

Modelagem PLIM Aplicada ao Estudo de Viabilidade de Geração Fotovoltaica em uma Residência

Vitor Teles Correia

Instituto Federal de Santa Catarina - Câmpus Caçador
Av. Fahdo Thomé, 3000 - Champagnat, Caçador - SC, 89500-000
vitor.correia@ifsc.edu.br

Sergio Leandro Stebel

Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Av. Sete de Setembro, 3165 - Rebouças - Curitiba - PR - 80230-901
stebel@utfpr.edu.br

RESUMO

Com o aumento do custo de energia elétrica aliado com a redução do custo das tecnologias de geração de energia fotovoltaica, os consumidores de energia estão cada vez mais buscando uma maneira alternativa para suprir suas necessidades em termos energéticos. Porém, com as atuais legislações acerca deste assunto, muitas dúvidas são levantadas na hora da decisão de implementação desta micro geração em residências e a principal delas é a dúvida se é vantajosa esta implementação sob aspecto financeiro. Este artigo tem como finalidade apresentar um modelo de Programação Linear Inteira Mista para analisar a viabilidade de geração fotovoltaica em uma residência.

PALAVRAS CHAVE. PLIM. Geração de energia fotovoltaica. Energia Elétrica.

PO na área de Energia

ABSTRACT

With the rising cost of electricity combined with the reduction the cost of photovoltaic power generation technology, energy consumers are increasingly looking for an alternative way to meet their energy needs. However, with the current legislation on the subject, many questions are raised at the time of applying this micro generation in residences, and the main one is the question whether this is advantageous in financial aspect or not. This article aims to present a Mixed-Integer Linear Programming model to analyze the feasibility of photovoltaic generation in a residence.

KEYWORDS. MILP. Photovoltaic power generation. Electricity.

OR in energy area

1. Introdução

As tradicionais fontes de energia elétrica ainda constituem a base da geração de energia ao redor do mundo. No Brasil, por exemplo, a matriz energética é basicamente constituída de usinas hidrelétricas e termelétricas. Porém, com a difusão da micro geração de energia e a redução do custo de implementação e manutenção de painéis fotovoltaicos para geração de energia, os consumidores de energia estão cada vez mais interessados na possibilidade de também tornar-se um produtor de energia. Porém, por falta de conhecimento na área, muitos ignoram o tempo necessário para obter o retorno financeiro do investimento inicial ou até se este retorno de fato irá acontecer. Com isto, muitas das ideias de investimento nesta área não são realizadas.

Diante disto, é importante ressaltar que o intuito deste trabalho é apenas estabelecer uma ferramenta capaz de analisar os dados de consumo de energia elétrica e fazer um estudo de viabilidade para instalação de microgeração de energia solar fotovoltaica. Com isto, esta ferramenta pode vir a auxiliar outros consumidores e futuros *prosumers* (consumidor e produtor de energia elétrica) a tomar a decisão sobre a instalação do painel solar.

Para que este estudo fosse possível, foi levado em consideração somente um dia (24 horas) de consumo de uma residência em Curitiba. Esta residência não representa o padrão de consumo de qualquer residência, mas os dados de consumo de energia da mesma têm como intuito de fornecer uma ideia real do consumo de energia elétrica afim de estabelecer a ferramenta objeto deste estudo. Para análise do consumo da residência, bem como o estudo de viabilidade, serão levados em consideração o sistema de crédito de energia da ANEEL [ANEEL(2012b)] e também a modalidade tarifária branca de energia elétrica [ANEEL(2012a)].

2. Revisão da literatura

2.1. Módulos Fotovoltaicos

A célula fotovoltaica é um dispositivo fotovoltaico básico, responsável pela conversão de energia solar recebida por este em energia elétrica. A energia produzida por uma célula sozinha é pequena. Diante disto, é necessário que diversas células sejam agrupadas de forma a produzir, painéis, placas ou módulos fotovoltaicos [Gradella Villalva e Gazoli(2012)].

Um módulo fotovoltaico é constituído por um conjunto de células, montadas em uma estrutura rígida, conectando eletricamente os terminais de uma célula com a outra. Usualmente, estas células são conectadas em série de modo a se obter um maior valor de tensão [Gradella Villalva e Gazoli(2012)]. Os módulos fotovoltaicos encontrados no mercado têm potências variando de 50 a 250 Watts, apresentam tensões de até 70 Volts e correntes elétrica de até 8 Ampères.

