

Sistema de Armazenamento e Gerenciamento de Energia Solar Fotovoltaica Aplicado em um Protótipo Funcional

Marcel Augusto Knabben¹, Luana Adamek¹, Sherelym Felisberto Nunes¹,
Flavia Lecy Abelino¹

¹Universidade do Estado de Santa Catarina (UDESC)
Centro de Ciências Tecnológicas (CCT)

m.knabben95@gmail.com, luanaadamek@gmail.com,
sherelym@gmail.com, flavia.abelino@gmail.com

Resumo. *O presente artigo possui como objetivo o incentivo a inovação através da utilização da energia solar fotovoltaica como alternativa para minimizar a degradação ambiental, provocada pela ação antrópica. Nesse contexto, alunos de cursos de engenharia da UDESC atuam diretamente no desenvolvimento e aprimoramento de um protótipo de uma embarcação solar, movido exclusivamente por meio da energia coletada pelos painéis fotovoltaicos. Além disso, o protótipo conta com um sistema de monitoramento digital para supervisionar o funcionamento do sistema elétrico da embarcação. A aquisição dos dados desejados é realizada por módulos e sensores, controlados através da plataforma Arduino.*

Abstract. *The objective of this article is to encourage innovation, over the use of photovoltaic solar energy as an alternative to minimize environmental degradation caused by anthropogenic action. Thereby, students of UDESC engineering courses work directly in the development and improvement of a prototype of a solar vessel, powered exclusively by the energy collected by photovoltaic panels. Furthermore, the prototype has a digital monitoring system to supervise the operation of the vessel's electrical system. The acquisition of the desired data is performed by modules and sensors, controlled over the Arduino platform.*

1. Introdução

Desde o início da Revolução Industrial, problemas envolvendo o meio ambiente têm se agravado, devido à explosão da atividade econômica excessiva. A crescente necessidade da geração de energia útil para manter o desenvolvimento socioeconômico, também está relacionada a esse desequilíbrio da natureza. Dessa forma, pode-se afirmar que a produção de energia elétrica através de fontes renováveis, surge como possível solução para se obter um desenvolvimento social sustentável [PROENÇA 2007].

A consolidação do uso da energia fotovoltaica como fonte viável para geração de energia elétrica, tem se intensificado ao longo de quase dois séculos de história, marcada pela busca de materiais mais eficientes voltados à foto-conversão, bem como redução dos custos, e aumento da produtividade. Essa tendência muito se deve ao fato de que a energia fotovoltaica é considerada uma fonte de energia limpa, por não haver a

emissão de poluentes durante o processo de geração da energia elétrica, além de possuir uma longa vida útil [BRITO et al. 2018].

De acordo com Feitosa [2010] um dos fatores que colocam a energia fotovoltaica em vantagem, quando comparada a outras fontes renováveis de energia, é sua gama de possibilidades de aplicação. Atualmente, tem se tornado cada vez mais frequente a instalação de painéis fotovoltaicos nos telhados de residências para contribuir com a demanda energética necessária para seu abastecimento, bem como a instalação de postes solares destinados a iluminação pública de ruas. Outra área que favorece a aplicação da energia fotovoltaica é o setor agrícola, através das chamadas armadilhas luminosas, onde utiliza-se a energia provinda dos painéis fotovoltaicos para a alimentação de lâmpadas de LED, capazes de atrair e capturar pragas presentes nas lavouras.

Baseado nesse contexto, alunos da Universidade do Estado de Santa Catarina (UDESC), divididos entre os cursos de Engenharia Elétrica e Engenharia Mecânica, aplicam o conhecimento no desenvolvimento de um protótipo funcional de um barco movido exclusivamente através da energia coletada pelos painéis fotovoltaicos. Os estudantes fazem parte do projeto de ensino intitulado Equipe Hurakan, com o intuito de difundir o uso da energia solar no meio social e tecnológico, a fim de comprovar a possibilidade de implementação da energia solar de maneira não convencional.

2. Desenvolvimento

O protótipo desenvolvido pela Equipe Hurakan é uma embarcação do tipo catamarã, composta por dois cascos denominados popularmente como “bananas”. O catamarã é caracterizado por apresentar boa estabilidade em diversas condições marítimas, uma vez que possuem uma área superficial considerável. O fato de o catamarã não possuir a tradicional quilha faz com que a embarcação se torne relativamente leve, possibilitando assim, uma maior velocidade de navegação [Fernandes 2016].

