

PROJETO E CONSTRUÇÃO DE UM BARCO MOVIDO À ENERGIA SOLAR

Henrique José da Silva¹, hjsilva@unifran.br
Antônio Carlos Marangoni¹, toninmarangoni@gmail.com
Alan Bueno Santos¹, alanbueno8@gmail.com
Arthur Fernandes Costa Ezequiel¹, arthur_fce@hotmail.com
Guilherme do Nascimento e Silva¹, guiskt12@hotmail.com

¹ Universidade de Franca, UNIFRAN, Av. Dr. Armando Salles Oliveira, 201 - Pq. Universitário - Franca –SP

Resumo: Neste trabalho, apresenta-se o projeto e construção de um protótipo de um barco com tecnologia “verde”. O tipo de embarcação utilizada é denominada catamarã, sua estrutura possui dois flutuadores interligados por uma estrutura móvel construída em alumínio que proporciona estabilidade contra os efeitos físicos das ondas. Possui dois motores elétricos que são alimentados por uma placa fotovoltaica acoplada a uma estrutura móvel de alumínio e por duas baterias de 12 V. O objetivo é a aplicação dos conceitos físicos para o desenvolvimento de uma embarcação autossustentável com eficiência energética e aproveitamento de fonte de energia limpa.

Palavras chave: tecnologia verde, placa fotovoltaica, catamarã, autossustentável.

1. INTRODUÇÃO

O catamarã foi criado no arquipélago polinésio para facilitar a locomoção entre as ilhas. É uma embarcação composta por dois cascos, unidos por uma plataforma de comando com variadas fontes de propulsão. No final do século XVI, na época das grandes navegações, os catamarãs surpreenderam os europeus com sua velocidade e estabilidade, ganhando o mundo a partir de então. Hoje em dia, os catamarãs se notabilizam por seu conforto e segurança. Baseados em cálculos específicos de estabilidade e equilíbrio, aprimoraram ainda mais sua navegação em arfada.

2. CAIAQUE

Caiques são embarcações de pequeno porte cuja utilização se divide entre esporte e lazer. No esporte está presente na canoagem, que se divide em outras categorias, sendo elas: canoagem de velocidade, *slalom*, paracanoagem, descida, maratona, oceânica, onda, polo, *rating* e *freestyle*. Para o lazer, o caiaque é utilizado para o turismo, aventura e pesca.

2.2 Tipos de Caiaque

Existe no mercado uma variedade de modelos de caiaques disponíveis, para expedição, pesca e surf (Fig. 1). Sua embarcação pode ser para um tripulante ou composta, para dois tripulantes.



Figura 1. Modelos de caiaques.

Os modelos diferem entre si pelas seguintes características físicas: material, design, comprimento e largura, que interferem no desempenho. Os que possuem maior comprimento navegam em linha reta com mais equilíbrio, já os modelos mais largos apresentam maior grau de estabilidade.

O modelo utilizado neste projeto para a construção do catamarã foi o Lambari, que é descrito na Fig. 1 como Lazer - Individual. Este modelo de caiaque é fabricado em plástico polietileno RA 34-U3. É auto drenável, ou seja, contém furos que escoam a água que entra no convés. Possui 2,55 m de comprimento por 0,66 m de largura e 0,20 m de altura (pontal), com massa de 15 kg e suporta massa de 80 kg.

2.3 Estabilidade

A estabilidade de uma embarcação é essencial para oferecer suporte aos seus tripulantes. No caiaque, a estabilidade é dividida em dois graus: estabilidade primária e secundária. A primária se resume às águas calmas e a secundária às águas turbulentas.

Figura 2 ilustra o comportamento das estabilidades primária e secundária para os dois tipos de casco.

