DOSSIÊ

ANÁLISE TÉCNICO-FINANCEIRO DE UM SISTEMA FOTOVOLTAICO CONECTADO À REDE NA REGIÃO AMAZÔNICA

TECHINCAL-FINANCIAL ANALYSIS OF A GRID-CONNECTED PHOTOVOLTAIC POWER SYSTEM IN THE AMAZON REGION

Tatiane Silva Costa[17]
Manoel Roberval Pimentel Santos[18]

Submissão: 15/07/2017 Revisão: 25/07/2017 Aceite: 18/02/2018

Resumo: Em 2012, a aprovação da Resolução Normativa nº 482, passou a regulamentar o consumidor brasileiro permitindo gerar a própria energia elétrica a partir de fontes renováveis. Nesse contexto, elaborou-se um projeto para a implantação no município de Santarém, Pará, em uma residência de classe média cujo consumo médio mensal é de cerca de 440 kWh/mês, com todos os cálculos realizados, concluiu-se a viabilidade técnica e financeira do sistema de acordo com o que é permitido na legislação no Brasil.

Palavras chave: Energia. Projeto. Renováveis. Viabilidade.

Abstract: In 2012, the approval of Normative Resolution n° 482, began to regulate the Brazilian consumer allowing to generate the own electric energy from of renewable sources. In this context, a project was prepared for the implementation in the municipality of Santarém, Pará, in a middle-class residence whose average monthly consumption is around 440 kWh / month, with all calculations made, it was concluded the technical and legal feasibility of the system in accordance with what is allowed in Brazilian legislation.

Keywords: Energy. Project. Renewables. Feasibility.

[17] Bacharel em Ciência e Tecnologia. Universidade Federal do Oeste do Pará. E-mail: tati_costa@rocketmail.com
[18] Professor Doutor da Universidade Federal do Oeste do Pará. E-mail: proroberval@gmail.com

Introdução

O Brasil está situado numa região com incidência mais vertical dos raios solares. Esta condição favorece elevados índices de irradiação em quase todo o território nacional. Adicionalmente, a proximidade à linha do equador faz com que haja pouca variação na incidência solar ao longo do ano. Dessa forma, mesmo no inverno pode haver bons níveis de irradiação. Essas condições conferem ao país algumas vantagens para o aproveitamento energético do recurso solar (EPE, 2016).

Mas a Europa é a principal região do mundo em termos de capacidade instalada acumulada, com 81,5 GW em 2013, o que representa 59% da capacidade do SFV acumulado do mundo. No entanto, os países da Ásia-Pacífico estão crescendo rapidamente, com 40,6 GW instalados, seguidos pelos Estados Unidos, com 13.7 GW (EPIA, 2014).

A maior parte das plantas em operação está localizada na Espanha (2,3 GW). No entanto, nos últimos o país deixou de investir na fonte. Em 2014, quatro projetos entraram em operação, totalizando 0,9 GW. Esses projetos foram implementados apenas nos EUA e Índia. Ao final de 2014, outros projetos em fase de construção foram observados no Marrocos (510 MW), África do Sul (300 MW) e China (50 MW) (REN21, 2015).

No que se refere aos sistemas conectados à rede no Brasil, associados a unidades consumidoras, alguns projetos pilotos começaram a ser instalados no país no final dos anos 90, principalmente em universidades e centros de pesquisa (Pinho e Galdino, 2014).

Em 2012 essa modalidade de geração foi regulamentada pela ANEEL, através da Resolução Normativa n° 482/2012, que estabelece as condições gerais para o acesso de micro e minigeração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica, e o sistema de compensação de energia elétrica (*net metering*). Como em qualquer processo de difusão de inovações, logo após a regulamentação houve pouca adoção dos sistemas de geração própria de

energia, mas o número de adotantes vem crescendo de modo sustentado, à medida que a população toma conhecimento dessa possibilidade e que se aumenta a viabilidade econômica do investimento. Ao final de 2015, havia o registro de 1675 sistemas fotovoltaicos conectados sob o regime da REN 482, somando 13,4 MW (ANEEL, 2016).

Dentro deste contexto, elaborou-se um projeto para a implantação de um SFCR no município de Santarém, Pará, em uma residência de classe média cujo consumo médio mensal é de cerca de 440 kWh/mês, para que fosse possível realizar a análise de viabilidade técnica e financeira do sistema na região.

Materiais e métodos

Esta pesquisa de natureza tecnológica, no qual é uma ciência eminentemente aplicada, seja para conhecimentos em pesquisas de natureza básicas, buscar conhecimentos mais específicos, ou produzir artefatos úteis e obter lucros. Quanto aos procedimentos, a pesquisa se classifica, predominantemente, como Estudo de Caso, pois visa conhecer em profundidade o como e o porquê de uma determinada situação que se supõe ser única em muitos aspectos, procurando o que há nela de mais característico e essencial (Gil, 2007).

