

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

ALESSANDRO FAEDO

VIABILIDADE DE UM SISTEMA DE ENERGIA FOTOVOLTAICA
RESIDENCIAL LIGADO A REDE

Trabalho de Conclusão de Pós-Graduação em
Projetos Sustentáveis, Mudanças Climáticas e
Gestão Corporativa de Carbono, Orientador:
Alexandre Dullius

CURITIBA
2014

VIABILIDADE DE UM SISTEMA DE ENERGIA FOTOVOLTAICA RESIDENCIAL LIGADO A REDE

Alessandro Faedo¹

1. Engenheiro Bioenergético.

RESUMO

A utilização da energia solar fotovoltaica é uma realidade que se afirma cada vez mais em diversos países. Com o aprimoramento desta tecnologia foi possível torna-la de fato uma fonte de geração de energia elétrica competitiva e de grande interesse para investimento por ser limpa, renovável e viável. Definitivamente a demanda por energia elétrica só aumenta no mundo todo, a energia fotovoltaica vem com um recurso para suprir esta demanda aonde à geração de energia por fontes convencionais vem aumentando seus custos. No Brasil a fabricação de sistemas fotovoltaicos precisa atingir uma escala industrial para reduzir seus custos, condições técnicas e a incerteza da dimensão que este mercado atingirá nos próximos anos também trazem dificuldades para consolidação definitiva da geração de energia solar fotovoltaica no Brasil. Vários são os usos para um sistema que gera energia elétrica através dos módulos solares, como em banco de baterias e sistemas off e on grid. O objetivo deste estudo foi analisar a viabilidade de um sistema de geração em residência ligado à rede (on-grid) onde a residência é uma micro geradora de energia para a concessionária, gerando economia para o proprietário, analisando fatores como o consumo da residência e o custo da energia no local é possível dimensionar um sistema para abatimento total da fatura de energia. Realizou-se um estudo de viabilidade para aquisição de um sistema de energia fotovoltaica para uma residência média na cidade de Chapecó - Santa Catarina, através de dados obtidos nos últimos 12 meses foi dimensionado um sistema para compensar a energia consumida, o período de retorno do investimento foi de 11 anos e 3 meses, um valor ainda alto porém viável sustentavelmente.

PALAVRAS-CHAVE: micro-geração, energia fotovoltaica, viabilidade econômica

ABSTRACT

The use of photovoltaic energy is a reality that states increasingly in several countries. With the improvement of this technology makes it possible was in fact a source of competitive electricity generation and of great interest for investment because it is clean, renewable and viable. Definitely the demand for electricity only increases worldwide, photovoltaics comes with a resource to meet this demand where the power generation by conventional sources has been increasing its costs. In Brazil the manufacturing of photovoltaic systems need to reach an industrial scale to reduce costs, technical conditions and the uncertainty of the extent that this market will reach in the coming years also bring difficulties to final consolidation of solar photovoltaic generation in Brazil. There are several uses for a system that generates electricity through solar modules, as in the battery bank and off and on grid systems. This work addresses the feasibility of a system of generation connected home network (on-grid) where the residence is a micro power generator to the utility, generating savings for the owner, analyzing factors such as consumption of the residence and the cost of energy

onsite is possible to design a system for full rebate of the energy bill. We conducted a feasibility study for the acquisition of a photovoltaic system for an average house in the city of Chapecó - Santa Catarina, using data obtained in the last 12 months has been designed a system to compensate for the energy consumed, the payback period investment was 11 years and 3 months, a value still high but feasible sustainably.

KEY-WORDS: micro generation, photovoltaics, economic viability

1. INTRODUÇÃO

A crescente demanda mundial por energia tem trazido desafios constantes para engenheiros e pesquisadores do mundo todo no desenvolvimento de tecnologias de geração de energia mais limpas e eficientes, dentre estas se destaca a energia solar fotovoltaica que funciona com a conversão da radiação solar diretamente em energia elétrica através de placas produzidas com materiais fotossensíveis que possuem a característica de conversão de energia radiante em energia elétrica através do efeito fotovoltaico, em sua grande maioria são feitas de silício enriquecido do tipo cristalino ou amorfo (VILLALVA, 2012).