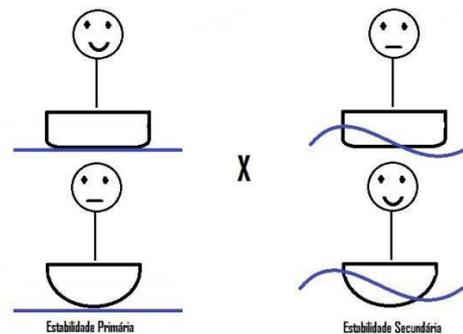


Figura 2. Estabilidade primária e secundária.

2.4 Tipos de Casco

Além do modelo da embarcação, é relevante a classificação do seu casco que é dividida em três modelos: casco em “U” redondo; em “V” e plano (Fig. 3). O casco em “U” redondo possui baixa estabilidade primária, boa estabilidade secundária e bom desempenho de velocidade. O casco em “V” possui um grau de estabilidade intermediário entre estabilidade primária e secundária, com uma velocidade de cruzeiro razoável. O modelo de casco plano possui uma estabilidade primária superior aos demais, porém com estabilidade secundária sofrível que acarreta em uma velocidade de cruzeiro inferior.

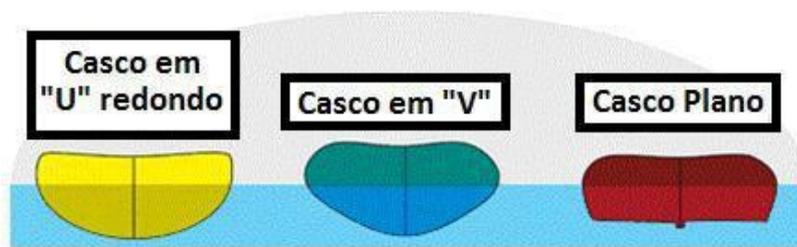


Figura 3. Modelos básicos de cascos.

Além dos modelos básicos de cascos, existem alguns com mais de uma variável discriminante (Fig. 4).



Figura 4. Modelos com duas características ou mais.

2.5 Tipos de materiais empregados na construção do casco

A evolução dos materiais empregados permitiu construir embarcações mais seguras e de melhor desempenho. Atualmente, os materiais mais utilizados na construção são: plástico, fibra de vidro, madeira e o kevlar. Os caiaques construídos com plástico possuem custo baixo, porém massa maior. A fibra de vidro é leve e mais resistente que o plástico, mas seu custo é elevado. As embarcações construídas em madeira possuem uma classificação intermediária, em razão do preço e massa variarem conforme o tamanho. Dentre todos os materiais, o kevlar é o mais leve e resistente, porém seu custo é maior.

3. MOTOR

No mercado existem diversos fabricantes de motores e uma vasta diversidade de modelos. Essa diversidade de motores divide-se em duas categorias básicas: motores à explosão e motores elétricos (Fig. 5). Os motores à explosão são divididos conforme seu combustível, sendo eles: gasolina, álcool, metanol ou diesel.



Figura 5. Motores elétricos e a combustão.

Este trabalho pode ser classificado como “projeto verde”, pois utiliza energia limpa, meios alternativos na geração de energia elétrica e dois motores elétricos Phantom, modelo 44 lbs (Fig. 6), com tensão de alimentação de 12 V, cinco velocidades para frente e duas velocidades para trás que são controladas através de uma

chave seletora. Sua potência de 44 lbs equivale a a um motor de popa à gasolina de 1,5 HP (Halliday, 2012).



Figura 6. Motor elétrico Phantom 44lbs da Marine Sports

As especificações do motor, de acordo com o fabricante, estão expressas na Tab. 1.

