



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
CENTRO DE ENGENARIAS
CURSO DE ENGENHARIA DE ENERGIA

JENNIFER DE SOUZA PEREIRA

**ESTUDO DA VIABILIDADE DA IMPLANTAÇÃO DE UM SISTEMA DE ENERGIA
SOLAR EM UM MERCADO PÚBLICO NO INTERIOR DO RIO GRANDE DO
NORTE**

MOSSORÓ

2017

JENNIFER DE SOUZA PEREIRA

**ESTUDO DA VIABILIDADE DA IMPLANTAÇÃO DE UM SISTEMA DE ENERGIA
SOLAR EM UM MERCADO PÚBLICO NO INTERIOR DO RIO GRANDE DO
NORTE**

Monografia apresentada a Universidade
Federal Rural do Semi-Árido como
requisito para obtenção do título de
Bacharel em Engenharia de Energia.

Orientadora: M.Sc. Samanta Mesquita
de Holanda

MOSSORÓ

2017

© Todos os direitos estão reservados a Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996 e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tomar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata. A mesma poderá servir de base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) sejam devidamente citados e mencionados os seus créditos bibliográficos.

Se Souza, Jennifer de Souza Pereira.
ESTUDO DA VIABILIDADE DA IMPLANTAÇÃO DE UM
SISTEMA DE ENERGIA SOLAR EM UM MERCADO PÚBLICO NO
INTERIOR DO RIO GRANDE DO NORTE / Jennifer de
Souza Pereira Souza. - 2017.
56 f. : il.

Orientadora: Samanta Mesquita de Holanda
Mesquita.
Monografia (graduação) - Universidade Federal
Rural do Semi-árido, Curso de Engenharia de
Energia, 2017.

1. Energia solar. 2. Geração fotovoltaica. 3.
Sistema fotovoltaico. 4. Aquecimento solar. I.
Mesquita, Samanta Mesquita de Holanda ,
orient. II. Título.

O serviço de Geração Automática de Ficha Catalográfica para Trabalhos de Conclusão de Curso (TCC's) foi desenvolvido pelo Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação da Universidade de São Paulo (USP) e gentilmente cedido para o Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (SISBI-UFERSA), sendo customizado pela Superintendência de Tecnologia da Informação e Comunicação (SUTIC) sob orientação dos bibliotecários da instituição para ser adaptado às necessidades dos alunos dos Cursos de Graduação e Programas de Pós-Graduação da Universidade.

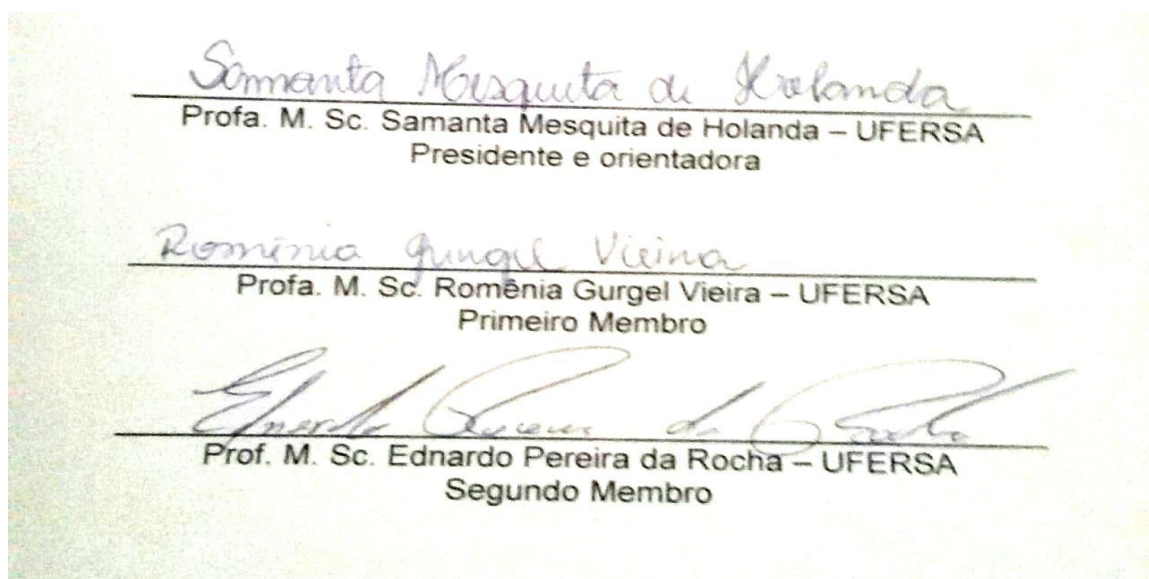
JENIFER DE SOUZA PEREIRA

**ESTUDO DA VIABILIDADE DA IMPLANTAÇÃO DE UM SISTEMA DE
ENERGIA SOLAR EM UM MERCADO PÚBLICO NO INTERIOR DO RIO
GRANDE DO NORTE**

Monografia apresentada a Universidade
Federal Rural do Semi-Árido como
requisito para obtenção do título de
Bacharel em Engenharia de Energia.

Defendida em: 22 / 05 / 2 017.

BANCA EXAMINADORA



AGRADECIMENTOS

A Deus primeiramente, pois sem a fé no nosso criador não seria possível vencer mais uma etapa na minha vida.

Aos meus Pais, que são essenciais em minha vida. Não sei se um dia vou poder corresponder tudo que fazem por mim, espero retribuir-lhes os orgulhando sempre, pois tenho imenso prazer em vê-los felizes. Sabemos o quão difícil foi a nossa caminhada, obrigada por sempre está dispostos a me ajudar, guiando-me e mostrando-me o caminho correto.

Ao meu noivo que em todos os momentos esteve comigo. Nos momentos difíceis sempre acreditou em mim, com palavras de incentivo, perseverança e críticas, me ajudando nesta caminhada.

Aos meus familiares por todo o apoio dado, pois sempre estiveram dispostos a me ajudar.

Aos meus amigos, que na hora da aflição, dúvidas e das alegrias, era com vocês que eu as compartilhava.

Samanta minha orientadora, quero agradecer pelo incentivo, dedicação que tornou possível a conclusão deste meu trabalho de conclusão de curso. Desejo-te muitos anos felizes, para que possa sempre repassar esse rico conhecimento que possui e poder contribuir significativamente na vida de cada um de seus acadêmicos. Então, meu muito obrigado pela paciência e por não ter desistido de mim.

Obrigada a todos os meus professores da graduação, cada um do seu jeito contribuiu muito para o meu aprendizado.

Agradeço a minha banca examinadora por ter aceitado participar desta avaliação, será de grande valia para o aprimoramento do trabalho.

Por fim, essa vitória não é só minha e sim de todos vocês. Meu muito obrigada a todos que me ajudaram a persistir e a nunca desistir

RESUMO

As mudanças climáticas desencadearam a redução nos níveis dos reservatórios nas hidroelétricas, estimulando o investimento em novas fontes alternativas que suprisse a demanda interna de energia elétrica. O consumo excessivo de fontes não renováveis para geração de eletricidade, ocasionou grande impacto ambiental e elevou o custo com a geração de energia elétrica, motivando a necessidade pela diversificação da matriz energética nacional. A energia solar destaca-se no Brasil devido ao grande potencial para gerar energia através do sol. Este trabalho apresenta o estudo da viabilidade da implantação de um sistema fotovoltaico e térmico em um mercado público no município de Areia branca - Rio Grande do Norte. Com ênfase no aproveitamento da energia solar, o trabalho explora a evolução de suas tecnologias para geração de eletricidade e aquecimento térmico, incluindo todo o funcionamento e componentes dos sistemas. Com base no referencial teórico desta obra, é feito um estudo do local de instalação dos painéis, levando em consideração o consumo da energia elétrica e radiação solar média. Realizado o projeto preliminar de instalação, analisa-se o impacto que os painéis fotovoltaicos irão causar na fatura do consumidor em questão. Para aprimoramento do trabalho foi feito um estudo da viabilidade de um sistema térmico para uso da higiene do local. Concluindo-se, então, o estudo ao verificar a viabilidade dos projetos.

Palavras-chave: Energia solar. Geração fotovoltaica. Sistema fotovoltaico. Aquecimento solar.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Órbita da Terra em torno do Sol, com seu eixo N-S.....	7
Figura 2- Esquemas de instalação e funcionamento do aquecedor solar	9
Figura 3- Coletor solar plano com cobertura.....	10
Figura 4- Reservatório térmico	10
Figura 5- Esquemas de sistemas solares com convecção natural ou termo-sifão.	11
Figura 6- Esquema de sistema solar fotovoltaico isolado.....	13
Figura 7- Esquema de sistema solar fotovoltaico conectado a rede	14
Figura 8- Pannel solar de geração de energia elétrica	17
Figura 9- Inversor fotovoltaico	18
Figura 10- Fluxograma do ordenamento lógico da metodologia adotada.....	19
Figura 11- Atlas Solarimétrico do Brasil	21
Figura 12- Área da cobertura	24

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1- Oferta e Consumo de energia no Brasil	4
Gráfico 2- Consumo de energia elétrica no Brasil	4
Gráfico 3- Irradiação solar no plano inclinado- Mossoró.....	22
Gráfico 4- Variação de consumo de energia elétrica.....	23
Gráfico 5- Irradiação Média.....	27
Gráfico 6- Estimativa da economia mensal.....	33
Gráfico 7-Consumo e geração de energia elétrica do sistema fotovoltaico	33

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Consumo anual de energia do Mercado Público de Areia Branca- RN	23
Tabela 2- Classificação da conexão de acordo com a potência	25
Tabela 3- - Informações utilizadas no cálculo da energia gerada	28
Tabela 4- Energia gerada	28
Tabela 5- Custo de investimento em sistemas fotovoltaicos – referência nacional (US\$/Wp).	29
Tabela 6 – Valores determinados pelos fabricantes	29
Tabela 7 - Consumo e geração no período de ano do Mercado publico estudado	32
Tabela 8- Comparativo entre os custos dos sistemas de aquecimento solar elétrico	34

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	1
2 OBJETIVOS.....	2
2.1 Objetivo Geral.....	2
2.2 Objetivos Específicos	2
3 REFERENCIAL TEÓRICO.....	3
3.1 Energia Solar	3
3.1.1 Panorama socioeconômico da Energia Solar	3
3.1.2 Tipos de aproveitamento da energia solar	5
3.2 Energia solar térmica.....	6
3.2.1 Radiação solar.....	6
3.2.2 Componentes de um sistema de aquecimento solar térmico	8
3.3 Energia solar fotovoltaica	12
3.3.1 Efeito fotovoltaico	14
3.3.2 Componentes de um sistema fotovoltaico conectado a rede	15
4 METODOLOGIA	19
4.1 Análise do consumidor	20
4.1.1 Caracterização da Coleta de Dados	20
4.1.2 Dados de Radiação Solar	20
4.1.3 Análise do consumo de energia	22
4.1.4 Levantamento da Área da Cobertura.....	23
4.1.5 Método da insolação.....	24
5. PROJETO FOTOVOLTAICO.....	25
5.1 Dimensionamento dos painéis fotovoltaicos	25
5.2 Dimensionamento do inversor	25
5.3 Dimensionamento dos condutores.....	26
5.4 Sistema de medição	26
5.5 Cálculo de Radiação e Geração de Energia	27
5.3 Estimativa de Custos.....	29
6. PROJETO DO AQUECEDOR SOLAR.....	30
6.1 Posicionamento e escolha dos coletores.....	30
6.2 Dimensionamento do boiler	31
6.3 Estimativas de Custos	31
7. ANÁLISE DE RESULTADOS	31
8. CONSIDERAÇÕES FINAIS	35
REFERÊNCIAS.....	37

1 INTRODUÇÃO

No Brasil, a fonte predominante para produção de eletricidade é a hidroelétrica, representando 64,0%, do total de sua matriz energética (BEN , 2016). Porém o período desfavorável das condições hidrológicas se fez necessário o investimento em outras fontes de geração de energia elétrica.

O custo com geração de energia tem aumentado a cada dia, o que impõe a necessidade de atrelar eficiência no seu uso. Uma pesquisa realizada pela Federação das Indústrias do Estado do Rio de Janeiro (FIRJAN) apontou que, dentro de um universo de 27 países industrializados, o custo da eletricidade para as empresas no Brasil é o 4º maior do planeta (SILVEIRA, 2016)

O custo do consumo de energia se tornou um incentivo para implantação do sistema de geração de fontes alternativas de energia. A solar se destaca entre as fontes alternativas devido ser bastante promissora para o Brasil, tendo em vista que a maior parte do seu território está localizada próximo à linha do equador, o que acarreta em um dia de maior duração solar. (WANDERLEY; CAMPOS 2013)

A energia solar surge como uma ótima opção, pois o Rio Grande do Norte (RN), estado localizado na Região Nordeste do Brasil, destaca-se como tendo um alto índice de radiação solar. Devido ao crescimento de implantação de centrais solares no estado, a partir da instalação de painéis fotovoltaicos, como a geração distribuída, podem-se reduzir os custos com a transmissão e distribuição, além do impacto substancialmente menor ao meio ambiente quando comparado à geração por outras fontes, como hidrelétrica, térmica ou nuclear (WANDERLEY; CAMPOS ,2013).