A necessidade de a embarcação ser leve, estável e capaz de acomodar os painéis fotovoltaicos de maneira segura, levou a equipe da UDESC a optar pelo modelo do catamarã para a construção do protótipo. O protótipo em questão possui 6 m de comprimento e 2,5 m de largura, o suficiente para comportar o total de 4 painéis fotovoltaicos. Além disso, quando montado, atinge cerca de 300 kg. A figura abaixo apresenta o esquemático do protótipo:

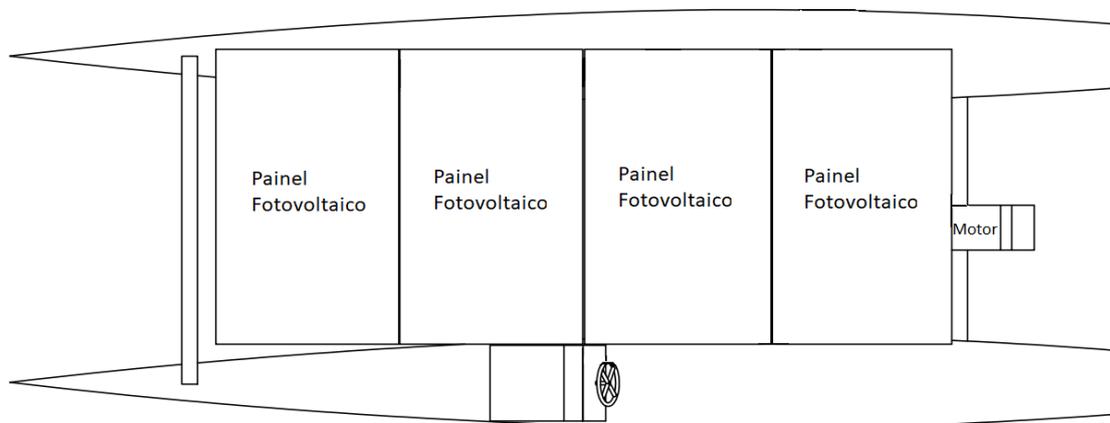


Figura 1- Esquemático da distribuição dos painéis fotovoltaicos na embarcação

Fonte: produção do próprio autor

O sistema elétrico implementado no protótipo foi desenvolvido para garantir a demanda necessária de energia para o funcionamento do mesmo, desde a coleta da energia fotovoltaica, até o estágio de conversão, para tornar possível a sua utilização. Segue abaixo uma representação em diagrama de blocos, que apresenta as etapas que constituem o sistema elétrico da embarcação solar:



Figura 2 - Diagrama de blocos do sistema elétrico

Fonte: produção do próprio autor

2.1 Painéis Fotovoltaicos

Os painéis fotovoltaicos, popularmente conhecidos como “placas solares”, são elementos responsáveis por realizar a conversão da energia proveniente dos raios luminosos em energia elétrica útil, através do efeito Fotoelétrico. Os fatores que influenciam diretamente no funcionamento de um painel fotovoltaico são a irradiação solar, temperatura e eficiência. Atualmente, os módulos fotovoltaicos produzidos em mercado possuem cerca de 14% de eficiência. De acordo com Dacol [2012] é possível obter 20% de eficiência para células monocristalinas, e até 40% de eficiência para células solares de multijunção, produzidas em laboratório.

As placas fotovoltaicas utilizadas na embarcação solar da Equipe Hurakan são do modelo JKM265P-60, fabricados pelo Jinko Solar. Cada painel possui 1.6m² de área superficial, composto por 60 células fotovoltaicas. As suas principais características são apresentadas na tabela abaixo:

Tabela 1- Características técnicas das placas fotovoltaicas do fabricante Jinko Solar, modelo JKM265P - 60, considerando irradiação solar de 1.000 W/m² e temperatura do painel de 25°C

Potência máxima	265 W
Tensão de máxima potência	31,4 V
Corrente de máxima potência	8,5 A
Eficiência	16,2 %

Fonte: Catálogo da Jinko disponível em <[www.jinkosolar.com/ftp/EN-JKM265P-60\(4BB\).pdf](http://www.jinkosolar.com/ftp/EN-JKM265P-60(4BB).pdf)>. Acessado em 19 de ago de 2018

2.2 Controlador de Carga MPPT

Afim de se obter o maior aproveitamento possível da energia provinda dos painéis fotovoltaicos, aderiu-se a utilização de um controlador digital de carga, com a característica MPPT (Maximum Power Point Tracker). O controlador MPPT possui a capacidade de identificar e atuar sobre o ponto de maior potência de operação dos painéis fotovoltaicos, transferindo, portanto, a máxima energia ao banco de baterias. Com isso, tem-se uma maior eficiência de funcionamento do sistema. Atualmente, é difícil de se encontrar um sistema de geração de energia fotovoltaica com a ausência de um controlador MPPT ligado ao painel.

