um sistema fotovoltaico integrado à piscicultura familiar

Um outro estudo que focou na viabilidade econômica e ambiental da utilização das águas do rio Piauí represadas na Barragem do Jenipapo em atividade de piscicultura e seu posterior reuso em atividades de irrigação, integrando piscicultura e fruticultura, demonstrou indicadores econômicos relevantes quanto à rentabilidade do projeto, além da importância dos indicadores de sustentabilidade (Jerônimo *et al.*, 2016).

Importante destacar que os sistemas fotovoltaicos têm vantagens para o produtor rural, não somente relacionadas à economia e aos benefícios ao meio ambiente, mas também por gerar uma energia limpa, sinônimo de bioeconomia, sem prejuízo à saúde dos animais, sem consumo de água, sem resíduos. Com o uso de módulos semitransparentes, o sistema solar fotovoltaico (FV) pode auxiliar até na manutenção da temperatura, promovendo o bem-estar animal. Ou seja, aumento nos lucros e na produtividade de suas propriedades rurais, melhorando o desempenho dos sistemas (Pereira *et al.*, 2017).

Além disso, a possibilidade de desenvolvimento sustentável torna-se palpável quando há um maior aproveitamento dos recursos naturais, com base no uso inteligente da biodiversidade amazônica, bem como da diversificação do meio de produção e do crescimento mercadológico, para incentivar o desenvolvimento endógeno na atividade aquícola na Amazônia (Monteiro *et al.*, 2023).

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Considerando que o sistema de piscicultura familiar utiliza quatro equipamentos básicos (aerador, alimentador automático, bomba d'água e balança digital) nas atividades do manejo diário na piscicultura, integrados ao modelo fotovoltaico para obtenção de energia solar, seguindo todas as recomendações técnicas, poderá ter um retorno de investimento em 4 anos e 4 meses, aproximadamente, considerando um investimento total de R\$ 26.826,99. Do ponto de vista técnico e econômico, a implantação do sistema fotovoltaico isolado *Off-Grid* é considerado viável, levando em consideração o *Payback*, a vida útil do sistema fotovoltaico, a compatibilidade dos equipamentos para atender às necessidades sem que apresente falhas

REFERÊNCIAS

- ANDRADE, E. C. et al. 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. <https://doi.org/10.34117/bjdv8n3-319>
- AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA- ANEEL. Resolução Homologatória nº 3.243/2023, de 15 de agosto de 2023. **Diário Oficial da União**: seção 1, Brasília, DF, n. 157, p. 71, v. 161, 17 ago. 2023.
- ARAÚJO, R. S. et al. Fontes de energias renováveis: pesquisas, tendências e perspectivas sobre as práticas sustentáveis. **Research, Society and Development**, v.11, n.11, e468111133893, 2022. <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v11i11.33893>
- BLUE SOL ENERGIA SOLAR. Sistema Fotovoltaico Off-Grid (Isolado): Você Acha que Sabe Tudo? 10 de agosto de 2023.
- BRABO, M. F. et al. Viabilidade econômica da produção de alevinos de espécies reofílicas em uma piscicultura na Amazônia Oriental. **Boletim Instituto da Pesca**, v.41, n.3, p.667-685, 2015.
- BRITO, J. M. et al. Automação na tilapicultura: revisão de literatura. **Nutritime Revista Eletrônica, on-line**, v.14, n.3, p.5053-5062, 2017.
- CAMBOIM, L. F. et al. Desenvolvimento de protótipo de aerador fotovoltaico aplicado à piscicultura de pequeno e médio porte. **Revista Brasileira de Gestão Ambiental e Sustentabilidade**. v. 5, n. 10, p. 665-675, 2018. <http://doi.org/10.21438/rbgas.051019>.
- CORNEJO-PONCE, L. et al. 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**, v. 12, n. 3469, 2020. <https://doi.org/10.3390/w12123469>.
- DADOS MUNDIAIS. **Evolução das taxas de inflação no Brasil**. Dados mundiais.com. 12 de setembro 2022.
- FERIOLI, K. C. O.; VILHENA, A. L.; AGUIAR, M. A. S.; ARRIFANO, R. C. D.; CORRÊA, F. Projeto de Sistema fotovoltaico isolado (*OFF GRID*) para residências. **IESAM: Belém**. V. 22. 2022.
- FERREIRA, A. et al. Economic overview of the use and production of photovoltaic solar energy in Brazil. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 81, p. 181-191, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.06.102>

FRANÇA, I.; SILVA, W. COMPRESSOR RADIAL: o uso do aerador no sistema de piscicultura. **Journal of Innovation and Science: research and application**, v. 2, n. 1, p. 9 p.-9, 2022. <https://doi.org/10.56509/joins.2022.v2.118>