A corrente elétrica i , conseqüentemente, a energia que um módulo fotovoltaico pode fornecer depende diretamente da radiação solar que incide sobre suas células. Com uma irradiância de $1000W/m^2$ o módulo é capaz de fornecer a sua corrente nominal, valor este de corrente fornecido pelo fabricante [Gradella Villalva e Gazoli(2012)].

É possível fazer uma análise da relação entre a radiação solar incidente no módulo e as grandezas elétricas fornecidas por este. Para um valor conhecido de radiação solar, é possível traçar a curva característica do módulo fotovoltaico variando a carga ligada a ele. Como pode ser observado na Figura 1, para cada valor fixo de radiação existe um valor máximo admissível para a corrente elétrica que o módulo irá fornecer. Desta forma, pode-se afirmar que quanto menor for a radiação solar incidente, menor será a potência que o módulo pode fornecer.

Segundo Villalva e Gazoli [Gradella Villalva e Gazoli(2012)], a eficiência de um módulo fotovoltaico é dada pela razão entre a potência máxima gerada ou de pico do módulo (P_{max}) pelo produto da área (A) e a irradiância solar (I), conforme a Equação (1). Tendo que a unidade da potência é Watts (W), que a área é metros quadrados (m^2) e que a irradiância solar é Watts, por metros quadrados (W/m^2), é natural observar que a eficiência é adimensional e o seu valor vai variar entre 0 e 1.

$$n = \frac{P_{max}}{A \times I} \quad (1)$$

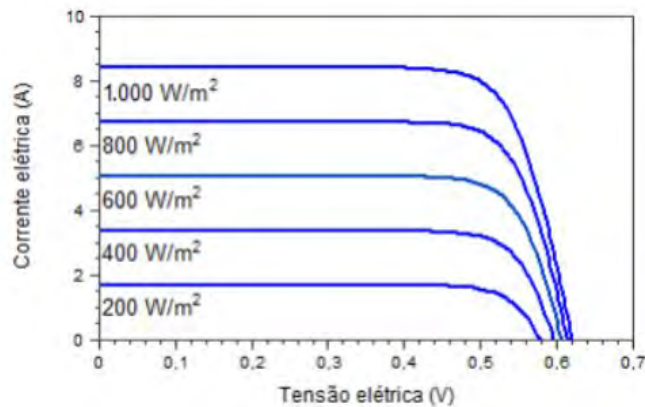


Figura 1: Influência da radiação solar na operação do módulo fotovoltaico. Fonte: [CEPEL e CRE-SESP(2014)]

Rearranjando a Equação (1), pode-se encontrar a relação de quanto de potência é gerada pelo painel em função da radiação solar, conforme Equação (2). Notar que a unidade da potência é em quilowatt e por isso está dividida por 1000.

$$P = \frac{A \times n \times I}{1000} \quad (2)$$

Ainda, considerando o tempo de 1 hora, a energia gerada pelo painel é dada pela Equação (3). Notar que a unidade neste caso é quilowatt hora (*kWh*).

$$E = \frac{A \times n \times I}{1000} \quad (3)$$

2.2. Modalidade Tarifária Branca

A estrutura tarifária proposta pela Nota Técnica nº 362/10 [ANEEL(2012a)] consiste basicamente em duas modalidades, sendo elas:

- Modalidade convencional monômnia, com um preço da energia sem distinção horária, como é praticado atualmente;
- Modalidade branca monômnia, com três preços de energia de acordo com a hora e dia da semana.

Para melhor definir a modalidade tarifária branca, esta é dividida em três postos tarifários [ANEEL(2012a)]:

- Posto Fora de Ponta: consiste em todas as horas do dia que não forem contemplados pelos dois outros postos. O valor desta tarifa deve ser menor que o valor da tarifa convencional;
- Posto de ponta: composto de três horas consecutivas a serem escolhida pela concessionária de energia, levando em conta o horário de maior consumo na sua região de fornecimento. O valor desta tarifa será 5 vezes maior que o Posto Fora de Ponta;
- Posto Intermediário: consiste em um período de duas horas, sendo uma hora logo antes do Posto de Ponta e um logo após o mesmo;

Os valores de cada uma destas tarifas e postos tarifários a serem cobrados, bem como o horário específico das três horas consecutivas do Posto de Ponta, são estabelecidos por cada concessionária de energia.

