

VIABILIDADE PARA GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA FOTOVOLTAICA EM MINIRREDE - SÃO FRANCISCO DE AIUCÁ-AM

MINI GRID PHOTOVOLTAIC SYSTEMS FEASIBILITY - SÃO FRANCISCO DE AIUCÁ-AM

Data de entrega dos originais à
redação em: 27/04/2016,
e recebido para diagramação em:
30/11/2016.

Elcio Rodrigues Aranha¹
Delano Mendes de Santana²
Frederico Bernardino Morante Trigo³
Douglas Alves Cassiano⁴
Sérgio Ricardo Lourenço⁵

Mais de um milhão de casas brasileiras não possuem acesso à energia elétrica. Os sistemas descentralizados ou autônomos de geração de eletricidade possuem um papel importante a desempenhar nesse sentido, muitas vezes como opção mais barata em comparação à extensão da rede. A comunidade de São Francisco de Aiucá, localizada no município de Uarini, estado do Amazonas, teve dezenove sistemas fotovoltaicos domiciliares instalados em 2007. Após seis anos de operação, onze SFDs estavam inoperantes devido a problemas de manutenção. O presente estudo se propôs a utilizar o software Homer®, procurando definir um arranjo que considere a viabilidade técnica, os custos de implantação, os custos de operação e de manutenção utilizando a geração de energia a partir de painel fotovoltaico em minirrede e de geração individual. Especificamente nesta comunidade remota, devido às dificuldades técnicas de operação e manutenção do local, a configuração em minirredes se mostrou mais favorável frente à geração individual e o sistema de geração a diesel se apresentou apenas como um potencial de confiabilidade.

Palavras-chave: Energia Solar, Minirrede, São Francisco de Aiucá - AM, Homer®

More than one million of Brazilian houses doesn't have any access to electrical energy. The decentralized electricity generation systems have an important function in this context. In some cases, a better option than the normal grid. The community of de São Francisco de Aiucá, localized in Uarini city, in Amazonas, has nineteen photovoltaic domestic systems installed in 2007. After six years in operation, eleven PDS was broken with maintenance problems. This study proposes to analyze this context with software Homer®, searching defines an arrange that consider: the technical feasibility, implementation, operation and maintenance costs, using the mini grid photovoltaic systems versus the individual one. In this community, due the technical difficulties with the operation and the local maintenance, the mini grid has the best configure comparing with the individual generation.

Key words: Solar Energy, Mini grid, São Francisco de Aiucá-AM, Homer®

¹Universidade Federal do ABC, Programa de Pós Graduação em Energia, E-mail: elcio.aranha@gmail.com

²Universidade Federal do ABC, Programa de Pós Graduação em Energia, E-mail: delanomendes@hotmail.com

³Universidade Federal do ABC, Programa de Pós Graduação em Energia, E-mail: federico.trigo@ufabc.edu.br

⁴Universidade Federal do ABC, Programa de Pós Graduação em Energia, E-mail: douglas.cassiano@ufabc.edu.br

⁵Universidade Federal do ABC, Programa de Pós Graduação em Energia, E-mail: sergio.lourenco@ufabc.edu.br

1. INTRODUÇÃO

Mais de um milhão de casas brasileiras não possuem energia elétrica no Brasil. (FARIELLO, 2012). A distribuição das residências com acesso a energia elétrica se apresenta de acordo com a Fig. 1. Onde se pode observar que as regiões Norte, Centro-Oeste e um pouco do Nordeste ainda possuem uma densidade inferior de distribuição. (IBGE, 2010).

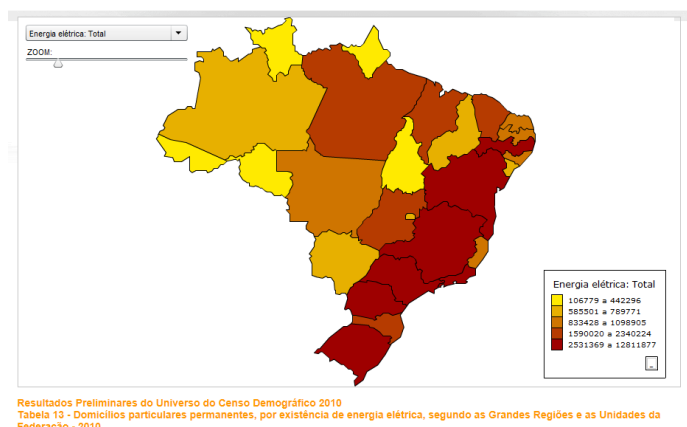


Figura 1 – Distribuição das residências com acesso a energia elétrica no Brasil. (IBGE, 2010).

A comunidade de São Francisco de Aiucá, localizada no município de Uarini, estado do Amazonas, pertence a Reserva de Desenvolvimento Sustentável de Mamirauá. Encontra-se ao lado de um igarapé, na margem esquerda do Rio Solimões, e o acesso é por via fluvial em barco. (MORALES, 2014).

Comunidades quando fixadas em regiões remotas, que não possuem abastecimento regular de energia elétrica, necessitam viabilizar um arranjo para suprir minimamente as suas necessidades. Os sistemas descentralizados ou autônomos de geração de eletricidade possuem um papel importante a desempenhar nesse sentido, muitas vezes como opção mais barata em comparação à extensão da rede. Inclusive, a energia solar fotovoltaica foi introduzida no país para atender essa demanda. (IEI, 2009).

O Brasil ainda se figura de maneira mediana entre os países do mundo em relação à capacidade instalada por habitante como mostra a Fig. 2.