Tabela 1. Especificação técnicas do motor Phantom 44lbs (Marine Sports)

ESPECIFICAÇÕES DO MOTOR	
Potência	44 lbs (aproximadamente 1,5 HP)
Tensão de alimentação	12V
Controle de velocidade	Haste de aceleração telescópica
Chave seletora de velocidade	5 velocidades para frente 2 velocidades para trás
Haste de interligação do motor com a caixa de comando	Haste de aço inox com 36" de comprimento (aproximadamente 91,44 centímetros)
Regulagem de altura	Possui regulagem de altura, direção e ângulo
Sistema de fixação ao barco	Suporte para fixação ao barco em metal com parafusos reforçados
Quantidade de pás na hélice	Hélice com 3 pás

3.1 Controle de velocidade do motor

O controle de velocidade do motor Phantom 44 lbs é através de uma chave multi estágios (Fig. 7), cada posição da chave permite uma configuração eletrônica que varia a alimentação elétrica do motor e consequentemente a velocidade de funcionamento.



Figura 7. Chave seletora de velocidade do motor Phantom.

Na chave seletora as trilhas internas são comutadas conforme esquema da Fig. 8 e geram combinações entre os fios, variando a velocidade do motor.

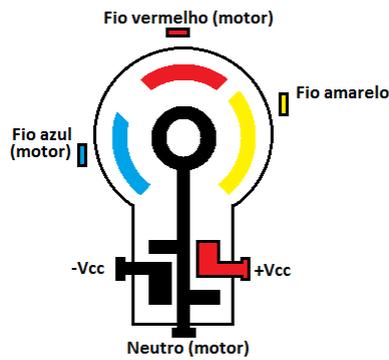


Figura 8. Esquema das trilhas interna da chave.

A partir do esquema interno da comutação dos fios e com o auxílio de um multímetro, foi testado o nível de tensão presente em cada terminal da chave. Os dados obtidos após o teste foram relacionados na Tab. 2.

Tabela 2. Relação das tensões em cada terminal da chave

Linhas	Velocidade	Fio Amarelo	Fio Vermelho	Fio Azul	Fio Preto
1	1	0 V	2,42 V	1,67 V	11,80 V
2	2	0 V	1,77 V	1,78 V	11,75 V
3	3	0 V	0,72 V	0 V	11,75 V
4	4	0,52 V	0,52 V	0 V	11,78 V
5	5	0 V	0 V	0 V	11,77 V
6	-1	11,69 V	10,70 V	11,70 V	0 V
7	-2	11,74 V	11,67 V	11,76 V	0 V

Após o estudo da Tab. 2, foi possível uma relação de nível lógico entre as velocidades do motor, representada na Tabela 3 utilizando a lógica digital, sendo “1” – Ligado e “0” – desligado.

Tabela 3. Relação do nível lógico presente em cada terminal

Linha	Velocidad	Amarelo	Vermelh	Azul	Preto
1	1	0	1	1	1
2	2	0	1	1	1
3	3	0	1	0	1
4	4	1	1	0	1
5	5	0	0	0	1
6	-1	1	1	1	0
7	-2	1	1	1	0

Analisando as linhas 5 e 7 na Tab. 3, nota-se que ambas apresentam respectivamente a velocidade máxima para frente e velocidade máxima para trás. Com base nisso, é possível substituir as demais velocidades por um circuito com potenciômetro, dessa forma, ao girar o potenciômetro, é possível variar a velocidade do motor. Utilizando uma placa de controle por PWM (Fig. 9), foi possível adaptar a lógica apresentada na Tabela 3, pois a placa dispõe de duas saídas analógicas, um potenciômetro para controlar a tensão na saída através do PWM e uma chave tripolar para inverter as saídas.



Figura 9. Placa de controle dos motores por PWM.

A placa foi utilizada para simplificar a ligação da chave multi estágios, pois a mesma continha 8 posições contando com o neutro. Com o uso da placa, as combinações foram reduzidas à 3 possibilidades: frente, neutro e ré. Para que haja a variação da velocidade dentro da velocidade pra frente e de ré, foi utiliza do um potenciômetro e para a inversão da rotação, foi utilizado uma chave tripolar.

