

PROPOSTA DE PROJETO RESIDENCIAL PARA UM SISTEMA DE MICROGERAÇÃO FOTOVOLTAICA CONECTADA À REDE ELÉTRICA

ANE C. M. OLIVEIRA, ANA L. S. LIMA, LUÍS G. M. OLIVEIRA, MARCOS V. E. XAVIER

*Graduação em Engenharia Elétrica, Depto. de Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Minas Gerais
Av. Antônio Carlos, 6627, Pampulha, 31270-901, Belo Horizonte, MG, BRASIL*

*E-mails: anemacedo_12@hotmail.com, luizasathler@gmail.com,
luís.monteiro@gmail.com, mveloy@gmail.com*

Abstract— This paper presents a project proposal for the installation of a microgeneration grid-connected photovoltaic system, in a residence in Montes Claros/MG, based on the compensation system proposed in the Normative Resolution of ANEEL nº 482 and 687. For set how will it be the microgenerator, it was necessary to determined where the system is going to be installed, to evaluate the physical conditions. Specifying the most appropriate equipment, how the photovoltaic modules must be connected and which is the best position. For this, it was necessary a study on the climatic condition of the region, using the SWERA database, through INPE, will be provide the average of solar radiation index. The dimensions of the photovoltaic system are made through the PVsyst software. The same presents a very diverse database, being possible to perform various simulations with different combinations among photovoltaic panels and inverters, and shading studies of the installation. Finally, the studies of cost estimates, VPL, TIR and payback time of the system are made, analysing the consequences of the increase in electricity tariff.

Keywords— Microgeneration grid-connected photovoltaic system, Shading, VPL, TIR, *Payback time*, Electricity tariff.

Resumo— Este trabalho apresenta uma proposta de projeto para a instalação de um sistema de microgeração fotovoltaica conectada à rede elétrica, numa residência em Montes Claros/MG, baseado no sistema de compensação proposto nas resoluções normativas da ANEEL nº 482 e 687. Para definir como será o microgerador foi preciso conhecer o local de instalação e avaliar as condições físicas. Especificando os equipamentos mais adequados, como os módulos fotovoltaicos devem ser conectados e qual o melhor posicionamento. Para isto, foi necessário um estudo quanto à condição climática da região, utilizando o banco de dados do SWERA, por meio do INPE, para utilização dos índices de radiação média solar. O dimensionamento do sistema fotovoltaico foi realizado pelo software PVsyst. O mesmo apresenta um banco de dados bastante diversificado, sendo possível realizar diversas simulações com diferentes combinações entre painéis e inversores fotovoltaicos, além de estudos de sombreamento do local de instalação. Por fim, são feitos os estudos das estimativas de custos, VPL, TIR e *payback time* do sistema, analisando as consequências do aumento da tarifa de energia elétrica.

Palavras-chave— Microgeração fotovoltaica conectada à rede elétrica, Sombreamento, VPL, TIR, *Payback time*, Tarifa de energia elétrica.

1 Introdução

A energia gerada pelo sol é uma das mais promissoras alternativas para a diversificação da matriz energética. Além da energia fotovoltaica, o sol possibilita a existência de praticamente todas as demais fontes. Esta energia está sendo aproveitada de forma crescente para produção de energia elétrica através de módulos fotovoltaicos. Em uma época em que os principais processos de geração e transporte da eletricidade estão escassos e o custo da energia elétrica está aumentando, esta descoberta nunca foi tão importante quanto agora.

O objetivo deste trabalho visa o crescimento da produção de eletricidade pelos geradores fotovoltaicos, consistindo numa proposta de projeto para a instalação de um sistema de microgeração fotovoltaica conectada à rede elétrica, numa residência em Montes Claros/MG, baseada no sistema de compensação de acordo com as resoluções normativas da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) nº 482 de 17 de abril de 2012 e a nº 687 de 24 de novembro de 2015.

A conversão da energia solar diretamente em eletricidade, em um processo limpo, silencioso e realizado no próprio local do consumo vai ao encontro de uma grande aspiração da sociedade moderna. A pro-

dução de eletricidade por meio de geradores fotovoltaicos já é, hoje, uma realidade técnica e econômica que se espalha pelo mundo e que começa a se difundir pelo Brasil (EPIA, 2014).

O Brasil, considerando o nível elevado de radiação solar, a sua extensão territorial e as características de dispersão de sua população, apresenta condições propícias para ser um grande usuário dessa tecnologia.

2 Regulamentação Brasileira

Desde o dia 15 de dezembro de 2012 as distribuidoras brasileiras estão aceitando a solicitação de acesso de micro e minigeradores distribuídos que utilizem o sistema de compensação. Esta condição foi estabelecida na Resolução Normativa nº 482 de 17 de abril de 2012, e na nº 687, lançada em novembro de 2015 a fim propor melhorias e facilitar o acesso à concessionária, que definiram os conceitos de micro e minigeração distribuída e do sistema de compensação (ANEEL, 2012) (ANEEL, 2015):

- **Microgeração:** central geradora com potência menor ou igual a 75 kWp.
- **Minigeração:** central geradora com potência maior que 75 kWp, mas menor que 3 MWp.
- **Sistema de compensação:** é o sistema no qual a energia ativa injetada com a microgeração é ce-

dida à distribuidora local e posteriormente compensada com o consumo de energia elétrica ativa, passando a unidade consumidora a ter um crédito em quantidade de energia ativa a ser consumida por um prazo de 60 meses.

