VIABILIDADE DE SISTEMA DE GERAÇÃO SOLAR FOTOVOLTAICA

Ana Carolina Dias de Albuquerque[1], Hugo Eiji Imai[2], Wesley Ortiz de Oliveira[3], Luciana C. S. H. Rezende[4]

[1] Aluna do Mestrado de Tecnologias Limpas, Centro Universitário de Maringá – UNICESUMAR. Bolsista CAPES.
acdalbuquerque@hotmail.com
[2] Aluno do Mestrado de Tecnologias Limpas, Centro Universitário de Maringá – UNICESUMAR.
eng.hugoimai@gmail.com
[3] Graduado em Engenharia Elétrica, Faculdade de Engenharia e Arquitetura - FEITEP.
wesleyortiz16@gmail.com
[4]Professora do curso de Mestrado em Tecnologias Limpas, Pesquisadora, Doutora, Departamento de Pesquisa, UNICESUMAR.
Pesquisadora do Instituto Cesumar de Ciência, Tecnologia e Inovação – ICETI.
luciana.rezende@unicesumar.edu.br

RESUMO

A população se tornou dependente da energia elétrica. Para quase tudo que se vai fazer, ela é necessária. Em contrapartida, as faturas de energia elétrica têm subido e deixando a conta cada vez cara. Uma alternativa para ajudar o consumidor é a aplicação de geração própria conectada à rede elétrica, para fins de geração de créditos e abatimento no consumo. Este trabalho avalia a utilização de um sistema solar fotovoltaico, com a finalidade de abater contas de energia elétrica e dar retorno financeiro. Tendo como objetivo a realização de uma pesquisa bibliográfica para compreender os métodos e conceitos necessários de um dimensionamento correto de um sistema fotovoltaico on-grid. Além dos métodos e conceitos houve a preocupação em analisar as normativas vigentes no Paraná e a resolução ANEEL Nº 482 (2012) aplicadas ao sistema on-grid.

PALAVRAS-CHAVE: Consumo de energia; Energia elétrica; Geração fotovoltaica.

1 INTRODUÇÃO

No cenário atual, verifica-se a necessidade de economia de energia, a exemplo das propagandas das concessionárias, orientando quanto ao uso consciente da energia elétrica. Essa preocupação revela, implicitamente, certa dificuldade de geração de energia para acompanhar o crescimento da demanda e os altos custos de manutenção, fazendo o governo repassar esses valores aos usuários (SOUZA, 2013).

Sendo a energia elétrica importante para a vida dos indivíduos, buscam-se alternativas de geração, principalmente sem prejudicar o meio ambiente ou transtornos para população. Com isso, surgiram as fontes de energia limpa (REIS, FADIGAS, CARVALHO, 2005).

Considerada como fonte de energia limpa, a energia solar fotovoltaica é obtida através da captação dos raios solares, que através de uma conversão direta, torna-os energia elétrica. As placas que absorvem os raios solares podem ser instaladas em áreas urbanas ou rurais, em telhados, fachadas etc. Devido à facilidade de adaptação, esta forma de produção tem crescido muito nos últimos anos (VILLALVA, 2015).

Buscam-se soluções e formas para poder utilizar energia elétrica, sem se preocupar com a conta de luz no final do mês. Este trabalho justifica-se devido ao fato de que um sistema de geração, interligada a rede elétrica (on-grid), pode gerar créditos que podem ser abatidos na tarifa. Devido à elevada demanda que os consumidores têm apresentado recentemente, tanto residenciais, como industriais e comerciais, esse sistema bem dimensionado pode ser uma solução adequada para o cliente.

O objetivo deste trabalho foi analisar a implantação de um sistema solar fotovoltaico residencial no que se tange à redução dos valores pagos pela energia elétrica e seu tempo de retorno do investimento (payback).

3 MATERIAL E MÉTODOS

Com o propósito de alcançar os objetivos deste trabalho, foi realizada uma revisão bibliográfica para compreender os métodos e conceitos necessários para um dimensionamento correto de um sistema fotovoltaico on-grid. Além dos métodos e conceitos, houve a preocupação em analisar as normativas vigentes no Paraná e a resolução ANEEL Nº 482 (2012) aplicadas ao sistema on-grid (MARCONI, LAKATOS, 2003).

4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste tópico será explorada toda a revisão bibliográfica realizada sobre o assunto do trabalho, que é pautado no sistema de geração de energia fotovoltaica.

