

# ANÁLISE DA VIABILIDADE DE GERAÇÃO DE ENERGIA A PARTIR DE UM SISTEMA HÍBRIDO EM UMA COMUNIDADE RURAL EM PETRÓPOLIS – ESTUDO DE CASO UTILIZANDO O SOFTWARE HOMER

**Jean Carlos R. Eler**

Universidade Católica de Petrópolis, Faculdade de Engenharia Elétrica  
[jean@hotmail.com](mailto:jean@hotmail.com)

**Viviane Abdu de Lourenço Maciel**

Universidade Católica de Petrópolis, Faculdade de Engenharia Elétrica  
[vivi\\_abdu@hotmail.com](mailto:vivi_abdu@hotmail.com)

**M. Sc. Erick da Silva Delvizio**

Universidade Católica de Petrópolis, Faculdade de Engenharia Elétrica  
[edelvizio@gmail.com](mailto:edelvizio@gmail.com)

**D. Sc. José Aguiar Coelho Neto**

Instituto Nacional de Propriedade Industrial - RJ  
[jacnet@superig.com.br](mailto:jacnet@superig.com.br)

## RESUMO

O presente trabalho está relacionado a uma proposta de aplicação dos conceitos da geração distribuída (com fontes de geração alternativas e renováveis) para analisar o problema de uma comunidade rural na cidade de Petrópolis que, devido à localização afastada do centro e por estar inserida numa área de preservação ambiental, não possui abastecimento da rede elétrica. As diferentes possibilidades de fornecimento de energia foram analisadas com a ajuda do programa Hybrid Optimization Model for Electric Renewables (HOMER). O HOMER permite avaliar a performance de diversas configurações de sistemas híbridos de geração e comparar os custos de instalação, operação e manutenção de sistemas isolados com o da à extensão de rede.

**Palavras-chave:** Geração distribuída, Fontes alternativas e renováveis, Comunidade rural, Rede elétrica.

## 1 INTRODUÇÃO

A questão energética tem um significado bastante relevante no contexto ambiental e da busca do desenvolvimento sustentável. Na verdade ela tem influenciado muito as mudanças de paradigma que estão ocorrendo na humanidade. Nas duas últimas décadas, por exemplo, ocorreu uma crescente movimentação de âmbito internacional no sentido de se iniciar a transição do atual sistema energético fóssil-nuclear para um sistema energético baseado em energias renováveis subordinado às práticas sustentáveis de aproveitamento de recursos naturais e medidas mitigadoras das mudanças climáticas globais (LORA, 2006).

O atual desenvolvimento e maturidade das tecnologias de geração de energia elétrica a partir de fontes renováveis e alternativas vêm tomando seu uso cada vez mais abrangente e interessante economicamente. Tais formas de geração podem atuar no sentido de aumentar a confiabilidade e a qualidade do suprimento, atender à demanda de ponta, funcionar como reserva operativa, compor esquemas de cogeração, ou atender áreas remotas com baixa densidade de carga (GENIN, 2008).

Ainda hoje, uma considerável parcela da população brasileira não é atendida pela rede de distribuição de energia elétrica. Esta população corresponde a proprietários rurais de baixa renda ou localidades isoladas onde a extensão da rede elétrica convencional se configura tecnicamente inviável ou demasiadamente onerosa. As características dessas localidades requerem que o atendimento energético continue descentralizado com gerações instaladas próximas às cargas e a busca de fontes alternativas ao petróleo, de forma a reduzir a dependência dessas comunidades e reduzir os custos de transporte de combustível (ELY, 2008).

Dentre as soluções para o atendimento de localidades isoladas pode ser o uso de geração eólica, fotovoltaica ou de sistemas híbridos, que diminuam o custo dos sistemas de geração tradicionais. Um sistema híbrido de geração de energia reúne, pelo menos, duas fontes de geração diferentes. A utilização e a escolha das mesmas dependem fundamentalmente da disponibilidade de energia primária: sol, vento, biomassa, hidrogênio, combustíveis fósseis, etc.

Sendo assim, a proposta deste trabalho está diretamente relacionada à aplicação dos conceitos da geração distribuída (com fontes de geração alternativas e renováveis de energia elétrica) para analisar o problema de uma comunidade rural na cidade de Petrópolis que, devido à localização afastada do centro não possui abastecimento da rede elétrica.

A comunidade de agricultores do Jacob, que foi criada em uma área de preservação ambiental, não recebe energia elétrica e todas as tarefas são cumpridas manualmente, de forma artesanal. A falta de eletricidade dificulta o controle das áreas cultivadas e impede a conservação de alimentos.

A comunidade de agricultores do Jacob fica a 15 quilômetros de Itaipava, Petrópolis - RJ. As primeiras famílias chegaram ao Vale do Jacob na década de 40. Mais de 60 anos depois, o trabalho no campo ainda é totalmente artesanal. Sem energia elétrica, a comunidade fica à margem do desenvolvimento da agricultura. Tudo ainda depende da aplicação direta da mão do homem, sem acesso aos equipamentos modernos. Sem bombas elétricas, o sistema de irrigação é todo por gravidade, aproveitando a queda natural da água. Mas, durante a época de estiagem, a vazão diminui, complicando o trabalho.

*“Em nossa comunidade não temos energia para irrigar nossas lavouras, para isso dependemos da irrigação que é feita toda por efeito da gravidade utilizando nascentes, porém em épocas de estiagem a quantidade de nascentes diminui e temos que reduzir nossa produção. Também não temos iluminação por lâmpadas, o que é feito por lampião. Alguns moradores possuem geladeira a gás, porém é um custo muito alto, já que é preciso pelo menos dois botijões por mês para mantê-la. A comunidade tinha um projeto de cultivar cogumelos em estufa, porém sem energia não temos como manter a temperatura e umidade correta e não podemos continuar.”*

*Entrevista dada pelo Sr. Armando, presidente da Associação da Comunidade do Jacob, ao autor em 20/05/2009.*

No estudo de caso, apresentado a seguir, é demonstrado a potencialidade de tais fontes geradoras, não somente para a solução de um problema local na cidade de Petrópolis, mas também em outras regiões do país. Como ferramenta para esta análise técnica e econômica é utilizado um programa computacional específico, chamado HOMER<sup>1</sup> (*Hybrid Optimization Model for Electric Renewables*) que faz a modelagem de um sistema híbrido utilizando fontes tradicionais com fontes renováveis e alternativas de geração de energia elétrica.

---

<sup>1</sup> HOMER - *The Optimization Model for Distributed Power*; <http://www.nrel.gov/homer/>, capturado em 06 de novembro de 2008. O mesmo é um programa computacional disponibilizado pelo NREL (*National Renewable Energy Laboratory*) que permite o desenvolvimento de projetos para sistemas de geração de energia interligados ou não a rede elétrica, podendo associar diversas opções de geração de energia, tais como: solar-fotovoltaica, eólica, diesel, biogás, combustíveis alternativos, rede convencional e células a combustível.

