



**UFPA  
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ  
INSTITUTO DE TECNOLOGIA  
FACULDADE DE ENGENHARIA ELÉTRICA E BIOMÉDICA**

**OSVALDO AUGUSTO DO NASCIMENTO JUNIOR**

**ESTUDO PRÁTICO DE IMPLANTAÇÃO DE SISTEMA FOTOVOLTAICO PARA  
ATENDIMENTO PARCIAL DA DEMANDA ELÉTRICA EM FERRY BOAT.**

**BELÉM - PA  
2026**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ  
INSTITUTO DE TECNOLOGIA  
FACULDADE DE ENGENHARIA ELÉTRICA E BIOMÉDICA**

**OSVALDO AUGUSTO DO NASCIMENTO JUNIOR**

**ESTUDO PRÁTICO DE IMPLANTAÇÃO DE SISTEMA FOTOVOLTAICO PARA  
ATENDIMENTO PARCIAL DA DEMANDA ELÉTRICA EM FERRY BOAT.**

Trabalho de curso apresentado à Faculdade de Engenharia Elétrica e Biomédica da Universidade Federal do Pará (UFPA) como requisito para obtenção de Grau de Bacharel em Engenharia Elétrica. Orientado pela Prof<sup>a</sup> Dra. Maria Emília de Lima Tostes e Co-orientado pelo Dr. Carlos Eduardo Moreira Rodrigues

**BELÉM - PA  
2026**

## RESUMO

Este trabalho apresenta um estudo prático de implantação de um sistema fotovoltaico para atendimento parcial da demanda elétrica de uma embarcação tipo ferry boat em operação na região Norte do país. A motivação do estudo está associada a necessidade na economia da operação assim como na redução do consumo de combustíveis fósseis e mitigar os impactos ambientais decorrente a geração termoelétrica da embarcação, especialmente por se tratar de uma área de conservação ambiental (reserva extrativista). Inicialmente, foi realizado o levantamento detalhado das cargas da embarcação, considerando potência nominal, tempo médio de uso e perfil diário de consumo. Com bases nesses dados, foi elaborado o perfil de carga e realizado simulações computacionais por meio do Pvsyst para dimensionamento do sistema fotovoltaico. A análise técnica demonstrou a inviabilidade de atendimento total da carga devido a limitação da área disponível para instalação dos módulos. Desta forma, optou-se pelo atendimento parcial da carga no período de menor consumo energético e nos demais horários utilizando o gerador diesel de 75 KVA, a solução híbrida proposta proporciona tanto economia na redução do consumo de combustíveis fósseis quando minimização nos impactos ambientais. A integração fotovoltaica à geração convencional da embarcação apresenta elevada viabilidade técnica, econômica e ambiental, configurando alternativa sustentável e replicável para embarcações fluviais de características semelhantes.

Palavras-chaves: Sistema Fotovoltaico; Embarcação; Sustentabilidade energética.

## ABSTRACT

This study presents a practical implementation analysis of a photovoltaic system designed to partially supply the electrical demand of a ferry boat operating in the Northern region of Brazil. The motivation for this research is associated with the need to reduce operational costs, decrease fossil fuel consumption, and mitigate environmental impacts resulting from onboard thermoelectric generation, particularly due to its operation within an environmental conservation area (extractive reserve). Initially, a detailed survey of the vessel's electrical loads was conducted, considering nominal power, average usage time, and daily consumption profile. Based on these data, a load profile was established, and computational simulations were performed using the PVsyst software to size the photovoltaic system. The technical analysis demonstrated the infeasibility of fully meeting the vessel's demand due to limitations in the available installation area for photovoltaic modules. Therefore, a partial supply strategy was adopted, in which the photovoltaic system operates during periods of lower energy demand, while a 75 kVA diesel generator remains in operation during peak consumption hours. The proposed hybrid solution provides significant fuel savings and reduces environmental impacts associated with diesel combustion. The results indicate that integrating photovoltaic generation with the conventional onboard power system presents high technical, economic, and environmental feasibility, representing a sustainable and replicable alternative for similar inland waterway vessels.

Keywords: Photovoltaic system; Vessel; Energy sustainability.

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>4</b>
<b>2. FUNDAMENTAÇÃO TEORICA: ENERGIA SOLAR EMBARCADA .....</b>	<b>5</b>
2.1.ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA: FUNDAMENTOS .....	5
2.2.APLICAÇÕES DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS EM EMBARCAÇÕES ...	7
<b>3. GERADOR DIESEL .....</b>	<b>9</b>
3.1.GERADOR DIESEL: CONCEITOS.....	9
3.1.1. Componentes principais do grupo gerador.....	10
3.1.2. Eficiência e consumo específico .....	11
3.2.GERADOR DIESEL: APLICAÇÃO EM EMBARCAÇÕES .....	11
<b>4. LEVANTAMENTO DE CARGA .....</b>	<b>14</b>
<b>5. 5. PROJETO DE SISTEMA FOTOVOLTAICO PARA FERRY BOAT ...</b>	<b>17</b>
5.1. ATENDIMENTO TOTAL DA CARGA .....	17
5.2. ATENDIMENTO PARCIAL DA CARGA E UTILIZAÇÃO DE GERADOR DE 75KVA .....	17
<b>6. CONCLUSÃO.....</b>	<b>23</b>
<b>REFERÊNCIA BIBLIOGRAFICA .....</b>	<b>25</b>

## 1. INTRODUÇÃO

A crescente preocupação com os impactos ambientais na geração de energia por fontes fósseis tem impulsionado a busca por alternativas sustentáveis em diversos setores, inclusive no transporte aquaviário. Em especial, embarcações como ferry boats que operam em regiões ambientais sensíveis, como reservas extrativistas, demandam soluções que aliem eficiência energética à preservação ecológica.

As reservas extrativistas (resex) representam territórios de uso sustentável, nos quais comunidades tradicionais dependem dos recursos naturais para subsistência. Nessas áreas, a presença de embarcações com motores e geradores a diesel, ainda que essenciais para o transporte de pessoas, mercadorias e insumos, pode gerar externalidades negativas, como emissões de gases poluentes, vazamentos de óleo, ruídos e elevados consumo de combustíveis fósseis. Tais fatores tornam urgente a adoção de práticas que reduzam a pegada ambiental dessas operações.

Neste contexto, o uso de sistemas fotovoltaicos surge como uma alternativa viável para atender parcialmente a demanda elétrica da embarcação, especialmente para cargas auxiliares (iluminação, comunicação, refrigeração entre outros). Além de contribuir para a redução do consumo de diesel, a geração solar pode representar economia a longo prazo, menor manutenção e ganho de autonomia energética.

Este trabalho propõe um estudo prático da implantação de um sistema fotovoltaico em uma embarcação tipo ferry boat em operação dentro de uma reserva extrativista na região norte do Brasil, com o objetivo de atender parte da carga elétrica diária da embarcação. A pesquisa inclui levantamento da demanda energética, análise do perfil de operação dos geradores, dimensionamento do sistema solar e avaliação da viabilidade técnica e econômica da integração.

