



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
CÂMPUS CARAÚBAS
CURSO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA

RUSIANO FREITAS DE MARIA JUNIOR

**ESTUDO DA VIABILIDADE DO USO DE ENERGIA FOTOVOLTAÍCA PARA
GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA EM BLOCO DE AULA DA UFERSA
CARAÚBAS.**

CARAÚBAS-RN

2017

RUSIANO FREITAS DE MARIA JUNIOR

**ESTUDO DA VIABILIDADE DO USO DE ENERGIA FOTOVOLTAÍCA PARA
GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA EM BLOCO DE AULA DA UFERSA
CARAÚBAS.**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Universidade Federal Rural do Semiárido -
UFERSA, Câmpus Caraúbas, para a obtenção do
Título de Bacharel em Ciência e Tecnologia.

Orientador: Prof. Juan Rafael Filgueira Guerra-
UFERSA.

CARAÚBAS-RN

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.

Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema de Bibliotecas
Da Universidade Federal Rural do Semi-Árido, com os dados fornecidos pelo (a) autor (a)

D332e DE MARIA JUNIOR, RUSIANO FREITAS.
ESTUDO DA VIABILIDADE DO USO DE ENERGIA
FOTOVOLTAÍCA PARA GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA EM
BLOCO DE AULA DA UFERSA CARAÚBAS. / RUSIANO
FREITAS DE MARIA JUNIOR. - 2017.
67 f. : il.

Orientador: JUAN RAFAEL FILGUEIRA GUERRA.
Monografia (graduação) - Universidade Federal
Rural do Semi-árido, Curso de --Selecione um
Curso ou Programa--, 2017.

1. Sistema fotovoltaico. 2. Viabilidade. 3.
Sistema conectado à rede elétrica. I. GUERRA, JUAN
RAFAEL FILGUEIRA, 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.

RUSIANO FREITAS DE MARIA JUNIOR

**ESTUDO DA VIABILIDADE DO USO DE ENERGIA FOTOVOLTAÍCA PARA GERAÇÃO DE
ENERGIA ELÉTRICA EM BLOCO DE AULA DA UFRSA CARAÚBAS.**

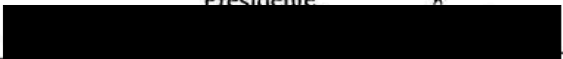
Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado à Universidade Federal
Rural do Semiárido - UFRSA,
Câmpus Caraúbas, para a obtenção do
Título de Bacharel em Ciência e
Tecnologia.

APROVADO EM: 18 / 10 / 2017.

BANCA EXAMINADORA


Prof. Ms. Juan Rafael Filgueira Guerra - UFRSA

Presidente


Prof. Ms. Rodrigo Prado de Medeiros - UFRSA

Primeiro Membro


Prof. Dr. Hugo Michel Câmara de Azevedo Maia - UFRSA

Segundo Membro

DEDICATÓRIA

A Deus, pela misericórdia e fonte de Fé que me deu forças para concluir esse curso.

A Rusiano Freitas de Maria, meu pai, que sempre me incentivou e apoiou para a realização do meu sonho. Pessoa a qual admiro a honestidade e inteligência.

A Rosimeire Maria Fagundes de Freitas, minha mãe, que sempre me guiou para o caminho do bem. Depositando sempre, sua confiança em mim.

A Juan Rafael Filgueira Guerra, meu orientador, por todo conhecimento compartilhado e repassado, propiciando, dessa forma, a realização desse trabalho.

AGRADECIMENTOS

A Deus, por sempre está presente, alimentando minha alma de fé e me ajudando nos momentos mais difíceis.

Aos meus pais, Rusiano Freitas de Maria e Rosimeire Maria Fagundes pelo apoio, depósito de confiança e amor. Devo todo o meu sucesso a vocês.

Aos meus irmãos Rodrigo Freitas de Maria e Rhendson Eloí Fagundes de Freitas, por fazerem parte da minha vida e história. Mostrando-me o real significado de amor e companheirismo.

A minha amiga Roberta Rafaela Torres Alves, que sempre me ajudou durante esse primeiro ciclo de graduação, sendo minha fiel companheira de estudo e de fato, uma irmã para mim.