## 2 ENTRADAS DE DADOS NO HOMER

Foram introduzidos os dados necessários para a simulação do estudo de caso, em três etapas:

1º - Inserção dos dados da carga, do gerador diesel e trocadores de calor, geradores solar e eólica, baterias e inversores.

Carga – o primeiro parâmetro são as cargas, calcular as cargas para toda a comunidade, incluindo alguns equipamentos necessários para a agricultura, que foram levantados como essenciais para a comunidade escolhida. A partir de uma análise estatística, baseada nos dados da última Pesquisa Nacional de Amostra de Domicílios PNAD (2003)<sup>2</sup> e a adição de mais alguns equipamentos utilizados na agricultura que foram solicitados, foi formada uma tabela com a carga total para a comunidade (ver Tabela 1).

Tabela 1 – Características das cargas.

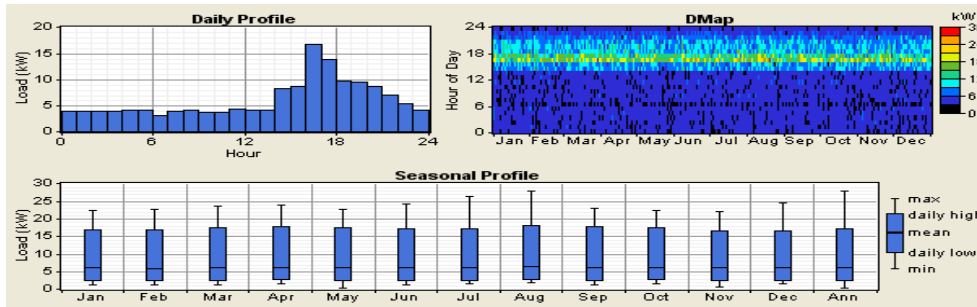
Eletrodomésticos (uso residencial)	Potência Média (W)	Quantidade Domicílios	Dias Estimados (Uso/Mês)	Média Utilização/Dia (horas)	Consumo Mensal Médio (kWh)
Lâmpada Incandescente	60	42	30	5	378
Geladeira	90	42	30	24	2721,6
TV	70	42	30	4	352,8
Aparelho de Som	20	42	30	3	75,6
Liquidificador	300	42	15	0,25	47,25
Ferro Elétrico	1000	42	8	0,5	168
Outros Equipamentos Utilizados		Quantidade Utilizada			
Bomba d'água	1080	6	20	4	518,40
Estufa Elétrica	1200	2	30	24	1728
				TOTAL:	5.989,65

A carga é calculada para uma residência e foi multiplicada por 42 (número total de residências). O HOMER faz uma variação randômica para os outros meses (a dimensão desta variação pode ser alterada, porém, foi optado em deixar nas escalas sugeridas pelo programa).

Com a tabela acima criada, é possível levantar também a representação horária da Curva de Carga total para toda a comunidade em questão, conforme é mostrado na Figura 1. Deve-se ressaltar que nesta curva não foi incluído a carga com chuveiros elétricos, que como será demonstrado posteriormente, serão substituídos por um sistema de co-geração que possibilitará o aquecimento da água. Foi considerada a quantidade de cinco lâmpadas por residência. Para entrada dos dados no programa, as cargas foram distribuídas pelas horas do dia.

Figura 1 – Curva de carga total.

<sup>2</sup> IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Pesquisa Nacional de Amostra de Domicílios PNAD 2003. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br>. Acesso em: 04 abr. 2009.



A partir da curva de carga acima o programa simula diferentes curvas de carga ao longo da semana e dos meses do ano, respeitando os fatores de ajustes diário e horário de 10 e 15 %, respectivamente. Isso permite que o dimensionamento do sistema seja feito de forma mais real, já que o comportamento do consumo de energia elétrica difere ao longo dos dias da semana e dos meses do ano.

Gerador Diesel - foi utilizado para efeito de modelagem um grupo gerador diesel com partida automática de 40 kVA (32 kW), este gerador foi escolhido por sua potência, pois a carga possui picos de até 28 kW e, comercialmente, apenas grupos geradores de 32 kW ou maiores possuem partida automática.

Deve ser considerado que a geração feita por outras fontes de energia elétrica como a solar e a eólica não são constantes, variando conforme o dia e a cada hora, desta forma pode acontecer que em momentos de maior consumo (pico) as baterias estejam descarregadas e se o grupo gerador tiver uma potencia menor que o valor de pico, poderia causar um desabastecimento. Embora sua capacidade esteja estimada em aproximadamente 12,5 % maior que o pico da demanda, isto pode ser bom para situações futuras de aumento da demanda de carga.

Com uma vida útil estimada de 15.000 horas em modo otimizado (*stand by*), de modo que quando a carga do banco de baterias ficar reduzida a 10% do seu valor nominal, o circuito de controle do grupo gerador USCA (Unidade de Supervisão e Controle Automática) retira a alimentação do conversor e dá partida no mesmo, que atenderá não só as cargas CA como também passará a equalizar o banco de baterias, até que esteja completamente carregado, passando novamente para o modo de *stand by* (Figura 2). Para os dados de investimento inicial foi considerado do preço do grupo gerador a diesel (US\$ 36.590,00) com o custo da mão de obra para instalação e de um trocador de calor (US\$ 11.000,00), para aquecimento da água.

Trocador de calor - de acordo com Succar (2008) os gases de escape que podem chegar a uma temperatura de 508° C, a uma vazão de 80 m<sup>3</sup>/min, têm uma energia térmica que pode ser aproveitada num trocador de calor, como mostrado na Figura 3.

A previsão do regime de funcionamento do gerador diesel, ver Figura 4, mostra que sua operação mais freqüente ocorrerá em torno das 17h00min, justamente durante o período de pico.

Figura 2 – Regime de funcionamento do gerador diesel.

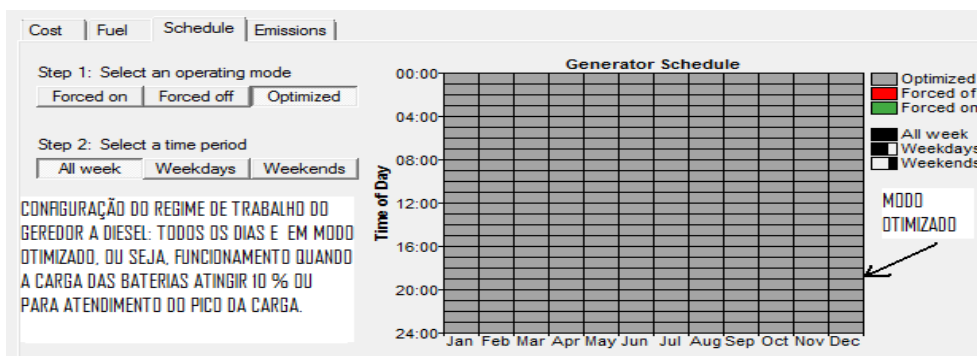
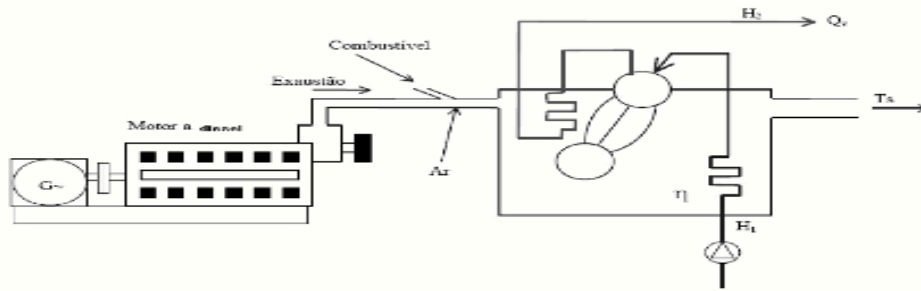


