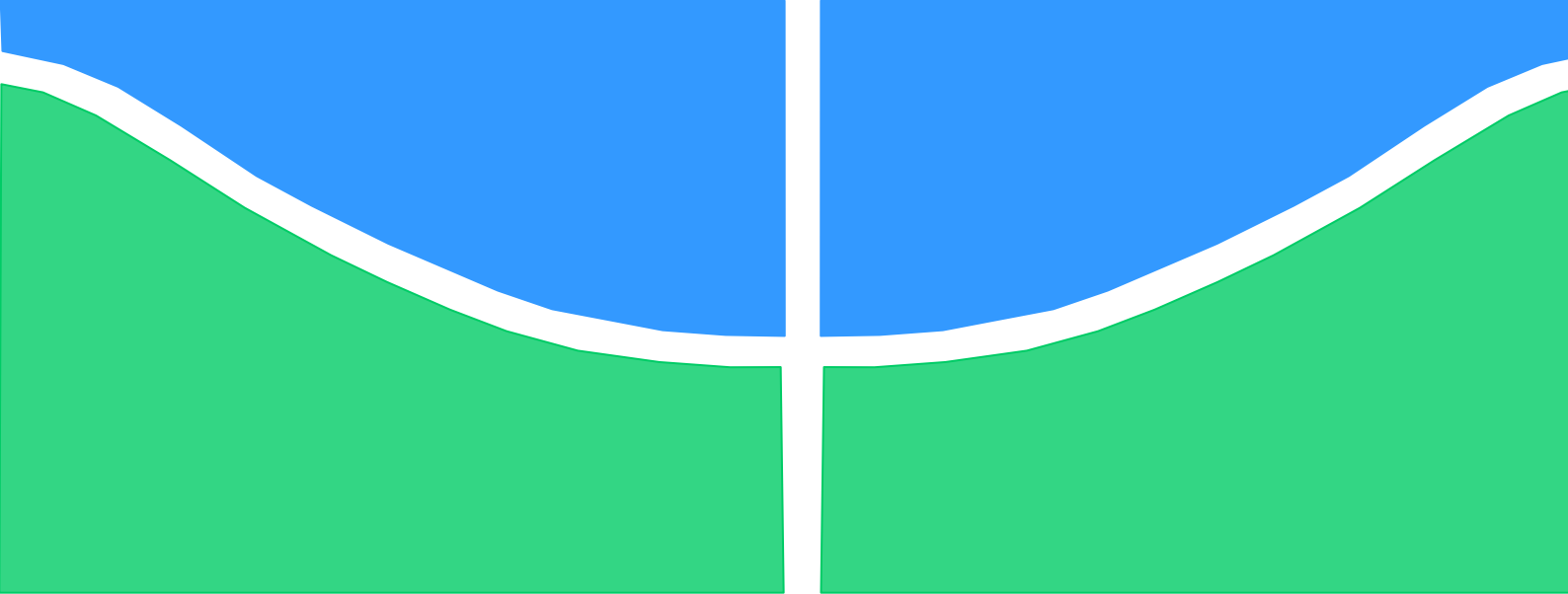




**Universidade de Brasília - UnB
Faculdade UnB Gama - FGA
Curso de Engenharia de Energia**

**Sistema de energia solar fotovoltaica para geração
de energia elétrica em embarcação tipo veleiro**

**Autor: Ricardo de Castro Paranhos
Orientador: Prof.^a Paula Meyer Soares**

**Brasília, DF
2017**



Ricardo de Castro Paranhos

**Sistema de energia solar fotovoltaica para geração de energia elétrica em
embarcação tipo veleiro**

Monografia submetida ao curso de
graduação em Engenharia de Energia da
Universidade de Brasília, como requisito
parcial para obtenção do Título de
Bacharel em Engenharia de Energia

Orientador: Paula Meyer Soares

**Brasília, DF
2017**

CIP – Catalogação Internacional da Publicação*

Paranhos, Ricardo de Castro.

Sistema de energia solar fotovoltaica para geração de energia elétrica em embarcação tipo veleiro. Brasília: UnB, 2013. 103 p. : il. ; 29,5 cm.

Monografia (Graduação) – Universidade de Brasília
Faculdade do Gama, Brasília, 2017. Orientação: Paula Meyer
Soares

1. Energia solar fotovoltaica. 2. Embarcação. 3. Geração
energia elétrica I. Soares, Paula M.

CDU Classificação



REGULAMENTO E NORMA PARA REDAÇÃO DE RELATÓRIOS DE PROJETOS DE GRADUAÇÃO FACULDADE DO GAMA - FGA

Ricardo de Castro Paranhos

Monografia submetida como requisito parcial para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia de Energia da Faculdade UnB Gama - FGA, da Universidade de Brasília, apresentada e aprovada pela banca examinadora abaixo assinada:

Profa. Dra. Paula Meyer Soares UnB/ FGA
Orientador

Prof. Dr. Jorge Andrés Cormane Angarita
Membro Convidado

Profa. Dra. Josiane do Socorro Aguiar de Souza
Membro Convidado

Brasília, DF
2017

AGRADECIMENTOS

Agradeço a todas as pessoas que cruzaram a minha vida até hoje, pois de alguma forma elas foram essenciais para o meu amadurecimento. Agradeço aos familiares e amigos que me acompanharam de perto e enviaram energias positivas durante todos os anos acadêmicos, principalmente ao meu pai, minha mãe e irmã.

Aproveito para agradecer a todos os colegas e professores da FGA-UnB que tive o prazer de conhecer, e que me proporcionaram grande conhecimento na área de Engenharia. Um agradecimento especial à professora orientadora Paula Meyer Soares pelo auxílio neste trabalho de conclusão de curso.

RESUMO

O presente trabalho apresenta um estudo de caso acerca da instalação de um sistema solar de geração de energia realizado em um veleiro Delta 32 pés localizado no lago Paranoá, em Brasília. O estudo propõe a substituição do sistema de geração de energia elétrica do veleiro, precedentemente gerada por um gerador a diesel, por um sistema fotovoltaico isolado, com o objetivo de reduzir o consumo do combustível fóssil, portanto, as emissões de gases do efeito estufa. O trabalho exhibe o dimensionamento de todos os componentes necessários para a instalação do sistema fotovoltaico de acordo com dados colhidos da própria embarcação e da incidência de radiação solar no local de operação do veleiro. Como justificativa econômico-financeira da implementação do novo sistema, será apresentado um estudo de viabilidade econômica considerando o tempo de retorno com cálculos de alguns indicadores financeiros tais como, *payback* e valor presente líquido (VPL). Por fim, o sistema proposto apresentado mostra a possibilidade de uma redução significativa do uso de combustível, conseqüentemente, diminuição de gases na atmosfera, associado à redução de custos.

Palavras-chave: Energia solar fotovoltaica. Embarcação. Geração energia elétrica.

ABSTRACT

The present work presents a case study about the installation of a solar power generation system performed on a 32 feet Delta sailboat located in Paranoá Lake, in Brasilia. The system proposes the generation of electric energy through an isolated photovoltaic system, previously transformed by a diesel generator, with the objective of reducing the consumption of fossil fuel, therefore, greenhouse gas emissions. The work shows the sizing of all the necessary components for the installation of the photovoltaic system according to data gathered from the vessel and the incidence of solar radiation at the place of operation. As an economic-financial justification for the implementation of the new system, an economic feasibility study will be presented considering the time of return with calculations of some financial indicators such as payback and net present value (NPV). Finally, the proposed system presented shows the possibility of a significant reduction in the use of fuel, consequently, the reduction of gases in the atmosphere, associated to the reduction of costs.

Keywords: Photovoltaic solar energy. Vessel. Generation of electric energy.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Radiação solar incidente na Terra	20
Figura 2 - Componentes básicos de um sistema fotovoltaico isolado	21
Figura 3 - Arranjo de um sistema fotovoltaico isolado	22
Figura 4 - Arranjo de um sistema fotovoltaico híbrido	23
Figura 5 - Barco Órion atracado no cais	25
Figura 6 - Motor Yanmar do veleiro Órion	25
Figura 7 - Fonte chaveada (à esquerda) e inversor (à direita) a bordo do veleiro Órion	26
Figura 8 - Lago Paranoá	28
Figura 9 - Desenho da parte interna de um veleiro Delta	38
Figura 10 - Estrutura suporte dos painéis fotovoltaicos.....	39
Figura 11 - Controlador de Carga CMTP02	41

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Radiação diária média no ano em Brasília	29
Gráfico 2 - Consumo geração mensal média	43
Gráfico 3 - Consumo de diesel	44
Gráfico 4 - Redução do consumo de diesel	45

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Cargas alimentadas em 12 V _{CC}	27
Tabela 2 - Cargas alimentadas em 220 V _{CA}	27
Tabela 3 - Radiação diária média para todos os meses do ano, em Brasília e suas proximidades.....	29
Tabela 4 - Consumo médio diário dos equipamentos embarcados	31
Tabela 5 - Dados Técnicos dos Módulos Fotovoltaicos	35
Tabela 6 - Dados Técnicos do Controlador de Carga.	41
Tabela 7 - Resumo da configuração do sistema.	46
Tabela 8 - Fluxo de caixa do investimento da implantação do sistema fotovoltaico..	47

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	12
1.1. ASPECTOS GERAIS	12
1.2. OBJETIVOS	14
1.2.1. Objetivo Geral	14
1.2.2. Objetivos Específicos	14
2. METODOLOGIA	14
3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	15
3.1. MERCADO NÁUTICO NO BRASIL E NO MUNDO	16
3.1.1 Mercado Náutico no Brasil	16
3.1.1.1. Questão Fiscal	18
3.1.2. Mercado Náutico no Mundo	18
3.2. ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA	19
3.3. SISTEMAS FOTOVOLTAICOS	20
3.3.1 Sistemas Fotovoltaicos Isolados	22
3.3.2 Sistemas Híbridos	23
4. CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS E LOCAL DE NAVEGAÇÃO DO VELEIRO ...	24
4.1. A EMBARCAÇÃO	24
4.2. POSSÍVEIS ROTAS DE NAVEGAÇÃO	28
5. ANÁLISE DA VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA PARA IMPLANTAÇÃO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO.....	29
5.1. CONSUMO DE ENERGIA DAS CARGAS EMBARCADAS	30
5.2. DIMENSIONAMENTO DOS COMPONENTES	32
5.2.1 Dimensionamento dos painéis fotovoltaicos.....	32
5.2.1.1 Posicionamento dos Painéis Fotovoltaicos	38
5.2.2 Dimensionamento das Baterias.....	39
5.2.3 Dimensionamento do Controlador de Carga	40
5.2.4 Dimensionamento do Inversor.....	41
6. ANÁLISE DOS RESULTADOS	42
6.1. ANÁLISE ENERGÉTICA DO VELEIRO	42
6.2. ANÁLISE CONSUMO DE DIESEL DO MOTOR	43
6.3. ANÁLISE ECONÔMICA	46
7. CONSIDERAÇÕES FINAIS	47
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	49

1. INTRODUÇÃO

1.1. ASPECTOS GERAIS

O modelo energético atual brasileiro apresenta uma situação na qual há um alto consumo de energia cuja as fontes não são renováveis nos setores industrial, de transporte e de energia elétrica. Em uma época onde se fala da redução dos recursos energéticos, observa-se a relevância dos derivados do petróleo presentes na atual matriz energética nacional que atingiram a marca de 39,9 % do consumo total de energia por fonte. Por mais que ainda seja um valor significativo é importante mencionar que o mesmo já chegou a 48,3% no ano de 1973. Portanto, nota-se que houve uma diminuição desse número, porém continua expressivo. As outras fontes não renováveis, como carvão mineral e gás natural, também representam um valor vultoso como fonte energética (EPE, 2016).

Esse atual cenário resulta em uma alta emissão de dióxido de carbono na atmosfera, originados da queima de combustíveis, causando diversos impactos ambientais agregados à várias externalidades negativas. Sabe-se também que instabilidade do preço desses combustíveis é alta, uma vez que dependem de inúmeras variáveis que envolvem a economia mundial. Portanto, estudos são realizados com o objetivo de desenvolver novas fontes de geração de energia de uma maneira que não envolva a queima de combustíveis fósseis. Uma das principais vertentes desses estudos é a energia solar fotovoltaica, que vêm sendo cada vez mais difundida como uma forma de suprir a demanda de energia.