Na Figura 10a temos o painel de controle com os dois potenciômetros para variar a velocidade dos dois motores, e na Fig. 10b, a placa utilizada para o controle de velocidade dos motores com as respectivas saídas para a chave tripolar e para o potenciômetro.

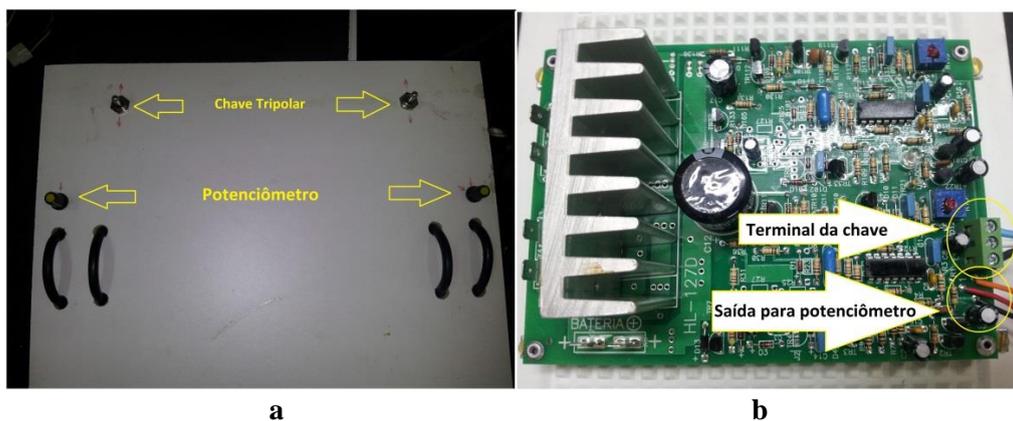


Figura 10. Painel de controle (a.) e placa de controle (b.)

Tabela 4, pode-se observar a relação do consumo de corrente por tempo em velocidade contínua do motor (ligado à bateria).

Tabela 4. Consumo de carga/hora do motor.

Estágio	Consumo corrente/tempo
1	16 A/h
2	26 A/h
3	36 A/h
4	46 A/h
5	60 A/h

4 PLACA FOTOVOLTAICA

Foi utilizado um módulo fotovoltaico da marca Mitsubishi Eletric, modelo PV-EE125MF5F, cujas especificações estão dispostas na Tab. 5. As células da placa são livres de soldas para garantir um melhor rendimento

energético, possui um revestimento não refletor na área de captação dos raios solares para que o fluxo da água não interfira no rendimento, seu design é propício para a drenagem dos líquidos em sua superfície. A estrutura é construída em aço reciclável com alta resistência a tração e vidro temperado (Fig. 11).

Tabela 5. Especificação da placa fotovoltaica.

Fabricante	Mitsubishi Electric
Nome do modelo	PV-UE125MF5N
Tipo de célula	Silicopolicristalino (156 x 156 milímetros)
Número de células	36 células em série
Potência máxima (Pmax)	125W
Garantido mínimo em potência máxima	118.8W
Tolerância de rating	Potência máxima +10/-5%
Tensão de circuito aberto (Vca)	21,80V
Corrente de curto circuito	7,90A
Tensão em potência máxima (Vpm)	17,30V
Corrente em potência máxima (Ipm)	7,23A
Temperatura das células em funcionamento normal	47,5 °C
Tensão máxima do sistema	600V DC
Fusível	15A
Dimensões	1495x674x46mm (58,9x26,5x1,8 inch)
Peso	13,5 kg
Terminal de saída	(+)800 mm / (-)1250 mm com conector MC (PV-KBT4 / 6-UR, PV-KST4 / 6-UR)
Eficiência do modulo	12,4%

