



CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA



Universidade Federal
de Campina Grande

YURI NÓBREGA DE MEDEIROS

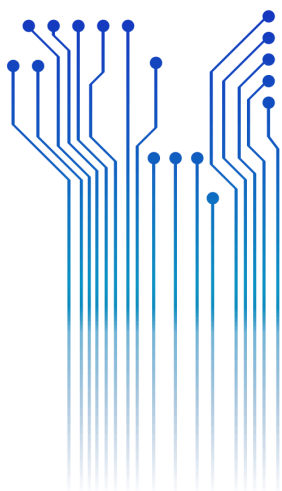


Centro de Engenharia
Elétrica e Informática

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO
ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA: PROJETO E IMPLEMENTAÇÃO.
ESTUDO DE CASO DE UM SUPERMERCADO.



Departamento de
Engenharia Elétrica



Campina Grande
2018

YURI NÓBREGA DE MEDEIROS

ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA: PROJETO E IMPLEMENTAÇÃO.
ESTUDO DE CASO DE UM SUPERMERCADO.

*Trabalho de Conclusão de Curso submetido à
Coordenação do Curso de Engenharia Elétrica
da Universidade Federal de Campina Grande
como parte dos requisitos necessários para a
obtenção do grau de Bacharel Engenharia
Elétrica.*

Área de Concentração: Energias Renováveis

Orientador:

Professor Leimar de Oliveira, M. Sc.

Campina Grande
2018

YURI NÓBREGA DE MEDEIROS

ENERGIA SOLAR: PROJETO DE PLACAS FOTOVOLTAICAS PARA SUPERMERCADO
LOCALIZADO EM EQUADOR-RN.

*Trabalho de Conclusão de Curso submetido à
Coordenação do Curso de Engenharia Elétrica
da Universidade Federal de Campina Grande
como parte dos requisitos necessários para a
obtenção do grau de Bacharel em Engenharia
Elétrica.*

Área de Concentração: Energias Renováveis

Aprovado em / /

Luís Reyes Rosales Montero
Universidade Federal de Campina Grande
Avaliador

Professor Leimar de Oliveira, M. Sc.
Universidade Federal de Campina Grande
Orientador, UFCG

Dedico este trabalho a Deus, o amparo espiritual que sempre me foi permitido, mais uma vez apareceu nos momentos em que precisei. Dedico também aos meus pais, meus heróis e maiores exemplos, que durante toda a minha graduação me depositaram imensa confiança.

RESUMO

AGRADECIMENTOS

Agradeço, especialmente, ao professor **Leimar de Oliveira** por aceitar o convite de me orientar neste trabalho. Obrigado por toda ajuda e incentivo para a realização dessa pesquisa.

Agradeço à minha família, meus pais **Marcos Afonso e Lúcia de Fátima** e minha irmã **Ilana Nóbrega**, que sempre me deram todo o amor, além de me proporcionarem a melhor educação. Pelo apoio nas minhas decisões e por acreditarem em mim nessa jornada.

Agradeço à minha namorada **Mayara Priscylla** por todo carinho e paciência nesta jornada. Obrigado por enfrentar todas as dificuldades desta jornada ao meu lado e por sonhar junto comigo.

Agradeço aos meus **familiares e amigos**, dos quais cito Arthur Nóbrega, Geraldo Júnior e Vítor Medeiros e demais, por sempre me apoiarem e encontrarem alguma maneira de me ajudar. Nesse momento, eu lembro com carinho de todos aqueles que torcem por mim. Muito obrigado.

Aos meus **amigos e colegas** de curso, em especial aos mais próximos, desde os que iniciaram comigo, dos quais cito **Felipe Fernandes, Pablo Fabrício e Stênio Wilber**, aos que conheci no decorrer da vida acadêmica, como **Francisco Maerle, Phablo Vinícius** e demais do grupo do quiosque, aos meus amigos de intercâmbio, **Felipe Mascarenhas, Felipe Padula, Daniel Alves, Diana Tosato** e os demais, no qual tive a oportunidade de conviver durante a graduação. Foram fundamentais para alegrar todo o período de faculdade.

A todos os **professores** que tive a honra de adquirir um pouco de conhecimento ao longo da minha vida. Assim como à coordenação do curso, nas pessoas de Adail Paz e Tchaikowsky Oliveira, pelo apoio.

A todas as pessoas que, de forma direta ou indireta, contribuíram para a realização desse trabalho e pela minha formação acadêmica.

RESUMO

A análise de implantação de um sistema fotovoltaico em um supermercado permite que haja uma resposta estimulante sobre a utilização de captação de energia elétrica por outros meios, e por meios renováveis, o que indiretamente beneficia economicamente aquele que adere ao uso, e ao meio ambiente que não é poluído por está sendo usada uma energia renovável. Para tal pesquisa, um estudo de caso foi resolvido para concluir a viabilidade de implantação. Foi preconcebido sobre o que é a energia solar, como é desenvolvida no Brasil, e definiram-se os componentes de um sistema fotovoltaico. O trabalho em estudo aborda o dimensionamento de um sistema solar aplicado no telhado do Supermercado Irmãos Cantalice, localizado na cidade de Equador, Rio Grande do Norte. O projeto consiste em um sistema fotovoltaico conectado à rede constituído de 340 painéis de 325 W_p conectados a 02 inversores TRIO-50.0-TL-OUTD-US 50 kW. Foi realizado um orçamento com cotação de preço do mercado brasileiro com o propósito de analisar a viabilidade econômica do investimento inicial. O mesmo apresentou um *Payback* de 05 anos, tornando-o um sistema viável para o consumo energético.

Palavras-chave: Sistema Fotovoltaico, Energia Renovável, *Payback*.

ABSTRACT

The analysis of introduction of a photovoltaic system in a supermarket, allows that there is a stimulating answer on the use of captivation of electric energy for other ways, and for renewable ways, which indirectly benefits economically him who joins to the use, and to the environment that is not polluted, and a renewable energy used. For such an inquiry, a case study was resolved to end the viability of introduction, was contextualized what is the solar energy, as it is developed in Brazil, and defined them component of a photovoltaic system. This study deals with the design of a solar system applied on the roof of Irmãos Cantalice Supermarket, located in the city of Equador, Rio Grande do Norte. The project consists of a grid-connected photovoltaic system consisting of 340 panels of 325 WP connected to 02 inverters TRIO-50.0-TL-OUTD-US 50 kW. A budget with price quotation of the Brazilian market was carried out with the purpose of analyzing the economic viability of the initial investment. The same presented a *Payback* of 05 years, becoming a viable system for the energy consumption.

Keywords: Photovoltaic System, Renewable Energy, Payback.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1- Radiação solar no Brasil	15
Figura 2 - Mapa com países de maior insolação	18
Gráfico 1 – Dez países que consomem energia solar	18
Figura 3 – Modelo de placa fotovoltaica	20
Gráfico 2 – Corrente x Voltagem durante variação da radiação solar	21
Gráfico 3 – Corrente x Voltagem durante variação de temperatura	21
Figura 4 – Sistema Isolado	22
Figura 5 – Sistema Híbrido	23
Figura 6 – Sistema Conectado à Rede	23
Figura 7 – Módulo Fotovoltaico	25
Figura 8 – Circuito do controlador	27
Figura 9 – Inversor.....	28
Figura 10 – Supermercado Irmãos Cantalice- Equador RN.....	29
Gráfico 4 – Representação do orçamento do projeto.....	37

LISTA DE TABELAS/ QUADROS

Tabela 1- Principais tipos de células fotovoltaicas.....	24
Tabela 2- Modelos de baterias.....	26
Quadro 1- Radiação solar incidente diária média mensal em Equador, RN.....	30
Quadro 2- Energia consumida durante o ano de 2017.....	31
Quadro 3- Especificações dos Módulos utilizados.....	33
Quadro 4- Características do inversor escolhido.....	34
Tabela 3- Orçamento do projeto em estudo.....	38
Quadro 5- Valores economizados anualmente e Payback considerando um aumento de 5% ao ano na tarifa.....	40

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

A	Ampère
Am	Área Útil do Módulo
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
CA	Corrente Alternada
CC	Corrente Contínua
CRESESB	Centro de Referência para Energia Solar Eólica Sérgio Brito
Ed ou E	Consumo Médio Diário
Em	Consumo Médio Mensal
GW	Giga Watt
HSP	Hora Solar Plena
Ic	Potência Luminosa Incidente
Idc,max	Corrente Máxima de Entrada do Inversor
Imp	Corrente de Máxima Potência
Inv	Investimento Inicial
Isc	Corrente de Curto Circuito
kA	Quilo Ampère
kV	Quilo Volt
kWh	Quilo Watt Hora
m	Metros
MIGDI	Microsistema Isolado de Geração de Energia Elétrica
mm ²	Milímetros Quadrados
MME	Ministério de Minas e Energia
MW	Mega-Watt
MWp	Mega Watt-pico
Npv	Número de Placas Fotovoltaicas
Nsmáx	Número Máximo de Módulos em Série
Nsmín	Número Mínimo de Módulos em Série
Nstring	Quantidade de strings em paralelo
Ppv	Potência de Pico de Painel Fotovoltaico
Pinv	Potência do Inversor Escolhido
Pmáx	Máxima Potência
RN	Rio Grande do Norte

SUDENE	Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste
SFCR	Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede
TD	Taxa de Desempenho
und	Unidade
V	Volts
$V_{m\acute{a}x,inv}$	Tensão Máxima de Entrada do Inversor
$V_{m\acute{i}n,inv}$	Tensão Mínima de Entrada do Inversor
V_{mp}	Tensão de Máxima Potência
V_{oc}	Tensão de Circuito Aberto
W	Watt
Wh	Watt-Hora
Wp	Watt-Pico

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	13
1.1. Objetivos	14
1.2. Estrutura do trabalho	14
2. ENERGIA SOLAR	15
2.1 Energia Solar no Brasil	15
2.2 Aspectos Gerais sobre Energia Solar	17
3. ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA E SUA TECNOLOGIA	20
4. COMPONENTES DE UM SISTEMA FOTOVOLTAICO	24
4.1 Módulos Fotovoltaicos	24
4.2 Bateria	25
4.3 Controladores de Carga	26
4.4 Inversores	27
5. PROJETO DE UM SISTEMA FOTOVOLTAICO PARA SUPERMERCADO IRMÃOS CANTALICE	29
5.1 Levantamento adequado do Recurso Solar	29
5.1.1 Horas de Sol Pleno	30
5.2 Escolha do local de implantação do Sistema	31
5.3 Dimensionamento dos Painéis Fotovoltaicos	32
5.4 Dimensionamento do Inversor	33
5.5 Dimensionamento do Arranjo Fotovoltaico	34
5.5.1 Quantidade de Strings	35
5.5.2 Quantidade de Módulos	35
5.6 Dimensionamento dos Condutores	36
5.7 Análise Financeira	37
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS	41
6.1 Sugestões para trabalhos futuros	41
REFERÊNCIAS	42

1 INTRODUÇÃO

A energia que chega para ascender a luz das casas, cidades, a energia elétrica em si, pode ser gerada de diversas formas. Mesmo que a forma de geração por hidrelétricas (70% da matriz energética brasileira)¹ seja a mais utilizada ainda, há outros meios renováveis de gerar eletricidade, e uma delas é a energia solar.

