

SIMULAÇÃO DO USO DE BATERIAS ADOTANDO A TARIFA BRANCA PARA MICROGERAÇÃO FOTOVOLTAICA DE CLASSE RESIDENCIAL

Ariane Silva Finotti – anefinotti@usp.br

Marcelo Pinho Almeida – marcelopa@iee.usp.br

Roberto Zilles – zilles@usp.br

Universidade de São Paulo, Instituto de Energia e Ambiente.

Resumo. Anteriormente, apenas consumidores de alta e média tensão tinham a opção pela tarifa horária. Hoje, a tarifa branca surge como uma alternativa e um desafio para os consumidores de baixa tensão, possibilitando a redução do consumo de energia ao mesmo tempo em que exige um gerenciamento ativo da demanda, fora do horário de ponta. Além disso, há vantagens também para as concessionárias, descongestionando o sistema no horário de maior carga, e reduzindo ou postergando investimentos de longo e médio prazo no setor elétrico. Visto que há esta nova oportunidade de redução na conta de energia, o presente estudo visa investigar se seria vantajosa, a utilização de baterias por um microgerador fotovoltaico conectado à rede, residente na cidade de São Paulo, caso o mesmo aderisse à tarifa branca, assumindo que o consumo da energia armazenada ocorra no horário de pico, ou seja, quando o preço do kWh é mais oneroso.

Palavras-chave: Tarifa branca, Microgerador Fotovoltaico, Baterias.

1. INTRODUÇÃO

O modo como lidamos hoje com a geração, distribuição e transmissão de energia elétrica mudou. A batalha moderna para a diminuição da dependência dos recursos fósseis se tornou muito mais ativa por meio do desenvolvimento de ferramentas como as redes inteligentes (*smart grid*), que permitem o gerenciamento do consumo de energia por parte do consumidor, de modo a favorecer também as concessionárias, permitindo que se minimize as perdas do sistema, tornando-o mais eficiente (Ponce-jara *et al.*, 2017).

Segundo as projeções feitas pela Epe (2017), nos próximos anos o consumo de energia pela classe residencial tende a aumentar em média 182 kWh/mês até 2026, ao passo que cresce o número de residências. No mundo, a demanda por energia irá aumentar em média 10.706 Mtoe até o final de 2040, e, tendo em vista esta necessidade, torna-se necessária a adoção de medidas inteligentes no presente, de forma que haja o gerenciamento adequado e integrado dos recursos energéticos, a fim de promover a conservação de energia, postergando, deste modo, investimentos no setor elétrico (Iea, 2017).

De acordo com a Resolução Normativa nº 733/2016 da ANEEL, a partir de janeiro de 2018 consumidores de baixa tensão, cujo consumo mensal seja superior a 500 kWh, poderão optar pela tarifa branca. A tarifa branca possui três faixas horárias, definidas como: ponta, intermediária e fora de ponta, as quais variam de acordo com a hora e o dia da semana (Aneel, 2016). A abrangência das faixas horárias é entre 17h30min e 20h30min para horário de ponta, e variando de 16h30min até 17h30min e 20h30min até 21h30min para faixas horárias intermediárias, segundo dados fornecidos pela concessionária AES Eletropaulo, que possui a área de concessão na cidade de São Paulo (Aes Eletropaulo, 2017), posto que, os horários de faixas tarifárias variam de acordo com a área de concessão de cada localidade.

A vantagem da adoção da tarifa branca para o consumidor é a possibilidade do gerenciamento do consumo para horários fora de ponta, em que o custo da energia é menos oneroso. Ao mesmo tempo, esta nova opção tarifária possibilita o descongestionamento da rede de transmissão e distribuição, reduzindo sua demanda em horários de pico (Aneel, 2014). Neste sentido, o presente estudo visa investigar a viabilidade da utilização de baterias para um microgerador fotovoltaico conectado à rede, tendo como pressuposto a adesão à tarifa branca, com o intuito de avaliar se seria vantajosa a utilização de baterias, para o gerenciamento ativo da demanda para classe residencial.

