

Desenvolvimento da planta fotovoltaica de uma embarcação de passageiros por meio da curva de potência característica do modelo**Development of the photovoltaic plant of a passenger vessel through the model characteristic power curve**

Recebimento dos originais: 27/09/2018

Aceitação para publicação: 29/10/2018

José Venicius da Costa Barbosa

Bacharel em engenharia naval pela Universidade do Estado do Amazonas (UEA)
Instituição: Universidade do Estado do Amazonas
Endereço: Av. Darcy Vargas, 1200 – Parque Dez, 69050-020 – Manaus – Amazonas
Email: venicius_costaeng@hotmail.com

Arlen Gomes da Silva

Bacharel em engenharia naval pela Universidade do Estado do Amazonas (UEA)
Instituição: Instituto Superior de Ensino Leanorte – AM
Endereço: Av. João Valério, 250 – São Geraldo, 69053-140 – Manaus – Amazonas
Email: arlen_gomes@hotmail.com

Katlen Anne Lima de Melo

Bacharel em engenharia naval pela Universidade do Estado do Amazonas
Instituição: Instituto Superior de Ensino Leanorte – AM
Endereço: Av. João Valério, 250 – São Geraldo, 69053-140 – Manaus – Amazonas
Email: katlenmeloo@gmail.com

Paulo Vinícius Silva Brilhante

Bacharel em engenharia naval pela Universidade do Estado do Amazonas
Instituição: Netuno Engenharia Naval LTDA – AM
Endereço: R. Bernardo Ramos, 92, Sala 102 – Centro, 69005-310 – Manaus – Amazonas
Email: pvsbrilhante96@gmail.com

RESUMO

O correto dimensionamento do sistema propulsivo de uma embarcação é um ponto crítico dentro de uma típica espiral de projeto do setor naval. Isso ocorre pois a partir dos dados obtidos nesta etapa é que os sistemas auxiliares, assim como a alimentação do sistema principal, são desenhados. Essa etapa torna-se ainda mais relevante no projeto de embarcações elétricas, uma vez que todo o sistema elétrico principal é desenvolvido com base no dimensionamento da potência propulsiva da embarcação e, se mal dimensionado, o erro pode prejudicar a operação tornando-a inviável, pois o sistema não terá autonomia, ou a tornando cara e ineficiente pois haverá sobrepeso do banco de armazenamento de energia. Este trabalho apresenta o desenvolvimento do sistema elétrico da planta fotovoltaica, de uma embarcação destinada ao transporte de passageiros, a partir das características

operacionais da embarcação e da obtenção da sua curva de potência, obtida por meio do método SlenderBody. Ao final também é realizada uma comparação entre os custos da operação utilizando energia elétrica para a propulsão, e utilizando sistemas convencionais a combustão.

Palavras-chave: Resistência ao Avanço. Embarcação Solar. Custos Operacionais.

ABSTRACT

Correct sizing of the propulsive system of a vessel is a critical point within a typical naval sector design spiral. This is because from the data obtained in this step is that the auxiliary systems, as well as the main system power, are drawn. This step becomes even more relevant in the design of electric vessels, since the entire main electrical system is developed based on the propulsive power of the boat and, if poorly dimensioned, the error can impair the operation making it unfeasible, because the system will not have autonomy, or making it expensive and inefficient because it will be overweight from the energy storage bank. This work presents the development of the electric system of the photovoltaic plant of a vessel destined to the transport of passengers, based on the operational characteristics of the vessel and obtaining its power curve, obtained through the Slender Body method. At the end, a comparison between the costs of the operation using electric energy for propulsion and using conventional combustion systems is also carried out.

Key-words: Resistance to Advancement. Solar Vessel. Operating Costs.