Figura 3 – Aproveitamento da carga térmica rejeitada no gerador.

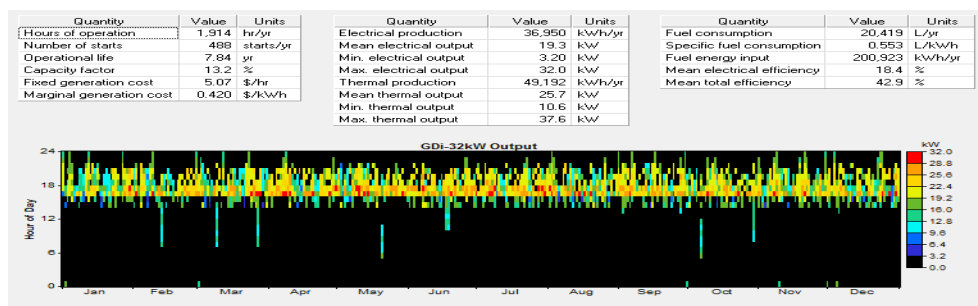


Fonte: Succar (2008)

## 2.1 Considerações sobre a possibilidade de complementação/substituição do consumo de diesel por biodiesel.

Em se tratando de uma comunidade agrícola, pode ser considerada a possibilidade de substituição do principal insumo, o diesel, por biodiesel de produção a princípio artesanal pela própria comunidade. Conforme informações obtidas na página [www.biodieselbr.com](http://www.biodieselbr.com), um possível candidato seria a mamona, com teor de óleo entre 40 e 45%, produção durante 3 meses por ano e rendimento final de 0,5 toneladas de óleo por hectare plantado (algumas fontes chegam a citar 3 toneladas por hectare). O consumo estimado de 12.000 litros de diesel por ano equivaleria a cerca de 10 toneladas por ano. Com o rendimento citado, determinou-se uma área plantada de 20 ha, correspondente a cerca de 0,48 ha por família, bem inferior aos 2 ha por família normalmente considerados em produção em agricultura familiar de pequena escala. O processo de produção do biodiesel de forma artesanal é relativamente simples e já existem inúmeras fontes na literatura fornecendo os detalhes de implementação para um projeto desta natureza. O custo do biodiesel produzido a partir da mamona, segundo PARK (2009) é de aproximadamente R\$ 0,97 por litro, ou seja, cerca de US\$ 0,47 por litro, bem inferior ao custo do diesel considerado no projeto, o que aumenta muito a viabilidade econômica do projeto. A possibilidade de associação da lavoura de mamona com outras culturas, como por exemplo, o feijão, associada ainda a um aumento da área plantada para produção em excesso e comercialização excedente do biodiesel e dos subprodutos (glicerina) pode tornar-se uma importante alternativa econômica para a comunidade e reduzir o impacto ambiental do projeto pela substituição de um insumo de origem fóssil por um insumo renovável com grande potencial de sustentabilidade. A mamona foi apresentada apenas como um exemplo, outras oleaginosas podem ser consideradas com possibilidade de resultados ainda melhores que os apresentados na proposição acima.

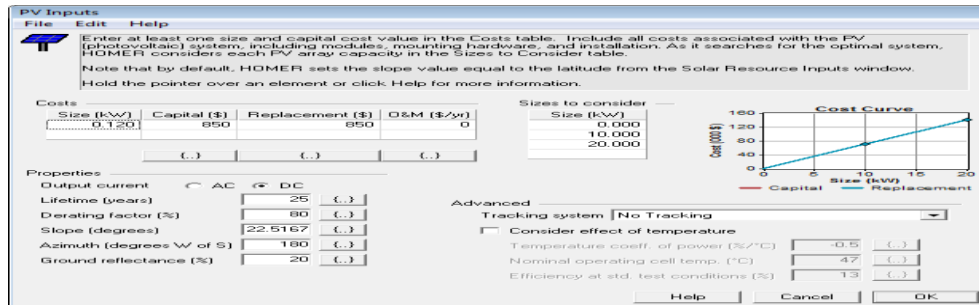
Figura 4 – Regime de funcionamento do grupo gerador diesel.



Painéis fotovoltaicos (Pvs) - foram considerados 153 painéis fotovoltaicos de 120 W<sub>p</sub>, 12 V<sub>p</sub> (Figura 5) e que se distribuiriam por 42 residências (instalados nos telhados ou lages em grupos de 4 – há predominância do uso de telhados de “duas águas”, assim poderiam ser instalados 2 de cada lado, não sobrecarregando a estrutura, já que o peso de cada um é de apenas 12 kg e por fim, suportes estruturais para acomodação dos PVs também podem ser feitos, utilizando uma área relativamente pequena). A instalação em série de 4 painéis deve ser observada para a formação de um barramento CC de 48 V<sub>p</sub>.

O valor considerado foi de R\$ 1.769,70, ou seja, US\$ 850,00 por unidade. Com vida-útil estimada em 20 anos, ao final seria feita a compra de equipamentos novos, com a total depreciação. Foi considerado custo zero de O&M<sup>3</sup> por ano, pois devido à localidade estar em uma zona rural de pouca poluição atmosférica o custo de manutenção é praticamente nulo.

Figura 5 – Configuração para os PVs.



O HOMER possibilita a introdução dos dados de latitude e longitude para a cidade de Petrópolis<sup>4</sup> e automaticamente o programa faz o *download* via o site da NASA<sup>5</sup>, da incidência de luz e radiação para os meses do ano (Figura 6). O programa também gera os outros dados como tempo de vida, azimute, etc.

A Figura 7 mostra o regime de funcionamentos dos painéis fotovoltaicos, atingindo valores de até 20 kW.

Figura 6 – Radiação solar diária para cada mês.

