



Noviembre 2018 - ISSN: 1696-8352

ESTUDO DE CASO DE UM SISTEMA FOTOVOLTAICO PARA GERAÇÃO DISTRIBUÍDA DE ELETRICIDADE EM UM CONSUMIDOR COMERCIAL COM INTERLIGAÇÃO À REDE ELÉTRICA NO MUNICÍPIO DE FORTALEZA, CE

Rickardo Léo Ramos Gomes Junior¹
Prof. M. Sc. Danilo Nobre Oliveira²
Prof. M. Sc. Rickardo Léo Ramos Gomes³

Para citar este artículo puede utilizar el siguiente formato:

Rickardo Léo Ramos Gomes Junior, Danilo Nobre Oliveira y Rickardo Léo Ramos Gomes (2018): “Estudo de caso de um sistema fotovoltaico para geração distribuída de eletricidade em um consumidor comercial com interligação à rede elétrica no município de Fortaleza, CE”, Revista Observatorio de la Economía Latinoamericana, (noviembre 2018). En línea: <https://www.eumed.net/rev/oel/2018/11/geracao-distribuida-eletricidade.html>

RESUMO

Este trabalho apresenta discussões sobre pesquisas relacionadas às energias renováveis com a finalidade de analisar as vantagens e desvantagens para a geração de energia solar no Brasil e perspectivas para ampliação da geração deste tipo de fonte de energia. Para tanto foi realizada uma revisão sistemática de estudos sobre a temática e, na sequência, uma análise e síntese, com foco em um Sistema para captação e geração de eletricidade a partir da energia solar. Este estudo procura contribuir para o planejamento, melhoria no acesso a sistemas modulados e na tomada de decisão quando da instalação de novas maneiras de exploração da energia solar fotovoltaica no Brasil considerando o enorme potencial de geração desta energia que o Brasil apresenta. A base para estas discussões é a apresentação de um sistema para microgeração solar fotovoltaica. O uso da energia solar apresenta muitas possibilidades de crescimento com a investigação de novas tecnologias e/ou a implantação de sistemas em locais pouco explorados.

Palavras-chave: Captação de Energia Solar. Perspectivas. Crescimento. Microgeração.

RESUMEN

Este trabajo presenta discusiones sobre investigaciones relacionadas a las energías renovables con el fin de analizar las ventajas y desventajas para la generación de energía solar en Brasil y

¹ Graduado em Mecatrônica Industrial pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará (IFCE); Pós graduando em Gerenciamento de Projetos pela UniAteneu.

² Professor Orientador do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará (IFCE)

³ Professor da Disciplina de Metodologia do Trabalho Científico (Orientador) – UniAteneu. Instituto Euvaldo Lodi (IEL); Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará (IFCE); Dr. (Tít. Cult.) em Ciências Biológicas pela FICL; M. Sc. em Fitotecnia pela Universidade Federal do Ceará (UFC); Spec. em Metodologia do Ensino de Ciências pela Universidade Estadual do Ceará (UECE); Spec. (Tít. Cult.) em Paleontologia Internacional pela Faculdade Internacional de Cursos Livres (FICL). Graduado em Agronomia pela Universidade Federal do Ceará (UFC); Licenciado nas disciplinas da Área de Ciências, Matemática e suas Tecnologias pela Universidade Estadual Vale do Acaraú (UVA); Consultor Internacional do BIRD para Laboratórios Científicos. Membro da ABNT.

perspectivas para la ampliación de la generación de este tipo de fuente de energía. Para ello se realizó una revisión sistemática de estudios sobre la temática y, a continuación, un análisis y síntesis, con foco en un Sistema para captación y generación de electricidad a partir de la energía solar. Este estudio busca contribuir a la planificación, mejora en el acceso a sistemas modulados y en la toma de decisión cuando de la instalación de nuevas maneras de explotar la energía solar fotovoltaica en Brasil considerando el enorme potencial de generación de esta energía que Brasil presenta. La base para estas discusiones es la presentación de un sistema para microgeneración solar fotovoltaica. El uso de la energía solar presenta muchas posibilidades de crecimiento con la investigación de nuevas tecnologías y / o la implantación de sistemas en lugares poco explotados.

Palabras clave: Captación de energía solar. Perspectivas. Crecimiento. Microgeneración.

ABSTRACT

This work presents discussions on research related to renewable energies with the purpose of analyzing the advantages and disadvantages for the generation of solar energy in Brazil and prospects for expanding the generation of this type of energy source. For this, a systematic review of studies on the subject was carried out and, subsequently, an analysis and synthesis, focusing on a System for capturing and generating electricity from solar energy. This study aims to contribute to the planning, improvement of access to modulated systems and decision making when installing new ways of exploring photovoltaic solar energy in Brazil, considering the enormous potential of generation of this energy that Brazil presents. The basis for these discussions is the presentation of a system for photovoltaic solar microgeneration. The use of solar energy presents many possibilities of growth with the investigation of new technologies and / or the implantation of systems in places little explored.

Descriptors JEL (Journal of Economic Literature): K32 Energy, Environmental, Health, and Safety Law; 013 Agriculture • Natural Resources • Energy • Environment • Other Primary Products; P18 Energy • Environment; P28 Natural Resources • Energy • Environment; Q42 Alternative Energy Sources.

Keywords: Solar Energy Capture. Perspectives. Growth. Microgeneration.

1 INTRODUÇÃO

Ultimamente tem se tornado, cada vez mais comum a busca por fontes de energias renováveis. Esta busca é uma tendência mundial, por diversas razões, dentre elas o fato destas fontes de energia causarem impactos ambientais significativamente menores (do que as fontes de energia baseadas em combustíveis fósseis, por exemplo) e não dependerem de recursos que podem se esgotar, como é o caso das usinas termelétricas que usam o petróleo e/ou carvão como combustível fóssil.

Entretanto ao usar energias renováveis há um custo aquisitivo ainda elevado, dos seus equipamentos, por se tratar de uma fonte de energia “nova” e que ainda não possui uma escala tão grande de mercado. Nesta situação, uma alternativa é a utilização de um sistema misto de geração de eletricidade, buscando o equilíbrio entre diversas fontes de energias.

Nos últimos anos o uso da energia solar vem crescendo significativamente no Brasil, sendo, atualmente, umas das principais fontes de energia renovável utilizadas no país. Na medida em que houve um avanço dos estudos sobre esse assunto, nos últimos anos, aumentaram também o nível tecnológico dos equipamentos, ferramentas e estruturas, utilizados nesta modalidade de geração de eletricidade.

O objetivo geral deste trabalho é ressaltar a importância das energias renováveis (em especial, a energia solar), para o Brasil e para o mundo, e detalhar algumas características de um sistema de microgeração de eletricidade, baseado na energia solar.