HUNGARO MICHELETTI, D.; CORRÊIA, A. F. O uso da energia solar fotovoltaica como incentivo ao desenvolvimento rural sustentável. **Conjecturas**, v. 22, n. 14, p. 650–670, 2022. <https://doi.org/10.53660/CONJ-1790-2L06>

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. <https://doi.org/10.30955/gnj.000943>

JERÔNIMO, M. K. et al. Perspectivas de viabilidade econômica e ambiental: Integração entre a piscicultura e fruticultura irrigada em São João do Piauí (PI). **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 11, n. 5, p. 103-109, 2016. <https://doi.org/10.18378/rvads.v11i5.3816>

JUNIOR, F. W.; SOUSA, J. O. Indicadores e técnicas para análise e decisão de investimentos. **Revista científica FACPED**. v. 61, n.62. 2016.

LIRA, M. A. T. et al. Contribuição dos Sistemas Fotovoltaicos Conectados à rede elétrica para redução de CO₂ no Estado do Ceará. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 34, n.3, p. 389-397, 2019. <https://doi.org/10.1590/0102-7786343046>

MARTINS, L. P. et al. Viabilidade econômica para o cultivo do Tambaqui (*Colossoma macropomum*) em viveiro escavado no município de Urupá, Rondônia – Brasil. **Revista de Administração e Negócios da Amazônia**, v. 12, n. 2, p. 64-89, 2020. <https://doi.org/10.18361/2176-8366/rara.v12n2p64-89>

MONTEIRO, E. P. et al. Aquicultura na Amazônia: entraves e possibilidades do desenvolvimento endógeno na atividade. **Acta of Fisheries and Aquatic Resources**, v. 11, n. 2, p. 72-80, 2023. <https://doi.org/10.46732/actafish.2023.11.2.72-80>

PEIXE BR. Associação Brasileira da Piscicultura. Anuário da Piscicultura 2024. 63p.

PEREIRA, E. B.; MARTINS, F. R.; GONÇALVES, A. R.; COSTA, R. S.; LIMA, F. L.; RÜTHER, R.; ABREU, S. L.; TIEPOLO, G. M.; PEREIRA, S. V.; SOUZA, J. G. **Atlas brasileiro de energia solar**. 2.ed. São José dos Campos: INPE, 2017. <https://doi.org/10.34024/978851700089>

PINHO, J. T.; GALDINO, M. A. **Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos**. Rio de Janeiro. 2 GTES – Grupo de Trabalho de Energia Solar/CEPEL. 2014.

PORTAL SOLAR. **Tudo Sobre a Manutenção do Painel Solar e do Sistema Fotovoltaico**. 2014.

SÁ, R. J. S. et al. Energias renováveis: energia solar fotovoltaica e energia eólica. **Multidisciplinary Reviews**. v. 2, p. 1-7, 2019. <https://doi.org/10.29327/multi.2019018>

SEGUNDO, D; MOTA, M.; VIERA, A. Aerador de Piscicultura alimentado com Fonte de Energia Solar. **Revista Brasileira de Energias Renováveis**, v. 4, p. 1-14, 2015.

SILVA, C. F. L. et al. Implementação de um Sistema Fotovoltaico para Abastecimento De um Tanque de Piscicultura do “Sisteminha Embrapa”. **EXTRAMUROS-Revista de Extensão da UNIVASF**, v. 7, n. 2, p. 115-135, 2019.

SILVA, H. M. F.; ARAÚJO, F. J. C. Energia solar fotovoltaica no Brasil: uma revisão bibliográfica. **Revista Ibero-Americana de Humanidades, Ciências e Educação**, v. 8, n. 3, p. 859-869, 2022. <https://doi.org/10.51891/rease.v8i3.4654>

SIQUEIRA, P. K. M. S. et al. Diretivas de projeto e metodologia de implantação de um sistema aquapônico sustentável. **Revista Ibero – Americana de Ciências Ambientais**, v.9, n.5, p. 209-217, 2018. <https://doi.org/10.6008/CBPC2179-6858.2018.005.0019>

SOARES, C. A. B. et al. Photovoltaic solar energy and sustainability in higher education institutions: a multiple case study. **GEPROS. Gestão da Produção, Operações e Sistemas**, v. 18, e 02939, p. 103 - 135, 2023. <https://doi.org/10.15675/gepros.v18i00.2939>

SOLAR BRASIL. Como escolher a bateria para um sistema de energia fotovoltaica Offgrid? **Blog Solar Brasil**. 15 nov. 2016.

SOUZA, E. S.; PONTUSCHKA, R. B.; SOUSA, R. G. C. Viabilidade econômica do uso de aerador para o cultivo semi-intensivo de tambaqui em tanques escavados. **Revista Desafios**, v. 04, n. 01, 2017. <https://doi.org/10.20873/uft.2359-3652.2017v4n1p50>