4.1 DEMANDA DE ENERGIA ELÉTRICA BRASILEIRA

A sociedade tem utilizado muito da tecnologia e, em consequência, também da energia elétrica (REIS, SANTOS, 2014). Segundo a Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios Contínua, referente ao quarto trimestre de 2016, aonde foi realizado um levantamento sobre o uso da internet no Brasil, mostra que cerca de 85% dos jovens utilizaram internet, e que 94,6% entre todos os brasileiros que utilizaram a internet tiveram acesso através de um aparelho celular (IBGE, 2016).

Com a crescente utilização da tecnologia, no Brasil o consumo tem aumentado, conforme mostra a figura 1.

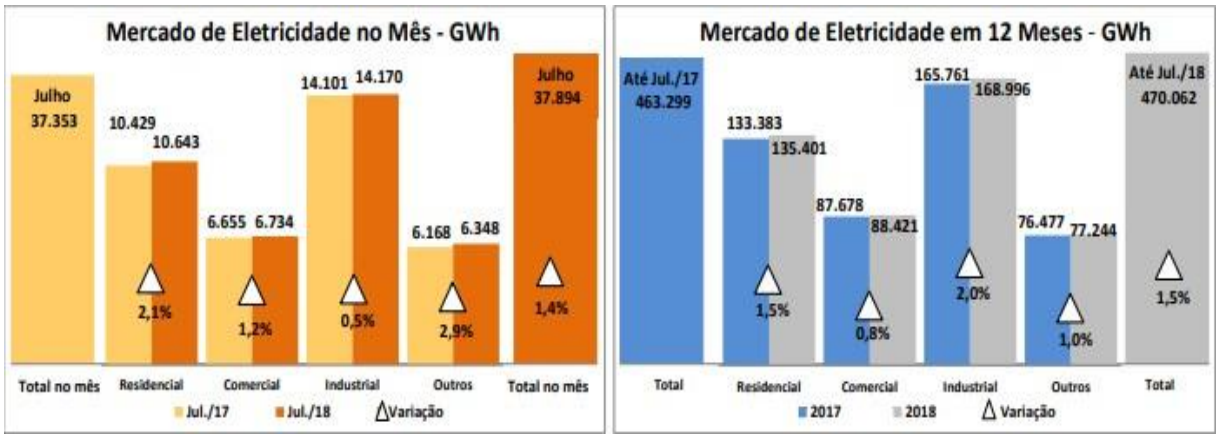

Figura 1: Aumento do consumo de energia elétrica no Brasil
Fonte: Empresa de Pesquisa Energética (EPE) (2018)

A partir da Figura 1, pode-se perceber que os três principais grupos consumidores de energia no Brasil são indústrias, residências e comércios, respectivamente. Os consumidores industriais, levando-se em consideração os dados da Empresa de Pesquisa Energética (EPE), entre agosto de 2017 até agosto de 2018, tiveram um crescimento de consumo de 2%, chegando a uma demanda de 168.996 GWh. As residências brasileiras tiveram um crescimento de consumo no mesmo período, de 1,5%, chegando a 135.401 GWh consumidos. Já no grupo de comerciantes, a demanda também teve um aumento, chegando a 88.421 GWh, que representa 0,8% de crescimento.

O aumento no consumo da energia elétrica consequentemente gera um

aumento nas contas de luz. No Paraná, a resolução ANEEL Nº 2.225 de 20 de junho de 2017, autorizou um reajuste de 5,85% no preço do kW/h. Em 2018 a resolução ANEEL Nº 2.402, de 19 de junho, chegou a um reajuste de 15,99% nas tarifas de energia elétrica paranaense, conforme apresentado no Quadro 1.

TARIFAS NO PARANÁ SUB-GRUPO B1 - RESIDENCIAL		
ANO	2017	2018
RESOLUÇÃO DA ANEEL	Nº 2.225, DE 20 DE JUNHO DE 2017	Nº 2.402, DE 19 DE JUNHO DE 2018
TARIFAEM R$/KWH NA RESOLUÇÃO	R$0,44056	R$0,50752
TARIFA NO PARANÁ	R$0,69118	R$0,76897

Quadro 1: Tarifas residenciais no Paraná
Fonte: elaborado pelo autor (2018)

Para atender a demanda de energia elétrica brasileira, tem-se atuado principalmente com fontes hidráulicas e térmicas, conforme Quadro 2.