A economia que tais energias renováveis trazem é o que ativa o mercado a ir atrás de novos meios de captação de energia. O Brasil é um dos países mais favoráveis para um dos tipos de energia renovável que mais se desenvolve no mundo, que é a energia solar, hoje no país se encontra um dos maiores parques de energia solar da América Latina, situado no Piauí. Porém, o país ainda não faz parte do ranking dos que mais usufruem dessa energia, mesmo assim há diretrizes e leis que favorecem aqueles que se interessa por usá-la, criadas a fim estimular novos usuários.

Energias solares, térmica e fotovoltaica, são os dois modelos de energia solar que são mais usados. A energia solar térmica usa um sistema de placas coletoras de incidência solar, que ao absorverem a radiação, esquentam um fluido, que circulando em um reservatório, trocará calor com a água e aquecerá, mantendo temperatura até o uso; já a energia solar fotovoltaica, utiliza-se de um efeito fotovoltaico, que a própria incidência de luz solar sob uma placa semicondutora já gera energia elétrica (DUSOL, 2015).

O intuito deste projeto foi de analisar a relação custo x benefício da implantação de um sistema fotovoltaico em um Supermercado, localizado na cidade de Equador-RN, de forma que atenda a 100% do consumo médio. Como esperado, um bom dimensionamento do sistema, levando em consideração fatores externos como: Temperatura, Variação de consumo energético- fornece um retorno do investimento inicial.

¹ Disponível em: < <http://engenheirocaicara.com/as-diferentes-formas-de-geracao-de-energia/>>.

1.1 OBJETIVOS

O presente trabalho tem por finalidade analisar a implantação de um sistema fotovoltaico localizado em um Supermercado localizado na cidade de Equador-RN, com o intuito de dimensioná-lo para que o projeto atenda cerca de 100% do consumo médio energético. Ademais, será mostrada uma relação entre a economia x retorno, através do método do *Payback*, com a troca de usar a energia elétrica convencional pela solar fotovoltaico.

1.2 ESTRUTURA DO TRABALHO

Este trabalho apresenta a seguinte distribuição. O Capítulo 1 é introdutório, contextualizando o tema em estudo, define os objetivos e apresenta a estrutura do trabalho.

O Capítulo 2 apresenta os fundamentos teóricos, descrevendo os principais aspectos sobre o tema abordado.

O Capítulo 3 conceitua o assunto em estudo propriamente dito, bem como as suas tecnologias.

O Capítulo 4 complementa a descrição do Capítulo 3, conceituando cada componente que compõe o estudo do sistema fotovoltaico.

O Capítulo 5 é o trabalho propriamente dito, onde todo o desenvolvimento e dimensionamento da implantação de um sistema fotovoltaico foi realizado.

Por fim, o Capítulo 6 é conclusivo e destaca as principais considerações finais sobre o tema abordado.

2 ENERGIA SOLAR

2.1 ENERGIA SOLAR NO BRASIL

O Brasil é um país que deveria possuir avanço no uso dessa fonte renovável, uma vez que é um dos que mais recebe radiação solar durante todo o ano, como é mostrado na Figura 1. Mas, não é bem isso que se percebe, atualmente a fonte de energia mais utilizada continua sendo a hidrelétrica, porém há compromissos firmados que levarão o Brasil a fazer parte dos 20 países com geração solar (BRASIL - MME,

Figura 1 - Radiação solar no Brasil



2016).

Fonte: ANDRADE, 2018.

Em 2024, está estimado que o Brasil fique no ranking dos 20 países que usufruem dessa fonte renovável de energia elétrica, pelo Plano Decenal de Expansão e de Energia (PDE 2024), o qual já afere em quanto chegara a geração solar, que é de 8300 MW (BRASIL – MME, 2016). Porém, atualmente já existem incentivos² para quem optar pelo uso da energia solar, os quais são listados abaixo (SILVA, 2015):

a. Instalação de painéis solares, através do programa Luz para Todos, para as comunidades que não tem energia, e ainda condições para revisão dos serviços de distribuição de energia na área rural (ANEEL Resolução nº 488/2012), e também

² Para alguns itens existem observações que são feitas nas notas de rodapé do documento citado.

procedimentos e condições de fornecimento por meio de Microssistema Isolado de Geração e Distribuição de Energia Elétrica (MIGDI) ou Sistema de Geração de Energia Elétrica com Fonte Intermitente (SIGFI);

b. Descontos nas Tarifas de Transmissão e Distribuição, 80% para empreendimentos com potencia de transmissão ou distribuição menor ou igual a 30000 kW; e a partir do 11º ano de operação da usina solar e empreendimentos que começaram a operar a partir do 1º de janeiro de 2018, 50% de desconto;

c. Vendas diretas a consumidores, com carga entre 500 kW e 3000 kW, para geradores de energia de fonte solar e outras alternativas renováveis, inferior a 50000 kW. Os consumidores especiais também participam do desconto, quando adquirida energia;

d. Net Metering, os consumidores só pagam as distribuidoras o diferencial do consumido e o injetado, uma vez que estejam dentro do que foi estabelecido pela Resolução Normativa nº 488 da ANEEL;

e. Isenção do Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços (ICMS), para as operações dos equipamentos geradores de energia elétrica fotovoltaica e por empreendimentos eólicos, porém não abrange os equipamentos de medição e inversão de energia;

f. Suspensão da Contribuição para o Programa de Integração Social e de Formação do Patrimônio do Servidor Público, e da Contribuição para o Financiamento da Seguridade Social, quando houver venda ou importação de materiais e serviços destinados a infraestrutura das usinas geradoras de energia solar, porém o projeto deve ser aprovado pelo MME e só tem benefício válido por 5 anos, contando da habilitação do titular do projeto;

g. Imposto de Renda de pessoa física, isentos, relacionados à emissão de debentures por sociedade de propósito específico, e outros títulos voltados para captação de recursos para projeto de investimento em infraestrutura ou pesquisa de desenvolvimento, que se destinem a geração de energia elétrica por fonte solar ou outros;

h. PIS/PASEP e CONFINS reduzidos a zero, por venda interna ou importação de máquinas, instrumentos, equipamentos para incorporação ao ativo imobilizado, e da contribuição de intervenção no domínio econômico incidente nas remessas destinadas ao exterior para pagamento de contratos; os impostos sobre Produtos Industrializados e Imposto de Renda, também podem ter alíquotas reduzidas a zero;

i. Bens de informática e de automação, recebem isenções tributárias;

j. Para projetos da Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste (SUDENE), da Superintendência do Desenvolvimento da Amazônia (SUDAM) e da Superintendência do Desenvolvimento do Centro-Oeste (SUDECO), possuem redução de imposto de renda (Decreto 4212, 26 de abril de 2012);

k. Condições diferenciadas de financiamento:

- i. *Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social, para fontes alternativas e as tradicionais de geração de energia, com taxa de juros menores que as fornecidas pelo mercado e prazo de amortização de até 20 anos; e, condições especiais para a energia solar, para o Leilão de Energia de Reserva de 2014;*
- ii. *Apoio a Projetos de Eficiência Energética, financia intervenções que comprovadamente contribuam para a economia de energia, aumentem a eficiência global do sistema energético ou promova, a substituição de combustíveis de origem fóssil por fontes renováveis;*
- iii. *Fundo Clima (Lei 12114, 9 de dezembro de 2009), para projetos, estudos e empreendimentos que proporcionem redução dos impactos na mudança do clima, fornecem recursos;*
- iv. *Inova Energia, financia inovações, como também fornecem recursos para soluções tecnológicas relacionadas á geração fotovoltaica ou termossolar, envolve o desenvolvimento de tecnologias para produção de elementos fotovoltaicos;*
- v. *Caixa Econômica Federal, condições favoráveis através do Construcard, e pessoas físicas podem adquirir equipamentos de microgeração e quitá-lo em prazo especial.*

l. Pesquisa e Desenvolvimento:

- i. *Projeto de Pesquisa e Desenvolvimento Estratégico; Laboratório de Energia Fotovoltaica Richard Louis Anderson; Fundo Solar.*

Segundo notícia do jornal G1³, está localizado no Piauí o maior parque solar da América Latina, Parque Solar Nova Olinda, que com 930 mil placas de captação de energia fotovoltaica abastece 300 mil famílias, na cidade de Ribeira do Piauí. A mesma empresa que construiu o Parque Solar Nova Olinda, mantém operações no Brasil, com novas construções e uma delas é no município de Tabocas do Brejo Velho – Bahia (PINHO, 2017).