Sistemas solares fotovoltaicos consistem basicamente na conversão da radiação solar em energia elétrica por meio de células fotovoltaicas. Por possuir uma fonte inesgotável e um baixo custo de manutenção, o sistema solar fotovoltaico é bem visto pelos investidores, entretanto um dos principais obstáculos dessa tecnologia no Brasil é o custo de investimento inicial. Porém, estudos realizados pelo Grupo de Trabalho de Energia Solar (GTES, 2014) mostram que os custos de investimentos associados a esse sistema vêm reduzindo desde o ano 2000, por efeito da redução nos custos dos equipamentos, principalmente dos módulos fotovoltaicos.

O Brasil possui grande potencial para o aproveitamento de energia solar por ser localizado, na sua maior parte, na região intertropical, recebendo uma alta taxa de

radiação comparado a outros países não localizados nessas regiões tropicais e intertropicais (ABES, 2006).

Ao analisar as condições meteorológicas do Brasil, percebe-se que o potencial náutico do país é um dos maiores do mundo. Em virtude da extensa e vasta costa, inúmeras bacias hidrográficas e clima quente em todo o ano, o Brasil possui diversas características favoráveis para o desenvolvimento de atividades náuticas. Devido a essas atividades criou-se no país um mercado náutico com indústria e comércio de embarcações e equipamentos para suprir a necessidade desse universo náutico.

Além de todas as externalidades positivas do uso da energia solar, a utilização desses sistemas traz a possibilidade de aplicação em qualquer local isolado, desde que haja um nível mínimo de radiação. A facilidade de estabelecer sistemas isolados chama a atenção do setor náutico, no caso de embarcações, as quais precisam de um abastecimento energético e não podem estar conectadas à rede elétrica por conta da necessidade de mobilidade.

Embarcações do tipo veleiro se locomovem por meio da força dos ventos que fazem determinada pressão nas velas e, por sua vez, propulsionam o barco. Entretanto, os veleiros possuem componentes eletrônicos, luzes de navegação, instrumentos elétricos que necessitam de uma demanda energética para seu funcionamento, provendo segurança e certo conforto para a tripulação. Normalmente essa energia elétrica demandada é gerada por geradores a diesel e armazenada em baterias. O uso de sistema solar fotovoltaico torna-se uma opção considerável para suprir cargas de uma embarcação, seja ela para transporte de pessoas ou apenas para passeio.

Contudo, qual é a viabilidade técnica e econômica da instalação de um sistema de energia solar fotovoltaica como fonte de energia elétrica em um veleiro?

A motivação do trabalho se deu devido a minha atividade de atleta profissional da vela. A prática do iatismo desde a infância me possibilitou obter um extenso conhecimento no universo náutico, especificamente uma ampla experiência em veleiros de competição. A relevância da instalação de energia solar em embarcações, fonte fecunda e renovável de energia, de forma alternativa para suprir a demanda energética das cargas a bordo, propicia uma redução de poluição para a atmosfera e uma economia financeira.

1.2. OBJETIVOS

1.2.1. Objetivo Geral

Realizar o estudo da viabilidade técnica e econômica da implantação de um sistema fotovoltaico para geração de energia elétrica com o propósito de alimentar os equipamentos elétricos em uma embarcação de passeio tipo veleiro no Lago Paranoá, na cidade de Brasília, Distrito Federal.

1.2.2. Objetivos Específicos

1. Fazer um levantamento teórico sobre o mercado náutico, os princípios da energia solar e os principais sistemas fotovoltaicos;
2. Detalhar características técnicas do veleiro Órion Delta 32 pés;
3. Expor o consumo de energia elétrica das cargas embarcadas no veleiro Órion;
4. Dimensionar os componentes do sistema fotovoltaico aplicado ao veleiro Órion;

Realizar o estudo da viabilidade técnica e econômica do sistema fotovoltaico sugerido considerando o índice de irradiação solar local e consumo das cargas embarcadas.

2. METODOLOGIA

O presente trabalho foi realizado durante o ano de 2017 em parceria com o proprietário do veleiro Órion – Delta 32 pés, o qual pernoita no late Clube de Brasília. Durante o período de estudo foram realizadas algumas visitas técnicas ao veleiro com finalidade de captar dados sobre a embarcação e suas condições de operação.

A escolha do sistema fotovoltaico será baseada em alguns indicadores quantitativos obtidos a partir de uma análise de dimensionamento deste. Essa análise incorpora os seguintes procedimentos:

- Análise inicial de incidência solar;
- Análise do sistema de geração elétrica a diesel já instalado no veleiro;
- Mapeamento da carga, considerando os tipos de cargas e seus respectivos consumos;
- Dimensionamento da área disponível para implementação dos módulos solares;
- Dimensionamento do consumo médio da embarcação;

- Dimensionamento e quantificação dos módulos fotovoltaicos e demais equipamentos para o sistema fotovoltaico;
- Análise técnica e econômica da implementação do sistema fotovoltaico no veleiro.

Será utilizado o método de dimensionamento retratado pelo manual de engenharia para sistemas fotovoltaicos do Grupo de Trabalho de Energia Solar (GTES) para definir o sistema fotovoltaico e seus componentes a ser instalado.

Os dados de radiação disponível no local de navegação serão obtidos através do banco de dados do SunData, do Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de Brito (CRESESB). Este banco de dados fornece a irradiação solar diária média mensal em determinada região.

A escolha dos componentes que constituem o sistema fotovoltaico isolado será baseada em pesquisas feitas, em diferentes fabricantes, com o objetivo de selecionar o equipamento que atenda inteiramente as necessidades do sistema obtendo o melhor custo benefício para o caso.

Por fim, será apresentada uma proposta de sistema fotovoltaico para a embarcação com a discriminação de cada componente. E assim um estudo de viabilidade econômica com o cálculo de alguns indicadores financeiros tais como, payback e VPL, que justificará com um olhar econômico-financeiro a viabilidade de instalação do sistema considerando o tempo de retorno. Para o estudo econômico será avaliado, também, o consumo de combustível para gerar energia de acordo com o sistema original do barco.

3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste capítulo será apresentado um cenário atual do mercado náutico no Brasil e no mundo. Um panorama geral sobre as empresas presentes neste mercado e seus fatores determinantes também será apontado.

Além disso o capítulo compõem-se de uma revisão teórica sobre os sistemas de geração de energia elétrica através da energia solar fotovoltaica, levando em consideração os pontos mais importantes de funcionamento e para aplicação a bordo de um veleiro.

As características dos dois tipos de sistemas fotovoltaicos autônomos, isolados e híbridos, serão apresentadas e também os componentes necessários para a

instalação desses sistemas: módulos fotovoltaicos, baterias, inversores, conversores, controladores de carga e demais equipamentos necessários.

3.1. MERCADO NÁUTICO NO BRASIL E NO MUNDO

3.1.1 Mercado Náutico no Brasil

O Brasil é detentor de uma enorme área navegável devido a sua grande quantidade de lagos, represas, rios e sua costa extensa. O clima tropical, com a temperatura média anual em torno de 24°. Todos esses fatores contribuem para que o Brasil seja um dos maiores mercados potenciais náuticos do mundo. Atualmente, o setor náutico brasileiro se encarrega de milhares de empregos diretos e indiretos distribuídos pelo país.

A indústria náutica brasileira é relativamente recente, surgiu com produção sob encomenda de embarcações de esporte e lazer em pequenos estaleiros. Então no início da década de 80 a indústria náutica se consolida, com fabricação de embarcações, insumos e equipamentos, e assim, cresce o número de fabricantes especializados na produção náutica. No entanto houve uma grande difusão no mercado a partir da década de 90, no qual a indústria náutica se expandiu. A indústria passou a desenvolver soluções específicas para o mercado brasileiro devido a competição e o acesso à tecnologia de produtos e processos do exterior, propiciados pela abertura das importações. Passou a investir na qualificação da mão de obra e na modernização de estruturas e processos de fabricação (SILVA, 2008).

Um exemplo recente claro desses fatores da produção nacional é o veleiro Brasil 1. Foi fabricado em um estaleiro brasileiro para competir na regata volta ao mundo Volvo Ocean Race, conhecida mundialmente como a Formula 1 da vela. Ou seja, um nível de tecnologia modernidade muito elevado (SILVA, 2008).

Segundo estudo divulgado pela ACOBAR (Associação Brasileira dos Construtores de Barcos e Seus Implementos), no Brasil o setor emprega mais de 117 mil pessoas, com uma frota de aproximadamente 53.000 barcos (acima de 14 pés). Este número inclui todas as embarcações movidas a vela e a motor.

Alguns números demonstram o grande potencial do setor que nos últimos anos vem ganhando maior relevância no mercado internacional com um aumento de suas

exportações O mercado náutico brasileiro é constituído por aproximadamente por (ACOBAR, 2006):

- 116 estaleiros;
- 654 marinas, iates e garagens náuticas;
- 1.247 operadoras de mergulho;
- 856 pousadas e hotéis litorâneos à beira de rios, lagos e represas;
- 1.518 lojas náuticas, brokers e turismo náutico;
- 1.242 oficinas e lojas de acessórios e implementos.

A produção de um barco possui características peculiares ao se comparar com outras produções. Uma delas é a utilização de um método quase artesanal no processo de fabricação da embarcação devido a singularidade da produção, a qual exige um uso intensivo de mão-de-obra por pequenas e medias empresas espalhadas em todo o país. Isso faz com que sejam gerados inúmeros empregos indiretos (ACOBAR, 2006).

Nota-se que o setor está em desenvolvimento para explorar seu grande potencial no país quando se analisa alguns números. No Brasil a proporção barcos por habitantes está em 1/1.600, em quanto em países mais desenvolvidos essa relação é pelo menos 10 vezes maior (ACOBAR, 2006).

A frota brasileira é composta em 85% de embarcações de até 32 pés (9,25 metros) construídas para navegar em águas abrigadas. A maior parte da frota de embarcações brasileiras encontra-se no litoral, porém os mercados situados no interior do país vêm crescendo fortemente nos últimos anos, principalmente em Minas Gerais, Mato Grosso e Distrito Federal, nos lagos de Furnas, Manso e Paranoá. Nota-se também uma forte concentração da frota nos dois polos de turismo náutico do país, no litoral paulista e litoral do Rio de Janeiro encontra-se 56% de toda a frota nacional. As embarcações maiores de 32 pés estão em locais onde se encontram estruturas náuticas mais adequadas como marinas e iate clubes. Isto se deve ao fato de que embarcações deste porte demandam estruturas de manutenção, apoio e segurança mais desenvolvidos (SANTOS, 2006).

3.1.1.1. Questão Fiscal

Uma vertente crucial para o mercado náutico brasileiro é o aspecto fiscal. O IPI é o principal imposto indireto a nível federal retendo, atualmente, uma alíquota de 10% para embarcações de até 12 metros e 25% para embarcações maiores que 12 metros. Em volume de arrecadação o IPI é o terceiro, ficando atrás apenas do Imposto de Renda e do ICMS, sem contar as contribuições sociais (SILVA, 2008).

A nível estadual o ICMS é o principal imposto e o segundo maior em arrecadação no país. Alguns estudos sobre a alíquota ótima (aquela que desonera a produção, mas não reduz a arrecadação) de ICMS afirmam que esta se situa entre 12 a 18%. A alíquota do ICMS incidente sobre as embarcações de esporte e lazer é de 25%, ou seja, alíquota do ICMS do setor náutico está consideravelmente acima do nível ótimo. Para a indústria náutica no Brasil a alta tributação é um dos fatores que mais prejudicam seu desenvolvimento (SILVA, 2008).

3.1.2. Mercado Náutico no Mundo

A indústria produtora de pequenas embarcações é bastante repartida pelo fato da facilidade de adentrar neste comercio. O mercado que ela abastece é relativamente pequeno em parâmetros mundiais e sua concentração também. O maior mercado do mundo é o dos EUA, que sozinho é aproximadamente quatro vezes o tamanho dos demais mercados reunidos. Toda a indústria mundial depende do mercado americano para onde se destina a maior parte das exportações dos países produtores (SANTOS 2006).