1 INTRODUÇÃO

Uma possível alternativa para solucionar o problema da emissão de poluentes e dos elevados custos com o uso de combustíveis fósseis na navegação, tanto interior quanto marítima, é a utilização de fontes renováveis de energia para auxiliar na demanda energética de máquinas e equipamentos. Dentre essas fontes, temos principalmente a eólica e a solar para a utilização na indústria naval. Investimentos em projetos desse tipo necessitam de um aporte financeiro considerável, uma vez que tais tecnologias ainda apresentam um custo de aquisição relativamente elevado. Dessa forma, torna-se imprescindível a realização de análises financeiras para atestar a viabilidade econômica da execução de um projeto que siga tais moldes. Essa análise é necessária pois irá demonstrar se o projeto irá conseguir se pagar e gerar lucros dentro de um período de tempo estimado, e ainda, a quais taxas ocorrerá o crescimento do investimento. Para que o estudo possa ser realizado com um nível de precisão satisfatório, é necessário que se conheça, com riqueza de detalhes, tanto o produto a ser ofertado quanto o ambiente em que esse produto será utilizado. Dessa forma, para uma embarcação, é preciso primeiramente conhecer as condições de operação do projeto para posteriormente realizar os estudos que demonstrem as necessidades de potência e energia da embarcação. Esse trabalho procura unir tais necessidades: propor um modelo de embarcação que consiga reduzir os custos com combustível e utilizar fontes alternativas de energia para esse fim, de forma a esclarecer possíveis aspectos positivos e negativos em projetos como o apresentado. Tornando-se dessa forma, uma ferramenta para o incentivo e norteamto de iniciativas

que utilizem energias renováveis para seu funcionamento. O trabalho demonstrará os passos do dimensionamento de um sistema fotovoltaico para geração de energia propulsiva de uma embarcação. O estudo partirá primeiramente das características operacionais da embarcação, seguindo então para a análise da curva de potência característica e então para o dimensionamento da planta geradora de energia.

2 DESENVOLVIMENTO DO PROJETO

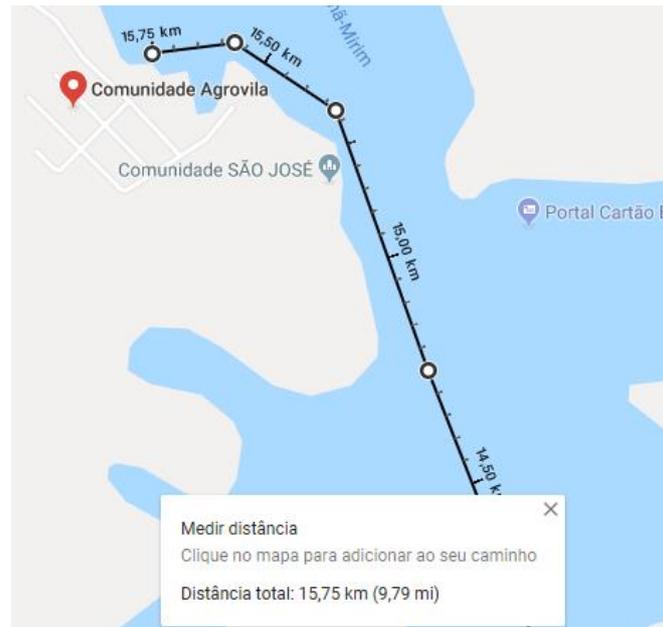
O desenvolvimento do projeto e o conhecimento em detalhes das necessidades operacionais do modelo a ser desenvolvido é de extrema relevância no levantamento dos itens e custos relacionados à construção e operação do produto. Somente através da compreensão em detalhes dos requisitos construtivos e operacionais é possível realizar uma mensuração econômica e das necessidades de projeto.

Essa compreensão é definida como uma avaliação de projetos, ou seja, uma mensuração dos componentes que integram um dado projeto para posterior tomada de decisões. Segundo BOTTEON, Claudia (2009) “A avaliação de projetos é uma ferramenta que permite tomar decisões, isto é, ajuda a determinar como utilizar os recursos disponíveis da melhor forma possível”.

2.1 CARACTERÍSTICAS OPERACIONAIS

Para a obtenção das características operacionais foi necessária a busca de informações em um estabelecimento que realizasse o transporte de passageiros de forma regular, pois assim seria possível fazer a estimativa e posterior comparação dos custos operacionais da embarcação. O estabelecimento objeto da análise foi a Marina do Davi. A rota selecionada foi a “Marina do Davi – Comunidade Agrovila”, uma comunidade que fica em torno de 16km de distância da orla da marina.

Figura 1 – Localização e distância entre a comunidade Agrovila e a orla da Marina do Davi



Fonte: Google Maps; 2018

Dentro dessa rota, os dados operacionais obtidos, através de informações dos operadores das embarcações, são:

Tabela 1 - Características operacionais da rota selecionada

Características operacionais da rota definida	
Nº viagens por dia	4 viagens
Nº dias de operação por semana	4 dias em uma semana
Taxa de lotação média/viagem	60 a 70 por cento da lotação máxima
Gasto com combustível	150 R\$ (ida e volta)
Gasto com tripulação	130 R\$ (ida e volta)
Gasto com manutenção	1500 R\$ (semestral)
Tempo médio de viagem	40 a 45 minutos
Preço da passagem	14 R\$

Fonte: Autor; 2018.