Para a embarcação solar da Equipe Hurakan, foi adquirido um controlador MPPT comercial da Victron Energy, modelo Blue Solar 150-35. Abaixo segue uma tabela com as especificações do MPPT utilizado:

Tabela 2 - Especificações do controlador solar modelo Blue Solar 150/35 da Victron Energy

Potência máxima	2000 W
Tensão máxima de entrada	150 V
Corrente máxima de saída	35 A
Tensão máxima das baterias	48 V
Eficiência	98 %

Fonte: Catálogo da Victron Energy. Disponível em: <www.victronenergy.pt/upload/documents/Datasheet-BlueSolar-charge-controller-MPPT-150-35-EN.pdf> Acessado em 19 de ago de 2018.

2.3 Banco de Baterias

É conveniente que qualquer sistema energético possua um meio de armazenamento de energia, em situações onde a carga não venha a utilizar toda a energia disponível. Para o caso de um sistema fotovoltaico, em que há, de fato, geração de energia elétrica apenas na presença de raios luminosos, é necessário que haja um sistema responsável pelo armazenamento da energia excedente, como um banco de baterias. A bateria é um elemento capaz de armazenar e fornecer energia, por meio de um condutor que

transporta uma determinada corrente elétrica. Deve-se ressaltar que uma bateria não é capaz de produzir energia, somente a armazena, assim como um tanque armazena água. Outro fator importante é que elas não são 100% eficientes, uma vez que parte da energia armazenada ou fornecida é dissipada na forma de calor.

A escolha do tipo de bateria para a composição do sistema elétrico da embarcação solar da Equipe Hurakan, levou em conta características essenciais, como: capacidade de fornecimento de corrente elétrica, número de ciclos de descarga ou descarga profunda e densidade de energia. Com isso, optou-se pela utilização de baterias de chumbo ácido. A simpatia por esse tipo de bateria mostra-se com clareza na sua grande disponibilidade de mercado, bem como o baixo custo de aquisição. Algumas desvantagens do uso de baterias de chumbo ácido incluem a dificuldade de se determinar precisamente o nível de carga instantânea armazenada em suas células. Além disso, a vida útil de uma bateria desse gênero depende de fatores externos, como a temperatura, e a maneira com que ela é descarregada. Contudo, o problema referente a descarga da bateria de chumbo ácido é amenizado, uma vez que se aderiu a utilização de um conversor de energia no estágio seguinte do sistema elétrico, destinado a realização do controle de potência no motor. Esse conteúdo será abordado de maneira mais específica no tópico seguinte, referente ao “Conversor Buck”.

O sistema de armazenamento de energia atual do protótipo faz uso de 4 baterias Optima YellowTop, modelo D51R do fabricante Optima Batteries. Os principais dados das baterias são apresentados na tabela abaixo:

Tabela 3 - Dados técnicos da Bateria Optima YellowTop, modelo D51R, do fabricante Optima Batteries

Tensão Nominal	12 V
Células	Chumbo ácido
Tipo	Descarga profunda
Capacidade	41 Ah
Peso	11,8 Kg
Resistência Interna	4,6 mΩ

Fonte: produção do próprio autor

2.4 Conversor Buck

Os conversores C.C.-C.C. são circuitos eletrônicos chaveados, capazes de processar a energia elétrica através da conversão das tensões e correntes de entrada e saída. A presença de um conversor C.C.-C.C. em um sistema de geração de energia fotovoltaica qualquer, se justifica pela necessidade de se controlar a potência elétrica destinada à alimentação do motor. No caso da embarcação solar em questão, optou-se pela utilização do conversor CC.-CC não isolado de topologia Buck para a realização do controle de velocidade do motor elétrico. Segundo Barbi e Martins [2000] o conversor Buck é caracterizado por produzir um valor médio de tensão na saída menor que o valor médio de tensão da entrada.