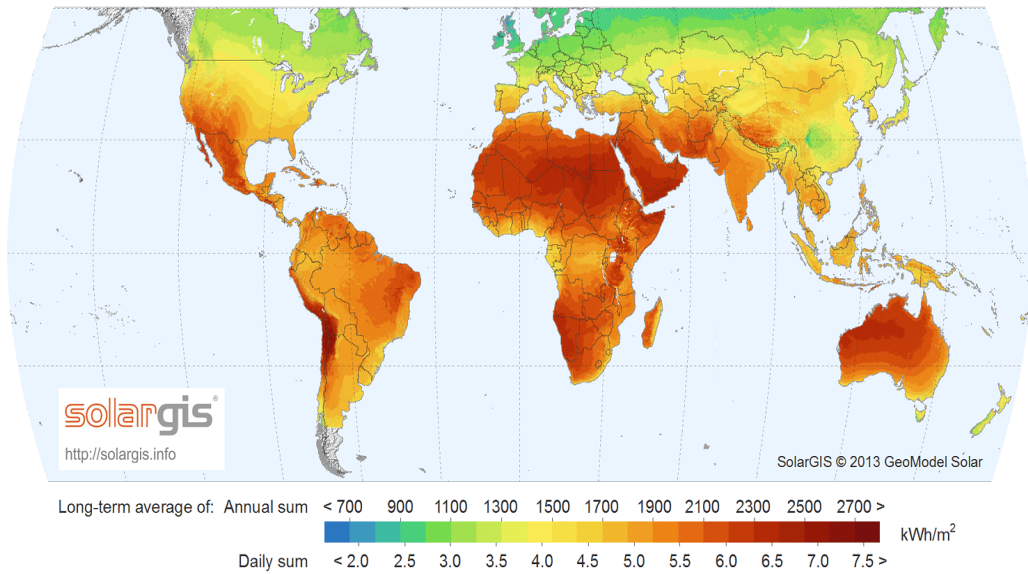
2.2 ASPECTOS GERAIS SOBRE ENERGIA SOLAR

É a energia proveniente dos raios de sol, a energia solar. Uma das mais limpas encontradas hoje, pois é livre da emissão de gás carbônico na sua transformação em eletricidade, o que a torna uma fonte vantajosa socioambiental. É promissora em regiões de grande índice de radiação solar, ou seja, lugares onde recebem continuamente a

³ Disponível em: <<https://g1.globo.com/pi/piaui/noticia/maior-parque-solar-da-america-latina-e-inaugurado-no-piaui.ghtml>>. Acesso em: 22 de fevereiro de 2018.

exposição do Sol por mais horas, como os pontos mais alaranjados e avermelhados, na Figura 2.

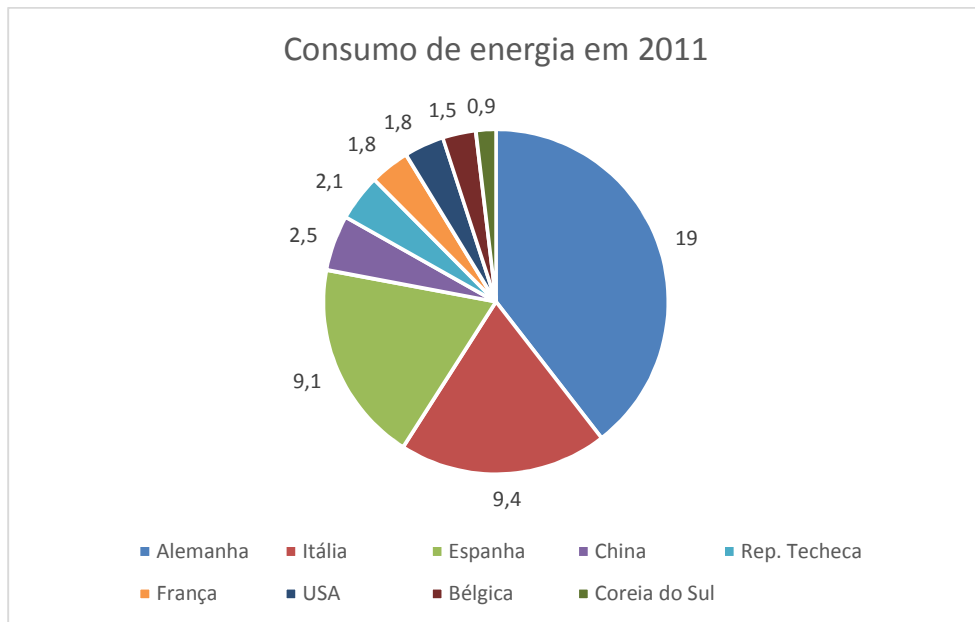
Figura 2 - Mapa com países de maior insolação



Fonte: ANDRADE, 2018.

Mesmo sem incidências fortes de sol, há países que são bem avançados no uso dessa fonte renovável, como: Alemanha, Itália, Espanha, Japão, China, República Tcheca, França, Estados Unidos, Bélgica, Coreia do Sul, segundo Barbosa (2014) são esses países que estão à frente na utilização da energia solar, o Gráfico 1 mostra os seus consumos em 2011.

Gráfico 1 - Dez países que consomem energia solar



Fonte: Elaboração própria

Sendo fonte primária de todas as fontes de energia, a energia solar, dá origem a outras gerações de eletricidade: a hidroeletricidade, que com a evaporação da água

origina o ciclo das águas, também induz a circulação atmosférica - os ventos – gerando a energia eólica, por exemplo (GTES, 2014). Tal energia, a solar, pode ser utilizada de forma direta, de duas formas:

Energia Solar Térmica:

Usa um sistema de placas coletoras de incidência solar, que ao absorverem a radiação, esquentam um fluido, que circulando em um reservatório, trocará calor com a água e aquecerá, mantendo temperatura até o uso (DUSOL, 2015).

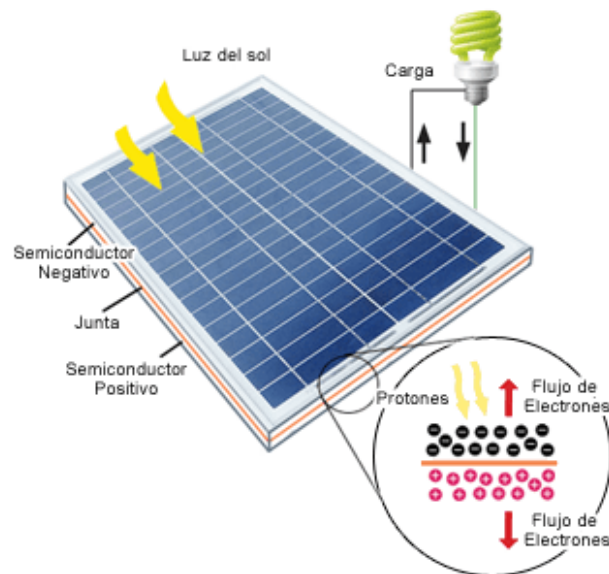
Energia Solar Fotovoltaica:

Utiliza-se de um efeito fotovoltaico, que a própria incidência de luz solar sob uma placa semicondutora já gera energia elétrica (DUSOL, 2015).

3 ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA E SUA TECNOLOGIA

A energia fotovoltaica é gerada pelo efeito fotovoltaico, descoberto em 1839 pelo francês Alexandre Edmond Becquerel. Tal efeito é explicado assim, os fótons (pacotes de energia) que compõem a energia solar, são absorvidos ou refletidos pelas células fotovoltaicas, geralmente feitas de material semicondutor, tipo o silício, que os transportam até um campo elétrico, que ficam disponíveis para uso em forma de corrente contínua, Figura 3. A energia formada passa por um inversor que ajusta a corrente contínua em uma que frequência adequada, igual a da rede elétrica, a qual conectada à rede doméstica está pronta para uso.

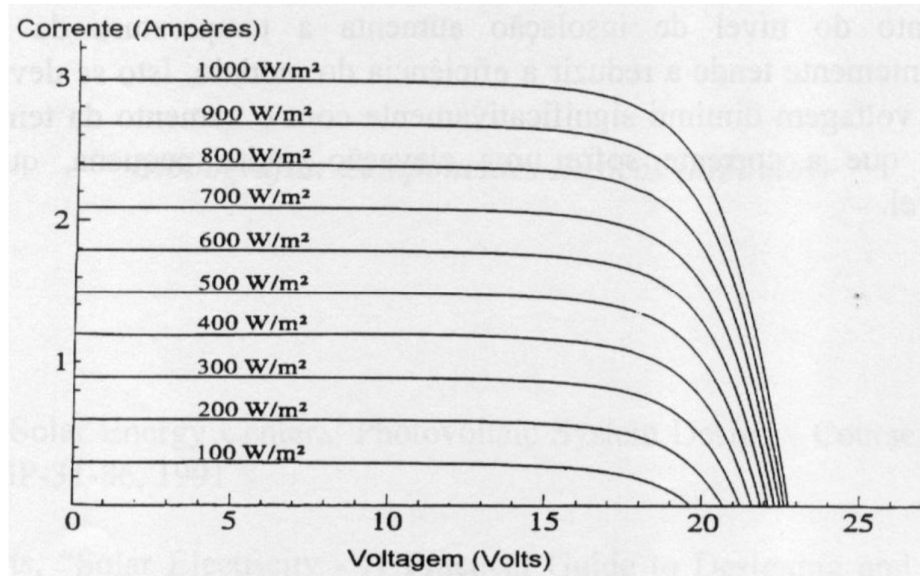
Figura 3 - Modelo de placa fotovoltaica



Fonte: SUSTENTABILIDADE, 2016.