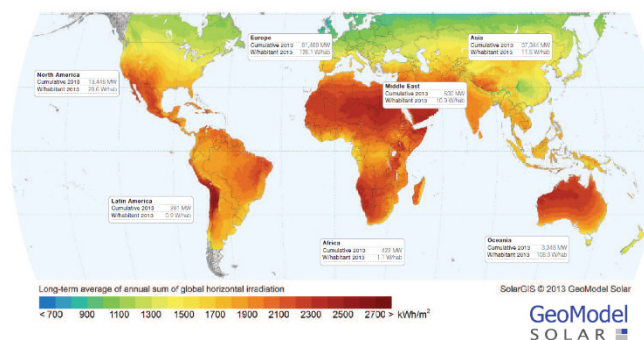


Figura 2 – Geração de energia fotovoltaica por habitantes no mundo. (EPIA, 2014).

Acontece que, segundo o Ministério de Minas e Energia (2014), a oferta interna de energia elétrica por fonte de geração não apresenta a energia fotovoltaica como elemento representativo. A Fig. 3 apresenta como principais elementos a hidroelétrica, o gás natural e a biomassa.

Tentando reverter este quadro, a ANEEL aprovou em 2004 a Resolução Normativa N° 084 que regulamenta o uso de Sistemas Individuais de Geração de Energia Elétrica através de Fontes Intermitentes (SIGFIs) como alternativa de atendimento por parte das distribuidoras de eletricidade. (ANEEL, 2004).

Neste impulso, o projeto de implantação dos sistemas fotovoltaicos domiciliares (SFDs) na comunidade de Aiucá nasceu de uma parceria entre o Laboratório de Sistemas Fotovoltaicos do Instituto de Energia e Ambiente da Universidade de São Paulo (LSF-IEE-USP), o Instituto de Desenvolvimento Sustentável Mamirauá (IDSM) e o Instituto Winrock International. A Fig. 4 ilustra um dos dezenove sistemas individuais que foram instalados (SIGFI 13).

Na primeira fase do projeto, foram instalados dezenove SFDs em 2005 e mais quatro sistemas na segunda fase, em 2007. O atendimento à iluminação externa e as maiores cargas (sete refrigeradores e freezer) eram supridos por um gerador diesel que funcionava durante quatro horas por dia (MORALES, 2014).

Seis anos e meio depois da instalação dos primeiros SFDs, três estavam inoperantes principalmente por falta de controlador ou inversor de carga. Porém, mais oito trabalhavam com problemas por falta de dispositivos do circuito eletrônico. (VALER, 2012).

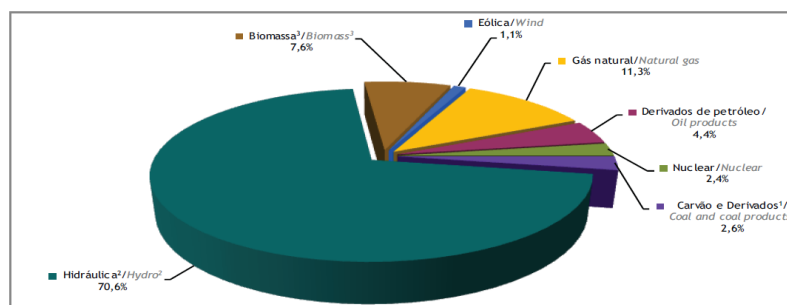


Figura 3 – Oferta interna de energia elétrica por fonte. (Ministério de Minas e Energia, 2014).



Figura 4 – Painel fotovoltaico – Aiucá-AM. (MORALES, 2014).

O presente estudo se propôs a utilizar o software Homer[®], procurando definir um arranjo que considere a viabilidade técnica, os custos de implantação e de operação para atender minimamente as necessidades apontadas pelas comunidades sem acesso à energia elétrica da rede de distribuição e utilizando geração de energia fotovoltaica em configuração de minirrede de modo a atender as cargas existentes na comunidade (tanto as inicialmente atendidas pelo painel solar individual como as que eram atendidas pelo gerador diesel).

O software Homer[®] é uma ferramenta que suporta modelamento computacional para simplificar o desenho de micro redes de fornecimento de energia utilizando fontes renováveis e/ou híbridas (seja para um arranjo isolado ou interligado a rede de distribuição).

O software suporta o estudo de cenários, a análise de sensibilidade com algoritmos que avaliam a viabilidade técnica e econômica das opções descritas no modelo inicial (opções de tecnologia, variações dos custos e disponibilidade de recursos energéticos).

A configuração em minirredes diminui a quantidade de dispositivos eletrônicos no sistema, condensando as funcionalidades em modelos mais sofisticados de maior confiabilidade e, desta forma, tende a diminuir os problemas de indisponibilidades dos sistemas reduzindo necessidades e custos com manutenção.

2. METODOLOGIA

Este trabalho pode ser classificado como uma pesquisa descritiva considerando os seus objetivos gerais, já que busca descrever as características dos sistemas de geração em questão e busca estabelecer uma relação de viabilidade de acordo com o tipo de configuração da rede. Com relação aos procedimentos técnicos utilizados, a literatura classifica como estudo de caso, já que estuda a questão proposta dentro de um contexto específico que é a comunidade Aiucá-AM. (GIL, 2002).

O consumo típico de energia elétrica para uma comunidade remota e desconectada da rede de distribuição foi definido. Realizadas simulações com o software Homer[®] considerando a geração de energia a partir de painel fotovoltaico em minirrede e de geração individual.

A viabilidade econômica para o arranjo foi analisada levando em consideração para os estudos de sensibilidade, o tempo de vida útil do inversor, tempo de vida útil das baterias, custo de instalação e custo de manutenção. A Fig. 5 e Fig. 6 representam os cenários que serão considerados para o estudo.