2. CONTEXTUALIZAÇÃO DO PROBLEMA

A microgeração fotovoltaica se tornou um mecanismo parcial de independência das concessionárias, ao mesmo tempo em que surge como uma fonte sustentável de energia. Usualmente, os sistemas fotovoltaicos (SFV) instalados em residências são conectados à rede, utilizando a tarifa convencional, assim como grande parte dos consumidores residências.

A adoção de baterias para o SFV se torna um diferencial, pois, ainda que seu custo no mercado possa ser elevado, as mesmas possibilitam o armazenamento da energia gerada pela fonte solar e seu consumo em períodos cuja eletricidade disponibilizada pela rede seja mais cara, no caso da adoção de faixas tarifárias diferenciadas, tal qual é a

tarifa branca. As baterias que serão utilizadas no trabalho são as de Li-íon (mais adequadas quando se trata de SFV conectados à rede), que possuem uma alta densidade energética, possibilidade de suportar altas taxas de carga/descarga, além de não possuírem o “efeito memória” (Cresesb/Cepel, 2014).

Portanto, com a possibilidade de mudança para um sistema mais independente – utilizando baterias – faz-se necessária a análise do comportamento de um SFV adotando a tarifa branca como critério de análise, averiguando se esta seria uma alternativa compensatória do ponto de vista econômico-financeiro.

3. CARACTERIZAÇÃO DO PERFIL A SER ANALISADO

Considerando um consumo médio mensal de 550 kWh/mês para um consumidor residencial, na cidade de São Paulo, será investigado se a tarifa branca traria vantagens econômicas para a adoção de um sistema de armazenamento de energia em bateria, supondo que este consumidor tenha um sistema de microgeração fotovoltaica. As baterias serão utilizadas para o armazenamento da energia gerada e posterior uso nos horários de ponta e intermediário.

Para a projeção dos custos do SFV do caso em análise, estipulou-se que o mesmo seria dimensionado para gerar apenas a metade do consumo da residência, ou seja, 275 kWh/mês. Para este dimensionamento, utilizou-se o simulador do site América do Sol, que leva em consideração a localização geográfica e o consumo mensal a ser suprido (América do sol, 2017). Estimou-se a potência necessária do SFV e obteve-se um valor de 2 kWp.

Para estimar o custo do kWp fotovoltaico, foi utilizado o Mercado brasileiro de geração distribuída (2016), que, por meio de entrevistas de empresas do setor solar fotovoltaico, estabeleceu o custo de instalação para o kWp de um SFV praticado no mercado brasileiro durante o ano de 2016. De acordo com os estudos realizados por Mota (2011) e Nakabayashi(2014), inferiu-se uma taxa de desconto anual para o SFV de 10%. Em relação ao ajuste tarifário, foi tomado como base o estudo proposto por Nakabayashi (2014) em que o IPCA¹ foi levado em consideração para a projeção dos cálculos. A Tab. 1 resume os dados utilizados neste estudo.

Tabela 1 - Dados utilizados.

Variáveis	Valores
Preço do SFV	7.510,00 R\$/kWp
Custo de O&M (em relação ao Investimento Inicial)	0,5% ao ano
Taxa de desconto	10% ao ano
Vida útil do SFV	25 anos
Reajuste tarifário	5,8 % ao ano
Bateria Powerwall Tesla de 7,2 kWh	R\$ 18.037,50 ²

O investimento inicial para a implantação do SFV foi de R\$ 15.020,00, já o investimento inicial para o mesmo sistema, porém com a instalação de um banco de baterias de 7,2 kWh, com troca programada para a metade do tempo de vida útil do sistema, foi de R\$ 51,095,00, ou seja, quase 3,5 vezes maior. Para que se mitigue o custo desse investimento, optou-se pela adesão da tarifa branca, verificando se há a possibilidade de se compensar o custo anualizado do sistema com baterias.

