

SISTEMA HÍBRIDO FOTOVOLTAICO-DIESEL PARA SUPRIMENTO DE ELETRICIDADE EM LOCAL TURÍSTICO ISOLADO

André Luiz Barbosa Corrêa – eng.andre_luiz@hotmail.com

Paulo Fernando Sousa Sena – paulosena007@hotmail.com

Claudio Fábio de Oliveira Barbosa – cfob@ufpa.br

Universidade Federal do Pará, Campus Universitário de Tucuruí, Faculdade de Engenharia Elétrica

Resumo. Este documento apresenta um estudo de viabilidade econômica para instalação de um sistema híbrido fotovoltaico-diesel isolado da rede elétrica. Utiliza-se como suporte computacional o software HOMER[®] (Hybrid Optimization Model for Electric Renewable). O local utilizado como objeto de estudo foi uma ilha turística chamada Pousada Oca do Lago nas proximidades da cidade de Tucuruí - Pará. Foram testadas diversas configurações de sistemas híbridos. Ao final revelou-se o sistema híbrido fotovoltaico-diesel como o mais oportuno para a localidade, pois a incidência de raios solares é de 4,963 kWh/m²/dia na média anual. Com uma configuração de 15 kW de geração fotovoltaica, 13 kW de geração diesel, 160 baterias e um conversor de 18 kW, o custo de produção ficou estimado em 1,552 US\$/kWh com um investimento inicial de US\$ 149.218,00. O prazo para retorno de investimento é de 25 anos.

Palavras-chave: Energia Solar, Fontes Alternativas de Energia, Sistemas Híbridos, Geradores Diesel.

1. INTRODUÇÃO

Sabe-se que muitas áreas isoladas com características turísticas são fracamente exploradas economicamente, devido em especial ao precário atendimento (poucas horas de fornecimento e baixa qualidade de energia oriunda da geração diesel-elétrica) e à falta do serviço de energia elétrica convencional (extensão da rede). Uma alternativa que nas últimas décadas vem apresentando altos índices de crescimento é a utilização de sistemas energéticos baseados nas energias renováveis. Esta alternativa é importante, pois, dentre outras vantagens, faz uso de práticas sustentáveis de aproveitamento de recursos naturais disponível localmente, além de contribuir para a redução de gases de efeito estufa e para um turismo ecologicamente correto.

Com a construção da Usina Hidrelétrica de Tucuruí, formou-se o maior lago artificial do Brasil. Devido à formação do lago, surgiram centenas de ilhas que aos poucos foram servindo para moradia e para exploração do turismo. Mesmo estando nas proximidades da maior usina hidrelétrica do país, as ilhas não possuem abastecimento de energia elétrica da rede de energia, devido ser economicamente proibitivo, pois os custos de distribuição seriam altos demais para abastecimento de um número pequeno de pessoas.

Neste contexto, o presente trabalho apresenta um estudo do potencial de geração fotovoltaica e diesel para implantação de um sistema híbrido de energia elétrica. O caso de estudo será um empreendimento turístico chamado Pousada Oca do Lago, situado em uma ilha nas proximidades da cidade de Tucuruí. Essa Pousada possui dez chalés equipados com televisão, iluminação, geladeira e condicionador de ar. Há também um restaurante para refeições dos hóspedes, trapiche com iluminação e a casa dos funcionários.

2. O SOFTWARE UTILIZADO

Para modelar e simular o sistema híbrido de geração de energia utiliza-se o *software* HOMER (Hybrid Optimization Model for Electric Renewable) versão 2.68 beta, que é disponibilizado na *internet* sem ônus por 180 dias (Software HOMER, 2009). Desenvolvido nos Estados Unidos da América o HOMER é capaz de modelar sistemas híbridos de energia elétrica sob variadas configurações. Pode-se simular sistemas elétricos com diversas formas de geração, tais como: gerador diesel; turbina eólica; módulo fotovoltaico, turbinas hidráulicas, etc. Pode-se também levar em consideração como será o armazenamento dessa energia, tendo a opção de baterias ou tanques de hidrogênio, bem como optar por sistemas conectados a rede elétrica ou eletricamente isolados.