2 OBJETIVOS

Para uma melhor compreensão, os objetivos deste trabalho serão divididos em geral e específicos, conforme apresentado nos tópicos 2.1 e 2.2, respectivamente.

2.1 Objetivo Geral

Estudar a viabilidade da implementação de um sistema de energia solar num mercado público no interior do Rio Grande do Norte, desde a avaliação das condições climáticas do local até o projeto e análise de custos de desenvolvimento e operação do sistema proposto.

2.2 Objetivos Específicos

- Efetuar uma revisão bibliográfica sobre o tema
- Coletar dados de intensidade solar do local através do software Radasol
- Projetar um sistema de geração solar fotovoltaico
- Avaliar a viabilidade do aproveitamento da energia solar térmica para o uso na limpeza do local
- Analisar a viabilidade econômica, qualitativa e quantitativa do sistema projetado.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

Os tópicos adiante terão embasamento teórico utilizado para a realização desse trabalho, com base em dados retirados de estudos e pesquisas já feitas acerca da viabilidade da implantação de um sistema de energia solar conforme proposto.

3.1 Energia Solar

De acordo com o CRESESB 1999, a aplicação da energia gerada pelo Sol, inesgotável na escala terrestre de tempo, tanto como fonte de calor quanto de luz, é hoje, uma das alternativas energéticas mais promissoras para enfrentar os desafios do novo milênio. O Sol é responsável pela origem de praticamente todas as fontes de energia, as fontes de energia são, em última instância, derivadas, em sua maioria, da energia do Sol.

A radiação anual do sol é o equivalente a 10.000 vezes o consumo de energia de uma população mundial no mesmo período. A medição de potência é feita usando a unidade chamada quilowatt. O Sol emite 390 sextilhões de quilowatts de potência, com essa produção a terra recebe mais de 1.500 quatrilhões de quilowatts-hora de potência a cada ano (SALES, 2008).

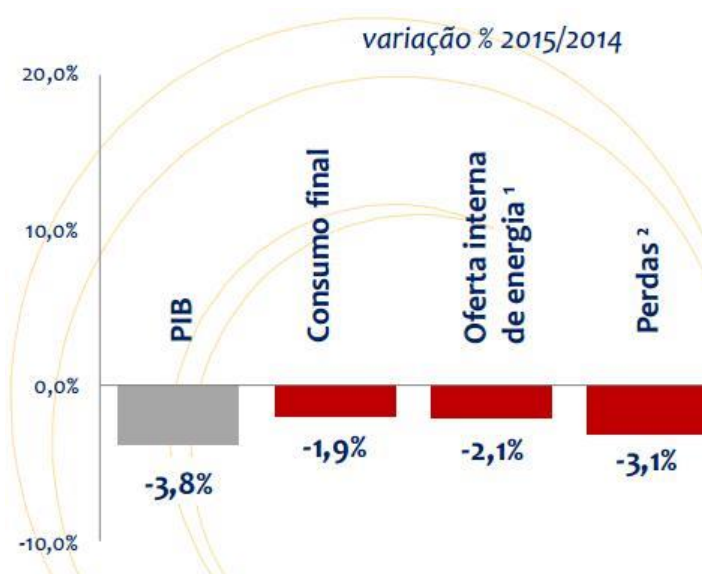
Segundo a Ambiente Brasil (2009), para cada metro quadrado de coletor solar instalado evita-se a inundação de 56 metros quadrados de terras férteis, na construção de novas usinas hidrelétricas. A energia solar é considerada uma fonte de energia limpa, não causa gases de efeito estufa, e a quantidade de impacto comparada a outras fontes de energia se torna insignificante, pois o impacto se dá através da fabricação das placas que são utilizados no processo químico (OLIVEIRA, 2012).

3.1.1 Panorama socioeconômico da Energia Solar

O Brasil é um país em desenvolvimento que ainda precisa de mudanças para que seu progresso seja contínuo e sustentável. Um sistema de geração de energia elétrica

capaz de acompanhar este desenvolvimento e suprir as necessidades de todos é um dos itens a ser modificado. De acordo com o relatório do Balanço Energético (BEN 2016), seguindo a tendência verificada na oferta, o consumo final, energético e não energético, recuou 1,9% em relação ao ano anterior, destaque para a queda significativa de -3,1% e -2,6% nos consumos dos setores industrial e de transporte respectivamente mostrado no Gráfico 1.

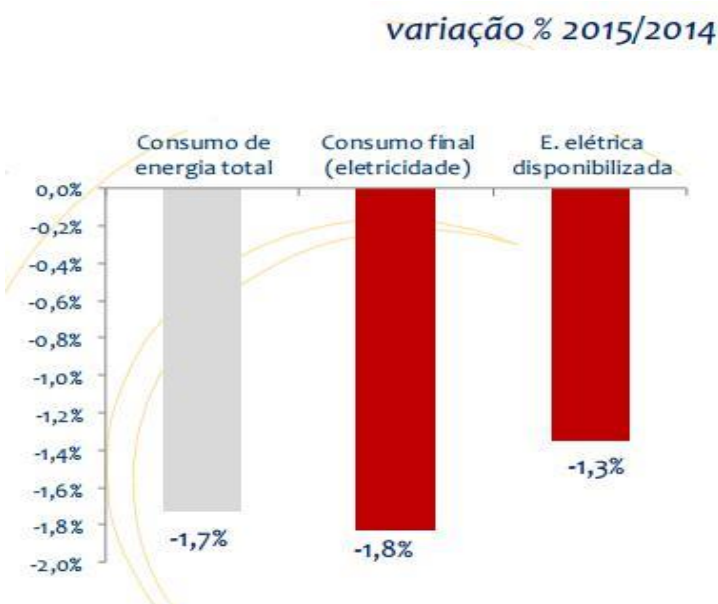
Gráfico 1- Oferta e Consumo de energia no Brasil



Fonte: BEN , 2016.

O consumo final de eletricidade no país em 2015 registrou uma queda de 1,8% como mostrado no Gráfico 2.

Gráfico 2- Consumo de energia elétrica no Brasil



Fonte: BEN , 2016.

Os setores que mais contribuíram para esta redução foram o residencial (-0,7%) e o industrial (-5,0%). Cada modelo exige características específicas que influenciam no custo de produção, e conseqüentemente, no valor final do serviço ao usuário.

Segundo o relatório BEN 2016, em 2015, a participação de renováveis na Matriz Energética Brasileira manteve-se entre as mais elevadas do mundo, com pequeno crescimento devido particularmente à queda da oferta interna de petróleo e derivados (7,2%). Em uma análise superficial, as energias renováveis, aparentemente, apresentam-se com preço final da energia elevado para o fornecimento de eletricidade. Entretanto a simplicidade com que esta energia é gerada promove uma consequente redução de custos quando todos os processos necessários são contabilizados (TEIXEIRA, 2012).

Embora a energia solar seja infindável e gratuita, os métodos e equipamentos necessários para o aproveitamento relativo a conversão em energia elétrica, ainda mantêm alto custo, tornando importante visar o aumento da produção e uso destes, para que assim seja possível a redução nos valores e consequente acessibilidade à maioria da população. Mesmo com todo este potencial, a energia solar tem pouca participação na matriz energética brasileira, aparecendo no Balanço Energético Nacional (BEN), edição de 2016 com uma representação mínima 0,01%. O estudo publicado pelo Programa de Sistemas Fotovoltaicos de Potência da Agência Internacional de Energia, confirma que os preços estão reduzindo ano após ano. (SHAYANI; OLIVEIRA; CAMARGO, 2006).

Os valores de tarifa no Brasil são aplicados conforme volume de serviço oferecido por cada organização, sendo levado em consideração o tipo de geração de eletricidade (hidráulica, biomassa, termoeletricas, etc.), quantidade de linhas de transmissão instalada, além de outras condições que contribuem para o aumento ou diminuição no custo desta geração (SHAYANI; OLIVEIRA; CAMARGO, 2006).

3.1.2 Tipos de aproveitamento da energia solar

A energia solar pode ser aproveitada basicamente de duas formas: em Energia solar térmica, onde um corpo absorve uma quantidade de energia em forma de calor a partir da radiação solar incidente sobre o mesmo; e em Energia solar fotovoltaica, que pode ser obtida através da conversão direta da luz em eletricidade pelo efeito fotovoltaico (PINHO; GALDINO, 2014).

Essas formas de aproveitamento serão estudadas neste trabalho e por esta razão serão mais detalhadas nas seções 3.2 e 3.3.

3.2 Energia solar térmica

Neste tipo de aproveitamento, a energia é captada através de painéis solares térmicos, também conhecidos como coletores solares. São sistemas simples, econômicos, sendo utilizados em casas, hotéis e empresas para o aquecimento de água para chuveiros ou piscinas, aquecimentos de ambientes ou até em processos industriais. Os painéis são simples e têm a função de transferir o calor da radiação solar para a água ou óleo, que passa por dentro deles para então ser utilizado como fonte de calor (SANTOS, 2005).

Existem dois estágios de conversão da radiação solar direta em energia térmica: no primeiro a radiação solar é detida através de uma superfície de captação e refletida para o tubo absorvedor. No segundo a radiação absorvida pelo tubo é transferida ao fluido e ao ar atmosférico por convecção e por radiação (TEIXEIRA, 2012).

O aquecimento é uma aplicação natural da energia solar, utilizada pelo homem desde a pré-história. Ao longo dos séculos várias formas de melhorar o aproveitamento foram sendo desenvolvidas mesmo que de maneira primitiva ou rústica. A tecnologia do aquecedor solar começou a ser usada no Brasil na década de 60, na época surgiram as primeiras pesquisas e o seu emprego começou a ser difundido. Em 1973, algumas empresas passaram a utilizá-la comercialmente. Atualmente já são conhecidas várias aplicações da energia solar voltadas para o aquecimento, seja de fluidos, sólidos ou de ambientes. Nas regiões mais frias do planeta, naqueles países situados mais distantes da linha do Equador, teve desenvolvimento notável, com a utilização de tecnologias simples, mas eficientes, pelo menos nos períodos de maior insolação (TIRADENTES, 2007).

Os sistemas de aquecimento solar no Brasil beneficiam mais de 500 mil residências, reduzindo o equivalente ao consumo de energia elétrica de uma cidade de 1,1 milhões de famílias (dados da ABRAVA – Associação Brasileira de Refrigeração, Ar Condicionado, Ventilação e Aquecimento, sediada na cidade de São Paulo). A estimativa atual conclui que mais de dois milhões de pessoas já se beneficiam do uso da tecnologia do aquecimento solar, sendo aquecidos cerca de 200 milhões de litros de água para banho diariamente (SANTOS, 2005).

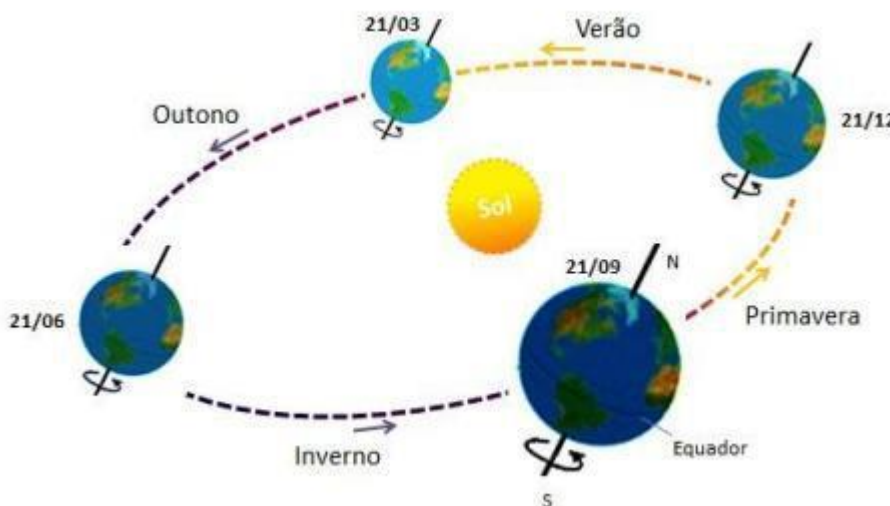
3.2.1 Radiação solar

Não é toda a radiação solar que atinge as camadas mais externas da atmosfera terrestre que consegue chegar ao nível do solo. A parte de maior proporção é refletida de volta ao espaço ou absorvida pela atmosfera, e apenas uma pequena parcela chega à superfície, podendo esta ser decomposta em duas componentes, a componente de feixe ou componente direta e a energia difusa ou componente difusa (CRUZ, 2001).