Fonte	Valor mensal			Acumulado 12 meses		
	Fev/18 (GWh)	Evolução mensal (Fev/18 / Jan/18)	Evolução anual (Fev/18 / Fev/17)	Mar/16-Fev/17 (GWh)	Mar/17-Fev/18 (GWh)	Evolução
Hidráulica	***35.638***	***-5,7%***	***-3,4%***	***406.192***	***383.472***	***-5,6%***
Térmica	***5.394***	***-19,1%***	***2,2%***	***98.929***	***113.823***	***15,1%***
Gás	2.598	-22,9%	5,9%	39.544	50.025	26,5%
Carvão	889	-2,4%	12,7%	13.048	13.439	3,0%
Petróleo *	570	16,4%	17,7%	8.216	10.523	28,1%
Nuclear	752	-41,4%	-31,6%	14.369	14.087	-2,0%
Biomassa	585	-4,7%	28,8%	23.753	25.748	8,4%
Eólica	***2.068***	***-38,1%***	***-3,4%***	***34.169***	***41.378***	***21,1%***
Solar	***148***	***-9,4%***	***6423%***	***29***	***1.405***	***4781%***
TOTAL	43.247	-9,9%	-2,44%	539.319	540.077	0,1%

Quadro 2: Geração de energia elétrica no Brasil – Sistema interligado nacional
Fonte: Ministério de Minas e Energia (MME) (2018)

Observa-se que o Brasil é totalmente dependente de fontes hidráulicas. As hidroelétricas obtiveram uma geração total de 383.472 GWh entre março de 2017 e fevereiro de 2018, mesmo com uma queda de geração de 5,6% comparado a um período de 12 meses anteriores.

A geração térmica, que envolve fontes como gás, carvão, petróleo, nuclear e biomassa, tem sido o segundo maior gerador, com 113.823 GWh gerados no mesmo período. Destaca-se o crescimento de 4781%, considerando dados de março/2017 a fevereiro/2018 comparados a 12 meses anteriores, de geração de fontes solares, representando 1.405 GWh gerados em sistemas interligados.

4.1.1 Fatura da Energia

A fatura de energia elétrica brasileira segue os regimentos da ANEEL (Agência Nacional de Engenharia Elétrica) e da concessionária que realiza o atendimento ao consumidor. Segundo a ANEEL (2016), a fatura de energia elétrica corresponde ao

somatório de três aspectos, sendo eles: a energia gerada, o transporte de energia até as unidades consumidoras (transmissão e distribuição) e os encargos setoriais.

Sobre as partes que compõem a fatura de energia elétrica, a parte de energia gerada tem os tributos determinados de acordo com os leilões públicos de energia, sendo a competição importante para que os valores diminuam. Já a transmissão e distribuição são custos repassados aos consumidores para manter a rede ativada.

Os gastos com a transmissão são de responsabilidade dos geradores, sendo da geração até a concessionária. Já a parte de distribuição cabe a concessionária. Os encargos setoriais não são definidos pela ANEEL, e sim seguindo a lei nacional, que podem cair sobre a distribuição e/ou transmissão (ANEEL, 2016).

Dessa forma, em porcentagem, a tarifa tem sido composta conforme Figura 2.

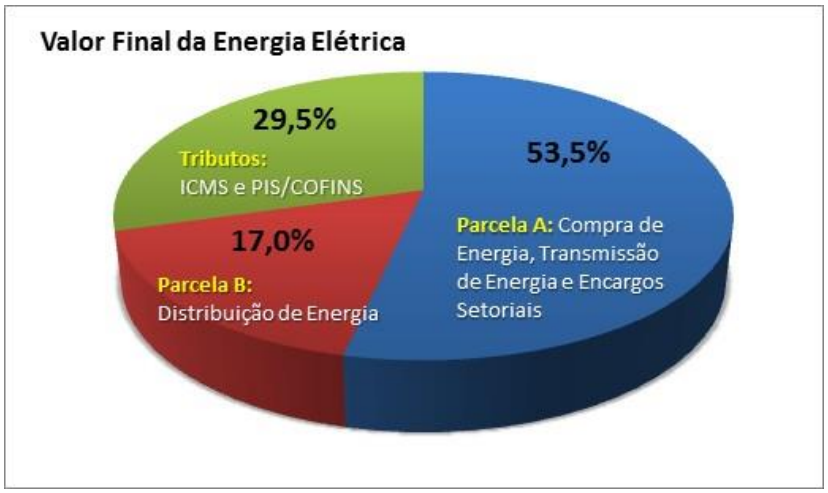

Figura 2: Valor final da energia elétrica
Fonte: ANEEL (2016)