A utilização desta energia conectada a rede está em crescimento, mas ainda precisa de esclarecimentos no âmbito técnico para instalação, e os custos envolvidos que deve ser levado em conta o consumo de energia elétrica, custos com a aquisição do equipamento, manutenção e verificação do retorno do investimento.

Ao analisarmos a quantidade de incidência solar anual sobre a Terra seria correspondente à captação de energia suficiente para 10 mil vezes o consumo mundial no mesmo período. O Brasil por se tratar de um país com dimensões continentais e ser localizar próximo a linha do Equador, apresenta um cenário ideal para aplicação de energia solar fotovoltaica por receber bastante exposição solar se comparado a países mais distantes da linha do Equador com menor exposição solar, porém ainda falta incentivos para investimentos nessa área, difusão deste tipo de tecnologia uma vez que a principal forma de geração de energia no Brasil que é a hidrelétrica vem se tornando mais cara com o passar do tempo devido as restrições ambientais e períodos maiores de escassez de chuvas levando a racionamento de energia.

Estudos reportam que até o ano de 2050 que 50% da geração de energia elétrica mundial virá de fontes de energias renováveis. A energia solar fotovoltaica irá corresponder a 25% desta demanda (CGEE, 2009). A energia solar fotovoltaica já é uma realidade de muitos países com o incentivo de políticas públicas a exemplo da Alemanha que já possui cerca de 35% da produção anual de energia solar fotovoltaica contando com uma forte política de tarifas fixas e incentivos para estimular a instalação de equipamentos em residências particulares e empresas (Instituto ECOD). A energia anual gerada por painéis fotovoltaicos ligados à rede elétrica vem aumentando sua disponibilidade e consolidando-se como uma forma eficiente e sustentável de obtenção de energia elétrica (LISITA, 2005).

No dia 17 de abril de 2012 a ANEEL aprovou a Resolução nº 482, as regras destinam-se ao acesso de microgeração e minigeração distribuída aos sistemas de rede distribuição de energia elétrica. A resolução criou também um sistema de compensação de energia elétrica, no qual a energia gerada pela unidade consumidora, através da microgeração ou minigeração distribuída, compensará o consumo de energia elétrica ativa. Estas regras são válidas para os consumidores que utilizam fontes incentivadas de energia. Conforme define a Resolução nº 482 (AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA, 2012b), a microgeração distribuída (com equivalente instalado menor ou igual a 100 kW) são centrais geradoras de energia elétrica que podem utilizar, dentre outras, a energia solar fotovoltaica conectada à rede de distribuição por meio de instalações de unidades consumidoras.

Com isso nota-se o crescimento deste mercado no Brasil, principalmente depois da Normativa nº 482. Um sistema fotovoltaico residencial trará economia para o proprietário, valorização do imóvel, além de estar contribuindo para o crescimento da energia renovável na matriz nacional (MME, 2009). O objetivo deste trabalho é de analisar a viabilidade em se instalar um sistema de energia on grid para uma residência média na cidade de Chapecó – SC.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 LEVANTAMENTO DOS DADOS

2.1.1 Descrição do local de estudos

O ambiente de estudo é identificado como uma residência familiar localizada em Chapecó, município do Oeste de Santa Catarina. Caracteriza-se por se localizar em uma região residencial livre de sombreamento de edificações altas no bairro Jardim Itália. Apresenta uma área disponível de 45m² para instalação de painéis fotovoltaicos que corresponde a parte da cobertura de telhas da residência com orientação para o norte.