2.3. Resolução Normativa nº 482/2012 - Sistemas de Créditos

Nesta resolução é regulamentado o sistema de compensação de energia elétrica. Neste sistema, a energia ativa injetada por uma unidade consumidora (UC) com micro geração ou mini geração distribuída é cedida por meio de empréstimo gratuito à concessionária de energia local.

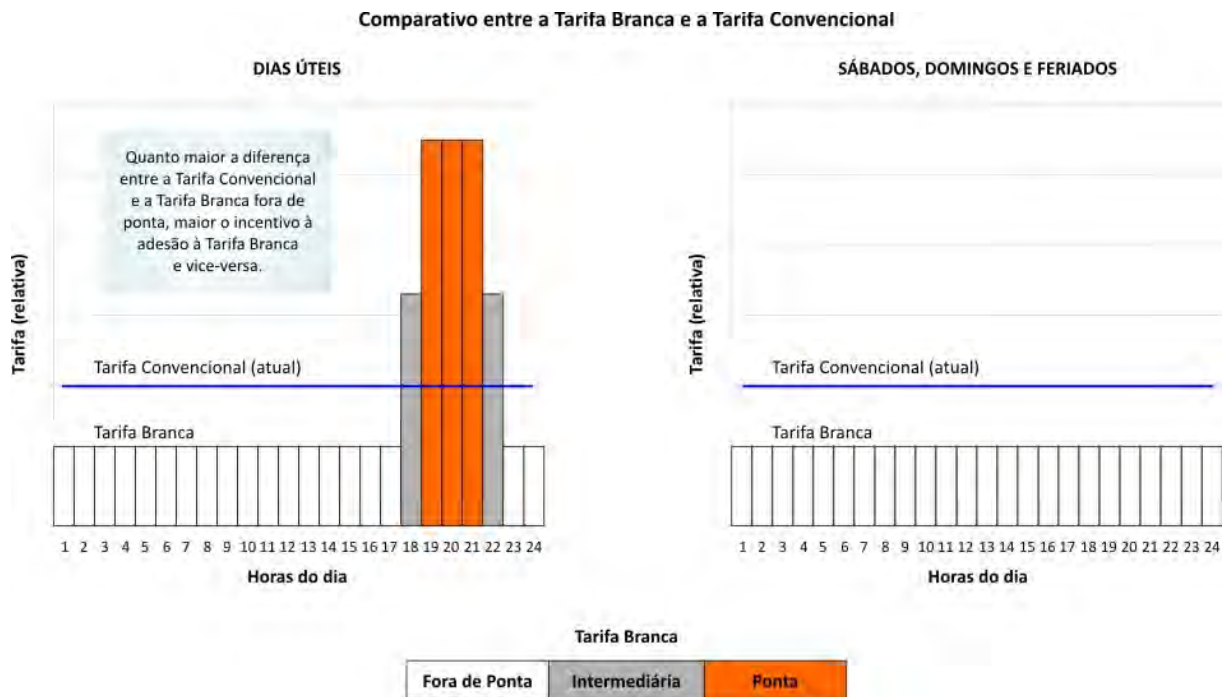


Figura 2: Distribuição Tarifária: Comparativo entre Modalidade Convencional e Branca. Fonte: ANEEL.
 Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/area.cfm?idArea=781>

Posteriormente, esta mesma UC ou uma outra UC de mesma titularidade da UC geradora dos créditos será compensada. O possível fluxo de energia que pode acontecer em uma residência é mostrado na Figura 3.

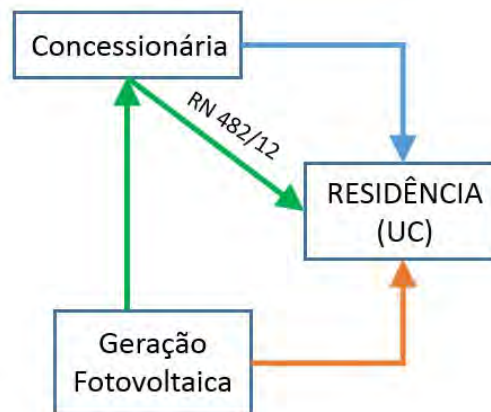


Figura 3: Esquemático do sistema de créditos de energia com geração fotovoltaica

Na Figura 3, é possível visualizar que o consumo de energia elétrica da residência pode ser atendido de três formas distintas. A primeira forma seria o atendimento da demanda vindo direto da geração fotovoltaica, ou seja, a energia que está sendo gerada pelos módulos sendo entregue diretamente à residência. A segunda forma seria a forma convencional de atendimento de uma demanda, na qual a concessionária fornece uma energia ao consumidor e esta quantidade de energia utilizada é mensurada pelo medidor de energia.