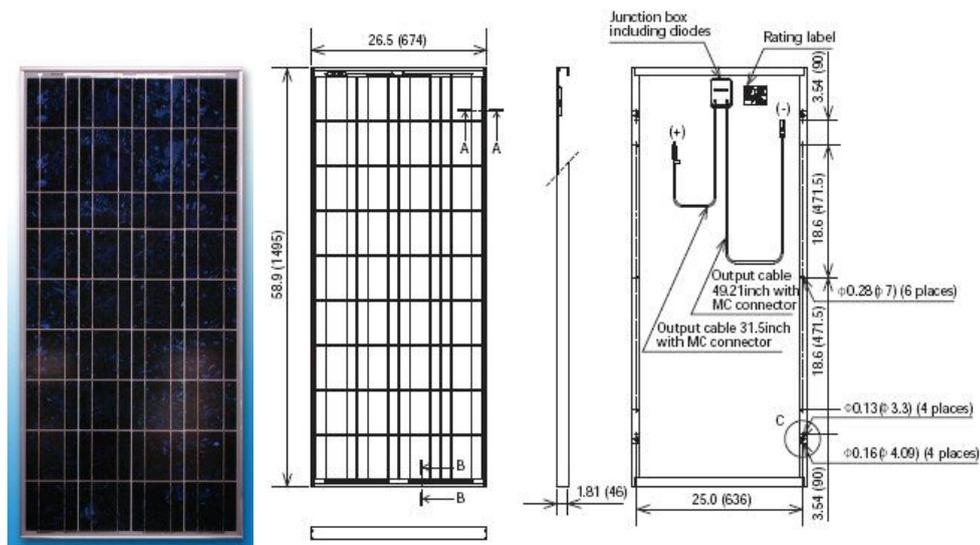


Figura 11. Placa fotovoltaica e seu desenho técnico.

5 BATERIA

Foram utilizadas duas baterias seladas de 12 V/7Ah ligadas em paralelo (Fig. 12) como recurso auxiliar no fornecimento de energia elétrica, e conseqüentemente propulsão, caso a placa fotovoltaica não conseguisse fornecer potência suficiente aos motores em função da ausência de luminosidade solar.



Figura 12. Bateria 12V

A alimentação secundária foi disposta de maneira a atuar como ponto flutuante, passando a fornecer potência somente quando houvesse perda de rendimento da placa fotovoltaica.

6 PROTÓTIPO

Na construção do protótipo, foram utilizados dois caiaques modelo Lambari (Fig. 13) fabricados pela empresa Caiaker. Segundo especificações do fornecedor, este modelo é destinado para lazer e proporciona uma boa estabilidade, agilidade, transporte fácil e preço acessível.



Figura 13. Caiaque Lambari.

O caiaque Lambari suporta um tripulante com peso máximo de até 833,51 N (dados fornecidos pelo fabricante), porém, considerando seu casco estanque, que não possui furos, seu peso limite pode alcançar 980,6 N, o que pode influenciar diretamente em seu desempenho. Possui 2,55 m de comprimento e 0,66 m de largura.

Para interligar os caiaques sem que fossem danificados e de forma fácil de desmontá-los para transporte, foi usado um suporte de antena parabólica (Fig. 14).



Figura 14. Suporte de antena parabólica.

O suporte ao caiaque foi fixado ao caiaque através de uma bucha (Fig. 15) denominada TAB, que cuja principal aplicação é a fixação em superfícies ocas.



Figura 15. Bucha TAB.

Após a perfuração do casco e o acoplamento dos suportes, foram utilizadas duas barras de alumínio ocas, para interligar os dois caiaques formando a estrutura da embarcação catamarã (Fig. 16).

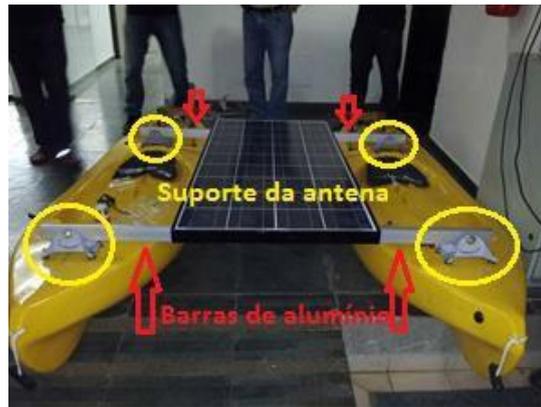


Figura 16. Estrutura pronta.