Na primeira etapa foi elaborado o dimensionamento do sistema através de pesquisa de campo, elaboração do projeto elétrico e levantamento dos preços de todos os componentes para se instalar um sistema fotovoltaico conectado à rede, através do contato direto com fornecedores integradores, seja por e-mail ou telefone. Para este levantamento foi considerado o mínimo de três fontes por item, quando possível.

Na segunda etapa foram determinados os cálculos da viabilidade financeira com o payback simples, taxa interna de retorno e outros métodos de análise financeira.

Para o estudo da viabilidade de implantação de um SFCR no município de Santarém, no estado do Pará, os dados utilizados referem-se a uma residência de classe média. Para elaboração do projeto foram consultadas a REN 687 – de 24 de Novembro de 2015. Estabelece as condições gerais para o acesso de microgeração e minigeração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica; PRODIST - Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional. Módulo 3 – Acesso ao Sistema de Distribuição; CELPA - NT.31.001.04 - Fornecimento de Energia Elétrica em Baixa Tensão; CELPA - NT.31.020.01 - Conexão de Microgeração Distribuída ao Sistema de Baixa Tensão; NBR 5410 – Instalações Elétricas em baixa tensão.

Resultados e discussão

Projeto do sistema fotovoltaico conectado a rede

No projeto o consumo médio da residência é de 400 kWh por mês que pode ser visto na Tabela 1 junto com os dados do sistema, com ligação Residencial Pleno bifásica de Baixa Tensão, 220/127 V no caso da CELPA, tarifação convencional.

Tabela 1 - Dados do sistema conectado à rede

Cidade:	Santarém / Pa
Localização (lat/long):	-2,44300 / -54,70800
Consumo médio:	440kwh
Percentual a ser gerado:	90%
Potência instalada:	3120 Wp
Painel:	Painel Solar Fotovoltaico 260Wp
Inversor:	Inversor (3.000W)
Produção média:	386 Kwh/mês | 4642 Kwh/ano
Inclinação:	2°
Azimute:	180° (N)
Eficiência estimada:	77,0%
Cobertura solar:	87,73%

Fonte: Próprio autor, 2016.

A partir da via pública há derivação da rede secundária – rede com tensões de 127/220 V - de distribuição da CELPA por via aérea para a residência em questão. O ramal de ligação e entrada é de fornecimento bifásico, com cabo de alumínio multiplexado triplex de 16 mm². De acordo com a Celpa (2014), a conexão entre a rede e a residência deve possuir as seguintes especificações, de acordo com padrões exigidos pela concessionária em sua normativa para fornecimento de energia elétrica em baixa tensão:

- ✓ Altura mínima de 3,5 m entre o ramal de ligação e o solo;
- ✓ Diâmetro nominal eletroduto de aço galvanizado de 1 ½";
- ✓ Condutor de aterramento aço cobreado de 10 mm²;
- ✓ Diâmetro nominal eletroduto aterramento de ½";
- ✓ Caixa padrão polimérica polifásica para proteção do medidor bidirecional instalada no muro entre a propriedade e a via pública;
- ✓ Caixa padrão para proteção do disjuntor e do Dispositivo de Seccionamento Visível (DSV);
- ✓ Disjuntor termomagnético de 60 A.

Dimensionamento do sistema

Os módulos fotovoltaicos serão conectados em série a fim de produzir a mínima corrente em uma tensão elevada, evitando a especificação de cabos de maior secção.

O inversor específico para sistemas conectados à rede foi dimensionado para suportar a tensão de entrada do gerador fotovoltaico dentro de sua faixa ótima de trabalho. Este inversor possui a função de gerenciar e controlar a onda de saída, sincronizando-a com a rede local, além de proteger o sistema fotovoltaico e a rede elétrica com a detecção de ilhamento.

A proteção contra curto circuito deverá ser coordenada com a proteção geral da unidade consumidora, através de disjuntor termomagnético, localizado eletricamente antes da medição. O DPS deve ser instalado entre a carga e o

inversor, a fim de proteção do circuito, desviando a alta corrente proveniente de um surto para a terra e limitar as sobretensões.

O Sistema de Proteção de Descargas Atmosféricas deverá proteger a área onde o SFCR será instalado, minimizando os impactos das descargas atmosféricas no sistema, que podem ocasionar incêndios, explosões, danos material e risco à vida. Este sistema de proteção deverá estar conectado ao sistema de aterramento para que a descarga seja dissipada no solo (PINHO *et al.*, 2014).

Viabilidade financeira do projeto

O setor comerciário do município de Santarém ainda não conta com lojas especializadas na venda de equipamentos próprios para sistemas de energias renováveis.