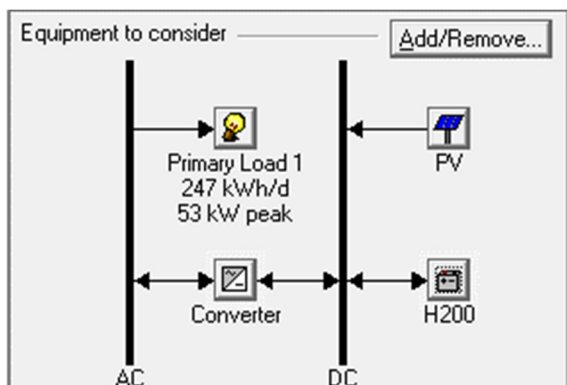


Figura 5 – Modelamento para uma residência.

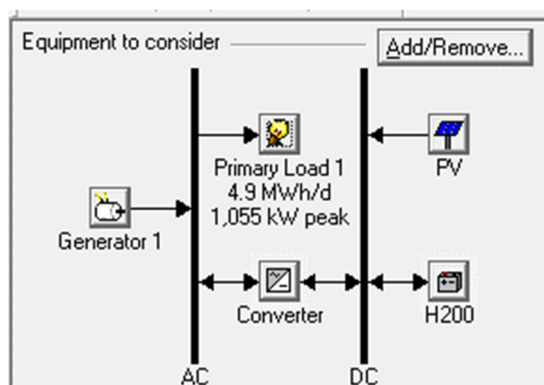


Figura 6 – Modelamento para vinte residências.

2.1 Demanda de energia

No trabalho de CARTAXO (1998) o consumo da Vila Campinas – AM foi modelado. Assim o perfil do consumo horário desta vila remota (com similaridades com São Francisco do Aiucá –AM: equipamentos existentes nas residências, isolamento de outras comunidades, meio de subsistência, clima e região geográfica) foi utilizado para o modelamento deste trabalho (consumo médio das dezenove residências iniciais acrescido da iluminação externa da comunidade). Nos modelos, consideramos a existência de um refrigerador/freezer de 41 kWh em cada das vinte residências (considerado consumo individual diário de 250kWh). Este ajuste foi realizado em todos os domicílios da comunidade, uma vez que MORALES (2014) indica a tendência de democratização do conforto e aumento de consumo de energia pela oferta de energia elétrica nas comunidades. O perfil de consumo horário utilizado no modelo pode ser representado pela Fig. 7, que apresenta a carga considerando 98 residências da comunidade de Vila Campinas - AM. No caso deste estudo, a carga típica de São Francisco de Aiucá – AM foi definida pela média das dezenove residências atendidas na primeira fase do projeto descrito por MORALES (2014).

A carga típica de uma residência foi utilizada para modelar o sistema individual. O conjunto comunitário com minirrede de distribuição foi modelado considerando vinte residências sem fator de agrupamento. A Tab. 1 foi definida considerando o consumo comunitário de vinte residências utilizando, para cada uma delas, um freezer/refrigerador de 41kWh e a iluminação externa da comunidade.

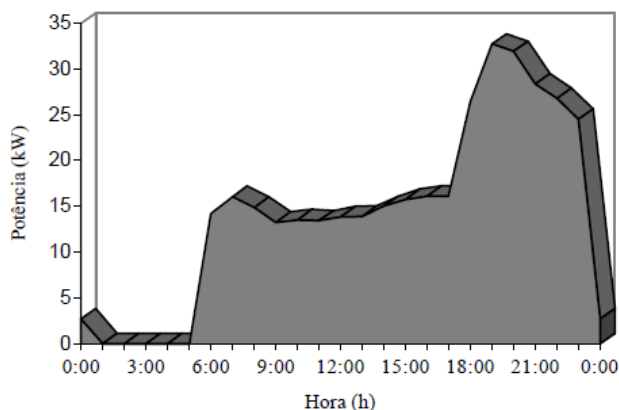


Figura 7 - Curva de Carga (CARTAXO, 1998).

Para o sistema Homer®, o modelamento se deu em dois momentos. O primeiro para uma residência típica isolada e o segundo para um conjunto de vinte residências e iluminação externa. A Fig. 8 representa estes dois cenários de configuração. As demais configurações originais do software foram preservadas e as cargas foram mantidas inalteradas para todos os cenários individual (residência típica isolada) e coletivo (conjunto de vinte residências com iluminação externa), respectivamente, considerados neste estudo.

Tabela 1 - Modelamento de consumo de vinte residências em São Francisco de Aiucá-AM.

Horário	Carga (kW)	Horário	Carga (kW)
00:00 – 01:00	40,00	12:00 – 13:00	600,80
01:00 – 02:00	40,00	13:00 – 14:00	300,80
02:00 – 03:00	40,00	14:00 – 15:00	200,80
03:00 – 04:00	40,00	15:00 – 16:00	100,80
04:00 – 05:00	40,00	16:00 – 17:00	101,36
05:00 – 06:00	40,82	17:00 – 18:00	101,66
06:00 – 07:00	120,84	18:00 – 19:00	201,66
07:00 – 08:00	160,84	19:00 – 20:00	401,58
08:00 – 09:00	240,78	20:00 – 21:00	401,50
09:00 – 10:00	360,76	21:00 – 22:00	201,30
10:00 – 11:00	400,80	22:00 – 23:00	160,94
11:00 – 12:00	600,80	23:00 – 00:00	40,00