Figura 1: Vista do Local de Estudo

Fonte: Google Maps

Longitude e Latitude: 26°87'35.5"S 51°31'24.6"W

Umidade relativa do ar: 71,82 %

Temperatura Média: 19,60 °C

2.1.2 Incidência Solar Diária

Através do software online SWERA (Solar and Wind Energy Resource Assessment) que reúne dados de recursos de energia solar e eólica de uma série de organizações internacionais como a NASA, NREL e a UNEP, é possível obter os dados de radiação solar de qualquer área desejada em um ambiente dinâmico orientado ao usuário que pode identificar qualquer região do globo através da ferramenta Google Maps.

2.1.2.1 Dados de radiação solar da área de estudo

Utilizou-se o banco de dados de Radiação Horizontal Global (Global Horizontal Irradiance) que apresenta dados de várias fontes internacionais, para este estudo a fonte foi do INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais) que é um instituto brasileiro dedicado à pesquisa e exploração espacial em território nacional.

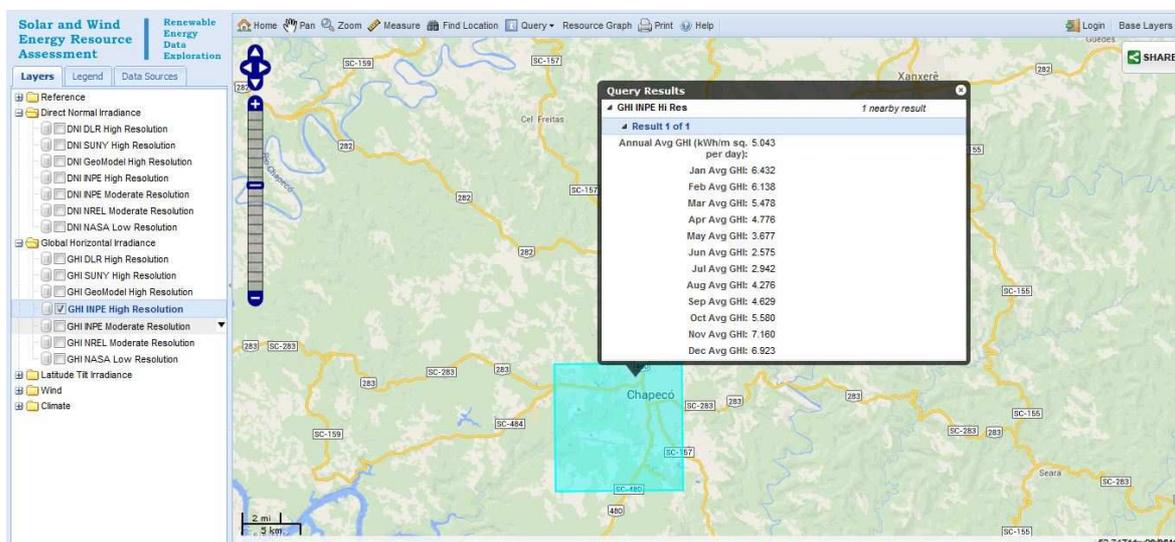


Figura 2: Dados Solarimétricos do Local de Estudo
Fonte: SWERA Solar Data.

2.2 ÂNGULO E ORIENTAÇÃO GEOGRÁFICA DOS PAINÉIS:

Para aproveitamento máximo do potencial de geração dos módulos fotovoltaicos é necessário instalá-los com uma orientação adequada onde se obtenha maior incidência solar. O local de estudo por se situar no hemisfério sul, apresenta uma orientação solar favorável ficando voltadas para o norte geográfico. O norte geográfico é definido a partir do norte magnético, através de uma bússola, valores de declinação magnética e valores obtidos através de softwares (RUTHER, 2004).

Com uma Latitude de $51^{\circ}31'24.6''W$, o ângulo ótimo para instalação de módulos fotovoltaicos na região de Chapecó – SC é de 22° conforme demonstrado na tabela 01.

Tabela 1: Escolha do ângulo perfeito de inclinação do módulo a partir do nível do solo.