Após o modelamento do sistema a ser estudado, o *software* pode realizar uma análise das configurações que tenham o melhor custo benefício. As análises dos investimentos gerados pelo HOMER são resultados de comparação das diversas alternativas e possibilidades que o sistema pode ter, como demanda de energia e disponibilidade de recursos energéticos. A opção mais econômica, tanto de investimento inicial como de custo do kWh produzido, é apontada pelo HOMER, bem com os custos de operação e manutenção que o sistema necessitará durante o funcionamento.

3. CONFIGURAÇÃO DO SISTEMA HÍBRIDOS DE ENERGIA

Em um sistema híbrido de energia é necessário no mínimo duas fontes de geração de energia elétrica. A escolha fica em função da disponibilidade dos recursos energéticos do local, tais como: vento, sol, combustíveis fósseis, etc.

Localizada a 3° 46' S e 49° 40' W a cidade de Tucuruí – Pará – Brasil possui uma irradiação solar privilegiada, mas a média de velocidade dos ventos não é atrativa. O melhor arranjo das fontes, no que tange a potência instalada, é feito pelo HOMER (Getting Started Guide for HOMER-Version 2.1, 2005), utilizando como base os dados de irradiação solar, custo da produção da energia e a configuração da demanda das cargas.

Conforme comentado anteriormente, para o modelamento do sistema híbrido precisa-se da curva de demanda dos equipamentos. A configuração das cargas é fundamental para que o HOMER realize as análises. As Fig.1 e 2 apresentam as curvas de demandas das duas cargas a serem supridas pelo sistema.

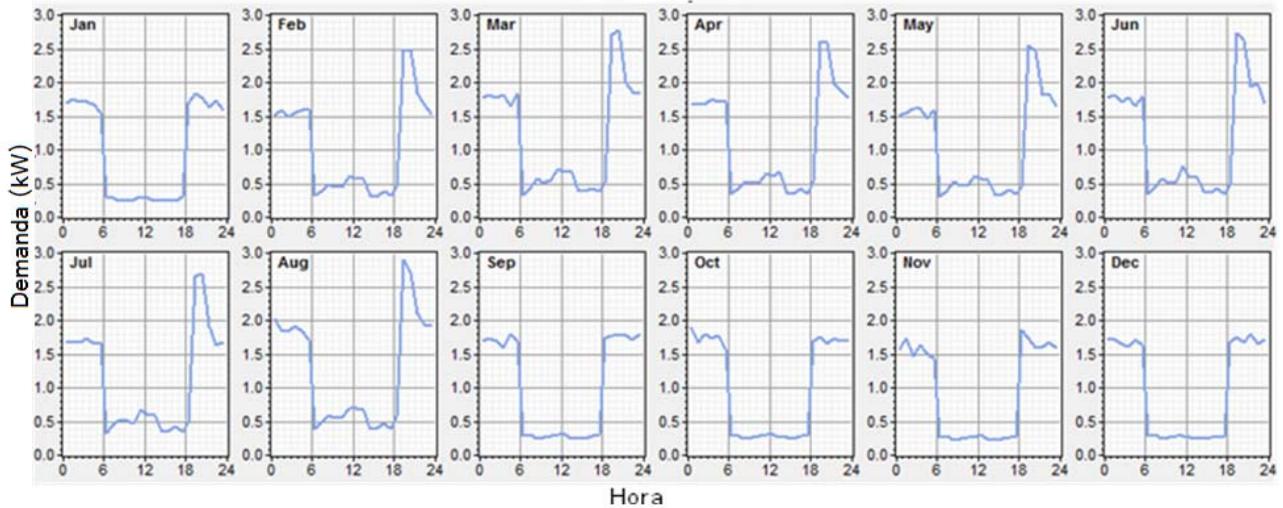


Figura 1 - Curva de demanda mensal para a área externa e restaurante.