Os produtores mundiais aplicam diferentes estratégias baseadas em suas realidades locais. A Nova Zelândia, por exemplo, um país distante da Europa e dos EUA, aproveita da qualidade da indústria e de seus trabalhadores para fabricar produtos e serviços de alta qualidade. Já a China possui a particularidade nos baixos custos do trabalhador, no entanto alto custo de transporte. Embora os salários baixos sejam um atrativo para produzir no país não há um grande mercado consumidor no país. Outra desvantagem da China é que não existe um conhecimento local acumulado, fazendo com que a indústria dependa de um conhecimento estrangeiro. (SANTOS 2006).

Na Europa um dos principais polos é a indústria italiana, a qual defende o alto valor atribuído ao design italiano reforçando a elegância e estilo das embarcações. Na

Itália objetiva-se desenvolver a náutica como um sistema integrado, onde quem compra um barco, compra um estilo de vida. Desta maneira o turismo náutico acaba sendo bastante visado (SANTOS 2006).

A indústria náutica no mundo tem se desenvolvido em um ritmo mais rápido que o da economia mundial. A construção de embarcações é somente parte desta indústria que gera muitos empregos. O turismo náutico é quem mais contribui com a economia dos países onde a indústria náutica está mais desenvolvida. Neste tema, o Brasil está atrasado, pois a legislação em vigor não permite que estrangeiros que estejam visitando ou de passagem pelo Brasil, deixem seu barco aqui por um bom tempo. A estadia precisa ser curta e é repleta de exigências legais, fazendo com que o país perca a oportunidade de ampliar o número de turistas estrangeiros (SANTOS 2006).

Todos os países possuem diferentes realidades. Entretanto, todos os países apresentam de forma crescente a profissionalização da comercialização e da gestão. Como o mercado está cada vez mais atingindo escalas globais, as empresas que estão crescendo, estão profissionalizando sua gestão a partir para práticas de orientação de mercado, havendo uma filosofia de negócios e atividades centradas em uma mentalidade de priorizar o cliente (SANTOS 2006).

3.2. ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA

A órbita da Terra em torno do sol, a posição do eixo imaginário da Terra e a própria forma da Terra fazem com que haja variação na radiação solar incidente na superfície terrestre e que cada parte da Terra receba uma quantidade de energia diferente. A inclinação do eixo imaginário da Terra faz com que haja ainda mais a variação de incidência solar. Não podendo esquecer também das diferenças de estações, que possuem uma influência grande na incidência de radiação solar na terra. Pelo fato do movimento de translação ser dado em uma forma elíptica verifica-se uma diferença de distância do Sol a Terra nas diferentes estações do ano (KUSHNIR, 2000).

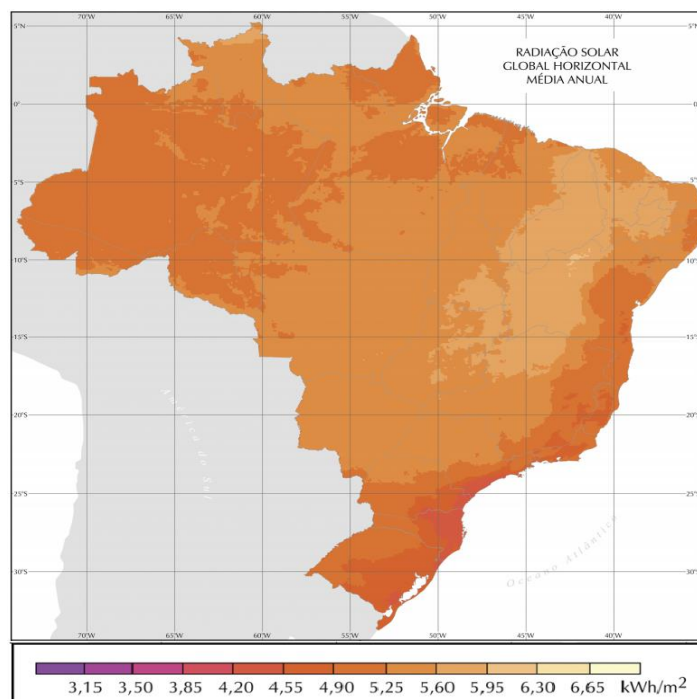


Figura 1 - Média anual da radiação solar global horizontal. Fonte: (ABES, 2006).

Anualmente o sol fornece à Terra uma média de $1,5 \times 10^{18}$ KWh de energia, representando aproximadamente 10.000 vezes a quantidade de energia consumida pela terra no mesmo período. Este dado nos mostra que a radiação solar é uma fonte energética extremamente abundante que podemos aproveitar para a conversão de energia térmica, elétrica e etc. A conversão dessa energia solar em energia elétrica é conseguida através de células fotovoltaicas, que convertem diretamente a radiação solar em eletricidade, constituídas por materiais semicondutores (GTES, 2014).

A célula fotovoltaica começou a ser desenvolvida e, 1839 por Edmond Becquerel. Este observou que ao expor a luz solar uma dada estrutura semicondutora, surge uma diferença de potencial em suas extremidades (GTES, 2014).

Atualmente, os sistemas fotovoltaicos são utilizados em instalações remotas em diversas aplicações. As facilidades de um sistema fotovoltaico tais como: modularidade, baixos custos de manutenção e vida útil longa, fazem com que sejam de grande importância para instalações em lugares de difícil acesso (GTES, 2014).

3.3. SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

Os sistemas fotovoltaicos são compostos por um conjunto de equipamentos capaz de transformar a radiação solar em energia elétrica de uma forma adequada

para o consumidor, podendo também armazenar essa energia para ser utilizada em diferentes aplicações (MARQUES; BASTARZ, 2012).

As células fotovoltaicas produzem energia elétrica apenas em corrente contínua (CC), portanto, se faz necessário o uso de equipamentos complementares aos módulos fotovoltaicos para o alimento de sistemas com carga de corrente alternada (CA), como um inversor de corrente CC-CA. Há situações em que o consumidor precisa fazer o uso de alguma carga em um momento que não há incidência de radiação nas células, neste caso, determinados sistemas utilizam baterias para o armazenamento da energia (MARQUES; BASTARZ, 2012). Estes componentes estão representados a baixo em um modelo de sistema fotovoltaico.

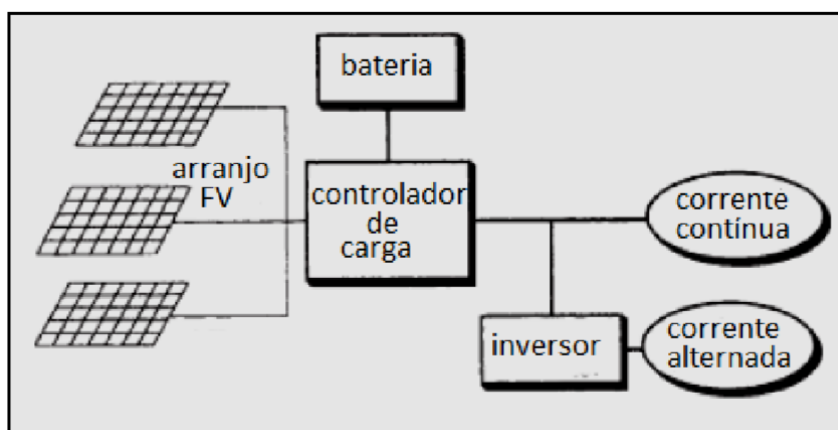


Figura 2 - Componentes básicos de um sistema fotovoltaico isolado. Fonte: (BECKER, 2009).

Os sistemas fotovoltaicos podem ser classificados em dois grandes grupos: Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede Elétrica e Sistemas Fotovoltaicos Autônomos, sendo o último dividido em dois outros subgrupos: Sistemas Fotovoltaicos Híbridos e Sistemas Fotovoltaicos Isolados. Sistemas Fotovoltaicos Híbridos apresentam fontes de energia complementares à geração fotovoltaica como turbinas eólicas ou geradores a diesel, já os Sistemas Fotovoltaicos Isolados são puramente de geração fotovoltaica (GTES, 2004). Este trabalho terá foco nos Sistemas Fotovoltaicos Autônomos, pelo fato do local de instalação ser em uma embarcação com sistema elétrico próprio e não conectado à rede.

As implantações de sistemas autônomos foram uma das primeiras experiências de operação com a tecnologia fotovoltaica. Em determinados casos o sistema fotovoltaico autônomo é a melhor opção para o fornecimento de energia por motivos

técnicos, econômicos, sociais e/ou ambientais, ao invés do tradicional fornecimento de energia elétrica através das concessionárias de energia (IST, 2004).

3.3.1 Sistemas Fotovoltaicos Isolados

Os sistemas fotovoltaicos isolados são caracterizados por possuírem sua fonte de energia exclusivamente por painéis fotovoltaicos. Desta maneira necessitam de um sistema de armazenamento de energia em casos de baixa incidência solar nos módulos fotovoltaicos ou até mesmo nos períodos noturnos. De uma maneira geral pode-se descrever um sistema isolado como um conjunto de módulos fotovoltaicos, um controlador de carga, um conjunto de baterias e um inversor CC-CA, em casos de cargas que operam com corrente alternada (SEGUEL, 2009). A Figura 3 abaixo ilustra de maneira generalizada um sistema fotovoltaico isolado.

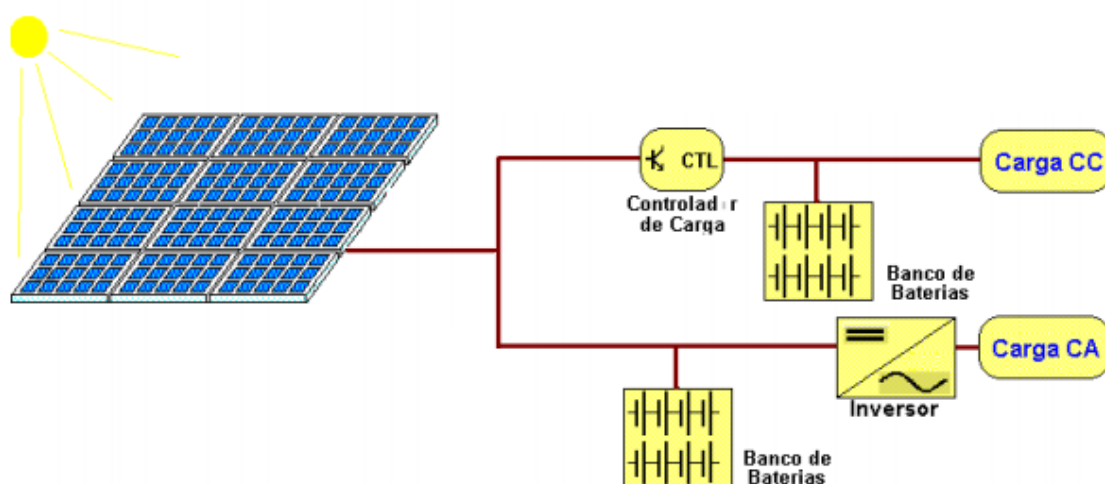


Figura 3 - Arranjo de um sistema fotovoltaico isolado. Fonte: (GTES, 2006).

A viabilidade técnica e econômica desse sistema requer que as etapas de armazenamento e captação de energia precisem ser otimizadas ao máximo, independentemente da carga a ser utilizada no sistema. Um dos maiores obstáculos hoje em dia para este tipo de geração de energia são: elevado custo de instalação e baixa eficiência de conversão dos painéis fotovoltaicos comerciais (SEGUEL, 2009).

Portanto é imprescindível buscar uma tecnologia que aumente a eficiência do sistema reduzindo os custos da energia gerada, sendo essa tecnologia o Maximum Power Point Tracker (MPPT), que garante que o sistema opere sobre o ponto máximo

de potência dos módulos fotovoltaicos. São algoritmos de controle que serão melhores detalhados mais à frente deste trabalho (SEGUEL, 2009).