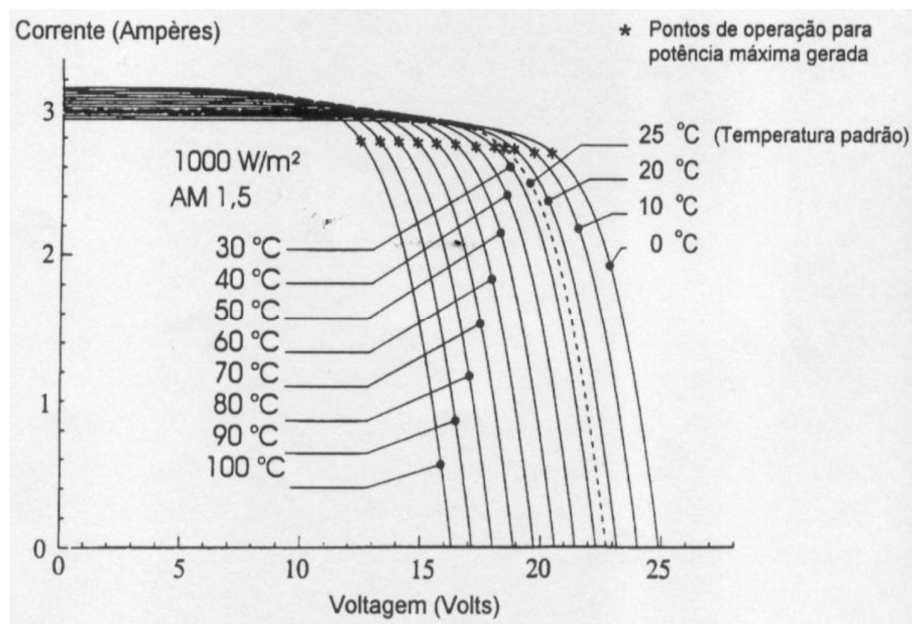
O que irá influenciar diretamente no desempenho de um módulo fotovoltaico, será a intensidade da radiação solar e a temperatura de operação. A intensidade da radiação solar é dependente do tempo, céu claro, nublado, esses estados climáticos irão interferir na eficiência do módulo fotovoltaico, e a temperatura de operação sofre variação quando, também, a radiação solar e a temperatura ambiente mudam (FADIGAS, 2012). Os Gráficos 2 e 3, analisam o efeito quando há variação na intensidade da radiação solar e temperatura de operação.

Gráfico 2 - Corrente x Voltagem durante variação da radiação solar



Fonte: FADIGAS, 2012.

Gráfico 3 - Corrente x Voltagem durante variação de temperatura



Fonte: FADIGAS, 2012.

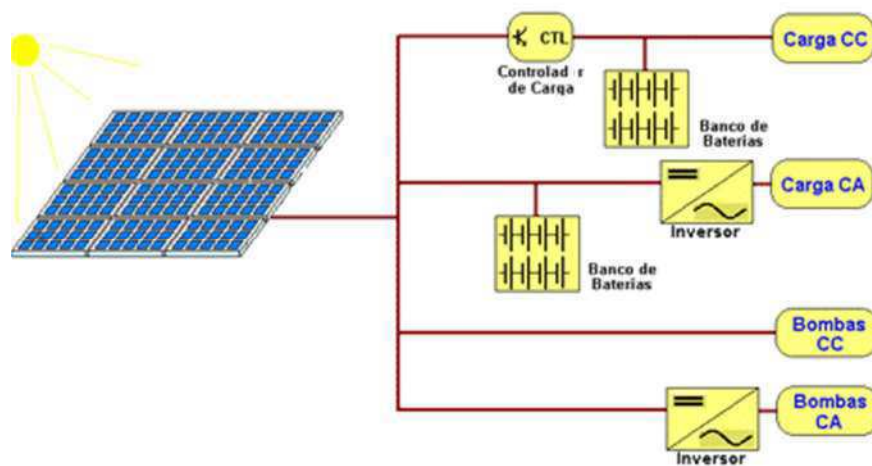
Para melhor controlar o uso da energia solar de forma “doméstica”, é importante conectar as células em série-paralelo, e também atentar-se a alguns fatores, como o fato de considerar um armazenamento da energia capturada pelo sol, para que se possa usar em dias e horas que não o haja, assim tendo a necessidade de adicionar ao sistema uma bateria. E também, para melhor aproveitá-las usar um controlador de carga, para que não ocorra a sobre descarga ou sobrecarga na bateria. Ainda, em casos de não produzir energia suficiente considerar uma adição de um sistema de backup, que trabalha como um gerador. Há uma possibilidade da energia solar, excedida, ser vendida para rede elétrica, mas, quando o sistema solar é conectado com a rede elétrica (VARELLA,

2009).

Esses fatores especiais que são ligados ao sistema solar, existem, pois, há três tipos de sistema fotovoltaico: isolados, híbridos e conectados à rede.

- **Isolados:** utilizados quando há armazenamento de energia, podendo ser guardada em baterias, e empregados controladores de carga para não haver problemas com altas e baixas cargas, para quando a corrente é contínua, para correntes alternadas utiliza-se um inversor. Ou na forma de energia gravitacional (Figura 4). Mas nem todo sistema isolado precisa de guardar energia (CRESESB, 2008);

Figura 4 - Sistema Isolado



Fonte: (CRESESB, 2008).

- **Híbridos:** utilização de várias formas de geração de energia (Figura 5). Esses são destinados a sistemas de médio/grande porte (CRESESB, 2008);

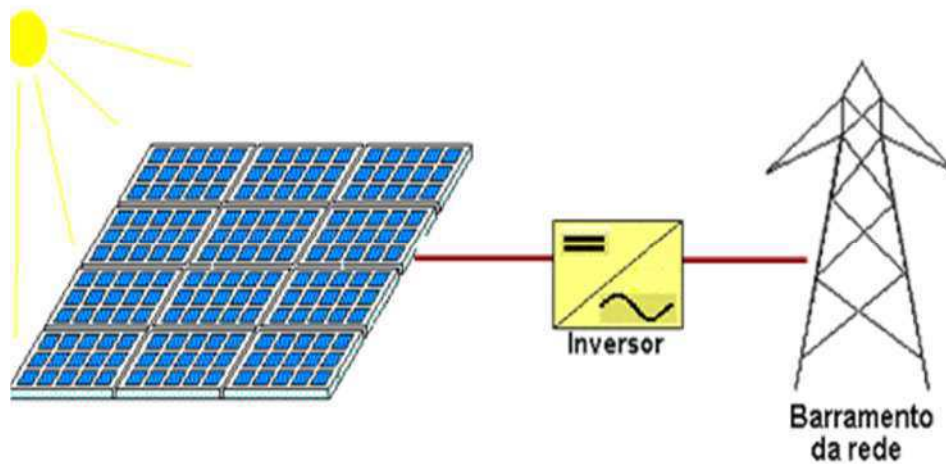
Figura 5 - Sistema Híbrido



Fonte: (CRESESB, 2008).

- **Conectados à rede:** sem utilizar armazenamento de energia (Figura 6). Possuem grande número de painéis fotovoltaicos, todos conectados a inversores e ligados a rede de abastecimento de energia (CRESESB, 2008).

Figura 6 - Sistema Conectado à Rede



Fonte: (CRESESB, 2008).

4 COMPONENTES DE UM SISTEMA FOTOVOLTAICO

4.1 MÓDULOS FOTOVOLTAICOS

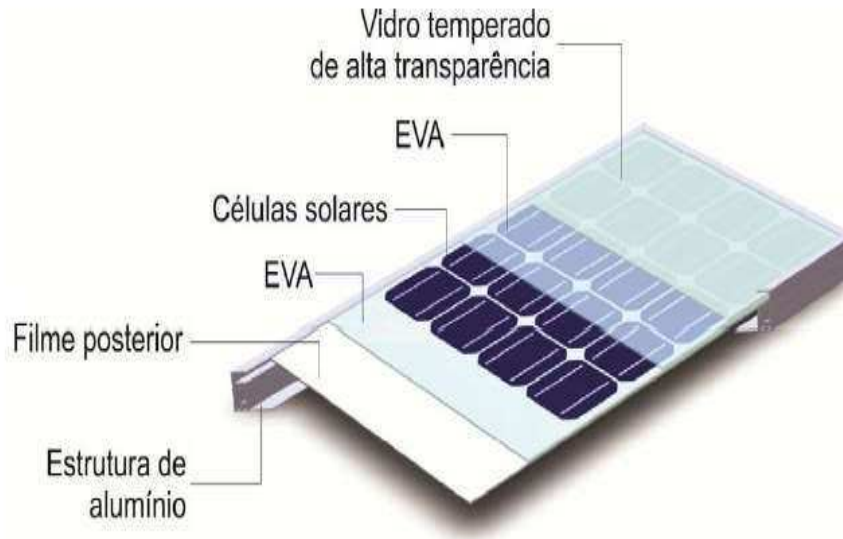
Os módulos são formados por células fotovoltaicas, algumas principais são apresentadas na Tabela 1, acompanhada da avaliação de sua eficiência.

Tabela 1 - Principais tipos de células fotovoltaicas

Tecnologia		Eficiência (%)
Silício	Monocristalino	25,0 ± 0,5
	Policristalino	20,4 ± 0,5
	Filmes finos transferidos	20,1 ± 0,4
Compostos III A-VA	GaAs (filme fino)	28,8 ± 0,9
	GaAs (policristalino)	18,4 ± 0,5
	InP (monocristalino)	22,1 ± 0,7
Calcogênios Compostos II B-VI A	CIGS (CuIn _x Ga _(1-x) Se ₂) (filme fino)	19,6 ± 0,6
	CdTe (filme fino)	18,3 ± 0,5
Silício amorfo/nanocristalino	Amorfo (a-Si) (filme fino)	10,1 ± 0,3
	Nanocristalino (nc-Si)	10,1 ± 0,2
Células Sensibilizadas por Corantes (DSSC)		11,9 ± 0,4
Células Orgânicas (filme fino)		10,7 ± 0,3
Multijunção	InGaP/GaAs/InGaAs	37,7 ± 1,2
	a-Si/nc-Si/nc-Si (filme fino)	13,4 ± 0,4

Fonte: CRESESB, 2014 (adaptado).

Para se obter níveis propícios de tensão, as células são dispostas nos módulos em circuito em série, mas também podem ser em paralelo, geralmente integrado de 36 a 216 células fotovoltaicas associadas (Figura 7). Essas são soldadas e encapsuladas, para não serem prejudicadas por ações externas naturais (CRESESB, 2014).

Figura 7 - Módulo Fotovoltaico

Fonte: CRESESB, 2014.

4.2 BATERIA

É usada para casos de armazenamento de energia, em função de atender a demanda quando não há sol, ou seja, em dias de nublados, chuvosos, que não há incidência solar suficiente para o abastecimento. Também podem ser usadas conectadas a rede elétrica, porém aqui no Brasil, isso não é permitido (CRESESB, 2014).