3 Modelagem e Dimensionamento do SFCR Residencial em estudo

Para o melhor aproveitamento do recurso solar, visando garantir o bom funcionamento da instalação, menor investimento na implantação do sistema, além de uma maior economia ao final do mês, é necessário uma análise das condições da radiação meteorológica e dos ângulos de instalação da localidade em estudo, podendo assim, definir a inclinação e a orientação mais adequadas, buscando promover um maior período diário de insolação sobre o conjunto de painéis e consequentemente maior produção de energia.

Para o estudo da radiação solar na cidade de Montes Claros, foram utilizados dados do SWERA (*Solar and Wind Energy Resource Assessment*), que em parceria com o INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais), destina-se a informar dados da irradiação solar, do vento e climatológicos em qualquer ponto do território brasileiro (Swera, 2015).

Para a localidade em estudo, o SWERA forneceu o resultado apresentado na Figura 1. Nesta figura, é possível perceber um melhor aproveitamento da radiação solar quando a superfície receptora está com inclinação igual à latitude local. Este efeito é mais perceptível no período de outono e inverno, onde o sol se encontra ao norte do equador, ou seja, está mais distante do local, sofrendo maiores interferências, o que provoca uma menor irradiação.



Figura 1. Irradiação Solar em Montes Claros.

A partir destes dados, pode-se dizer que a média de irradiação global no plano horizontal diária anual em Montes Claros é igual a 5,55 kWh/m².dia, já a média de irradiação em plano com inclinação igual à latitude local é 5,84 kWh/m².dia.

Para o estudo dos ângulos de instalação do local foram feitas medições no telhado, a fim de calcular a área disponível e a inclinação do telhado, observou-se também possíveis locais com sombreamento. O local em estudo apresenta coordenadas de 16,74° sul de latitude e longitude de 43,88° oeste, com um ângulo azimutal de 171° para o norte. O telhado apresenta uma

área disponível sem sombras de 40 m², com inclinação de 16,8° com a horizontal. Na Figura 2 estão apresentadas fotos retiradas do local.



Figura 2. Telhado da residência em estudo.

3.1 O Gerador Fotovoltaico

É possível definirmos uma estimativa inicial de produção utilizando a equação 1 abaixo.

$$Geração \left(\frac{kWh}{mês} \right) = Pot \text{ tot dos módulos} (kWp) \times \text{nível médio de radiação solar} \left(\frac{h}{dia} \right) \times \text{eficiência global} \times 30 \text{ dias} \quad (1)$$

A eficiência global ou *performance ratio* (PR) é um fator que leva em conta as perdas nos módulos fotovoltaicos, no inversor, na instalação, etc. e que poderá ser otimizado e calculado pelo software PVsyst. Apresenta valor típico de 0,75 a 0,8. Para cálculos preliminares pode ser adotado o valor médio de 0,775.

A estimativa da potência necessária para tal sistema pode ser feita, verificando, em média, quanto será a geração mensal em kWh para 1kWp.

$$Geração \text{ mensal} = 1 \times 5,55 \times 0,775 \times 30 = 129 \text{ kWh/mês}$$

A Tabela 1, apresenta o consumo retirado do histórico das contas de energia fornecido pela concessionária da residência em estudo em kWh para cada mês do ano de 2014 e o seu respectivo valor pago, assim como o custo referente a 1 kWh. A residência em estudo é de um consumidor residencial bifásico.

Tabela 1. Consumo da residência em estudo no ano de 2014.

Mês	Consumo	Preço referente a 1 kWh	Preço da conta de luz
Janeiro	464 kWh	R\$ 0,5274	R\$ 267,67
Fevereiro	369 kWh	R\$ 0,5273	R\$ 217,53
Março	360 kWh	R\$ 0,5284	R\$ 213,18
Abril	276 kWh	R\$ 0,5458	R\$ 173,43
Mai	340 kWh	R\$ 0,6034	R\$ 232,51
Junho	234 kWh	R\$ 0,6078	R\$ 165,02
Julho	336 kWh	R\$ 0,6101	R\$ 232,34
Agosto	232 kWh	R\$ 0,5893	R\$ 159,51
Setembro	283 kWh	R\$ 0,6008	R\$ 192,82
Outubro	266 kWh	R\$ 0,6015	R\$ 182,79
Novembro	345 kWh	R\$ 0,6101	R\$ 237,83
Dezembro	264 kWh	R\$ 0,5981	R\$ 180,69
Média	314 kWh	R\$ 0,5792	R\$ 204,61

Segundo a resolução normativa nº 482 da ANEEL, os consumidores que aderirem ao sistema de compensação e gerarem sua própria energia, devem pagar o custo de disponibilidade¹, conforme a Resolução Normativa nº 414 da ANEEL. Nos consumidores bifásicos, este valor é equivalente a um consumo de 50 kWh por mês. Por este motivo, este sistema será dimensionado para consumir, em média, 50 kWh/mês além do gerado. Desta forma o sistema deverá gerar, em média, em torno de 270 kWh/mês.

¹ O custo de disponibilidade do sistema elétrico é o valor mensal em moeda corrente equivalente a: 30 kWh, se consumidor monofásico; 50 kWh se bifásico; 100 kWh se trifásico. Isto deve ser aplicado

sempre que o consumo medido ou estimado for inferior aos referidos neste texto.