Para a avaliação financeira do projeto, levaram-se em consideração as seguintes figuras de mérito: o Custo Anualizado da Energia Economizada, *CAEE*, que indica o valor economizado, por kWh, nos 25 anos da vida útil do sistema (levando em conta o ajuste tarifário e a taxa de desconto), e o Custo Anualizado da Energia Gerada, *CAEG*, que indica o valor da energia gerada pelo SFV, incluindo O&M e a bateria, quando for o caso. Para que o sistema seja vantajoso, o valor do *CAEE* do SFV com ou sem bateria, deve ser maior que o *CAEG*.

Para o cálculo do *CAEE*, utilizou-se a Eq. (1).

$$CAEE = \frac{FR \cdot \sum_{n=1}^{25} \frac{E_{ano} \cdot TE \cdot (1+a)^{n-1}}{(1+r)^{n-1}}}{E_{ano}} \quad (1)$$

Onde:

TE = Tarifa da energia elétrica no primeiro ano de operação (R\$/kWh);

a = Reajuste tarifário a.a.;

¹ IPCA (Índice de Preços ao Consumidor Amplo), medido mensalmente pelo IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística). Fonte: <http://www.bcb.gov.br/pt-br/#!/home>. Acesso em 10 de Nov de 2017.

² Preço obtido já com taxas de importação e instalação, no dia 01 de Novembro de 2017. Fonte: <https://www.alibaba.com/>. Segundo as características fornecidas pelo fabricante, esta bateria tem uma vida útil de 12 anos com garantia de até 80% da carga. Câmbio no dia de 3,25 R\$/US. Acesso em 10 de Nov de 2017.

r = Taxa de desconto a.a.;

n = Vida útil do sistema;

E_{ano} : Energia gerada pelo SFV no ano (3,3 MWh);

Calculou-se o Fator de Recuperação do Capital, FR , dado pela Eq. (2).

$$FR = \frac{r}{1 - (1 + r)^{-n}} \quad (2)$$

Para o cálculo do $CAEG$, utilizou-se a Eq. (3).

$$CAEG = \frac{II \cdot P \cdot (FR + O \& M)}{E_{ano}} \quad (3)$$

Onde:

II = Valor do kWp (R\$/kWp);

P = Potência estimada para o SFV (kWp);

$O \& M$ = Custo de O&M ao ano, em função do investimento inicial total em R\$.

Com base nos dados disponibilizados pela ANEEL e AES Eletropaulo, foi possível determinar as tarifas convencional e branca, bem como os impostos e taxas cobrados na fatura de energia, conforme apresentado nas Tab. 2 e 3.

Tabela 2 - Valores da tarifa convencional e da tarifa branca nos três horários de operação.

Tarifas (com impostos)	Valor (R\$/kWh)
Tarifa convencional	0,59088
Tarifa branca fora de ponta	0,46605
Tarifa branca intermediária	0,67827
Tarifa branca na ponta	1,08023

Fonte: Elaborado a partir de Aneel (2014) e Aes Eletropaulo (2017).

Tabela 3 - Tributos da fatura de energia (estaduais e federais).

Impostos cobrados na fatura de energia (sem a adição de bandeira tarifária)	Fator multiplicador sobre a tarifa de energia
ICMS	0,3333333
COFINS	0,0453011
PIS/PASEP	0,0098481
ICMS equivalente do COFINS	0,0151004
ICMS equivalente do PIS/PASEP	0,0032827

Fonte: Elaborado a partir de Aes Eletropaulo (2017).

No caso da situação em que a bateria é utilizada, considerou-se que 50% da energia gerada pelo SFV é armazenada e consumida no período noturno, dentro dos horários intermediário e de ponta. Neste caso, a energia armazenada é utilizada nas seguintes proporções: 80% no horário de pico e 20% no horário intermediário.

4. RESULTADOS DO PERFIL ANALISADO

Inicialmente foi analisado qual seria o ganho com a inserção do SFV sem bateria e utilizando a tarifa convencional. Para isso, compararam-se os valores obtidos de $CAEE$ e $CAEG$, e os resultados obtidos são 1,061 R\$/kWh e 0,524 R\$/kWh, respectivamente. Adotando a bateria e a tarifa branca, os valores de $CAEE$ e $CAEG$ sobem para 1,316 R\$/kWh e 1,783 R\$/kWh, respectivamente.