A bateria mais usual é a eletroquímica, que por um processo redox, o qual capacita o conjunto de células eletroquímicas conectadas do módulo, armazenar energia. E, as baterias podem ser classificadas em recarregáveis e não recarregáveis, o que depende do tipo de célula que as compõe. A Tabela 2 mostra alguns tipos de baterias disponíveis atualmente.

Tabela 2 - Modelos de baterias

Tecnologia	Eletrólito	Densidade Energética (Wh/kg)	Densidade Energética (Wh/L)	Eficiência (%)	Vida útil (anos)	Vida cíclica (ciclos)	Temperatura de operação	
							Carga padrão (°C)	Descarga (°C)
Chumbo ácido (Pb-ácido)	H ₂ SO ₄	20-40	50-120	80-90	3-20	250-500	-10 a +40	-15 a +50
Níquel-Cádmio (NiCd)	KOH	30-50	100-150	60-70	3-25	300-700	-20 a +50	-45 a +50
Níquel-hidreto metálico	KOH	40-90	150-320	80-90	2-5	300-600	0 a +45	-20 a +60
Íon de Lítio	Polímeros orgânicos	90-150	230-330	90-95	-	500-1000	0 a +40	-20 a +60
Bateria alcalina recarregável de Manganês	KOH	70-100	200-300	75-90	-	20-50	-10 a +60	-20 a +50
Cloreto de Níquel e Sódio	B ⁺⁺ - Al ₂ O ₃	~100	~150	80-90	-	~1000	+270 a +300	+270 a 300

Fonte: LUQUE; HEGEDUS, 2011 apud CRESESB, 2014.

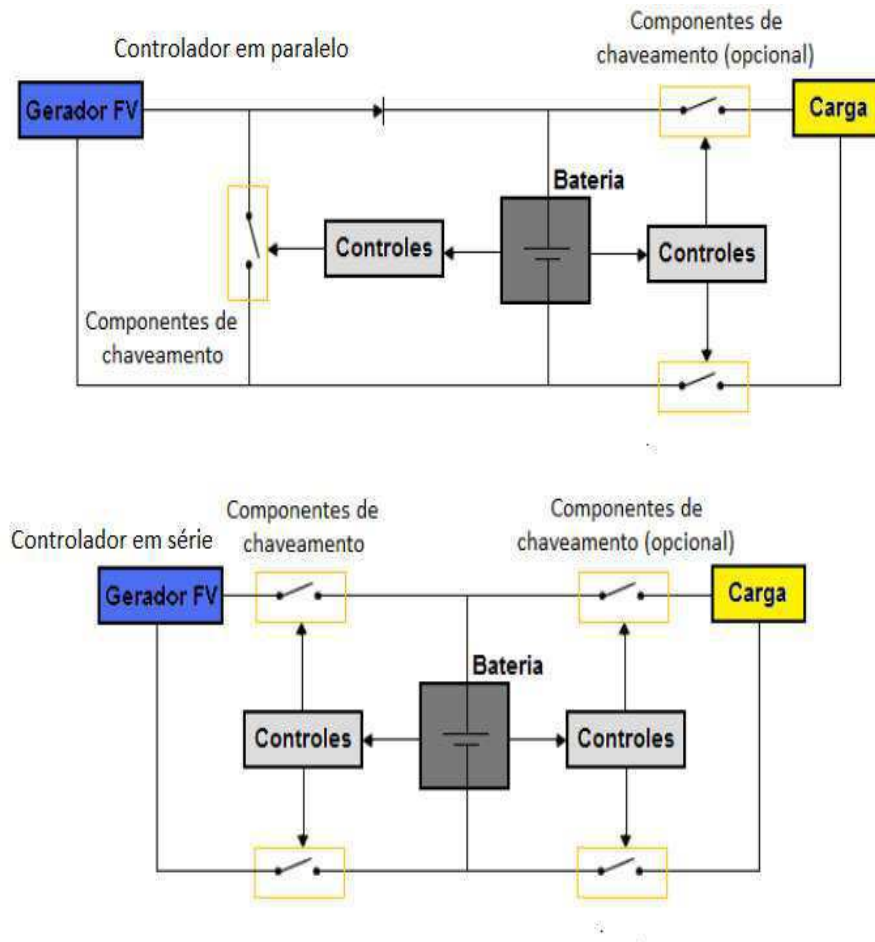
Esses tipos de baterias, listados na tabela 2, podem ser encontrados em uso automotivo no caso da bateria de chumbo ácido e de níquel-cádmio, já as de níquel hidreto metálico e íon lítio, podem ser vistas em notebooks, celulares. As baterias alcalinas e cloreto de níquel podem, respectivamente, ser utilizadas em brinquedos e veículos elétricos.

4.3 CONTROLADORES DE CARGA

Esse tipo de componente fotovoltaico é mais utilizado em sistemas isolados de captação de energia fotovoltaica. Eles são utilizados para regular a carga e descarga que a bateria tem, protegendo-a. A união da bateria com o controlador deve ser compatível, como também com o regime operacional utilizado, porque caso não sejam pode trazer

danos ao sistema de geração de energia (CRESESB, 2014). A Figura 8 exemplifica como funciona o controlador.

Figura 8 - Circuito do controlador



Fonte: CRESESB, 2014.

O controlador deve parar o fornecimento de energia quando a bateria chegar em um nível baixo, e deixar de puxar energia quando a bateria chegar no seu nível máximo de armazenamento. Esse é escolhido de acordo com o tipo de bateria a ser utilizada e o tipo de sistema proposto. Os controladores em paralelo, são adicionados a esses circuitos um dispositivo de estado sólido, que faz a tarefa de interromper o fluxo de energia no máximo de armazenamento da bateria. Já os em série, pode trabalhar sem o diodo de bloqueio, porque trabalham em baixa tensão (CRESESB, 2014).

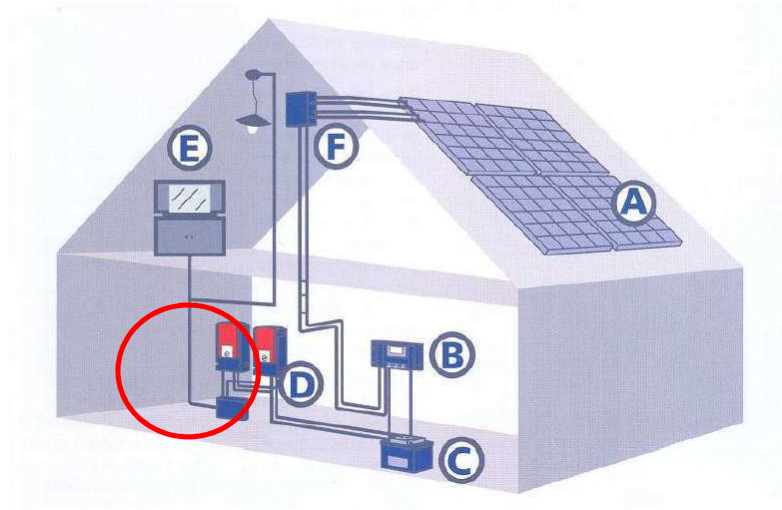
Auxiliando as baterias, pode ser usado um conversor de corrente, que controlará a corrente e a tensão que as baterias mandam para os controladores de carga.

4.4 INVERSORES

São dispositivos que convertem a corrente que chega das baterias, módulos fotovoltaicos, para serem encaminhadas às cargas alimentadas, ou seja, são

componentes que transformam a corrente contínua em corrente alternada. E fazem parte de sistemas conectados à rede elétrica. Os inversores podem ser autocomutados: inversor de fonte de tensão, que pode ter controle por corrente ou por tensão, ou inversor de fonte de corrente; ou podem ser comutados pela rede (CRESESB, 2014).

Figura 9 – Inversor



Fonte: CRESESB, 2014.

Então, o inversor, letra D da figura 9, é essa parte do sistema que, recebe a corrente contínua que vem da bateria, que armazena a energia captada pelas placas fotovoltaicas, e transforma esta corrente contínua em alternada, para chegar no mesmo nível que os aparelhos domésticos necessitam para funcionarem.

5 PROJETO DE UM SISTEMA FOTOVOLTAICO PARA SUPERMERCADO IRMÃOS CANTALICE

O presente Capítulo comenta a instalação de um sistema fotovoltaico conectado à rede elétrica (SFCR) para o Supermercado Irmãos Cantalice localizado na Rua Caetano Simão, no bairro Centro, em Equador-RN, como mostra a Figura 10 abaixo.

Figura 10- Supermercado Irmãos Cantalice- Equador RN



Fonte: Google Earth Pro modificado pelo autor.

A análise do projeto de SFCR foi baseada nas informações da conta de energia elétrica fornecida pela Companhia Energética do Rio Grande do Norte (CONSERN) do ano de 2017.

O projeto de SFCR concebeu-se nas seguintes etapas:

1. Levantamento adequado do recurso solar;
2. Escolha do local de implantação do sistema;
3. Dimensionamento dos painéis fotovoltaico;
4. Dimensionamento do inversor;
5. Determinação do arranjo fotovoltaico;
6. Dimensionamento dos condutores;
7. Análise Financeira.

5.1 LEVANTAMENTO ADEQUADO DO RECURSO SOLAR

É de suma importância a aquisição dos dados com precisão, pois a quantidade de

irradiação solar sobre o painel fotovoltaico está diretamente relacionada aos parâmetros técnicos das placas fotovoltaicas escolhidas (FIGUEIRA, 2014).

Para a obtenção dos dados com precisão foi utilizada como fonte de pesquisa o banco de dados da plataforma *SunData*. Esta plataforma é uma ferramenta do Centro de Referência para as Energias Solar e Eólica Sérgio de S. Brito (CRESESB) destinada ao cálculo da radiação solar incidente, correspondentes as diárias médias mensais, em diversas regiões do Brasil pra auxiliar no dimensionamento de sistemas fotovoltaicos.

A plataforma *SunData* busca os dados por meio de coordenadas geográficas (latitude e longitude) e fornece os mesmos, em kWh/m².dia no plano horizontal por no mínimo 03 localidades próximas.

O projeto em estudo está localizado na cidade de Equador-RN, cujas coordenadas em latitude e longitude são 6.94491 S e 36.71777 O respectivamente. Após inserir as coordenadas foi obtida a radiação solar que chega à superfície terrestre diária média por mês conforme ilustrada no Quadro 1 abaixo.