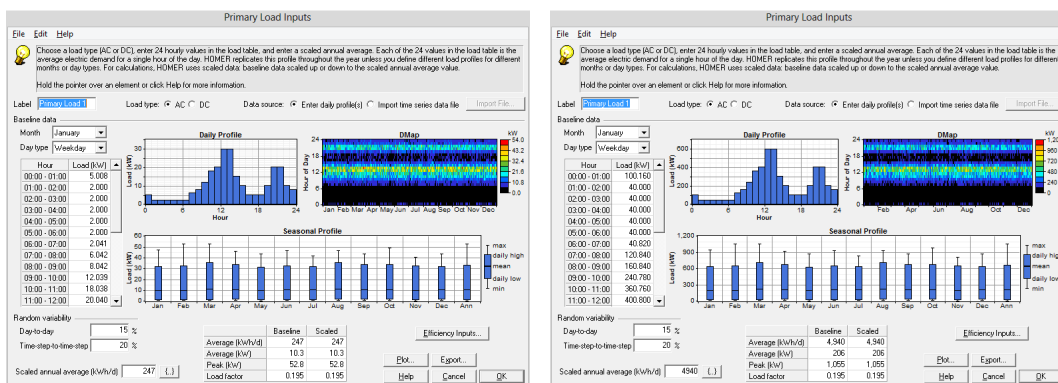


Figura 8 – Parâmetros de configuração de carga das residências e iluminação externa.

2.2 Conversor

A Fig. 9 representa as configurações utilizadas para caracterizar o conversor. Para o conversor individual foi considerada a vida útil base de cinco anos e para o coletivo a vida útil base de oito anos. Para os estudos de sensibilidade foram utilizados valores de um a dez anos para a composição dos gráficos e análises. Conforme MORALES (2014), a vida útil típica para os conversores individuais é de três anos. Com relação ao equipamento coletivo, a vida útil de referência é de oito anos. Estes valores foram tomados como premissa para as análises gráficas que serão demonstradas a seguir. Cepel e Eletrobras (2014) foi tomado como fonte para os dados de custos para todos os equipamentos utilizados nos cenários de simulação utilizados neste trabalho.

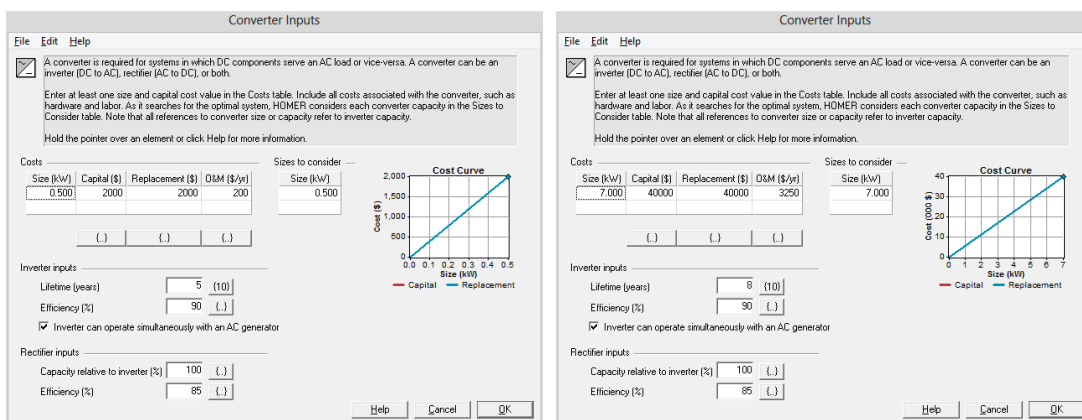


Figura 9 - Parâmetros do conversor, individual e coletivo.

2.3 Banco de baterias

A Fig. 10 representa as configurações utilizadas para caracterizar o banco de baterias de referência utilizado na simulação do cenário individual e coletivo.

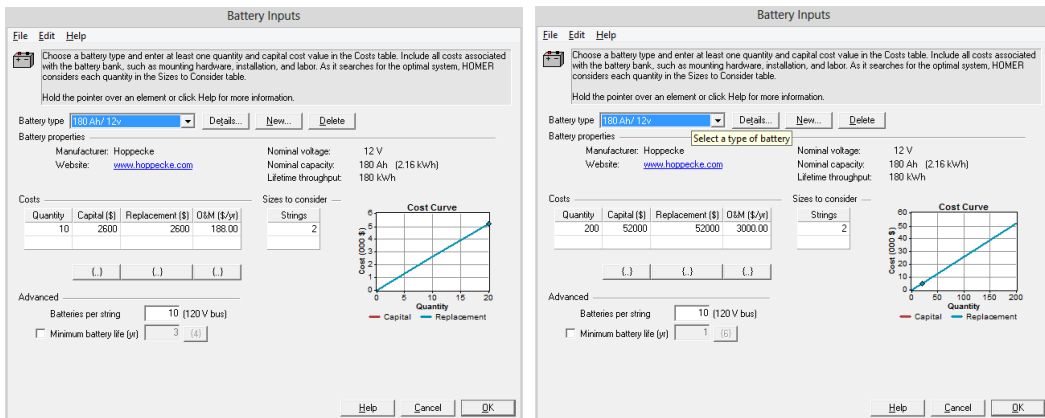


Figura 10 - Parâmetros banco de baterias individual e coletivo.

2.4 Painel solar

A Fig. 11 representa as configurações utilizadas para o painel solar no cenário individual e coletivo.