Já os objetivos específicos são os seguintes: relatar as considerações gerais sobre energias renováveis; destacar os principais tipos de energias renováveis e discorrer sobre a energia solar ressaltando informações gerais e potencialidades relacionadas com esta modalidade de vertente energética, bem como analisar a potencialidade de um sistema de microgeração de eletricidade, que utiliza energia solar.

O trabalho está organizado da seguinte maneira: no primeiro capítulo é apresentada uma introdução sobre o assunto; no segundo capítulo é apresentada a fundamentação teórica e os

procedimentos metodológicos; no terceiro capítulo é feita uma breve abordagem sobre a resolução nº482/2012 da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) (que trata sobre micro e minigeração de eletricidade) e no quarto capítulo é feito um estudo de caso de um sistema de microgeração solar real. Finalmente, no último capítulo, são feitas as considerações finais deste trabalho.

1.1 Metodologia

Neste tópico é feita uma revisão de literatura realizada através de pesquisa bibliográfica, sendo esta “elaborada a partir de material já publicado, constituído principalmente de livros, artigos de periódicos e atualmente com material disponibilizado na Internet” (Gil, 2007, p. 64).

Ressalta-se que a pesquisa bibliográfica fornece um relevante conteúdo teórico e de conhecimento, visto que possibilita uma análise e discussão das referências outrora publicadas.

Assim, não se pode negar a importância da pesquisa bibliográfica no processo de investigação. Fachin (2001, p. 125) resume a importância da pesquisa bibliográfica, ao afirmar que “[...] é a base para as demais pesquisas e pode-se dizer que é um constante na vida de quem se propõe a estudar”.

Por fim, então, fica evidente que a pesquisa bibliográfica traz ao pesquisador o embasamento fundamental de que o saber científico é um saber cumulativo e necessário para a compreensão e construção de conceitos e/ou fenômenos. E ainda mais o uso da pesquisa em questão traz em suas revisões as reflexões presumíveis para o estudo proposto.

Além disso foi realizada uma visita técnica a uma empresa que gera parte de sua própria eletricidade, a partir de um sistema de microgeração com energia solar, na qual foram obtidos dados técnicos, do sistema instalado, os quais foram comentados, e demonstrando, na prática, a vantagem e o potencial do uso da energia solar para geração de eletricidade em sistemas de pequeno/médio porte que foi o foco deste trabalho.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Principais Tipos de Energias Renováveis

A energia é um recurso natural que se pode aproveitar industrialmente a partir da aplicação da tecnologia e de diversos recursos associados. A energia é um subsídio fundamental para as atividades humanas e utilizadas em diferentes territórios e espacialidades geográficas. Cada país possui uma matriz energética específica que está diretamente associada com a disponibilidade dos recursos energéticos em seu território (Rampinelli; Rosa Junior, 2012).

Bandeira (2012, p. 04) afirma que

O Brasil dispõe de diversificada matriz energética, possuindo, em seu território, significativas reservas de fontes não renováveis (petróleo, gás natural, carvão, urânio, etc.) e diversificadas fontes de energia renovável, com destaque para o vasto potencial hidrelétrico, eólico, solar e de biomassa de que o país dispõe para geração de energia elétrica.

A energia hidráulica, também conhecida como energia hídrica, é produzida levando-se em consideração a energia potencial de uma massa de água, a qual ocorre, na natureza, na forma de fluxos de água, como rios e lagos. Esta massa é aproveitada por meio de um desnível ou queda d'água que provoca o movimento de turbinas que vão gerar, finalmente, a energia elétrica.

De maneira geral reconhecemos a Energia eólica como a transformação da energia natural dos ventos em energia elétrica ou mecânica. Esta transformação pode ser obtida através da utilização de aerogeradores para produzir eletricidade e moinhos de vento para produzir energia mecânica utilizada para moer alimentos ou para deslocar água.

Alves (2010 *apud* Kaspary; Jung, 2015, p. 05) afirma que

A energia eólica é obtida a partir do aproveitamento da energia cinética dos ventos, que é formada pelas massas de ar em movimento. Para conversão

em energia elétrica são utilizadas turbinas eólicas, também conhecidas como aerogeradores.

Energia geotérmica, também conhecida como energia geotermal, de maneira geral, é obtida através da exploração do calor proveniente do magma terrestre. Este calor pode ser propagado a partir de profundezas consideráveis ou em algumas profundidades que estão mais perto da superfície do que outras, tornando-se, desta maneira, mais fácil a sua exploração.

O conceito primário sobre biomassa está relacionado às todas as matérias orgânicas que podem ser utilizadas como fontes de energia. As plantas, como seres autótrofos (capazes de produzir seu próprio alimento), são capazes de armazenar energia química. O homem aprendeu a converter esta energia em combustível ou calor e, conseqüentemente, em eletricidade. A vantagem das plantas é que elas podem ser cultivadas sempre que necessárias tornando a sua biomassa um recurso renovável.

Energia Solar é um termo que se refere à energia proveniente da luz e do calor do Sol. É utilizada por meio de diferentes tecnologias em constante evolução, como o aquecimento Solar, a energia Solar fotovoltaica, a energia heliotérmica, a arquitetura Solar e a fotossíntese artificial.



Figura 1 – Painéis de energia Solar.

Fonte: <https://sol-lar.com/tribunal-de-contas-do-ceara-adota-energia-solar/>

Para a ANEEL (2008 *apud* Kemerich *et al*, 2016, p. 242):

Quase todas as fontes de energia (hidráulica, biomassa, eólica, combustíveis fósseis e energia dos oceanos) são formas indiretas de energia solar. Além disso, a radiação solar pode ser utilizada diretamente como fonte de energia térmica, para aquecimento de fluidos e ambientes e para geração de potência mecânica ou elétrica, pode ainda ser convertida diretamente em energia elétrica, por meio de efeitos sobre determinados materiais, entre os quais se destacam o termoelétrico e o fotovoltaico.

Esta afirmação é confirmada por Bandeira (2012, p.06) da seguinte maneira:

Em princípio, as fontes renováveis de energia são aquelas que têm origem na energia solar. Assim, seriam renováveis a energia solar, a eólica (os ventos são provocados pelas diferenças de temperatura nas camadas atmosféricas que, por sua vez, está associada à absorção de calor do sol pelo planeta), a energia hidrelétrica (decorrente da evaporação da água superficial e sua precipitação em áreas elevadas dos continentes, originando a energia cinética dos rios, que é aproveitada nas hidrelétricas), a energia das marés (que decorre do efeito dos ventos no mar), a biomassa (que decorre da realização da fotossíntese pelos vegetais) e a geotérmica (associada ao calor armazenado no interior do planeta).