Caso exista um excedente de energia gerada, esta pode ser injetada diretamente na rede elétrica, gerando créditos de energia para a UC em questão. A última forma de atendimento da

demanda da residência então seria utilizando estes créditos de energia, que, assim como a maneira convencional, a energia vem da concessionária.

Em outras palavras, o consumo de energia elétrica ativa a ser faturado é a diferença entre a energia consumida e a injetada, por posto tarifário, quando for o caso. Quando houver excedente (energia injetada maior que energia consumida), a distribuidora de energia deverá abater do consumo dos meses subsequentes.

Ainda, em cada unidade consumidora, a compensação dos créditos deve dar-se primeiramente no mesmo posto tarifário em que ocorreu a geração, e posteriormente nos demais postos tarifários. Porém, quando forem utilizados os créditos para compensar um posto tarifário diferente do da geração, a diferença entre as tarifas deve ser observada.

3. Materiais e métodos

3.1. Coleta de Dados de Consumo

Os dados relativos ao consumo de energia elétrica em uma residência são de fundamental importância para este estudo. Para tal, foram utilizados os dados coletados de uma residência [Chia e Correia(2011)] utilizando um analisador de potência modelo MARH-21, durante o mês de setembro no ano de 2011 na cidade de Curitiba.

Os dados coletados foram extraídos do analisador e posteriormente convertidos para um formato de arquivo de texto de fácil manipulação. Desta forma foi possível selecionar os dados a serem utilizados neste estudo, gerando um perfil de carga mostrado na Figura 4.

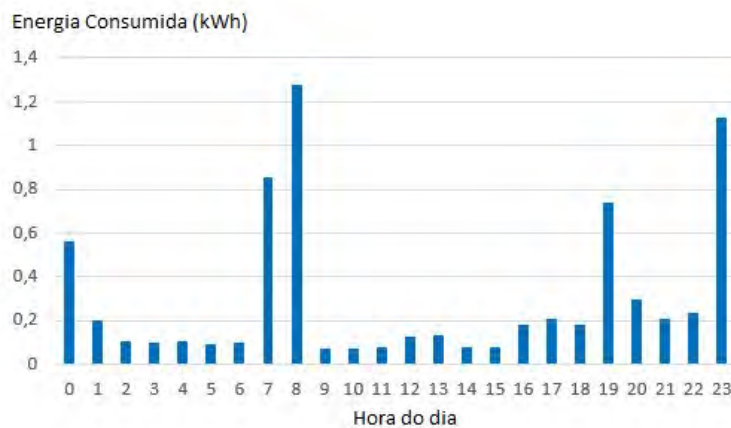


Figura 4: Dados de Consumo de energia coletados pelo analisador de potência.

3.2. Dados de Energia Gerada com o Pannel Fotovoltaico

No item 2.1 é demonstrado como a irradiação solar está diretamente ligada com a energia que um painel fotovoltaico irá gerar. Para ter valores de irradiação que fossem compatíveis com a localização da residência analisada, foi utilizado o *software* Radasol 2 ([UFRGS(2015)]). Este *software* fornece valores médios de irradiação solar em um local a partir de um dado de entrada, seja este o nome de uma cidade ou de coordenadas geográficas. Para os valores de irradiação, foram utilizados valores médios para o mês de setembro em Curitiba, Paraná (Tabela 1).

Tabela 1: Valores de Irradiação Solar média horária em Curitiba no mês de setembro. Fonte: [Correia(2015)]

Horário	Irradiação (W/m^2)	Horário	Irradiação (W/m^2)
4	0	12	533
5	0	13	525
6	40	14	420
7	151	15	274
8	290	16	162
9	399	17	43
10	453	18	0
11	577	19	0

Levando em consideração um painel fotovoltaico com potência instalada de $1kWp$ que possui uma área estimada de $7m^2$ e conhecendo a Equação 3, pode ser calculado uma estimativa da energia gerada a cada hora do dia. Para o cálculo, foi considerado um valor médio das eficiências dos módulos fotovoltaicos encontrados comercialmente ([Gradella Villalva e Gazoli(2012)]) de 20%. A figura 5 mostra os valores encontrados para esta geração em forma de gráfico.