A minha namorada Edla Rodrigues de Oliveira, que sempre eleva minha auto estima, por ser uma fiel companheira e hoje, ser o melhor lugar em que posso depositar amor.

Ao meu orientador Juan Rafael Filgueira Guerra, pela orientação, paciência, e por todas as críticas construtivas que enalteciram meu trabalho.

Aos meus mais que amigos, irmãos, Túlio Silva, Pedro Rafael, Pedro moisés, João Vitor, Wictor Guilherme, Lucas Cruz, Ícaro Rafael, Alex Francisco, Kefferson Yali, Matheus César, Adriano Lucas, Matheus Dantas e Maxwell Lopes, por sempre se fazerem presentes, ajudando diretamente ou indiretamente.

A todos os docentes da UFERSA que fizeram parte da minha matriz curricular e por todos os conhecimentos repassados contribuindo para o meu crescimento acadêmico.

A todos os colegas que fiz na Universidade.

“Não atentando nós nas coisas que se vêem, mas nas que se não vêem; porque as que se vêem são temporais, e as que se não vêem são eternas.”

Coríntios 4:18.

RESUMO

O presente trabalho apresenta-se como forma de elucidar características primordiais do estudo da viabilidade para geração de energia elétrica em bloco de aulas da UFERSA Caraúbas através de sistema fotovoltaico. A utilização de fontes renováveis de energia aumenta a cada ano, em virtude disso, serão apresentadas inúmeras características da fonte renovável proveniente do sol, a energia solar, além de orientar como dimensionar passo a passo um sistema solar fotovoltaico. É válido ressaltar que o trabalho trará observações para dimensionamentos viáveis e inviáveis no tocante econômico. Mediante esse fator, será observado argumentos através do Payback e do valor presente líquido (VPL). Por fim, através dos estudos de viabilidade em diferentes aspectos, serão observados quais dentre os projetos realizados é rentável para aplicação, o que poderá despertar desejo de aplicação por parte da instituição.

Palavras chave: Sistema fotovoltaico; viabilidade; Sistema conectado à rede elétrica.

ABSTRACT

The being work presents as a way of elucidate importans characteristics about the study of viability to generation of electric energy at the block of class of UFERSA Caraúbas through a fotovoltaic system. The utilization of renewable sources of energy increase each year, for that, will be show many characteristics of renewable source provide coming the sun, the solar energy, besides guiding how to scale step by step a solar photovoltaic system. It's important jut that the work will bring observations to sizing viability or not seeing to the economic way. Because of this factor, will be observed arguments by the payback and VPL. Ultimately, through of studies about viability in diferent ways, will be observed which realized projects is viable to application, that wiil wake desire by the institution.

Keywords: Fotovoltaic system; Viability; System on grid.

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 – Mapa de irradiação direta normal.	21
Figura 2 – Efeito fotovoltaico em uma célula	23
Figura 3 – Silício monocristalino.	24
Figura 4 – Silício policristalino.	25
Figura 5 – Curvas I-V de células fotovoltaicas.	27
Figura 6 – Curvas I-V de duas células fotovoltaicas.	28
Figura 8 – Símbolo módulo fotovoltaico.	29
Figura 10 – Sistema híbrido eólico fotovoltaico.	31
Figura 11 – Símbolo elétrico inversor.	33
Figura 12 – Representação da UFERSA Caraúbas com local de pesquisa marcado em cor vermelha.	35
Figura 13 – Luminária FS – 840.	36
Figura 14 - Informações fabricante bebedouro.	39
Figura 15 - Coordenadas geográficas bloco de aulas	48
Figura 16 - Irradiação solar diária mensal.....	49
Figura 17 - Irradiação solar no plano inclinado.	49
Figura 18 - Inversor on-grid Fronius Symo 15.0-3-M.	59
Figura 19 - Sistema de compensação de energia elétrica.	60