No gráfico abaixo temos o cenário mundial de oferta de energia para o ano de 2009:

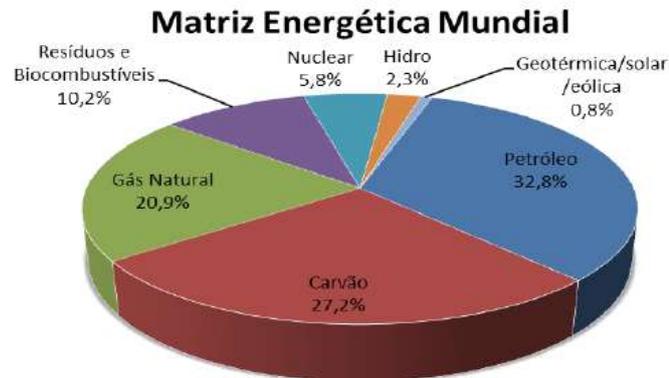


Gráfico 1 - Cenário Mundial de Oferta de Energia (2009)

Fonte: Rampinelli e Rosa Junior (2012).

Em seguida temos a Matriz Elétrica Brasileira para o ano de 2015:

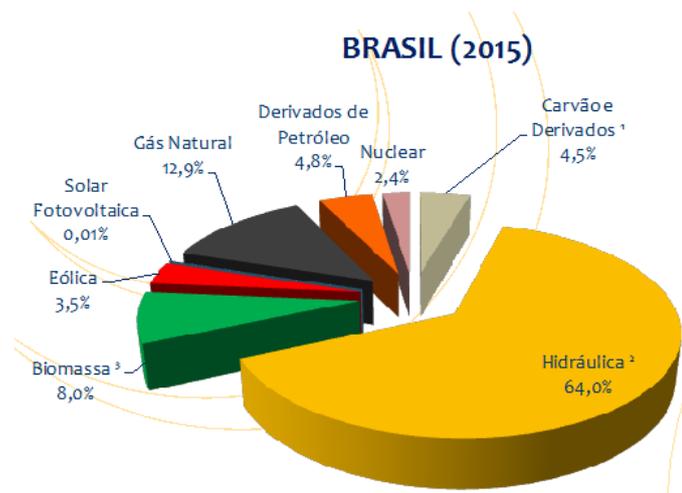


Gráfico 2 - Matriz Elétrica Brasileira (2015)

Fonte: Balanço Energético Nacional (2016)

Ao compararmos os gráficos percebemos que a realidade brasileira apresenta um cenário diferente da realidade mundial já que a porcentagem de energia elétrica produzida a partir de fontes renováveis é significativamente maior no Brasil. Os dados, portanto, evidenciam a potencialidade brasileira em se tratando de energias renováveis.

2.2 Energia Solar: Informações Gerais e Potencialidades

A energia Solar é a energia eletromagnética proveniente do Sol, onde é produzida através de reações nucleares, e que, propagando-se através do espaço interplanetário, incide na superfície da Terra. Esta energia é medida por instrumentos denominados Solarímetros ou radiômetros, normalmente operados por instituições de pesquisa científica.

A potência Solar instantânea que incide em determinado ponto é normalmente medida em W/m^2 (potência pela área) e o total de energia por dia que atinge este ponto é normalmente medido em kWh/m^2 /dia (energia pela área pelo dia).

2.2.1 Características Específicas da Energia Solar

As instituições de pesquisa científica (como, por exemplo, O CEPEL - Centro de Pesquisas em Energia Elétrica - localizado na cidade do Rio de Janeiro) usam os solarímetros e radiômetros para medição da energia Solar. Estas medições são convertidas em dados referentes à radiação Solar e são disponibilizados, de forma ordenada, em um banco de dados. A energia solar pode ser captada quando a energia proveniente do sol é produzida por meio de reações nucleares, e que, expandindo-se através do espaço interplanetário, atinge a superfície da Terra. A potência solar momentânea que incide em determinado local é normalmente medida em W/m^2 (potência pela área) e a energia totalizada por dia que atinge este local é normalmente medido em kWh/m^2 /dia (energia pela área pelo dia). Atualmente, o Brasil, com sua região situada predominantemente em latitudes entre o Equador e o Trópico de Capricórnio, proporciona uma incidência de energia solar muito favorável.

O elevado nível de potência solar instantânea incidente em qualquer parte da Terra é aproximadamente $1000W/m^2$. Outrossim, varia entre $4kWh/m^2/dia$ e $6kWh/m^2/dia$, a média anual de energia solar incidente na maior parte do Brasil. A radiação solar é uma forma de radiação eletromagnética que se propaga com velocidade da luz no vácuo e apresenta aspectos corpusculares e ondulatórios. Institui uma fonte de energia praticamente inesgotável. Isto reflete, especialmente, o grande potencial do emprego desta energia.

A radiação solar que chega ao topo da atmosfera, procede de uma região denominada de fotosfera e possui uma certa anormalidade. Ao cruzar a atmosfera, os elementos atmosféricos agem sobre a radiação solar, refletindo, absorvendo e dispersando esta radiação. Nos níveis da superfície da terra, a radiação é parcialmente absorvida pelo solo e posteriormente refletida de volta à atmosfera. Em decorrência destes efeitos, a radiação solar pode ser decomposta sobre um receptor por três componentes distintos, como será visto a seguir.

- A componente difusa que consiste na parcela da radiação que sofreu algum tipo de interação com a atmosfera antes de chegar ao solo;
- A componente direta que consiste na parcela da radiação proveniente diretamente do sol;
- A componente refletida que consiste na parcela da radiação proveniente do solo e que foi refletida.

Uma parcela da radiação que chega ao topo da atmosfera é perdida ao longo do trajeto. Os fenômenos de reflexão e absorção na atmosfera são os encarregados por este enfraquecimento.

A radiação tende a ter suas características alteradas antes mesmo de atingir o solo. Estas mudanças dependem da espessura da camada atmosférica, que pode ser explicada pelas condições meteorológicas, massa de ar e do ângulo de incidência (Zenital).

2.2.2 Energia Solar no Brasil

O Brasil é um país com grande recurso solar, tem altos níveis de radiação em grande parte do seu território. Por isso, a energia solar, que está passando por um bom momento de crescimento, não só no seu uso mas, também, nas pesquisas científicas, e vem alcançando excelentes patamares de emprego e de negociação, mesmo durante o atual período econômico de crise, que o país vem atravessando. O que se observa é que o custo da tecnologia, para aproveitamento da energia solar, está diminuindo, em um ritmo acelerado, enquanto a demanda de energia cresce no país.

Enquanto a energia solar não foi, inicialmente, apoiada pelo Programa de Incentivo às Fontes Alternativas (PROINFA), e não havia nenhuma estratégia, por parte do governo, para incentivar a expansão da matriz elétrica baseada na energia solar, o Brasil implementou vários programas que impulsionaram a energia solar especialmente para eletrificação em comunidades rurais ou em sistemas isolados.