Dividindo o consumo necessário por mês pela geração equivalente a 1 kWp, é possível determinar a necessidade de um gerador fotovoltaico de 2,1kWp.

Posteriormente, é necessário fazer a especificação técnica dos módulos fotovoltaicos, dos inversores, e a definição das respectivas quantidades. A Tabela 2 e a Tabela 3 apresentam algumas características dos módulos fotovoltaicos e inversores fotovoltaicos para conexão à rede elétrica disponíveis no mercado e certificados pelo INMETRO (Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia), respectivamente.

Tabela 2. Alguns módulos fotovoltaicos

Marca e modelo	Potência	Preço por Wp	Quantidade	Preço total	Garantia	Eficiência
Canadian Solar CS6P-255P	255 Wp	R\$ 3,35	8,23	R\$ 7695,00	10 anos	15,85 %
Kyocera Solar KD250GH-4FB2	250 Wp	R\$ 4,16	8,4	R\$ 9360,00	2 anos	15,2 %
AVP60 LUXOSOLAR	250 Wp	R\$ 3,56	8,4	R\$ 8010,00	10 anos	15,3 %
Yingli Solar YL255P-29B	255 Wp	R\$ 3,45	8,23	R\$ 7695,00	10 anos	15,6 %

Tabela 3. Alguns inversores fotovoltaicos para conexão à rede.

Marca e modelo	Potência Nominal	Preço por W	Preço total	Garantia	Eficiência	Sistema de monitoramento
Fronius Galvo 2.5-1	2,5 kW	R\$ 2,44	R\$ 6090,00	5 anos	96,1 %	Sim
Fronius Galvo 2.5-1 Light	2,5 kW	R\$ 2,87	R\$ 7190,00	5 anos	96,1 %	Não
SMA Sunny Boy SB 2100TL	2,1 kW	R\$ 3,61	R\$ 7590,00	5 anos	96 %	Não
SMA Sunny Boy SB 2500TLST-21	2,5 kW	R\$ 4,00	R\$ 9990,00	5 anos	97 %	Não
SMA Sunny Boy SB2500	2,5 kW	R\$ 4,00	R\$ 9990,00	5 anos	94,1 %	Sim

O módulo fotovoltaico do fabricante Canadian Solar CS6P-255P de 255 W e o inversor fotovoltaico Fronius Galvo 2.5-1, com potência nominal de 2,5 kW para conexão à rede elétrica foram escolhidos de acordo com o custo-benefício, tendo em vista a maior eficiência e por apresentar menor preço total para o gerador especificado. Além disso, o inversor apresenta o sistema de monitoramento. Este inversor apresenta uma vida útil de 10 a 15 anos, conforme informações do fabricante.

Finalmente, é necessário definir o número de módulos e de inversores que serão instalados. Nas Tabela 4 e Tabela 5 são apresentadas, respectivamente, as características do módulo e do inversor fotovoltaico selecionados, de acordo com os seus “Datasheets” (especificações técnicas).

Tabela 4. Características do Módulo Fotovoltaico.

Fabricante	Canadian Solar	Modelo	CS6P-255P
Potência nominal de pico	255 W	Tensão à potência nominal	30,2 V
Tensão de circuito aberto	37,4 V	Corrente à potência nominal	8,43 A
Corrente de curto circuito	9,00 A	Área	1,608 m ²
Custo	R\$ 855,00		

Tabela 5. Características do Inversor Fotovoltaico.

Fabricante	Fronius	Modelo	Galvo 2.5-1
Potência de corrente contínua máxima	2650 W	Tensão de corrente contínua máxima	550 V
Faixa de operação MPPT de tensão contínua	165 - 440 V	Corrente máxima de entrada	16,6 A
Número máximo de strings paralelos de corrente contínua	3	Potência nominal de corrente alternada	2500 W
Potência máxima de corrente alternada	2500 W	Corrente máxima de saída	12,1 A
Âmbito de variação da tensão de saída	180 - 270 V	Frequência da rede elétrica	60 Hz
Eficiência máxima	96,1 %	Custo	R\$ 6090,00

Após a definição dos equipamentos, deve-se verificar a quantidade máxima de módulos que podem ser conectados em tal inversor, a fim de evitar efeitos como, por exemplo, sobrecarga do sistema.

Este inversor admite um número maior e menor de módulos que o necessário para um gerador de 2,1 kWp, ou seja, é possível aumentar ou diminuir a capacidade do sistema conforme a necessidade, adaptando-se ao consumo desejado.

Para o gerador fotovoltaico em estudo, serão necessários 9 módulos fotovoltaicos conectados em série no inversor fotovoltaico, o que equivale a um sistema de 2,3 kWp.

Após estas definições, é possível definir uma estimativa inicial da produção de energia mensal em torno de 296 kWh.

3.2 Utilizando o Software PVsyst

A fim de se obter uma maior precisão da geração de energia elétrica pelo sistema fotovoltaico instalado, pode-se utilizar softwares que considerem fatores como perdas por sombreamento na simulação, entre outros atributos.

Após fornecer a localização do sistema, assim como as condições de irradiação solar do local, inclinação e azimute do telhado, pode-se indicar o perfil de carga do cliente, detalhar as perdas e, inclusive, fazer um desenho 3D do local para simulações de sombreamento nos módulos. E, enfim, pode-se dimensionar e simular o sistema fotovoltaico. Para isso, informa-se a potência a ser instalada e os modelos do módulo e do inversor escolhidos previamente.