Escolha do ângulo de inclinação do módulo	
Latitude Local	Ângulo recomendado
0° a 10°	$\alpha = 10^\circ$
11° a 20°	$\alpha = \text{latitude local}$
21° a 30°	$\alpha = \text{latitude local} + 5^\circ$
31° a 40°	$\alpha = \text{latitude local} + 10^\circ$
41° ou mais	$\alpha = \text{latitude local} + 15^\circ$

Fonte: Villalva e Gazoli, 2012.

2.3 EFICIÊNCIA DOS PAINÉIS

Os valores de eficiência dos módulos fotovoltaicos são importantes para escolha e o dimensionamento do sistema. O responsável pela aferição e certificação da eficiência dos módulos no Brasil é o INMETRO, um selo do Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica – PROCEL também é identificado nos módulos para atestar a eficiência do módulo. Para obter-se a eficiência dos módulos utiliza-se a seguinte equação:

$$\text{Eficiência} = \frac{\text{Potência de saída}}{\text{Potência de entrada}} = \frac{P_{mpp} / \text{área do módulo}}{1000W / m^2}$$

Para obter-se a energia produzida pelos módulos utiliza-se a seguinte expressão:

$$E_{produzida} = \text{Insolação} \left(\frac{Wh}{m^2 \text{ dia}} \right) \times \text{área do módulo} (m^2) \times \text{período} (\text{dias}) \times \text{Eficiência}$$

2.4 EFICIÊNCIA DO CONVERSOR

Para o cálculo de eficiência utiliza-se da relação de 1kW de corrente contínua são necessários 1kW de potencia nominal do inversor, um inversor padrão tem cerca de 95% de eficiência de conversão de corrente contínua para alternada (LISITA et al., 2005).

2.5 ANÁLISE DA ECONOMIA DE ENERGIA

Através da conta de energia elétrica é levantado o valor da tarifa paga pela energia inclusos tributos, que é consumida mensalmente em kWh e feito um média deste consumo. Assim, é dimensionado um sistema que possa fornecer esta energia através de dados de insolação do local e capacidade de produção de energia do sistema, calcula-se a economia gerada através da equação:

$$R\$eco = E\rho \times T$$

Onde:

$R_{\$eco}$ = Valor economizado no período (R\$):

E_p = Energia produzida pelos painéis fotovoltaicos (kWh);

T = Valor da tarifa paga pelo consumo (R\$).

2.6 PAYBACK

Será feito uma análise através do cálculo de um payback simples considerando os custos de aquisição do sistema, valor pago a concessionária de energia ao longo do período da coleta de dados que for de junho de 2013 a maio de 2014 e a vida útil estimada do sistema, não considerando custos com manutenção, taxas e juros, variações de valores ao longo do período de vida útil do sistema proposto, desta forma demonstrando o valor que será economizado ao longo do período.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 CRITÉRIOS PARA O DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO

Os dados para o dimensionamento foram coletados no período de junho de 2013 a maio de 2014 utilizando valores de radiação solar mensal; custo da energia no local de estudo; consumo mensal de energia elétrica; e a escolha e eficiência dos equipamentos.

3.1.1 Radiação Solar Mensal

Analisando o Gráfico 1 abaixo, nota-se uma diminuição considerável de radiação nos meses de inverno e um aumento durante o verão.

Horas de sol/dia (média mensal)