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Relação da quantidade de lâmpadas de diferentes marcas e suas respectivas potências.	37
Tabela 2 – Quantidade de lâmpadas por cômodo e suas respectivas potências.	37
Tabela 3 – Relação da quantidade de centrais de ar LG e sua respectiva potência.....	38
Tabela 4 – Bebedouro IGLU e sua respectiva potência.	39
Tabela 5 – Consumo das centrais de ar por sala em cada turno durante a semana.	40
Tabela 6 – Consumo mensal por turno das centrais de ar.	41
Tabela 7 – Consumo elétrico mensal das centrais de ar.....	42
Tabela 8 – Consumo elétrico semanal lâmpadas.....	43
Tabela 9 – Consumo mensal por turno das lâmpadas.	44
Tabela 10 – Consumo elétrico mensal lâmpadas fluorescentes.	44
Tabela 11 – Consumo elétrico mensal bebedouro.....	45
Tabela 12 – Consumo elétrico mensal bloco de aulas 01.....	46
Tabela 13 – Percentuais perdas elétricas de Sistema fotovoltaico.	51
Tabela 14 – Características elétricas do inversor Fronius Symo 15.0-3-M.	59
Tabela 15 – Valor mensal do consumo ativo fora ponta.	61
Tabela 16 – Orçamento projeto de 50 painéis.....	62
Tabela 17 – Fluxo de Caixa.....	64

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	15
1.1 OBJETIVOS.....	16
1.1.1 Geral	16
1.1.2 Específicos	16
2. REFERENCIAL TEÓRICO.....	17
2.1 FORMAS DE APROVEITAMENTO DA ENERGIA SOLAR	17
2.1.2 Aproveitamento fotovoltaico	17
2.1.3 Aproveitamento heliotérmico	18
2.2 ENERGIA FOTOVOLTAICA NO BRASIL.....	19
2.3 EFEITO FOTOELÉTRICO	21
2.4 SEMICONDUTORES.....	22
2.5 CRISTAL SEMICONDUTOR.....	24
2.5.1 Silício monocristalino	24
2.5.2 Silício policristalino	25
2.5.3 Silício amorfo	25
2.6 PAINEL FOTOVOLTAICO	26
2.6.1 Circuito equivalente do painel fotovoltaico.....	26
2.6.2 Associação em série	26
2.6.3 Associação em paralelo	27
2.7 PARÂMETROS ELÉTRICOS DO PAINEL FOTOVOLTAICO.....	28
2.7.1 Curva i-v.....	28
2.7.2 Parâmetros elétricos.....	29

2.8	LEGISLAÇÃO E TIPOS DE CONEXÃO.	30
2.81	Sistemas isolados.....	30
2.82	Sistemas híbridos.....	31
2.83	Sistemas conectados a rede.....	32
2.9	EQUIPAMENTOS.....	32
2.91	Módulos fotovoltaicos.....	32
2.92	Inversores.....	33
2.93	Controlador de carga.....	33
2.94	Baterias.....	34
3	MATERIAL E MÉTODOS	35
3.1	CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	35
3.2	CARACTERIZAÇÃO DO BLOCO DE AULAS 01.....	36
3.2.1	Luminárias	36
3.2.2	Lâmpadas	36
3.2.3	Centrais de ar.....	38
3.2.4	Bebedouro	39
3.3	DESENVOLVIMENTO DA PESQUISA.....	40
3.3.1	Estimativa centrais de ar	40
3.3.2	Estimativa lâmpadas	42
3.3.3	Estimativa bebedouro	45
3.3.4	Estimativa total mensal.....	45
3.3.5	Estudo do uso de sistema fotovoltaico para geração fotovoltaica	46
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	48
4.1	ÍNDICES SOLARIMÉTRICOS DO LOCAL DE INSTAÇÃO	48
4.2	DIMENSIONAMENTOS FOTOVOLTAICOS	50

4.2.1	Painéis solares	50
4.2.2	Inversor solar	53
4.2.3	Controlador de carga	54
4.2.4	Banco de baterias.....	54
4.3	ANÁLISE DE DIMENSIONAMENTO PARA ALIMENTAÇÃO DAS LÂMPADAS	55
4.3.1	Painéis solares	55
4.3.2	Inversor solar	56
4.4	ANÁLISE DE DIMENSIONAMENTO CONECTADO À REDE	57
4.4.1	Painéis solares	57
4.4.2	Inversor solar	58
4.4.3	Medidor bidirecional.....	59
4.5	VIABILIDADE ECONÔMICA	60
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	65
6	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	66

1. INTRODUÇÃO

Por muito tempo, os combustíveis fósseis e as fontes não-renováveis foram os principais responsáveis para geração de energia da matriz energética. Contudo, devido à poluição ambiental gerada pela utilização destes, houve um crescimento significativo da utilização de energias renováveis. De acordo com o Ministério de Minas e Energia (MME), no ano de 2017, A predominância de fontes renováveis na matriz energética brasileira deve se manter estável, representando cerca de 43,8%.