Para simular as perdas do sistema fotovoltaico projetado, foram utilizados os valores “default” do software, além da simulação de sombreamento anual, feita através de uma modelagem 3D da residência e sua vizinhança, conforme apresentado na Figura 3.

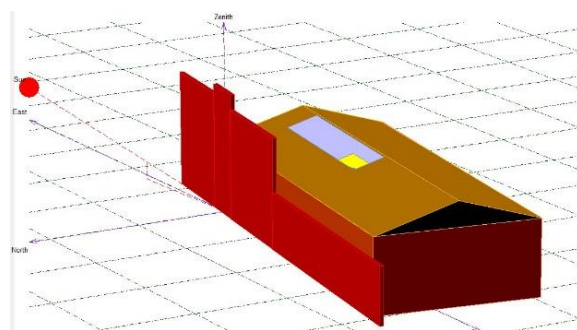


Figura 3. Simulação de sombreamento.

Realizada a simulação, o software apresenta tabelas informando a energia produzida, detalhando a que é utilizada diretamente pelo usuário e a fornecida para a rede elétrica da concessionária. Assim como a energia consumida por meio da concessionária de energia elétrica, conforme apresentado na Tabela 6.

Tabela 6. Balanço de energia produzida e consumida.

Mês	Consumo	Energia gerada pelo sistema	Energia fornecida ao cliente	Energia enviada à rede	Energia consumida da CEMIG
Janeiro	464 kWh	350,5 kWh	191,4 kWh	159,1 kWh	272,6 kWh
Fevereiro	369 kWh	287,3 kWh	145,4 kWh	141,9 kWh	223,6 kWh
Março	360 kWh	331,1 kWh	146,7 kWh	184,4 kWh	213,3 kWh
Abril	276 kWh	304,4 kWh	113,3 kWh	191,1 kWh	162,7 kWh
Mai	340 kWh	304,1 kWh	129,7 kWh	174,4 kWh	210,3 kWh
Junho	234 kWh	274,9 kWh	94,0 kWh	180,9 kWh	140,0 kWh
Julho	336 kWh	286,0 kWh	126,2 kWh	159,8 kWh	209,8 kWh
Agosto	232 kWh	359,7 kWh	98,8 kWh	260,9 kWh	133,2 kWh
Setembro	283 kWh	348,3 kWh	115,5 kWh	232,8 kWh	167,5 kWh
Outubro	266 kWh	341,4 kWh	123,2 kWh	218,2 kWh	142,8 kWh
Novembro	345 kWh	277,5 kWh	139,3 kWh	138,2 kWh	205,7 kWh
Dezembro	264 kWh	295,8 kWh	113,9 kWh	181,9 kWh	150,1 kWh
Anual	3769 kWh	3761 kWh	1537,4 kWh	2223,6 kWh	2231,6 kWh

Esses valores de energia são proporcionados pela característica de geração do gerador fotovoltaico e do perfil de carga da residência. Na Figura 4 é possível exemplificar melhor tal situação.

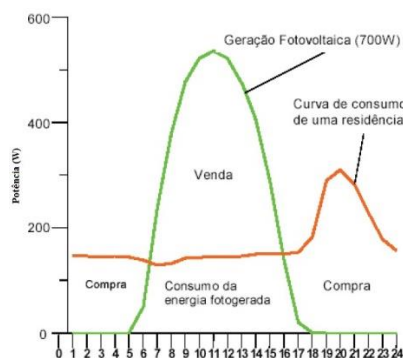


Figura 4. Curva de produção de um gerador fotovoltaico, contrastada com a curva de carga de uma residência.

No diagrama de Sankey apresentado na Figura 5 é possível perceber que a temperatura ambiente proporciona perdas (12,7%) relevantes na energia produzida pelo sistema fotovoltaico. O inversor Fronius Galvo 2.5-1, durante a operação, provocará uma perda equivalente a 5,1% em um ano.

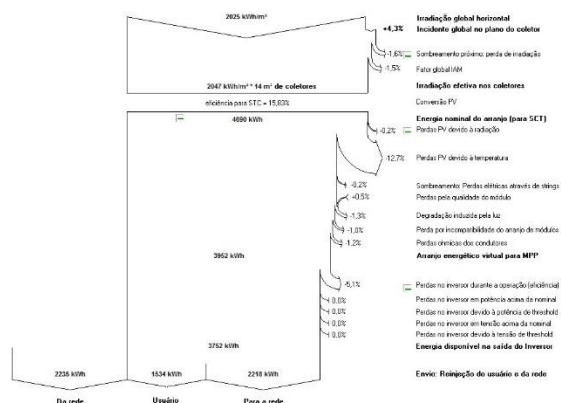


Figura 5. Diagrama de perdas anual envolvidas no sistema.

O software apresenta conforme a Figura 6, por meio de um gráfico de barras o fator conhecido como “performance ratio” ou eficiência global e o seu valor médio. Pode-se perceber que o valor médio referente à eficiência global (0,776) ficou dentro da faixa mencionada anteriormente e a simulação feita no software foi dentro do inicialmente previsto.