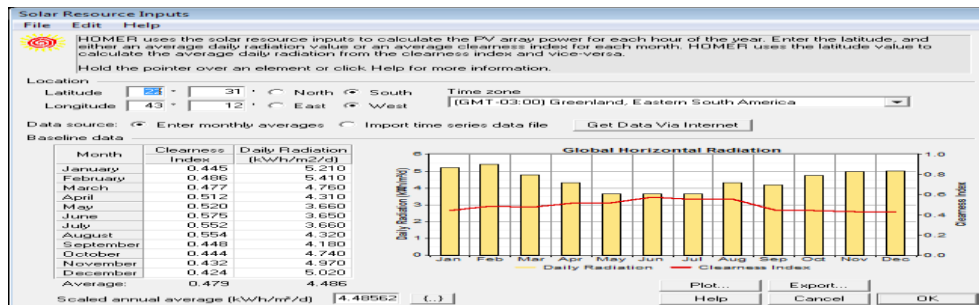
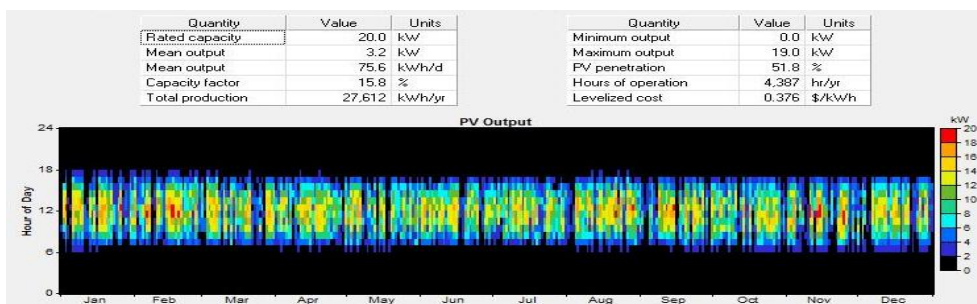


Figura 7 – Regime de funcionamento dos PVs.

3 O&M - Operação e Manutenção

4 Site recomendado pelo programa: [www.multimap.com](http://www.multimap.com) (22° 31` S - 43° 12` W).

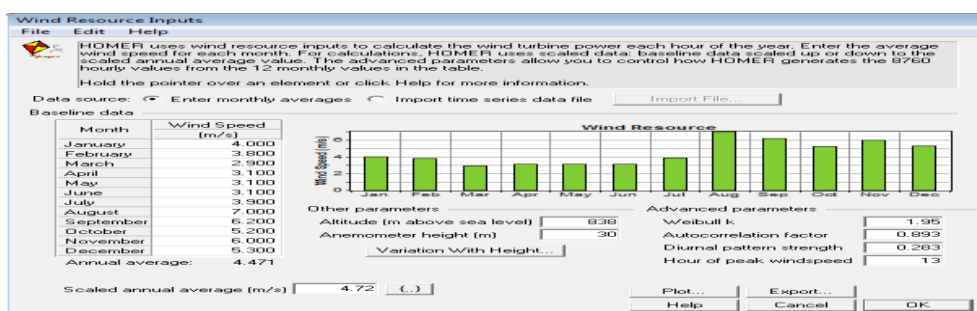
5 NASA – Índice de Radiação Solar Anual. Disponível para acesso via programa HOMER em: <http://www.eosweb.larc.nasa.gov/sse/>. Primeiro acesso em: 20 nov. 2008.



Geradores eólicos - também foram considerados para efeito de teste, dois geradores eólicos Enersud modelo Gerar246 de 1 kW CC.

A partir de dados atmosféricos obtidos através da estação meteorológica do LNCC<sup>6</sup> no bairro Quitandinha em Petrópolis, pôde-se entrar com o histórico da média de velocidade dos ventos, conforme Figura 8.

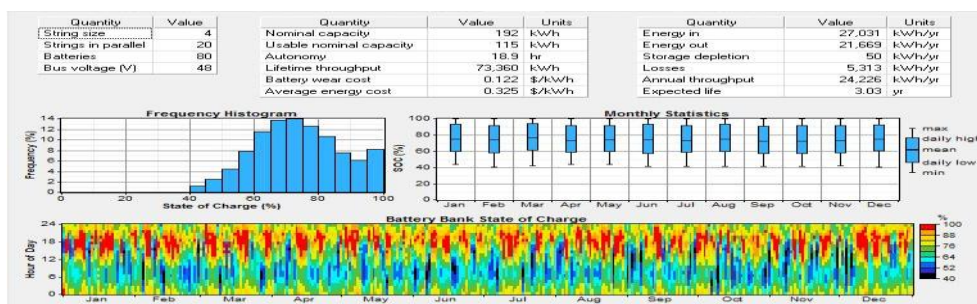
Figura 8 – Média da velocidade dos ventos em Petrópolis.



Conversores e banco de baterias - o armazenamento da energia gerada pelo sistema híbrido é feito através de um banco de baterias. A conexão do banco de baterias e do sistema de geração em corrente contínua, com as demandas em corrente alternada, é feita através de um inversor TRACE de 5 kW. No custo destes inversores também foi adicionado um retificador de 4 kW para que através do mesmo o grupo gerador diesel possa equalizar as baterias, quando a unidade USCA constatar que as mesmas estão a 10% de carga.

O modelo de bateria que se apresentou tecnicamente mais adequada e de melhor custo/benefício foi Vision 6FM200D de 12 V, 200 Ah (2.4 kWh), com vida útil estimada em 10 anos, no valor de US\$ 150,00 por unidade. O inversor TRACE de 12 VCC/120 VCA, 5 kW no valor de US\$ 4.000,00 e vida útil de 15 anos. O regime de funcionamento do banco de baterias esta demonstrado pela Figura 9.

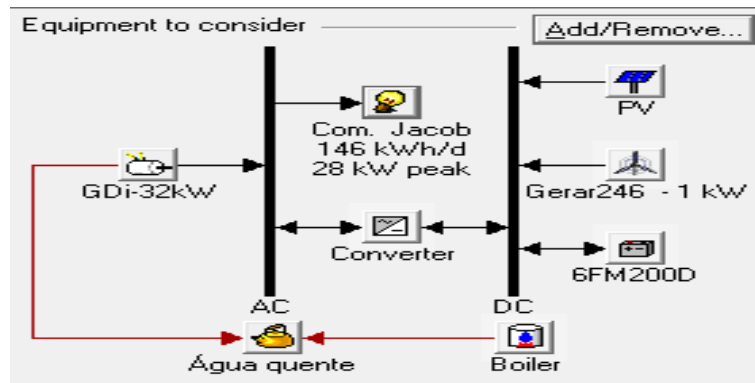
Figura 9 – Regime de funcionamento do banco de baterias.



Desta forma configurada a tela inicial com o sistema híbrido fica representada pela Figura 10.

<sup>6</sup> LNCC - Centro de Modelagem do Sistema Atmosférica - Terra - Oceano. Disponível em: <<http://www.lncc.br/cato/www/index.php?area=06>>. Acesso em 05 jan. 2009.

Figura 10 – Configuração do sistema híbrido.