Destes programas, o mais importante tem sido o PRODEEM (Programa de Desenvolvimento Energético de Estados e Municípios), que se tornou um salto para o *know-how* da indústria da energia solar no Brasil, uma vez que houve um envolvimento bastante significativo em pesquisas decorrentes de associações entre centros universitários e a própria coordenação do PRODEEM.

A energia solar fotovoltaica começou a ser implementado no Brasil como uma energia limpa e segura, visando fornecer energia elétrica para milhares de casas, sejam elas rurais ou urbanas. Para um país em desenvolvimento, como é o caso do Brasil, a ação de aproveitar o potencial das novas tecnologias é apostar, também, em plantas de geração de modelo e consumo de energia de pequeno

e médio porte de modo a atender desde famílias até empresas de todos os tamanhos.

2.2.3 Dimensionamento Para um Sistema Solar Residencial

Defende-se, nesta monografia, a necessidade de tornar as tecnologias relacionadas à energia solar mais compreensíveis e acessíveis de modo que o seu uso possa se propagar e chegar a todas as regiões do país.

Deste ponto em diante serão demonstrados procedimentos e métodos que poderão facilitar o emprego desta energia a quantidade maior de usuários(as).

Para se iniciar um projeto de energia solar é necessário que se faça o dimensionamento para que possa ser gerada a energia que foi requerida pelo projetista. Para elaboração do dimensionamento, deve-se adotar os passos a seguir.

Primeiramente, é verificado qual o índice solarimétrico do local no qual serão instaladas as placas solares.

Depois, é averiguado na conta de luz o consumo médio do cliente referente aos últimos 12 meses que vai ser apresentado em kWh/mês. Então este valor é multiplicado por mil e dividido por trinta, que seria o consumo diário do cliente. Tendo em vista que existem perdas na geração e transmissão de potência, a eficiência do projeto fotovoltaico, inferência padrão, é de 83% (AtomRA, 2014). O último passo é escolher qual a potência da placa solar que será utilizada no projeto.



Figura 2 – Etiqueta de Eficiência Energética

Fonte: <http://reativaeficienciaenergetica.blogspot.com.br/p/etiqueta-de-eficiencia-energetica.html>

Com a escolha da placa solar, valor do consumo diário, a eficiência do projeto e o índice solarimétrico, podem ser iniciados os cálculos para o dimensionamento como será visto nas fórmulas a seguir.

Potência do Projeto

$$P \text{ (potência necessária do projeto)} = C \text{ (consumo médio diário)} / IS \text{ (índice solarimétrico)} / E \text{ (eficiência = 0,83)}.$$

$$P = C / IS / E$$

Número de Placas Fotovoltaicas

$$N \text{ (número de placas)} = P \text{ (potência necessária do projeto)} / Pp \text{ (potência da placa solar escolhida)}.$$

$$N = P / Pp$$

2.2.4 Sistema Modelado para Captação de Energia Solar

Seguindo a mesma linha de raciocínio em oferecer procedimentos e explicações que tornem a acessibilidade à energia solar mais fácil apresenta-se, a seguir, um sistema modelado para Captação de Energia Solar utilizado, atualmente, nesse ramo de trabalho, podendo ser modificado pela quantidade de equipamentos utilizados e o uso ou não de um Controlador Lógico Programável (CLP). Este sistema é constituído, materialmente, por um conjunto de placas Solares, CLP, um inversor de corrente e um quadro de comando. Sistema este constituído para consumo em corrente alternada (CA). Por outro lado, o sistema de captação de energia elétrica para consumo em corrente contínua (CC), é constituído, fisicamente, por células fotovoltaicas (PV), por um CLP, por um conjunto de baterias e, por fim, por um controlador de corrente.

As placas Solares transformam a energia captada em energia elétrica, na forma de corrente contínua, enquanto que o Controlador Lógico Programável comanda a alimentação no inversor. Esta energia pode ser utilizada de várias maneiras dentro de uma residência inclusive como fonte térmica.

Já o inversor de corrente, por sua vez, transforma a energia recebida, que está em forma de corrente contínua, em energia que será transmitida em forma de corrente alternada.

Por fim, o quadro de comando é o receptor da energia fornecida pelo inversor ou pelos condutores da concessionária de energia, e repassa essa energia para os dispositivos acionados. Tal sistema é caracterizado como um sistema bidirecional de energia, pois as cargas deste sistema, podem ser alimentadas tanto pela concessionária como pelos painéis solares do consumidor. E nos momentos em que a energia gerada for maior do que a consumida, a energia pode ser injetada na rede elétrica da concessionária de energia.

Este sistema, para captação e consumo de energia elétrica em corrente alternada, pode ser observado na figura 3.



Figura 3 – Sistema de captação e consumo de energia elétrica (CA).

Fonte: Dados do pesquisador.

No entanto, para o sistema de consumo alimentado por corrente contínua, o projeto é constituído por um conjunto de células fotovoltaicas, que fazem o mesmo procedimento esclarecido nas redes de consumo em corrente alternada. Este procedimento baseia-se na captação de energia Solar e na transmissão de energia elétrica, em CC.

Já o emprego de um controlador de corrente possibilita a regulação da energia recebida, está em forma de corrente contínua, e emite, também, em forma de CC, mas em uma frequência e potência desejada. As baterias, por sua vez, carregam-se a partir da energia excedente fornecida e transmitem esta energia para o controlador. Por fim, o CLP coordena o acionamento do controlador. Este processo, para captação e consumo de energia elétrica em corrente contínua, pode ser observado na figura 4.



Figura 4 – Processo de obtenção e consumo de energia elétrica (CC).
Fonte: Dados do pesquisador.

2.2.4.1 Corrente Alternada

Para que o processo de obtenção e consumo de energia elétrica (CC) ocorra, é necessário que tenha energia Solar, a qual é convertida em energia elétrica (em corrente contínua) por meio das placas fotovoltaicas.

Após a conversão da energia solar em elétrica, é necessário, que as placas fotovoltaicas forneçam potência suficiente para que o inversor possa ser acionado. Caso não seja fornecida potência suficiente, dentro de um pequeno intervalo de tempo, a energia captada será dissipada em forma de calor.

Ademais, é inserido um CLP para comandar o acionamento do inversor, tendo em vista que não há necessidade do inversor estar ligado em horários noturnos.

Posterior ao acionamento do inversor com a potência necessária, a energia elétrica é convertida em corrente alternada, a priori recebida a energia elétrica em corrente contínua. Desta feita, a energia elétrica em corrente alternada é enviada para o medidor de energia da residência. Então, o medidor de energia recebe energia fornecida pelo inversor e pelos cabos da concessionária que, por sua vez, repassa essa energia para os dispositivos da residência.