A energia solar que incide sobre a superfície do nosso planeta chega a $1,5 \times 10^{18}$ kWh/ano (SOLARGIS, 2013). A representação desse valor é aproximadamente 1% de todo o consumo energético do planeta ao longo do ano (EIA, 2014).

A dimensão do sol como fonte energética mostra a importância dessa fonte para geração de energia elétrica e térmica. Em seu movimento de translação, o planeta Terra descreve em relação à linha do equador, uma trajetória elíptica inclinada em $23,5^\circ$ (MIRANDA 2014). A Figura 1, mostra como essa inclinação provoca variações na posição do sol no horizonte no mesmo horário ao longo do ano, e que por consequência origina as diferentes estações (CRESESB, 2006).

Figura 1- Órbita da Terra em torno do Sol, com seu eixo N-S.



Fonte: CRESESB, 2014.

Ao meio dia solar, a posição angular do Sol em relação ao plano do Equador (Norte positivo) é chamada de Inclinação Solar (δ), este ângulo varia de acordo com o dia do ano dentro dos seguintes limites (CRESESB, 2006).

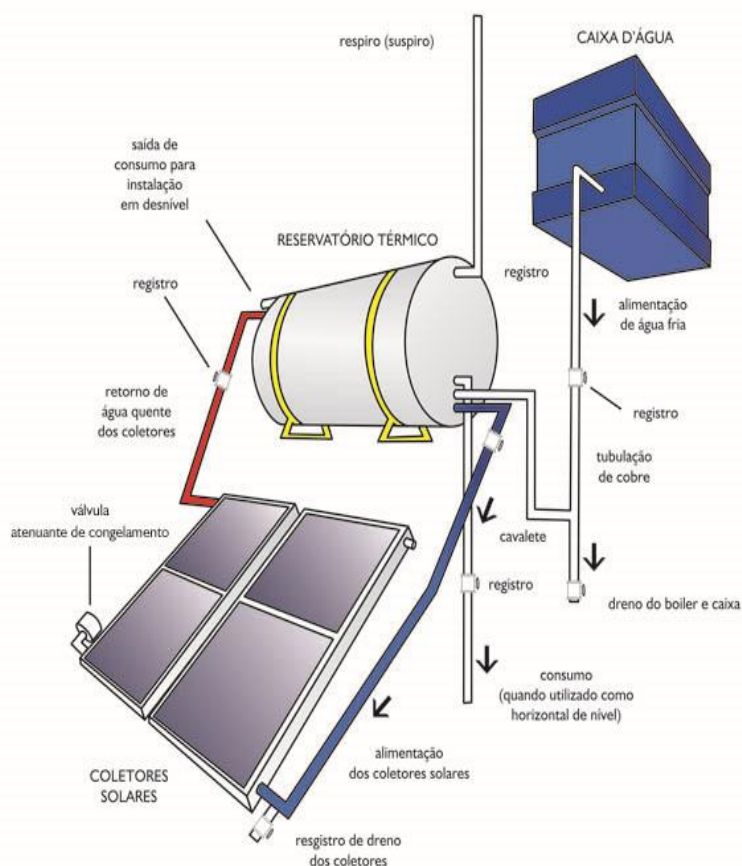
Segundo Miranda (2014), no Brasil, a radiação média anual varia entre 1.200 e 2.400 kWh/m².ano, valores que são significativamente superiores à maioria dos países europeus, que giram em torno de 900 e 1.250 kWh/m².ano (MIRANDA, 2014). Assim para maximizar o aproveitamento da radiação solar, pode se ajustar a posição do coletor ou painel solar de acordo com a latitude local e o período do ano em que se requer mais energia (ANEEL, 2005).

As variações climáticas oriundas da passagem das estações do ano, os períodos de maior nebulosidade ou dias chuvosos contribuem para a grande variação na intensidade da captação e isso sempre leva às dificuldades relativas ao dimensionamento do sistema mais apropriado de estocagem da energia resultante do processo de conversão. Essas variações influenciam diretamente na medição da radiação solar que chega à superfície da terra, tornando um desafio da maior importância na identificação e quantificação da influência das condições atmosféricas e climáticas que podem interferir na eficiência das instalações de captação e conversão da energia solar em energia térmica, elétrica, e entre outras (TIRADENTES, 2006).

3.2.2 Componentes de um sistema de aquecimento solar térmico

O sistema solar térmico mostrado na figura 2, é composto por equipamentos que são utilizados para o aquecimento da água pelo calor do sol e seu armazenamento para uso posterior. É composto por coletores solares (placas), onde ocorre o aquecimento da água através dos raios solares e um reservatório térmico (boiler), onde é armazenada a água quente para ser utilizada posteriormente (ALEXANDRE, 2011).

Figura 2- Esquemas de instalação e funcionamento do aquecedor solar



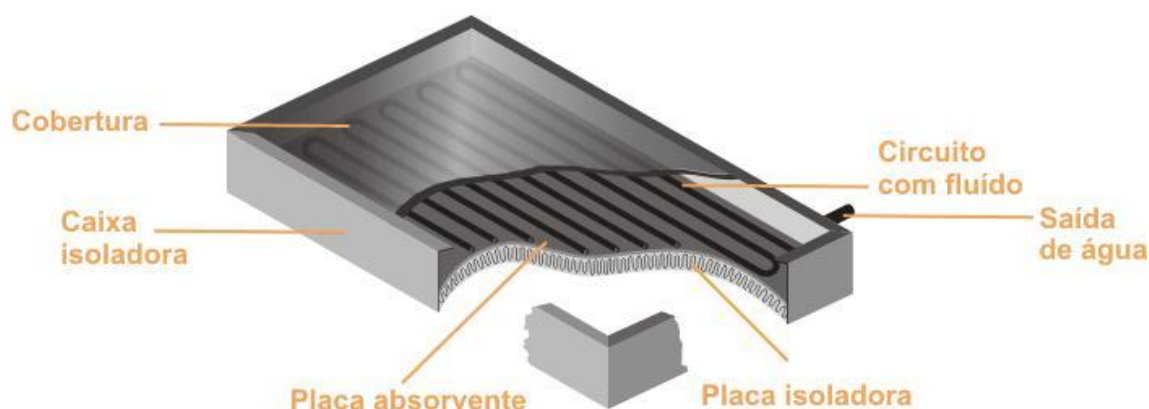
Fonte: SOLETROL, 2016.

3.2.2.1 Coletor solar

Os coletores solares são aquecedores de fluidos (líquidos ou gasosos), com duas funções, sendo, coletores concentradores e coletores planos em função da existência ou não de dispositivos de concentração da radiação solar. Após o aquecimento do fluido, este é mantido em reservatórios termicamente isolados até o seu destino final. Como exemplo, podem ser citados os seguintes: água aquecida para banho; ar quente para secagem de grãos; gases para acionamento de turbinas (SANTOS, 2005).

Os raios do sol ao atravessar o vidro da tampa do coletor solar mostrado na figura 3, esquentam as aletas que são feitas de cobre ou alumínio e pintadas com uma tinta especial e escura que ajuda na absorção máxima da radiação solar. O calor passa das aletas para os tubos (serpentina) que geralmente são de cobre. Com isto a água que está dentro da serpentina esquenta e vai direto para o reservatório do aquecedor solar (ALEXANDRE, 2011).

Figura 3- Coletor solar plano com cobertura



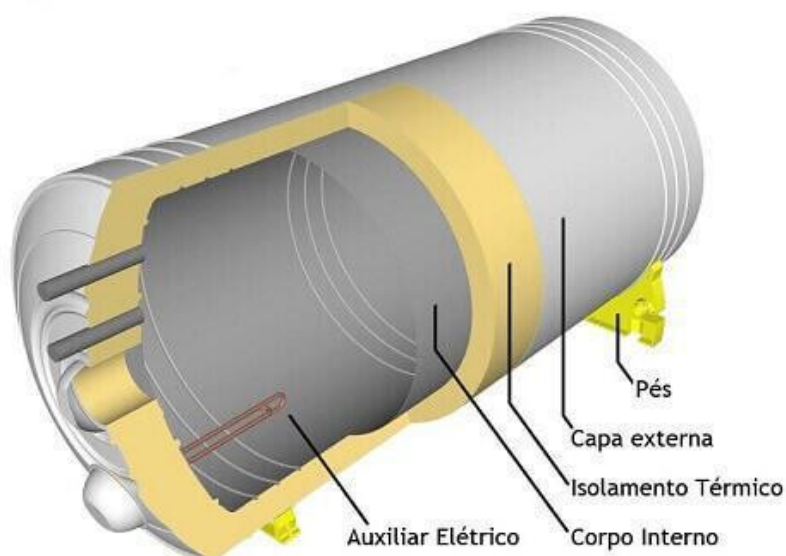
Fonte: Sistemasolares, 2011

Os coletores solares planos são largamente utilizados para aquecimento de água em residências, hospitais, hotéis, etc. devido ao conforto proporcionado e a redução do consumo de energia elétrica (TIRADENTES,2007).

3.2.2.2 Reservatório (boiler)

O reservatório térmico é semelhante a uma caixa d'água, que cuida de manter quente a água armazenada no aquecedor solar . Esses cilindros como mostra a figura 4, são feitos de cobre, inox ou polipropileno e depois recebem um isolante térmico (ALEXANDRE, 2011).

Figura 4- Reservatório térmico



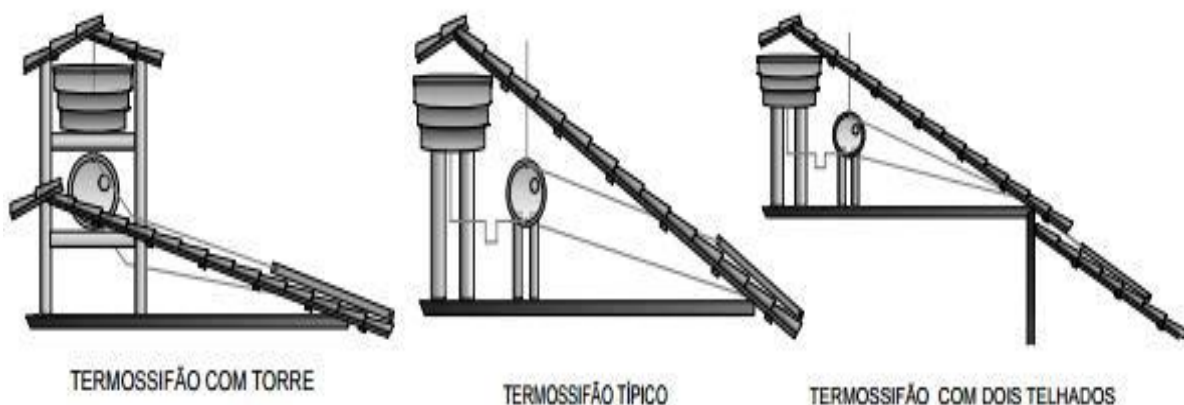
Fonte: Solares, 2014.

Deve ser dada uma atenção particular ao reservatório isolado para água aquecida. Não adianta um sistema que aquece a água durante o dia que é o período de menor necessidade se não pudermos conservar aquela energia captada sob a forma de calor num certo volume de água. O reservatório deve ser isolado termicamente para garantir o abastecimento de água quente na residência durante a noite e eventualmente nos períodos sem sol. O que é particularmente importante nas regiões de clima mais temperado, com médias mais baixas de temperatura. O processo pelo qual o fluido guarda a energia nada mais é do que o dado pela simples equação de calorimetria aprendida no colegial (TIRADENTES, 2007).

3.2.2.3 Instalação dos coletores

Para um melhor aproveitamento da luz solar nos coletores, é recomendado o seu posicionamento ao norte geográfico, onde tem uma melhor captação da irradiação solar durante o dia. O cálculo da inclinação das placas é feito em função da latitude do local. Quanto mais longe da linha do Equador, maior será a inclinação necessária. Quando a inclinação for menor que 20° é recomendada a instalação de um suporte, pois a inclinação mínima é de 20° para garantir o fluxo adequado de água. A caixa de água fria alimenta o reservatório térmico do aquecedor solar, mantendo-o sempre cheio. Em sistemas convencionais, a água circula entre os coletores e o reservatório térmico exposto na figura 5, através de um sistema natural chamado termossifão (ALEXANDRE, 2011).

Figura 5- Esquemas de sistemas solares com convecção natural ou termo-sifão.