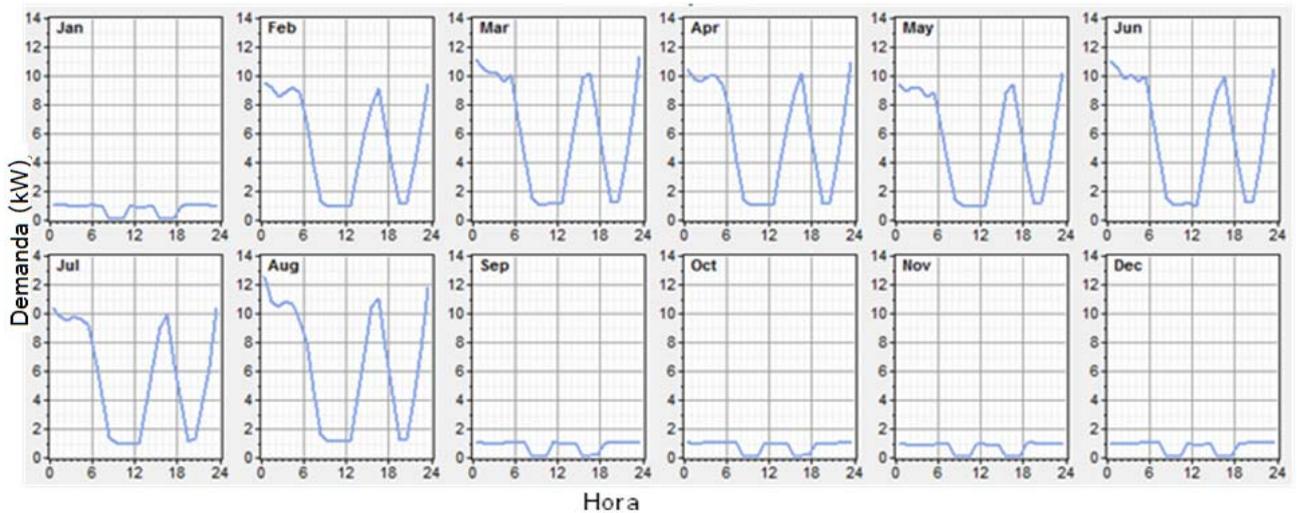


Figura 2 - Curva de demanda mensal para os chalés.

A Fig. 1 mostra a demanda mensal para as áreas externas, que é composta principalmente por bombas para abastecimento das caixas d'água e iluminação do local. Por isso, tem-se uma demanda maior durante a noite, momento em que a iluminação é necessária. O sistema de bombeamento d'água é acionada às 18:00 h, o que explica o pico de energia nesse horário.

Na Fig. 2, tem-se as cargas referentes aos chalés da Pousada. A curva de demanda mostra que durante a noite há uma grande necessidade de energia, pois é o momento em que são acionados os aparelhos condicionadores de ar. Equipamento este que representa 85% da carga instalada dos chalés. Durante as horas que sucedem o almoço também há um pico de potência requerida. Novamente devido à utilização destes equipamentos nos chalés.

Em ambas as curvas de demanda ocorrem a diminuição da potência nos meses de setembro, outubro, novembro, dezembro e janeiro. Nestes meses a Pousada é fechada, pois o nível do lago da represa da Hidrelétrica de Tucuruí é muito baixo, tornando impraticável a prática turística na ilha.

A Fig. 3 mostra a configuração básica dos equipamentos do sistema implementado no HOMER. Observam-se dois barramentos: o de corrente contínua, para recebimento da geração dos módulos fotovoltaicos e intercâmbio de energia com a bateria; o de corrente alternada, onde há o recebimento da geração do grupo gerador diesel e onde estão conectadas as cargas. O conversor é o equipamento que permite a troca de energia elétrica entre as barras.

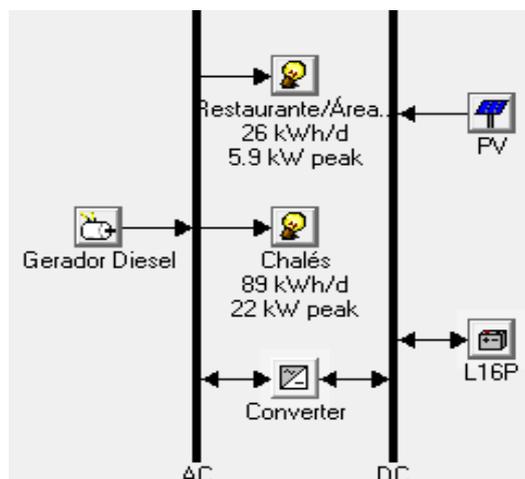


Figura 3 - Diagrama do sistema implementado no HOMER.