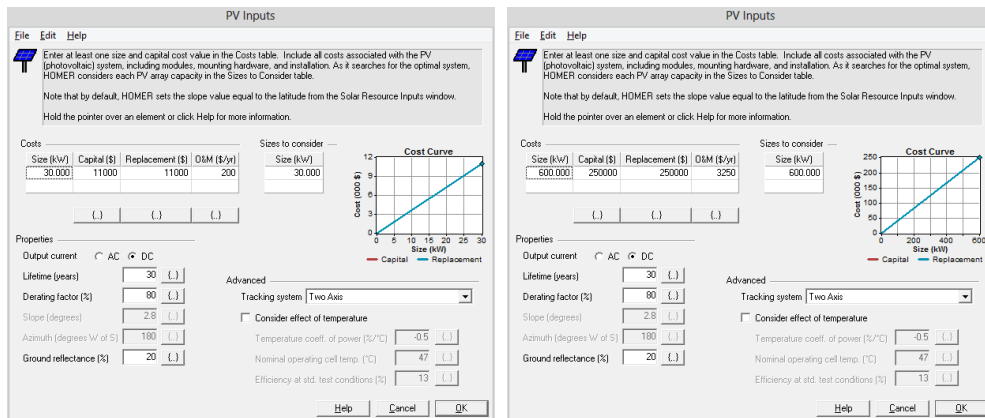


Figura 11 - Parâmetros de configuração para o painel solar.

2.5 Incidência solar

Para definição da incidência solar foi utilizado o banco de dados do Homer® inserindo como dado de entrada a localização da comunidade, conforme Fig. 12. Os resultados de incidência solar e demais configurações utilizadas podem ser representadas pela Fig. 13.



Figura 12 – Localização da comunidade.

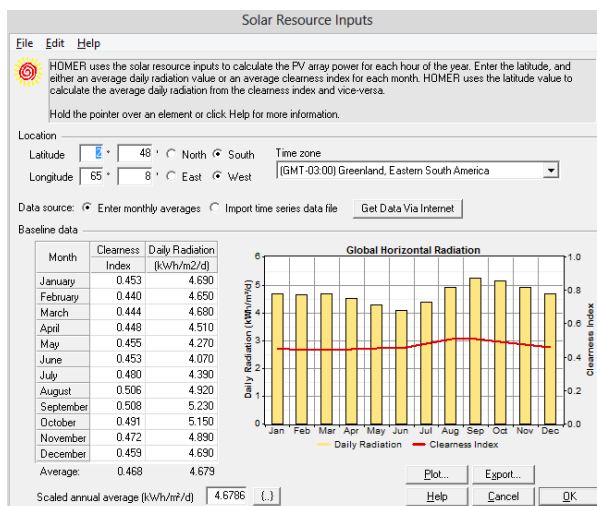


Figura 13 – Incidência Solar – banco de dados do aplicativo.

2.6 Gerador

A Fig. 14 representa as configurações utilizadas para o gerador diesel e as configurações utilizadas na simulação com relação ao agendamento do funcionamento do equipamento para a geração de energia elétrica. Foi configurado no modelo, uma configuração de vinte e quatro horas de utilização de gerador de forma otimizada a fim de que o equipamento esteja disponível todo o tempo de simulação e possa ser utilizado sempre que o conjunto de painéis solares não possam suprir as cargas.

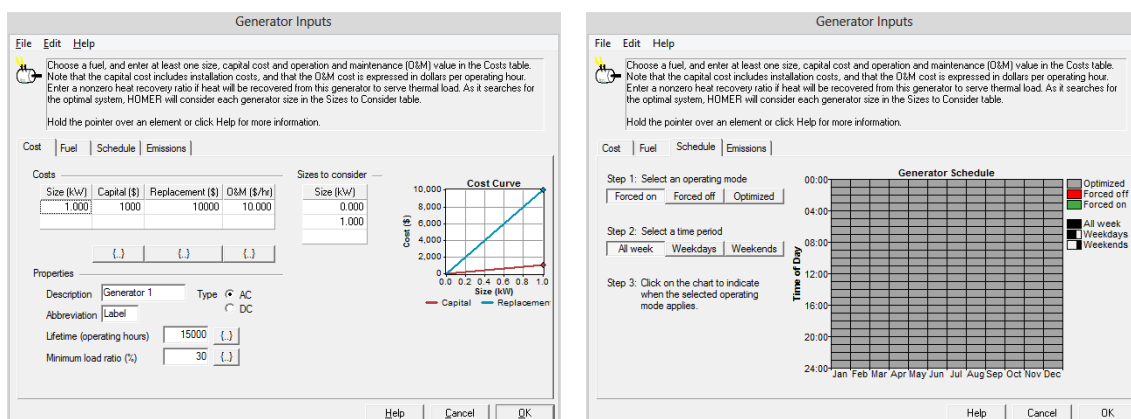


Figura 14 - Configuração do gerador e escala da utilização na simulação

2.7 Custos

Os custos de um sistema fotovoltaico dependem do investimento inicial realizado, da vida útil considerada para os equipamentos e dos custos de operação e manutenção. (CEPEL e ELETROBRAS, 2010). Com base nesta referência, foram utilizados os custos conforme Tab. 2.

Tabela 2 - Modelamento de consumo para São Francisco de Aiucá-AM. Adaptado de CEPEL e ELETROBRAS (2010).