Fonte: Heliotek (2006)

Nesse sistema, a água dos coletores fica mais quente e, portanto, menos densa que a água no reservatório. Isto ocorre até que a água existente no sistema solar de aquecimento (coletor e reservatório termicamente isolado) atinja o equilíbrio térmico, assim a água fria empurra a água quente gerando a circulação. (BEZERRA, 2001)

A circulação da água pelo coletor obedece a um princípio simples: no coletor, a serpentina é abastecida por gravidade, uma vez que o reservatório fica num nível superior ao do coletor. A água é aquecida durante sua passagem pela serpentina no coletor, e com isso, sua densidade diminui e naturalmente ela tende a subir de volta pelo outro lado da serpentina; esta circulação é forçada pelo fluxo constante de água fria (mais densa) descendo do reservatório para o coletor solar (FRAIDENRAICH, 1995).

O fluxo continua mesmo que toda água tenha sido aquecida, e assim, a água quente continuará a circular, aquecendo o coletor que também continua sob ação do calor do sol. Esta velocidade de circulação vai aumentando enquanto houver insolação suficiente. Para assegurar um fornecimento constante de água quente, inclusive nos períodos “sem Sol”, é preciso associar alguns elementos ao conjunto do aquecedor, tais como um dispositivo complementar de aquecimento e um sistema de armazenamento adequado. Basicamente, uma instalação para aquecimento de água para uso doméstico baseado na captação da energia solar e sua conversão em energia térmica é constituída por um reservatório de água fria que abastecerá o coletor, um reservatório isolado termicamente para armazenagem da água quente, um aquecedor elétrico ou a gás, para manter a temperatura da água nos períodos mais frios ou de baixa insolação e toda a tubulação necessária para ligar esses elementos (BEZERRA, 2001).

Determinar um coeficiente de eficiência nestes equipamentos é difícil, pois há um grande número de variáveis envolvidas. Um dos maiores complicadores para a obtenção de um índice de rendimento térmico é o fato de que o coletor não trabalha sob condições constantes durante um certo intervalo de tempo. Há que se considerar inicialmente que o coletor inicia o dia a uma temperatura baixa e o aquecimento vai aumentando paulatinamente ao longo do dia, sujeito a variações devidas à inconstância da insolação no local (ALEXANDRE, 2011).

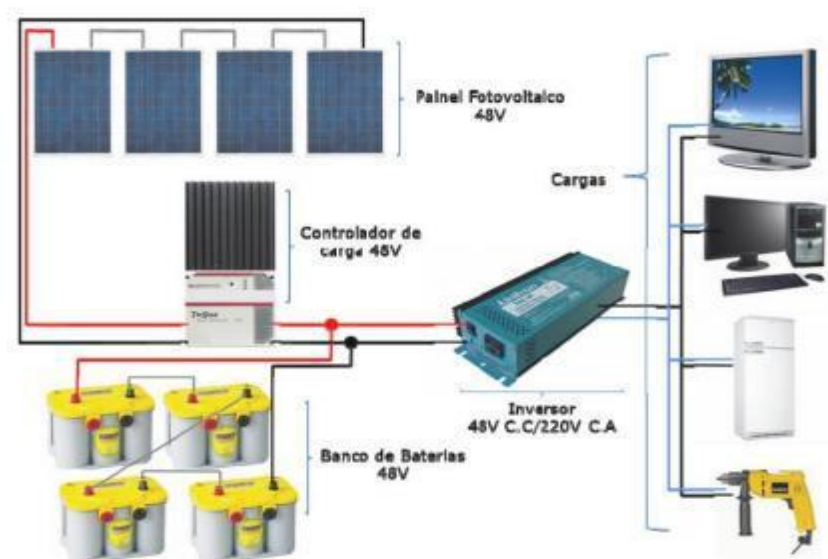
3.3 Energia solar fotovoltaica

A energia solar fotovoltaica é definida como a energia gerada através da conversão direta da radiação solar em eletricidade (IMHOFF, 2007).

A conversão de energia fotovoltaica é de etapa única, transformando energia da luz em energia elétrica. A explicação está na teoria quântica, que explica este fenômeno e o denomina como efeito fotovoltaico. O mesmo é gerado através da absorção da luz solar, que ocasiona uma diferença de potencial na estrutura do material semicondutor. Uma célula fotovoltaica não armazena energia elétrica. Apenas mantém um fluxo de elétrons num circuito elétrico enquanto houver incidência de luz sobre ela (NASCIMENTO, 2014).

Os sistemas fotovoltaicos estão sendo utilizados em diferentes formas, a primeira delas seriam a utilização para geração isolada como mostra a figura 6, em localidades remotas, onde não possuem o fornecimento de energia elétrica pelo sistema convencional ou em locais de difícil acesso à rede de energia. Nesta situação, a energia gerada pelos painéis deve ser parcialmente armazenada em bancos de baterias. Com isso, o excesso de energia elétrica gerada durante períodos de elevada irradiação solar ou de baixo consumo, seja armazenada para utilização em períodos de baixa irradiação e durante a noite. Sistemas fotovoltaicos deste tipo podem ser utilizados como fonte principal de energia para consumo residencial e em outras atividades, como por exemplo, atividades que envolvam maquinários, como bombas, trituradores, moedores e cercas eletrificadas (EBERHARDT, 2005).

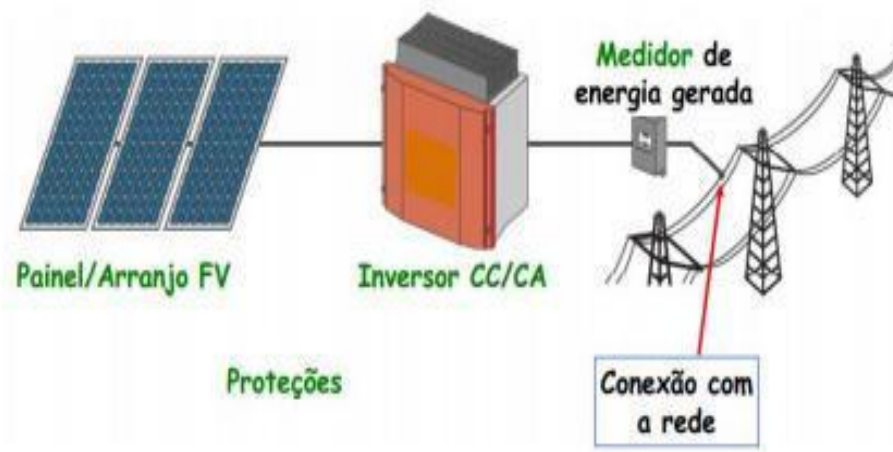
Figura 6- Esquema de sistema solar fotovoltaico isolado



Fonte: Viana, T. (2011).

A outra situação engloba a utilização de um sistema de geração fotovoltaico como uma fonte local de eletricidade conectada em paralelo com a rede elétrica mostrado na figura 7.

Figura 7- Esquema de sistema solar fotovoltaico conectado a rede



Fonte: Viana, T. (2011).

Neste esquema, o consumidor utiliza prioritariamente a energia gerada localmente pelos painéis fotovoltaicos (seu próprio sistema). Qualquer diferença entre o consumo e a geração local é fornecida pela rede de energia fornecida pela concessionária local, dispensando o uso das baterias acumuladoras (SANTOS, 2005). A Resolução Normativa ANEEL nº 482/2012, o consumidor brasileiro pode gerar sua própria energia elétrica a partir de fontes renováveis ou cogeração qualificada e inclusive fornecer o excedente para a rede de distribuição de sua localidade. Este segundo sistema, apresenta diversas vantagens para o consumidor, entre elas pode-se citar: A descentralização do fornecimento de energia pela concessionária, a redução dos custos no consumo da energia elétrica, a diminuição da dependência do uso da energia gerada por outras fontes não renováveis entre outras (SANTOS, 2005).

Os estudos de viabilização mostram que, mesmo as regiões brasileiras com menores índices de radiação apresentam grande potencial de aproveitamento energético para esta fonte, sendo comparáveis, por exemplo, às regiões de maiores índices na Alemanha (GORE, 2010).

3.3.1 Efeito fotovoltaico

O físico francês, Edmund Bequerel, em 1839, foi o primeiro a observar que certos materiais produziam pequenas quantidades de corrente elétrica quando expostos à luz. Em 1905, Albert Einstein descreveu a natureza da luz e o efeito fotoelétrico, no qual a tecnologia fotovoltaica se baseia (CRESESB, 2006).

A energia fotovoltaica é a conversão direta da luz em eletricidade, em nível atômico. Alguns materiais exibem uma propriedade conhecida como o efeito fotoelétrico, que faz com que eles absorvem fótons de luz e liberem elétrons. Quando estes elétrons livres são capturados, é gerada uma corrente elétrica que pode ser utilizada como energia (GREENPRO, 2004).

O material utilizado na fabricação das células fotovoltaicas deve ser de grande pureza. Isto pode ser conseguido através de várias etapas químicas. Atualmente, os fabricantes de células solares têm obtido, na maioria das vezes, o material purificado através de restos da indústria eletrônica de semicondutores. O material mais usado na fabricação de células fotovoltaicas é o silício (CABRAL, 2006).

3.3.2 Componentes de um sistema fotovoltaico conectado a rede

Um sistema fotovoltaico possui quatro componentes básicos:

- Painéis solares – Pode ser constituído de um ou mais painéis, dimensionados de acordo com a energia necessária. São responsáveis por transformar energia solar em eletricidade.
- Inversores – Responsáveis por transformar os 12 V de corrente contínua das baterias em 110 ou 220 V de corrente alternada (AC), ou outra tensão desejada. No caso de sistemas conectados, também são responsáveis pela sincronia com a rede elétrica.

Medidor de Energia - Popularmente conhecido como relógio de luz, é um dispositivo ou equipamento eletromecânico apto a medir o consumo de energia elétrica. A unidade usada é kWh. O mesmo por ser um equipamento necessário para o conhecimento do consumo está presente na maioria de casas e habitações no mundo moderno. Sua ligação pode ser diretamente entre a rede elétrica e a carga (casa) ou através de transformadores de acoplamento de tensão e/ou corrente (MÍNGUEZ, 2007).

Para atender à demanda de diversificação da matriz energética e simultaneamente de produção de energia limpa, tecnologias tornam-se acessíveis. Os Sistemas

Fotovoltaicos Conectados à Rede Elétrica (SFCR) está se destacando por uso doméstico e industrial (ZILLES, 2016).

De acordo com Carvalho (2013), a energia solar fotovoltaica configura-se como uma alternativa de qualidade consolidada e tecnologia relativamente simples à inserção da eletricidade em áreas que dificilmente seriam atendidas pela distribuição convencional de energia.

3.3.2.1 Painéis fotovoltaicos

Os módulos fotovoltaicos foram inicialmente desenvolvidos pelos programas espaciais na década de 1960 para aplicação em satélites, sendo que nesta época apresentavam custos elevados. Os desenvolvimentos técnicos e as reduções de custo verificadas desde então possibilitam atualmente a sua utilização em aplicações mais comuns (SANTOS, 2005).

Os principais componentes do sistema fotovoltaico são os painéis solares de geração de energia elétrica como mostra a figura 8, eles são formados por um conjunto de células fotovoltaicas de associação elétrica, podendo ser em série ou em paralelo, dependendo das tensões e/ou correntes determinadas na construção do projeto. O conjunto destes módulos é chamado de gerador fotovoltaico e constitui a primeira parte do sistema. São os responsáveis no processo, por captar a irradiação do sol e a transformá-la em energia elétrica (PEREIRA & OLIVEIRA, 2011).

Nos dias de hoje são vários os tipos de módulos solares produzidos, tais como: rígidos ou flexíveis, de acordo com o tipo de célula empregada (PINHO & GALDINO, 2014). Em relação à fabricação dos painéis, torna-se importante ressaltar que a produção desses módulos tem sofrido grande interferência governamental a partir de incentivos fiscais e ambientais. O Aumento da produção destes componentes tem reduzido os custos para a consolidação do sistema.

A procura por novas tecnologias para o uso de energias renováveis, os sistemas fotovoltaicos encontram-se em crescente utilização. A exploração de novos materiais, e a realização de pesquisas para o avanço da tecnologia fotovoltaica vem sendo feitas (CEMIG, 2012).

Figura 8- Pannel solar de geração de energia elétrica



Fonte: RESIZESOLAR, 2017.

O silício (Si) é o principal material na fabricação das células fotovoltaicas, e se constitui como o segundo elemento químico mais abundante na terra. O mesmo tem sido explorado sob diversas formas: cristalino, policristalino e amorfo (CEMIG, 2012). Existem três tecnologias aplicadas para a produção de células, classificadas em três gerações de acordo com seu material e suas características. A primeira geração é composta por silício cristalino (c-Si), que se subdivide em silício monocristalino (m-Si) e silício policristalino (p-Si), representando 85% do mercado, por ser uma tecnologia de melhor eficiência, consolidação e confiança (CEPEL, 2014).