3. RECURSOS ENERGÉTICOS

Como citado anteriormente, a localização geográfica de Tucuruí permite uma incidência privilegiada de raios solares. Com os dados da latitude e longitude utiliza-se o *software* RADIASOL versão 2 para obtenção dos valores de radiação solar (Software RADIASOL, 2010). Este programa foi desenvolvido pela UFRGS (Universidade Federal do Rio Grande do Sul) para ser o “laboratório” de energia solar da instituição de ensino e é disponibilizado gratuitamente na internet. O programa possui uma base de dados com os valores mensais de radiação solar, bem como se podem fazer as mudanças no ângulo de inclinação dos módulos fotovoltaicos.

Os dados coletados no programa RADIASOL foram incluídos no HOMER (Fig. 4). O programa gerou um gráfico com as médias diárias de radiação e a média da claridade do céu, que são mostradas na Fig. 5. Esses valores são para incidências sem mudança de ângulo.

Month	Clearness Index	Daily Radiation (kWh/m ² /d)
January	0.404	4.222
February	0.370	3.926
March	0.450	4.740
April	0.458	4.580
May	0.551	5.120
June	0.622	5.520
July	0.660	5.962
August	0.610	5.890
September	0.497	5.108
October	0.469	4.934
November	0.458	4.780
December	0.453	4.676
Average:	0.496	4.963

Figura 4- Médias diárias de radiação.

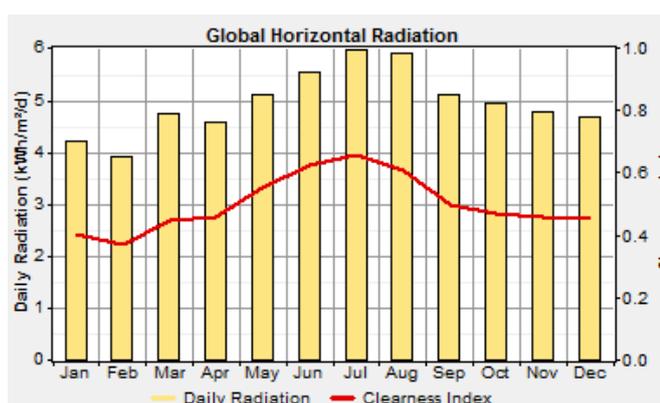


Figura 5- Gráfico com médias diárias de radiação e índice de claridade.

4. QUANTO AOS EQUIPAMENTOS UTILIZADOS

Para a simulação necessita-se selecionar os equipamentos, conforme visto na Fig. 3. Ao realizar a simulação definiram-se somente as quantidades que se quer que o HOMER avalie, sem a preocupação com o fabricante ou modelo. A exceção foi com a seleção das baterias. Neste caso, optou-se pela TROJAN L16P de 6 Volts com capacidade de 360 Ah.

Assim como as quantidades e modelos, os preços dos equipamentos devem ser incluídos também. Os valores da Tab. 1 são médias realizadas nos Estados Unidos da América e usados como base para o estudo (Pinho, 2008),

(Almeida e Freire, 2008), (Almeida *et al*, 2008) e (Pereira *et al*, 2005). Estes valores estão dispostos em US\$/W_p (Dólares por Watt Pico), exceto pelas baterias, que estão cotadas por unidade.

Tabela 1 - Preços médios de aquisição, reposição e manutenção dos equipamentos utilizados na simulação.