Quadro 1-Radiação solar incidente diária média mensal em Equador, RN.

Estação: Equador

Município: Equador , RN - BRASIL

Latitude: 6,901° S

Longitude: 36,749° O

Distância do ponto de referência

(6,944911° S; 36,717775° O):6,0 km

Ângulo	Inclinação	Irradiação solar diária média mensal [kWh/m ² .dia]													
		Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Média	Delta
Plano Horizontal	0° N	6,02	5,98	6,03	5,61	5,03	4,64	4,95	5,72	6,28	6,48	6,52	6,17	5,78	1,88
Ângulo igual a latitude	7° N	5,76	5,83	6,02	5,76	5,28	4,93	5,23	5,95	6,34	6,36	6,25	5,87	5,8	1,43
Maior média anual	5° N	5,84	5,88	6,03	5,73	5,21	4,85	5,16	5,89	6,33	6,4	6,34	5,96	5,8	1,55
Maior mínimo mensal	17° N	5,3	5,52	5,9	5,87	5,54	5,25	5,54	6,15	6,31	6,07	5,77	5,35	5,71	1,06

Fonte: CRESESB.

Para o sistema em estudo, adotou-se a irradiação solar média de 5,8 KWh/m².dia devido ao telhado do supermercado possuir duas águas com inclinação indicado na Figura 9.

5.1.1 HORAS DE SOL PLENO (HSP)

Após determinado a irradiação solar média, será determinada a horas de sol pleno (HSP), que significa o número de horas em que a radiação solar incidente deve ser constante e igual a 1000 W/m² ou 1Kw/m².

Como foi determinado, o Supermercado apresenta uma irradiação 5,8

KWh/m².dia.Com isso foi calculado o HSP, através da Equação 1.

$$HSP = \frac{\text{Irradiância} \left(\frac{kWh}{m^2} \cdot dia \right)}{1 \left(\frac{kW}{m^2} \right)} \quad (1)$$

$$HSP = \frac{5,8 \left(\frac{kWh}{m^2} \cdot dia \right)}{1 \left(\frac{kW}{m^2} \right)}$$

Portanto o HSP é 5,8 h/dia.

5.2 ESCOLHA DO LOCAL DE IMPLANTAÇÃO DO SISTEMA

Para a determinação do consumo médio de energia consumida pelo Supermercado Irmãos Cantalice, foi realizada média aritmética do consumo ativo do ano de 2017, de forma que os dados foram fornecidos pela CONSERN. Os dados disponibilizados pela CONSERN estão expostos no Quadro 2.

Quadro 2- Energia consumida durante o ano de 2017

Mês	Energia Consumida (kWh)
jan/17	14767
fev/17	13009
mar/17	14395
abr/17	15767
mai/17	14141
jun/17	15671
jul/17	14001
ago/17	14152
set/17	5458
out/17	24130
nov/17	14733
dez/17	14734

Fonte: Elaboração própria.

Sendo assim, o consumo médio de energia no ano de 2017 é aproximadamente 14.580 kWh. O consumo médio diário é dado pela Equação 2, em que E_D e E_M representam o consumo médio diário e o consumo médio mensal, respectivamente.

$$ED = \frac{EM}{30} \quad (2)$$

$$\text{Logo, } ED = \frac{EM}{30} = \frac{14.580}{30} = 486 \text{ kWh/dia.}$$

A definição do local de implantação do sistema fotovoltaico foi feita a partir de visitas ao supermercado para que fosse estudada integração com os elementos arquitetônicos do mesmo e assim viabilizar de forma econômica a produção, instalação e monitoramento da geração solar fotovoltaica. O local de implantação escolhido foi o telhado do supermercado visto que o mesmo tem espaço suficiente para a instalação dos painéis fotovoltaicos.

5.3 DIMENSIONAMENTO DOS PAINÉIS FOTOVOLTAICOS

O dimensionamento dos painéis fotovoltaicos foi baseado na Equação (3) que relaciona a potência de pico dos painéis com o consumo de energia diário.

$$P_{PV} (WP) = \frac{ED}{\frac{TD}{HSP}} \quad (3)$$

Em que:

P_{PV} = Potência do pico do painel fotovoltaico;

E_D = Consumo médio diário;

TD = Taxa de desempenho;

HSP = Horas de Sol Pleno.

A Taxa de Desempenho (TD) é um parâmetro para avaliar a geração de energia elétrica com relação ao desempenho real do sistema sobre o desempenho máximo teórico possível. Segundo Pinho e Galdino (2014) num sistema fotovoltaico conectado à rede a TD entre 70% e 80% podem ser obtidos nas condições de radiação solar encontrada no Brasil. Para esse dimensionamento foi considerado a TD 0,8.

Portanto, a potência de pico do painel será 104,74 kW_p, em que os valores foram substituídos na Equação 3.

Os painéis fotovoltaicos escolhidos para o projeto em estudo foram do fabricante *CanadianSolar* em que utilizam testes com inovações tecnológicas e tem experiência há 15 anos. O modelo escolhido foi o CS6U-325P, pois com essa potência a quantidade de painéis a ser utilizado será menor e assim os painéis caberão no espaço disponibilizado no telhado do Supermercado. No Quadro 3, encontra-se as especificações deste modelo.

Quadro 3- Especificações dos Módulos utilizados

Parâmetros	Valores
Potência de Pico (P _{máx})	325 W
Tensão de Potência Máxima (V _{mp})	37 V
Corrente de Potência Máxima (I _{mp})	8.78 A
Tensão de Circuito Aberto (V _{oc})	45.5 V
Corrente de Curto Circuito (I _{sc})	9.34 A
Eficiência (η)	16.72%
Tensão Máxima do Sistema	1000
Coeficiente de Temperatura em P _{máx}	-0.41 % / °C
Coeficiente de Temperatura em V _{oc}	-0.31 % / °C
Coeficiente de Temperatura em I _{sc}	0.053 % / °C
Material da Célula	Poli-cristalino, 6 polegadas
Dimensões	1960 × 992 × 40 mm
Peso	22.4 kg

Fonte: Datasheet do CanadianSolar modificado pelo autor.

Com a finalidade de quantificar os painéis solares necessários para atender a potência desejada, utilizou-se a Equação 4.

$$NPV = \frac{PPV}{Potência\ do\ módulo} \quad (4)$$

Onde:

N_{PV}= N° de placas fotovoltaicas ideais;

P_{PV}= Potência do painel fotovoltaico;

$$\text{Logo, } NPV = \frac{104,74 \cdot 10^3}{325} = 322,27 \text{ und.}$$

Sendo assim, para atender a média do consumo do Supermercado será necessário a implantação de aproximadamente 322 painéis, ocupando assim uma área de 628m².

5.4 DIMENSIONAMENTO DO INVERSOR

O dimensionamento deste dispositivo é de suma importância visto que o mesmo é responsável por converter a potência de corrente contínua em corrente alternada. Além disso, são referidos como identificar a potência máxima disponível que é produzida, desconectar da rede nos casos em que a tensão de corrente alternada for superior ou inferior aos limites prescritos no padrão (PINHO, 2014).

No dimensionamento do inversor deste projeto foi necessário calcular o Fator de Dimensionamento do Inversor (FDI). A literatura afirma que para o bom funcionamento do inversor, a relação da potência do inversor escolhido e do módulo fotovoltaico deve variar entre 0,75 e 1,05 (Equação 5).

$$FDI = \frac{P_{inv} (kW)}{P_{PV}} \quad (5)$$

Onde:

P_{inv} = Potência do inversor;

P_{PV} = Potência do painel;

Para este projeto foi escolhido um inversor do fabricante ABB de modelo TRIO-50.0-TL-OUTD-US 50 kW. O Quadro 4 especifica as características do inversor escolhido.

Quadro 4- Características do inversor escolhido

Lado da Entrada - CC	
Tensão máxima	1000 V
Corrente máxima	144 A
Número de MPPT independente	1
Tensão mínima	250 V
Lado da Saída - CA	
Potência Nominal	50000 W
Potência Máxima Aparente	50000 VA
Corrente máxima	61 A
Tipo de conexão	Bloco de terminais de parafuso

Fonte: Datasheet da ABB modificado pelo autor.

Para o projeto em estudo, encontrou-se um $FDI = \frac{50}{104,74} = 0,48$, ou seja, não atende ao requisito supracitado. Para isso, foi determinada a utilização de dois inversores do mesmo modelo, no qual a potência total do inversor passa a ser 100 kW e com isso o FDI atende ao requisito, obtendo um valor de 0,95.

5.5 DIMENSIONAMENTO DO ARRANJO FOTOVOLTAICO

O dimensionamento do arranjo fotovoltaico consiste em especificar a forma em que o conjunto de células fotovoltaicas interligadas e conectadas estão distribuídos no

projeto.

5.5.1 QUANTIDADE DE STRINGS

Para determinar a quantidade de *strings* isto é, a quantidade máxima de fileiras em paralelos no painel do inversor, usou-se a relação (Equação 6) entre a máxima corrente de entrada do inversor adotado no projeto e a máxima corrente em curto-circuito do módulo fotovoltaico.

$$N^{\circ} = \frac{I_{máx} (A)}{I_{sc}} \quad (6)$$

Com isso, $N^{\circ} = \frac{144}{9,34} = 16$ *strings*. Como foi determinado o uso de dois inversores utilizou-se 10 *strings* em cada inversor.

5.5.2 QUANTIDADE DE MÓDULOS

Para quantificar o número de módulos foi-se necessário calcular a tensão mínima e máxima de entrada que o inversor permite. Para isso considerou-se que os valores extremos de temperatura, tendo como referência a plataforma do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), mínima e máxima foi de 21°C e 33°C respectivamente.