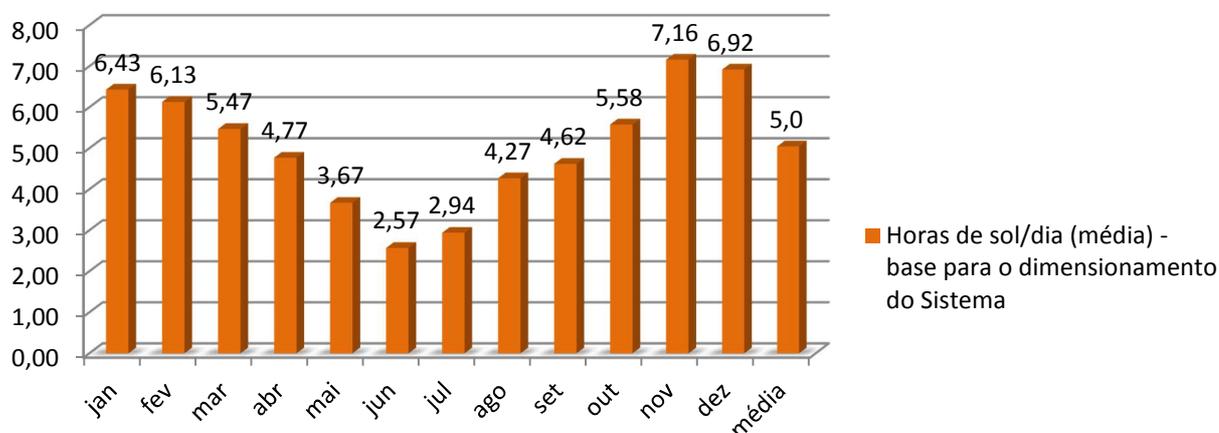


Gráfico 1: Irradiação Média Mensal

3.1.2 Custo da Energia Elétrica

A Tabela 2 abaixo demonstra os valores de tarifas de energia (TE) e de utilização do sistema (TU) pagos a concessionária de energia elétrica local.

Tabela 2: Tarifa da energia elétrica

Descriminação das Tarifas			
Item	Quantidade	Tarifa TE	Tarifa TU
Consumo 1	< 150 kWh	R\$ 0,208/kWh	R\$ 0,141/kWh
Consumo 2	> 150 kWh	R\$ 0,247/kWh	R\$ 0,168/kWh

3.1.3 Levantamento da Energia Elétrica Consumida Mensalmente

Verificou-se através da conta de energia elétrica o consumo mensal para os últimos 12 meses do local de estudo. Com um média de 259 kWh/mês será dimensionado um sistema para suprir a maior parte ou totalmente o consumo mensal de energia.

Energia Consumida

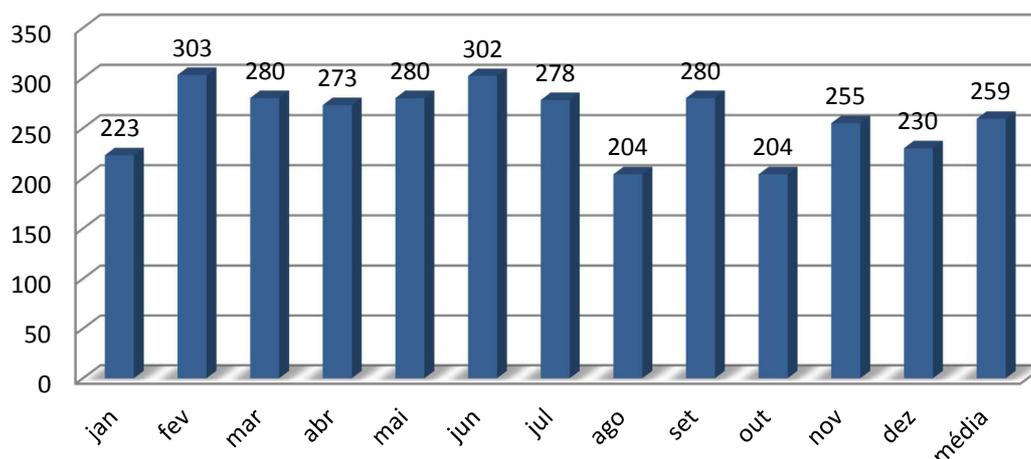


Gráfico 2: Energia Consumida

3.2 ESCOLHA DOS EQUIPAMENTOS

O sistema proposto para o projeto foi de 1,5kW de potencia que utiliza 6 módulos de 250W com 1,62m² de área e 15% de eficiência segundo o fabricante e 1 inversor de 1,5kW que será capaz de gerar 230 kWh/mês atendendo mais de 90% da demanda mensal da residência.