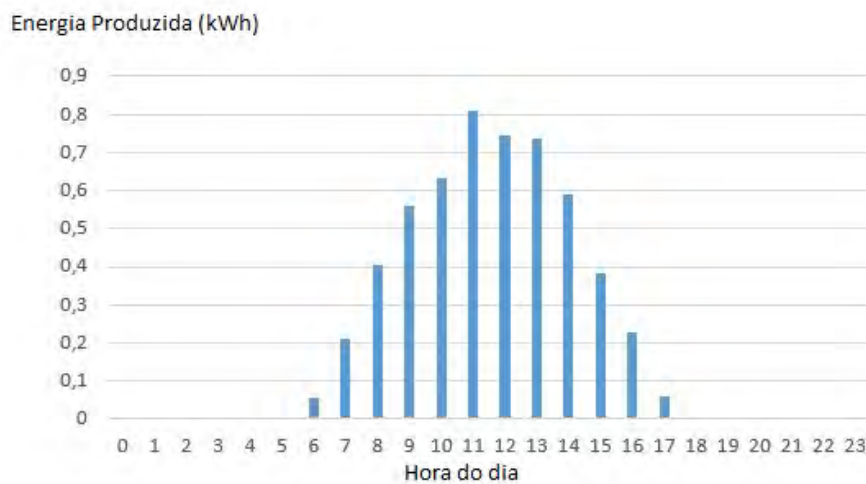


Figura 5: Dados estimados de energia gerada pelo painel fotovoltaico.

3.3. Modelagem PLIM

Para demonstrar a viabilidade do estudo proposto, foi desenvolvido um modelo de programação linear inteira mista que representa a situação energética da residência, com a possibilidade ou não de existir uma geração de energia fotovoltaica. A seguir, na Tabela 2, estão indicados os parâmetros e variáveis do modelo.

Tabela 2: Parâmetros e Variáveis utilizadas no modelo.

	Nome	Tipo	Grandeza	Descrição
Variáveis	Ger_{XX_i}	Contínua	kWh	Quantidade de energia gerada pelo painel fotovoltaico
	$Foto$	Binária	-	Variável de decisão quanto a instalação ou não do painel fotovoltaico
	CC_{XX_i}	Contínua	kWh	Quantidade de energia que está sendo fornecida pela concessionária
	Dev_{XX_i}	Contínua	kWh	Energia excedente que é injetada na rede, gerando créditos de energia
	Emp_{XX_i}	Contínua	kWh	Utilização dos créditos de energia
	$Custo_{XX_i}$	Contínua	R\$	Custo horário de energia da residência
Parâmetros	$Cons_{XX_i}$	-	kWh	Consumo de energia horário da residência
	F_{XX_i}	-	kWh	Quantidade de energia gerada pelo painel fotovoltaico a cada hora
	T_{PV}	-	R\$	Custo da energia gerada pela painel fotovoltaico
	T_{FP}	-	R\$	Custo da energia vindo da concessionária, seguindo as diretrizes da tarifação branca
	T_{IN}	-	R\$	
	T_{PO}	-	R\$	

3.4. Parâmetros do modelo

3.4.1. Custo de energia do painel fotovoltaico

Para poder precificar o valor da energia que está sendo gerada pelo painel fotovoltaico, foram considerados os seguintes fatores:

- Vida útil do painel fotovoltaico, sendo esta de 20 anos;
- Quantidade de energia que será gerada pelo painel fotovoltaico durante o período de sua vida útil;

- Custo inicial de instalação do painel (CI);
- Custo estimado de manutenção do sistema de geração durante sua vida útil (CM).

Assim, chega-se a equação 4 para o cálculo do custo da energia gerada:

$$T_{PV} = \frac{(CI) + (CM)}{365 \times 20 \times (EDG)} \quad (4)$$

Sabendo que o custo inicial aproximado é de R\$ 15.000, o custo de manutenção de R\$ 6.000 e a energia diária gerada (EDG) de 5,41 5,41 kWh , encontra-se um valor de R\$ 0,53 por kWh gerado.