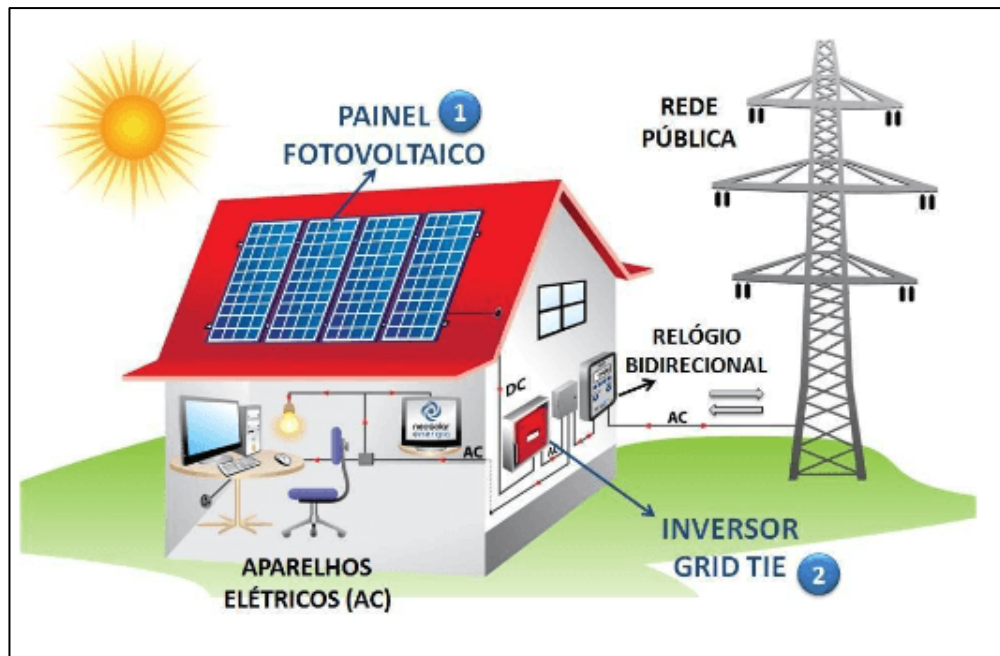
Ao final espera-se apresentar uma proposta aplicável e replicável a outras embarcações de características semelhantes, que contribua para o desenvolvimento sustentável da região e a mitigação dos impactos ambientais da atividade de transporte fluvial em áreas de preservação.

## 2. FUNDAMENTAÇÃO TEORICA: ENERGIA SOLAR EMBARCADA

### 2.1. ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA: FUNDAMENTOS

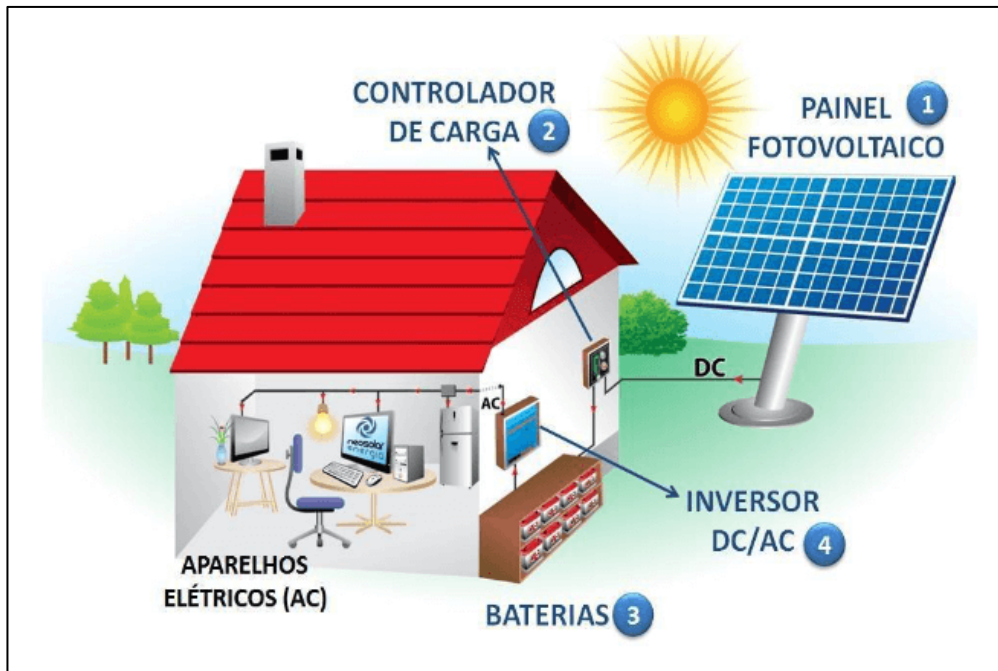
A energia solar fotovoltaica baseia-se no efeito fotovoltaico, fenômeno pelo qual materiais semicondutores, como o silício, convertem diretamente a radiação solar em energia elétrica. Um sistema fotovoltaico típico é composto por módulos solares, controlador de carga, inversor e, quando necessário, banco de baterias (geralmente em sistemas isolados), sendo capaz de gerar eletricidade de forma sustentável e com baixas emissões de carbono, contribuindo para a mitigação dos impactos ambientais associados às fontes fósseis de geração (BNDES, 2018).

**Figura 1** – Sistema Fotovoltaico on grid (conectado à rede)



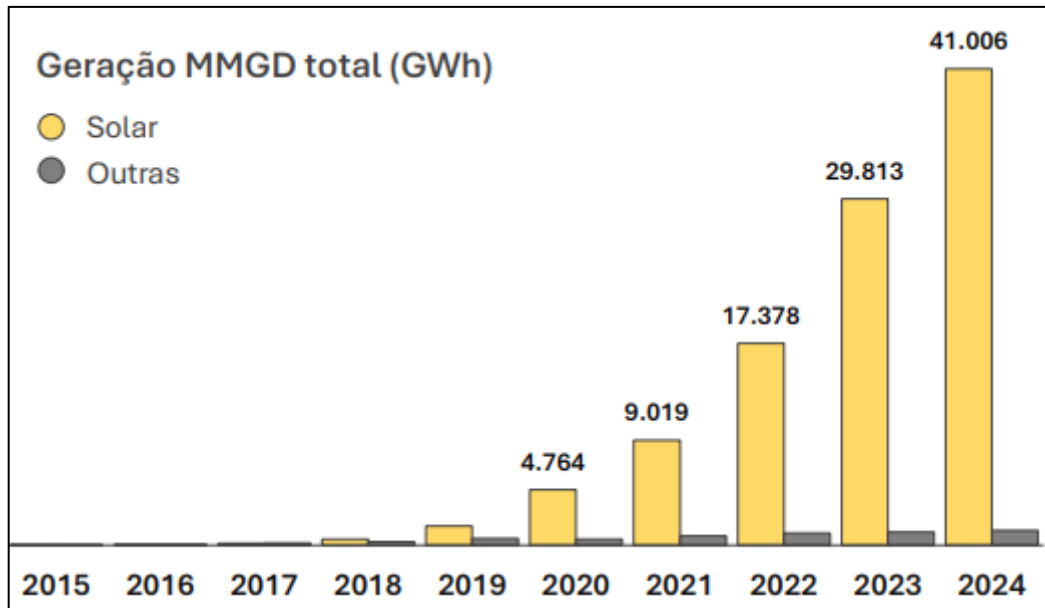
Fonte: NeoCharge,2024

**Figura 2** – Sistema Fotovoltaico off grid (sistema isolado)



Fonte: NeoCharge,2024

No contexto brasileiro, a energia solar fotovoltaica vem experimentando um crescimento exponencial nas últimas décadas. Segundo dados de mercado, o Brasil passou a integrar o grupo dos países com maior potência instalada de sistemas fotovoltaicos, destacando-se tanto em geração centralizada quanto em geração distribuída. A expansão da fotovoltaica tem sido impulsionada pelo aumento da conscientização ambiental, avanços tecnológicos e políticas públicas de incentivo, como a Resolução Normativa nº 482/2012 da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), que regulamentou a geração distribuída e permitiu que os sistemas fotovoltaicos conectados à rede possam injetar excedentes de energia e gerar créditos para o consumidor (ABSOLAR apud IEMA, 2024).

**Figura 3** – Evolução da fonte solar fotovoltaica no Brasil.

Fonte: EPE, 2025

De acordo com o relatório setorial mais recente, existe mais de 2,6 milhões de sistemas fotovoltaicos conectados à rede no Brasil, com uma capacidade total instalada superior a 41 GW, dos quais aproximadamente 28 GW são provenientes de sistemas de geração distribuída, predominantes em pequenas e médias instalações residenciais, comerciais e rurais, e cerca de 13 GW de grandes usinas centralizadas. Estimativas indicam que essa capacidade pode alcançar 46 GW até o final de 2024, o que representa um crescimento extremamente acelerado em relação aos anos anteriores, consolidando a energia solar como um dos pilares da matriz elétrica nacional (IEMA, 2024).