2º - Inserção dos dados econômicos: para o cálculo da taxa anual de interesse utiliza-se a seguinte fórmula:

$$i = \frac{i' - f}{1 + f} \quad (1)$$

Onde,

$i$ : taxa anual de interesse ou de desconto;

$i'$ : taxa nominal de juros (Taxa Selic, data base abril/09, Brasil), 11,16% a.a;

$f$ : taxa anual de inflação prevista para 2009, 5,53% a.a; dados divulgados pelo Banco Central do Brasil<sup>7</sup>.

Logo  $i = 5,33$  % a.a. Essa será a taxa utilizada para se calcular o *NPC* (*Net Present Cost*) dos projetos (considerou-se também uma taxa de 12 % a.a. para efeito de teste). O projeto terá uma duração de 25 anos (Figura 11), porém, também foi modelado para tempos de projetos igual a 2, 5, 10, 15 e 20 anos. Foi adotado como referência, segundo a ANP, o dólar de US\$ 2.082 (15/05/2009)<sup>8</sup> e o preço do combustível diesel de R\$ 2,085 (aproximadamente US\$ 1,00) para compra em Petrópolis.

Figura 11 – Dados Econômicos do Projeto.

3º - Cálculos e relatórios: após serem inseridos todos os dados é calculada e demonstrada à melhor configuração (para uma taxa de desconto de 5,33 % a.a. e diesel no valor de US\$ 1,00), como pode ser vista na Tabela 2.

Tabela 2 – Resultados iniciais.

<sup>7</sup> B. C. – Taxa Selic e Meta de Inflação 2009. Disponível em: <<http://www.bcb.gov.br/>>. Acesso em: 15 maio 2009.

<sup>8</sup> B. C. – Valor do Dólar. Disponível em: <<http://www.bcb.gov.br/>>. Acesso em: 15 abr. 2009.



Sensitivity variables												
Interest Rate (%) 5.33												
Double click on a system below for simulation results.												
Categorized Overall Export... Details...												
	PV (kW)	G246	GerDi (kW)	6FM200D	Conv. (kW)	Disp. Strgy	Efficiency Measures	Initial Capital	Operating Cost (\$/yr)	Total NPC	COE (\$/kWh)	Ren. Frac.
	20		32	80	10	CC	No	\$ 198,257	28,867	\$ 591,979	0.743	0.22
	20	1	32	100	10	CC	No	\$ 213,257	28,787	\$ 605,897	0.762	0.23
			32	100	20	CC	No	\$ 67,590	46,393	\$ 700,364	0.892	0.00
		1	32	100	20	CC	No	\$ 79,590	46,562	\$ 714,670	0.911	0.01
	20		32		10	CC	No	\$ 186,257	54,474	\$ 929,248	1.207	0.16
			32			CC	No	\$ 36,590	66,225	\$ 939,862	1.221	0.00
	20	1	32		10	CC	No	\$ 198,257	54,784	\$ 945,478	1.229	0.17
		1	32		10	CC	No	\$ 56,590	66,700	\$ 966,339	1.258	0.01

## 2.2 Resultados das simulações.

Pode-se, verificar que na configuração da Tabela 2, obtêm-se um COE<sup>9</sup> de US\$ 0, 743 para o uso dos painéis fotovoltaicos, gerador a diesel, banco de baterias e conversor. Então a utilização dos painéis fotovoltaicos pode ser considerada completamente justificada, com um custo de operação conjunta com o grupo motor-gerador diesel.

Nesta configuração, o HOMER calcula a porcentagem de energia fornecida para o sistema, o que resulta em 43 % a partir dos PVs e 57 % para o grupo gerador diesel, como pode ser visto na Figura 12. Na mesma figura verifica-se que o sistema é extremamente confiável, pois a *capacity shortage*<sup>10</sup> de atendimento é 0 %. Nas figuras 13 e 14, estão demonstradas as curvas de geração em relação à curva de carga estimada.

Figura 12 – Participação dos PVs na geração.

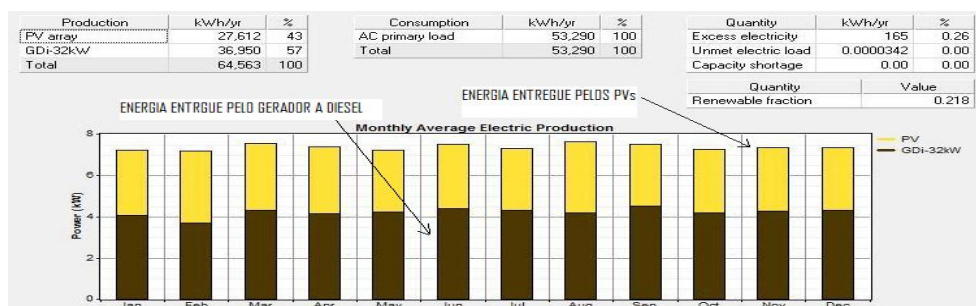


Figura 13 – Comportamento do grupo gerador diesel em relação à carga.

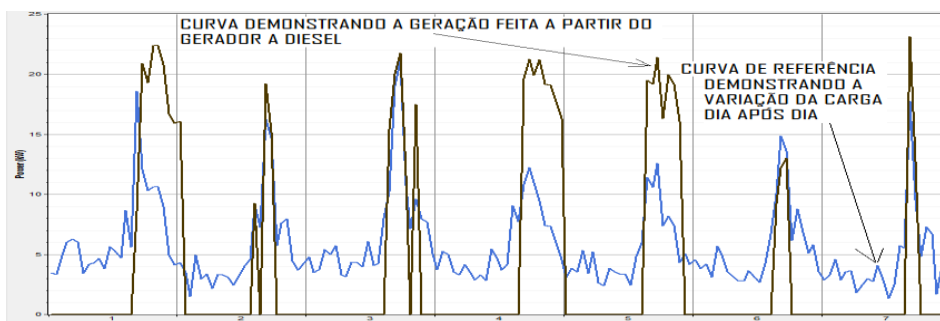
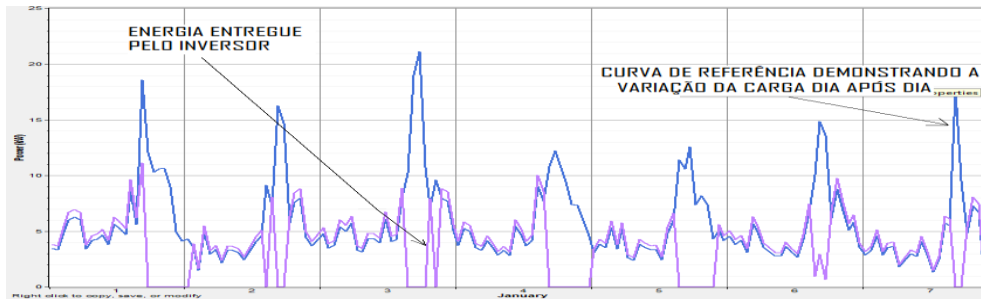


Figura 14 – Comportamento da saída do inversor em relação à carga.