O fato do Conversor Buck utilizado ser desenvolvido por membros da própria Equipe Hurakan, é um dos grandes desafios enfrentados pela equipe. Entretanto, possibilita a escolha de parâmetros específicos de projeto, permitindo assim, atender a demanda de energia imposta pelo motor elétrico. Com o intuito de aumentar a eficiência da etapa de conversão de energia, projetou-se o conversor para operar em modo de condução contínua, isto é, a corrente de saída do conversor não se anula. Para esse modo de condução, os valores de corrente eficaz são menores do que os valores do modo de operação descontínua, reduzindo, portanto, as perdas do sistema.

A partir da realização de testes experimentais envolvendo o motor elétrico, verificou-se que não seria necessário a presença da indutância típica de saída do conversor Buck, uma vez que o motor já possui uma indutância intrínseca referente a suas bobinas, garantindo assim, a operação do conversor em modo de condução contínua de corrente. Além disso, foram realizados testes de carga, onde o conversor foi capaz de suportar uma carga nominal equivalente a 1400 W de potência [CATAFESTA, 2012].

2.5 Motor Elétrico

O motor utilizado na embarcação é um motor C.C. (motor de corrente contínua) com escovas e imã permanente da Motoenergy, de modelo intitulado por ME1004. Segue abaixo uma tabela que apresenta as principais características do motor:

Tabela 4 - Principais características do Motor utilizado no barco catamarã, fabricado pela Motoenergy, modelo ME1004

Modelo	ME1004
Potência Nominal	10,75 HP
Velocidade de Rotação	3500 RPM
Tensão	24V

Fonte: produção do próprio autor

3. Sistemas de Monitoramento Digital

A ideia de se possuir um sistema que opere sob monitoramento constante demonstra ser atraente, ainda mais se tratando de um sistema elétrico constituído por diversos elementos, como o do barco solar da Equipe Hurakan. Para garantir segurança no funcionamento do sistema e acompanhamento das diversas variáveis envolvidas que possam inferir no desempenho como um todo, foi projetado, desenvolvido e implementado um sistema de supervisão digital microcontrolado. A flexibilidade dos microcontroladores, no sentido de alteração de imposição via *software*, sem a necessidade de modificação do *hardware*, torna essa opção a mais conveniente para a realização do monitoramento do sistema elétrico da embarcação solar.

Para realizar o processamento de dados, optou-se pela utilização da plataforma Arduino, uma vez que possui um ambiente de programação razoavelmente simples, e fácil acesso aos pinos de entrada e de saída do microcontrolador. Além disso, a plataforma Arduino é amplamente utilizada, por possuir baixo custo de aquisição. A placa utilizada em questão é o Arduino Mega 2560, uma vez que suporta a demanda necessária de pinos para a realização da comunicação com os sensores e módulos responsáveis pela coleta e exibição de dados, como módulos, displays LCD e LED's de indicação visual.

A supervisão do desempenho do sistema elétrico é realizada através da medição da tensão e corrente nos painéis fotovoltaicos, nas baterias e no motor elétrico. Para isso, foram utilizados sensores de efeito Hall, capazes de realizar a medição da corrente elétrica, e foram utilizados também Amplificadores Operacionais com o auxílio de filtros analógicos para a medição da tensão. Uma vez que obtidos os valores instantâneos de tensão e de corrente elétrica em um determinado elemento que compõe o sistema elétrico, é possível calcular a potência instantânea do mesmo, definida como o produto da tensão instantânea pela corrente elétrica instantânea. Com isso, é possível avaliar o quanto de energia está sendo, de fato, coletada pelos painéis fotovoltaicos, o excedente de carga existente no banco de baterias e a potência que está sendo consumida pelo motor elétrico. Além disso, o sistema de monitoramento digital conta também com a presença de sensores responsáveis por medir a temperatura do motor elétrico e do banco de baterias. Para o caso do banco de baterias, as informações coletadas referente a tensão, corrente elétrica e temperatura possuem destaque absoluto, uma vez que possibilitam a avaliação da condição de operação e preservação da vida útil das mesmas.

4. Análise de Benefícios

A energia solar fotovoltaica recebe destaque no cenário socioambiental, principalmente por se tratar de uma fonte de energia renovável, capaz de contribuir com o equilíbrio da natureza. Com base nisso, a Equipe Hurakan desenvolveu um protótipo de uma embarcação movida exclusivamente com essa energia. Dessa forma, o projeto possui o propósito de incentivar a aplicação dos conceitos das disciplinas curriculares da graduação, juntamente com a adesão a novas fontes tecnológicas, e assim, desenvolver o senso crítico e o uso consciente da energia, de maneira inovadora. O fato do conversor Buck, e do sistema de monitoramento de dados, serem projetados e construídos por membros da própria equipe, pode ser compreendido como o diferencial do protótipo.