3.4.2. Custo da energia vindo da concessionária

Custo da energia vindo da concessionária poderá assumir 3 possibilidades, sendo elas a T_{FP} , a T_{IN} e a T_{PO} , referentes a cada um dos postos tarifários, conforme explicado no item 2.2 deste trabalho. Para a tarifa fora de ponta (T_{FP}) foi utilizado o valor de R\$ 0,62 por quilowatt-hora. Assim, a Tabela 3 mostra os valores dos postos tarifários da tarifação branca;

Tabela 3: Parâmetros dos postos tarifários e a relação entre eles.

Posto Tarifário	Parâmetro	Relação	Valor
Posto Fora de Ponta	T_{FP}	-	R\$0,62
Posto Intermediário	T_{IN}	$3 \times T_{FP}$	R\$1,24
Posto de Ponta	T_{PO}	$5 \times T_{FP}$	R\$3,10

3.5. Função Objetivo

O intuito do modelo implementado é a redução do custo de energia do consumidor. Assim, a função objetivo é a minimização do somatório das variáveis do custo horário, reduzindo assim o custo da energia (Equação 5).

$$\min(Z) = \sum_i \text{Custo}_{XX_i} \quad (5)$$

O argumento i é utilizado para representar a diferença entre os valores de cada hora do dia.

3.6. Restrições do Modelo

3.6.1. Custo de Energia Horário

Cada hora do dia tem alguma peculiaridade, porém basicamente consiste no valor de energia que está vindo da concessionária multiplicado pelo valor da tarifa naquela hora somado com o custo da geração de energia a cada hora, quando aplicável. A restrição (6) apresenta o cálculo dos custos horários.

$$\text{Custo}_{XX_i} = CC_{XX_i} \times T_{XX} + Ger_{XX_i} \times TPV \quad (6)$$

Para representar a tarifa vindo da concessionária, visto a diferença tarifária devido a tarifação branca, é utilizado na restrição o termo T_{XX} , o qual pode assumir um dos três valores previamente descritos.

3.6.2. Decisão para Instalar ou não a Geração Fotovoltaica

A decisão de instalar ou não a geração fotovoltaica é feita através de uma variável binária de decisão (*Foto*). Caso esta assuma o valor 0, o painel não será utilizado, o valor 1, caso contrário, conforme a restrição (7).

$$Ger_{XX_i} = F_{XX_i} \times Foto \quad (7)$$

3.6.3. Quantidade de Energia Devolvida à concessionária em forma de empréstimo gratuito

A restrição (8) segue a lógica descrita no item 2.3 deste artigo, ou seja, o excedente de energia gerada será devolvida a concessionária na forma de empréstimo gratuito.

$$Dev_{XX_i} \leq Ger_{XX_i} - Cons_{XX_i} - CC_{XX_i} \quad (8)$$

3.6.4. Balanço Energético

Para garantir uma consistência nos dados obtidos pelo modelo e que o consumo da residência seja atendido, é importante que haja uma restrição de balanço energético. Em outras palavras, todo tipo de energia que pode vir a suprir a demanda da residência tem que ser maior ou igual à demanda da mesma, conforme a restrição (9).

$$CC_{XX_i} + Ger_{XX_i} + Emp_{XX_i} \geq Cons_{XX_i} \quad (9)$$

3.6.5. Balanço entre Empréstimos e Créditos de energia

Para estar apto a utilizar os créditos, o consumidor deve primeiramente emprestar energia a concessionária para após utilizar os créditos referentes a este empréstimo. Diante disto, o somatório da energia devolvida tem que ser igual ao somatório dos créditos utilizados, conforme restrição (10).

$$\sum_i (En.Devolvida) = \sum_i (Cred.Utilizados) \quad (10)$$

Na qual, a energia devolvida é a soma de todas as variáveis Dev_{XX_i} e os créditos utilizados é a soma de todas as variáveis Emp_{XX_i} , porém deve ser observado a questão relacionada à diferença entre os postos tarifários, conforme mencionado no item 2.3.

4. Resultados e Discussão

O modelo descrito neste artigo foi implementado no solver GLPK/GUSEK ([Bettoni(2015)]) para que fosse possível obter uma resposta as questões levantadas. O modelo foi executado em um computador com processador Intel i7 de 8 núcleos, 2,20 GHz de clock, 8 GB de memória RAM e sistema operacional Windows 8.1 64 bits, obtendo a solução ótima em 1.115 segundos. O valor da função objetivo encontrado foi de R\$ 6,96.