3.3.2 Sistemas Híbridos

Os sistemas híbridos são sistemas desconectados da rede convencional caracterizados por possuírem mais de uma forma de geração de energia, como por exemplo, gerador a diesel, aerogeradores e geradores fotovoltaicos. De forma a otimizar a operação para o usuário, é necessário um sistema de controle capaz de integrar essas diferentes fontes geradoras de energia. Desta maneira é possível elaborar diversas configurações do sistema, como uma estratégia de uso de cada fonte (GTES, 2014). A Figura 4 a seguir apresenta uma dessas configurações.

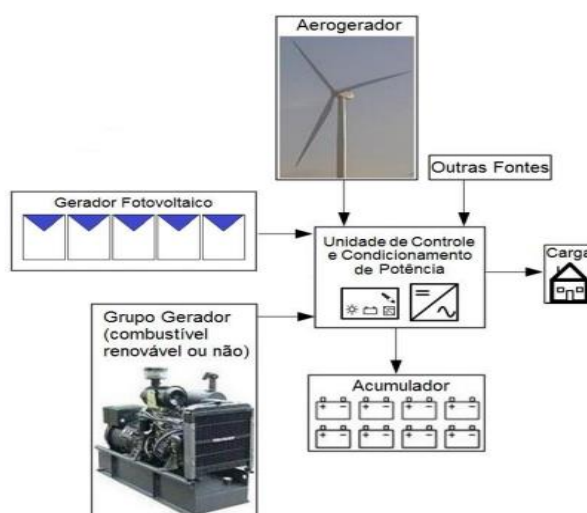


Figura 4 - Arranjo de um sistema fotovoltaico híbrido. Fonte: (GTES, 2014).

A combinação de diferentes fontes de geração de energia juntas em um único sistema permite uma operação com menos riscos de interrupção de energia, pois uma fonte de energia pode eventualmente suprir a falta da outra. As fontes de energia podem ser renováveis ou não renováveis, porém independente das fontes de energia, os sistemas híbridos incorporam um banco de acumuladores, inversores de tensão, retificadores e controladores de carga. Esses equipamentos são conectados através de cabeamento e de dispositivos de proteção como chaves, relés e disjuntores, a dois barramentos, sendo esses um em corrente contínua (CC) e outro em corrente alternada (CA) (MME, 2008).

Como na região de instalação do presente sistema já possui uma geração a diesel, torna-se conveniente a fonte de energia renovável operar em paralelo com essa geração a diesel, portanto, o sistema híbrido diesel-solar paralelo, é uma configuração utilizada para esse fim.

4. CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS E LOCAL DE NAVEGAÇÃO DO VELEIRO

Este capítulo aborda o estudo de caso do veleiro que realiza turismo na Lago Paranoá, localizado no centro de Brasília. As características elétricas da embarcação foram priorizadas.

Será apresentado primeiramente alguns dados de fabricação da embarcação, bem como, as principais características técnicas e operacionais da embarcação, as quais foram obtidas em visitas técnicas no próprio veleiro.

4.1. A EMBARCAÇÃO

O barco ÓRINON é uma embarcação do tipo veleiro, modelo Delta 32. O modelo Delta é uma categoria de veleiro de linhas elegantes de costado alto. Todos os móveis e acabamentos no seu interior são feitos de madeira. Sendo assim, bons barcos para passeio e também para participar de competições de barco a vela. O número 32 indica que o veleiro possui 32 pés de comprimento, o que equivale a 9,25 metros.

O casco é feito de fibra de vidro e dispõem de uma capacidade máxima de 9 tripulantes a bordo. Os tripulantes podem se acomodar na parte externa ou interior do veleiro: no quarto da popa (parte de trás de um veleiro), na cabine ao centro ou no quarto da proa (parte da frente de um veleiro), todos os móveis e acabamentos no seu interior são feitos de madeira.



Figura 5 - Barco Órion atracado no cais. Fonte: Autoria própria, 2017.

O veleiro Órion possui um motor a diesel responsável por fornecer torque mecânico às hélices e impulsionar o barco em casos de calmarias, quando não há vento. O motor do fabricante Yanmar Diesel Engine, modelo 3GM30FC, é fabricado no Japão e possui uma potência máxima de saída de 20,1 KW, resultando em 3600rpm. A Figura 6 retrata o motor localizado ao centro do veleiro, debaixo da escada para a cabine.



Figura 6 - Motor Yanmar do veleiro Órion. Fonte: Autoria própria, 2017.

Acoplado ao motor por uma correia, o alternador possui a função de gerar energia elétrica e alimentar o banco de baterias da embarcação, e por sua vez, alimentar as cargas elétricas a bordo. O Órion possui um banco de bateria formado por duas baterias da marca Heliar, modelo SL70ND, de 12v e 70Ah cada. Ficam alocadas a direita da cabine embaixo do painel de controle de cargas.

Para um correto sistema de alimentação, o sistema elétrico do Órion também conta com um inversor da marca Xpower Inverters, modelo 700plus, e um fonte chaveada do fabricante Jingda, modelo S-350W. A Figura 7 expõe estes dois equipamentos a bordo do veleiro.



Figura 7 – Fonte chaveada (à esquerda) e inversor (à direita) a bordo do veleiro Órion.

Fonte: Autoria própria, 2017.

O sistema de alimentação da embarcação é capaz de suprir a demanda de energia elétrica dos equipamentos embarcados, os quais são alimentados em corrente contínua ou corrente alternada, dependendo do tipo de equipamento e suas especificações. A Tabela 1 e 2 a seguir, apresenta a relação de quantidade e potência elétrica destes equipamentos.

Tabela 1 - Cargas alimentadas em 12 V_{CC}.

Relação das cargas alimentadas em corrente contínua (CC)			
Equipamentos em 12V _{CC}	Qtd. (un.)	Potência (W)	Potência Total (W)
PROA			
Lâmpada LED 921 type	2	1,5	3
CABINE			
Lâmpada LED 921 type	4	1,5	6
Lâmpada LED 1141 type	2	3	6
Lâmpada Fluorescente	1	8	8
Aparelho de Rádio VHF	1	25	25
Aparelho de som FM/AM	1	50	50
Geladeira	1	55	55
Bomba de porão 500 gph	1	24	24
BANHEIRO			
Lâmpada Fluorescente	1	8	8
Bomba Descarga	1	55	55
CONVÉS			
Aparelho GPS	1	15	15
Luzes de Navegação	6	10	60

Fonte: Autoria própria, 2017.

Tabela 2 - Cargas alimentadas em 220 V_{CA}.

Relação das cargas alimentadas em corrente alternada (CA)			
Equipamentos em 220V _{CA}	Qtd. (un.)	Potência (W)	Potência Total (W)
CABINE			
Televisor CCE 24"	1	36	36
Ventilador	1	8	8
Tomadas para uso geral 60 Hz	2	até 1500	até 1500

Fonte: Autoria própria, 2017.

Cabe ressaltar que o estudo proposto prevê uma aplicação do sistema fotovoltaico como fonte de energia elétrica para todos equipamentos embarcados, tanto para os equipamentos alimentados em corrente contínua, quanto para equipamentos alimentados em corrente alternada.

4.2. POSSÍVEIS ROTAS DE NAVEGAÇÃO

O Lago Paranoá é um lago artificial formado pelo represamento do rio Paranoá localizado no centro da capital Brasília. Foi criado com o objetivo de aumentar umidade relativa do ar em suas proximidades. Com 48 quilômetros quadrados de área, profundidade máxima de 38 metros e cerca de oitenta quilômetros de perímetro, o Lago Paranoá possui mais de 11 000 embarcações registradas, sendo a terceira maior frota náutica do país (VILELA, 2010).

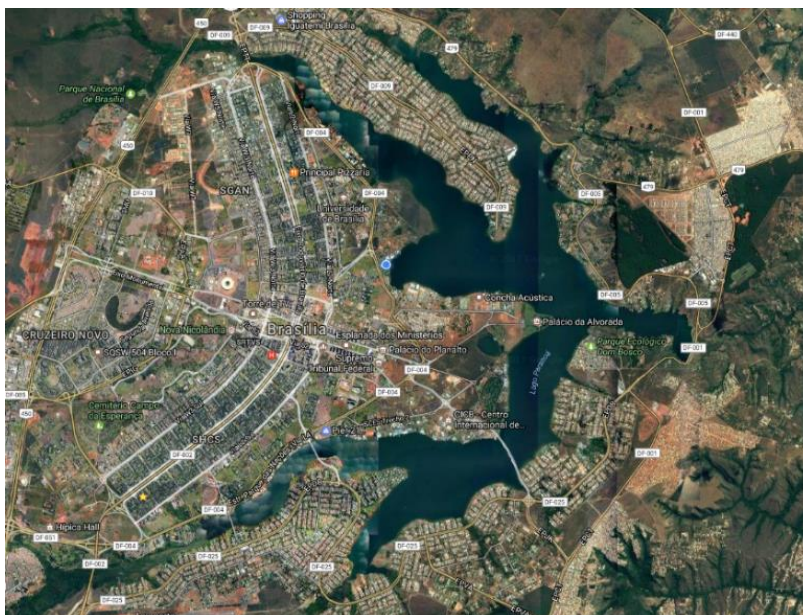


Figura 8 - Lago Paranoá. Fonte: Google Maps, 2017.

O Órion, localiza-se no late Clube de Brasília, parte norte do lago, porém é capaz de navegar em toda extensão do lago. Um passeio que explora uma vasta área do lago a bordo do veleiro Órion pode durar de 02:00 até 03:30 horas, depende da intensidade do vento e do trajeto percorrido. Este tempo foi obtido através de experimentação, dessa forma, será considerado nesse estudo um tempo de operação da embarcação dentro desta faixa.

Para obter informações a respeito do índice de radiação que o sistema fotovoltaico terá disponível, foi feita uma análise através do banco de dados solar SunData, disponibilizado pelo CRESESB. Este banco de dados fornece valores médios dos índices de radiação diária nos meses do ano para o plano horizontal na cidade de Brasília e nas proximidades, conforme apresentado na Tabela 3.

Tabela 3 - Radiação diária média para todos os meses do ano, em Brasília e suas proximidades.

Irradiação solar diária média [kWh/m ² .dia]															
Município	UF	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Média	Delta
Brasília	DF	4,7	5,58	4,53	5	4,7	4,8	5	5,5	5,3	4,69	4,75	4,72	4,93	1,05
Formosa	GO	5,1	4,92	5,31	4,7	4,5	4	4,8	5,44	5	5,11	4,81	4,83	4,88	1,41
Goiânia	GO	5,3	5,03	5,06	4,8	4,7	4,4	4,9	5,28	4,9	5,22	5,17	5,33	5	0,89

Fonte: Autoria própria, com base no SunData, 2017

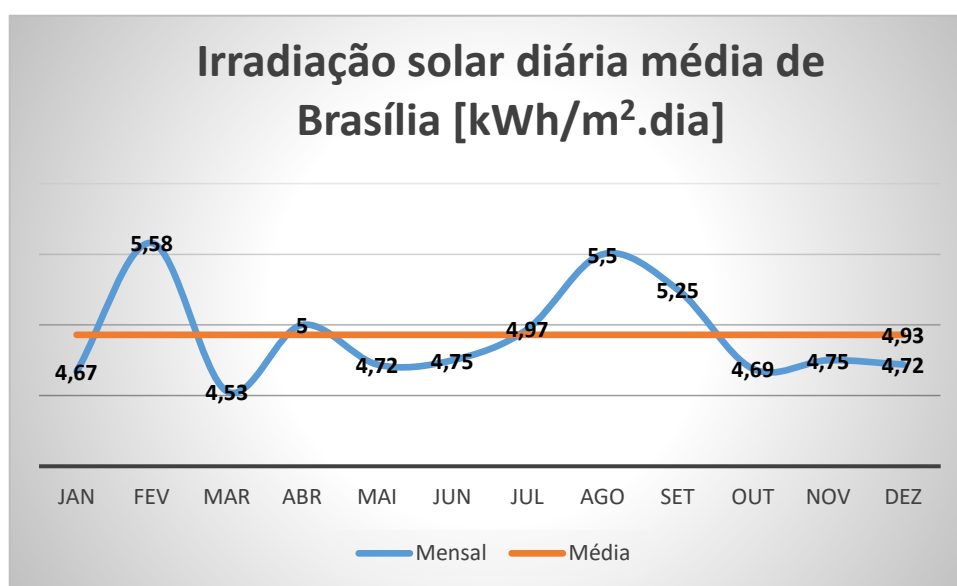


Gráfico 1 - Radiação diária média no ano em Brasília. Fonte: Autoria própria, com base no SunData, 2017

O Gráfico 1 apresenta essa distribuição anual de irradiação solar em Brasília, indicando também a média dos valores mensais. Entretanto, o sistema fotovoltaico deve ser dimensionado com objetivo de garantir o fornecimento de energia durante todo o ano, logo o valor a ser utilizado nos cálculos será de 4,53 kWh/m², menor média mensal, correspondente ao mês de março.