2.2 CARACTERÍSTICAS DA EMBARCAÇÃO UTILIZADA

O modelo de embarcação proposto segue um padrão turístico que acomoda menos passageiros e possui dimensões menores, assim como uma estrutura mais enxuta. Tais características fazem com que a necessidade de energia da embarcação torne-se menor pois ela precisará de menos potência para navegar a uma dada velocidade, assim como equipamentos elétricos menos potentes. Dessa forma, as características da embarcação proposta são as seguintes.

Tabela 2 - Características da embarcação utilizada

Características do modelo proposto

Boca	3 metros
Comprimento	6 metros
Pontal	1,2 metros
Lotação máxima	13 passageiros

Fonte: Autor, 2018.

Com base em tais informações e no modelo do casco, é possível então estimar a curva característica de potência da embarcação e assim poder realizar o dimensionamento da planta elétrica para geração de energia.

Figura 2 - Modelo de embarcação utilizado



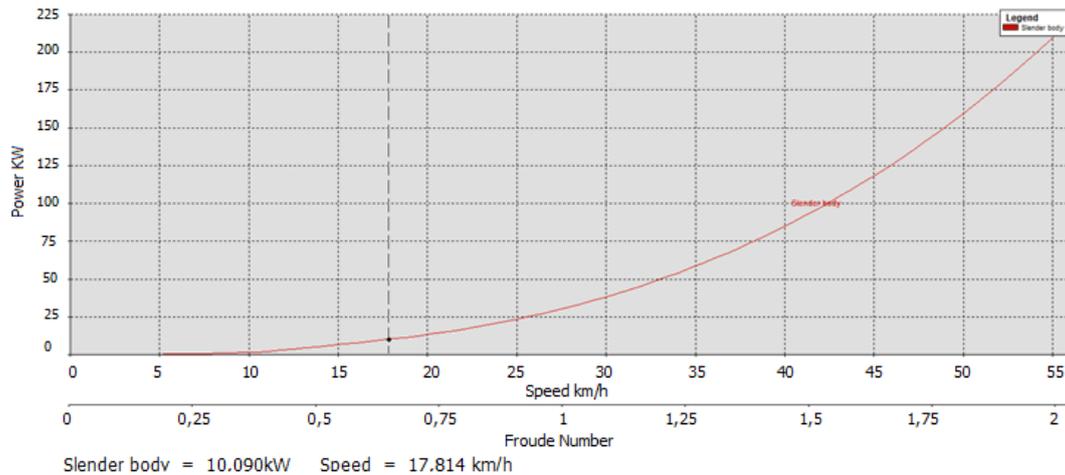
Fonte: Autor, 2018.

2.3 ESTIMATIVA DA CURVA DE POTÊNCIA CARACTERÍSTICA DA EMBARCAÇÃO.

Existem uma série de métodos que permitem prever a potência necessária para movimentar uma embarcação a uma determinada velocidade. Cada um desses métodos é melhor aplicado em uma certa faixa de tipos de embarcação. No presente caso, será utilizado o método SlenderBody através do software MaxsurfResistance® para o calado de 1,1 metro de imersão do casco.

Este é um método analítico baseado nos trabalhos de Tuck et al (1999) e Couser et al (1996), sendo possível aplicá-lo a diferentes formatos de casco, porém estes devem ser esbeltos e simétricos. Quanto maior a relação L/B maior será a precisão do método. Todavia, esse método é capaz de prever apenas a parcela de onda da resistência do navio, sendo necessário então a utilização de outro método para estimativa da resistência friccional. Este método realiza uma solução da equação potencial de Laplace para o escoamento do fluido ao redor da embarcação e prevê a formação de ondas na superfície livre. Este método produz bons resultados para corpos esbeltos com razão de aspecto acima de 5, uma vez que ele despreza os efeitos viscosos e não prevê separação da camada limite. O programa utiliza a formulação da ITTC'57 para estimar a resistência por atrito. Assim, é possível descobrir a curva característica da embarcação para definir a potência que precisamos para a embarcação chegar a uma dada velocidade, chegando então aos seguintes dados.