Como resposta do modelo tem-se dados referentes aos valores de custo de energia, tanto no caso de não ser utilizado o painel fotovoltaico como no caso da utilização do mesmo. Além disto, o modelo retorna os valores de todas as variáveis referentes a geração e fornecimento de energia, conforme Tabela 4.

Tabela 4: Valores da distribuição ótima de consumo/geração.

i	$Cons_{XX_i}$ [kWh]	CC_{XX_i} [kWh]	Ger_{XX_i} [kWh]	Dev_{XX_i} [kWh]	Emp_{XX_i} [kWh]
00	0,559	0,559	0	0	0
01	0,199	0,199	0	0	0
02	0,103	0,103	0	0	0
03	0,093	0,093	0	0	0
04	0,101	0,101	0	0	0
05	0,089	0,089	0	0	0
06	0,092	0,036	0,056	0	0
07	0,848	0,637	0,211	0	0
08	1,272	0,866	0,406	0	0
09	0,069	0	0,559	0,490	0
10	0,069	0	0,634	0,565	0
11	0,073	0	0,808	0,735	0
12	0,123	0	0,746	0,623	0
13	0,129	0	0,735	0,606	0
14	0,078	0	0,588	0,510	0
15	0,078	0	0,384	0,306	0
16	0,174	0	0,227	0,053	0
17	0,201	0,141	0,060	0	0
18	0,179	0	0	0	0,179
19	0,736	0,262	0	0	0,474
20	0,291	0,291	0	0	0
21	0,207	0	0	0	0,207
22	0,235	0,235	0	0	0
23	1,121	1,121	0	0	0
Total	7,119	4,471	5,414	3,888	0,860

No caso estudado, optou-se pela utilização da geração fotovoltaica, pois os valores de geração (Ger_{XX_i}) são diferentes de zero. Desta forma, é possível chegar à conclusão de que é vantajoso a instalação de um painel fotovoltaico de 1 kWp de potência instalada, em caso de opção pela modalidade tarifária branca.

Um estudo sobre quando o investimento inicial da instalação da geração distribuída se pagaria é desnecessário neste caso, pois o custo de instalação e manutenção da mesma durante sua vida útil foi considerado para compor o valor da energia gerada.

Com estes dados, é possível fazer um gráfico para representar a distribuição de consumo/geração na residência estudada (Figura 6). Na legenda da Figura 6, cada cor de barra significa uma variável ou parâmetro da residência. As barras de cor azul representam a demanda da residência. As barras

em laranja significam o quanto de energia que, advinda da concessionária de energia da forma convencional, supriu a demanda da residência. As barras em cinza representam a quantidade de energia gerada pelo painel fotovoltaico. As barras amarelas representam a quantidade de energia excedente gerada, que foi injetada no sistema elétrico da concessionária. Esta energia injetada gerou créditos ao consumidor, que forma utilizados posteriormente, representados pelas barras verdes.