A economia gerada, ou seja, o valor que se deixaria de pagar por kWh, é de 0,536 R\$/kWh com a instalação do SFV sem bateria utilizando a tarifa convencional, como mostra a Fig. 1. Porém, os resultados com adesão de baterias e utilizando a tarifa branca não se mostraram compensatórios, visto que haveria uma perda de 0,467 R\$/kWh, como também mostra a Fig. 1.

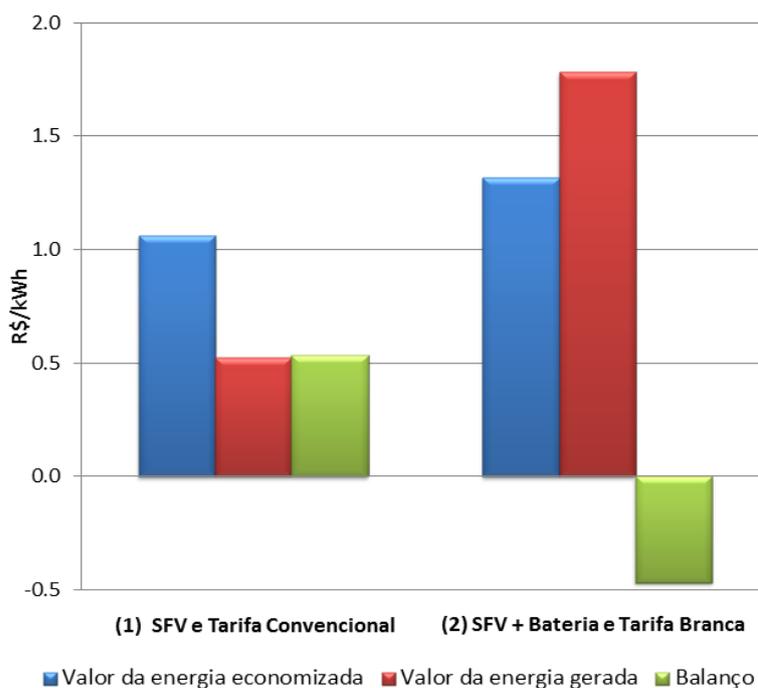


Figura 1 - Análise financeira da viabilidade da utilização de baterias e tarifa branca.

No entanto, segundo uma projeção de Berckmans et al (2017) até o ano de 2030, devido ao aumento da frota de veículos híbridos e elétricos (em torno de 25% das vendas mundiais), haverá uma diminuição significativa em relação ao preço das baterias de Li-íon a base de silício, cerca de 100 US\$/kWh, o que é um valor muito atrativo se comparado aos custos de investimento e instalação analisados no presente estudo, por volta de 763 US\$/kWh. Este processo se dará por meio do amadurecimento do mercado, fabricação em massa de baterias para atender à demanda dos carros elétricos, levando em conta a curva de aprendizado do processo de produção. Portanto, em um futuro próximo a adesão de baterias, se tornaria vantajosa, além de ter como opção a prestação de serviços ancilares, ou seja, aqueles que são caracterizados por complementar os serviços principais da rede de distribuição como geração, distribuição e comercialização de energia.

5. CONCLUSÃO

A tarifa branca para consumidores de baixa tensão da classe residencial surgiu como um marco, visto que a opção por postos horários era dada apenas aos consumidores de média e alta tensão. De modo geral, por promover o deslocamento do uso da carga em horários de pico, este incentivo contribui para a eficiência do sistema elétrico, o qual historicamente já sofreu com o caso do "apagão" em 2001, com a crise hídrica em 2014, sendo mais do urgente a adoção de novas medidas no setor.