3.2.1 Módulos Fotovoltaicos

Utilizou-se para estudo de caso placas de silício policristalino de alta eficiência, 13-16% em média, que são mais indicadas para pequenas áreas que necessitam de grande aproveitamento por m² da seguinte fabricante:

Fabricante: RISEN
Modelo: SYP250P

Parâmetros elétricos	
Potência máxima em c.c. ($P_{m\acute{a}x}$)	250 W _p
Tensão de operação (V_{mpp})	30,3 V
Tensão de circuito aberto (V_{oc})	37,3 V
Corrente de operação (I_{mpp})	8,26 A
Corrente de curto circuito (I_{sc})	8,9 A
Dados gerais	
Tecnologia	Si Policristalino
Dimensões (L x H x E)	1640 x 992 x 50 mm
Peso (kg)	19,5
Células	60 x 6"

Tabela 3: Características dos Módulos Fotovoltaicos



Figura 3: Módulos Fotovoltaicos
Fonte: Solen Bioenergia

3.2.2 Inversor

Utilizou-se um inversor que tivesse uma potencia igual a 1,5kW para maior eficiência e melhor custo benefício já que os valores dos inversores aumentam de acordo com a potencia do inversor.

Fabricante: B&B Solar

Modelo: SF 1600TL de 1,5 kW de potência nominal em c.a.

Entrada (CC)	
Potência máxima em c.c. (@ $\cos\phi=1$)	1.700 W
Tensão máxima de entrada em c.c.	550 V
Faixa de tensão admissível	120 – 500 V
Tensão nominal em c.c.	360 V
Corrente máxima de entrada	14 A
Categoria de sobretensão	II
Saída (CA)	
Potência nominal de saída c.a.	1.600 W
Tensão nominal de trabalho em c.a.	220 – 240 V
Faixa de tensão admissível	176 – 276 V
Gama de trabalho de frequência de rede	60 Hz

Tabela 4: Características do Módulo Fotovoltaico



Imagem 4: Inversor de Energia

Fonte: Solen Bioenergia

3.3 ECONOMIA DE ENERGIA

3.3.1 Capacidade de Geração de Energia Elétrica do Sistema Proposto

Através dos índices de radiação média constatou-se que o sistema proposto será capaz de gerar 2.763,9 kW ao longo do período de junho de 2013 a maio de 2014 com uma média mensal de 230 kWh/mês. Considerando a tarifa de 0,42 R\$/kWh cobrado pela concessionária local o sistema trará uma economia de R\$ 1.160,83 ao longo do período de 1 ano.

Energia Média Gerada pelo Sistema (kWh/mês)