<sup>9</sup> COE – Refere-se ao custo do kWh.

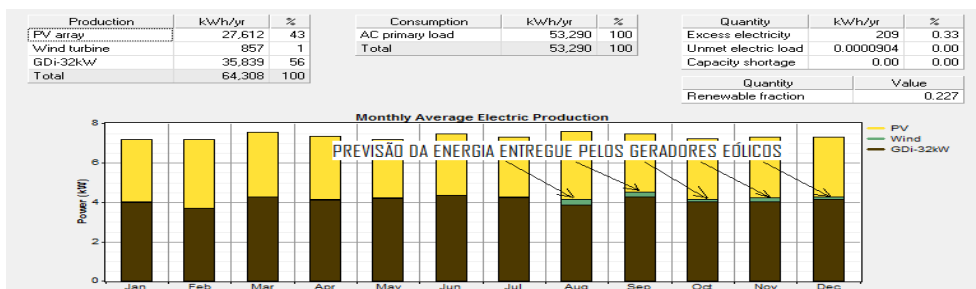
<sup>10</sup> *Capacity shortage* é a probabilidade de falta de atendimento no sistema híbrido.



Nas Figuras 13 e 14, a curva de referência representa a variação das cargas dia após dia, a Figura 13 mostra também a curva que representa a geração de energia feita pelo grupo gerador diesel e verifica-se, da forma em que o sistema esta configurado, que o mesmo está atendendo os picos da carga, estando desligado em outros momentos. A Figura 14 mostra a curva que representa a energia entregue pelo inversor em relação a curva de referência (a partir dos PVs e baterias), verifica-se que a mesma atende basicamente a demanda de base.

Na Tabela 2, a segunda opção (de cima para baixo), com a utilização dos geradores eólicos, não demonstrou grande viabilidade, como pode ser vista na Figura 15. A energia fornecida para o sistema a partir dos geradores eólicos é de apenas 1 %, não justificando seu uso neste caso. Porém, este resultado já era esperado, pois o rendimento dos mesmos dependem diretamente da média da velocidade dos ventos, que em Petrópolis é de apenas 4,7 m/s, deste modo o gerador eólico que atinge seu máximo de geração (1 kW) com o vento de velocidade de 14 m/s, não é capaz de influenciar muito o sistema. Outros modelos de geradores eólicos foram modelados com resultados aproximados. Porém, seu uso em locais onde a velocidade média do vento é maior, como no caso do nordeste brasileiro pode ser de interessante valia para igual atendimento a comunidades isoladas.

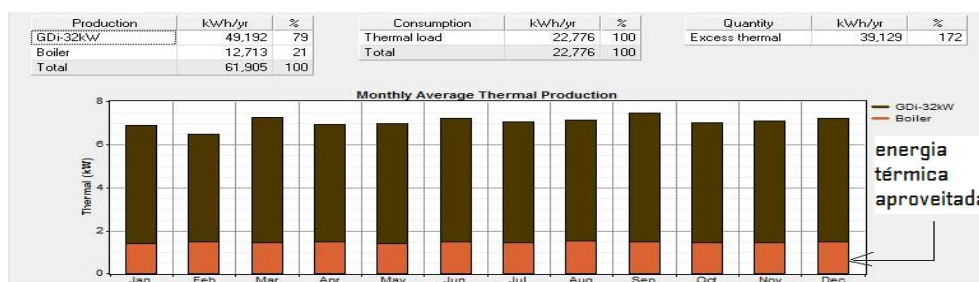
Figura 15 – Segunda opção: inclusão de geradores eólicos.



O HOMER demonstra também a participação do sistema de co-geração (aquecimento da água), conforme a Figura 16.

A carga térmica tem a finalidade de aumentar o aproveitamento da energia gerada pelo grupo gerador, o que contribui também para a redução do COE.

Figura 16 – Produção de Energia Térmica.



### 2.3 Conclusões iniciais.

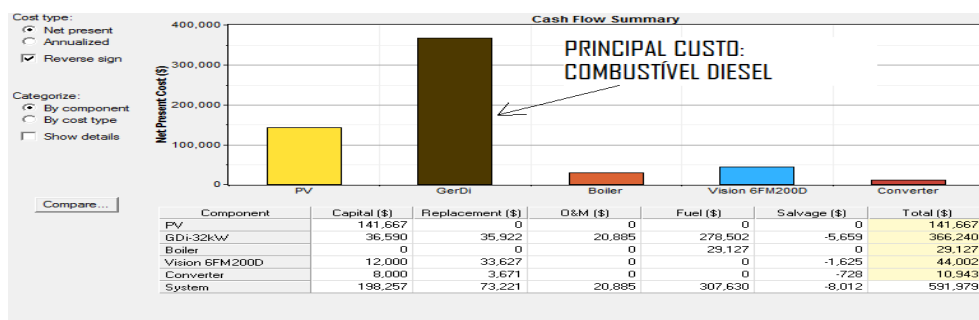
O Relatório do HOMER de fluxo de caixa fica representado na Figura 17. Percebe-se uma entrada de caixa positiva ao final da vida útil do projeto. Na verdade, o termo *salvage* seria um valor agregado que o sistema ainda teria. Por exemplo, o conversor ainda teria alguns anos de uso (considerando a vida útil do projeto de 25 anos), pois ele foi trocado no ano 15 (vida útil do conversor é de 15 anos). Isso significa que levando em conta que a depreciação é constante no tempo, elas teriam um preço de venda proporcional ao tempo de vida restante. Não será considerado esse valor, pois não faz parte do escopo deste trabalho trabalhar com equipamentos como se eles fossem um material para re-venda.

Figura 17 – Fluxo de caixa.



A Figura 18 demonstra o total do custo para cada componente, destacando-se o custo com combustível para o grupo gerador diesel.

Figura 18 - Custo por componente.

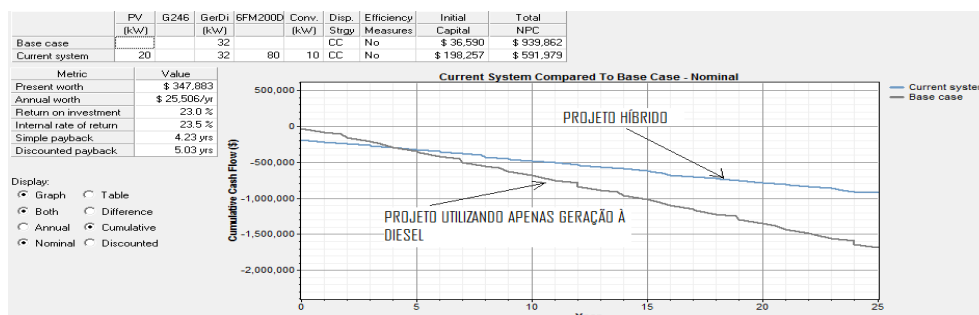


De acordo com os estudos e resultados da seção anterior, conclui-se então, que o custo total trazido a valor presente para um tempo de projeto de 25 anos é de US\$ 591.979,00 (gastos totais em 25 anos), sendo o investimento inicial de US\$ 198.257,00 e com um custo de operação de US\$ 28.867,00 por ano.