Quando não há necessidade das cargas solicitarem energia da concessionária, na ocasião em que a energia fornecida pelas células fotovoltaicas excede o consumo, a energia é repassada para a concessionária. Vale ressaltar que o valor da energia gerada pelo consumidor, e que é injetada na rede elétrica da concessionária, é abatido na conta do consumidor.

O medidor bidirecional é o aparelho que contabiliza a quantidade de energia que vai da concessionária para o consumidor (consumo convencional) e do consumidor para a concessionária (micro ou minigeração de energia). A partir do que foi medido, é gerado a fatura de energia elétrica da unidade consumidora.

2.2.4.2 Corrente Contínua

O processo para consumo de energia elétrica em corrente contínua é mais simplificado, pois não são utilizados inversores, não há perdas pequenas e não há o quadro de comando específico fornecido pela concessionária de energia.

Este processo é iniciado a partir do mesmo procedimento visto anteriormente em corrente alternada. O processo começa pela captação da energia da luz Solar e pela conversão desta energia em energia elétrica por intermédio das células PV.

Diferentemente do processo em corrente alternada, o processo em corrente contínua não necessita de inversores, mas é recomendado o uso de controladores para que seja consumido uma energia mais contínua e em uma frequência e potência específica.

Também podem ser usadas baterias para atender o consumo, nos casos em que esta necessidade de consumo ocorra em um horário que as placas PV não estejam fornecendo energia.

Nessa parte do processo, para inicialização do controlador, o CLP é requerido para o acioná-lo. Isto posto, o final do processo de consumo de energia elétrica em corrente contínua, a partir da captação desta energia por intermédio das células FV, ocorre por uma necessidade de consumo de energia elétrica em corrente contínua.

Sendo assim, para suprir essa necessidade podem ser utilizados três meios, quais sejam, o

uso direto da bateria, o uso da bateria como complemento da energia elétrica fornecida pelas placas Solares ou o uso direto das placas Solares.

Esse processo de consumo pode ser visto nas figuras 05, 06 e 07.

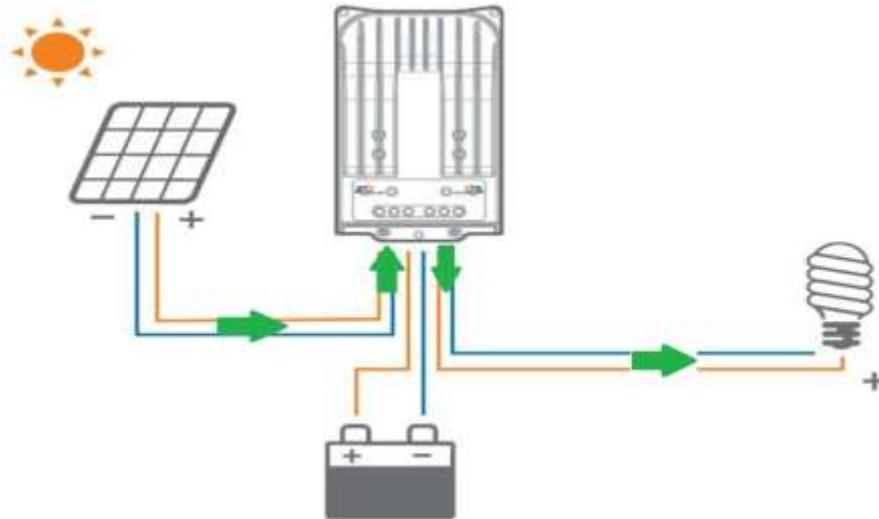


Figura 05 – Consumo direto por intermédio das células PV.
Fonte: Dados do pesquisador.

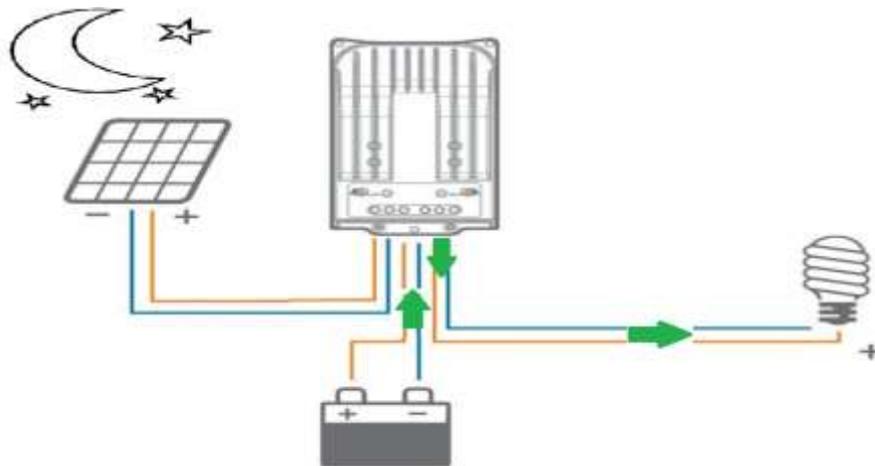


Figura 06 – Consumo direto por intermédio das baterias.
Fonte: dados do pesquisador.

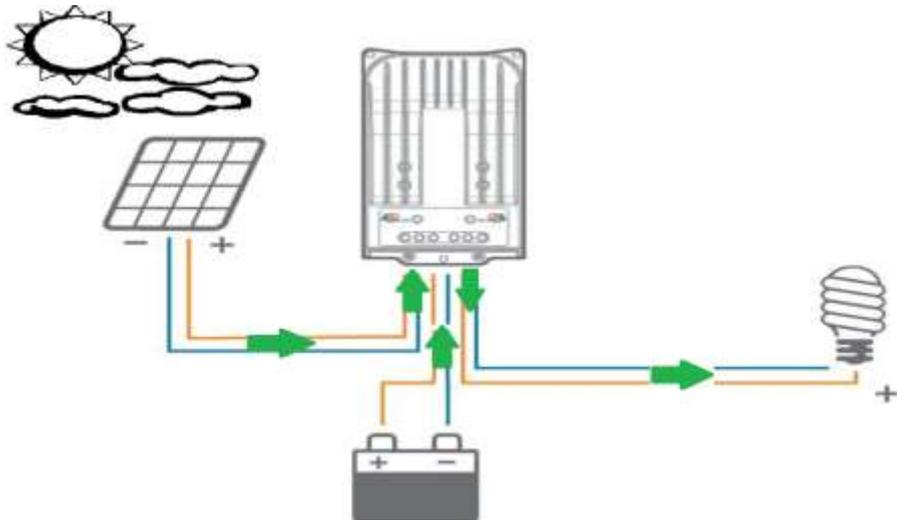


Figura 07 - Consumo a partir do somatório das energias da bateria e placa solar.
Fonte: Dados do pesquisador.