A segunda geração, também chamada de filmes finos, é dividida em três cadeias: silício amorfo (a-Si), disseleneto de cobre, índio e gálio (CIGS) e telureto de cádmio (CdTe). A terceira geração é definida pelo IEEE - Instituto de Engenheiros Eletricistas e Eletrônicos como: Células que permitem uma utilização mais eficiente da luz solar que as células baseadas em um único band-gap eletrônico (PEREIRA & OLIVEIRA, 2011).

De forma geral, a terceira geração deve ser altamente eficiente, possuir baixo custo/watt e utilizar materiais abundantes e de baixa toxicidade (IEEE, 2014).

Por fim, ainda em fase de pesquisa e desenvolvimento, têm-se as células orgânicas ou poliméricas (CEPEL, 2014).

3.3.2.2 Inversores

Os inversores são dispositivos eletrônicos que fornecem energia elétrica em corrente alternada a partir de uma fonte de energia elétrica em corrente contínua. (PINHO & GALDINO, 2014) A energia elétrica na saída dos módulos fotovoltaicos é em corrente contínua (CC). Isto inviabiliza a sua aplicação direta na maioria dos equipamentos que trabalham, somente, em corrente alternada (CA) (PEREIRA; OLIVEIRA, 2011). A figura 9 mostra um tipo de inversor usado no sistema fotovoltaico.

Figura 9- Inversor fotovoltaico



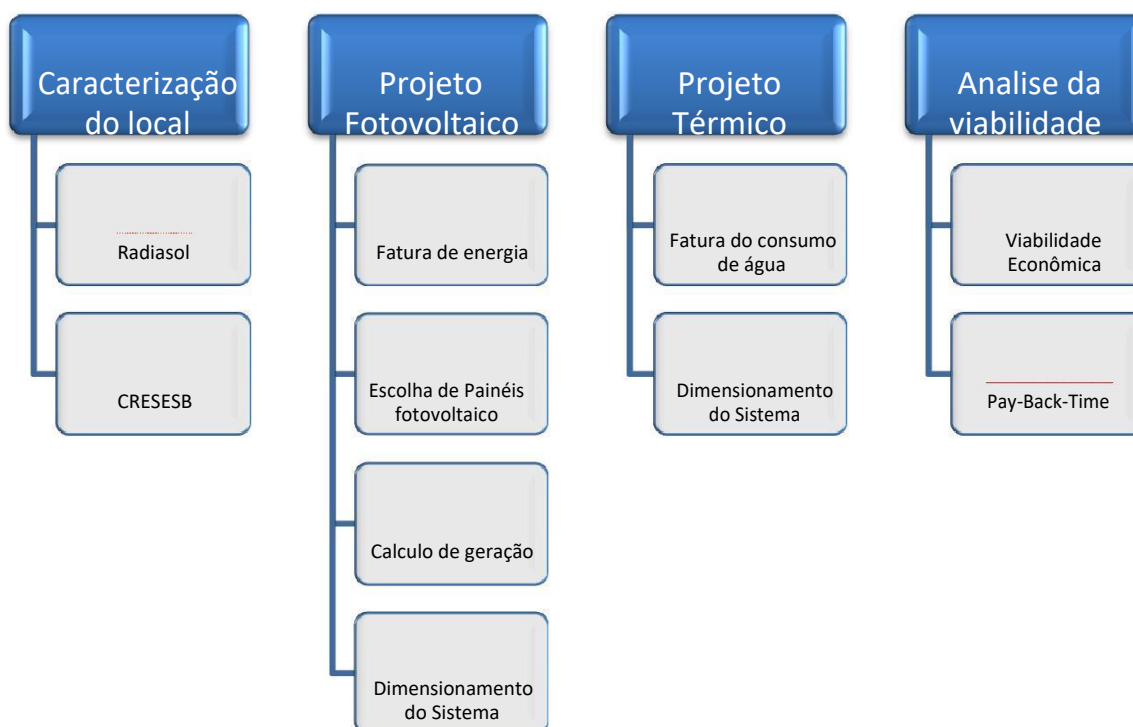
Fonte: Solar, 2016.

Para a solução deste problema, empregam-se os inversores, capazes de realizar a conversão desta tensão contínua para um valor de tensão em CA. Além disso, este equipamento é capaz de ajustar a frequência e nível de tensão gerada, para que o sistema possa ser conectado à rede pública, *on grid*, de acordo com as normas vigentes estabelecidas pela ANEEL. Para selecionar o inversor adequado a ser utilizado em um sistema fotovoltaico, os requisitos a serem analisados são: a forma de onda da carga e a eficiência do próprio inversor (MESSENGER; VENTRE, 2010).

4 METODOLOGIA

Neste tópico serão descritos os materiais e métodos empregados na realização deste trabalho desde a etapa de caracterização do local até a análise da viabilidade econômica. A Figura 10 ilustra de forma sucinta a metodologia utilizada no desenvolvimento deste trabalho.

Figura 10- Fluxograma do ordenamento lógico da metodologia adotada



Fonte: Autoria própria (2017)

Na caracterização do local, será observada a área disponível na cobertura do Mercado municipal, para poder saber a quantidade de painéis fotovoltaicos que poderão ser instalados. A radiação solar mensal do local a ser estudado será obtida através do programa Radiasol, com o auxílio do CRESESB. Para obter dados para o projeto fotovoltaico será necessário faturas de consumo de energia para estimar o valor gasto por mês. O dimensionamento do sistema é realizado a partir da escolha dos módulos onde será calculada a geração do sistema através dos dados contidos na folha de dados

(*datasheet*) do painel escolhido. No projeto térmico, será levada em consideração para a elaboração do sistema, a quantidade de água utilizada mensalmente pelo local. Onde será escolhido o sistema térmico que melhor se enquadre no uso. Para isso será utilizado faturas do consumo de água, metragem do local e sua radiação. O resultado da viabilidade mostrará o quanto o cliente terá de retorno e em quanto tempo o sistema será pago, mostrando as diferenças entre o consumo e a geração.

4.1 Análise do consumidor

O estudo será feito para implantação de um sistema de energia solar num mercado público, de Areia Branca - Rio Grande do Norte. A escolha do sistema para análise se deve ao potencial existente no local estudado, pois de acordo com os dados do FIERN (2016), no interior do estado do Rio Grande do norte, encontram-se as regiões com os maiores índices solarimétricos do Brasil e que permitem a instalação e operação de usinas geradoras a partir de energia solar.

4.1.1 Caracterização da Coleta de Dados

Para esta etapa foram necessários:

- Dados de irradiação solar, médias anuais para a cidade de Mossoró-RN;
- Análise na fatura do consumidor;
- Levantamento da área total de cobertura;
- Percentual de cobertura útil para a implantação do sistema fotovoltaico;
- Percentual de orientação e inclinação dos painéis fotovoltaicos, para condições favoráveis ao máximo aproveitamento da energia a ser gerada;

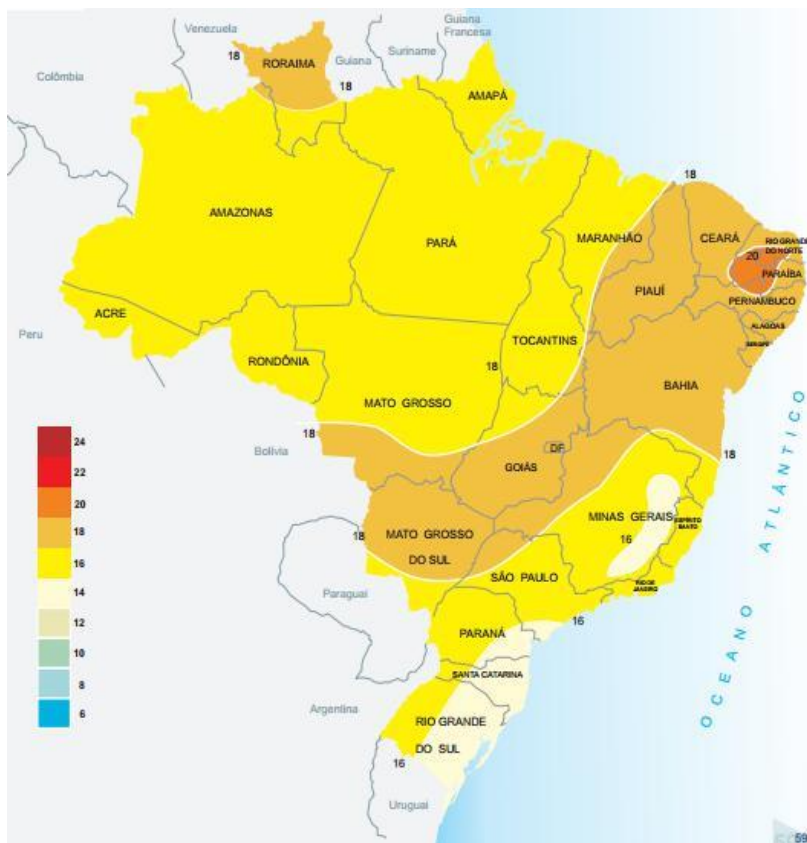
Estudos no impacto da inserção de SFVCR- Sistema Fotovoltaico Conectado a Rede, na fatura do consumidor e seu *Pay-Back-Time*.

4.1.2 Dados de Radiação Solar

De acordo o FIERN (2016). a energia solar, que ainda não é uma fonte energética competitiva, tem um potencial de produção muito alto no Rio Grande do

Norte, visto que o estado inteiro se encontra em uma região de alta irradiação. Como mostra a figura 11.

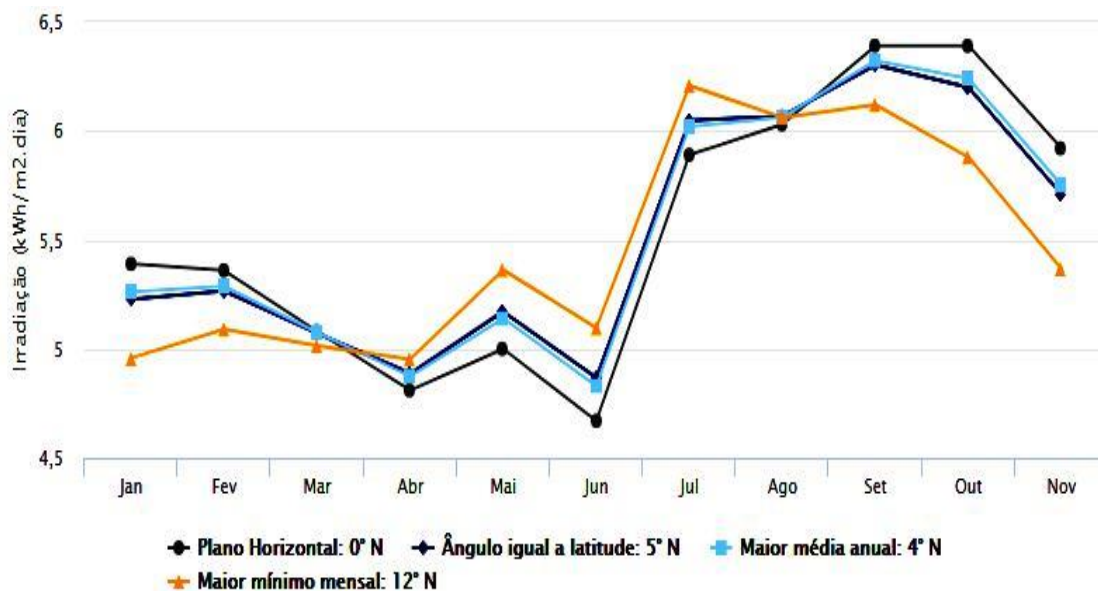
Figura 11- Atlas Solarimétrico do Brasil



Fonte: CRESESB, 2001.

Os dados de irradiação solar e potencial fotovoltaico para a cidade de Areia branca, onde está instalado o consumidor, foram obtidos através do programa Radiasol. As informações utilizadas foram da cidade de Mossoró, a segunda maior cidade do estado do Rio Grande do Norte, que é um pólo que influencia localmente, especialmente em função dos serviços. Visto que a cidade de Areia branca não possui estudo de estimativa de dados de irradiação solar, e a cidade de Mossoró está localizada a 42,1 Km da mesma, os valores usados são válidos, logo, para o CRESEB a localidade utilizada para fins de cálculos tem que estar na faixa de latitude de 12° Norte e 40° Sul e de longitude na faixa de 30° Oeste e 80° Oeste, pois são os valores que se aproximam da faixa de Areia Branca- RN. O gráfico 3 a seguir mostra a irradiação solar no plano inclinado.