Na Figura 19 pode-se comparar a diferença entre investimento num sistema de geração híbrido (primeira linha da Tabela 2) com a utilização apenas do gerador diesel (sexta linha da Tabela 2). Verifica-se que o retorno do investimento neste caso (usando também os PVs, baterias e inversores) será 23 % maior, com um ponto de equilíbrio em aproximadamente quatro anos.

Também foi simulado uma taxa de desconto de 12 % a.a. onde os resultados gerados pelo programa demonstraram que mesmo assim a melhor opção seria a utilização de um sistema híbrido de geração.

Figura 19 – Comparação econômica.



## 2.4 Comparação com os custos de implantação da Rede de Distribuição.

O HOMER pode fazer uma análise comparativa da viabilidade da conexão da rede de distribuição em relação ao sistema de geração híbrido e isolado proposto.

Embora exista o problema da localização, pois a comunidade de agricultores está inserida numa área de preservação ambiental o que dificulta a conexão dos sistemas, pode-se ter uma idéia, através da Tabela 3, do custo médio da implantação de rede aérea convencional.

Tabela 3 - Custo Médio e Corrigido para Implantação da Rede Aérea Convencional nas Concessionárias CPFL, COPEL e CEMIG

Tipo de Rede Aérea Convencional	Custo em R\$/Poste	Custo em R\$/km	Custo Corrigido em R\$/km (em 2001)
CPFL/SP			
Rede primária	-	39.000,00 (em 2001)	-
Rede secundária	-	28.571,43 (em 2001)	-
Rede primária + secundária	-	67.571,43 (em 2001)	-
COPEL/PR			
Rede primária com bitola 336.4 MCM AWG	-	17.910,03 (em 1999)	20.028,83
Rede primária com bitola 2 AWG	-	10.465,07 (em 1999)	11.703,11
CEMIG/MG			
Rede primária + secundária	1.486,88	44.606,40 (em 1998)	54.188,39

Fonte: Rodrigues, 2006

Considerando a geografia do local que é montanhoso, de floresta e de difícil acesso será adotado o valor de R\$ 67.571,43 por km divulgado pela concessionária CPFL, para efeito de comparação com uma conexão futura. O valor de O&M será de R\$ 760,00, conforme exemplo da Tabela 4. Também deve ser levado em consideração o valor da tarifa para o meio rural que é de R\$ 0,16540 o kWh (segundo ao Resolução Homologatória 689 da ANEEL<sup>11</sup>).

Tabela 4 – Custos de manutenção preventiva na Rede Aérea Convencional (RDA), Secundária Isolada (RDI) e Compacta (RDP), com e sem a presença de arborização em 2001.

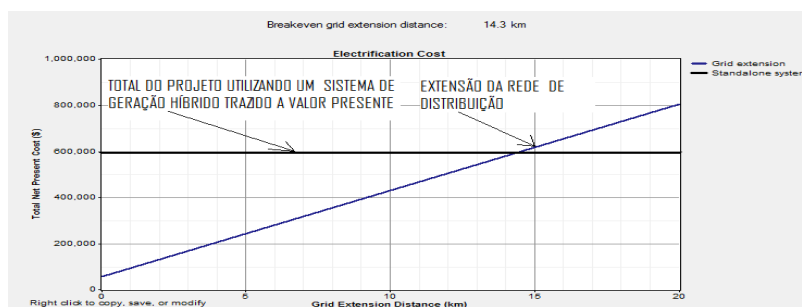
<sup>11</sup> ANEEL – Resolução Homologatória 689 da ANEEL Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/area.cfm?idArea=493>>. Acesso em 15 maio 2009.

Manutenção Preventiva RS/Km	RDA		RSI		RDP	
	Com arborização	Sem arborização	Com arborização	Sem arborização	Com arborização	Sem arborização
CEMIG (1998)	108,00	51,43	43,57	29,52	17,08	5,51
CEMIG (2001)	131,20	62,48	52,93	35,86	20,75	6,69
CPFL (2001)	760,00	-	-	-	-	-

Fonte: Rodrigues, 2006

A partir dos dados de custo de implantação e manutenção, o programa HOMER permite fazer uma análise do *breakeven*<sup>12</sup>, ou seja, do ponto de equilíbrio do custo total em valor presente da extensão e do sistema híbrido considerado, como pode ser visto na Figura 20.

Figura 20 – *Breakeven* para o caso da Comunidade do Jacob.



Como a Comunidade do Jacob está há 15 km da rede de alimentação e o *breakeven* informado pelo programa é de 14,3 km. Significa que, a partir deste ponto, o sistema de geração híbrido é mais viável, pois o seu custo total em valor presente será menor. Para comparar basta adotar a distância de 15 km. Neste ponto o sistema híbrido representado pela reta horizontal é menor do que a reta ascendente que representa a extensão com a rede (simulação feita para 25 anos), e portanto mais viável do que a implantação de uma rede de distribuição.

## 2.5 Comparação entre as quantidades de emissão de poluentes.

O programa HOMER, também é capaz de fazer um cálculo estimado da quantidade de poluentes gerados pelos sistemas de geração, para efeito de comparação, assim, como é mostrado na Tabela 5. O primeiro quadro da Tabela 5 mostra a quantidade estimada de poluentes para a configuração proposta para a comunidade do Jacob, que é a utilização dos PVs, baterias, conversor atuando em conjunto com o grupo gerador a diesel. Como dito anteriormente, nesta configuração o grupo gerador a diesel trabalha apenas quando a carga das baterias cai a 10 % de sua capacidade e quando do atendimento do pico da demanda de carga, com o restante do tempo feito pelos PVs e baterias.

Com esta operação “otimizada”, conseqüentemente a emissão de gases poluentes será reduzida em relação à utilização de apenas o grupo gerador diesel para alimentação das cargas com funcionamento “forçado”, ou seja, durante todo o dia, como é mostrado no quadro seguinte da Tabela 5.

<sup>12</sup>

*Breakeven* demonstra até que distância é viável a implantação da conexão com a Rede Elétrica.

Tabela 5 – Comparação da quantidade de poluentes emitidos anualmente pelo sistema híbrido de geração proposto e a geração exclusiva pelo grupo gerador diesel.