Por conta do aumento no valor do projeto com o somatório das baterias, é notório que o sistema citado anteriormente não é muito utilizado.

3 Resolução ANEEL nº 482/2012: Microgeração e Minigeração Distribuída

A RESOLUÇÃO NORMATIVA Nº 482, de 17 de abril de 2012, informa quais são as condições para o ingresso em redes de microgeração e minigeração distribuídas. Em sua leitura observa-se que toda micro e minigeração distribuída, terá que atender a todas as normas técnicas estabelecidas pelos Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional (PRODIST), as normas técnicas brasileiras e internacionais. Caso a microgeração ou minigeração esteja gerando mais do que utilizando, a distribuidora fornecerá crédito ao representante físico ou jurídico.

3.1 Microgeração Distribuída

Central geradora de energia elétrica, com potência menor ou equivalente a 75 kW e que seja qualificada de acordo com a ANEEL.

O uso da microgeração ou geração renovável em pequena escala tem um potencial significativo para reduzir nossa dependência de combustíveis fósseis. Uma vez que isso pode transformar muitos consumidores de eletricidade em produtores, esta estratégia não é facilmente acomodada nas atuais redes de distribuição por conta do seu valor no mercado ainda ser elevado.

Este projeto foi executado em uma empresa com o intuito de diminuir, drasticamente, o valor da conta de energia. Este galpão recebeu 21 placas solares e está gerando, aproximadamente, 2kW. Este exemplo de microgeração é abordado de forma mais detalhada, no capítulo 4 desta monografia.

3.2 Minigeração Distribuída

Central geradora de energia elétrica, com potência instalada superior a 75 kW e menor ou equivalente a 5MW e que seja qualificada de acordo com a ANEEL.

O parque Villa Lobos, recebeu recentemente mais de 2.000 placas solares para gerar energia elétrica. A instalação principal do projeto é uma minicentral fotovoltaica de 531 kWp.

3.3 Modalidades

- Sistema de Compensação de Energia Elétrica: este sistema é baseado na energia gerada pela unidade consumidora e é cedida, por meio de empréstimo gratuito, à distribuidora, posteriormente esta energia poderá ser utilizada como crédito já adquirido pela unidade consumidora.

- Empreendimento com Múltiplas Unidades Consumidoras: caracterizado pela utilização da energia elétrica de forma independente, no qual cada fração com uso individualizado constitua uma unidade consumidora e as instalações para atendimento das áreas de uso comum constituam uma unidade consumidora distinta, de responsabilidade do condomínio, da administração ou do proprietário do empreendimento, com microgeração ou minigeração distribuída, e desde que as unidades consumidoras estejam localizadas em uma mesma propriedade ou em propriedades contíguas, sendo vedada a utilização de vias públicas, de passagem aérea ou subterrânea e de propriedades de terceiros não integrantes do empreendimento;
- Geração Compartilhada: é caracterizado pela união de consumidores dentro da mesma área de concessão ou permissão, podendo ser pessoa jurídica ou física possuidora de unidade consumidora com micro ou minigeração distribuída em local diferente das unidades consumidoras nas quais a energia excedente será compensada;
- Autoconsumo Remoto: definido por unidades consumidoras de titularidade de uma mesma Pessoa Jurídica, matriz e filial, ou Pessoa Física que tenha unidade consumidora com microgeração ou minigeração distribuída em local distinto das unidades consumidoras, dentro do mesmo segmento de concessão ou permissão, nas quais a energia acumulada será compensada.

4 ESTUDO DE CASO: SISTEMA DE MICROGERAÇÃO DISTRIBUÍDA

Como foi explicado nos tópicos anteriores, para se gerar energia solar com o intuito de usá-la como corrente alternada, no Brasil, de forma a conseguir aproveitar toda a produção de energia sem o uso de baterias, é necessário a utilização, principalmente, de equipamentos como, inversores, placas fotovoltaicas, medidores bidirecionais. A seguir, será mencionado e explicado um sistema de geração de energia solar existente no estado do Ceará em uma empresa comercial com interligação à rede elétrica no município de Fortaleza, projetado em janeiro de 2017.



Figura 08 – Conjunto de células fotovoltaicas.
Fonte: Dados do pesquisador.

Foi realizada uma visita técnica à empresa para analisar as cargas instaladas no galpão. Através da tabela a seguir, poderá ser verificada uma estimativa de cargas dos equipamentos utilizados na empresa.

Tabela 1 – Potência dos equipamentos.

TÉRREO		
TIPO DE CARGA	POTÊNCIA	QUANTIDADE
Lâmpada de LED	10W	20
Ar-condicionado	2637W	1
Motor	5516W	1
Geladeira	300W	1
Televisor	150W	1
1º ANDAR		
TIPO DE CARGA	POTÊNCIA	QUANTIDADE
Lâmpada de LED	10W	12
Ar-condicionado	2637W	4
Computador	250W	3
Televisor	150W	2

Fonte: Dados do pesquisador.

Existem ainda, no galpão, 40 tomadas de uso geral (TUG) e cada uma delas, aproximadamente, tem uma demanda de 0,3kVA.

Conjuntamente a análise das potências dos equipamentos titulados da empresa, o quadro geral foi analisado com o intuito de mensurar a voltagem e corrente existente no galpão, para essa verificação foi utilizado um amperímetro e voltímetro.

Tabela 2 – Tabela de cargas.

V(AB)	V(BC)	V(CA)
384 V	388 V	385 V
V(AN)	V(BN)	V(CN)
218 V	221 V	219 V
I(A)	I(B)	I(C)
0,11 A	7,05 A	0,09 A

Fonte: Dados do pesquisador.

Após a análise, foi constatado que as cargas monofásicas estão alimentadas na fase B do quadro geral. Este projeto foi feito em um galpão utilizado por uma empresa cujo um dos ramos de ofício é a instalação de sistemas fotovoltaicos, situada em Fortaleza- CE. Foram utilizados 21 painéis solares da QXPV e inversor da B & B Power como será indicado nas imagens a seguir.

Tabela 3 – Especificações dos painéis solares.

Dados elétricos

Potência máxima (W)	250
Tensão de potência ideal (Vmp) (V)	31.02
Corrente de operação ideal (Imp) (A)	8.06
Tensão de circuito aberto (Voc) (V)	36.99
Corrente de curto circuito (Isc) (A)	8.62
Eficiência de conversão fotoelétrica da célula solar (%)	17.46
Eficiência de conversão fotoelétrica do módulo completo (%)	15.40
Tolerância de potência	0%a+3%
Temperatura nominal de operação da célula (°C)	47±2

Fonte: Dados do pesquisador.