Os pesquisadores destacam que a energia fotovoltaica no Brasil tem amplo potencial devido à elevada radiação solar disponível, especialmente nas regiões Norte, Nordeste e partes do Centro-Oeste. Essa abundância de recurso solar favorece a viabilidade técnica e econômica de projetos fotovoltaicos em diferentes escalas, desde pequenos sistemas off-grid em áreas isoladas até grandes usinas solares que contribuem significativamente para o abastecimento energético nacional (PUCRS, 2023).

Além disso, o desenvolvimento tecnológico aplicado aos sistemas fotovoltaicos — como módulos bifaciais, controladores MPPT e inversores mais eficientes — tem ampliado a eficiência e a flexibilidade de uso desses sistemas em aplicações sofisticadas, como micro-redes, veículos elétricos e integrações híbridas com outras fontes renováveis, mostrando que a evolução da tecnologia, somada às condições climáticas favoráveis, posiciona o Brasil como um protagonista no cenário solar latino-americano (Pucrs, 2023).

A difusão da tecnologia fotovoltaica no Brasil também está relacionada às políticas públicas que incentivam a adoção de fontes renováveis, como isenções fiscais e linhas de financiamento específicas. Pesquisas indicam que incentivos como a isenção de ICMS sobre equipamentos fotovoltaicos tiveram impacto direto no aumento da adoção residencial de sistemas solares, contribuindo para a expansão do segmento em nível estadual e municipal (ScienceDirect, 2025).

O setor fotovoltaico brasileiro também se beneficia da atuação de instituições especializadas, centros de pesquisa e associações, que promovem a capacitação, disseminam informações técnicas, desenvolvem projetos e articulam a indústria com o setor público. Um exemplo é o Centro de Referência para as Energias Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito (CRESESB), que atua na promoção da pesquisa, formação e cooperação tecnológica no país (CRESESB, s.d.)

## 2.2. APLICAÇÕES DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS EM EMBARCAÇÕES

A utilização de sistemas de energia solar fotovoltaica em embarcações representa uma abordagem sustentável e emergente na engenharia naval e marítima. Com o objetivo de reduzir o consumo de combustíveis fósseis, minimizar emissões de gases de efeito estufa e diminuir custos operacionais, a energia fotovoltaica vem sendo integrada em diversas categorias de embarcações, desde pequenos barcos elétricos até grandes navios híbridos (Kasaeian et al., 2025)

Sistemas fotovoltaicos aplicados ao meio marítimo são, essencialmente, compostos por módulos fotovoltaicos, inversores, controladores de carga, baterias de armazenamento e interfaces de controle para integração com os sistemas elétricos embarcados. A principal função desses sistemas é converter a irradiância solar em energia elétrica, que pode ser utilizada diretamente para cargas auxiliares ou integrada a bancos de baterias para posterior uso (Shi & Luo, 2018).

A energia fotovoltaica como fonte alternativa em embarcações segue o princípio básico de aproveitar um recurso renovável e abundante, reduzindo a dependência de motores a combustão e geradores diesel, que historicamente compõem a matriz energética das embarcações tradicionais (Minak, 2023). O avanço tecnológico nos módulos fotovoltaicos, incluindo o desenvolvimento de células mais eficientes e estruturas adaptadas às superfícies curvas dos navios, tem expandido as possibilidades de integração no ambiente marítimo.

Uma das aplicações de sistema fotovoltaico em embarcações é o catamarã Poraquê, totalmente elétrico, que tem a capacidade para transportar até 20 passageiros onde conta com sistema fotovoltaico para geração de energia e pode ser recarregado por eletroposto. A embarcação conta com uma potência máxima de geração de 6,7 KWp, com baterias com capacidade de descarga de 615 Ah e o Poraquê conta com dois motores de 12 KW para propulsão. (Albuquerque, 2025)

**Figura 4** – Catamarã Poraquê no porto da UFPA.



Fonte: UFPA,2024

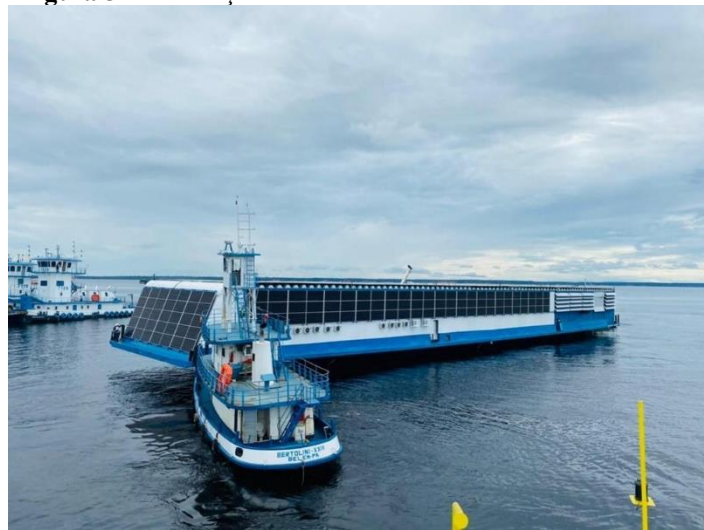
O catamarã Poraquê é exemplo de aplicação de sucesso do sistema fotovoltaico aplicado a embarcações onde se tem tanto como fonte de carregamento das baterias os painéis solares como também é possível fazer as recargas por eletroposto que é abastecida por sistema fotovoltaico, instalada no CEAMAZON (Centro de Eficiência Energética da Amazônia). Aplicações de fontes limpas de energia como a energia solar fotovoltaica, é um avanço significativo pois se deixa de usar fontes nocivas ao meio ambiente para utilizar um fornecimento sem danos ao meio ambiente.

O projeto Balsa-Açaí consiste em uma agroindústria móvel flutuante para o beneficiamento e processamento do fruto do açaí diretamente nas comunidades ribeirinhas da Amazônia, idealizado pela empresa Transportes Bertolini em parceria com a Valmont Solutions. A embarcação tem como principal objetivo reduzir perdas pós-colheita, incrementar a renda dos produtores extrativistas e melhorar a logística de comercialização, ao deslocar a unidade de industrialização até as áreas de produção, superando a limitação imposta pelas longas distâncias e falta de infraestrutura terrestre no interior do Estado do Amazonas.

A balsa é equipada com tecnologia de ponta e sistemas sustentáveis: energia solar fotovoltaica com armazenamento off-grid, estação de tratamento de água e efluentes, câmaras frigoríficas com capacidade de armazenamento de até 300 toneladas de polpa, e linha de produção automatizada com capacidade diária para processar entre 20 a 40 toneladas de fruto e gerar cerca de 12 toneladas de polpa congelada. A utilização de fontes renováveis e soluções de baixo carbono permite autonomia energética e minimiza impactos ambientais, alinhando o projeto com princípios de sustentabilidade.

Além dos benefícios tecnológicos, o projeto também tem impacto social e econômico relevante ao reduzir a dependência de intermediários (atravessadores), promover a compra direta do produto pelos produtores e gerar empregos locais. A iniciativa representa uma inovação no setor agroindustrial brasileiro ao integrar produção, beneficiamento e logística em uma plataforma móvel adaptada às características geográficas da região amazônica (BERTOLINI; VALMONT SOLUTIONS, 2021).

**Figura 5** – Balsa-açai da Bertoline



Fonte: Globo,2021

### 3. GERADOR DIESEL

#### 3.1. GERADOR DIESEL: CONCEITOS

Os geradores diesel constituem sistemas de conversão eletromecânica destinados à produção de energia elétrica a partir da energia térmica liberada pela combustão do óleo diesel. O conjunto é formado, basicamente, por um motor de combustão interna ciclo Diesel, um alternador síncrono, sistemas auxiliares (arrefecimento, lubrificação, alimentação de combustível e exaustão) e um painel de comando e proteção.

O princípio de funcionamento do motor diesel foi desenvolvido por Rudolf Diesel no final do século XIX e baseia-se na ignição espontânea do combustível injetado em ar altamente comprimido no interior do cilindro. Diferentemente do motor do ciclo Otto, não há necessidade de sistema de ignição por centelha, o que contribui para maior eficiência térmica e robustez operacional (HEYWOOD, 2018).