System Architecture: 20 kW PV 32 kW GDi-32kW 80 Vision 6FM200D		10 kW Inverter 10 kW Rectifier Cycle Charging
Pollutant	Emissions (kg/yr)	
Carbon dioxide	56,706	
Carbon monoxide	135	
Unburned hydrocarbons	14.8	
Particulate matter	10.2	
Sulfur dioxide	116	
Nitrogen oxides	1,187	

System Architecture: 32 kW GDi-32kW	
Pollutant	Emissions (kg/yr)
Carbon dioxide	118,649
Carbon monoxide	293
Unburned hydrocarbons	32.4
Particulate matter	22.1
Sulfur dioxide	238
Nitrogen oxides	2,613

Esta análise é importante, pois embora a tabela acima represente uma previsão da quantidade de poluentes emitidos, uma futura análise, após o sistema estar operando, pode ser feita para inclusão da comunidade num projeto de redução de poluentes emitidos (Créditos de Carbono<sup>13</sup>). Por exemplo, alterando grupo-gerador que funciona com diesel por outro equipamento que utilize um combustível menos poluente, aumentando a geração de energia elétrica utilizando mais painéis fotovoltaicos ou adicionando outra fonte renovável menos poluente, diminuirá a quantidade de poluentes emitidos.

### 3 CONCLUSÃO

À título de conclusão, pode-se dizer que as fontes alternativas e renováveis de energia são capazes de suprir a demanda com vantagens em relação as fontes convencionais. Elas podem atuar no sentido de aumentar a confiabilidade e a qualidade do suprimento, atender à demanda de ponta, funcionar como reserva operativa, compor esquemas de cogeração, ou atender áreas remotas com baixa densidade de carga promovendo grandes benefícios ao desenvolvimento de pequenas comunidades isoladas. A realidade é que as fontes renováveis e alternativas de energia se diferem por uma menor agressão ao meio ambiente e se renovam ao longo do tempo e desta forma assumem um papel cada vez mais importante na matriz energética.

Porém, as perspectivas futuras com relação a essas alternativas dependem basicamente dos incentivos financeiros que sejam direcionados ao setor, investimentos em P&D<sup>14</sup> e desburocratização dos procedimentos. Deve-se destacar a necessidade de políticas orientadas para a expansão do serviço de energia elétrica, a partir de tais fontes, que também produzem resultados sociais significativos.

Para o estudo de caso proposto, demonstrou-se que a escolha por um sistema híbrido de geração foi a mais apropriada, pois, além de proporcionar maior segurança de atendimento às cargas (*capacity shortage*), facilidade de operação, co-geração, *Breakeven* favorável, eficiência na entrega da energia, etc., proporcionará uma redução significativa no investimento inicial do projeto (já que o investimento no uso exclusivo de painéis fotovoltaicos para alimentação das cargas é extremamente alto), contudo, também há uma redução em termos de O & M (após a implantação do projeto), pois a geração a partir dos painéis fotovoltaicos possui um custo de operação comparativamente muito menor (se a alimentação das cargas fosse feita apenas por um grupo gerador diesel o custo com manutenção, trocas de equipamento e combustível se tornaria inviável economicamente).

<sup>13</sup> Créditos de Carbono ou Redução Certificada de Emissões (RCE) são certificados emitidos quando ocorre a redução de emissão de [Gases do Efeito Estufa](#) (GEE). Por convenção, uma tonelada de [dióxido de carbono](#) (CO<sub>2</sub>) equivale a um crédito de carbono. Este crédito pode ser negociado no [mercado internacional](#).

<sup>14</sup> P&D – Pesquisa e desenvolvimento.

O COE para o sistema híbrido ficou em 0,743 US\$/kWh para um consumo de 146 kWh/dia. Esse valor é impraticável, pois supera a capacidade de pagamento da comunidade. Alternativas para diminuir essa dificuldade passam por redução no número de horas de operação do sistema, substituição do combustível diesel por biodiesel, subsídios públicos para os custos operacionais e/ou complementação de renda complementar para as famílias.

Demonstrou-se, também, que o sistema proposto pode ser muito menos agressivo ao meio ambiente, com baixas emissões de poluentes, otimizando a operação do grupo gerador diesel para atendimento dos picos de demanda.

A utilização do programa HOMER, demonstrou-se muito útil como ferramenta de modelagem de fontes renováveis ou não para sistemas de pequeno e médio porte, pois o mesmo pode montar diversos cenários, variando-se a taxa de juros, o preço dos combustíveis utilizados, o tempo de projeto e prevendo as trocas de equipamentos, permitindo assim, ao engenheiro responsável, cumprir com uma das etapas mais difíceis de todo o projeto que é a análise da viabilidade técnica e econômica.

Como sugestão, para trabalhos futuros, é o estudo do regime hídrico da localidade para efeito de geração de energia elétrica, determinando, assim, um possível aproveitamento da energia hidrelétrica. Com o tempo e o desenvolvimento da região, é perfeitamente presumível o aumento da demanda de energia, assim, até mesmo uma pequena central hidrelétrica, poderia contribuir como mais uma fonte de geração de energia elétrica para o sistema híbrido proposto.

#### 4 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BANCO CENTRAL DO BRASIL (B.C.B.) – Taxa Selic, Dolar e Meta de Inflação 2009. Disponível em: <http://www.bcb.gov.br>. Acesso em: 15 maio 2009.

ELY, Rômulo Neves. Um Estudo sobre a Geração de Energia Elétrica da Ilha de Fernando de Noronha, Brasil: É Viável o Aumento da Proporção das Fontes Alternativas em seu Sistema? In: XII CONGRESSO BRASILEIRO DE ENERGIA. Rio de Janeiro. **Anais 2008**, v. 1, n. 4, p. 439-469.

GENIN, Léo Jaques; SZKLO, Alexandre; DUTRA, Ricardo. Avaliação Técnico-Econômica de Implantação de um Sistema Hídrico Eólico em uma Comunidade Rural de Baixa Renda do Nordeste, através da Ferramenta Computacional HOMER. In: XII CONGRESSO BRASILEIRO DE ENERGIA. Rio de Janeiro. **Anais 2008**, v. 4, n. 4, p. 1703-1804.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Pesquisa Nacional de Amostra de Domicílios PNAD 2003. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br>. Acesso em: 04 abr. 2009.

LORA, Eduardo Silva. **Geração distribuída: Aspectos Tecnológicos, Ambientais e Institucionais**. Rio de Janeiro: Interciência, 2006.

RODRIGUES, Alexia de Freitas. **Análise da Viabilidade de Alternativas de Suprimento Descentralizado de Energia Elétrica a Comunidades Rurais de Baixa Renda com Base em seu Perfil de Demanda**. Rio de Janeiro, 156 p., 2006, Dissertação (Mestrado) – UFRJ.

PARK, Kil Hyang. Projeto Biodiesel e a Inclusão Social. Disponível em: <http://www.biodieselbr.com>. Acesso em: 06 out. 2009.

SUCCAR, Pedro Mendes. Viabilidade Econômica de Geração de Ponta em um Condomínio Residencial no Rio de Janeiro. In: XII CONGRESSO BRASILEIRO DE ENERGIA. Rio de Janeiro. **Anais 2008**, v. 4, n. 4, p. 1347-1360.