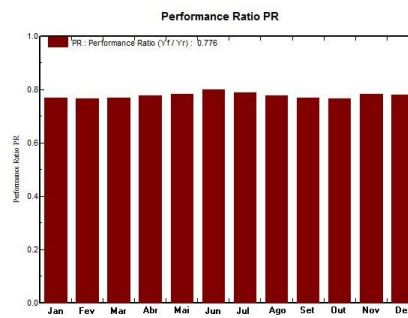


Figura 6. Eficiência global do sistema em estudo.

4 Instalação, Configuração e Avaliação Econômica do Sistema

Ao se definir pela instalação de um sistema fotovoltaico conectado à rede elétrica é necessário observar não somente módulos e inversores, mas também, quanto às estruturas de suporte, o cabeamento, as proteções e o ponto de conexão. Além de realizar uma análise econômica e financeira utilizando figuras de mérito econômicas, tais como o valor presente líquido (VPL), a taxa interna de retorno (TIR) e o tempo de retorno do investimento ou “payback time”.

4.1 Instalação e Configuração do Sistema

As configurações e os componentes abordados até então são importantes para a definição de projetos de um sistema fotovoltaico conectado à rede elétrica; porém, não se limitam à topologia do inversor, à combinação gerador-inversor ou mesmo ao tipo de módulo empregado, mas incluem os demais componentes que constituem o sistema. Para fins de análise dos fluxos de potência, os elementos básicos de um sistema fotovoltaico conectado à rede são:

- Gerador fotovoltaico: responsável pela transformação da energia do sol em energia elétrica c.c.;
- Quadros de proteção: Podem conter alarmes ou não, além de disjuntores, fusíveis e outras proteções;
- Inversor: Transforma a corrente contínua produzida pelo gerador fotovoltaico em corrente alternada;
- Contadores ou medidores de energia: Medem a energia produzida e consumida;
- Rede elétrica: Meio físico pelo qual a energia elétrica flui.

Nos sistemas fotovoltaicos conectados à rede (SFCR), o fornecimento de energia à rede elétrica pode ser realizado através de um medidor que registra o fluxo de potência em ambos os sentidos. A Figura 7 mostra um diagrama esquemático dessa configuração, em que o medidor 1 permite que o proprietário da instalação monitore o quanto da energia está fluindo para a rede (opcional), enquanto o medidor 2 (necessário) faz o balanço entre o que flui da edificação para a rede elétrica e da rede para a edificação, permitindo que a energia excedente produzida pelo sistema fotovoltaico seja descontada do total tarifado pela concessionária local (ZILLES, 2012).

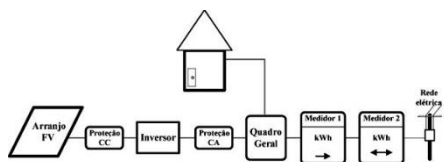


Figura 7. Tipo de configuração de um SFCR.

4.2 Avaliação Econômica do Sistema Fotovoltaico

Para a instalação do gerador fotovoltaico são necessários alguns itens para a conexão e junção dos painéis e inversor. A Tabela 7 apresenta uma relação do custo destes itens, além dos custos necessários para o projeto. Tais valores foram obtidos por meio de uma consulta à uma empresa de Engenharia especializada em energia fotovoltaica, localizada na cidade de Belo Horizonte, em julho de 2015.

Tabela 7. Custo do sistema fotovoltaico em estudo.

Item	Preço	Quantidade	Preço
Canadian Solar CS6P-25SP	R\$ 855,00	9	R\$ 7.695,00
Inversor Fronius Galvo 2.5-1	R\$ 6.090,00	1	R\$ 6.090,00
Perfil alumínio Ultralight 2m	R\$ 71,63	4	R\$ 286,52
Junção para perfil em alumínio K2	R\$ 36,53	3	R\$ 109,59
Gancho Talhas para Regulação	R\$ 62,53	16	R\$ 1.000,48
Terminal Final 34/36 mm	R\$ 9,56	4	R\$ 38,24
Terminal Intermediário 34/38 mm	R\$ 9,27	6	R\$ 55,62
Parafuso cabeça martelo M10 28/15	R\$ 1,63	16	R\$ 26,08
Porca M10 Inox A2	R\$ 0,86	16	R\$ 13,76
Cabo Solar 6 mm² Preto	R\$ 5,27	30	R\$ 158,10
Cabo Solar 6 mm² Vermelho	R\$ 5,27	30	R\$ 158,10
Conectores Fêmea Multicontact	R\$ 12,19	2	R\$ 24,38
Conectores Macho Multicontact	R\$ 9,67	2	R\$ 19,34
Cabo Terra 10 mm²	R\$ 5,20	30	R\$ 156,00
Quadro de Proteção CA1	R\$ 750,00	1	R\$ 750,00
Frete	R\$ 500,00	1	R\$ 500,00
Projeto	R\$ 1.750,00	1	R\$ 1.750,00
Instalação	R\$ 1.880,00	1	R\$ 1.880,00
Eletrocuto	R\$ 4,00	30	R\$ 120,00
Total			R\$ 20.831,21

Decisões financeiras fazem parte da rotina de empresas e das pessoas. Por mais que, geralmente, para tomar decisões, as pessoas não utilizem tantas ferramentas de análise como as empresas, seus recursos financeiros são finitos e são levadas em conta as vantagens e desvantagens para a tomada de decisões. Por exemplo, ao decidir entre financiar um imóvel ou fazer uma poupança para a aquisição do bem à vista, talvez as pessoas não calculem explicitamente o VPL (valor presente líquido) ou a TIR (taxa interna de retorno) do projeto, embora o risco e o retorno da decisão sejam levados em conta. Será avaliado, também, o balanço da emissão de CO₂, ou seja, o quanto de gás carbônico deixa-se de emitir ao longo da vida útil do sistema.