Segundo Heywood (2018), o motor diesel opera com taxas de compressão elevadas, normalmente entre 14:1 e 25:1, permitindo maior rendimento termodinâmico quando comparado a motores movidos a gasolina. Esse fator torna o gerador diesel particularmente adequado para aplicações que exigem funcionamento contínuo e elevado torque em baixas rotações, como no caso de embarcações.

De acordo com Çengel e Boles (2013), o processo termodinâmico ideal do ciclo Diesel compreende quatro etapas principais:

- a) compressão adiabática do ar;
- b) adição de calor a pressão aproximadamente constante;
- c) expansão adiabática;
- d) rejeição de calor a volume constante.

Na prática, o ciclo real apresenta perdas mecânicas, térmicas e volumétricas, reduzindo o rendimento global do sistema. Ainda assim, os motores diesel mantêm eficiência superior em aplicações estacionárias e marítimas.

### 3.1.1. Componentes principais do grupo gerador.

O grupo gerador marítimo é composto pelos seguintes subsistemas:

#### a) Motor Diesel

Responsável pela geração de potência mecânica no eixo. Conforme Woodward (2009), os motores diesel marítimos são projetados para operação em regime contínuo, com sistemas reforçados de lubrificação e arrefecimento, capazes de suportar longos períodos de carga elevada.

Nos ambientes marítimos, esses motores são adaptados para resistir à corrosão salina, vibração constante e inclinação da embarcação.

#### b) Alternador Síncrono

O alternador converte energia mecânica em energia elétrica por meio do princípio da indução eletromagnética descrito por Faraday. Segundo Chapman (2012), o alternador síncrono é amplamente utilizado em geração embarcada devido à sua capacidade de manter tensão e frequência estáveis sob variações de carga.

A frequência da energia gerada é função direta da rotação do motor e do número de polos do alternador, conforme a Equação (1):

$$f = \frac{P \cdot n}{120}$$

Onde:

f = frequência (Hz);

P = número de polos;

N = Rotação (rpm).

Em embarcações brasileiras, a frequência padrão geralmente adotada é 60 Hz.

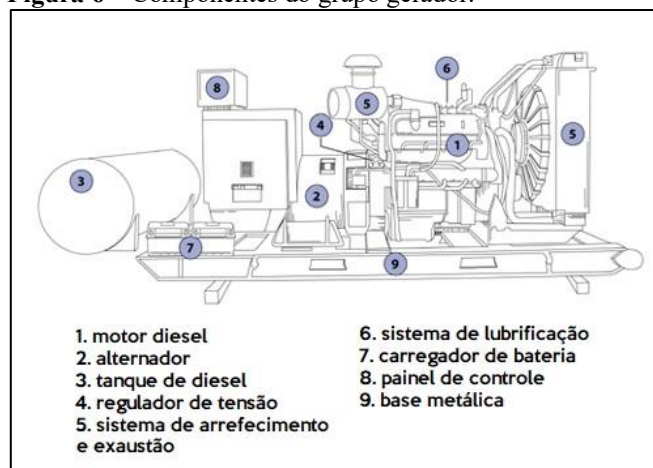
#### c) Sistema de Regulação de Tensão

O regulador automático de tensão (AVR) controla a excitação do alternador, mantendo a tensão dentro de limites aceitáveis mesmo com variações de carga. Conforme Wildi (2006), a estabilidade da tensão é fundamental para evitar danos a equipamentos sensíveis de navegação e comunicação.

#### d) Sistema de Governador de Velocidade

O governador controla a rotação do motor, garantindo frequência constante. Segundo Woodward (2009), variações bruscas de carga podem provocar oscilações transitórias de frequência, sendo essencial o correto ajuste do sistema de controle.

**Figura 6** – Componentes do grupo gerador.



Fonte: Alugagera,2024

### 3.1.2. Eficiência e consumo específico.

A eficiência global do grupo gerador pode ser expressa como a relação entre potência elétrica útil e potência térmica fornecida pelo combustível.

De acordo com Heywood (2018), motores diesel modernos podem atingir eficiência térmica entre 35% e 45% em regime ideal. No entanto, quando acoplados ao alternador e sistemas auxiliares, a eficiência global do grupo gerador tende a situar-se entre 30% e 40%.

O consumo específico de combustível (CEC), normalmente expresso em g/kWh, é um dos principais parâmetros para avaliação econômica do sistema. Valores típicos para geradores marítimos variam entre 190 e 220 g/kWh, dependendo do regime de operação.

## 3.2. GERADOR DIESEL: APLICAÇÃO EM EMBARCAÇÕES

Segundo Taylor (1996), os sistemas de geração embarcados devem priorizar:

- confiabilidade operacional;
- facilidade de manutenção;
- capacidade de operação em paralelo;
- resistência a ambientes agressivos;
- segurança contra incêndio e explosão.

Em embarcações, a geração de energia não está associada apenas ao conforto, mas principalmente à segurança da navegação. Sistemas como bombas de incêndio, iluminação de emergência e equipamentos de comunicação dependem diretamente da disponibilidade energética.

Além disso, conforme discutido por Carlton (2012), a tendência moderna da engenharia naval envolve integração entre geração convencional e sistemas híbridos, reduzindo consumo de combustível e emissões atmosféricas.

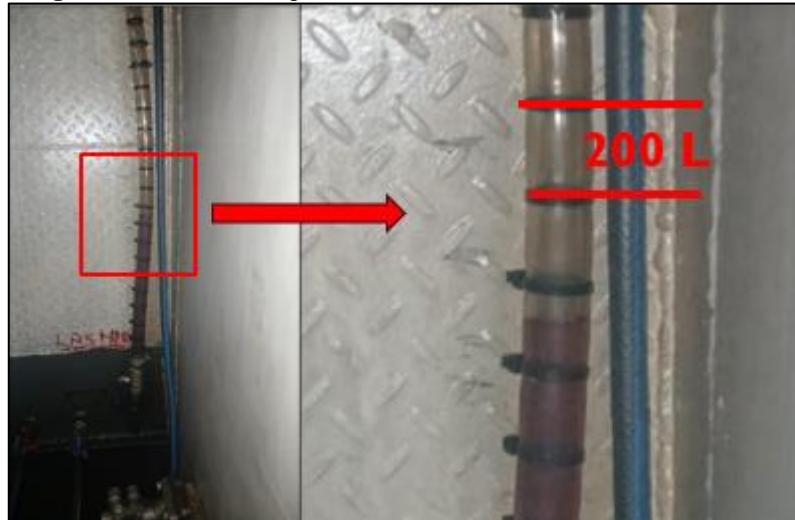
A confiabilidade dos geradores diesel em embarcações é elemento central da segurança marítima. De acordo com normas da International Maritime Organization (IMO), sistemas essenciais devem possuir redundância, garantindo operação mesmo em caso de falha do gerador principal.

Segundo Woodward (2009), a operação ideal ocorre quando o gerador trabalha entre 70% e 85% de sua capacidade nominal, faixa que reduz carbonização interna e aumenta a vida útil do motor.

No estudo realizado na balsa onde se foi feito o acompanhamento de funcionamento dos geradores que foi possível definir o consumo a partir da observação na variação do nível

do tanque dentro do intervalo de 12 horas na qual os geradores trabalham. Sempre que há a troca do grupo gerador o marinheiro de máquinas registra a foto do tanque sendo assim possível conferir consumo diário de diesel no fornecimento de energia elétrica a embarcação.

**Figura 7** – Nível do tanque de diesel.



Fonte: Aatoria própria, 2026

Conforme ilustrado a marcação no tubo indica que cada linha representa 200 litros, assim se sabe a quantidade aproximada de combustível no tanque e com a variação de início e fim da operação dos geradores qual foi o consumo.

**Figura 8** – Gerador diesel de 75kva.



Fonte: Aatoria própria, 2026

O gerador trifásico de 75 KVA, com motor síncrono, funciona das 06:00 às 18:00, nesse período o gerador consome 50 litros pelas 12 horas consecutivas.