5. ANÁLISE DA VIABILIDADE TÉCNICA E ECONOMICA PARA IMPLANTAÇÃO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO

Para realizar o estudo de viabilidade de um sistema fotovoltaico é necessário considerar alguns aspectos importantes e adotar critérios de dimensionamento. Em caso desses aspectos e critérios mal analisados ocasiona em instalações

superdimensionadas que geram custos muito alto na implantação do sistema, e ao contrário, instalações subdimensionadas levam ao desfavor da tecnologia fotovoltaica, não atendendo aos requisitos de projeto e demanda de energia para as cargas (FREITAS, 2008).

Os aspectos em consideração para dimensionar o sistema fotovoltaico serão estabelecidos através da análise criteriosa da radiação solar incidente na região de implantação do sistema, análise da demanda diária de energia solicitada pelas cargas e uma análise das características elétricas das cargas. A primeira análise foi realizada no capítulo anterior. As restantes estarão presentes neste capítulo.

5.1. CONSUMO DE ENERGIA DAS CARGAS EMBARCADAS

O dimensionamento dos componentes do sistema fotovoltaico é fundamentado pelo cálculo da potência nominal gerada a partir da conversão da radiação solar necessária para atender ao consumo médio diário da embarcação. Assim, antes de realizar a análise de um sistema fotovoltaico, é necessário determinar o consumo diário médio da embarcação (BECKER, 2009). Para isso, é necessário saber como as cargas elétricas apresentadas 4.1 são utilizadas durante as operações do veleiro.

Este estudo de caso transfigura uma avaliação do consumo médio diário particularmente difícil pois o veleiro apresenta grande variação, em termos de periodicidade e frequência de operação, no decorrer de uma semana comum, de segunda-feira a domingo. Especialmente, tendo em conta que algumas cargas embarcadas têm uso esporádico, como exemplos: o aparelho de som, o aparelho de rádio VHF, a iluminação dos sanitários e etc. Posto que há cargas na embarcação com tempo de uso bem definido.

Logo, o veleiro Orion exige uma análise mais cuidadosa, onde o tempo de operação diário de cada equipamento foi estimado de acordo com informações coletadas com o dono e comandante do veleiro. Para uma coleta de dados mais acessível e tendo em vista que o veleiro não navega todos os dias, primeiramente foi quantificado, em um período de alta atividade, uma média tempo de uso semanal e em seguida passada para uma média diária como indica a Tabela 4 a seguir.

Tabela 4 - Consumo médio diário dos equipamentos embarcados.

Consumo médio diário dos equipamentos embarcados						
Equipamentos em 12V_{CC}	Qtd. (un.)	Potência (W)	Potência Total (W)	Média do Tempo de Operação Semanal (h)	Média do Tempo de Operação Diária (h)	Média do Consumo Diário (Wh/dia)
Relação das cargas alimentadas em corrente alternada (CA)						
Televisor CCE 24"	1	36	36	10,5	1,5	54
Ventilador	1	8	8	24,5	3,5	28
Tomadas para uso geral 60 Hz*	2	até 1500	até 1500	7	1	80
Consumo Médio Diário Total (Wh/dia)						162
Relação das cargas alimentadas em corrente contínua (CC)						
Lâmpada LED 921 type	6	1,5	9	14	2	18
Lâmpada LED 1141 type	2	3	6	14	2	12
Lâmpada Fluorescente	2	8	16	14	2	32
Luzes de Navegação	6	10	60	7	1	60
Aparelho de Rádio VHF	1	25	25	3,5	0,5	12,5
Aparelho de som FM/AM	1	50	50	24,5	3,5	175
Geladeira	1	55	55	24,5	3,5	193
Bomba de porão 500 gph	1	24	24	3,5	0,5	12
Bomba Descarga	1	55	55	0,7	0,1	5,5
Aparelho GPS	1	15	15	24,5	3,5	52,5
Consumo Médio Diário Total (Wh/dia)						572

* considerado uma média de equipamentos padrões que frequentemente são utilizados

Fonte: Autoria própria, 2017.

Depois que os dados foram alcançados a respeito da demanda de energia elétrica requerida pelo veleiro e o respectivo consumo médio diário, associado aos dados relativos aos índices de radiação diária média na região de operação da travessia do item 4.2, é possível dimensionar os componentes básicos que devem compor um sistema fotovoltaico que atenda a estas condições.

5.2. DIMENSIONAMENTO DOS COMPONENTES

5.2.1 Dimensionamento dos painéis fotovoltaicos

Para dimensionar o painel fotovoltaico de um sistema fotovoltaico considera-se: as cargas instaladas, a disponibilidade de energia solar da região e também as características do modelo do equipamento escolhido para formar o arranjo fotovoltaico. Além do mais devem ser levados em conta os níveis de tensão do sistema, as perdas nos componentes do sistema, bem como, a área disponível para a instalação (SEGUEL, 2009).

Após conhecer os dados de potências requerida pelas cargas, determinou-se o consumo diário médio. Logo após, compara-se a tensão do sistema escolhida com a tensão de operação das cargas (CC e CA), para discernir a necessidade ou não do uso de conversores de potência, para se atingir as tensões desejadas. Valores de eficiência são levados em conta quando há necessidade da utilização dos mesmos.

Para calcular o consumo das cargas considerando as perdas relativas às eficiências dos conversores de potência (η_{ConvPot}), foi utilizado valores de eficiência padrão sugeridos por GTES 2014 ($\eta_{\text{Conversores (CC/CC)}}=0,85$ e $\eta_{\text{Inversores (CC/CA)}}=0,80$) nas equações (1) e (2) a seguir.

$$C^{\text{diárioCC}} \left[\frac{\text{Wh}}{\text{dia}} \right] = \frac{C_{\text{diárioCC}} [\text{Wh/dia}]}{\eta_{\text{Conversores (CC/CC)}}} \quad (1)$$

$$C^{\text{diárioCC}} \left[\frac{\text{Wh}}{\text{dia}} \right] = \frac{572}{0,85} = 672,94 \frac{\text{Wh}}{\text{dia}} \quad (1.1)$$

$$C^{\text{diárioCA}} \left[\frac{\text{Wh}}{\text{dia}} \right] = \frac{C_{\text{diárioCA}} [\text{Wh/dia}]}{\eta_{\text{Inversores (CC/CA)}}} \quad (2)$$

$$C^{\text{diárioCA}} \left[\frac{\text{Wh}}{\text{dia}} \right] = \frac{162}{0,80} = 202,05 \frac{\text{Wh}}{\text{dia}} \quad (2.1)$$

Partindo dos valores apresentados calcula-se o consumo médio diário total de energia do sistema a partir da equação (3) abaixo.

$$C_{\text{TotalCargas}} \left[\frac{\text{Wh}}{\text{dia}} \right] = C_{\text{diárioCC}} \left[\frac{\text{Wh}}{\text{dia}} \right] + C_{\text{diárioCA}} \left[\frac{\text{Wh}}{\text{dia}} \right] \quad (3)$$

$$C_{\text{TotalCargas}} \left[\frac{\text{Wh}}{\text{dia}} \right] = 672,94 \left[\frac{\text{Wh}}{\text{dia}} \right] + 202,05 \frac{\text{Wh}}{\text{dia}} = 874,99 \frac{\text{Wh}}{\text{dia}} \quad (3.1)$$

Segundo GTES 2014 é também necessário levar em consideração as perdas que são relativas à fiação (η_f) e à eficiência da bateria (η_b). Nestes casos, também serão utilizados os valores padrões ($\eta_f=0,98$ e $\eta_b=0,95$). Portanto é possível estimar o valor do consumo de energia das cargas corrigido (C_{TotCorr}) a partir da equação (4).

$$C_{\text{TotCorr}} \left[\frac{\text{Wh}}{\text{dia}} \right] = \frac{C_{\text{TotalCargas}} \left[\frac{\text{Wh}}{\text{dia}} \right]}{\eta_f * \eta_b} \quad (4)$$

$$C_{\text{TotCorr}} \left[\frac{\text{Wh}}{\text{dia}} \right] = \frac{874,99 \left[\frac{\text{Wh}}{\text{dia}} \right]}{0,98 * 0,95} = 939,84 \left[\frac{\text{Wh}}{\text{dia}} \right] \quad (4.1)$$

É necessário que seja calculado o consumo de corrente (C_{TotCorr} em Ampère-hora por dia), dividindo-se pela tensão nominal escolhida para o sistema, o qual é dado pela expressão (5) a seguir para posteriormente calcular a corrente de projeto (I_{Projeto}) do arranjo fotovoltaico. Para este dimensionamento, a tensão nominal de geração do painel fotovoltaico será de 12 Volts.

$$C_{\text{TotCorr}} \left[\frac{\text{Ah}}{\text{dia}} \right] = \frac{C_{\text{TotalCorr}} \left[\frac{\text{Wh}}{\text{dia}} \right]}{V_{\text{nom}}[\text{V}]} \quad (5)$$

$$C_{\text{TotCorr}} \left[\frac{\text{Ah}}{\text{dia}} \right] = \frac{939,84 \left[\frac{\text{Wh}}{\text{dia}} \right]}{12[\text{V}]} = 78,32 \left[\frac{\text{Ah}}{\text{dia}} \right] \quad (5.1)$$

É preciso então, calcular o número de horas de Sol Pleno (SP), grandeza essa que representa o número de horas em que a radiação solar deve permanecer constante e igual a 1 kW/m², de modo que a energia resultante seja equivalente à energia acumulada ao longo de um dia (GTES, 2014). Assim, graças aos valores de radiação solar apresentados no item 4.3, deve-se utilizar o valor de SP para o mês com menor irradiação solar média em no local de navegação do veleiro ($H_{\text{mín}}=4,53$ kWh/m²), como apresentado pela equação (6).

$$SP \left[\frac{\text{horas}}{\text{dia}} \right] = \frac{H_{Min} \left[\frac{\text{KWh}}{\text{m}^2 \cdot \text{dia}} \right]}{1 \left[\frac{\text{KW}}{\text{m}^2} \right]} \quad (6)$$

$$SP \left[\frac{\text{horas}}{\text{dia}} \right] = \frac{4,53 \left[\frac{\text{KWh}}{\text{m}^2 \cdot \text{dia}} \right]}{1 \left[\frac{\text{KW}}{\text{m}^2} \right]} = 4,53 \left[\frac{\text{horas}}{\text{dia}} \right] \quad (6.1)$$

É possível, a partir das duas equações anteriores, calcular a corrente de projeto do painel fotovoltaico, utilizando-se a equação (7).

$$I_{Projeto} [A] = \frac{C_{TotCorr} \left[\frac{\text{Ah}}{\text{dia}} \right]}{SP \left[\frac{\text{horas}}{\text{dia}} \right]} \quad (7)$$

$$I_{Projeto} [A] = \frac{78,32 \left[\frac{\text{Ah}}{\text{dia}} \right]}{4,53 \left[\frac{\text{horas}}{\text{dia}} \right]} = 17,29 [A] \quad (7.1)$$

Por fim, a corrente de projeto será a corrente requerida para que o painel fotovoltaico gere a energia para a alimentação das cargas utilizadas no veleiro, sem deter modificação no modo de operação dos equipamentos. Com a corrente de projeto calculada é possível agora dimensionar o painel fotovoltaico

Segundo GTES 2014, devido a perdas de campo no sistema precedente de acúmulos de poeira e degradação com o tempo é necessário considerar um fator de correção do modulo fotovoltaico ($\eta_{\text{Módulo}}$). Valores esses padrões que dependem do tipo de modulo a ser utilizado. Caso o modulo a ser utilizado for do tipo cristalino considera-se um fator de $\eta_{\text{MóduloCristalino}}=0,90$ e caso for do tipo amorfo $\eta_{\text{MóduloAmorfo}}=0,70$. Assim corrige-se a corrente de projeto pela equação (8) abaixo.

$$I_{ProjetoCorr} [A] = \frac{I_{Projeto} [A]}{\eta_{\text{Módulo}}} \quad (8)$$

Atualmente no mercado existem diversos fabricantes de módulos com potências nominais distintas destinados à aplicação em embarcações. A seguir são

apresentados alguns modelos e fabricante de módulos fotovoltaicos, como mostra a Tabela 5.