Equipamento	Característica	Aplicação	Custo de aquisição e implantação (R\$)	Custo para substituição (R\$)	Custo operacional
Painel solar ¹	30.000 kW	Individual	11.000	11.000	200 (R\$/ano)
Painel solar ²	600.000 kW	Coletivo	250.000	250.000	3.250(R\$/ano)
Inversor / controlador ³	0,5 kW	Individual	2.000	2.000	200 (R\$/ano)
Inversor / controlador ⁴	7.000 kW	Coletivo	40.000	40.000	3.250(R\$/ano)
Baterias ⁵	10 x 180 Ah	Individual	2.600	2.600	188 (R\$/ano)
Baterias ⁶	200 x 180 Ah	Coletivo	52.000	52.000	3.000(R\$/ano)
Gerador ⁷	1 kW	Coletivo	1.000	10.000	10 (R\$/hora)

Observações:

- ¹ Considerados os custos do equipamento, frete, instalação, proteção e periféricos (uma residência).
- ² Considerados os custos da minirrede, dos equipamentos, frete, instalação, proteção e periféricos (comunidade).
- ³ Considerados os custos do inversor e do controlador, frete, instalação e periféricos (uma residência).
- ⁴ Considerados os custos do inversor e do controlador, frete, instalação e periféricos (comunidade).
- ⁵ Considerados os custos do banco de baterias, frete, instalação e periféricos (uma residência).
- ⁶ Considerados os custos do banco de baterias, frete, instalação e periféricos (comunidade).
- ⁷ Considerados os custos de adaptação do gerador existente, instalação e periféricos (uma residência).

3. RESULTADOS

Considerando as premissas indicadas ao longo do texto, as simulações no aplicativo Homer® indicaram um custo de energia por kWh para um sistema individual de R\$ 1,4/kWh e para um sistema coletivo de R\$ 1,3/kWh. As Fig. 14 e Fig. 15 ilustram os resultados obtidos.

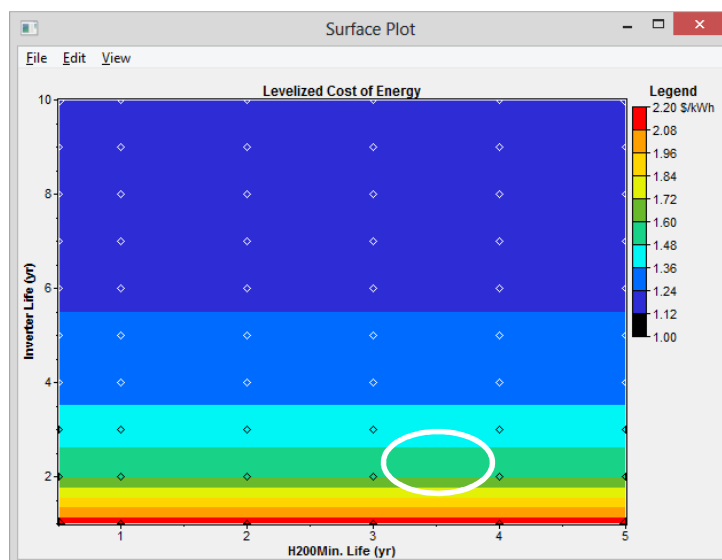


Figura 15 – Custo sistema individual.

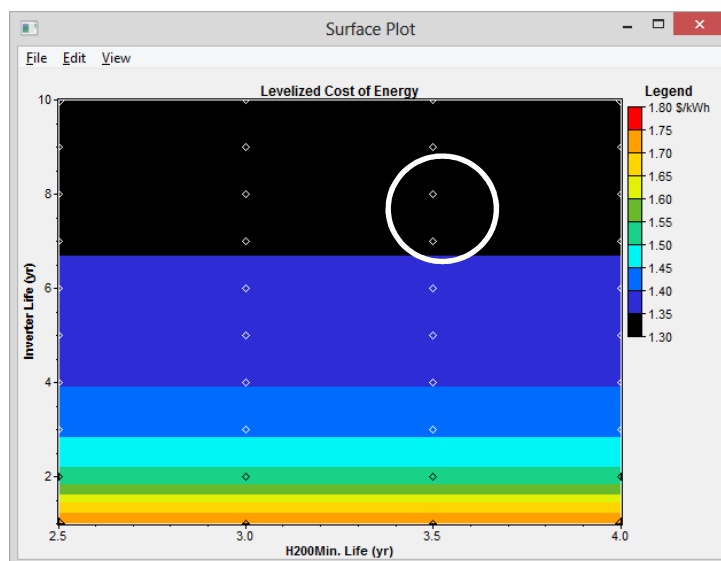


Figura 16 – Custo sistema coletivo.

Já considerando os custos operacionais totais, o aplicativo indicou um custo total de R\$ 4.500/ano por residência para o sistema individual (R\$ 90.000 para o conjunto de vinte residências) e de R\$ 20.000/ano para o sistema coletivo. A Fig. 16 e a Fig. 17 apresentam os resultados obtidos.

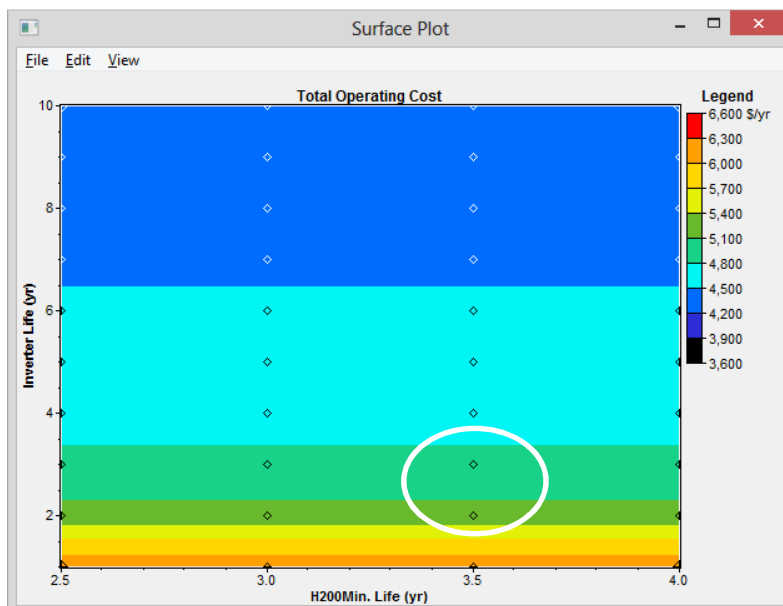


Figura 17 – Custo operacional total - sistema individual.