**Figura 9** – Gerador diesel de 125kva.



Fonte: Aatoria própria, 2026

O gerador trifásico de 125 KVA, com motor síncrono, funciona das 18:00 às 06:00, nesse período o gerador consome 100 litros pelas 12 horas consecutivas. Para fornecer energia elétrica a embarcação para disponibilizar conforto e dignidade aos funcionários que ficam embarcados são queimados 150 litros de diesel por dia e 3300 litros por mês apenas para os geradores.

#### 4. LEVANTAMENTO DE CARGA

O levantamento de carga é uma etapa fundamental no planejamento e dimensionamento de sistemas elétricos, consistindo na identificação, quantificação e caracterização das cargas elétricas que compõem determinada instalação. Trata-se de um procedimento técnico essencial para o correto dimensionamento de condutores, dispositivos de proteção, transformadores, geradores, bancos de baterias e sistemas de geração distribuída, como os sistemas fotovoltaicos. Segundo Mamede Filho (2017), o levantamento de carga constitui a base do projeto elétrico, pois permite estimar a demanda instalada e a demanda provável de uma instalação.

De maneira conceitual, o levantamento de carga envolve o inventário detalhado de todos os equipamentos consumidores de energia elétrica, considerando suas potências nominais, regimes de funcionamento, fator de potência, simultaneidade de uso e perfil de operação. Conforme a Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT (2004), no contexto da NBR 5410, o dimensionamento das instalações elétricas deve considerar a potência instalada

e os fatores de demanda aplicáveis, o que pressupõe a realização prévia de um levantamento adequado das cargas.

A potência instalada corresponde à soma das potências nominais de todos os equipamentos elétricos da instalação. Entretanto, a potência instalada não representa necessariamente a potência efetivamente demandada em operação. Para isso, utilizam-se fatores como o fator de demanda e o fator de simultaneidade, que ajustam os valores teóricos à realidade operacional. De acordo com Crespo (2012), o fator de demanda expressa a relação entre a demanda máxima e a carga instalada, sendo um parâmetro essencial para evitar o superdimensionamento de sistemas elétricos.

No contexto de sistemas de geração própria, como geradores a diesel ou sistemas fotovoltaicos, o levantamento de carga torna-se ainda mais crítico. Isso porque o dimensionamento inadequado pode resultar em subdimensionamento (causando sobrecargas e falhas operacionais) ou superdimensionamento (aumentando custos de investimento e reduzindo eficiência energética). Segundo Mamede Filho (2017), a correta previsão da demanda máxima e da curva de carga permite otimizar a seleção de geradores e transformadores, garantindo maior eficiência operacional.

O levantamento de carga também considera a classificação das cargas quanto à sua natureza: resistiva, indutiva ou capacitiva. Cargas indutivas, como motores elétricos, compressores e bombas, apresentam corrente de partida superior à corrente nominal, exigindo atenção especial no dimensionamento de sistemas de geração e proteção. Conforme afirma Dugan et al. (2012), a análise adequada das características das cargas é fundamental para assegurar qualidade de energia e estabilidade do sistema elétrico.

Outro aspecto importante é a análise do perfil temporal de consumo, frequentemente representado por meio da curva de carga diária ou mensal. Essa curva permite identificar horários de pico, períodos de baixa demanda e comportamento sazonal do consumo. Segundo Glover, Sarma e Overbye (2012), a modelagem da curva de carga é indispensável para planejamento energético e análise de fluxo de potência em sistemas elétricos.

No caso específico de embarcações, indústrias ou instalações isoladas, o levantamento de carga deve considerar as condições operacionais específicas do sistema. Em uma embarcação, por exemplo, é necessário identificar cargas essenciais (como sistemas de navegação e segurança), cargas de serviço (iluminação e climatização) e cargas intermitentes (bombas e guinchos). Essa classificação auxilia na definição de prioridades de suprimento e estratégias de gerenciamento energético.

Além disso, o levantamento de carga é etapa preliminar para estudos de eficiência energética. Ao conhecer detalhadamente os equipamentos instalados e seus padrões de uso, torna-se possível identificar oportunidades de substituição por equipamentos mais eficientes ou de implementação de sistemas de controle e automação. Segundo a Empresa de Pesquisa Energética – EPE (2023), a caracterização do consumo é condição indispensável para políticas de racionalização do uso de energia.

No dimensionamento de sistemas fotovoltaicos isolados (off-grid), o levantamento de carga é utilizado para determinar o consumo diário em kWh, a potência simultânea máxima e a autonomia necessária do banco de baterias. A partir desses dados, calcula-se a capacidade do sistema de geração e armazenamento. De acordo com Villalva e Gazoli (2012), o erro no levantamento de carga é uma das principais causas de falhas em sistemas fotovoltaicos autônomos.

Portanto, o levantamento de carga não se limita à simples soma de potências nominais, mas constitui uma análise técnica detalhada que envolve fatores de simultaneidade, demanda, perfil de consumo, características elétricas das cargas e condições específicas de operação. Trata-se de etapa indispensável para assegurar segurança, confiabilidade, eficiência energética e viabilidade econômica de projetos elétricos.

Para a realização do estudo prático sobre a implantação de um sistema fotovoltaico em uma embarcação tipo balsa, foi realizado o levantamento de carga de toda embarcação considerando o tempo médio de uso de cada equipamento, conforme quadro abaixo.

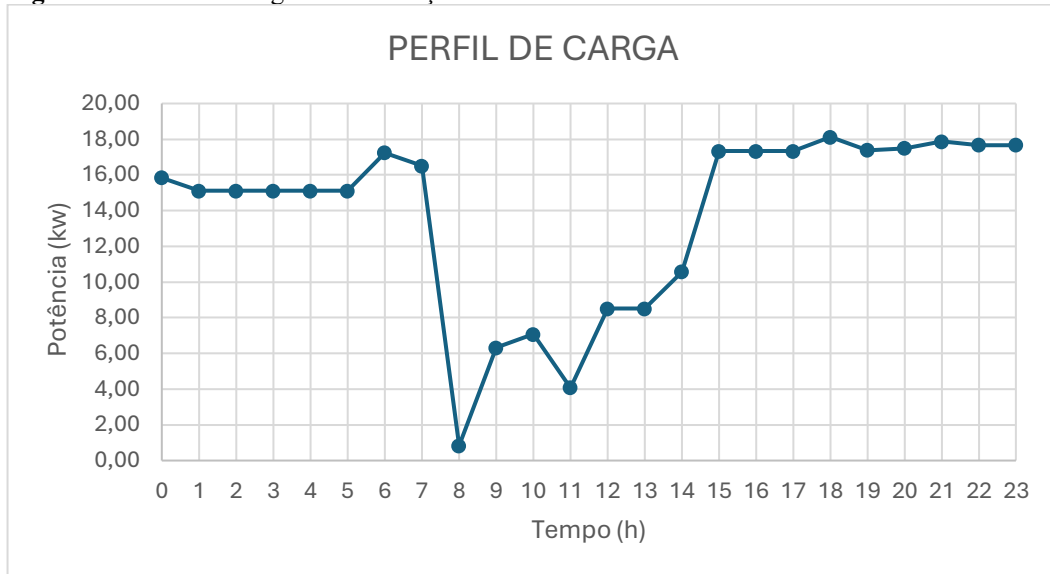
**Quadro 1** - Levantamento de carga da embarcação.