Os motores elétricos utilizados possuem um sistema de acoplagem ajustável, dois manípulos que regulam o grau de pressão. Foi construído um suporte de madeira e alumínio para acoplar o motor à popa do caiaque (Fig. 17).



Figura 17. Suporte do motor.

A placa fotovoltaica foi acoplada à estrutura de alumínio (Fig. 18) para distribuir a massa e equilibrar o centro de gravidade do catamarã.



Figura 18. Estrutura montada.

7 EXPERIMENTO EM CAMPO

O protótipo foi testado no Rio Grande na cidade de Rifaina-SP, o dia estava ensolarado, sem a presença de muitas nuvens, fornecendo portanto, maior incidência de raios solares na placa e, conseqüentemente, melhor rendimento. O lugar do piloto foi ocupado pelo coordenador do projeto e o outro lugar por um membro da equipe (Fig. 19).

Com a placa acoplada no protótipo, foram instaladas duas baterias seladas de 12 V e 7 A/h em paralelo com o circuito da placa fotovoltaica. Esse procedimento garante que: quando a placa sofre queda em seu rendimento, as baterias que estão ligadas em paralelo com a mesma, complementam essa perda de eficiência. A placa alimenta os

motores e as duas baterias que complementam o fornecimento de energia aos motores quando necessário.



Figura 19. Ensaio em campo.

Com o dia ensolarado o protótipo obteve um bom desempenho, levando-nos a retirar as baterias para averiguar a eficácia do módulo solar. Ao realizar um teste sem as baterias, foi constatado que a placa é capaz de gerar energia suficiente para sustentar os motores.

Outro aspecto importante analisado foi o nível de flutuabilidade, considerando a massa do conjunto: caiaques, placa e motores, resultam em 66 kg. Através da distribuição das cargas, análise das prescrições do fabricante e pesagem do material sobressalente constatou-se que houvesse uma força peso resultante equilibrada de 330 N para cada caiaque, levando em consideração a capacidade de 850 N do mesmo, restam 520 N a serem usados com passageiros em cada caiaque sem que a borda do flutuador (caiaque) sequer se aproxime ao nível da água.

Através de cálculos, levando em consideração a margem de segurança existente além da capacidade indicada pelo fabricante, os tripulantes podem atingir até 60 kg sem que atinjam algum nível prejudicial à navegação.

No quesito velocidade e agilidade do protótipo conseguimos ter um bom rendimento, para mudar o sentido, era necessário diminuir a velocidade do propulsor equivalente ao sentido que se deseja tomar. Esse método de mudança de sentido foi eficiente sem afetar a velocidade de cruzeiro.

O primeiro teste do protótipo foi, basicamente, para coletar dados e analisar qualitativamente o comportamento do conjunto salientando aspectos negativos como a capacidade de flutuabilidade, que foi considerada não ideal e necessitaria de uma redistribuição da massa e implementação de um flutuador extra ao catamarã, conforme Figura 20. Este flutuador possuirá as seguintes dimensões: 2 m de comprimento por 50 cm de largura e 22 cm de altura. Será construído em isopor e revestido de fibra de vidro, permitindo suportar 100 kg, suficiente para corrigir o excesso de massa constatado no catamarã. Os próximos testes serão para analisar quantitativamente o rendimento do módulo fotovoltaico e diagnosticar capacidade e sustentabilidade do projeto, movido apenas com propulsão gerada através da energia proveniente da incidência de luminosidade solar, que é o objetivo inicial do projeto.