Além das composições da fatura de energia elétrica destacados anteriormente, no Brasil há uma cobrança extra de acordo com as condições de geração, definida como Bandeiras Tarifárias, que segundo ANEEL (2015) são constituídas pelas seguintes bandeiras: verde (tem-se as condições favoráveis para geração de energia elétrica, não gerando acréscimo); amarela (as condições são menos favoráveis para a geração de energia, causando um acréscimo de R$ 0,01 para cada quilowatt-hora consumido); vermelha – patamar 1 (as condições são desfavoráveis para a geração de energia elétrica, tendo acréscimo de R$ 0,03 para cada quilowatt-hora consumido) e vermelha - patamar 2 (com condições mais desfavoráveis para geração de energia elétrica, com acréscimo de R$ 0,05 para cada quilowatt-hora consumido).

4.2 ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA

4.2.1 Conversão Fotovoltaica

A conversão de incidência solar para energia elétrica se dá pelo efeito fotovoltaico. Este efeito foi descoberto pelo físico Edmond Becquerel, e ocorre em materiais que são capazes de absorver a energia dos fótons, encontrados na radiação solar (ZILLES, et al, 2012).

Esses materiais utilizados são os semicondutores, como o silício monocristalino, que absorve a energia da radiação solar e transfere parte para os elétrons, causando uma formação de pares portadores de carga (ZILLES, et al, 2012).

4.2.2 Células Fotovoltaicas

As células fotovoltaicas são responsáveis pela conversão fotovoltaica, ou seja, conversão da radiação solar para energia elétrica. Para que tenha uma geração em grandes potências, várias células são unidas formando um módulo/ placa fotovoltaica (ZILLES, et al.,2012).

Atualmente há vários tipos de tecnologias de células fotovoltaicas fabricadas mundo, merecem destaque as do silício monocristalino, silício policristalino e a do filme fino de silício. O Brasil se destaca como um dos principais países produtores de silício, tal é extraído do minério quartzo (VILLALVA, 2015).

Cada célula tem suas características específicas. As células compostas por silício monocristalino possuem eficiência entre 15% a 18%, e este material é extraído de um bloco de silício ultrapuro, submetido ao método de Czochralski, que consiste em aquecimento a altas temperaturas para a formação de lingote de silício monocristalino. Esse lingote é transformado em wafers, que recebem uma película metálica em umas das faces, na outra face uma grande camada metálica e uma camada de material antirreflexivo na face exposta a luz solar, chegando enfim na célula fotovoltaica. Este tipo de célula tem um custo de produção mais elevados que as demais (VILLALVA, 2015).

As células de silício policristalino possuem eficiência entre 13% a 15%. Este material é formado pela junção de vários cristais, que formam o lingote de silício policristalino. O lingote é serrado formando wafers, que posteriormente se tornara uma célula fotovoltaica. Esta célula é caracterizada pela cor azul com antirreflexo ou cinza prateado sem antirreflexo (SOUZA, 2013).

Já o filme fino de silício é a mais nova destas três. Esta tecnologia é fabricada utilizando finas camadas de materiais, podendo ser silício e outros, sobre uma base rígida ou flexível. Como vantagens desta tecnologia, tem-se o custo baixo e menor sensibilidade à sombreamentos. Em contramão disso, as células de filme fino de silício têm uma menor eficiência comparada às anteriores. Segue figura 9 demonstrando uma aplicação deste tipo de placa (VILLALVA, 2015).

4.3 SISTEMA DE GERAÇÃO

Os sistemas fotovoltaicos têm atendido e solucionado as necessidades de cada consumidor. Atualmente existem dois tipos de sistemas de geração solar fotovoltaica mais utilizados, sendo o *off-grid* e o *on-grid* (PINHO, GALDINO, 2014).