Os sistemas cotados para esta instalação são considerados *TurnKey* (Toyama; Junior e Almeida, 2014), onde o fornecedor entregará o sistema funcionando, adequado a todas as normas exigidas e regularizado junto à concessionária local de energia. A Tabela 2 abaixo está com valores atualizados de julho de 2016 do orçamento para toda instalação.

Tabela 2 - Orçamento do Sistema

Item	Valor unitário	td	T otal (R$)	R $/kwp	Descrição
1	**R$ 959,00**	**2**	**1 1.508,00**	**3. 688,46**	**Painel Solar 260Wp**
2	**R$ 10.290,81**		**1 0.290,00**	**3. 290,07**	**Inversor (3.000W)**
3	**R$ 3.078,70**		**3. 078,70**	**9 86,76**	**Suporte para fixação**
4	**R$ 2.250,00**		**2. 225,00**	**71 3,00**	**Material de instalação**
5	**R$ 2.537,50**		**2. 537,50**	**81 3,30**	**Serviço de instalação**
6	**R$ 5.750,00**		**5. 750,00**	**1. 842,94**	**Projeto e regularização**

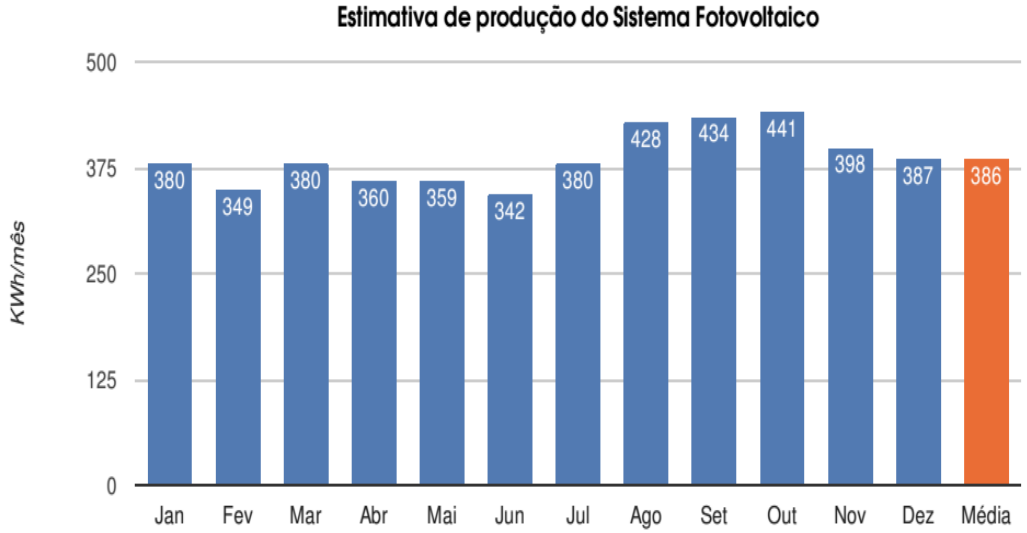
Subtotal		**32.209,2**	**10.323,46**	
Mão de obra	**R$ 1.660,00**	**3.320,00**	**1.064,10**	**Equipe instaladora**
Total		**35.529,20**	**11.387,56**	

Fonte: Próprio autor, 2016.

Estão inclusos no orçamento cabos e eletrodutos CC e CA até 20 metros, DPS, disjuntores CA, chave seccionadora CC, conectores, parafusos e miscelâneas de instalação.

A Figura 1 apresenta dados da produção de energia ao longo dos 12 meses, estimativa retirada com base nos números de radiação solar do INPE e LABSOLAR em 2016.

Figura 1 - Dados de Irradiação do INPE (Instituto Nacional de Pesquisa Espacial) e LABSOLAR (Laboratório de Energia Solar) - Brasil



Fonte: Neosolar, 2016.

Dados contábeis da instalação do sistema

A taxa de energia utilizada é a tarifa B1 residencial convencional (sem ponta), bandeira verde da Rede da Concessionária Elétrica do Pará, de R$/kWh$0,565540 mais impostos.

O sistema produz 440 kWh/mês e a tarifa de energia com impostos de R$ 0,89935 por kWh, o fluxo de caixa mensal representado no gráfico 1 será de R$ 356,12. Com isto, o investimento de R$ 27.718,39 terá o *payback* simples R$ 35.529,20 de aproximadamente 8 anos, espaço de tempo razoável, visto que os módulos solares possuem uma vida útil de 25 anos e o inversor de 10-15 anos, de acordo com o fabricante.

Para a comparação do investimento em um Sistema Fotovoltaico Conectado a Rede com a poupança foi utilizada como Taxa Mínima de Atratividade (TMA) a taxa de rendimento da poupança do Banco Central do Brasil, de 0,62710%a.m.