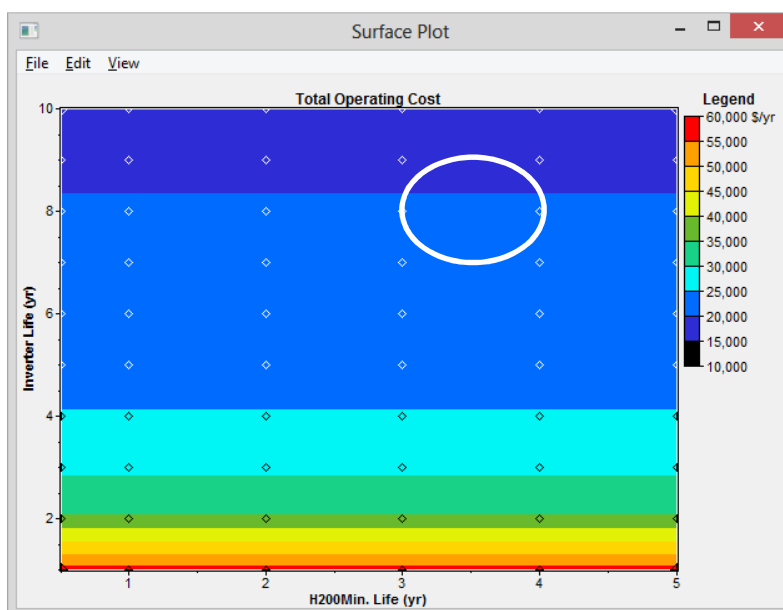


Figura 18 – Custo operacional total - sistema coletivo.

Apesar do modelo para o cenário coletivo contar com um gerador de energia elétrica a partir de óleo diesel, durante a simulação, a utilização deste dispositivo não foi necessária para complementar a geração fotovoltaica. As comunidades remotas possuem grande dependência de combustíveis fósseis para a produção de energia elétrica, mas para o cenário estudado, o dispositivo colaborou apenas para o aumento da garantia de geração de energia. A Fig. 19 representa os resultados da simulação com relação à necessidade de geração de energia elétrica a partir do gerador diesel (zero kWh por ano), o tempo de funcionamento do gerador diesel (zero horas por ano), o número de partidas do gerador (zero partidas por ano) e a emissão de CO₂ (zero quilogramas por ano).

4. CONCLUSÃO

A partir dos resultados obtidos neste estudo é possível concluir que o software Homer® é capaz de considerar os dados relevantes dos cenários e equipamentos a serem considerados numa análise deste tipo. O software tem capacidade de simular com agilidade os cenários propostos e apresenta um conjunto de relatórios que podem orientar e sustentar a tomada de decisão.

Foi apresentada como melhor opção o fornecimento de energia com a utilização de minirredes de distribuição e independência de diesel. Porém esta conclusão é particular ao cenário da comunidade de São Francisco de Aiucá e não deve ser extrapolada sem uma análise criteriosa.

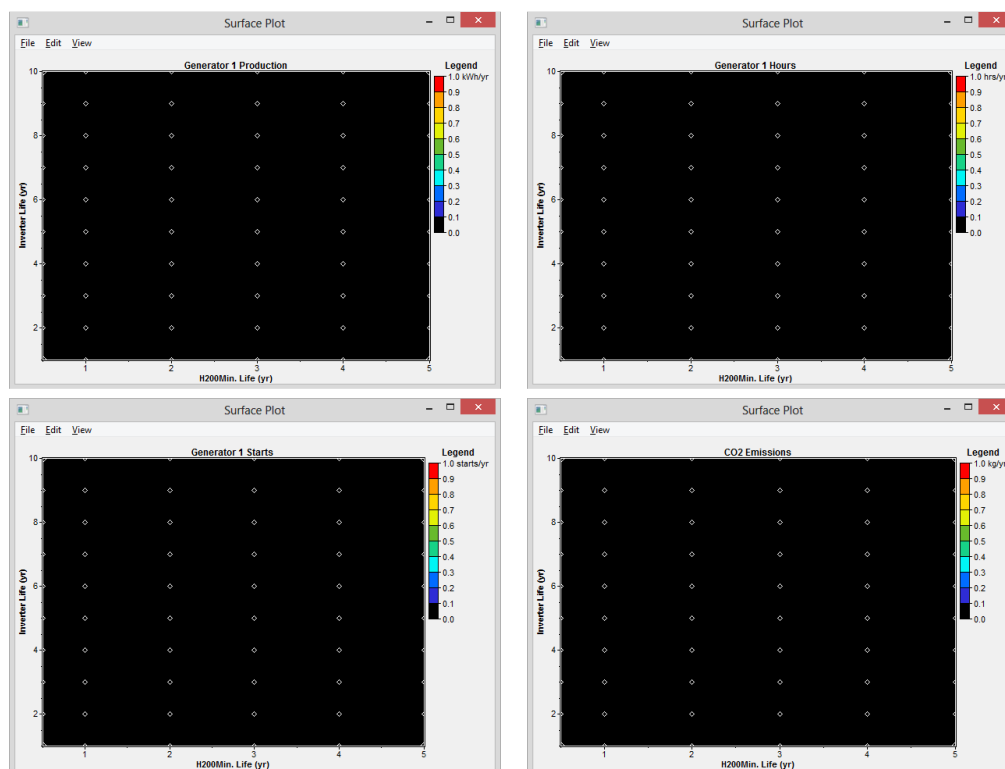


Figura 19 – Indicadores de consumo e utilização do gerador - sistema coletivo.