4.3.1 Sistema Fotovoltaico Autônomo (off-grid)

É mais utilizado em locais onde a rede elétrica não atende, ou quando se torna inviável o investimento em uma nova rede. Esse sistema é muito útil e quando bem dimensionado pode fornecer energia elétrica para casas, vilas, praias etc. Além disto, os sistemas autônomos têm sido bem aplicados para utilização de aparelhos como radares e placas luminosas (VILLALVA, 2015).

Muitos lugares onde não chega à rede elétrica têm utilizado geradores a diesel, que além do investimento inicial, há também os gastos fixos com diesel e manutenções, fora ruído e poluição.

Já os sistemas autônomos necessitam de pouca manutenção, não polui enquanto gera, é silencioso e ecológico (VILLALVA, 2015).

Vários componentes são necessários para a implantação deste tipo de sistema, como poder ser observado na Figura 3. Esses componentes consistem no módulo fotovoltaico, no inversor off-grid, controlador de carga e baterias. Esse primeiro é insubstituível e tem a função de captar a energia solar e convertê-la em energia elétrica. A corrente que sai dos módulos é contínua (DC). A quantidade deste material

a ser aplicada depende da necessidade de energia elétrica a ser atendida (PINHO, GALDINO, 2014).

Figura 3: Sistema Off-grid
Fonte: GR Industrial (2016)

O inversor off-grid tem como função converter a corrente contínua, que saem dos módulos, para corrente usual, corrente alternada. Ainda possui uma alta capacidade de sobrecarga, além de tolerância para as flutuações de tensão causada pelas baterias (SOUZA, 2013).

Para qualquer sistema que envolva bateria o controlador de carga é obrigatório. Esse equipamento tem a função de intermediar a conexão entre os módulos e as baterias, evitando uma possível sobrecarga ou descarga das baterias. O funcionamento adequado deste equipamento faz com que a vida útil das baterias sej aumentada (VILLALVA, 2015).

Já as baterias possuem como função o armazenamento de energia gerada que não está sendo consumida, e quando não houver geração, período noturno ou dias chuvosos por exemplo, as baterias ficam responsáveis por alimentar o consumidor. A quantidade de baterias necessárias depende de cada sistema, ou seja, o dimensionamento do banco de baterias é proporcional ao tamanho do sistema (VILLALVA, 2015).

4.3.2 Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede Elétrica (on-grid ou grid-tie)

Diferentemente do sistema anterior, este sistema de geração trabalha ligado à rede elétrica e são instalados em lugares que já possuem rede disponível. O maior objetivo do sistema *on-grid* é gerar total ou parcialmente o que o proprietário consome, assim causaria uma redução na sua conta de energia. Se por acaso o sistema produzir mais do que consome, isso se tornaria um excedente de energia (PINHO, GALDINO, 2014).

Os primeiros sistemas *on-grid* começaram a aparecer já em 1990 e começou a se destacar no ramo fotovoltaico. Para destacar como houve uma aceitação muito rápida deste sistema, já em 1999 a geração dos sistemas *on-grid* representava

cerca de 30% de toda a potência de energia elétrica do planeta (ZILLES, et al, 2012).

Sistemas conectados na rede elétrica são divididos em três categorias, de acordo com a potência instalada. As categorias são, segundo resolução normativa nº 482, de 17 de abril de 2012 (ANEEL, 2012). A primeira consiste em uma microgeração de até 75kW; o segundo em um minigeração de 75kW até 5MW, e o último em usina, que consistem numa geração acima de 5MW.

Para este sistema, exemplificado na Figura 4, tenha um bom desenvolvimento de todas as suas funções, é necessário a aplicação de alguns equipamentos como o módulo fotovoltaico, que possuem a função de captar a energia solar e converter em energia elétrica, também em DC (VILLALVA, 2015); o inversor *on-grid* , que converte a corrente contínua dos módulos para corrente alternada, e também possui a característica de trabalhar somente ligado à rede elétrica, ou seja, caso a rede elétrica de distribuição pare de operar, o inversor também não opera, protegendo equipamentos da rede e/ou profissionais que possam estar fazendo manutenção da rede. (SOUZA, 2013).