Serão analisados dois estudos de caso neste projeto. O primeiro terá como base o valor médio das tarifas referentes ao ano de 2014, conforme obtido no histórico das contas de energia da concessionária local. O segundo considerará uma tarifa média de 2015, tendo em vista o aumento de tarifação vivenciado neste referido ano.

Estudo de caso 1 - Ano de 2014

A Tabela 8 apresenta uma estimativa do retorno financeiro anual do projeto em estudo, observando o

fato de o pagamento mensal ser o custo de disponibilidade da energia elétrica pela concessionária para cliente bifásico e o valor médio da tarifa de energia (R\$/kWh) ser R\$ 0,58.

Tabela 8. Economia Financeira anual com o sistema fotovoltaico (2014).

Mês	Consumo	Economia de Energia	Preço da conta de luz sem sistema fotovoltaico	Preço da conta de luz com sistema fotovoltaico	Economia Financeira
Janeiro	464 kWh	350,5 kWh	R\$ 269,12	R\$ 22,21	246,91
Fevereiro	369 kWh	287,3 kWh	R\$ 214,02	R\$ 22,21	191,81
Março	360 kWh	331,1 kWh	R\$ 208,80	R\$ 22,21	186,59
Abril	276 kWh	304,4 kWh	R\$ 160,08	R\$ 22,21	137,87
Maio	340 kWh	304,1 kWh	R\$ 197,20	R\$ 22,21	174,99
Junho	234 kWh	274,9 kWh	R\$ 135,72	R\$ 22,21	113,51
Julho	336 kWh	286,0 kWh	R\$ 194,88	R\$ 22,21	172,67
Agosto	232 kWh	359,7 kWh	R\$ 134,56	R\$ 22,21	112,35
Setembro	283 kWh	348,3 kWh	R\$ 164,14	R\$ 22,21	141,93
Outubro	266 kWh	341,4 kWh	R\$ 154,28	R\$ 22,21	132,07
Novembro	345 kWh	277,5 kWh	R\$ 200,10	R\$ 22,21	177,89
Dezembro	264 kWh	295,8 kWh	R\$ 153,12	R\$ 22,21	130,91
Total	3769 kWh	3761 kWh	R\$ 2186,02	R\$ 266,52	R\$ 1919,50

Para realizar uma avaliação financeira deste projeto, considera-se a Taxa Mínima de Atratividade (TMA) igual a 6,17% ao ano, referente à taxa da poupança (0,5% ao mês). E com o aumento do preço da energia elétrica, é considerada, também, uma taxa de reajuste tarifário de 8%² ao ano na conta de luz.

Obtendo o custo do investimento, a economia financeira anual e utilizando as taxas de desconto, foi criada uma planilha no Excel, sendo possível obter o fluxo de caixa proporcionado pelo sistema fotovoltaico, ao longo da sua vida útil (25 anos) e lembrando que o inversor fotovoltaico deve ser trocado a cada 15 anos, de acordo com o fabricante. A Tabela 9 ilustra o fluxo de caixa proporcionado pelo sistema fotovoltaico em estudo.

Tabela 9. Fluxo de caixa proporcionado pelo sistema (2014).

Ano	Fluxo de Caixa	Fluxo de caixa Acumulado	Fluxo de Caixa Descontado	Fluxo de Caixa Descontado Acumulado
0	-R\$ 20.831,21	-R\$ 20.831,21	-R\$ 20.831,21	-R\$ 20.831,21
1	R\$ 1.919,50	-R\$ 18.911,71	R\$ 1.955,39	-R\$ 18.875,88
2	R\$ 1.919,50	-R\$ 16.992,21	R\$ 1.991,82	-R\$ 16.884,06
3	R\$ 1.919,50	-R\$ 15.072,71	R\$ 2.029,00	-R\$ 14.855,07
4	R\$ 1.919,50	-R\$ 13.153,21	R\$ 2.066,87	-R\$ 12.788,20
5	R\$ 1.919,50	-R\$ 11.233,71	R\$ 2.105,44	-R\$ 10.682,76
6	R\$ 1.919,50	-R\$ 9.314,21	R\$ 2.144,74	-R\$ 8.538,02
7	R\$ 1.919,50	-R\$ 7.394,71	R\$ 2.184,77	-R\$ 6.353,25
8	R\$ 1.919,50	-R\$ 5.475,21	R\$ 2.225,54	-R\$ 4.127,71
9	R\$ 1.919,50	-R\$ 3.555,71	R\$ 2.267,08	-R\$ 1.860,63
10	R\$ 1.919,50	-R\$ 1.636,21	R\$ 2.309,40	R\$ 448,77
11	R\$ 1.919,50	R\$ 283,29	R\$ 2.352,50	R\$ 2.801,27
12	R\$ 1.919,50	R\$ 2.202,79	R\$ 2.396,41	R\$ 5.197,67
13	R\$ 1.919,50	R\$ 4.122,29	R\$ 2.441,13	R\$ 7.638,81
14	R\$ 1.919,50	R\$ 6.041,79	R\$ 2.486,69	R\$ 10.125,50
15	-R\$ 4.170,50	R\$ 1.871,29	-R\$ 5.503,68	R\$ 4.621,82
16	R\$ 1.919,50	R\$ 3.790,79	R\$ 2.580,39	R\$ 7.202,20
17	R\$ 1.919,50	R\$ 5.710,29	R\$ 2.628,55	R\$ 9.830,75
18	R\$ 1.919,50	R\$ 7.629,79	R\$ 2.677,61	R\$ 12.508,35
19	R\$ 1.919,50	R\$ 9.549,29	R\$ 2.727,58	R\$ 15.235,93
20	R\$ 1.919,50	R\$ 11.468,79	R\$ 2.778,49	R\$ 18.014,42
21	R\$ 1.919,50	R\$ 13.388,29	R\$ 2.830,35	R\$ 20.844,77
22	R\$ 1.919,50	R\$ 15.307,79	R\$ 2.883,17	R\$ 23.727,94
23	R\$ 1.919,50	R\$ 17.227,29	R\$ 2.936,98	R\$ 26.664,93
24	R\$ 1.919,50	R\$ 19.146,79	R\$ 2.991,80	R\$ 29.656,73
25	R\$ 1.919,50	R\$ 21.066,29	R\$ 3.047,64	R\$ 32.704,37