Estimando o fluxo de caixa ao longo de 300 meses (25 anos) de vida útil do sistema, com a troca do inversor após 180 meses (15 anos), e desconsiderando mudanças de bandeira, inflação e variação na tarifa de energia, encontram-se nos cálculos os seguintes números:

Valor Liquido Presente(VLP)= R$ 12.553,59

Taxa Interna de Retorno(TIR)= 0,9415 %

O VLP positivo e a TIR maior que a TMA demonstram a viabilidade do projeto de SFCR comparando-se ao investimento na poupança como detalhado na Tabela 3.

Tabela 3 - Dados de comparação com a poupança

Preço energia sem imposto	R$ 0,565540
ICMS	25,00000%
COFINS	6,02120%
PIS	1,31270%
ICMS (energia+COFINS+PIS)	R$ 0,60702
Preço com ICMS	R$ 0,80935
Geração mensal (kWh)	440
Economia mensal	R$ 356,12
TMA (poupança)	0,62710%
Investimento	R$ 35.529,20
Vida útil do sistema (meses)	300
VP Investimento	-R$ 35.529,20
VP economia na conta	R$ 48.082,79

VPL	R$ 12.553,59
TIR	0,9415 %

Fonte: Próprio autor, 2016.

O sistema com investimento de R$ 35.529,20 com parcela mensal de R$ 662,93 durante 260 meses. A troca do inversor é realizada após o fim de sua vida útil. O valor presente líquido desta opção é positivo, demonstrando a vibialidade do projeto. O *payback* simples é 189 meses, levando em consideração o prazo considerado neste estudo como a vida útil dos equipamentos, o sistema se paga em 15,7 anos. A Tabela 4 aponta dados de simulação do financiamento do sistema.

Tabela 4 - Dados para comparação com o financiamento

Preço energia sem imposto	R$ 0,565540
ICMS	25,00000%
COFINS	6,02120%
PIS	1,31270%
ICMS (energia+COFINS+PIS)	R$ 0,60702
Preço com ICMS	R$ 0,80935
Geração mensal (kWh)	440
Economia mensal	R$ 356,12
TMA (poupança)	0,62710%
Investimento	R$ 35.529,20
Vida útil do sistema (meses)	300
Juro do financiamento	1,85000%
Prazo financiamento	260
PMT	-R$ 662,93
VP Investimento	-R$ 27.404,56
VP economia na conta	R$ 48.082,79
VPL	R$ 20.678,24

Fonte: Próprio autor, 2016.

Considerações finais

Com todos os cálculos realizados, conclui-se a viabilidade técnica e legal do sistema de acordo com o que é permitido na legislação no Brasil, o sistema

residencial de 3,12 kW proposto se mostrou viável financeiramente no município de Santarém.

Apesar da viabilidade para esse sistema, ele se limita em um consumo mínimo onde ultrapassando o sistema passa a se tornar inviável economicamente, isso acontece pelo aumento não linear do preço do sistema pela potência nominal do mesmo, quanto maior o sistema menor será a relação custo/potência (R$/Wp). Ao diminuir pela metade os valores de produção energética e estimar o custo deste novo SFCR com base nos preços obtidos, nota-se que o SFCR seria inviável. Casas de alto padrão e estabelecimentos comerciais com elevado consumo de energia são lugares adequados para utilização do sistema.

Referências

ANEEL. **Geração distribuída amplia número de conexões**. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/noticias/Output_Noticias.cfm?Identidade=9044&id_area=> Acesso em: 25 julho de 2017.

CELPA. **NT.31.001.04 - Fornecimento de Energia Elétrica em Baixa Tensão**. 2014.

EPE. Energias Renováveis. Rio de Janeiro, 2016. ISBN 978-85-60025-06-0

EPIA, European Photovoltaic Industry Association. ***Global Market Outlook for Photovoltaics 2014-2018.***2014. Disponível em:< http://www.epia.org/news/publications/> Acesso em: 26 fev. 2015.

GIL, A.C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4.ed. são Paulo: Atlas, 2007.
PINHO, João Tavares *et al*. **Sistemas Híbridos – Soluções Energéticas para a Amazônia**. Ministério de Minas e Energia. 1ª Edição. Brasília, 2008.

PINHO, J. T.; GALDINO, M. A. **Manual de Engenharia para Sistemas F**otovoltaicos. [s.l: s.n.].

REN21. Renewables 2015 - Global Status Report, 2015.

TOYAMA, Alain Heizo; JUNIOR, Natalino das Neves; ALMEIDA, Nelson Geraldo. **Estudo de Viabilidade Econômica da Implantação de Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede Elétrica de Energia para Diferentes Regiões no Estado do Paraná.** 113 p. Monografia. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Departamento Acadêmico de Eletrotécnica – DAELT. Curitiba. 2014.