<b>CARGAS DISPONIVEL NA EMBARCAÇÃO</b>				
<b>ITEM</b>	<b>EQUIPAMENTO</b>	<b>POTÊNCIA (W)</b>	<b>QUANTIDADE HORAS USO</b>	
1	BEBEDOURO INDUSTRIAL	130	1	24
2	SANDUICHEIRA	750	1	1
3	LIQUIDIFICADOR	750	1	1
4	CARREGADOR DE BATERIA	1.500	1	1
5	FORNO ELÉTRICO	1.500	1	2
6	FREEZER 309L	113	1	24
7	FREEZER 404L	130	1	24
8	MAQUINA DE LAVAR 11KG	340	1	12
9	MAQUINA DE LAVAR 8KG	240	1	12
10	TANQUINHO 20KG	340	2	12
11	LAMPADA LED 9W	9	104	6
12	LAMPADA LED 4W	4	28	6
13	LAMPADA INCADESCENTE	15	8	12
14	AR CONDICIONADO 7000 Btus	665	1	16
15	AR CONDICIONADO 9000 Btus	815	1	7
16	AR CONDICIONADO 9000 Btus	815	10	16
17	AR CONDICIONADO 12000 Btus	1.085	5	16
18	CAREGADOR NOTEBOOK	45	4	6
19	CARREGADOR DE TABLET	15	7	9
20	CARREGADOR CELULAR	15	25	6
21	BOMBA D'ÁGUA	1.119	1	2
22	TV 65"	200	1	7

Fonte: Aatoria própria, 2026

Todas as cargas foram colocadas em watts para a realização da demanda da carga. Para determinar a potência dos equipamentos em watts foi utilizada a tabela do Procel onde ela é disponibilizada no site da empresa.

A partir do levantamento de carga da embarcação foi possível criar o perfil de carga para análise de consumo praticado e assim melhor definir o projeto para atender o ferry boat.

**Figura 10** - Perfil de carga da embarcação.

Fonte: Autoria própria, 2026

Por ser uma embarcação do tipo barco-hotel onde são alojados 25 pessoas entre tripulação (marinheiros) e equipe operacional. No período de 08:00 e 15:00 é o intervalo de menor consumo pois é quando a embarcação está com o menor número de pessoal embarcado o que faz o consumo ser consideravelmente menor.

Para atender a demanda da embarcação o ferry boat conta com dois geradores diesel de 75kva e 125kva onde funcionam em turnos de 12 horas cada. Os geradores estão sobredimensionados para o atual uso o que gera perdas, pois o gerador consome mais para gerar muito além do que o necessário para suprir as demandas.

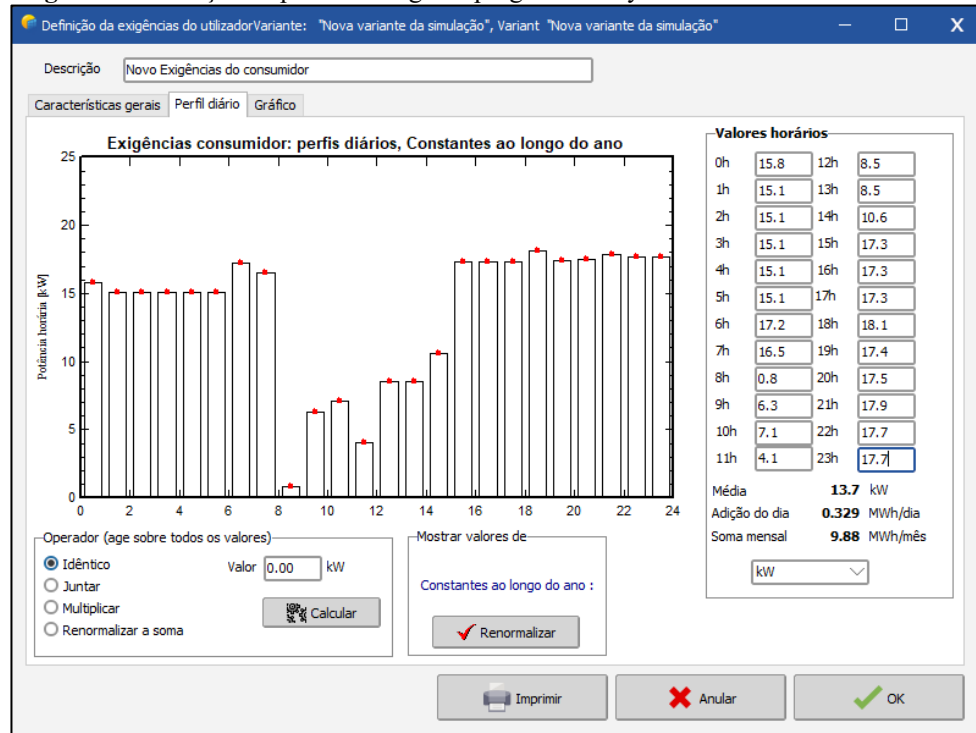
## 5. PROJETO DE SISTEMA FOTOVOLTAICO PARA FERRY BOAT

### 5.1. ATENDIMENTO TOTAL DA CARGA.

Para atender a demanda total da embarcação o projeto vai considerar o levantamento de carga mostrado no item anterior onde deverá atender o consumo diário observando a potência máxima exigida no dia. Para realizar o projeto foi utilizado o PVSyst 8.0.14, programa destinado a criação de projetos de sistemas fotovoltaicos.

Como o consumo mensal depende da quantidade dias trabalhados no mês, que para a escala atual o máximo são de 22 dias, não sendo necessariamente todos trabalhados embarcados, mas como o consumo diário é praticamente o mesmo então será utilizada como tipo de perfil de carga o perfis diários para determinar a carga do projeto, conforme mostrado abaixo.

**Figura 11** - inserção de perfil de carga no programa PVsyst.



Fonte: Autoria própria, 2026

Após definir o perfil de carga o sistema já possui pré-dimensionamento que facilita a realização do projeto, onde se escolhe os equipamentos por tecnologia, potência, tensão e capacidade no caso da bateria.

A escolha dos equipamentos tais como modulo e bateria foi feita a partir dos equipamentos já disponível no local da embarcação como o painel solar de 440 Wp e bateria de lítio de 100 Ah 48v conforme mostrado abaixo na figura 3 e figura 4.

Figura 12 - Escolha do módulo e controlador no programa PVsyst.

Exigências diárias médias Introduza PLOL aceite 5.0 % Tensão da bateria 51 V  
 329 kWh/dia Autonomia desejada 1.0 dia's Capacidade sugerida 7565 Ah  
 Pré-dimens. pormenor. Potência FV recomendada 93.0 kWp

Armazenamento | Elaboração do sub-grupo | Recurso | Esquema simplificado

Nome e orientação do sub-grupo  
 Nome Grupo FV  
 Oriente #1: Fixada, Incl. 10.0°, Azim. 0.0°

Ajuda para o dimensionamento  
 Sem pré dim. Pnom desejado 91.6 kWp  
 ou superfície disponível 0 m<sup>2</sup>

Seleção do módulo FV  
 Todos os módulos Ordenar módulos por  Potência  Tecnologia  
 \_Genérico 440 Wp 35V Si-mono Mono 440 Wp 72 cells bifacial Desde 202  
 Dimens. das tensões : Vmpp (60°C) 35.8 V  
 Vco (-10°C) 55.2 V

Escolha, por favor, o modo de controlo e o controlador  
 Controlador universal \_Genérico Conversor de potência MPPT  
 Acoplamento direto Corrente máxima de carregamento-descarregamento  
 Conversor MPPT - DC MPPT 1000 W 51 V 1927 A 354 A Universal controller with MPPT conve  
 Conversor CC-CC Os parâmetros de funcionamento do controlador universal serão automaticamente ajustados segundo as propriedades do sistema.

Dimensionamento do grupo  
 Número de módulos e strings deve ser:  
 Mod. em série 4  Sem restrições  
 Nr. strings 51  entre 42 et 63  
 Nº de módulos 204 Superfície 457 m<sup>2</sup>

Condições de funcionamento:  
 Vmpp (60°C) 143 V  
 Vmpp (20°C) 170 V  
 Vco (-10°C) 221 V  
 Irradiã. no plano 1000 W/m<sup>2</sup>  
 Imp (60°C) 545 A  
 Isc (60°C) 578 A  
 Isc (em STC) 575 A  
 Potênc. Máx. em funcionamento (com irradi. Máx. e 50°C) 82 kW  
 Potência nom. grupo (STC) 90 kWp

Fonte: Autoria própria, 2026

Figura 13 - Escolha do armazenamento no programa PVsyst.