Logo, para determinar a tensão máxima do circuito aberto foi utilizado a Equação 7.

$$V_{oc(mín)} = \left(1 - \frac{25^{\circ}C - (\Delta T_{mín}) \cdot \Delta v}{100} \right) \cdot V_{ca} \quad (7)$$

Onde:

$V_{oc(mín)}$ = tensão máxima de circuito aberto (V)

ΔT = variação de temperatura (°C)

ΔV = coeficiente de temperatura (%)

V_{ca} = tensão de circuito aberto do módulo (V)

Para a tensão máxima tem que: $V_{oc}(21) = \left(1 - \frac{25^{\circ}C - (21^{\circ}C) \cdot (-0,31)}{100} \right) \cdot 45,5$. Isso mostra uma tensão máxima de $V_{oc(21)} = 46,06$ V. O mesmo cálculo foi considerado para a tensão mínima, substituindo a tensão de circuito aberto pela tensão máxima de potência do fabricante, tendo assim: $V_{oc}(33) = \left(1 - \frac{25^{\circ}C - (33^{\circ}C) \cdot (-0,31)}{100} \right) \cdot 37 = 36,08$ V.

A partir desses valores calculados pode-se quantificar o número máximo e mínimo de placas em série através da relação entre a tensão máximo-mínima de entrada (CC) do inversor e a tensão do circuito aberto (Equação 8).

$$Ns(máx, mín) = \frac{Vmáx, mín(inv)}{Voc(máx, mín)} \quad (8)$$

Substituindo os valores na Equação 8, o número máximo de placas em série foi:

$$Ns(máx) = \frac{1000}{46,06} \cong 22 \text{ painéis}$$

$$Ns(mín) = \frac{250}{36,08} \cong 07 \text{ painéis}$$

Sabendo-se o número de *strings* possíveis para cada inversor e a variação de placas dos painéis é possível analisar a melhor forma de distribuição do painel fotovoltaico. Inicialmente, foram determinados que para atender as necessidades do consumo energético do Supermercado Cantalice seriam necessários 322 painéis. Todavia foi realizada a compra de um kit com 340 painéis, totalizando 110,5 kWp.

Uma simulação mais específica foi feita no *software* PVSOL para obtenção da produção e notou-se que não houve diferenças significativas na produção de energia caso o arranjo ficasse disposto de algumas formas sugeridas a seguir, por exemplo, 8 *strings* de 20 módulos mais 9 *strings* de 20 módulos ou 10 *strings* de 17 módulos em cada inversor. Porém, para não haver sobrecarregamento de nenhum dos inversores, optou-se por uma distribuição em 10 *strings* de 17 módulos em cada inversor, totalizando os 340 painéis. Dessa maneira, o painel fotovoltaico atinge uma potência de pico de 110,5 kWp.

O inversor escolhido para atender as necessidades do projeto em estudo destaca-se por apresentar em sua estrutura interna os componentes de proteção dos elementos da instalação, mesmo que de baixa tensão, preservando assim o supermercado e a integridade das pessoas. Com isso, não foi necessário dimensionar os equipamentos de proteção.

5.6 DIMENSIONAMENTO DOS CONDUTORES

Para o dimensionamento dos condutores a serem instalados entre o conjunto de

módulos fotovoltaicos e os inversores; e entre os inversores e a rede elétrica; foi utilizado como fonte de pesquisa à NBR 5410, em que esta norma refere-se aos requisitos para instalações de sistemas de instalações elétricas.

Inicialmente foi calculada a corrente e a tensão total do projeto baseando-se na quantidade de *strings* e módulos que foi dimensionado neste projeto, totalizando 20 *strings* cada uma contendo 17 módulos em série.

Cálculo da tensão de operação(V_{OP}):

$$V_{OP}=17 * 37= 629 \text{ Volts}$$

Cálculo da potência total (P_{TOTAL}) do conjunto de 20 módulos em série:

$$P_{TOTAL}=17 * 325= 5.525 \text{ Watts}$$

Cálculo da corrente (I) de um conjunto de 20 módulos em série:

$$I=\frac{P_{total}}{V_{op}}= 8,78 \text{ A}$$

Com isso, o valor da corrente total de um conjunto de 20 *strings* é:

$$I_{TOTAL}= 20 * 8,78= 175,67 \text{ A}$$

Devido aos fatores que interferem no bom funcionamento do sistema em geral, utilizou-se como margem de segurança um coeficiente de correção de 20% da corrente total, tendo assim uma corrente total igual a 210,81 A.

Os condutores foram dimensionados baseados na forma em que seria aplicado, em que a NBR 5410 referencia e pela corrente total. De acordo com as condições do projeto, para a otimização do mesmo foi determinado a utilização de condutores com bitola de 6mm² para o lado de corrente contínua e 4 cabos de bitola de 25mm² para o lado de corrente alternada, ou seja, para cada inversor.

5.7 ANÁLISE FINANCEIRA

A análise financeira torna-se essencial para o projeto para avaliar a viabilidade econômica, estabilidade e capacidade de lucro da implantação do sistema fotovoltaico. Além disso, surge como um instrumento de interesse do cliente para tomar decisões de gestão, por exemplo.

Com o intuito de analisar a viabilidade econômica do projeto em estudo foi elaborada uma proposta inicial com cotação de preço unitário de cada item do mercado

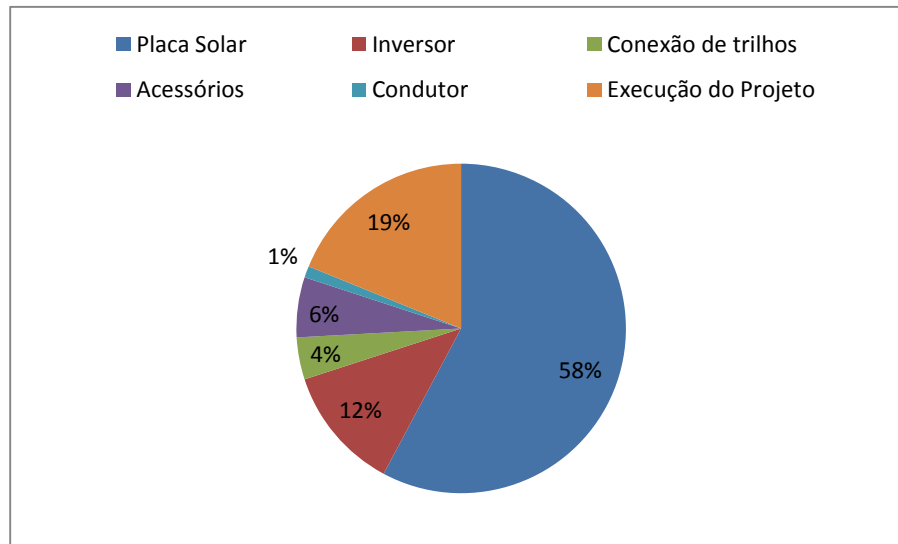
brasileiro. Neste orçamento, que é um kit vendido por um distribuidor, foi levado em consideração tanto os equipamentos necessários como a mão de obra, conforme é mostrada na Tabela 3.

Tabela 3- Orçamento do projeto em estudo

Material	Especificação	UND	Custo Unitário (R\$)	Quantidade	Total
Placa Solar	CANADIAN SOLAR 72CELLS 340W MONO-SI	UND	R\$ 717,32	340	R\$ 243.888,80
Inversor	ABB TRIO-50.0-TL-OUTD-US 50 kW	UND	R\$ 25.719,62	2	R\$ 51.439,24
Conexão de trilhos	SICES SOLAR PERFIL ALUMINIO INDUSTRIAL ROOFTOP 6,3MT	UND	R\$ 110,55	98	R\$ 10.833,90
	SICES SOLAR PERFIL ALUMINIO INDUSTRIAL ROOFTOP 4,2MT	UND	R\$ 80,72	2	R\$ 161,44
	SICES SOLAR PERFIL ALUMINIO INDUSTRIAL ROOFTOP 1,57MT	UND	R\$ 40,35	32	R\$ 1.291,20
	SICES SOLAR TERMINAL FINAL 39..41MM for CAN - NACIONAL	UND	R\$ 5,87	68	R\$ 399,16
	SICES SOLAR TERMINAL INTERMEDIARIO 39..44MM for CAN/AVP - NACIONAL	UND	R\$ 7,69	626	R\$ 4.813,94
Acessórios	SICES SOLAR PARAFUSO METALICO AUTOPERFORANTE	UND	R\$ 0,89	3436	R\$ 3.058,04
	M EPDM BAND 30x3, PU=8 FITA EPDM	UND	R\$ 20,97	171	R\$ 3.585,87
	CONECTORES FEMEA/ MACHO WEID_CABUR_TE_MC4_ou compativel	UND	R\$ 13,33	24	R\$ 319,92
	PHOENIX CONTACT PZ - MACHO/FEMEA	UND	R\$ 30,10	6	R\$ 180,60
	ACESSORIO WALL MOUTING BRACKET - TRIO-50 - ABB	UND	R\$ 247,41	1	R\$ 247,41
	CONVERSOR USB-I485 -NOVUS	UND	R\$ 682,98	1	R\$ 682,98
	ACESSÓRIO DCWB-SX-TRIO-TM-50.0-400	UND	R\$ 8.213,40	1	R\$ 8.213,40
	ACESSÓRIO ACWB-SX-TRIO-TM-50.0-400	UND	R\$ 7.816,26	1	R\$ 7.816,26
MONITORAMENTO SICES	UND	R\$ 800,00	1	R\$ 800,00	
Condutor	CABO SOLAR 6MM²	M	R\$ 5,18	450	R\$ 2.331,00
	CABO SOLAR 25 MM²-	M	R\$ 10,36	225	R\$ 2.331,00
Execução do Projeto	SEGURO	UND	R\$ 2.587,00	1	R\$ 2.587,00
	REFORMA TELHADO	VB	R\$ 25.000,00	1	R\$ 25.000,00
	MAO DE OBRA	VB	R\$ 52.000,00	1	R\$ 52.000,00
TOTAL					R\$ 421.981,16

Fonte: Elaboração própria

Como se pode perceber, o custo total da implantação do sistema fotovoltaico no Supermercado Cantalice representa R\$421.981,16. Percebe-se que o valor total da placa solar e do inversor representa cerca de 70% do valor total do sistema, como mostra o Gráfico 4.