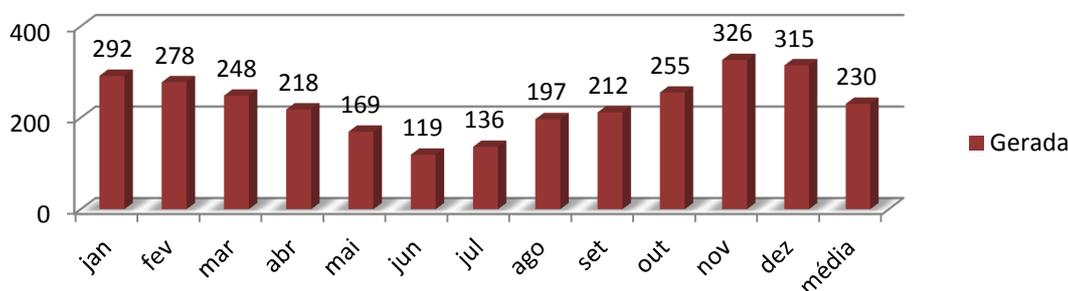


Gráfico 4: Energia Mensal Gerada pelo Sistema

3.3.2 Comparativo entre Consumo e Geração de Energia

O gráfico 5 abaixo demonstra o consumo de energia que somaram 3.098,80 kW ao longo do período de estudos com média de 259 kWh/mês pela energia a ser gerada pelo sistema proposto. O gasto com energia no período totalizou R\$ 1.301,50. Verificou-se nos meses de verão uma geração maior do que a que foi consumida, esta energia fica como crédito ao consumidor podendo ser utilizada em até 36 meses após a fatura da geração de acordo com a resolução nº 482 da ANEEL, porém verifica-se um consumo maior do que a geração nos meses de inverno quando esta energia em forma de crédito é compensada.

Energia Consumida x Gerada (kWh/mês)

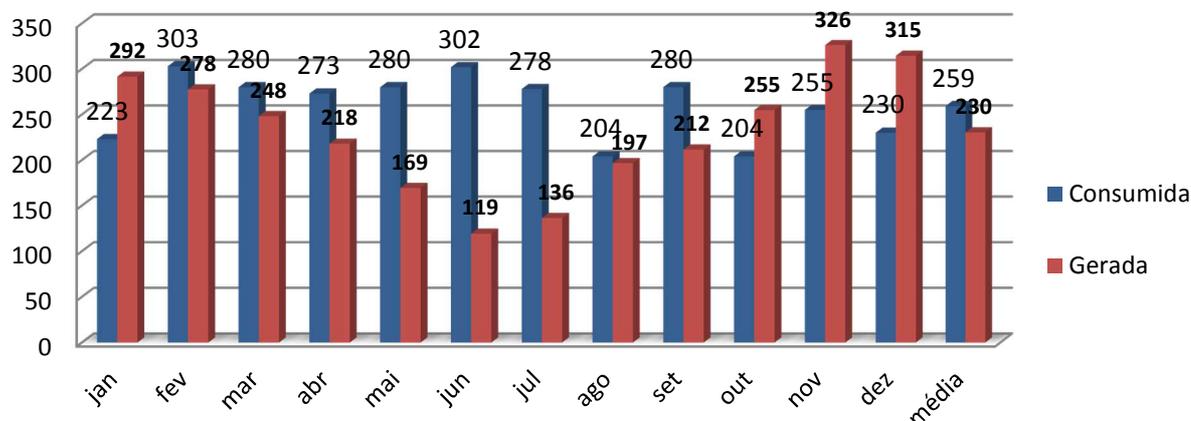


Gráfico 5: Energia Consumida x Gerada

3.3.3 Custos do Sistema

Os custos do sistema foram de R\$ 5.200,00 para compra dos 6 módulos fotovoltaicos de 250W de potência, R\$ 3.120,00 para compra do inversor de 1,5kW de potência e custos com projeto e instalação somaram R\$ 4.800,00, totalizando R\$ 13.120,00 para aquisição do sistema.

3.4 ANÁLISE DA VIABILIDADE ECONOMICA DO SISTEMA

Com uma economia de energia de R\$ 1.160,83 que corresponde a 88% do total consumido de R\$ 1.301,50 pagos a concessionária local ao longo do período de coleta de dados do estudo de caso, foi possível analisar a viabilidade do sistema comparando com o valor de aquisição que totalizou em R\$ 13.120,00.

Os módulos garantem 100% de geração máxima por 10 anos, decaindo para cerca de 80% após 25 anos de utilização, analisando uma condição ótima de exportação de energia para a concessionária, a compensação dos créditos ao longo do período e o valor economizado obteve-se um tempo de retorno do investimento de 11 anos e 3 meses.