Este conjunto de painéis solares e inversor já gerou um total de 4.737 kWh e no período da visita técnica a potência aferida foi de 2.083W. São dois conjuntos de painéis, um conjunto possui 10 placas e o outro conjunto possui 11 placas solares. Cada conjunto foi conectado em série pelo próprio cabeamento das placas solares e em paralelo através do inversor. A instalação do sistema fotovoltaico pode ser melhor analisada através do diagrama unifilar juntamente com sua respectiva legenda a seguir.

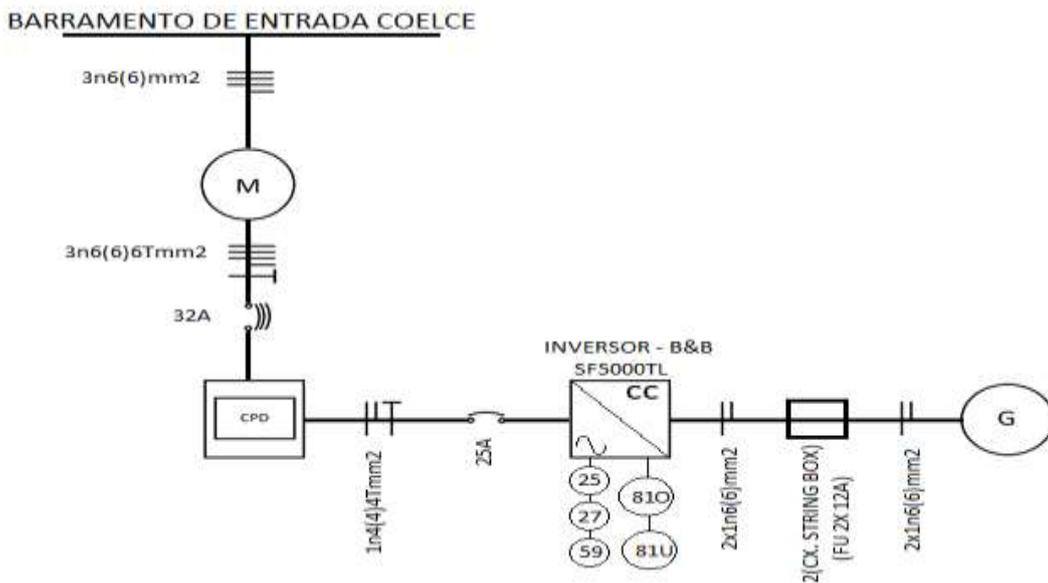


Figura 09 – Diagrama unifilar.
Fonte: Dados do pesquisador.

Tabela 4 – Tabela informativa do projeto estudado.

CENTRAL FOTOVOLTAICA

POTÊNCIA INSTALADA GERAÇÃO (kWp):	5
CARGA INSTALADA (kW):	19,25
FABRICANTE DOS INVERSORES:	B&B
MODELO DO INVERSOR:	SF5000TL
INVERSOR (Kw):	5
FABRICANTE DOS MÓDULOS SOLARES:	QXPV
POTÊNCIA DOS MÓDULOS SOLARES (Wp)	250

Fonte: Dados do pesquisador.

Os parâmetros de captação e geração da energia produzida como potência, voltagem, corrente, frequência do projeto podem ser vistos no próprio inversor através do seu visor. Como é possível observar nas figuras seguintes:

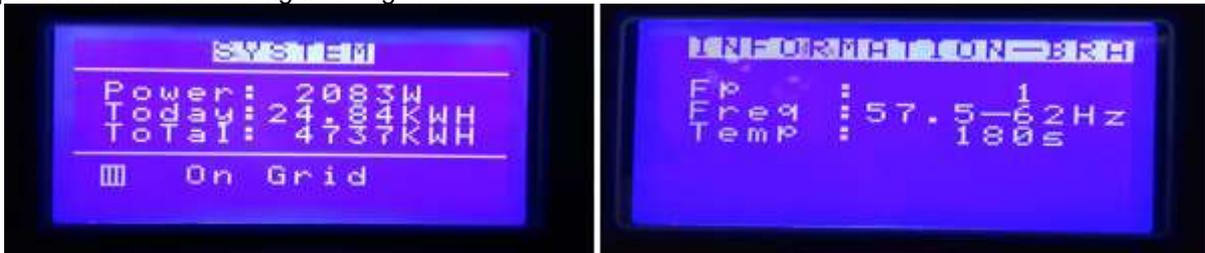


Figura 16 – Potencia e frequência do sistema instalado.

Fonte: Dados do pesquisador.

Após o projeto ser concluído, foi constatado que se não existissem taxas solicitadas da distribuidora de energia, como exemplo a taxa de iluminação pública, o decréscimo no valor da conta de energia indicado na Figura 17 seria completo, ou seja, a empresa ficaria isenta do pagamento.

enel

Fortaleza 10/01/2018.

Quadro Resumo do Faturamento DEZEMBRO/17

Data da Leitura	Período de Faturamento	Valor da tarifa com impostos	Valor da tarifa Sem impostos	Previsão da próxima Leitura
08/12/2017	08/12/2017 a 08/12/2017	0,76589	0,51836	07/01/2018
Leitura Medidor da distribuidora	Energia Lida Consumida no Mês	Leitura do Medidor Energia Injetada Distribuidora	Energia Injetada no Mês	Energia Líquida (Lida - Injetada)
1505	272	2995	375	0
Crédito Utilizado no Mês	Saldo Atualizado de Créditos Kwh	Saldo Anterior de Créditos Kwh	Créditos Expostos	Créditos a Expor
0	1878	1775		

Quadro Resumo de Encargos

VALOR CONSUMO DO MES (*)	208,33
CREDITO ENERGIA INJETADA Q. DISTRIBUIDA **	-190,37
ILUMINACAO PUBLICA MUNICIPAL-CAP	70,31
CUSTO DISPONIBILIDADE GER. DISTRIBUIDA	76,59
ENERGIA CONSUMIDA QD. BANDA VERDE *	190,17
ADICIONAL BANDA VERDE VERMELHA MES	17,96
DEV. DE ICMS COBRADO A MAIOR †	-56,25
DEV. IMPORTE FAT. A MAIOR 3/ICMS †	-152,07
Total da Fatura:	148,9

Observação:

(*) KWh faturado (x) tarifa homologada pela ANEEL + PIS/COFINS e ICMS (bandeira vigente)
 (***) Valor em KWh referente ao custo de disponibilidade (x) Tarifa homologada na bandeira vigente com tributos.
 † Devolução de valor do consumo de energia, com PIS/COFINS e ICMS na bandeira vigente.
 † KWh Lido consumo da distribuidora (x) Tarifa homologada pela ANEEL, na bandeira verde com ICMS.
 † KWh excedente até o limite da lida consumida (x) Tarifa homologada pela ANEEL na bandeira verde com ICMS.