EQUIPAMENTO	CUSTO DE AQUISIÇÃO	CUSTO DE REPOSIÇÃO	CUSTO DE MANUTENÇÃO
Módulo Fotovoltaico	4,76 US\$/W _p	4,76 US\$/W _p	5 US\$/ano
Inversor/Retificador	0,71 US\$/W _p	0,71 US\$/W _p	50 US\$/ano
Gerador Diesel	1,3 US\$/W _p	1,2 US\$/W _p	0,050 US\$/h
Banco de Baterias	300 US\$/Unidade	300 US\$/Unidade	15 US\$/ano

5. RESULTADOS

A Fig. 6 mostra os resultados obtidos na simulação no HOMER. A melhor opção indicada pelo programa possui um custo de 1,552 US\$/kWh, com sistema fotovoltaico de 1k KW e uma geração diesel de 13 kW, o que garanti um atendimento de 100% da demanda requerida, já que o sistema é isolado. Esse preço é muito mais caro do que as tarifas cobradas pelas distribuidoras de energia elétrica. No entanto, esta ainda é uma opção viável para o local.

	PV (kW)	GD1 (kW)	L16P	Conv. (kW)	Initial Capital	Operating Cost (\$/yr)	Total NPC	COE (\$/kWh)	Ren. Frac.	Diesel (L)	GD1 (hrs)
	15.0	13	160	18	\$ 149,218	53,530	\$ 833,510	1.552	0.38	19,977	4,380

Figura 6 - Resultados obtidos na simulação com o HOMER.

A possibilidade de instalação de um sistema somente constituído por módulos fotovoltaicos foi descartada, pois necessitaria de um capital inicial muito maior. O sistema eólico não foi utilizado no estudo, pois a incidência de ventos na região não favorece a produção desse tipo de energia.

Na Fig. 7, observa-se a curva de operação do gerador diesel. Pode-se ver que o HOMER selecionou um sistema fotovoltaico que durante o dia não necessita da operação do sistema diesel. Um ponto positivo é que a demanda das 06:00 h às 18:00 h é menor que a noturna, por isso o gerador diesel só é ligado a partir das 18:00 horas. Mesmo o sistema de geração diesel permanecendo desligado durante todo o dia, ele ainda vale por 62% da geração de eletricidade, o restante é complementado com os módulos fotovoltaicos.

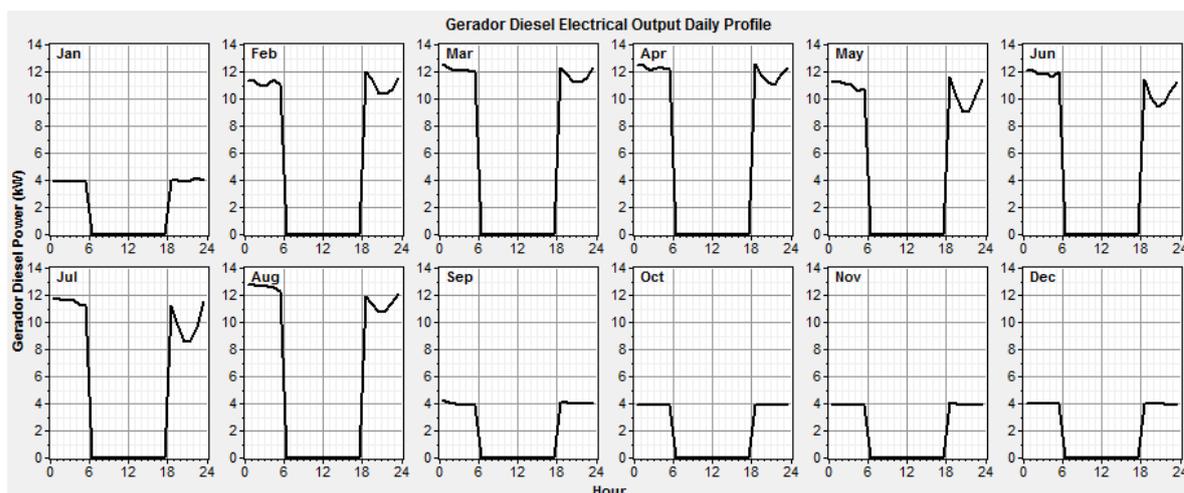


Figura 7 - Curva de operação do gerador diesel.

Como o sistema é isolado do SIN (Sistema Elétrico Nacional), não há realizar o intercâmbio do excedente de produção de energia. Então a alternativa é ter um banco de baterias maior para aproveitar o acúmulo de energia em momentos de posteriores. A Fig. 8 mostra os excedentes de energia elétrica produzidas pelo sistema. Pode-se ver que o pico de produção de energia excedente está entre 12:00 h e 13:00 h. Isso é plausível, pois é o horário de máxima incidência solar e mínima demanda elétrica das cargas.