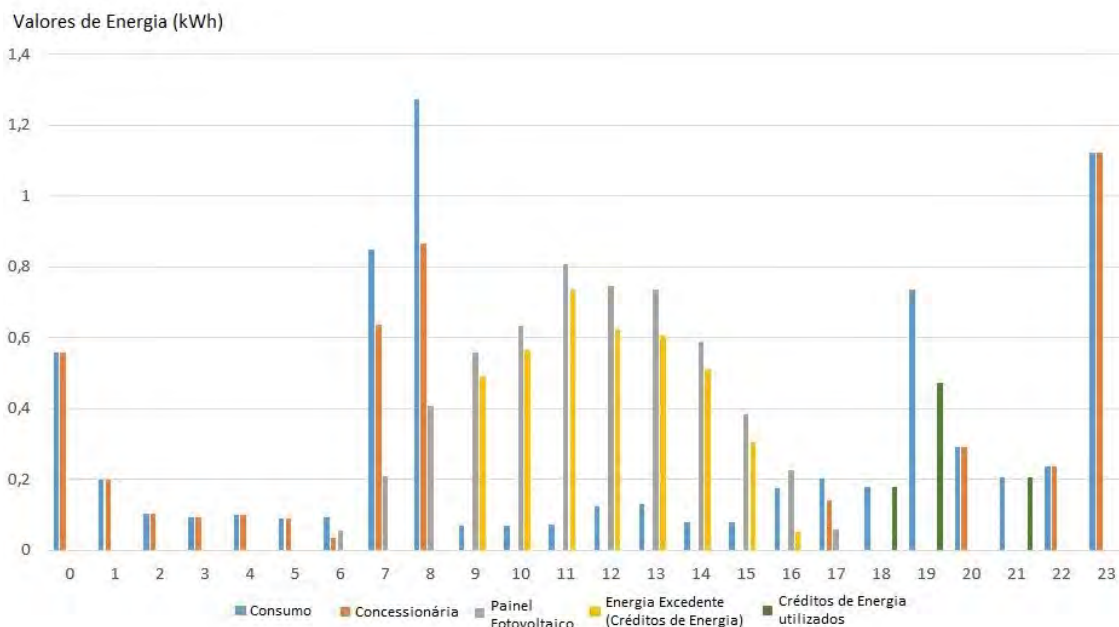


Figura 6: Distribuição consumo/geração na residência

Analisando os valores obtidos, pode-se ainda verificar uma redução do gasto com consumo de energia elétrica em R\$ 0,70 por dia, o que resultaria em uma redução de aproximadamente 7,8% no valor da conta de energia da residência. É importante salientar que esta economia é além do retorno do investimento inicial para implementação da geração fotovoltaica na residência, pois o custo desta foi diluído para compor a tarifação da energia da geração.

Após a análise inicial dos valores retornados, foi sendo reduzido de forma iterativa o valor da tarifa de energia da concessionária com o intuito de encontrar o valor mínimo da tarifa fora de ponta para o qual é vantajoso para o consumidor a instalação do painel fotovoltaico. O valor encontrado foi de R\$0,52 por kWh de energia consumida fora de ponta. Ou seja, se a concessionária cobrar valores acima de R\$0,52 por kWh de energia consumida, nesse caso será vantajosa a instalação do painel fotovoltaico. Caso contrário (valores abaixo de R\$ 0,52 por kWh de energia consumida) não será vantajosa a instalação do painel fotovoltaico.

5. Conclusão

Para este estudo, foi elaborado e implementado um modelo matemático que pudesse responder uma questão quanto a viabilidade da instalação de uma geração fotovoltaica em uma residência. Levando-se em consideração as respostas do modelo, pode-se dizer que a instalação é vantajosa em uma residência com o perfil de carga utilizado como base de dados.

Além dos custos de implementação e manutenção da geração fotovoltaica a serem pagos ao longo dos anos, a instalação ainda representará uma economia de R\$ 21,00 por mês. Além disto, foi encontrado um valor mínimo a ser cobrado pela energia entregue pela concessionária ao consumidor, o que pode ser mais uma ferramenta que pode auxiliar na tomada de decisão.

É bom ressaltar que com a instalação de um painel fotovoltaico, a residência estaria contribuindo para que a matriz energética brasileira se torne cada vez mais equilibrada, evitando que unidades termelétricas de energia sejam utilizadas para suprir a demanda elétrica.

Referências

- ANEEL (2012a). Nota técnica nº 362/2010. URL http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/audiencia/arquivo/2010/120/documento/nota_tecnican%C2%BA_362_2010_sre-srd-aneel.pdf.
- ANEEL (2012b). Resolução normativa nº 482/2012. URL <http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2012482.pdf>.
- Bittoni, L. (2015). Gusek (glpk under scite extended kit). URL <http://gusek.sourceforge.net/gusek.html>.
- CEPEL e CRESESP (2014). Manual de engenharia para sistemas fotovoltaicos. URL http://www.cresesb.cepel.br/publicacoes/download/Manual_de_Engenharia_FV_2014.pdf.
- Chia, I. e Correia, V. (2011). Interface de gestão ativa de consumo de energia elétrica para smart grids. Monografia de graduação, Universidade Federal do Paraná.
- Correia, V. (2015). Modelagem plim aplicada ao estudo de viabilidade de geração fotovoltaica em uma residência utilizando tarifa branca de energia elétrica. Monografia de especialização, Universidade Tecnológica Federal do Paraná.
- Gradella Villalva, M. e Gazoli, J. R. (2012). *Energia Solar Fotovoltaica - Conceitos e Aplicações*. Erica.
- UFRGS, L. (2015). Radiasol 2. URL <http://www.solar.ufrgs.br/#radiasol>.