Sendo assim, a equipe busca divulgar não somente a imagem do projeto, mas também a conscientização voltada para uma sociedade sustentável. Para atingir esse objetivo, o grupo participa de feiras, congressos e de competições nacionais, como o Desafio Solar Brasil. A competição é composta por provas específicas, que testam o desempenho das embarcações. Dessa maneira, a equipe é estimulada constantemente a desenvolver pesquisas voltadas para a aplicação de novas tecnologias, que possibilitam o aumento da eficiência e da qualidade do protótipo.

Através disso, a Equipe Hurakan busca aumentar a visibilidade dos benefícios proporcionados pela energia solar, e assim, incentivar a implementação de sistemas

fotovoltaicos. Quanto a isso, pode-se dizer que o protótipo atendeu bem os objetivos traçados.



Figura 3 - Imagem do protótipo

Fonte: produção do próprio autor

5. Conclusão

A construção de um protótipo funcional movido a energia fotovoltaica pode ser compreendida como uma forma de incentivar o uso dessa tecnologia, que tem se mostrado disponível há algumas décadas no mercado, mas que ainda é pouco difundida. Visto que a escassez de energia elétrica provinda de formas que acabam afetando o meio ambiente pode ser uma realidade não tão distante, fica evidente a busca por novas alternativas que não sejam tão prejudiciais ao meio ambiente.

Desenvolver um sistema capaz de coletar e armazenar a energia solar fotovoltaica, e utilizá-la em uma aplicação não convencional, como uma embarcação solar, é a maneira que a Equipe Hurakan encontrou de incentivar o meio social e tecnológico a adesão dessa fonte de energia, que apesar de necessitar de um investimento considerável para sua implementação, se apresenta como uma alternativa inovadora e sustentável.

6. Referências

BRITO, Moacyr A. G. de et al. *Avaliação das Principais Técnicas para Obtenção de MPPT de Painéis Fotovoltaicos*. Disponível em: <https://s3.amazonaws.com/academia.edu.documents/49455120/Avaliao_das_principais_tecnicas_para_obte20161008-11684-19no446.pdf?AWSAccessKeyId=AKIAIWOWYYGZ2Y53UL3A&Expires=1534785880&Signature=32xQbIfAIF4jk6QFiskfli0isx4%3D&response-content-disposition=inline%3B%20filename%3DAvaliacao_das_principais_tecnicas_para_o.pdf>. Acesso em: 19 ago. 2018.

- CATAFESTA, Leonardo. *Processamento eletrônico de energia solar fotovoltaica em embarcações do tipo catamarã*. 2012. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Elétrica) - UDESC, CCT, Joinville, 2012. Disponível em: <http://www.npee.joinville.br/_publicacoes/arquivo302.pdf>. Acesso em: 18 ago. 2018.
- CRUZ MARTINS, Denizar; BARBI, Ivo. *Eletrônica de potência: Conversores CC- CC Básicos não Isolados*. 2. ed. Florianópolis: Edição do Autor, 2006. 334 p.
- DACOL, Rodrigo Patrício. *Resumo das Atividades de Iniciação Científica - Processamento Eletrônico de Energia Fotovoltaica*. Universidade do Estado de Santa Catarina. Joinville. 2012.
- FEITOSA, Paulo Henrique Assis. *Valor Econômico, "Energia solar no Brasil"* 24/3/2010, p. A 12. Disponível em: <<http://openufra.cead.ufra.br/fae/arquivos/Feitosa%20-%20Energia%20solar%20-%20Valor%2024mar10.pdf>>. Acesso em: 19 ago. 2018.
- LIVEIRA FERNANDES, Frederico. *Projeto e Dimensionamento de um Catamarã em Materiais Compósitos: Engenharia e Arquitectura Naval*. 1. ed. [S.l.]: Novas Edições Acadêmicas, 2017. 140 p. v. 1.
- PROENÇA, Emanuel Dâmaso Rodrigues Brinquete. *A energia solar fotovoltaica em Portugal*. Estado-da-Arte e Perspectivas de Desenvolvimento. 2007. Disponível em: <<https://fenix.tecnico.ulisboa.pt/downloadFile/395137487931/Tese%20-%20A%20Energia%20Solar%20Fotovoltaica%20em%20Portugal.pdf>>. Acesso em: 19 ago. 2018.