Obtido o fluxo de caixa, é possível realizar os cálculos do VPL, da TIR, do *payback* simples e o descontado. A Tabela 10 apresenta os resultados da avaliação financeira e o balanço da emissão de CO₂ deste sistema. A partir de tais resultados, o cliente tem uma

² Taxa referente à média de reajuste tarifário da Cemig D entre 2002 e 2012 (ANEEL, 2015).

maior percepção do que esperar ao realizar tal investimento. A TIR foi maior que a taxa utilizada para os cálculos, portanto, o projeto é viável economicamente. Espera-se que o *payback time* seja em torno de dez anos e então o cliente passaria a ter lucros. Deste modo, o VPL informa quanto seria este valor ao final da vida útil do sistema, recuperando em torno de 257% do investimento inicial.

Tabela 10. Avaliação Econômica do sistema fotovoltaico (2014).

Investimento	R\$ 20.831,21
Economia Anual	R\$ 1.919,50
Vida Útil do Sistema	25 anos
Payback Simples	10,85 anos
Payback Descontado	9,81 anos
VPL	R\$ 53.535,58
TIR	4%
Balanco da emissão de CO ₂	5,3 toneladas de CO ₂

Estudo de caso 2 - Ano de 2015

A Tabela 11 apresenta uma estimativa do retorno financeiro anual do projeto em estudo, observando que o valor médio da tarifa de energia (R\$/kWh) no ano de 2015 foi R\$ 0,84, de acordo com o histórico de contas de energia fornecido pela concessionária local.

Tabela 11. Economia Financeira anual com o sistema (2015).

Mês	Consumo	Economia de Energia	Preço da conta de luz sem sistema fotovoltaico	Preço da conta de luz com sistema fotovoltaico	Economia Financeira
Janeiro	464 kWh	350,5 kWh	R\$ 389,76	R\$ 22,21	367,55
Fevereiro	369 kWh	287,3 kWh	R\$ 309,96	R\$ 22,21	287,75
Março	360 kWh	331,1 kWh	R\$ 302,40	R\$ 22,21	280,19
Abril	276 kWh	304,4 kWh	R\$ 231,84	R\$ 22,21	209,63
Maio	340 kWh	304,1 kWh	R\$ 285,60	R\$ 22,21	263,39
Junho	234 kWh	274,9 kWh	R\$ 196,56	R\$ 22,21	174,35
Julho	336 kWh	286,0 kWh	R\$ 282,24	R\$ 22,21	260,03
Agosto	232 kWh	359,7 kWh	R\$ 194,88	R\$ 22,21	172,67
Setembro	283 kWh	348,3 kWh	R\$ 237,72	R\$ 22,21	215,51
Outubro	266 kWh	341,4 kWh	R\$ 223,44	R\$ 22,21	201,23
Novembro	345 kWh	277,5 kWh	R\$ 289,80	R\$ 22,21	267,59
Dezembro	264 kWh	295,8 kWh	R\$ 221,76	R\$ 22,21	199,55
Total	3769 kWh	3761 kWh	R\$ 3165,96	R\$ 266,52	R\$ 2899,44

A Tabela 12 apresenta o fluxo de caixa proporcionado pelo sistema fotovoltaico deste estudo.

Tabela 12. Fluxo de caixa proporcionado pelo sistema (2015).