Gráfico 3- Irradiação solar no plano inclinado- Mossoró



Fonte: CRESESB, 2016

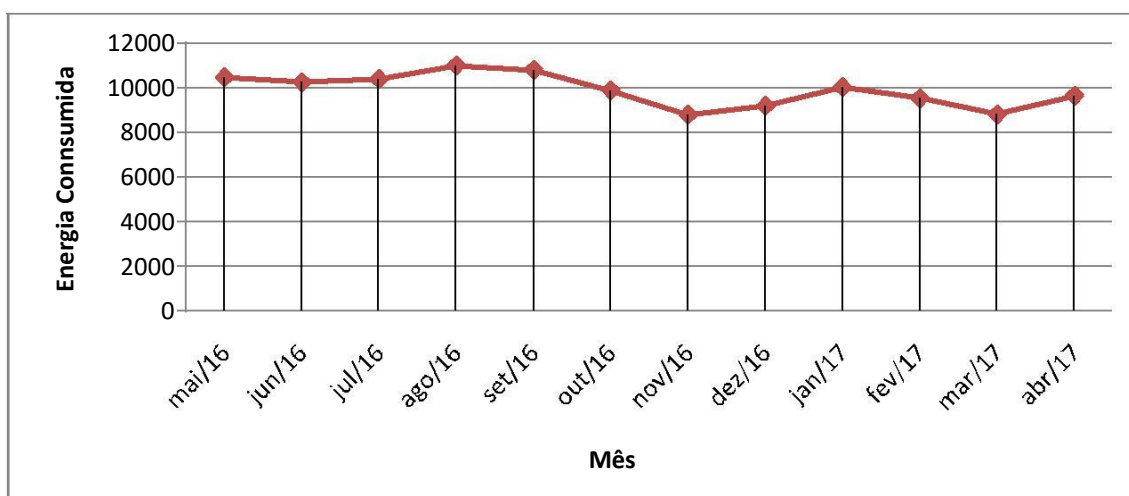
4.1.3 Análise do consumo de energia

A Tabela1 apresenta os valores mensais da fatura de energia do consumidor, nela percebe-se que está havendo uma pequena variação como mostrado no Gráfico 3, portanto seu consumo está totalmente definido e estabilizado. Para efeitos de cálculo no projeto, foi determinada uma média do consumo, variando de maio de 2016 a abril de 2017, sendo a média anual de 9894,333 KWh.

Tabela 1- Consumo anual de energia do Mercado Público de Areia Branca- RN

Mês	Energia consumida (kWh/mês)	Custo Conta/Mês
mai/16	10466	R\$ 5.296,20
jun/16	10246	R\$ 5.806,92
jul/16	10385	R\$ 5.532,75
ago/16	10991	R\$ 6.030,77
set/16	10797	R\$ 6.050,93
out/16	9874	R\$ 5.456,75
nov/16	8786	R\$ 4.859,38
dez/16	9189	R\$ 4.953,42
jan/17	10021	R\$ 5.658,66
fev/17	9521	R\$ 5.126,09
mar/17	8808	R\$ 5.019,11
abr/17	9648	R\$ 5.193,38

Fonte: Autoria própria, 2017.

Gráfico 4- Variação de consumo de energia elétrica

Fonte: Autoria própria, 2017.

4.1.4 Levantamento da Área da Cobertura

Para determinação da área disponível para instalação dos painéis fotovoltaicos na cobertura do Mercado público, foi utilizado o programa *Google Earth*, onde foi possível definir que a cobertura do Consumidor tem aproximadamente 1586.3 m², como visto na Figura 13. Para os cálculos no projeto assume-se que ela possui 1586 m² de área útil para a implementação de painéis solares fotovoltaicos.

Figura 12- Área da cobertura



Fonte: Google Earth (2017)

4.1.5 Método da insolação

De acordo com VILLALVA & GAZOLI A 2012, a técnica de cálculo da energia produzida pelos módulos utilizada é o método da insolação. Nesse método, utilizamos a insolação diária expressa em Wh/m²/dia, a partir do software radiasol, e a energia produzida tem limitação apenas pela eficiência do módulo. A energia produzida pode ser então calculada a partir da seguinte expressão:

$$G = A \times \eta_{\text{painel}} \times H_{\text{plano}_{\text{inclinado}}} \times n \times \eta_{\text{sistema}}$$

Onde,

G = Geração mensal (kWh/mês)

A = Área útil dos módulos ou da cobertura em análise

η_{painel} – Eficiência dos módulos fotovoltaicos (%)

$H_{\text{plano}_{\text{inclinado}}}$ – Irradiação média no plano

inclinado n – Número de dias no mês

η_{sist} – Rendimento do sistema (%)

5. PROJETO FOTOVOLTAICO

5.1 Dimensionamento dos painéis fotovoltaicos

A área disponível do telhado é de 1586,3 m², a mesma comportará uma quantidade de 826,70 módulos no total, já que a placa possui 1,9 m². Como o sistema irá suprir toda a carga instalada do mercado público, a mesma se adequa a área a ser aplicada. Levando em consideração a média anual do consumo e a geração do sistema FV com o auxílio do programa Radiasol o sistema será composto por 270 painéis fotovoltaicos de 300Wp que atenderá 81000W, sendo realizado todo o estudo com base nos mesmos.

A forma de conexão com a rede, de acordo com COSERN (2016) é estabelecido através da Tabela 2.

Tabela 2- Classificação da conexão de acordo com a potência

Potência instalada da microgeração	Forma e conexão - COSERN
< 15 kW	Monofásico
15 a 25 kW	Bifásico
> 25 kW	Trifásico

Fonte: COSERN (2016)

Com base na potência instalada determinada, e observando a Tabela 2, conclui-se que o padrão de entrada é Trifásico.

Nos cálculos os módulos têm inclinação igual à 30° e voltada para o norte geográfico. Consideraram-se as coberturas com inclinações ideais, ou seja, inclinadas de acordo com a latitude local (15° em Mossoró) e orientação para o norte verdadeiro, com desvio azimutal zero. Para esta situação, utilizaram-se dados de irradiação solar baseados no

programa Radiasol. Por se tratar de um estudo preliminar, desconsiderou-se a arquitetura dos possíveis locais de instalação e as inclinações da cobertura deste consumidor. Além disso, não há sombreamento nessa área, causado por construções próximas ou outros possíveis obstáculos à luz.

5.2 Dimensionamento do inversor

A Norma COSERN (2016), garante que para o caso de sistemas que se conectam a rede por meio de inversores, o acessante deve apresentar certificados atestando que os inversores foram ensaiados e aprovados conforme estabelecidos na ABNT NBR IEC

62116 e devem ter certificação do INMETRO, e a tensão nominal de conexão constantes na solicitação de acesso, de forma a atender aos requisitos de segurança e qualidade.

Para se garantir a confiabilidade e a qualidade da energia produzida pelo sistema, o dimensionamento deste deve ser feito de forma que a operação do inversor não ocorra em potências relativamente abaixo da nominal nem trabalhe em sobrecarga. Com o padrão de entrada estabelecido conforme a concessionária local (Tabela 2) como sendo trifásico, o inversor a ser utilizado também deve ser trifásico.

5.3 Dimensionamento dos condutores

É utilizado a NBR 5410 para estabelecer os padrões necessários para o dimensionamento dos condutores, juntamente ao CRESEB. A Equação 2 determina a seção mínima do condutor S , necessária para uma determinada instalação em corrente contínua.

$$S(mm^2) = \rho \times \frac{d \times I}{\Delta V} \quad (2)$$

Em que:

ρ - Resistividade do material do condutor, geralmente cobre;

d - distância total do condutor, considerando o trecho de retorno (ida e volta);

I - Corrente que passa pelo condutor;

ΔV - Queda de tensão tolerada no cabeamento para o trecho analisado

Para o cálculo da seção transversal dos condutores, será adotado o cobre como material dos mesmos. A uma temperatura de 20 °C o material escolhido apresenta uma resistividade de $\rho_{cu} = 0,01724 \, \Omega \cdot mm^2/m$. Por se tratar de um mercado público os módulos se localizarem no telhado do mesmo, será adotado para o cálculo uma distância máxima de 50 metros, e com base na NBR 5410 é estabelecido uma queda de tensão de 3%. O condutor deve suportar uma corrente de curto-circuito máxima, conforme os dados do módulo fotovoltaico. Um condutor com mesmas especificações será utilizado na conexão da saída do inversor ao quadro do disjuntor, pois, de acordo com a NBR 5410 este é apropriado a condução da corrente nominal de saída do inversor.

5.4 Sistema de medição

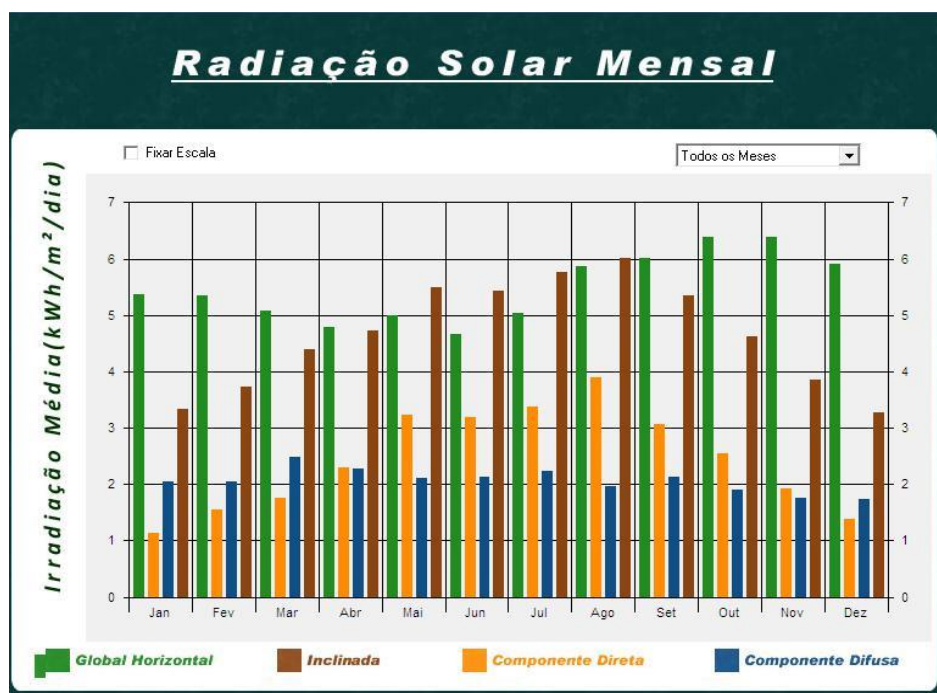
A concessionária será responsável pela instalação do medidor bidirecional e o cliente deve arcar com os custos referentes à diferença entre o valor de um medidor

bidirecional e um medidor unidirecional. Desta forma, escolhe-se um medidor bidirecional trifásico, adequado a tensão de operação requerida pelo sistema, ou seja, 380/220V.

5.5 Cálculo de Radiação e Geração de Energia

A estimativa de geração fotovoltaica foi feita com o auxílio do software Radiasol, que ao inserir os dados de latitude e longitude do local mostra a irradiação solar de cada mês como mostrado no Gráfico 5.

Gráfico 5- Irradiação Média



Fonte: Radiasol, 2017

Seguindo o método da insolação foram utilizados os dados da tabela 3 para obter os valores da energia gerada.

Tabela 3- - Informações utilizadas no cálculo da energia gerada

Mês	Dias	Eficiência do Módulo	Área do Módulo (m²)	Nº de módulos	Eficiência do Sistema	Irradiação Média (kWh/m²/dia)
5	31	0,1642	1,918828	276	0,8	5,2
6	30	0,1642	1,918828	276	0,8	5,47
7	31	0,1642	1,918828	276	0,8	5,87
8	31	0,1642	1,918828	276	0,8	5,33
9	30	0,1642	1,918828	276	0,8	4,75
10	31	0,1642	1,918828	276	0,8	4,02
11	30	0,1642	1,918828	276	0,8	3,71
12	31	0,1642	1,918828	276	0,8	3,46
1	31	0,1642	1,918828	276	0,8	4,01
2	29	0,1642	1,918828	276	0,8	4,38
3	31	0,1642	1,918828	276	0,8	4,62
4	30	0,1642	1,918828	276	0,8	5,3

Fonte: Autoria própria, (2017).

Na Tabela 4, mostra o resultado da energia gerada pelo sistema fotovoltaico.

Tabela 4- Energia gerada

Mês	Energia Gerada (KWh/mês)
mai/16	11173,7
jun/16	11374,7
jul/16	12613,4
ago/16	11453,0
set/16	9877,5
out/16	8638,1
nov/16	7714,8
dez/16	7434,8
jan/17	8616,6
fev/17	8804,5
mar/17	9963,5
abr/17	11021,2

Fonte: Autoria própria,(2017)

5.3 Estimativa de Custos

Para a determinação dos custos envolvidos no estudo de implementação de geração fotovoltaica no mercado público, utiliza-se a análise da Inserção da Geração Solar na Matriz Elétrica Brasileira (EPE, 2012) mostrada na tabela 5 . Assim, foram levados em consideração todos os gastos, desde a compra dos equipamentos até a mão de obra.