4. CONCLUSÃO

É viável o investimento em um sistema de geração de energia fotovoltaica residencial levando em conta que a energia elétrica tende a ficar cada vez mais cara e o sistema tendo sua vida útil de cerca de 30 anos sendo atrativo os consumidores tornarem-se micro geradores de energia. A taxa de radiação solar diária na maior parte das regiões brasileiras fica próxima aos 5.000 Wh/m²/dia, trazendo um cenário muito favorável à utilização da energia solar fotovoltaica. Após a normativa nº 482 da ANEEL de 2012 abriu-se campo para investimento em energia renovável através de micro e mini geração, tornando acessível à aquisição de um sistema fotovoltaico ou eólico para trabalhar on-grid com sistema de compensação de energia, onde o consumidor de energia possa gerar sua própria energia e jogá-la na rede de energia elétrica ao mesmo

tempo. A energia solar fotovoltaica mostra-se viável para investimentos no Brasil demonstrando um elevado potencial energético e uma boa alternativa para ampliar oferta de energia e a matriz energética nacional através de uma fonte de energia sustentável. A aquisição de um sistema de energia fotovoltaica para uma residência média ainda apresenta um elevado custo a inexistência de tecnologia nacional para fabricação dos equipamentos e falta de linhas de financiamento para aquisição de equipamentos importados, os quais são utilizados atualmente pela maioria das empresas que estão procurando investir e trabalhando na área, ainda assim nota-se uma diminuição nos custos dos a medida que países como a China aumentam a produção de módulos e inversores solares. Considerando a necessidade cada vez maior de energia e as restrições ambientais para geração convencional de energia a exemplo da hidrelétrica no Brasil, os custos com energia elétrica tendem a aumentar ao mesmo passo que o custo da tecnologia para produção de equipamentos de energia fotovoltaica diminui. Demonstra ser um mercado viável economicamente, atrativo de investimentos, ao mesmo tempo em que reduz impactos ambientais e prioriza o desenvolvimento sustentável.

5. REFERENCIAS

ANEEL (AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA). **Atlas de energia elétrica do Brasil**. 3. ed. Brasília: ANEEL, 2008. Disponível em:<http://www.aneel.gov.br/visualizar_texto.cfm?idtxt=1689>. Acesso em 06 de junho de 2014.

CENTRO DE GESTÃO DE ESTDOS ESTRATÉGICOS (CGEE). **Energia Solar Fotovoltaica no Brasil**. Propostas para Ação. Brasília, DF. Jun/2009. 20p.

CGEE. Energia Solar Fotovoltaica no Brasil. Propostas para Ação. Brasília, DF. Jun/2009. 20p.

INSTITUTO ECOD. **Panorama da Sustentabilidade Energética Mundial**. Mar/2013. Disponível em: <http://www.ecodesenvolvimento.org/listagem_arquivo?mes=11&ano=2013>. Acesso em 23 de junho de 2014.

LISITA, O. **Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede**:Estudo de caso – 3 kWp instalados no estacionamento do IEE-SP. São Paulo: USP, 2005. 87 p. Tese (Mestrado) – Instituto de Física, Programa de Mestrado em Energia, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005. Disponível em: <<http://almashriq.hiof.no/lebanon/600/610/614/solar-water/idrc/01-09.html>>. Acesso em: 11 de maio de 2014.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA (BRASIL). **Estudo e propostas de utilização de geração fotovoltaica conectada à rede, em particular em edificações urbanas**. Brasília: MME, 2009.

RUTHER, R. **Pré-dimensionamento de Sistema Solar Fotovoltaico: Estudo de caso do edifício-sede do CREA-SC**. In: Conferência Latinoamericana de Construção Sustentável, 1.; Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído,10., 2004, São Paulo - SP. I CLACS; X ENTAC, 2009.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA (BRASIL). Estudo e propostas de utilização de geração fotovoltaica conectada à rede, em particular em edificações urbanas. Brasília: MME, 2009.

Resolução normativa nº 482. Disponível em:
<<http://www.aneel.gov.br/cedoc/bren2012482.pdf>>. Acesso em 08 de julho de 2014.

VILLALVA, M. G.; GAZOLI, J. R. Energia solar fotovoltaica: conceitos e aplicações. São Paulo: Érica, 2012.