Figura 3 - Curva de Potência característica da embarcação utilizada.



Fonte: Adaptado de; MaxsurfResistance@; 2018.

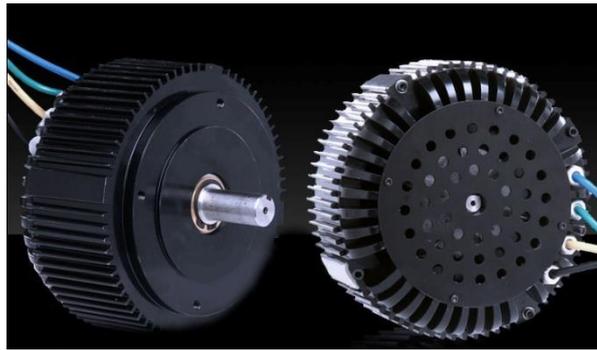
Dessa forma, precisamos de 10,09kW para movimentar a embarcação analisada a uma velocidade de 17,814 km/h.

2.4 DESENVOLVIMENTO DO SISTEMA FOTOVOLTÁICO DE GERAÇÃO DE ENERGIA

No presente caso, o projeto necessita de geração própria e a planta não está interligada a rede. Dessa forma, o tipo de arranjo para o sistema fotovoltaico instalado é o off-grid. A quantidade de painéis será limitada pela área disponível no teto da embarcação. Devido às dimensões do teto, 3,00m X 4,70m, é possível alocar somente nove placas de 1,00m X 1,65m com geração de 320W de potência.

Tendo em mãos a estimativa inicial da quantidade de potência necessária (10,09kW), define-se então o modelo de motor que será utilizado para gerar a potência necessária para movimentar a embarcação. O modelo proposto, brushless HPM500B da Golden Motors, utiliza corrente contínua e consegue gerar 5kW de potência e por isso, a embarcação proposta utilizará 2 motores afim de alcançar a potência propulsiva necessária. Para a operação do motor, é necessário o uso do seu respectivo controlador, modelo VEC300-48. A partir deste, é possível gerenciar o funcionamento do motor.

Figura 4 - Motor elétrico brushless utilizado.



Fonte: <https://goldenmotor.com/SMF/index.php?topic=647.0>

Com base nos requisitos de energia da embarcação, aplicando um fator de segurança de 25 por cento e considerando uma viagem de ida e volta de duas horas, chegamos à seguinte tabela:

Tabela 3 - Requisitos de potência e energia da embarcação.

Requisitos de potência da embarcação	
Equipamentos	288,6 W
Propulsão	10000 W
Total para viagem de ida e volta	20577,2 Wh
Total com coeficiente de segurança de 25%	25721,5 Wh

Fonte: Autor, 2018.

Dessa forma, o banco de baterias da embarcação deve possuir no mínimo 25721,5W.h de energia. Optou-se pela utilização de baterias de íon-lítio, devido à sua versatilidade, capacidade de carga e menor peso em comparação com baterias convencionais. Utilizando um modelo de célula de lítio fosfato de 3,2v e 75Ah, conseguimos um valor de 240W.h para uma célula, assim o banco de baterias deve ter 108 células.

Figura 5 - Célula de íon-lítio.



Fonte: <https://www.ev-power.eu/LiFePO4-special-cells/Lithium-Iron-LiFePO4-Battery-Cell-LFP-3-2V-75AH.htm>.

Cada célula possui 1,89kg, conclui-se que o banco de baterias pesará 204,12 quilos. Para alimentar esse banco de baterias, tem-se a disposição as placas solares que geram 320W de

potência. Todavia, a bordo da embarcação é possível posicionar somente 9 placas solares e essa quantidade de placas é capaz de gerar 2880W. Com essa geração de energia serão necessárias em torno de 9 horas para recarregar o sistema, porém é necessário reduzir esse tempo de recarga pois a operação da embarcação exige 2 viagens de ida e volta por dia.

Assim, para complementar a produção de energia para a recarga do banco de baterias, é possível conceber uma planta auxiliar no porto de origem com o excedente de placas que permitam a recarga do sistema em tempo hábil. Considerando um conjunto de 26 placas solares, gerando 320w de potência, temos a geração de 8320W.h e assim podemos carregar o banco de baterias em 3 horas.