Através da resolução 482/2012 da Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL que recentemente passou por atualização para 687/2015 torna-se possível a microgeração e minigeração distribuídas, favorecendo o consumidor comum de energia produzir sua própria energia através de fontes renováveis e gerar créditos de compensação, esses que servirão para abatimento às cobranças da concessionária de energia do estado.

No Brasil, segundo o Ministério de Minas e Energias (MME), até 2024, 700 mil consumidores residenciais e comerciais deverão ter instalado em seus telhados painéis fotovoltaicos. Espera-se ainda mais, de acordo com a Empresa de Pesquisa Energética (EPE), estima-se que em 2050, cerca de 13% do abastecimento das residências no país será de energia solar.

O Brasil está situado numa região com incidência mais vertical dos raios solares. Esta condição favorece elevados índices de irradiação em quase todo o território nacional. Adicionalmente, a proximidade à linha do equador faz com que haja pouca variação na incidência solar ao longo do ano. Dessa forma, mesmo no inverno pode haver bons níveis de irradiação. Essas condições conferem ao país algumas vantagens para o aproveitamento energético do recurso solar. (EPE, 2016).

Nesse sentido, o presente trabalho apresenta-se como forma de elucidar o estudo da viabilidade do uso de energia fotovoltaica para geração de energia elétrica em bloco de aula da Universidade Federal Rural do Semi-Árido – UFERSA campus Caraúbas.

1.1 **OBJETIVOS**

1.1.1 **Geral**

Realizar um estudo a respeito da viabilidade do uso de energia fotovoltaica para geração de energia elétrica em bloco de aula da Universidade Federal Rural do Semi Árido - UFERSA, Campus Caraúbas.

1.1.2 **Específicos**

Para atingir o objetivo geral, os seguintes objetivos específicos foram traçados:

- Estimar fatores que estão diretamente associados à implementação da energia solar fotovoltaica para a geração de energia;
- Promover através do levantamento de carga, uma avaliação, essencialmente a nível econômico, de um sistema fotovoltaico instalado em prédio da UFERSA.
- Impulsionar uma possível redução do orçamento do consumo de energia da UFERSA.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 FORMAS DE APROVEITAMENTO DA ENERGIA SOLAR

Desde o início do século XX, a humanidade passa por diversas transformações significativas no que diz respeito à produção agrícola, industrial e ao contingente populacional. Em virtude disso, trona-se crescente e necessário o uso de energia. Por conseguinte, as fontes renováveis destacam-se nesse cenário por serem fontes inesgotáveis de geração.

Existem duas formas principais de aproveitamento da energia solar, dentre essas, podemos citar: o aproveitamento fotovoltaico e o aproveitamento heliotérmico. No aproveitamento solar fotovoltaico, a radiação solar é convertida diretamente em eletricidade, caracterizada principalmente por um processo conhecido como efeito fotoelétrico. A energia solar fototérmica consiste na obtenção de eletricidade através do aquecimento de líquidos, geralmente a água, em plena pureza.

2.1.2 Aproveitamento fotovoltaico

A energia solar fotovoltaica é a energia obtida através da conversão direta da luz em eletricidade e tem como base o efeito fotovoltaico. O efeito fotovoltaico, relatado por Edmond Becquerel em 1839, é o aparecimento de uma diferença de potencial nos extremos de uma estrutura de material semicondutor, produzida pela absorção da luz. (EPE, 2016).

O efeito fotovoltaico decorre da excitação dos elétrons de alguns materiais na presença da luz solar (ou outras formas apropriadas de energia). Entre os materiais mais adequados para a conversão da radiação solar em energia elétrica, destaca-se o silício. A eficiência de conversão das células solares é medida pela proporção da radiação solar incidente sobre a superfície da célula que é convertida em energia elétrica. Atualmente, as melhores células apresentam um índice de eficiência de 25%. (GREEN et al., 2000).