5. REFERÊNCIAS

- ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica. RESOLUÇÃO NORMATIVA Nº 83, de 20 de setembro de 2004. Estabelece os procedimentos e as condições de fornecimento por intermédio de Sistemas Individuais de Geração de Energia Elétrica com Fontes Intermitentes – SIGFI. Brasília, 2004.
- AMARANTE, O. A. C.; SILVA, F. J. L. Atlas eólico: Rio Grande do Sul, Secretaria de Energia Minas e Comunicações, SEMC, Porto Alegre, 2002. Disponível em: <<http://www.seinfra.rs.gov.br/index.php?menu=atlaseolico> > acesso em 09 de out. 2014.
- BROGREN, M.; NOSTELL P.; KARLSSON B. Optical efficiency of a pv–thermal hybrid CPC module for high latitudes. *Solar Energy, Great Britain*, v. 69, p. 173-185, 2000.
- CARTAXO, E. F. Fornecimento de serviço de energia elétrica para comunidades isoladas da Amazônia: reflexões a partir de um estudo de caso. 2000, p. 184. (Tese Doutorado em planejamento de sistemas energéticos) - Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, Campinas – SP, 2000. Disponível em: <<http://www.bibliotecadigital.unicamp.br/document/?code=vtls000197922&opt=4> > acesso em 09 de out. de 2014.
- CARTAXO, E. F.; JANNUZZI, G. M. Análise técnica e econômica de um sistema de distribuição de energia elétrica híbrido solar-diesel: um estudo de caso, *Anais do III Congresso Latino Americano de Distribuição de Energia Elétrica*, São Paulo, 1998.
- CARTAXO, E. F.; JANNUZZI, G. M.; POMPERMATER, M. L. Padrões de uso residencial de eletricidades na região da Amazônia: exemplos das zonas urbana e rural. *Anais do XVI Congresso Brasileiro de Engenharia Mecânica, Águas de Lindoia - SP*, 1999.

CEPEL - Centro de Pesquisas de Energia Elétrica e ELETROBRAS - Centrais Elétricas Brasileiras S.A. Comparação de Custos entre Sistemas Fotovoltaicos Individuais e Minicentrais Fotovoltaicas para Eletrificação Rural. Anais do III Congresso Brasileiro de Energia Solar, Belém, 2010.

COLANTUONO G., EVERARD A., HALL L. M. H. Monitoring nationwide ensembles of PV generators: Limitations and uncertainties. The case of the UK. *Solar Energy*, Freiburg, v. 108, p. 252-263, 2014.

EPIA - European Photovoltaic Industry Association. Global Market Outlook For Photovoltaics 2014 – 2018. Bruxelas, 2014.

FARIELLO D. Um milhão de lares brasileiros não têm energia elétrica. *O Globo*. Rio de Janeiro, 2012.

GIL, A. C. Como elaborar projetos de pesquisa. 4^o edição. Atlas, 2002.

GUARDA, F. G. K.; LOPES, G. S. Otimização de soluções para o suprimento do aumento de demanda de carga utilizando o software Homer®. Anais Simpósio brasileiro de sistemas elétricos, Foz do Iguaçu - PR, 2014.

IEI - INTERNATIONAL ENERGY INITIATIVE. Avaliação dos Sistemas Individuais de Geração de Energia Elétrica com Fontes Intermitentes - SIGFI's. Campinas, 2009.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. Sinopse do Senso Demográfico de 2010. Rio de Janeiro, 2010.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. Empresa de Pesquisa Energética. Análise da Inserção da Geração Solar na Matriz Elétrica Brasileira. Rio de Janeiro, 2012.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. Empresa de Pesquisa Energética. Balanço Energético Nacional 2014. Rio de Janeiro, 2014.

MORALES, L. R. V.; RIBEIRO, T. B. S.; MOCELIN, A. R.; ZILLES, R. Lições aprendidas no processo de implantação de sistemas fotovoltaicos domiciliares em duas comunidades rurais. In: V CONGRESSO BRASILEIRO DE ENERGIA SOLAR, 2014, Recife.

NIETO, L. F. M.; LÓPEZ, L. M. A new model to predict the energy generated by a photovoltaic system connected to the grid in low latitude countries. *Solar Energy*, Freiburg, v. 107, p. 423-442, 2014.

SIRAKI, A. G.; PILLAY, P. Study of optimum tilt angles for solar panels in different latitudes for urban applications. *Solar Energy*, Freiburg, v. 86, p. 1920-1928, 2012.

SOLER A. Dependence on latitude of the relation between the diffuse fraction of solar radiation and the ratio of global to extraterrestrial radiation for monthly average daily values. *Solar Energy*, USA, v. 44, n. 5, p. 297-302, 1990.

SORENSEN, B. Experiments with energy storage in a high-latitude greenhouse. *Solar Energy*, USA, v. 42, n. 4, p. 293-301, 1989.

VALER, L. R. et al. Estado dos sistemas fotovoltaicos domiciliares instalados em uma comunidade ribeirinha amazônica após seis anos e meio de operação. In: IV Congresso Brasileiro de Energia Solar e V Conferência Latino-Americana da ISES, 2012, São Paulo.

ZANGVIL, A.; AVIV O. E. On the effect of latitude and season on the relation between the diffuse fraction of solar radiation and the ratio of global to extraterrestrial radiation. *Solar Energy*, USA, v. 39, n. 4, p. 321-327, 1987. Burger, B., Rüther, R., 2006. Inverter sizing of grid-connected photovoltaic systems in the light of local solar resource distribution characteristics and temperature, *Solar Energy*, vol. 80, n. 1, pp. 32-45.