Para finalizar o dimensionamento da planta fotovoltaica é preciso escolher o controlador de carga do banco de baterias. Esse equipamento realiza o gerenciamento da energia que sai das placas e é direcionada para o banco. Ele funciona de tal forma que administra a corrente que entra nas baterias e consegue exercer a função de chave, deixando de direcionar energia para o banco caso ele já esteja carregado e direcionando essa energia, caso ela seja suficiente, diretamente para o sistema.

O controlador de carga escolhido é o modelo MPPT ITRACER IT4415ND de 45 ampères que opera a 12, 24, 36 e 48 volts e pesa 4,6 kg.

Figura 6 - Controlador de carga utilizado.



Fonte: <https://www.minhacasasolar.com.br/produto/controlador-de-carga-45a-12v-24v-36v-48v-mppt-itracер-it4415nd-78477>.

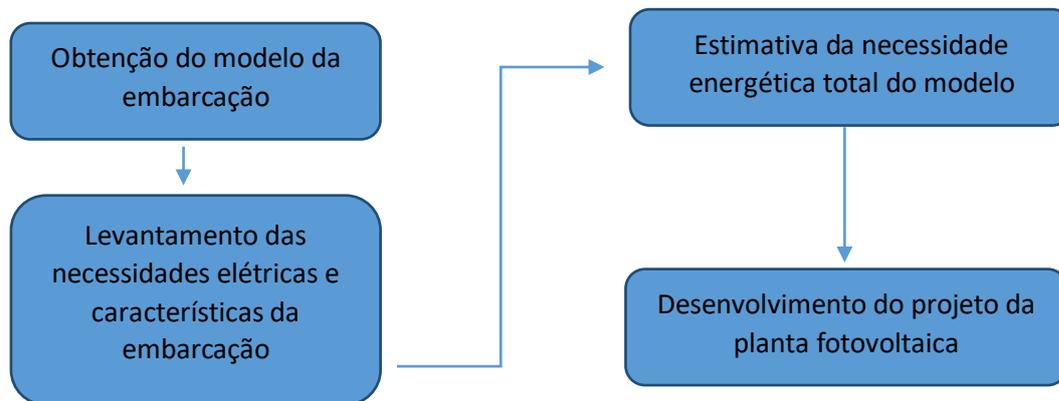
Dessa forma, temos então os seguintes componentes e suas respectivas quantidades no sistema fotovoltaico gerador de energia para a embarcação.

Tabela 4 - Itens que compõem o sistema fotovoltaico.

Itens do sistema fotovoltaico (quantidade)	
Painéis fotovoltaicos (320 W)	26
Banco de baterias (262,5 Wh)	108
Controlador de carga	1

Fonte: Autor; 2018.

O processo de elaboração do sistema, então, ficará da seguinte forma:



2.5 COMPARAÇÃO ENTRE OS CUSTOS OPERACIONAIS

De posse de todos os componentes do sistema e dos dados operacionais, é possível então realizar uma comparação inicial dos custos envolvidos na elaboração e operação do sistema proposto. Para comparação entre dois modelos de propulsão, tomou-se como base para definir o “modelo convencional” os dados de uma embarcação que opera na Marina do Davi.

Assim, temos que a embarcação opera segundo os dados iniciais apresentados na definição das características operacionais da rota definida, todavia, para o modelo solar a operação não apresenta custo de combustível e a manutenção do sistema propulsivo gira em torno de 700 reais semestralmente, enquanto no sistema a combustão gira em torno de 1500 reais.

Dessa, forma, temos a seguinte tabela comparativa:

Tabela 5 - Comparação de custos entre o modelo de embarcação solar e o convencional

Item	Solar	Convencional
Nº viagens por dia	4	4
Nº dias da semana em operação	4	4
Lucro/dia de operação	672	1008
Gasto/dia de operação	180	586,16
Lucro líquido diário	492	421,84
Lucro líquido mensal	7872	6749,44

Fonte: Autor, 2018.

3 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com base nos resultados alcançados, é possível então verificar que o trabalho cumpriu sua proposta de realizar o levantamento e a comparação dos custos entre uma embarcação de modelo

solar e outra embarcação convencional a combustão. Essa comparação foi possível por meio da busca dos valores construtivos e operacionais em estaleiros e marinas que operam com o transporte regular de passageiros em embarcações.