Exigências diárias médias Introduza PLOL aceite 5.0 % Tensão da bateria 51 V  
 329 kWh/dia Autonomia desejada 1.0 dia's Capacidade sugerida 7565 Ah  
 Pré-dimens. pormenor. Potência FV recomendada 93.0 kWp

Armazenamento | Elaboração do sub-grupo | Recurso | Esquema simplificado

Procedimento  
 As sugestões de pré-dimensionamento são baseadas em dados meteorológicos mensais assim como nas exigências do utilizador  
 1. Pré-dimensionamento Defina as condições de pré-dimensionamento (PLOL), autonomia, tensão da bateria  
 2. Armazenamento Defina a bateria (as caixas de seleção padrão se aproximam do pré-dimensionamento)  
 3. Projeto grupo FV Defina o grupo FV (módulo FV) e modo de controlo. Recomendamos que comece com um controlador universal.  
 4. Recurso Defina, por favor, um gerador eventual

Especifique o conjunto de baterias  
 Ordenar as baterias segundo  tensão  capacidade  fabricante  
 Pytes 51.2 V 100 Ah Li LFP V5° Desde 2024  
 Tipos de Lítio A bateria selecionada é uma módulo  
 1  módulos em série Número de módulos 74  
 74  módulos em paralelo Número de elementos 1184  
 100.0 % Estado inicial de deterioração (n° de ciclos)  
 100.0 % Estado inicial de deterioração (estático) Energia total armazenada durante o tempo de vida da bateria 1911 MWh  
 Tensão do grupo de baterias 51 V  
 Capacidade total (C10) 7678 Ah  
 Energia armazenada (80% DOD) 341 kWh  
 Peso total 3256 kg  
 80% DOD 6000

Temperatura bateria em funcionamento  
 Modo temperatura  
 Fixo (climatizado com ar condicionado)  
 Temperatura fixa 20 °C  
 A temperatura é importante para a longevidade de uma bateria.

Fonte: Autoria própria, 2026

Após a escolha dos equipamentos é possível determinar a quantidade necessário por equipamento chegando assim à capacidade total instalada e a área útil a ser utilizada pelo equipamento.

O programa Pvsyst gera um resumo após a definição de todas as escolhas que é possível ver na figura 5.

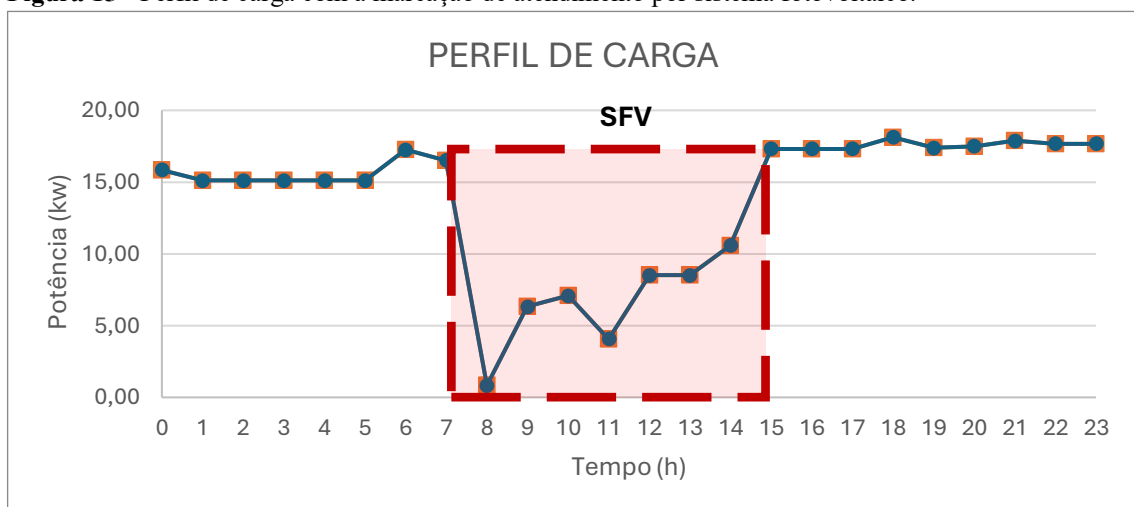
**Figura 14** - Resumo do projeto no programa PVsyst.

<b>Resumo do sistema global</b>	
Número de módulos	204
Superfície módulos	457 m <sup>2</sup>
Potência nominal FV	89.8 kWp
Potência máxima FV	88.2 kWdc
Número de controladores	1
Número de baterias	74 (1 em série x 74 em paralelo)
Battery pack voltage	51 V

Fonte: Autoria própria, 2026

Para projetos em embarcações o maior desafio é a limitação da área disponível para a instalação dos módulos pois para a necessidade atual seriam necessários 457 m<sup>2</sup> de área para montar os painéis solares, mas a embarcação conta com apenas 144 m<sup>2</sup> o que impede o atendimento total da carga da balsa. Sendo assim um novo estudo é realizado para atendimento parcial da carga onde será atendido no período de menor consumo com sistema fotovoltaico e no período com a maior carga será utilizado o gerador diesel de 75 KVA.

**Figura 15** - Perfil de carga com a marcação de atendimento por sistema fotovoltaico.

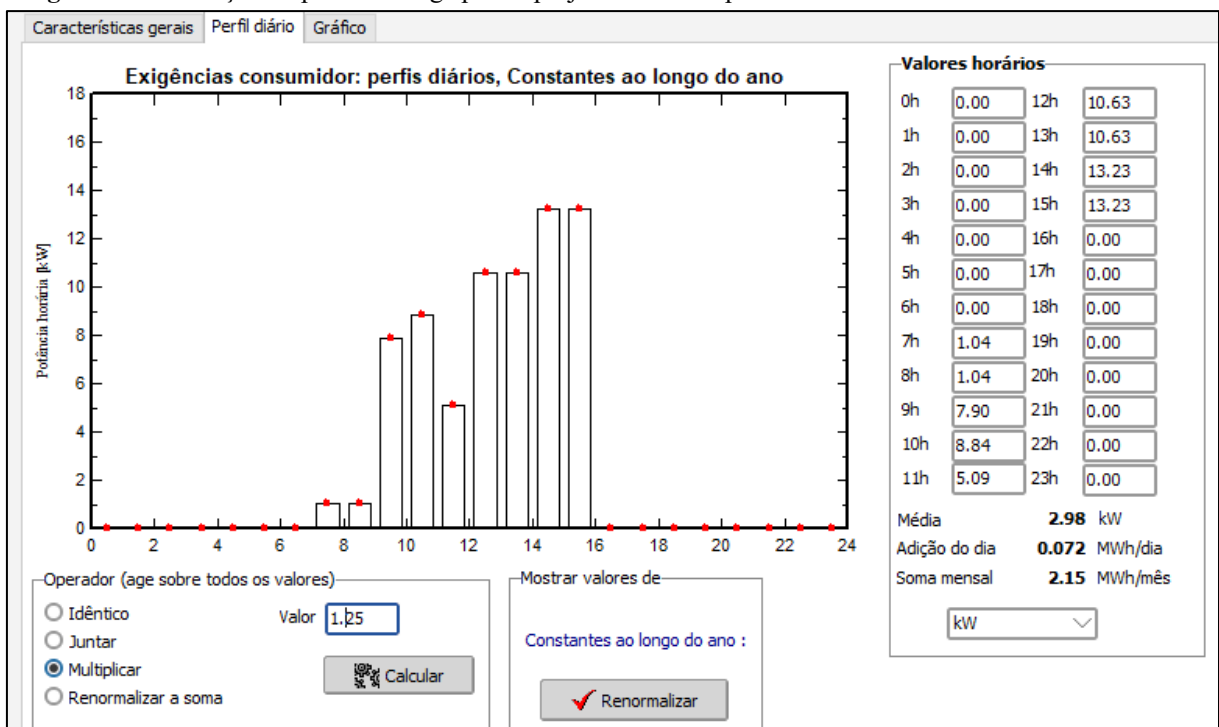


Fonte: Autoria própria, 2026

## 5.2. ATENDIMENTO PARCIAL DA CARGA E UTILIZAÇÃO DE GERADOR DE 75KVA.

Para este projeto foi adicionado 25% no perfil de carga para margem de segurança no atendimento por sistema fotovoltaico. Como é mostrado na figura 6, no período das 07:00 às 15:00, momento de menor consumo de energia elétrica na embarcação, funcionará o sistema solar para suprir as demandas e nas demais horas do dia o gerador irá atuar atendendo a carga da balsa.