Figura 17 – Conta de energia da ENEL.

Fonte: Dados do pesquisador.

Como pode ser observado na Figura 17, a energia injetada pelo sistema fotovoltaico, no mês de janeiro, superou a energia consumida criando, desta maneira, um crédito a mais para a empresa.

Foi feito um estudo mais aprofundado do quadro de faturamento da conta de energia fornecida pela *Ente Nazionale per L'energia Elettrica* (ENEL), para ser constituído uma data aproximada do *payback* do projeto estudado.

Tomando como parâmetro o faturamento do mês de dezembro/17, foi visto que houve um decréscimo na fatura de R\$ 190,37 (cento e noventa reais e 37 centavos), justamente o valor da energia injetada pela geração de energia solar.

Posteriormente, foi verificado o valor dos equipamentos no mercado atual do ano de 2018, o inversor *B&B SF5000TL* possui o valor de aproximadamente R\$ 8.000,00 (oito mil reais) no mercado atual, já o custo das placas solares está por volta de R\$ 700,00 (setecentos reais), somando as 21 células fotovoltaicas e o inversor, o total do investimento foi R\$ 22.700,00 (vinte e dois mil e

setecentos reais).

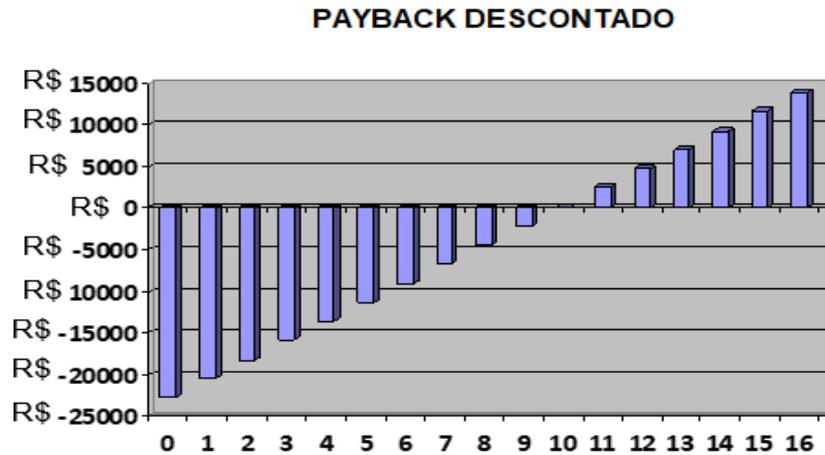


Gráfico 3 - *Payback* Descontado.
Fonte: Dados do pesquisador.

Como pode ser observado através do gráfico a cima, o *payback* só acontecerá depois de dez anos. Neste caso isso acontece pois foi feito um projeto superdimensionado com o intuito de ser possível a adição de outros equipamentos eletrônicos sem que a fatura da conta de energia aumente.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O mundo e, também, o Brasil já perceberam que com crescimento populacional o consumo de combustíveis fósseis tem se intensificado. Portanto, nada mais natural, que adotar sistemas de produção e de aplicação de energia que sejam totalmente e ou parcialmente limpo, já que, como se sabe, estes sistemas representam soluções oportunas para a sempre crescente demanda energética.

Além disso sistemas de energia limpa, em especial a energia solar – foco desta pesquisa - atuam minimizando os impactos negativos sobre o meio ambiente, e destacam-se por serem considerados fontes inesgotáveis de energia.

Nesse contexto, destaca-se o grande potencial solar que o Brasil possui, sendo possível interligar a energia solar com uma complementação nas redes elétricas atuais como foi aqui demonstrado.

Esta monografia evidencia que com a continuidade dos estudos sobre o uso disseminado de sistemas de captação de energia solar, em breve o país experimentará benefícios decorrentes de futuras melhorias ou aumentos de eficiência, no sistema fotovoltaico abordado neste trabalho.

Por fim o estudo do sistema de microgeração, aqui realizado, demonstra que é um procedimento que está ao alcance de uma larga faixa de consumidores e também é viável por todo retorno que ele propicia, financeiramente falando.

Como pode ser observado para se alcançar o *payback* é preciso ajustar o dimensionamento do projeto que se pretende instalar, lembrando-se, sempre, que há a necessidade de se superdimensionar quando existem, para o futuro, intenções de adicionar mais equipamentos eletrônicos, buscando-se, desta maneira, um controle, mais responsável, da fatura da conta de energia.

REFERÊNCIAS

ABRAVA - Associação Brasileira de Refrigeração, Ar Condicionado, Ventilação e Aquecimento. *Energia Solar como fonte térmica*. Disponível em: <http://www.abrava.com.br/>. Acesso em: 10/05/2017.

- ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica. (2008). *Atlas de Energia Elétrica do Brasil*. Brasília: ANEEL. 236p.
- AtomRA. (2014). *Cálculo do Dimensionamento Projeto Solar Fotovoltaico*. São Paulo: AtomRA.
- Bandeira, F. de P. M. (2012). *Aproveitamento da energia solar no Brasil: Aproveitamento e perspectivas*. Disponível em: http://bd.camara.gov.br/bd/bitstream/handle/bdcamara/9008/aproveitamento_energia_bandeira.pdf?sequence. Acesso em: 09/05/2017.
- Brasil. (2016). *Balanço Energético Nacional*. Brasília: Ministério de Minas e Energia.
- Fachin, O. (2001). *Fundamentos de metodologia*. 3.ed. São Paulo: Saraiva.
- Ferraz, Clarice. (2016). *O avanço da energia solar fotovoltaica no Brasil – Boas ou más notícias?* São Paulo: Blog Infopetro.
- Gil, A. C. (2009). *Como elaborar projetos de pesquisa*. 4. ed. São Paulo: Atlas.
- Kaspary, Rosane Maria; Jung, Carlos Fernando. (2015). *Energia Eólica no Brasil: Uma Análise das Vantagens e Desvantagens*. Rio de Janeiro: XI Congresso Nacional de Excelência em Gestão.
- Kemerich, Pedro Daniel Da Cunha; Flores, Carlos Eduardo Balestrin; Borba, Willian Fernando De; Silveira, Rafael Borth Da; França, Jacson Rodrigues; Levandoski, Natalie. (2016) Paradigmas da Energia Solar no Brasil e no Mundo. *Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental*. Santa Maria, v.20, n. 1, jan.-abr. p. 241-247
- Rampinelli, G. A.; Rosa Junior, C. G. (2012) Análise da Geração Eólica na Matriz Brasileira de Energia Elétrica. *Revista Ciências Exatas e Naturais*, vol. 14, nº 02, jul/dez.