Tabela 5- Custo de investimento em sistemas fotovoltaicos – referência nacional (US\$/Wp).

Potência	Painéis	Inversores	Instalação & Montagem	TOTAL (US\$/Wp)
Residencial (4-6kWp)	2,95	0,76	0,93	4,638
Residencial (8-10kWp)	2,68	0,66	0,83	4,174
Comercial (100kWp)	2,31	0,56	0,72	3,578
Industrial (≥ 1.000 kWp)	2,12	0,40	0,64	3,154

Fonte: SILVESTRI; TAKASAKI, (2014).

Os Itens da Tabela 6 levam em conta os valores de mercado determinado pelos seus fabricantes.

Tabela 6 – Valores determinados pelos fabricantes

Itens	Quantidade	Custo total (R\$)
Módulo Fotovoltaico	276	241.500,00
Inversor	4	91.560,00
Medidor Bidirecional	1	540,00
String Box	4	5.436,00
Kit de montagem	92	90.436,00
Condutores	500	4450,00
Conectores	276	8.004,00
Disjuntor trifásico	4	184,00

Mão de Obra	20%	88.422,00
TOTAL		530.532,00

Fonte: Autoria própria, 2017

Usando os valores da Tabela 6 para estimar o custo de investimento do sistema fotovoltaico, levando em consideração os valores que o mercado disponibiliza. O painel utilizado tem faixa de potência 300Wp, a quantidade de módulos utilizados no projeto será 276, foi considerado a capacidade de geração de cada mês que variou, dessa forma foi sendo testada a quantidade de painéis que atendesse as necessidades do projetista, então a potência do sistema será 82800W. O custo de investimento do projeto de acordo com o total em reais por Wp será de R\$ 530.532,00 .

6. PROJETO DO AQUECEDOR SOLAR

De acordo com a ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas) em sua NBR 15569 - “Sistemas de Aquecimento Solar de Água em Circuito Direto - Projeto e Instalação” define o sistema de aquecimento solar (SAS) por sistema composto por coletor(es) solar(es), reservatório(s) térmico(s), aquecimento auxiliar, acessórios e suas interligações hidráulicas que funciona por circulação natural ou forçada

6.1 Posicionamento e escolha dos coletores

Para a obtenção de maior captação solar possível, será considerada a localização geográfica do local a ser instalado. A melhor recomendação é de inclinar o coletor em um valor igual à latitude local, portanto, a inclinação admitida no projeto será 12°. Assim como no projeto fotovoltaico, para a determinação da área disponível para instalação dos coletores, foi analisado através do programa *Google Earth* que a cobertura do consumidor tem aproximadamente 1586.3 m², porém será considerada a área que não será utilizada pelo sistema fotovoltaico, totalizando 1029,83 m². Os coletores solares utilizados para fins de cálculos serão de 2 m². O uso da água aquecida será apenas para higiene do local e a limpeza será feita em dias alternados. Computando 15 dias de uso, é gerada uma média de valor de 118.972,5 litros por mês, com valor diário de 7.931,5

litros, pois de acordo com AMVAP (Associação dos Municípios da Microregião do Vale do Parnaíba), para limpar 1 m² de um mercado utiliza-se 5 litros de água. Para a determinação da quantidade de área dos coletores admitirá que, para cada 200 litros de água serão necessário 2 m² de área de coletor solar, totalizando 40 coletores solares no sistema, o que equivale a uma área de 79,65m² a ser utilizada.

6.2 Dimensionamento do boiler

Após calcular o volume de água quente que será consumido diariamente, encontra-se a capacidade (volume) do boiler ou reservatório térmico indicado. No projeto admitiram-se dois boilers de 4000l. A NBR 15569 admite que o reservatório dimensionado para o sistema tenha capacidade de 70% do volume usado diariamente.

6.3 Estimativas de Custos

Através dos dados utilizados pela a empresa Helioek (2006), pode-se utilizar para o cálculo do investimento necessário no sistema de aquecimento a relação de R\$ 5,70 de investimento pela capacidade do sistema em litros, de tal forma que o investimento pode ser calculado pela equação:

$$\text{Investimento} = 5,70 \times \text{Cáguaque} \quad (3)$$

Aplicando os valores na Equação 3 foi estimado um investimento de R\$ 45.209,55.

7. ANÁLISE DE RESULTADOS

Para a análise de estimativa da viabilidade econômica do projeto fotovoltaico no mercado público na cidade de Areia Branca- RN, foi utilizado um sistema de compensação com base nos níveis mensais de irradiação solar na localidade, para a Unidade Consumidora (UC) e para a geração de energia (injetada), conforme apresentado na Tabela 7.

Tabela 7 - Consumo e geração no período de ano do Mercado publico estudado

Mês	Consumo (KWh)	Injetada (KWh)	Credito acumulado (KWh)	Fatura sem GD(R\$)	Fatura com GD(R\$)	(SEMGD-COMGD) (R\$)
mai/16	10466	11173,7	707,7	5636,65	35,91	5600,74
jun/16	10246	11374,7	1836,4	5518,16	35,91	5482,25
jul/16	10385	12613,4	4064,8	5593,02	35,91	5557,11
ago/16	10991	11453	4526,8	5919,39	35,91	5883,48
set/16	10797	9877,5	3607,3	5814,91	35,91	5779,01
out/16	9874	8638,1	2371,4	5317,81	35,91	5281,91
nov/16	8786	7714,8	1300,2	4731,85	35,91	4695,95
dez/16	9189	7434,8	0	4948,89	244,51	4704,38
jan/17	10021	8616,6	0	5396,98	756,36	4640,62
fev/17	9521	8804,5	0	5127,70	385,89	4741,81
mar/17	8808	9963,5	1155,5	4743,70	35,91	4707,79
abr/17	9648	11021,2	2528,7	5196,10	35,91	5160,19

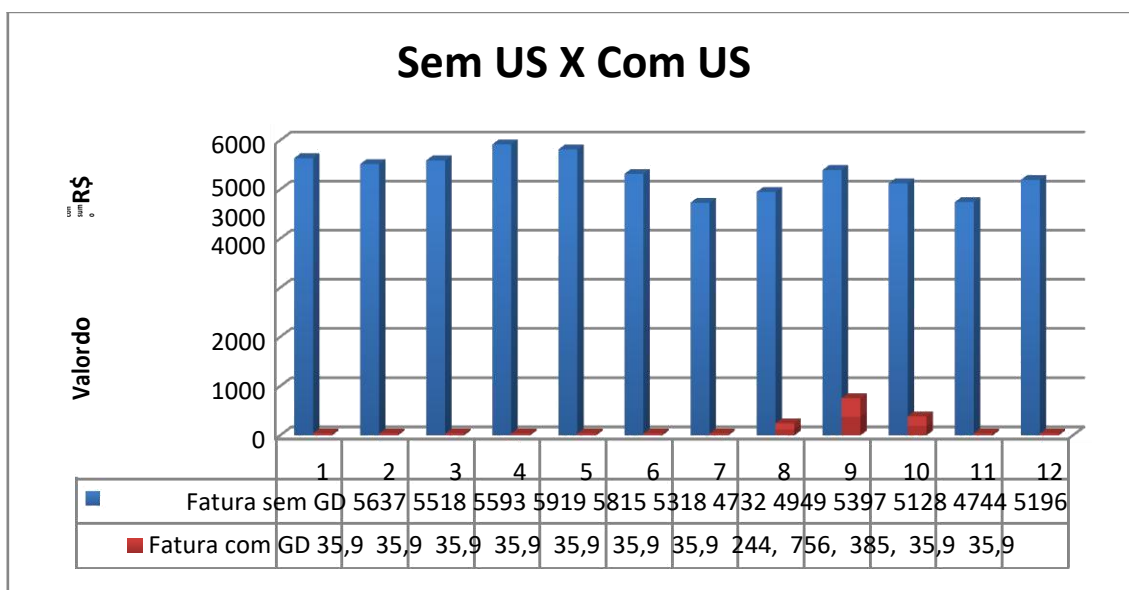
Fonte: Autoria própria (2017)

Calculando a diferença total entre a fatura com Geração Distribuída(GD) e sem a geração distribuída, foi possível obter os resultados da economia anual no total de R\$ 62.235,28.

Aplicando essa economia anual no método VPL,foi possível analisar o tempo necessário para retorno do investimento (*pay-back* descontado),o retorno do investimento será de aproximadamente 10 anos considerando uma taxa mínima de atratividade de 10% ao ano.

O Gráfico 6 mostra a diferença entre os valores a serem pagos com e sem o sistema fotovoltaico, deixando evidente que o sistema reduzirá o custo em um valor muito significativo.

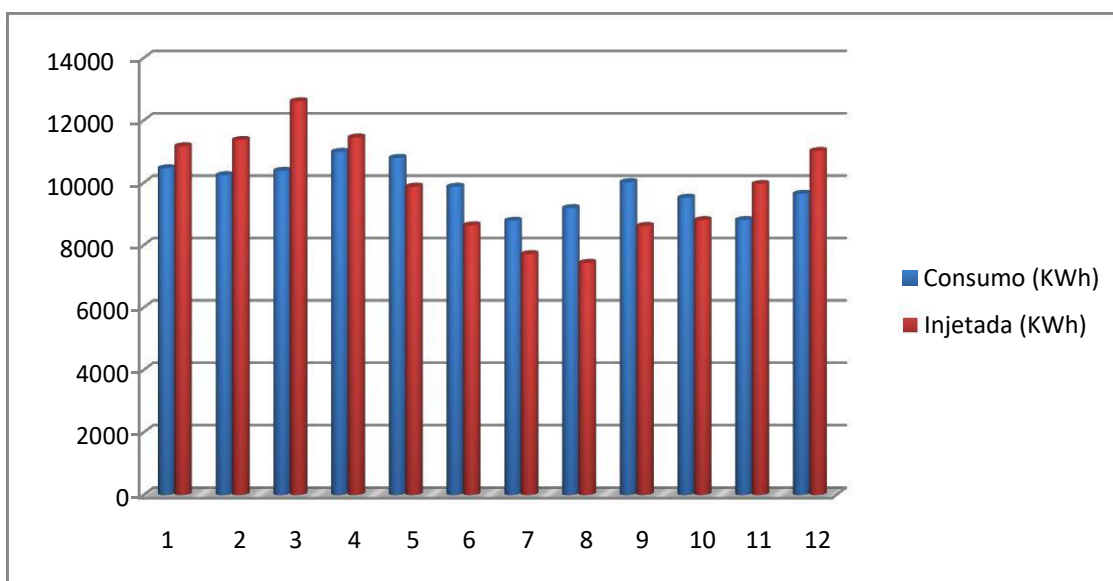
Gráfico 6- Estimativa da economia mensal



Fonte: Autoria própria (2017).

Para mostrar a capacidade do sistema fotovoltaico referente ao consumo do cliente, o Gráfico 7 mostra que o sistema suprirá a necessidade, pois como mostrado no Gráfico 6 o valor a ser pago com o sistema se torna insignificante referente ao montante pago sem a usina solar.

Gráfico 7-Consumo e geração de energia elétrica do sistema fotovoltaico



Fonte: Autoria própria (2017).

Para estimar a viabilidade econômica do projeto de aquecimento solar utilizam-se apenas métodos matemáticos para sua determinação. O local estudado foi escolhido devido ao potencial solarimétrico aonde o mercado está instalado. Com o sistema de aquecimento solar é possível estimar uma economia de até 70% no consumo de energia em locais onde utiliza-se sistemas de aquecimento de água elétrico.

No local estudado não existe sistema de aquecimento de água, o sistema de aquecimento apresentado para o local será utilizado para higienização, para limpeza de bancadas, pisos e utensílios. Em forma de comparativo para demonstrar qual seria a forma mais viável para aplicação de um sistema de aquecimento de água, a Tabela 8, apresenta uma comparação entre os custos com um sistema de aquecimento elétrico e solar de água.

Tabela 8- Comparativo entre os custos dos sistemas de aquecimento solar elétrico

- Banho diário de 10 minutos.		
	Chuveiro Elétrico (Classe F)	Aquecedor Termossolar (baixa pressão)
Equipamento	*Dois Chuveiros de 7,5kW (de R\$ 180,00 a R\$ 500,00)	*Um Boiler de 400L *Dois coletores de 1m ² (De R\$ 2400 a R\$3700,00)
Custo material e mão de obra	R\$ 1.100,00	R\$ 1.300,00
Instalação	De R\$ 1280,00 a R\$ 1600,00	De R\$ 3700,00 a R\$ 5000,00
Energia elétrica	1800kWh (R\$ 920,52)	390kWh (R\$ 199,34)
Água	50,40m ³ (R\$ 406,67)	56,20m ³ (R\$ 460,88)
Valor do consumo anual	R\$ 1.327,19	R\$ 660,22
Gasto total no primeiro ano	De R\$ 3887,00 a R\$ 4527,19	De R\$ 8060,22 a R\$ 10660,22

Fonte: Adaptada de MORAES (2015).