Tabela 5 - Dados Técnicos dos Módulos Fotovoltaicos.

Dados Técnicos dos Módulos Fotovoltaicos							
Fabricante	Seraphi n Solar	Yingli Solar	Komae s Solar	Komae s Solar	ReneSola	3T Solar	Himin Solar
Modelo	Modelo SRP- 6PA	YL150P -17B	KM 120 (6)	KM(P) 150	RS- SL150TU -18P	140W p	HM140 P
Tipo de células	Silício Poli	Silício Poli	Silício Mono	Silício Poli	Silício Poli	Silício Poli	Silício Poli
Dimensões							
Altura [mm]	1640	1485	1300	1480	1485	1482	1482
Largura [mm]	992	660	680	680	668	676	676
Espeçura [mm]	40	40	35	35	35	35	35
Peso [Kg]	19	12	10,4	12,3	12,6	11,7	11,7
Características elétricas							
Máxima potência [W]	265	150	120	150	150	140	140
Tensão de Máxima Potência [V]	31.1	18,1	18,3	18,28	18,61	18,1	18
Corrente de Máxima Potência [A]	8.53	8,3	6,56	8,21	8,06	7,74	7,72
Eficiência [%]	15,5	15	16,5	17,1	15,12	14	-
Corrente de Curto-Circuito [A]	8.83	8,87	7,8	8,93	8,62	8,44	8,45
Preço [R\$]	689,99	425,99	358,00	412,00	385,50	350,00	359,99

Fonte: Autoria própria, com base nos dados da Seraphim Solar System Co., Ltd. 2017; Yingli Green Energy do brasil s.a 2017; Komaes Solar Technology 2017; RENESOLA Global 2017; 3T Solar 2017; Himin Solar Energy 2017.

É imprescindível que a escolha do painel fotovoltaico seja feita de forma cautelosa de tal forma que todas as informações disponíveis pelos fabricantes sejam analisadas. Como nosso objeto de estudo é um veleiro o peso da instalação precisa ser o menor possível para não atrapalhar o rendimento da embarcação enquanto navega. Neste caso, analisado o peso, dimensões, potência e eficiência dos painéis, o módulo fotovoltaico escolhido foi o Yingli Solar YL150P-17B.

Sabendo que o modelo escolhido possui células do tipo silício policristalino calcula-se a corrente de projeto corrigida baseada na equação (8).

$$I_{ProjetoCorr}[A] = \frac{17,29}{0,9} = 19,21[A] \quad (8.1)$$

É possível determinar a quantidade de módulos fotovoltaicos que serão utilizados no sistema e, sabendo assim, a área necessária para fixar os painéis. Para isso, calcula-se o número de módulos a serem utilizados, em paralelo, aplicando a corrente do modulo de acordo com a equação (9).

$$N_{Paralelo} = \frac{I_{ProjetoCorr}[A]}{I_{Módulo}[A]} \quad (9)$$

$$N_{Paralelo} = \frac{19,21}{8,3} \approx 2 \quad (9.1)$$

Em seguida, calcula-se o número de módulos instalados em série, para que se alcance a tensão necessária para carregar as baterias (12V) quando estiverem operando em temperaturas mais elevadas do que o esperado, o que significa 20% acima do valor da tensão do sistema (14,4V), conforme apresentado na equação (10).

$$N_{Série} = \frac{V_{CarregBat}[V]}{V_{Painet}[V]} \quad (10)$$

$$N_{Série} = \frac{14,4}{18,1} \approx 1 \quad (10.1)$$

Sendo assim será necessário a utilização de dois módulos conectados em paralelo entre si para atingira a corrente e tensão necessárias. Como cada modulo

fotovoltaico possui uma superfície com área de 0,98m² (1,485m x 0,66m), será ocupada uma área de 1,96m² pelos módulos.

Sabendo que serão utilizados dois módulos fotovoltaicos e sabendo suas características elétricas pode ser feito o caminho inverso do que foi feito até agora e encontrar a energia media gerada pelos painéis.

$$N_{Paralelo} = \frac{I_{ProjetoCorr}[A]}{I_{Módulo}[A]} \rightarrow 2 = \frac{I_{ProjetoCorr}[A]}{8,3[A]} \rightarrow I_{ProjetoCorr}[A] = 16,6[A] \quad (9.2)$$

$$I_{ProjetoCorr}[A] = \frac{I_{Projeto}[A]}{\eta_{Módulo}} \rightarrow 16,6[A] = \frac{I_{Projeto}[A]}{0,9} \rightarrow I_{Projeto}[A] = 14,94[A] \quad (8.2)$$

Agora, para substituir o valor encontrado da corrente de projeto na equação (7) precisamos considerar um valor para a quantidade de horas de Sol Pleno. Como este valor depende do mês em que está sendo avaliado, foi escolhido agora o mês com a maior quantidade de Sol Pleno.

$$I_{Projeto}[A] = \frac{C_{TotCorr} \left[\frac{Ah}{dia} \right]}{SP \left[\frac{horas}{dia} \right]} \rightarrow 14,94[A] = \frac{C_{TotCorr} \left[\frac{Ah}{dia} \right]}{5,58 \left[\frac{horas}{dia} \right]} \rightarrow C_{TotCorr} \left[\frac{Ah}{dia} \right] = 83,36 \left[\frac{Ah}{dia} \right] \quad (7.2)$$

$$\begin{aligned} C_{TotCorr} \left[\frac{Ah}{dia} \right] &= \frac{C_{TotalCorr} \left[\frac{Wh}{dia} \right]}{V_{nom}[V]} \rightarrow 83,36 \left[\frac{Ah}{dia} \right] = \frac{C_{TotalCorr} \left[\frac{Wh}{dia} \right]}{12[V]} \\ \rightarrow C_{TotalCorr} \left[\frac{Wh}{dia} \right] &= 1000,38 \left[\frac{Wh}{dia} \right] \end{aligned} \quad (5.2)$$

Por fim, para finalizar o cálculo da energia gerada pelos painéis, basta multiplicar o valor encontrado pelas devidas perdas de condução (η_{Cond}), do conversor (η_{Conv}), do inversor (η_{Inv}) e do banco de baterias (η_{Bat}) consideradas previamente.

$$L_{diário} \left[\frac{Wh}{dia} \right] = 1000,38 \left[\frac{Wh}{dia} \right] * 0,98 * 0,95 * 0,85 * 0,80 = 633,32 \left[\frac{Wh}{dia} \right] \quad (11)$$

Conclui-se então que no mês de fevereiro no qual há uma maior média de radiação diária, a máxima energia que pode ser gerada pelos painéis fotovoltaicos é de 633,32Wh/dia com o sistema operando em 12 Volts e levando em consideração todas as perdas envolvidas.

5.2.1.1 Posicionamento dos Painéis Fotovoltaicos

A instalação de painéis fotovoltaicos em um veleiro precisa ser feita de maneira consciente para que não atrapalhe a tripulação durante a navegação, não podendo ser instalado em locais onde os velejadores precisem trimar as velas, timonear e fazer as manobras. Tampouco pode-se instalar painéis fotovoltaicos em posições desfavoráveis quanto a radiação solar por conta dos sombreamentos das velas.

Sendo assim restam apenas as extremidades do veleiro, a proa e a popa. Normalmente os painéis são acomodados na popa, pelo fato da proa possuir um formato afilado, como indica a Figura 9.

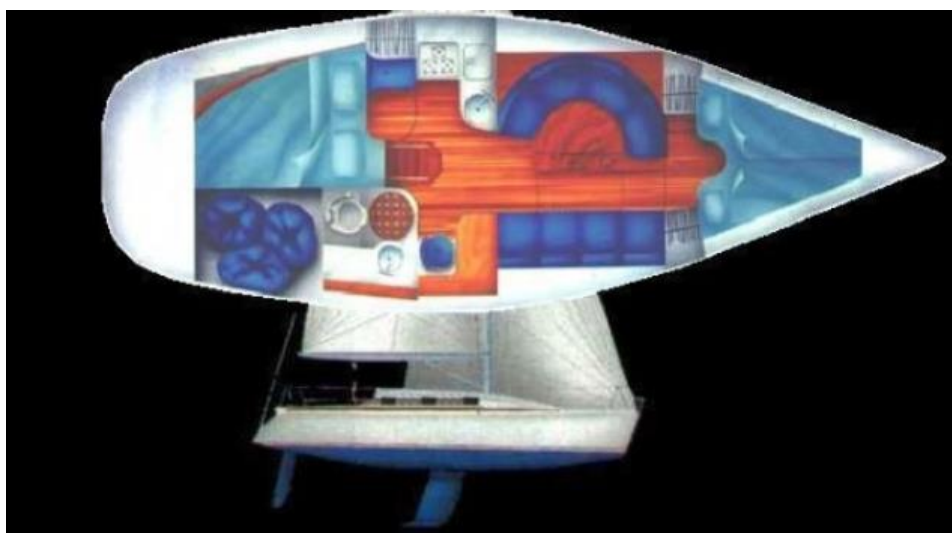


Figura 9 – Desenho da parte interna de um veleiro Delta. Fonte: Delta Yachts, 2017.

Com o objetivo de não atrapalhar o embarque e desembarque de tripulantes que normalmente é feito pela popa, é comum a utilização de estruturas metálicas para que as placas fiquem suspensas na popa do veleiro, assim o se reduz o risco de danificação dos painéis. Um exemplo dessa estrutura sendo instalada pode ser observado na figura 10.



Figura 10 – Estrutura suporte dos painéis fotovoltaicos. Fonte: Cruising World, 2017.

5.2.2 Dimensionamento das Baterias

Um cálculo correto do dimensionamento das baterias torna possível uma boa vida útil das mesmas. Para isso, as cargas precisam ser bem especificadas, assim como a sua operação e a quantidade de horas que operam. Essas informações são importantes para calcular o tamanho adequado do banco de baterias. Por meio deste dimensionamento define-se, também, a autonomia das baterias, ou seja, a quantidade de tempo que irá conseguir suprir as necessidades das cargas a bordo na ausência de radiação solar (GTES, 2014).

O método de dimensionamento das baterias utilizado por GTES 2014 se resume em calcular a capacidade do banco ($C_{TotalBB}$) em função da profundidade de descarga (PD) da bateria. E para este estudo, será utilizado o valor de PD para a bateria do tipo chumbo-ácida utilizada no antigo sistema do veleiro, cujo valor (80%) é o padrão para baterias do tipo chumbo-antimônio, assim a equação (12) da capacidade é definida abaixo.

$$C_{TotalBB} = \frac{C_{TotCorr}[Ah/dia] * A[Dias]}{0,8} \quad (12)$$

Considerando uma autonomia de um dia meio e lembrando que o valor calculado do consumo de corrente na equação (4) foi de 78,32Ah/dia.

$$C_{TotalBB} = \frac{78,32[Ah/dia] * 1,5[Dias]}{0,8} = 146,85[Ah] \quad (12.1)$$

Após calcular a capacidade total do banco, utiliza-se a capacidade de corrente (C_{nomBat}) da bateria a bordo para determinar o número de baterias em paralelo (N_{BP}).