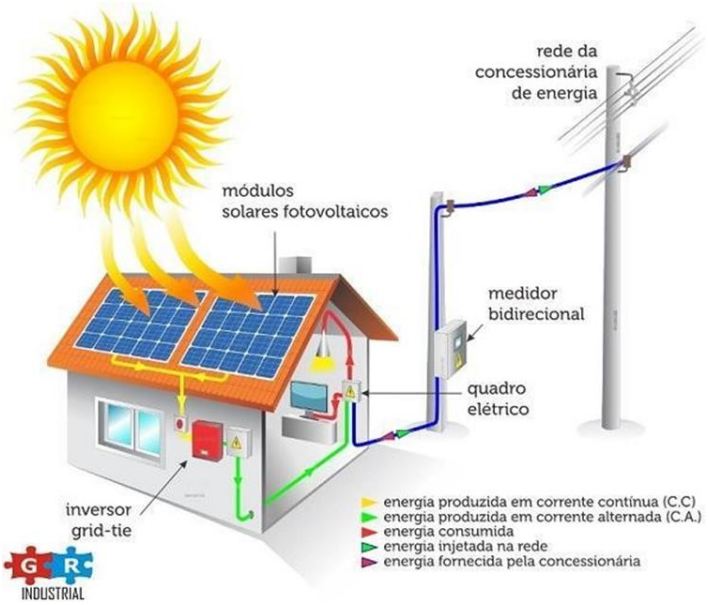

Figura 4: Sistema *On-grid*
Fonte: GR Industrial (2016)

Além dos anteriores há o *String-box* ou caixa de *strings*, é um conjunto de conexões entre os *strings* do sistema fotovoltaico. Essa caixa deve conter uma separação correta entre os terminais positivos e negativos, além de identificá-los, e cada cabo conectado no barramento deve conter um fusível de *string*. Para manutenção, terá um interruptor CC que permite o desligamento de um painel ou da fileira de painéis. Para maior proteção, na caixa de *string* poderá ser instalado diodos de bloqueio, que impedem a corrente de fazer o caminho inverso, onde causaria danos aos módulos (SOUZA, 2013).

O quadro de proteção CC, outro equipamento necessário para o desenvolvimento do sistema, tem a mesma função da *string box*, onde possui os fusíveis para conexão das *strings*. Além disso, o barramento de aterramento das carcaças dos painéis solares também deve estar contido nesta caixa. A chave CC de desconexão e dispositivos de proteção contra surtos também são partes importantes deste quadro. Para maior proteção, países da Europa tem implantado nesta caixa a chave seccionadora, onde ocorreria um acionamento rápido em situações extremas

(VILLALVA, 2015). Já o quadro de proteção CA é parecido com os quadros de baixa tensão instalados nas residências, com barramento terra, barramento trifásico (dependendo da ligação), DPS etc. Mas além disso o quadro contém a conexão da ligação do inversor (VILLALVA, 2015).

E finalmente o medidor bidirecional: com função de medir a energia gerada no sistema e a energia consumida da rede, este medidor é crucial no sistema. A partir das informações desse medidor será possível saber quanto foi abatido pela geração na conta do consumidor (PINHO, GALDINO, 2014).

4.4 PAYBACK

O *payback*, método de período de retorno de capital, é um sistema de cálculo capaz de fazer uma previsão de retorno do capital investido, ou seja, será previsto o tempo de retorno do valor investido (REBELATTO, 2004). Para calcular o payback existem alguns métodos, dentro deles o payback simples, payback acumulado e payback descontado (FERREIRA, 2009).

O *payback* simples (PBS), é bem utilizado por práticos ou leigos na hora de decidir se será feito ou não um certo investimento (FERREIRA, 2009). O PAYBACK descontado (PBD) é mais completo, e considerando o retorno que o capital irá causar até que se iguale ao investimento inicial. O PBD calcula descontando o investimento inicial até que se iguale a 0, assim chegará no tempo de retorno (FERREIRA, 2009).

O *payback* acumulado (PBA) é bem parecido com o método PBD. Neste método ao invés de descontar os valores, o PBA faz um acúmulo de valores para aí sim poder fazer uma anulação entre eles, onde dará o tempo de payback do capital (FERREIRA, 2009).

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

No Brasil, há um crescimento de consumo de energia elétrica, fazendo com que a demanda de energia aumente. Toda essa demanda combinada com possíveis dificuldades de geração fez com que a ANEEL criasse bandeiras tarifarias, sendo elas verde, amarela e vermelha (patamar 1 e 2). Cada bandeira possui seu valor de acréscimo definido e cada uma é aplicada conforme as condições de gerações de energia.