Como mostrado na Tabela 8 o sistema solar tem um custo de instalação mais alto do que o sistema elétrico de aquecimento, mas a redução na conta de luz após determinado tempo de uso compensa o investimento para locais que tenham gasto com aquecedores elétricos e gera benefícios para o usuário, cerca de 50 % de economia anual, após o primeiro ano.

8. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A busca por soluções para o uso consciente de energia elétrica e medidas que reduzam os custos com o consumo, se torna cada vez mais crescente devido ao aumento constante da demanda de energia elétrica e a dependência da mesma, há uma necessidade de se investir em novos tipos de geração de energia, de maneira que contribua com a redução dos impactos ambientais e socioeconômicos.

No município de Areia Branca-RN, local onde o estudo foi realizado, constatou-se que há ótimas condições para a instalação de um sistema de geração solar fotovoltaica, podendo gerar quantidade considerável de energia elétrica durante o ano. Escolheu-se então um consumidor comercial para o estudo, mais especificamente um mercado público, que tem como característica, sua maior parte de funcionamento ser pela manhã, que são os momentos de maior radiação solar, fazendo dos painéis fotovoltaicos, uma opção bastante interessante, uma vez que a geração de energia solar se dá justamente nos períodos de maior consumo deste estabelecimento.

O sistema fotovoltaico usado no estudo foi o conectado à rede elétrica, portanto não terá problema nos períodos de nebulosidades e chuvosos. No estudo realizado, para estimar os valores de energia elétrica, foram consideradas as condições ideais de geração, e orientação igual ao norte geográfico. Como se utilizou os dados do programa Radiasol, todas estas premissas foram utilizadas. Foram analisados faturas de energia elétrica de um período de um ano, a fim de tornar os resultados mais fidedignos e condizentes com a realidade do consumidor.

O tempo de retorno necessário foi de 10 anos, considerando no investimento total, os gastos com a manutenção do sistema, custos de instalação, e valor dos equipamentos. Tornando o resultado próximo da condição real de aplicação. Para a análise da viabilidade , foi considerado o fator que poderia interferir na energia captada pelos

painéis fotovoltaicos, como: Construções próximas que pudessem causar sombreamento. Para o projeto fotovoltaico concluiu-se que Areia Branca tem ótimo potencial de geração de energia solar, quando comparada a outras regiões no mundo que fazem bom aproveitamento dessa energia. Acredita-se que a utilização de geração fotovoltaica seja viável economicamente, levando em consideração que a economia anual no total utilizando o sistema é de R\$ 62235,28. A condição de viabilidade pode variar dependendo do consumidor, principalmente no que diz respeito ao tempo de investimento, pois cada consumidor poderá exigir diferentes prazos para recuperar o capital investido.

A escolha do estudo de um projeto de aquecimento solar para o aprimoramento do trabalho, se deu pela busca de analisar os custos para aplicação do sistema, pois apesar de Areia Branca ser de clima tropical, e não ter o hábito do uso de aquecimento de água para o caráter doméstico, seria uma medida de boa condição higiênica para o mercado, levando em consideração que o local tem manuseamento de alimentos. As bactérias se reproduzem com maior facilidade em temperaturas entre 15° C e 70° C. Ou seja, a temperatura ambiente e as temperaturas dos alimentos frios ou mornos são ideais para que elas se multipliquem. Os coletores fechados planos são capazes de atingir temperaturas superiores a 80° C, o que mostra grande vantagem na aplicação do sistema.

Assim como o projeto fotovoltaico a escolha do local estudado se deu pelo fato do potencial solarimétrico. Fazendo uma breve comparação com um sistema de aquecimento elétrico foi possível estimar a compensação para o consumidor, pois o investimento gera benefícios para o usuário, cerca de 50 % de economia anual, após o primeiro ano. Entretanto, o padrão de consumo varia em cada local, de acordo com as condições climáticas e hábitos da população, dentre outros fatores.

REFERÊNCIAS

- ABRAVA – Associação Brasileira de Refrigeração, Ar Condicionado, Ventilação e Aquecimento. Departamento Nacional de Aquecimento Solar (2008). Manual de Capacitação em Projetos de Sistemas de Aquecimento Solar, 138 p.
- ALVES, J. Estudos foto físicos e fotovoltaicos de sistemas polímero-fulereno e nanopartículas de CdSe. Dissertação de Mestrado apresentada ao Instituto de Química da Universidade Estadual de Campinas. Campinas. 2011. 48 f.
- AMBIENTE BRASIL, 2005. Disponível em <
<http://www.ambientebrasil.com.br>>. Acessado em: 10/02/2017
- ANEEL, 2007. Agência Nacional de Energia Elétrica. Disponível em <
[http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/atlas/pdf/03-Energia_Solar\(3\).pdf](http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/atlas/pdf/03-Energia_Solar(3).pdf)>. Acessado em: 10/02/2017.
- BEZERRA, A. M. Artigos diversos. 2001. Disponível em: . Acesso em: 29 abril. 2017
- CABRAL, Cláudia Valéria Távora et al. Análise de dimensionamento estocástico e determinístico de sistemas fotovoltaicos isolados. 2006.
- CARVALHO, CLÁZIA RAMAYANA FREITAS DE. Sistema fotovoltaico isolado: uma aplicação prática no projeto xapuri. 2013.
- CEMIG, COMPANHIA ENERGÉTICA DE MINAS GERAIS. Atlas Solarimétrico de Minas Gerais. **Belo Horizonte: Cemig**, 2012.
- CEPEL – CENTRO DE PESQUISAS DE ENERGIA ELÉTRICA; CRESESB – CENTRO DE REFERÊNCIA PARA ENERGIA SOLAR E EÓLICA SÉRGIO BRITO. Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos. Rio de Janeiro, RJ: Especial 2014.
- COORD. TIBA. **Atlas Solarimétrico do Brasil: banco de dados terrestres**. UFPE, 2001.
- COPETTI, J.; MACAGNAN, M. Baterias em sistemas solares fotovoltaicos. Abens – Associação Brasileira de Energia Solar. Fortaleza, 11, abr. 2007.10f.
- CRESESB - Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito Disponível em . Acessado em: 09/02/2017.
- DIENSTMANN, Gustavo. Energia solar: uma comparação de tecnologias. 2009.
- EBERHARDT, D. Desenvolvimento de um Sistema Completo para Caracterização de Células Solares. Dissertação de Mestrado apresentada à Escola de Engenharia da Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. 2005. 104 f.
- EIA. World Energy Consumption, Independent Statistics and Analysis. Washington: EIA, U.S. Energy Information Administration, 2014. Disponível em: <http://www.eia.gov/analysis/> Acesso: 28/04/2017.
- EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (BRASIL). Balanço Energético Nacional 2017: Ano base 2015. Rio de Janeiro: EPE, 2016.<

https://ben.epe.gov.br/downloads/S%C3%ADntese%20do%20Relat%C3%B3rio%20Final_2016Web.pdf> . Acesso em: 24 Abril. 2017.

FIERN - FEDERAÇÃO DAS INDÚSTRIAS DO RIO GRANDE DO NORTE. O Plano de Desenvolvimento Econômico e Promoção de Investimentos do Rio Grande do Norte 2016. Disponível em : <http://sindeconrn.org/sindcontrn/economia/page/2/> . Acesso em: 10 Maio. 2017 .

FIRJAN, SIMTEMA. Federação das Indústrias do Estado do Rio de Janeiro. Perspectivas estruturais do mercado de trabalho na indústria brasileira–2015. Disponível em:< <http://www.firjan.org.br/lumis/portal/file/fileDownload.jsp>, 2008.

FRAIDENRAICH, N.,Lyra,F.,Energia solar: Fundamentos e Tecnologia de conversão heliotérmica e fotovoltaica, Ed.Universitária, Recife,1995.

GNOATTO, Estoret al. Desempenho de painel fotovoltaico de um sistema isolado. Proceedingsofthe 5th Encontro de Energia no Meio Rural, 2004.

GORE, A. Nossa escolha: um plano para solucionar a crise climática. Our choice: a plan to solve the climate crisis. Barueri, SP: Manole, 2010.

GREENPRO, Altener Programa Comunitário. Energia Fotovoltaica-Manual sobre tecnologias, projecto e instalação. **Europa: Comissão Europeia**, 2004.

IEEE - INSTITUTO DE ENGENHEIROS ELETRICISTAS E ELETRÔNICOS. Energia solar fotovoltaica de terceira geração. 2014. Disponível em :< <http://www.ieee.org.br/wpcontent/uploads/2014/05/energia-solar-fotovoltaica-terceira-geracao.pdf>>. Acesso em: 29 abr. 2017.

IMHOFF, J. Desenvolvimento de Conversores Estáticos para Sistemas Fotovoltaicos Autônomos. Dissertação de Mestrado apresentada à Escola de Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria. 2007. 146 f.

MACHADO, C.; MIRANDA, F. Energia Solar Fotovoltaica: Uma breve revisão. Revista virtual de química. Niterói, RJ, vol. 7, n. 1, p. 126-143, 14, out. 2014.

MESSENGER, R.; VENTRE, J. Photovoltaic Systems Engineering. Boca Raton: CRC Press, 2010.

MÍNGUEZ, Agustín. **Medidores de energia ativa: funcionamento, práticas usuais, principais ensaios e análise das fraudes mais comuns**. 2007. Tese de Doutorado. UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA (BRASIL). Estudo e propostas de utilização de geração fotovoltaica conectada à rede, em particular em edificações urbanas. Brasília: MME, 2009

MORAES, Marcio. Aquecimento de água: elétrico, a gás ou termossolar?. 2015. Disponível em : <<http://casa.abril.com.br/materiais-construcao/aquecimento-de-agua-eletrico-a-gas-ou-termossolar/>> . Acesso em: 10 Maio. 2017 .

NASCIMENTO, C. Princípio de Funcionamento da Célula Fotovoltaica. Dissertação de Mestrado apresentada à Escola de Engenharia da Universidade Federal de Lavras, Lavras. 2004. 23 f.

PEREIRA, F.; OLIVEIRA, M. Curso técnico instalador de energia solar fotovoltaica. Porto: Publindústria, 2011.

PINHO, João Tavares; GALDINO, Marco A. Manual de engenharia para sistemas fotovoltaicos. **Rio de Janeiro: Cepel-Cresesb**, 2014.

SEVERINO, M.& OLIVEIRA, M. Fontes e Tecnologias de Geração Distribuída para Atendimento a Comunidades Isoladas. Energia, Economia, Rotas Tecnológicas: textos selecionados, Palmas, ano 1, p. 265-322, 2010.

SHAYANI, Rafael Amaral; OLIVEIRA, Marco Aurélio Gonçalves de; CAMARGO, Ivan Marques de Toledo. Comparação do custo entre energia solar fotovoltaica e fontes convencionais. In: **Congresso Brasileiro de Planejamento Energético (V CBPE). Brasília**. 2006.

SILVEIRA, Vinícios; DE PAULA ARAGÃO, Thiago Ricielli. Viabilidade financeira de instalação de uma unidade de beneficiamento de cascas de coco verde. Revista iPecege, v. 2, n. 3, p. 72-85, 2016.

SILVESTRI, Alessandro Frederico; TAKASAKI, Vinícius Garcia. **Estudo de viabilidade para implantação de geração fotovoltaica em shopping centers na região de Curitiba**. 2014. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

SOLARGIS. Online Data and Tools for Solar Energy Projects. Bratislava: GeoModel Solar, 2013. Disponível em: <http://solargis.info/> Acesso: 28/04/2017.

TEIXEIRA, Alexandre Almeida; CARVALHO, Matheus Costa; DE MELO LEITE, Leonardo Henrique. ANÁLISE DE VIABILIDADE PARA A IMPLANTAÇÃO DO SISTEMA DE ENERGIA SOLAR RESIDENCIAL. **e-xacta**, v. 4, n. 3, 2012.

VILLALVA, M. G.; GAZOLI, J. R. Energia solar fotovoltaica: conceitos e aplicações. São Paulo: Érica, 2012.

ZILLES, Roberto et al. **Sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica**. Oficina de Textos, 2016.

WANDERLEY, A. C. F.; CAMPOS, A. L. P. S. Perspectivas de inserção da energia solar fotovoltaica na geração de energia elétrica no rio grande do norte/prospects for integration of photovoltaic solar energy in electricity generation in rio grande do norte state. **HOLOS**, v. 29, n. 3, p. 3, 2013.