Depois a tensão nominal da bateria (V_{nomBat}) para definir o número de baterias em série (N_{Bs}), conforme as equações (13) e (14) abaixo.

$$N_{BP} = \frac{C_{TotalBB}[Ah]}{C_{nomBat}[Ah]} \quad (13)$$

$$N_{BP} = \frac{146,85[Ah]}{70[Ah]} \approx 2 \quad (13.1)$$

$$N_{Bs} = \frac{V_{nom}[V]}{V_{nomBat}[V]} \quad (14)$$

$$N_{Bs} = \frac{12[V]}{12[V]} = 1 \quad (14.1)$$

Assim, o banco de baterias a bordo formado por duas baterias de 70Ah cada suportará uma autonomia de um dia e meio no novo sistema.

5.2.3 Dimensionamento do Controlador de Carga

Dimensiona-se um controlador de carga em um sistema fotovoltaico com o objetivo de proteger as baterias de possíveis sobrecargas. De acordo com GTES 2014, o aumento da radiação solar em determinado momento pode provocar um aumento da corrente gerada pelos módulos fotovoltaicos ($I_{ccMóduloFV} = 8,87A$). Para isso, dimensiona-se o controlador de carga para uma corrente 25% maior que a corrente de curto circuito. Como serão utilizados dois módulos em paralelo, as correntes de curto circuito de cada modulo se somam resultando em $I_{ccpainel} = 17,74$.

Portanto, a corrente mínima do controlador ($I_{mínCont}$) é calculada pela equação (15).

$$I_{mínCont}[A] = I_{ccpainel}[A] * (1,25) \quad (15)$$

$$I_{mínCont}[A] = 17,74[A] * (1,25) = 22,17[A] \quad (15.1)$$

Encontrada a corrente mínima do controlador de carga basta agora escolher um controlador de carga com esta restrição disponível no mercado.

Foi escolhido o controlador de carga PWM CMTP02 de 30A conforme as especificações abaixo.

Tabela 6 - Dados Técnicos do Controlador de Carga.

Dados Técnicos do Controlador de Carga	
Fabricante	PWM Solar Panel
Modelo	CMTP02
Dimensões	
Altura [mm]	133
Largura [mm]	69
Espeçura [mm]	35
Peso [Kg]	0,15
Características elétricas	
Tensão nominal CC [V]	12 ou 24
Corrente de carga CC [A]	30
Preço [R\$]	74,99

Fonte: Autoria própria, com base nos dados da PWM Solar Panel 2017.



Figura 11 – Controlador de Carga CMTP02. Fonte: PWM Solar Panel, 2017.

5.2.4 Dimensionamento do Inversor

Pelo fato do veleiro possuir cargas fixas alimentadas em corrente alternada e até mesmo tomadas para uso geral, se faz necessário o uso de inversor para transformar a corrente contínua gerada pelos painéis em corrente alternada. Como o

veleiro já possui o inversor Xpower Inverters 700plus, basta saber se o mesmo supri as necessidades das cargas em corrente alternada a bordo.

A soma das potencias das cargas em corrente alternada do veleiro é igual a 82W e o inversor possui uma capacidade para 700W. Portanto, o inversor supri as necessidades das cargas a bordo com uma boa margem para as tomadas para uso geral.

6. ANÁLISE DOS RESULTADOS

Neste item serão feitas análises do novo sistema de geração de energia elétrica para o veleiro, uma vez que os equipamentos para esse sistema foram devidamente dimensionados no capítulo anterior. Será feita uma análise do consumo e da geração de energia do veleiro e um balanço comparando o sistema de geração de energia anterior com o novo sistema.

Uma análise sobre o consumo de diesel comparando os dois sistemas será apresentada. Uma análise econômica também será feita considerando o investimento feito.

6.1. ANÁLISE ENERGÉTICA DO VELEIRO

Depois de dimensionar todos os equipamentos necessários para o sistema de energia solar do veleiro se faz necessária uma análise energética do potencial de geração do sistema tendo em vista a radiação local disponível em cada mês. Tendo em vista que o sistema de geração de energia não é puramente solar e sim um sistema hibrido solar e diesel, a analise energética nos mostra o quanto será demandado de cada fonte energética dependendo da época do ano.

O veleiro Orion possui períodos em que navega com uma frequência alta, porém há épocas do ano em que sua atividade não é tão alta, normalmente no período de agosto a janeiro, onde suas atividades caem pela metade. É possível calcular quanto que apenas o sistema de geração de energia solar fornece em cada mês do ano e quanto supostamente se consome nos respectivos meses. Este cálculo foi feito e pode ser analisado no Gráfico 2.

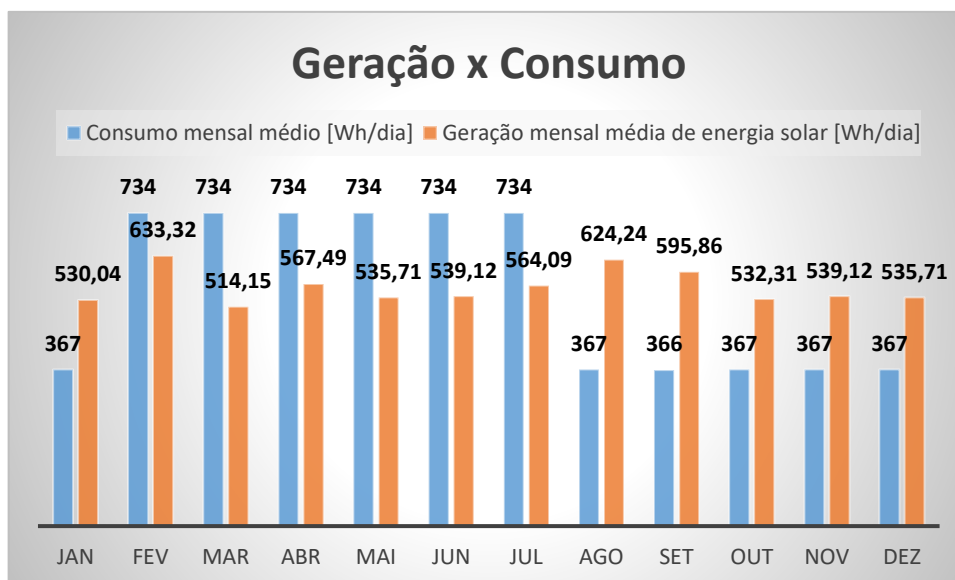


Gráfico 2 – Consumo e geração mensal média. Fonte: Autoria própria.

O veleiro em estudo se trata de uma embarcação de turismo, logo o consumo das cargas é muito variável, dependendo do tempo de navegação. Portanto podem haver situações onde apenas a geração solar é suficiente e em outros casos onde a demanda energética é alta e a geração a diesel será utilizada. Se fizermos uma média anual o consumo diário médio resulta em 550,4 Wh enquanto a geração solar diária supre a demanda totalizando 559,3 Wh.

6.2. ANÁLISE CONSUMO DE DIESEL DO MOTOR

Um dos principais objetivos deste estudo é a implementação de um novo sistema de geração de energia que pudesse ser integrado ao sistema já fixado no veleiro, fazendo com que esse sistema original seja menos solicitado, consequentemente, diminuindo o consumo de diesel. Quanto menor o consumo de diesel, menor os gastos relacionados a esse combustível fóssil e menor a quantidade de CO₂ liberado na atmosfera.

Ao analisar a equação (1) definida anteriormente o consumo médio de energia no período de alta atividade é de 734 Wh/dia e metade deste valor em período de baixa atividade. Portanto é exigido um consumo de combustível distinto dependendo do período em análise. Segundo MATOS 2016, cada KWh/dia corresponde a um consumo de combustível na ordem de 0,44Lh/dia, ou seja, estima-se um consumo de

diesel de 0,326 Lh/dia em períodos de alta atividade e 0,163 Lh/dia em períodos de baixa atividade.

Baseado nesses cálculos e tendo em vista que a geração de energia solar reduz o consumo de diesel em quantidades diferentes em cada mês, é possível analisar graficamente o quanto o consumo de diesel pode ser reduzido em cada mês, como mostra o Gráfico 3 a seguir.

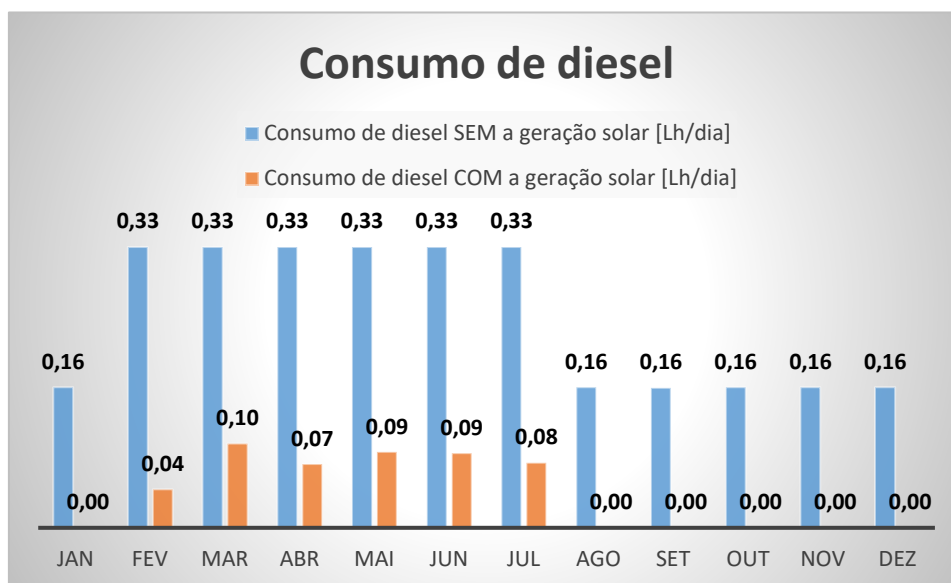


Gráfico 3 – Consumo de diesel. Fonte: Autoria própria.

Observa-se a que o consumo do combustível fóssil se reduz a zero nos meses de agosto a janeiro, nos quais a atividade do veleiro é mais baixa. Nestes meses, a geração de energia por meio do sistema fotovoltaico excede a demanda média energética exigida pelos equipamentos elétricos.

Nos meses de alta atividade a redução não chega a zero porém há uma queda bastante significativa. O Gráfico 4 a seguir mostra em percentual a redução de consumo de combustível mensal com a utilização da energia solar.

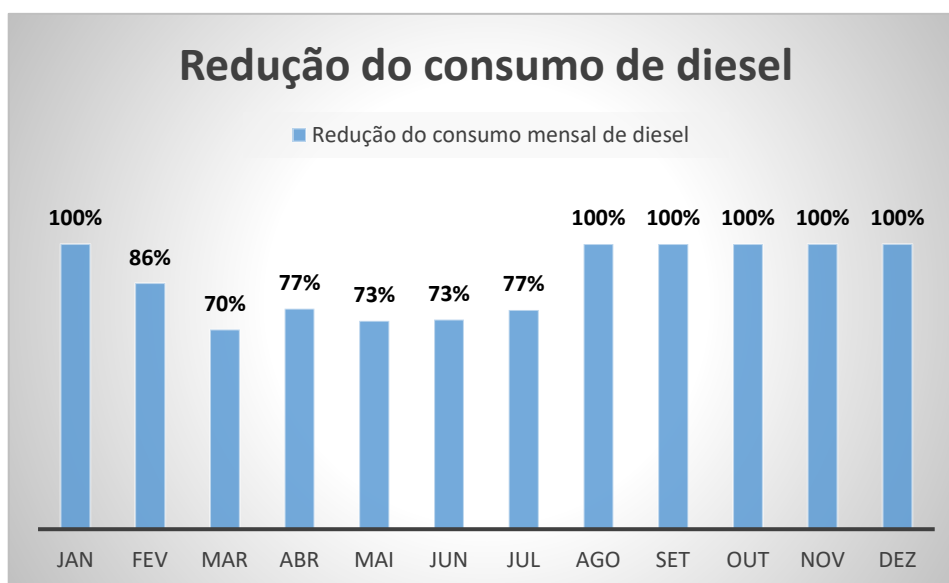


Gráfico 4 – Redução do consumo de diesel. Fonte: Autoria própria.