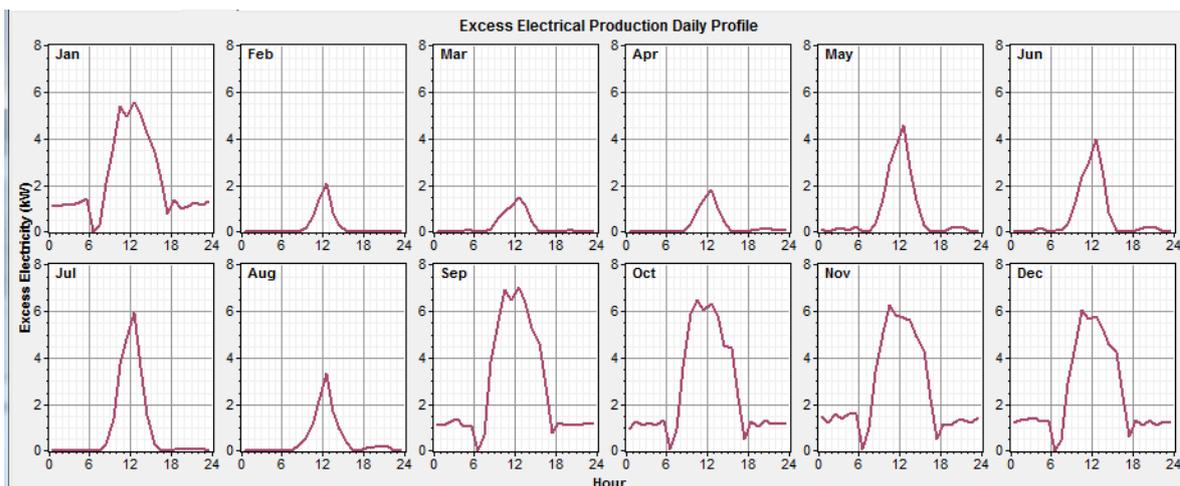


Figura 8 - Curvas de excedentes de energia elétrica produzida.

Foram incluídas no programa várias possibilidades de potências de equipamentos. Na Tab. 2 estão alguns dos valores que foram utilizados. Com os valores de potência de cada equipamento e com os preços para aquisição dos mesmos, preços estes citados na Tab.1, o HOMER fornece o capital inicial para investimento do sistema no valor de US\$ 149.218,00. Este valor apresentado está em dólares, pois foi nessa moeda em que foram fornecidos os preços dos equipamentos. No dia da análise (12/04/2010) a cotação do dólar em relação ao real era R\$ 1,759. Realizando a conversão tem-se R\$ 246.474,00 para compra dos equipamentos. O tempo previsto para o retorno dos investimentos é de 25 anos.

Tabela 2 - Valores de potências de equipamentos avaliados pelo HOMER.

CONVERSOR	GERADOR DIESEL	MÓDULOS FOTOVOLTAICOS	BATERIAS
17 kW	11 kW	10,4 kW	100 Unidade
18 kW	13 kW	11,7 kW	120 Unidade
20 kW	15 kW	13 kW	140 Unidade
21 kW	17 kW	15 kW	160 Unidade

Ademais, o valor da inclinação dos módulos também deve ser levado em consideração. Na Fig. 9, por exemplo, observa-se que para 10 graus de inclinação o custo do kWh diminui 0,001 centavos em relação à inclinação de 7 graus.

Diesel (\$/L)	PV Slope (deg)	PV (kW)	GD1 (kW)	L16P	Conv. (kW)	Initial Capital	Operating Cost (\$/yr)	Total NPC	COE (\$/kWh)	Ren. frac.	Diesel (L)	GD1 (hrs)
1.99	7.0	15.0	13	160	18	\$ 149,218	53,550	\$ 833,77	1.553	0.38	19,987	4,380
1.99	10.0	15.0	13	160	18	\$ 149,218	53,530	\$ 833,51	1.552	0.38	19,977	4,380

Figura 9 - Custo do kWh em função da inclinação dos módulos fotovoltaicos.