Ano	Fluxo de Caixa	Fluxo de caixa Acumulado	Fluxo de Caixa Descontado	Fluxo de Caixa Descontado Acumulado
0	-R\$ 20.831,21	-R\$ 20.831,21	-R\$ 20.831,21	-R\$ 20.831,21
1	R\$ 2.899,44	-R\$ 17.931,77	R\$ 2.953,56	-R\$ 17.877,65
2	R\$ 2.899,44	-R\$ 15.032,33	R\$ 3.008,68	-R\$ 14.868,97
3	R\$ 2.899,44	-R\$ 12.132,89	R\$ 3.064,84	-R\$ 11.804,14
4	R\$ 2.899,44	-R\$ 9.233,45	R\$ 3.122,04	-R\$ 8.682,10
5	R\$ 2.899,44	-R\$ 6.334,01	R\$ 3.180,31	-R\$ 5.501,79
6	R\$ 2.899,44	-R\$ 3.434,57	R\$ 3.239,67	-R\$ 2.262,12
7	R\$ 2.899,44	-R\$ 535,13	R\$ 3.300,13	R\$ 1.038,01
8	R\$ 2.899,44	R\$ 2.364,31	R\$ 3.361,73	R\$ 4.399,73
9	R\$ 2.899,44	R\$ 5.263,75	R\$ 3.424,47	R\$ 7.824,20
10	R\$ 2.899,44	R\$ 8.163,19	R\$ 3.488,38	R\$ 11.312,59
11	R\$ 2.899,44	R\$ 11.062,63	R\$ 3.553,49	R\$ 14.866,08
12	R\$ 2.899,44	R\$ 13.962,07	R\$ 3.619,82	R\$ 18.485,90
13	R\$ 2.899,44	R\$ 16.861,51	R\$ 3.687,38	R\$ 22.173,27
14	R\$ 2.899,44	R\$ 19.760,95	R\$ 3.756,20	R\$ 25.929,47
15	-R\$ 3.190,56	R\$ 16.570,39	-R\$ 4.210,49	R\$ 21.718,98
16	R\$ 2.899,44	R\$ 19.469,83	R\$ 3.897,72	R\$ 25.616,70
17	R\$ 2.899,44	R\$ 22.369,27	R\$ 3.970,47	R\$ 29.587,17
18	R\$ 2.899,44	R\$ 25.268,71	R\$ 4.044,57	R\$ 33.631,74
19	R\$ 2.899,44	R\$ 28.168,15	R\$ 4.120,06	R\$ 37.751,80
20	R\$ 2.899,44	R\$ 31.067,59	R\$ 4.196,96	R\$ 41.948,76
21	R\$ 2.899,44	R\$ 33.967,03	R\$ 4.275,29	R\$ 46.224,05
22	R\$ 2.899,44	R\$ 36.866,47	R\$ 4.355,09	R\$ 50.579,14
23	R\$ 2.899,44	R\$ 39.765,91	R\$ 4.436,37	R\$ 55.015,51
24	R\$ 2.899,44	R\$ 42.665,35	R\$ 4.519,17	R\$ 59.534,68
25	R\$ 2.899,44	R\$ 45.564,79	R\$ 4.603,52	R\$ 64.138,19

Os resultados da avaliação financeira e o balanço da emissão de CO₂ deste sistema são apresentados na Tabela 13.

Tabela 13. Avaliação Econômica do sistema fotovoltaico (2015).

Investimento	R\$ 20.831,21
Economia Anual	R\$ 2.899,44
Vida Útil do Sistema	25 anos
Payback Simples	7,18 anos
Payback Descontado	6,69 anos
VPL	R\$ 84.969,40
TIR	13%
Balanco da emissão de CO ₂	5,3 toneladas de CO ₂

Como resultado deste estudo de caso 2, foi possível obter um *payback time* em torno de sete anos e, também, um maior valor para a TIR e o VPL, ou seja, o sistema ficou ainda mais viável financeiramente. Observando o VPL, espera-se que o consumidor recupere em torno de 408% do investimento inicial.

Estes resultados indicam que o aumento da tarifa de energia elétrica contribui positivamente para a atratividade de sistemas fotovoltaicos, ao perceber que o tempo de retorno do investimento reduziu cerca de três anos. Com a redução no preço dos equipamentos de um sistema fotovoltaico, a isenção de impostos como o ICMS (em 19 estados) e IPI, e possíveis isenções em imposto de renda, CSLL, PIS e COFINS, espera-se uma atratividade ainda melhor, viabilizando uma maior inserção da microgeração fotovoltaica na matriz energética brasileira.

5 Conclusão

Neste trabalho, foram realizados estudos de modo a propor um projeto de um SFCR e apresentar resultados que comprovem a viabilidade econômica do gerador fotovoltaico. O histórico de consumo da residência, do ano de 2014, foi analisado a fim de se compreender a necessidade do consumidor. Concluiu-se que a geração deve atender um valor médio mensal em torno de 300 kWh.

Na análise econômica, foram utilizadas figuras de mérito como VPL, TIR, payback simples e descontado, e dois estudos de caso foram realizados. O primeiro teve como base o valor médio das tarifas referentes ao ano de 2014. O segundo considerou o valor médio da tarifa de 2015, tendo em vista o aumento de tarifação vivenciado neste referido ano. Como resultado destes estudos, percebe-se que o aumento da tarifa de energia elétrica contribui positivamente para a atratividade de sistemas fotovoltaicos.

Referências Bibliográficas

- EPIA. Global Market Outlook: For Photovoltaics 2014 – 2018.: GeoModel Solar, 2014
- ANEEL, 2015. Resolução Normativa nº 687.
- ANEEL, 2015. Tarifas Residenciais. [Online] Available at: <http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/tarifaAplica da/index.cfm> [Acesso em 20 06 2015].
- ANEEL, 2012. Resolução Normativa nº 482.
- Swera, 2015. Swera. [Online] Available at: <http://maps.nrel.gov/swera>
- ZILLES, R. Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede Elétrica. São Paulo: Oficina de textos, 2012.