A energia solar fotovoltaica se tornou uma opção para o consumidor diminuir sua conta de energia elétrica, além de ser uma produção limpa de energia. É gerada por meio da conversão fotovoltaica, na qual a célula atual, captando energia dos fótons da radiação solar. Essas células são feitas, na maioria dos casos, de silício monocristalino, silício policristalino e filme fino de silício. Para geração de energia elétrica ultimamente se aplica na maioria dos casos dois sistemas, o on-grid e off-grid. O sistema on-grid, ou grid-tie, refere-se à geração acoplada a concessionária de energia elétrica, causando créditos para abatimento no consumo de energia elétrica. Já o sistema off-grid é utilizado para sistemas pequenos ou lugares sem disponibilidade de rede elétrica, armazenando a energia elétrica gerada em bancos de baterias.

Como na maioria dos sistemas elétricos no Brasil, o sistema fotovoltaico também tem normas e resoluções que devem ser seguidas, sejam elas de abrangência nacional ou estadual. Além das normas de relacionamento direto com o sistema fotovoltaico, tende-se também de ser respeitadas normas relacionadas a instalações elétricas e sistema de proteção contra descargas atmosféricas, onde o dimensionamento e a instalação da geração precisam estar também dentro dos critérios estabelecidos nelas.

6 AGRADECIMENTOS

A primeira autora agrade a CAPES – Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – pela bolsa de mestrado concedida. O segundo autor agrade ao ICETI – Instituto Cesumar de Tecnologia e Inovação – pela bolsa de mestrado concedida e a quarta autora pela bolsa de Produtividade em Pesquisa.

REFERÊNCIAS

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica. **Bandeiras Tarifárias.** 2015. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/bandeiras-tarifarias>. Acesso em: 16 de jun. 2018.

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica. **Resolução Homologatória Nº2.225 de 20 de junho de 2017.** 2017. Disponível em <http://www2.aneel.gov.br/cedoc/reh20172255ti.pdf>. Acesso em: 8 de ago. de 2018.

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica. **Resolução Homologatória Nº2.402 de 19 de junho de 2018.** 2018. Disponível em: <http://www2.aneel.gov.br/cedoc/reh20182402ti.pdf>. Acesso em: 8 de ago. de 2018.

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica. **Resolução Normativa Nº482 de 17 de abril de 2012.** 2012. Disponível em: <http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2012482.pdf>. Acesso em:15 de ago. de 2018.

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica. **Tarifa Branca.** 2015. Disponível em: < http://www.aneel.gov.br/tarifa-branca >. Acesso em: 16 de jun. 2018.APPLE. **Bússola** for iOS 10.0. Apple Inc., 2016. Aplicativo.

FERREIRA, Roberto G. **Engenharia Econômica e Avaliação de Projetos de Investimento**: Critérios de Avaliação, Financiamentos e Benefícios Fiscais, Análise de Sensibilidade e Risco. São Paulo: Atlas, 2009.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios Contínua** – Acesso à Internet e à televisão e posse de telefone móvel celular para uso pessoal 2016. 2016. Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/index.php/biblioteca- catalogo?view=detalhes&id=2101543>. Acesso em: 22 de nov. de 2018.

PINHO, João Tavares; GALDINO, Marco Antonio. **Manual de Engenharia para Sistema Fotovoltaicos**. Rio de Janeiro: CEPEL – CRESESB, 2014.

REBELATTO, Daisy. **Projeto de Investimento**. Barueri: Manole, 2004.

REIS, Lineu Belico dos; FADIGAS, Eliane A. Amaral; CARVALHO, Cláudio Elias. **Energias, Recursos Naturais e a Prática do Desenvolvimento Sustentável.** Barueri: Manole, 2005.

REIS, Lineu Belico dos; SANTOS, Eldis Camargo. **Energia Elétrica e Sustentabilidade:** Aspectos tecnológicos, socioambientais e legais. 2ª edição. Barueri: Manole, 2014.

SOUZA, Rovilson di. **Os sistemas de energia solar fotovoltaico:** livro digital de introdução aos sistemas solares. Ribeirão Preto: Blue Sol Energia Solar, 2013.

VILLALVA, Marcelo Grandella. **Energia solar fotovoltaica:** conceitos e aplicações. 2ª edição. São Paulo: Érica, 2015.

ZILLES, Roberto et al. **Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede Elétrica.** São Paulo: Oficina de Textos, 2012.