Se for feita uma média anual de redução do consumo de diesel pelo veleiro devido a implementação da nova fonte solar de energia elétrica, este valor se aproxima a 88% de redução.

Conforme informações coletadas com o dono do veleiro, a embarcação mantinha o motor ligado durante um tempo aproximado 1h20 em média para geração de energia em um passeio. Assim, baseando-se nos dados do gráfico 4 é possível calcular aproximadamente uma média de gasto de combustível de 105,67 litros de diesel gastos por ano voltados exclusivamente para geração de energia elétrica no sistema de geração antigo. Com a implementação de geração de energia solar esse valor cai para 16,80 litros/ano. Ou seja, há uma economia de 88,87 litros de diesel por ano.

Conforme o GENCAT 2013 o fator de emissão para o transporte marítimo utilizando óleo diesel é de 2,725 Kg de CO₂/Litros. Portanto o motor do veleiro operando em condições normais para a geração de energia elétrica na ausência de auxílio dos módulos fotovoltaicos emite um total de 242,17 Kg de CO₂ por ano, enquanto o sistema híbrido diesel-solar emite apenas 48,78 Kg de CO₂ por ano. Reduzindo-se 81% da emissão anual de CO₂ na atmosfera.

6.3. ANÁLISE ECONOMICA

A implementação de um sistema híbrido solar-diesel para geração de energia solar no veleiro Orion trata-se de um investimento a ser feito na embarcação. Uma vez que o sistema de geração de energia elétrica a diesel acarretava certos gastos anuais para o veleiro, o sistema híbrido gera um investimento inicial e uma redução dos gastos anuais.

A análise econômica considera o custo total dos equipamentos a serem adquiridos, os custos relacionados ao BOS (Balanço do Sistema) como condutores, sistemas de proteção, diodos de bloqueio, etc, e também custos de instalação do sistema. Segundo MATOS 2016, foi estipulado 5% do valor dos equipamentos os custos BOS e 10% os custos da instalação do sistema conforme a Tabela 7 abaixo.

Tabela 7 – Resumo da configuração do sistema

Resumo da configuração do sistema					
Equipamento	Fabricante	Modelo	Quantidade [Un]	Peso Total [Kg]	Custo Total [R\$]
Painel fotovoltaico	Yingli Solar	YL150P-17B	2	14	R\$ 851,98
Banco de baterias	Heliar	SL70ND	2	34,8	-
Controlador de carga	PWM Solar Panel	CMTP02	1	0,15	R\$ 74,99
Inversor (CC-CA)	Xpower Inverters	700plus	1	0,9	-
Subtotal					R\$ 926,97
Custos relacionados ao BOS (Cabos, fusíveis, etc.)					R\$ 46,35
Custos relacionados a instalação e suporte painel fotovoltaico					R\$ 192,70
Custo TOTAL					R\$ 1.166,02

Fonte: Autoria própria

Pode se observar na Tabela 7 que o valor final do sistema solar se estabelece em R\$ 1.166,02 para uma geração de 150W, correspondendo a uma relação de aproximadamente 7,77 R\$/W.

A partir dos dados obtidos nos itens anteriores é possível fazer uma análise do tempo de retorno do investimento da nova alternativa. O custo total do sistema fotovoltaico foi estimado em R\$ 1.166,02 e a economia de combustível através dos cálculos foi de 88,97 litros de óleo diesel por ano. Segundo a Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis – ANP (2017) o médio do preço do diesel vendido em Brasília está em R\$ 3,729 o litro. Logo, a economia de combustível chega a R\$ 331,78 por ano. Um fluxo de caixa pode ser observado na Tabela 8.

Tabela 8 – Fluxo de caixa do investimento da implantação do sistema fotovoltaico

Fluxo de caixa do investimento da implantação do sistema fotovoltaico				
ano	fluxo de caixa	saldo	Fluxo descontado	Saldo
0	-R\$ 1.166,02	-R\$ 1.166,02	-R\$ 1.166,02	-R\$ 1.166,02
1	R\$ 331,78	-R\$ 834,24	R\$ 315,98	-R\$ 850,04
2	R\$ 331,78	-R\$ 502,46	R\$ 300,93	-R\$ 549,10
3	R\$ 331,78	-R\$ 170,68	R\$ 286,60	-R\$ 262,50
4	R\$ 331,78	R\$ 161,10	R\$ 272,96	R\$ 10,46
5	R\$ 331,78	R\$ 492,88	R\$ 259,96	R\$ 270,41
Taxa de desconto (i)				5,00%
VPL				R\$ 270,41
TIR				13,03%
Payback simples				3,51
Payback descontado				3,96

Fonte: Autoria própria

Analisando a Tabela 8 observa-se que o tempo de retorno do investimento é menor que 4 anos.

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Pelo fato de ser um dos maiores países do mundo e estar localizado entre os trópicos, o Brasil possui um grande potencial energético, o qual poderia ser mais explorado. Nota-se que há uma dependência muito grande do petróleo como fonte energética.

Segundo o Balanço Energético Nacional de 2016 (Empresa de Pesquisa Energética), o setor de transporte retém 77,8% do consumo final energético do óleo diesel do país. Assim como em todo o setor de transportes, as embarcações também dependem deste derivado do petróleo para o uso nos motores de combustão interna.

Veleiros utilizam o vento como forma principal de se deslocar, porém costumam utilizar motores para se mover, caso não haja vento. Entretanto o motor é ligado muitas vezes para gerar energia elétrica e assim suprir a necessidade energética das cargas embarcadas, fomentando impactos ambientais e gastos financeiros.

A proposta de um estudo de viabilidade técnica e econômica de um sistema fotovoltaico para o veleiro Órion que navega no lago Paranoá mostra a relevância em adotar um aproveitamento do potencial solar existente nessa região e sua aplicação reflete em muitos benefícios socioambientais. Comparando os sistemas de geração de energia elétrica com e sem a fonte de energia solar, foi revelada uma redução de 81% da emissão anual de CO₂ na atmosfera.

A análise financeira conduzida evidenciou que embora a tecnologia de geração de energia fotovoltaica apresente custos de investimento elevados o investimento total do sistema híbrido, tem prazo de retorno menor que 4 anos. Este tempo está associado ao preço do combustível e dos equipamentos do sistema fotovoltaico. Caso o preço do combustível aumente o tempo de retorno do investimento diminui.

O presente trabalho destaca o valor que um sistema fotovoltaico agrega em uma embarcação devido todas as externalidades positivas do uso de uma energia renovável. Podendo assim servir de exemplo para outras embarcações de maior porte.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABES (2006). Atlas Brasileiro Solar de Energia Solar (ABES). 1ª Ed. 2006. São José dos Campos, Brasil. 59p.

ACOBAR (2006). Acobar Lança Campanha para Mostrar que Indústria Náutica Gera muito Emprego. Newsletter Acobar. Acesso em Agosto de 2017 em: <http://www.acobar.com.br/news/news.htm>.

ANP (2017). Agencia Nacional de Petroleo, Gas Natural e Biocombustiveis. SLP – Sistema de Levantamento de Preços. Acesso em Novembro de 2017 em: http://www.anp.gov.br/preco/prc/Resumo_Por_Municipio_Posto.asp

BECKER, Otávio M. (2009). Pré-dimensionamento de sistema solar fotovoltaico: estudo sobre implementação residencial autônoma. Revista Ciências do Ambiente On-Line, Campinas, v. 5, n. 2, dez. 2009.

FREITAS, Susana S. A. (2008). Dimensionamento de sistemas fotovoltaicos. Dissertação (Mestrado em Engenharia Industrial ramo Engenharia Eletrotécnica) – Instituto Politécnico de Bragança, Escola Superior de Tecnologia e Gestão, Bragança, Portugal, 2008. 104p.

GENCAT (2013). Guidance on Calculating Greenhouse Gas (GHG) Emissions. The Catalan Office for Climate Change. 2013. 81 p. Acesso em Novembro de 2017 em: http://canviclimatic.gencat.cat/en/reduex_emissions/guia_de_calcul_demissions_de_co2/.

GTES (2014). Manual de engenharia para sistemas fotovoltaicos. Grupo de Trabalho de Energia Solar (GTES). Centro de Pesquisas de Energia Elétrica (CEPEL). Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito (CRESESB). Rio de Janeiro: Editora, 2014. 521p.

GTES (2004). Manual de engenharia para sistemas fotovoltaicos. Grupo de Trabalho de Energia Solar (GTES). Centro de Pesquisas de Energia Elétrica (CEPEL). Centro

de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito (CRESESB). Rio de Janeiro: Editora, 2004. 207p.

EPE (2015). Balanço energético nacional (BEN). Empresa de Pesquisa Energética. Acesso em Abril de 2017 em: https://ben.epe.gov.br/downloads/Relatorio_Final_BEN_2016.pdf

INTERNATIONAL SAILING, Shop Náutico (2017). Catalago de venda. Acesso em Abril de 2017 em: <http://www.shopnautico.com.br/inversor-de-corrente-12v-para-220v-2000w-pico-de-4000w-p639>

IST (2004). Energia Fotovoltaica: manual sobre tecnologias, projeto e instalação. Instituto Superior Técnico (IST). Departamento de Engenharia Mecânica. Lisboa – Portugal, 2004.

KUSHNIR, Y. (2000). Solar and the Earth's Energy Balance. Acesso em 2017, disponível em Department of Earth & Environmental Sciences: <http://www.eesc.columbia.edu/courses/ees/climate/lectures/radiation/>.

MARQUES, Evandro H.; BASTARZ, Paulo Eduardo (2012). Análise da viabilidade técnica de implantação de um sistema fotovoltaico como fonte de energia elétrica auxiliar em uma embarcação. Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação, do curso de Engenharia Industrial Elétrica - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. 127p.

MATOS, Anastácio P. (2016). Energia solar fotovoltaica como fonte alternativa na geração de energia elétrica em uma embarcação. Trabalho de Conclusão de Curso de Bacharel em Engenharia Naval - Universidade Federal de Santa Catarina. 96p.

MME (2008). Sistemas Híbridos – Soluções Energéticas para a Amazônia. 1ªEd. Brasília, Brasil: Ministério de Minas e Energia (MME), 2008. 396p.

MORNINGSTAR (2017). Catálogo de produtos. Acesso em Abril de 2017 em: <https://www.morningstarcorp.com/es/productos/>

MOURA (2011). Catálogo de Baterias. Aplicações 2011. Moura. 2011. Acesso em Abril de 2017 em: <http://www.moura.com.br/produtos/nautica/>

OXFORD (2014). Physical Geology Today - The Earth's Season. Acesso em Abril de 2017, disponível em Oxford Presents: <http://www.oxfordpresents.com/ms/nance/earths-seasons/>.

SANTOS, Leonardo E. (2006). Mercado emergente na grande Florianópolis: a indústria de pequenas embarcações no setor de recreio náutico. Monografia submetida ao Departamento de Ciências Econômicas da Universidade Federal de Santa Catarina. 90p.

SEGUEL, Julio I. L. (2009). Projeto de um sistema fotovoltaico autônomo de suprimento de energia usando técnica MPPT e controle digital. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2009. 206p.

SILVA, Maurano C. (2008). Plano de Marketing para o lançamento do Skipper 38. Trabalho de conclusão de curso de graduação apresentado ao Departamento de Ciências Administrativas da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 61p.

SUNDATA (2017). Base de dados de radiação solar do CRESESB. Acessado em abril de 2017: <http://www.cresesb.cepel.br/sundata/index.php>

VERA, Horacio L. (2009). Análise do comportamento de baterias em sistemas fotovoltaicos autônomos. Tese de Doutorado em Engenharia – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2009. 269p.

VILELA, Isabel (2010). Nosso Lago. Matéria Correio Brasiliense de 20/3/2010. Nosso Lago, por Isabel Vilela, (CB) Correio Braziliense, 20/3/2010. Acesso em Abril de 2017 em: https://pt.wikipedia.org/wiki/Lago_Parano%C3%A1#cite_note-6