**Figura 16** - Definição do perfil de carga para o projeto com multiplicador de 25%



Fonte: Autoria própria, 2026

A escolha dos equipamentos conforme tecnologia, potência, tensão e capacidade permanece a mesma do projeto anterior mudando apenas quantidade para atender a nova demanda. Sendo assim o resumo do novo projeto que atende aos requisitos estabelecidos fica da seguinte forma, mostrado na figura 8.

**Figura 17** - Resumo do projeto com atendimento em período de menor consumo.

<b>Resumo do sistema global</b>	
Número de módulos	49
Superfície módulos	110 m <sup>2</sup>
Potência nominal FV	21.6 kWp
Potência máxima FV	21.2 kWdc
Número de controladores	3
Número de baterias	13 (1 em série x 13 em paralelo)
Battery pack voltage	51 V

Fonte: Autoria própria, 2026

Para atender a nova demanda serão necessários 49 módulos com potência total instalada de 21,6 KWp, 13 baterias de lítio e inversor trifásico de 15 KW o que atenderia as especificações do projeto. Com uma área total de 110 m<sup>2</sup> de placas solares estaria dentro da capacidade da embarcação que conta com 144 m<sup>2</sup> disponível de área.

Com o sistema fotovoltaico no novo regime de fornecimento de energia para a balsa no período das 07:00 às 15:00 e o gerador de energia de 75 KVA no funcionamento das 15:00 às 07:00, onde este tem um consumo de 50 litros de diesel por 12 horas de funcionamento. Na entrada da energia solar como segunda fonte da embarcação o consumo diário de diesel passa de 150 litros para 62,5 litros por dia, onde se deixa de queimar por dia 87,5 litros de combustível fóssil.

## 6. CONCLUSÃO

Para uma análise financeira em relação a adição de um sistema fotovoltaico como fonte secundária da balsa e sabendo que a balsa fica em funcionamento por 22 dias por mês então se economiza 1.925 litros de diesel que atualmente no município de Porto de Moz, no posto onde é comprado combustível, o diesel está a 6,08 reais que o total economizado por mês é de 11.704,00 reais, por ano são 140.448,00 reais. Em um ano nesse regime seria suficiente para pagar o custo dos equipamentos, conforme mostrado no quadro abaixo após uma pesquisa no mercado como consumidor final.

**Quadro 2 - Custo por equipamento.**

EQUIPAMENTOS	QUANTIDADES	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL
MODULOS 440Wp SI-MONO	49	R\$ 478,44	R\$ 23.443,56
INVERSOR TRIFÁSICO 15KW	1	R\$ 15.599,00	R\$ 15.599,00
CONTROLADOR DE CARGA 100A/48V	3	R\$ 3.533,07	R\$ 10.599,21
BATERIA DE LÍTIO 100Ah 48V	13	R\$ 6.045,00	R\$ 78.585,00
<b>Total</b>			<b>R\$ 128.226,77</b>

Fonte: Elaborado pelo autor

Além da economia com este projeto, os benefícios são muitos não só para a empresa, mas também para os funcionários embarcados, comunidades ribeirinhas e o meio ambiente. Para os funcionários embarcados e a comunidade ribeirinha terá a redução de ruídos e vibração provocados pelo gerador. A substituição parcial da geração diesel pela geração fotovoltaica reduz diretamente a emissão de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), principal gás de efeito estufa associado à queima de combustíveis fósseis.

Segundo o IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change), o fator médio de emissão do diesel é aproximadamente:

2,68 kg CO<sub>2</sub> por litro de diesel

Esse valor considera a queima completa do combustível.

Sabendo que o previsto a ser economizado em litros de diesel por mês é de 1925, por ano serão 23100 litros que deixarão de ser queimado. Se 1 litro de diesel emite 2,68 kg de dióxido de carbono, então por ano deixará de emitir 61908 kg de CO<sub>2</sub> por ano ou 61,9 toneladas de CO<sub>2</sub>.

A análise ambiental demonstrou que a solução híbrida proposta possibilita a mitigação de aproximadamente 61,9 toneladas de CO<sub>2</sub> por ano, reforçando não apenas a viabilidade

econômica do projeto, mas também sua relevância ambiental em contexto de operação em área de preservação.

## REFERÊNCIAS

Agência Nacional de Energia Elétrica. Resolução Normativa nº 482, de 17 de abril de 2012. Estabelece as condições gerais para o acesso de microgeração e minigeração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica. Brasília, 2012.

Empresa de Pesquisa Energética. Balanço Energético Nacional 2023: ano base 2022. Rio de Janeiro: EPE, 2023.

IRENA. Renewable Power Generation Costs in 2021. Abu Dhabi: IRENA, 2022.

International Energy Agency. World Energy Outlook 2022. Paris: IEA, 2022.

Messenger, R.; Ventre, J. Photovoltaic Systems Engineering. 4. ed. Boca Raton: CRC Press, 2021.

EPE. Balanço Energético Nacional 2024 – Ano Base 2023. Rio de Janeiro: EPE, 2024.

IRENA. Renewable Power Generation Costs in 2023. Abu Dhabi: IRENA, 2024.

Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito (CRESESB). Manual de engenharia para sistemas fotovoltaicos. Rio de Janeiro, 2014.

DNV. Maritime Forecast to 2050 – Energy Transition Outlook 2022. Oslo: DNV, 2022.

Organização Marítima Internacional (IMO). Fourth IMO Greenhouse Gas Study 2020. London: IMO, 2020.

Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (PROCEL). Tabelas de consumo / Simulador de consumo de energia elétrica. Disponível em: <https://www.procelinfo.com.br>. Acesso em: 16 abr. 2025.

CHAPMAN, Stephen J. Electric Machinery Fundamentals. 6. ed. New York: McGraw-Hill, 2019.

HEYWOOD, John B. Internal Combustion Engine Fundamentals. 2. ed. New York: McGraw-Hill, 2018.

DNV. Maritime Forecast to 2050 – Energy Transition Outlook 2023. Oslo: DNV, 2023.

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ. UFPA e Norte Energia lançam o primeiro catamarã movido a energia solar da Amazônia. UFPA, Belém, 20 set. 2024. Disponível em: <https://ufpa.br/ufpa-e-norte-energia-lancam-o-primeiro-catamara-movido-a-energia-solar-da-amazonia/>. Acesso em: 05 dez. 2025.

MAN Energy Solutions. Basic Principles of Ship Propulsion. Copenhagen, 2018.

IEMA – Institute of Environmental Management and Assessment. Harnessing the Sun: The Growth of the PV Solar Sector in Brazil. 2024.

PUCRS – Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul. Energia Solar: entenda tudo sobre o mercado de sistemas fotovoltaicos no Brasil. 2023.

ScienceDirect. Growth of residential solar energy in Brazil: A system dynamics approach. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2025.

CRESESB – Centro de Referência para as Energias Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito. Wikipedia.

NEOCHARGE. Diferenças entre energia solar on-grid e off-grid. NeoCharge, 2024. Disponível em: <https://www.neocharge.com.br/blog/diferencas-energia-solar-on-grid-off-grid>. Acesso em: 07 dez. 2025.

ALBUQUERQUE, Bruno Santana de. Uso de recursos energéticos distribuídos integrados com a rede elétrica: estudo de caso do sistema de mobilidade elétrica na Amazônia. 2025. 177 f. Tese (Doutorado em 2025) – Universidade Federal do Pará, Belém, 2025.

BERTOLINI; VALMONT SOLUTIONS. Balsa processadora de açaí: primeira unidade móvel produtora de bebidas pelo MAPA. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, 06 maio 2021. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/noticias/2022/mapa-registra-primeira-unidade-movel-produtora-de-acai>. Acesso em: 03 mar. 2026.