Em relação aos consumidores de baixa tensão, foi avaliado se a utilização de baterias atrelada à opção pela tarifa branca seria vantajosa para aqueles que já desfrutam de geração distribuída com SFV em suas residências. Como já esperado, a inserção de baterias no SFV encareceu demasiadamente o investimento, e, mesmo aderindo à tarifa branca, a aquisição de baterias em um SFV não é uma alternativa vantajosa atualmente. Em contrapartida, como já discutido, com a diminuição de preço, futuramente, as baterias não serão um artigo dispendioso para aquisição e complementação na geração distribuída, mas sim, um item indispensável em relação ao armazenamento de energia e a prestação de serviços ancilares. Por fim, se o único objetivo da utilização de armazenamento é lograr ganho financeiro com a economia de energia, o uso de baterias definitivamente não é vantajoso, considerando as condições de contorno atuais, mesmo com o armazenamento e consumo de energia no horário em que esta se mostra mais onerosa.

REFERÊNCIAS

- Aes Eletropaulo, 2017. Calcule sua conta. Disponível em: <<https://www.aeseletropaulo.com.br/educacao-legislacao-seguranca/simuladores/conteudo/calcule-sua-conta>>. Acesso em 01 de nov. 2017.
- América do Sol, 2017. Disponível em: <<http://www.americadosol.org/simulador/>>. Acesso em 01 de nov. 2017.
- Aneel. Tarifa branca. Aneel, 2014. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/tarifa-branca>>. Acesso em 26 de out. 2017.

- Aneel. Resolução Normativa nº 733, de 06 de setembro de 2016. Aneel, 2016. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/audiencia/arquivo/2013/043/resultado/ren2016733.pdf%0ahttp://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2016733.pdf>>. Acesso em 24 de out. 2017.
- Cresesb/cepel. Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos. Grupo de Trabalho de Energia Solar -GTES, DTE, CRESESB-CEPEL. Rio de Janeiro, 2014.
- Berckmans, G.; Messagie, M.; Smekens, J.; Omar, N.; Vanhaverbeke, L.; Mierlo, J. Van. Cost projection of state of the art lithium-ion batteries for electric vehicles up to 2030. *Energies*, V. 10, n. 9, 2017.
- Empresa de pesquisa energética. Projeção da demanda de energia elétrica. Rio de Janeiro, 2017. Disponível em: <[http://www.epe.gov.br/mercado/documents/serie estudos de energia/20130117_1.pdf](http://www.epe.gov.br/mercado/documents/serie_estudos_de_energia/20130117_1.pdf)>. Acesso em 24 de out. 2017.
- International Energy Agency. Key world energy statistics 2017. Oecd publishing. Iea, 2017. Acesso em 29 de out. 2017.
- Nakabayashi, R. K. Microgeração fotovoltaica no Brasil: condições atuais e perspectivas futuras. Dissertação de Mestrado. Universidade de São Paulo. São Paulo, 2014.
- Ponce-jara, M. A.; Ruiz, E.; Gil, R.; Sancristóbal, E.; Pérez-Molina, C.; Castro, M. Smart grid: assessment of the past and present in developed and developing countries. *Energy Strategy Reviews*, 2017.
- Mota, H S. Análise técnico econômica de unidades geradores de energia distribuída. Dissertação de Mestrado. Universidade de São Paulo. São Paulo, 2011.
- Mercado brasileiro de geração distribuída. Rio de Janeiro, 2016. Disponível em: <https://issuu.com/idealeco_logicas/docs/estudofv2016_final/12>. Acesso em 29 de out. 2017.

SIMULATION OF BATTERY USAGE ADOPTING THE WHITE TARIFF FOR A RESIDENTIAL CLASS PHOTOVOLTAIC MICROGENERATION

Abstract. *Previously, only high and medium voltage consumers had the option of hourly tariffs. Today, the white tariff is an alternative and a challenge for consumers of low voltage, allowing the reduction of energy consumption while requiring an active management of demand, outside the peak hours. In addition, there are advantages for utilities, decongesting the system during peak hours, and reducing or delaying long- and medium-term investments in the electricity sector. Considering there is this new opportunity to reduce the energy bill, this study aims to investigate whether it would be advantageous to use batteries in a grid-connected photovoltaic microgeneration resident the city of São Paulo, in case it adhered to the white tariff, assuming that the stored energy consumption occurs at peak times, in other words, when the price of kWh is more expensive.*

Key words: *White Tariff, Photovoltaic Microgeneration, Batteries.*