6. CONCLUSÃO

Sistemas híbridos de energias renováveis não conectados a rede, apesar de possuírem um valor de investimento inicial bastante elevado, apresentam grandes vantagens, como independência das distribuidoras e serem ambientalmente corretos. Principalmente em um local turístico, que tem sua atratividade focada na natureza e preservação do meio ambiente.

No estudo apresentado foram levantadas diversas configurações para a solução de abastecimento de energia elétrica no local. Embora todos demasiadamente com o custo da energia elevado quando comparados com a tarifa média praticada. O menor custo foi o de 1,552 US\$/kWh. Para se obter uma diminuição no preço por kWh gerado, seria necessária a aplicação de algum tipo de subsídio na aquisição dos módulos fotovoltaicos (maior investimento inicial), ou a aplicação do subsídio da CCC (Conta de Consumo de Combustível) na conta do óleo diesel, ou ainda, a aplicação de um subsídio no próprio kWh gerado por esses sistemas no atendimento isolados.

O sistema aqui estudado serve como referência para todo e qualquer desenvolvimento regional futuro, associado à geração de energia elétrica, principalmente em relação à Universalização do Serviço de Eletricidade, uma vez que tais sistemas apresentam-se como uma alternativa viável e promissora para o atendimento isolado das inúmeras comunidades espalhadas pela Região.

Agradecimentos

Agradeço primeiramente aos nossos pais por tudo que fizeram e fazem por nós. Ao Professor Claudomiro Barbosa pela sua participação, orientação e ensinamentos. Aos demais professores da Universidade Federal do Pará pelos seus ensinamentos que nos forneceram até aqui.

Devem-se ainda agradecimentos aos proprietários da Pousada Oca do Lago, por nos ceder inúmeros dados sobre os equipamentos, além de permitir e custear visitas as instalações do empreendimento.

REFERÊNCIAS

- Almeida, S. C. A., Freire, R. L., 2008, Geração de energia elétrica através de um sistema híbrido diesel-eólico para um hospital, VII AGRENER GD – Congresso Internacional sobre Geração Distribuída e Energia no Meio Rural.
- Almeida, S. C. A., Santos, R. Z. A. S., Argolo, F. H. B., Danziger, F. A. R., Sollero, L. P. V., Castro, M. P. S., 2008, Dimensionamento de um sistema híbrido eólico-fotovoltaico na UFRJ Ilha do Fundão, VII AGRENER GD – Congresso Internacional sobre Geração Distribuída e Energia no Meio Rural.
- Getting Started Guide for HOMER Version 2.1, April 2005, National Renewable Energy Laboratory
- Pereira, E. J. S., Pinho, J. T., Vale, S. B., 2005, Estudo da integração de um sistema híbrido eólico-fotovoltaico a uma edificação urbana interligada à rede.
- Pinho, J. T., 2008, Sistemas Híbridos, Brasília: Ministério de Minas e Energias, 1º edição.
- Software HOMER, disponível em www.homerenergy.com/download.asp, acesso em 12/12/2009.
- Software RADIASOL, disponível em www.solar.ufrgs.br/#softwares, acesso em 10/01/2010.

PHOTOVOLTAIC-DIESEL RENEWABLE SYSTEM TO ELECTRICITY SUPPLY IN ISOLATED TOURISM LOCAL

Abstract. *This paper presents a study of economic feasibility for installation of photovoltaic-diesel hybrid system in a not connect grid system. We used a software called HOMER[®] (Hybrid Optimization Model for Electric Renewable) to make the necessary simulations. The location used in simulation is a tourism island called 'Oca do Lago' Inn, nearby Tucuruí city, in Pará state. It was considered several configurations hybrid power system. The results shows that photovoltaic-diesel hybrid type is the best feasible for this place. The system have a configuration with 15 kW of photovoltaic generation, 13 kW of diesel generation, 160 batteries and a converter of 18 kW. With this configuration the produce energy cost is 1,552 US\$/kWh and initial capital of US\$ 149.218,00. The payback time of this system is 25 years.*

Key words: Solar Energy, Renewable Energy, Hybrid Power System, Diesel Generator.