Da mesma forma, foi possível demonstrar a viabilidade financeira de um projeto de construção e operação de uma embarcação elétrica-solar em detrimento do projeto de construção e operação de uma embarcação convencional a combustão. Comprovando que a primeira, dentro de um determinado período de tempo, gera maiores retornos financeiros quando operada sob certos parâmetros.

Tais resultados só puderam ser obtidos através da análise das características inerentes ao modelo da embarcação analisada, no caso a curva característica de potência. Os dados obtidos por meio dessa curva, juntamente com o conhecimento das taxas de eficiência de cada equipamento que compõe o sistema, dão as ferramentas necessárias para o desenvolvimento de um projeto eficiente e funcional, uma vez que ela nos diz com precisão satisfatória a quantidade de energia que precisamos para movimentar a embarcação a uma determinada velocidade.

A difusão e a utilização de tal metodologia de desenvolvimento de projetos na indústria naval, principalmente na indústria de médio e pequeno porte, pode gerar grandes avanços e redução de custos tanto em embarcações convencionais quanto no desenvolvimento de embarcações elétricas. Assim, abrindo portas para o desenvolvimento tecnológico e impulsionamento do mercado uma vez que os projetos terão menores custos de operação.

Com base nos resultados obtidos então, é possível afirmar que adotando os pilares principais do levantamento das características físicas e operacionais da embarcação, como tamanho, rota, peso e velocidade desejada, e a correta estimativa da curva de potência de uma embarcação conseguimos obter ferramentas para aumentar a eficiência de projetos de embarcações e assim melhorar os índices financeiros de investimentos desse tipo no que tange aos retornos alcançados. Sendo tal metodologia essencial no desenvolvimento de projetos de embarcações elétricas, por meio dos resultados obtidos, é possível também verificar um retorno financeiro maior no modelo solar em detrimento do padrão convencional.

REFERÊNCIAS

ANDRADE, Maria Margarida de. **Introdução a Metodologia do Trabalho Científico**. 3ª Ed. São Paulo: Atlas, 2000. 172 p.

FURASTÉ, Pedro Augusto. **Normas técnicas para o trabalho científico**. 16ª Ed. Rio grande do Sul: Isasul, 2012.

REIS, Marcelo César dos. **Projeto Conceitual de uma embarcação solar para o transporte público de passageiros**. Universidade Federal de Santa Catarina, TCC, 2012. Disponível em <<https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/171682>>. Acesso em 19 abril 2017.

STRACHOSKI, Patrícia. **Análise de viabilidade econômica de um projeto de investimento em uma indústria de artefatos de cimentos**. Universidade do Extremo Sul Catarinense, TCC, 2011. Disponível em: <<http://repositorio.unesc.net/bitstream/1/545/1/Patr%C3%ADcia%20Strachoski%20.pdf>>. Acesso em 09 de setembro de 2017.

OLIVEIRA, G.B., “**Comissionamento da Usina Solar Fotovoltaica da UFJF**”. 2014. 72f. Monografia de graduação em engenharia elétrica.- Universidade Federal de Juiz de Fora, 2014

CARVALHO, Roberto; CHAVES, Rui; CINTRA, Israel. **Análise de custo e rentabilidade de embarcações industriais envolvidas na captura do camarão-rosa no litoral norte do Brasil**. Boletim téc. Cient. CEPNOR, v.3, n.1, p. 179-190. 2003. Disponível em <<http://www4.icmbio.gov.br/cepnor/images/stories/publicacoes/btc/vol03/art11-v03.pdf>>. Acesso em 08 abril 2017.

PINTO, Fátima Cristina; SANTOS, Robson Nogueira. **Potenciais de redução de emissões de dióxido de carbono no setor de transportes: um estudo de caso da ligação hidrovia rio-niterói**. ENGEVISTA, v. 6, n. 3, p. 64-74. 2004. Disponível em: http://www.uff.br/engevista/3_6Engevista5.pdf>. Acesso em 02 abril 2017.

RUEGG, R.; SAV, G.T. **The microeconomicsof solar energy**. 3th ed. Washington: National Bureau of Standards, 1980. 189 p.

BOILY, R.; SAWADOGO, A.; ROSSI, L.A. **Projeto de sistemas fotovoltaicos para comunidades rurais**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 27., 1998, Poços de Caldas. Anais... Lavras: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 1998. v.3, p.392-3.