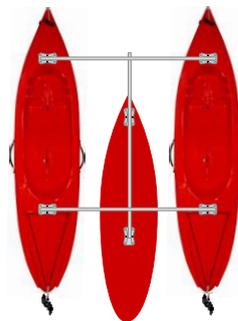


Figura 20. Flutuador central extra.

8 CONCLUSÃO

A interdisciplinaridade entre os Componentes Curriculares do curso de Engenharia Mecatrônica foi fundamental durante o processo de desenvolvimento e construção deste projeto. A análise da relação custo/benefício resultou na utilização de técnicas perfeitamente apropriadas e equipamentos altamente eficazes na análise, nos ensaios, construção e aperfeiçoamento do protótipo.

Com bases nos estudos realizados, foi observado que projetos utilizando tecnologia verde apresentam eficiência e qualidade consideráveis, se comparados com as tecnologias predominantes atualmente. Foi constatado que esta tecnologia tende a se tornar mais usada, fazendo com que os danos ao meio ambiente sejam reduzidos.

Com apenas um teste de campo, foi possível corrigir anomalias no projeto e, com isso, alcançar o objetivo de projetar e construir um meio de transporte náutico que apresente eficiência energética e segurança através da conversão da energia solar (“energia limpa”) em elétrica, fazendo jus a denominação de “embarcação verde”.

9 REFERÊNCIAS

- Ahmed, A. “Eletrônica de Potência”. Prentice Hall do Brasil, 2000.
- Benson, R. Process Control: “The Future. Computing & Control Engineering Journal”, v. 8, ed. 4, 1997.
- Halliday, Resnick E Walker.” Fundamentos de Física”. Vol. 1. 9ª ed. Rio de Janeiro: Editora LTC, 2012.
- Braga J. P. C. H. “Os padrões de comércio e inovação na indústria brasileira de máquinas-ferramenta”. (Dissertação de Mestrado)-Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2008.
- Gutierrez, R. M. Pan, S. S. “Complexo eletrônico: automação do controle industrial”. Rio de Janeiro: BNDES, 2008.
- Nashelsky, L. e Boylestad, R. L. Attia, Y. A. I. e Kitchener, J. A. “Dispositivos Eletrônicos e Teoria de Circuitos”. Prentice Hall do Brasil, 2004.
- Nogueira, L.A.; “Fabrica de engenheiros”. Revista Isto é, 01 Mar.2013. Caderno Economia, Ed.803. Disponível em: <http://www.istoedinheiro.com.br/noticias/113520_FABRICA+DE+ENGENHEIROS> Último acesso:18/02/2014.
- Tocci, R. J., Wildmer, N. S. e Moss, G. Y L., “Sistemas Digitais: Princípios e Aplicações”. Prentice Hall do Brasil, 2007.

10 RESPONSABILIDADE AUTORAL

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo deste trabalho.

Design and construction of a solar-powered catamaran

Henrique José da Silva¹, hjsilva@unifran.br
Antônio Carlos Marangoni¹, toninmarangoni@gmail.com
Alan Bueno Santos¹, alanbueno8@gmail.com
Arthur Fernandes Costa Ezequiel¹, Arthur_fce@hotmail.com
Guilherme do Nascimento e Silva¹, guiskt12@hotmail.com

¹ Universidade de Franca, UNIFRAN, Av. Dr. Armando Salles Oliveira, 201 - Pq. Universitário - Franca –SP

Abstract: *In this paper, we present the design and construction of a prototype of a boat with "green" technology. The type of vessel used is called catamaran, because its structure has two floats connected by a carriage built in aluminum which provides stability against the physical effects of the waves. The boat has two electric motors that are powered by a photovoltaic plate coupled to the movable aluminum frame and two batteries of 12 V. The objective is the application of physical concepts for the development of a self-sustaining vessel with energy efficiency and use of source clean energy.*

Key words: *green technology, photovoltaic board, catamaran, self-sustainable.*