Gráfico 4- Representação do orçamento do projeto

Fonte: Elaboração própria

O custo de implantação do sistema é elevado, tornando-se assim um investimento de longo prazo. Portanto, para saber a viabilidade financeira da implantação do sistema foi utilizado o método do *Payback*, isto é, o tempo de retorno do investimento.

Para este caso utilizou-se o *Payback* descontado, levando em consideração o tempo futuro de 25 anos, visto que é a vida útil de um projeto fotovoltaico. Utilizou-se como a tarifa de energia elétrica a tarifa disponibilizada pela ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica) aplicadas em alta e média tensão de fornecimento –Grupo A. Portanto, a tarifa utilizada com modalidade tarifária fora de ponta foi de 0,3677 R\$/kWh.

Além disso, para análise financeira considerou-se um reajuste anual de 5% na tarifa nos anos supracitados. O desenvolvimento (Quadro 5) baseou-se na tabela desenvolvida pelo aluno Frank Wesley da Universidade Federal de Campina Grande.

Quadro 5- Valores economizados anualmente e *Payback* considerando um aumento de 5% ao ano na tarifa.

t	ANO	Tarifa(R\$/kWh)	Geração(kWh)	Valor Economizado Anualmente (R\$)	PAYBACK (R\$)
1	2018	0,699	15000	125.820,00	421.981,16
2	2019	0,73395	14850	130.789,89	291.191,27
3	2020	0,7706475	14701,5	135.956,09	155.235,18
4	2021	0,809179875	14554,485	141.326,36	13.908,82
5	2022	0,849638869	14408,94015	146.908,75	-132.999,92
6	2023	0,892120812	14264,85075	152.711,64	-285.711,57
7	2024	0,936726853	14122,20224	158.743,75	-444.455,32
8	2025	0,983563195	13980,98022	165.014,13	-609.469,45
9	2026	1,032741355	13980,98022	173.264,84	-782.734,29
10	2027	1,084378423	13841,17042	180.108,80	-962.843,09
11	2028	1,138597344	13702,75871	187.223,10	-1.150.066,18
12	2029	1,195527211	13565,73113	194.618,41	-1.344.684,59
13	2030	1,255303572	13430,07381	202.305,84	-1.546.990,43
14	2031	1,31806875	13295,77308	210.296,92	-1.757.287,34
15	2032	1,383972188	13162,81534	218.603,64	-1.975.890,99
16	2033	1,453170797	13031,18719	227.238,49	-2.203.129,48
17	2034	1,525829337	12900,87532	236.214,41	-2.439.343,88
18	2035	1,602120804	12771,86657	245.544,88	-2.684.888,76
19	2036	1,682226844	12644,1479	255.243,90	-2.940.132,66
20	2037	1,766338187	12517,70642	265.326,03	-3.205.458,70
21	2038	1,854655096	12392,52936	275.806,41	-3.481.265,11
22	2039	1,947387851	13430,07381	313.842,75	-3.795.107,86
23	2040	2,044757243	13295,77308	326.239,54	-4.121.347,40
24	2041	2,146995105	13162,81534	339.126,00	-4.460.473,40
25	2042	2,254344861	13031,18719	352.521,48	-4.812.994,88
TOTAL				5.360.796,04	

Fonte: Elaboração própria

Como se pode observar, o tempo de retorno do investimento estimou-se em 05 anos tornando o projeto viável sob o ponto de vista financeiro.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Atualmente no Brasil, considerado um país recebe radiação solar durante todo o ano, a utilização desse sistema está cada vez mais crescente, destacando-se no ano de 2017, aumentado assim a sua participação da energia solar na matriz energética mundial. Isso traz grandes benefícios para o meio ambiente como também para a sociedade brasileira.

A partir do dimensionamento do sistema fotovoltaico para o Supermercado Cantalice, pode-se concluir que a implantação desse sistema é viável em relação ao ponto de vista econômico-financeiro. Além disso, é um sistema viável em consideração a utilização de energias renováveis.

O custo de implantação do sistema foi elevado, porém foi confirmado o período de 05 anos para o retorno do investimento inicial. Cerca de 70% do valor de implantação do sistema destinaram-se as placas solares e aos inversores. Futuramente, com os avanços tecnológicos, o valor unitário de cada placa solar pode reduzir, tornando assim o investimento nesse tipo de sistema mais atrativo e popular.

6.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Como sugestões para possíveis trabalhos futuros, pode-se apontar:

- Utilizar outros modelos de placas solares e inversores para fazer uma comparação entre a qualidade do sistema e o investimento inicial, visto que os modelos utilizados nesse projeto tornaram um investimento inicial elevado;
- Outro trabalho bastante interessante é concretizar um estudo investigatório para identificar possíveis problemas no sistema e solucioná-los, pois, como o consumo energético é bastante variável pode ser que o dimensionamento adotado não atenda 100% da energia consumida.

BIBLIOGRAFIA

ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR-5410-Instalações Elétricas em Baixa Tensão**. Rio de Janeiro ABNT, 2001.

ANDRADE, Charles. **Níveis de irradiação solar no mundo**. 11 jan. 2018. Disponível em: <<http://charlezine.com.br/niveis-de-irradiacao-solar-no-mundo/>>. Acesso em: 06 fev. 2018.

BARBOSA, Vanessa. Os 10 países que mais usam energia solar no mundo. **Exame**. São Paulo, jan. 2014. Seção Economia. Disponível em: <<https://exame.abril.com.br/economia/os-10-paises-que-mais-usam-energia-solar-no-mundo/>> . Acesso em: 06 fev. 2018.

BRASIL, ANEEL. **Resolução normativa nº 482 de 17 de abril de 2012**. Estabelece as condições gerais para o acesso de microgeração e minigeração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica, o sistema de compensação de energia elétrica, e dá outras providências. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2012482.pdf>>. Acesso em: 03 mar. 2018.

BRASIL, ANEEL. **Atlas de energia elétrica**. 2. Ed. Brasília, 2002. Cap.3.

BRASIL, ANEEL. **Resolução normativa nº 687 de 24 de novembro de 2015**. Altera a Resolução Normativa nº 482, de 17 de abril de 2012, e os Módulos 1 e 3 dos Procedimentos de Distribuição – PRODIST. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2015687.pdf>>. Acesso em: 03 mar. 2018.

BRASIL, MME – Ministério de Minas e Energia. Brasil estará entre os 20 países com maior geração solar em 2018. **Governo do Brasil**. 03 jan. 2016. Disponível em: <<http://www.brasil.gov.br/infraestrutura/2016/01/brasil-estara-entre-os-20-paises-com-maior-geracao-solar-em-2018>>. Acesso em: 07 fev. 2018.

CRESESB. **Centro de Referência para Energias Solar e Eólica Sérgio de S. Brito**. Disponível em: <<http://www.cresesb.cepel.br/>>. Acesso em: 12 jan. 2018.

DUSOL Energia Sustentável. **Energia fotovoltaica e energia solar térmica: entenda as diferenças**. Goiânia, 2015. Disponível em: <<http://www.dusolengenharia.com.br/post/energia-fotovoltaica-e-energia-solar-termica-entenda-as-diferencas/>>. Acesso em: 05 fev. 2018.

FADIGAS, Eliane A F A. **Energia Solar Fotovoltaica: Fundamentos, conversão e viabilidade técnico-econômica**. GEPEA – Grupo de Energia Escola Politécnica Universidade de São Paulo. São Paulo, 2012.

FIGUEIRA, Fabio. **Dimensionamento de um sistema fotovoltaico conectado à rede para alimentar a sala de computação da escola municipal Tenente Antônio João**. 2014. 52 f. Trabalho de conclusão de curso (Graduação Engenharia Elétrica) - Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2014.

GTES – Grupo de Trabalho de Energia Solar. **Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos**. Rio de Janeiro – Março, 2014.

Inversor ABB TRIO 50 TL. Disponível em: <<http://new.abb.com/power-converters-inverters/solar/string/three-phase/trio-50-0kw>>. Acesso em: 11 fev. 2018.

NASCIMENTO, Rodrigo Limp. **Energia solar no Brasil: situação e perspectivas**. Estudo técnico. Brasília, março de 2017.

Painel Solar Fotovoltaico CanadianSolar 325P. Disponível em <https://www.canadiansolar.com/fileadmin/user_upload/downloads/datasheets/v5.53/Canadian_Solar-Datasheet-MaxPower-CS6U-P-v5.53en.pdf>. Acesso em: 9 fev. 2018.

PINHO, J.T.; GALDINO, M.A, et al. **Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos**. CRESESB, 2014. Disponível em: <<http://www.cresesb.cepel.br/>>. Acesso em: março de 2017.

PORTAL ENERGIA. **Energia Solar Térmica manual sobre tecnologias, projecto e instalação**. Janeiro 2004. Disponível em: <<http://www.marioloureiro.net/tecnica/energSolar/guia-tecnico-manual-solartermico.pdf>> . Acesso em: 05 fev. 2018.

Potencial Solar- Sun Data. Disponível em:<<http://www.cresesb.cepel.br/index.php?section=sundata&>>. Acesso em: 02 fev. 2018.

ROCHA, Camilo. As dificuldades para a expansão da energia solar no Brasil. **Nexo Jornal**. 10 jan. 2018. Disponível em: <<https://www.nexojournal.com.br/expresso/2018/01/10/As-dificuldades-para-a-expans%C3%A3o-da-energia-solar-no-Brasil>>. Acesso em: 07 fev. 2018.

SILVA, Rutelly Marques. **Energia Solar no Brasil: dos incentivos aos desafios**. Brasília: Núcleo de Estudos e Pesquisas/CONLEG/Senado, Fevereiro/2015 (Texto para Discussão nº 166). Disponível em: www.senado.leg.br/estudos. Acesso em 3 de fevereiro de 2018.

SUSTENTABILIDADE. **Funcionamento de painel solar fotovoltaico**. Disponível em:< <http://solventoenergia.blogspot.com.br/2016/02/funcionamento-de-paineis-solares.html?sref=pi>>. Acesso em: 03 de fev. 2018.

VARELLA, F. K. O. M.; GOMES, R. D. M. **Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede Elétrica no Brasil: Panorama da Atual Legislação. 2009**. Relatório Final Realização: Pro COBRE, Campinas, SP.