Um dos fatores que impossibilitava a utilização da energia solar fotovoltaica em larga escala era o alto custo das células fotovoltaicas. As primeiras células foram produzidas com o custo de US\$600/W para o programa espacial. (CRESESB, 2008).

Com a crescente ampliação dos mercados referente à utilização de placas fotovoltaicas

por parte das empresas, o preço tem reduzido muito ao longo dos anos, podendo ser encontrado hoje, para grandes escalas, um custo médio de até US\$ 3,60/W. (PORTAL SOLAR, 2016).

2.1.3 Aproveitamento heliotérmico¹

Ao contrário da geração fotovoltaica, na heliotérmica a energia solar é convertida primeiramente em energia térmica, para depois ser convertida em eletricidade. O primeiro passo, portanto, consiste na utilização de espelhos para concentrar a irradiação direta solar (HDIR) em um ponto focal, onde está um receptor por onde passa um fluido absorvedor (óleos sintéticos, sal fundido ou vapor d'água). Posteriormente, os fluidos aquecidos são expandidos diretamente através da turbina (no caso do fluido de transferência de calor ser igual ao fluido de trabalho da turbina), ou aquecem outro fluido que irá ser expandido (MIT, 2015). Nesse ponto, o processo já é bastante similar ao de uma termelétrica convencional que utiliza um conjunto turbina-gerador.

A existência de uma etapa térmica no processo de geração confere duas possibilidades às plantas heliotérmicas: 1) a incorporação de uma unidade de armazenamento térmico (sal fundido, por exemplo), alternativa já comercialmente disponível há anos, ao contrário do armazenamento elétrico; 2) a hibridização com uma fonte auxiliar de calor, como biomassa, por exemplo. Essas possibilidades permitem estender o funcionamento da planta a períodos noturnos, e/ou complementar a geração em momentos de baixa irradiação solar, conferindo assim maior despachabilidade à energia solar heliotérmica.

Como as temperaturas atingidas atualmente através das plantas heliotérmicas são menores que as praticadas em plantas modernas a carvão ou a gás natural, a eficiência calor-eletricidade de uma heliotérmica é menor que das plantas termelétricas convencionais. Como exemplo, numa heliotérmica típica, 42% da energia solar incidente é transferida como calor ao fluido. Posteriormente, no ciclo Rankine, 40% da energia térmica é transformada em eletricidade, fazendo com que ultimamente somente cerca de 16% da energia solar incidente seja transformada

¹ Trecho meramente ilustrativo retirado da obra: Tolmasquim, Mauricio Tiomno. Energia Renovável: Hidráulica, Biomassa, Eólica, Solar, Oceânica / Mauricio Tiomno Tolmasquim (coord.). – EPE: Rio de Janeiro, 2016. Disponível em: <<http://www.epe.gov.br/Documents/Energia%20Renov%C3%A1vel%20%20Online%2016maio2016.pdf>>. Acesso em: 27 out. 2017.

efetivamente em eletricidade (MIT, 2015).

2.2 ENERGIA FOTOVOLTAICA NO BRASIL

O aproveitamento fotovoltaico no Brasil foi impulsionado a partir do ano de 1952 no Centro de Mecânica Aplicada, do Ministério do Trabalho, Indústria e Comércio que por ocasião acontecia o X Congresso Brasileiro de Química, onde Dr. Teodoro Oniga promoveu à ideia para que fosse utilizada a energia solar no Brasil para geração de energia elétrica. (Benedito, R. da S., 2010).

No que se refere à indústria nacional, somente no final da década de 70, através da empresa de telecomunicações, Fone-Mat, começa a produzir módulos a partir de células importadas da empresa Soralex, sediada nos Estados Unidos. Essa empresa passou a produzir os componentes periféricos necessários, como: Controladores de carga, solarímetros e outros dispositivos. (Guimarães Vieira Ribeiro, Uirê., 2012).

É válido ressaltar que atualmente já há vários projetos para o aproveitamento da energia solar no Brasil. Além do apoio técnico, científico e financeiro recebido de diversos órgãos e instituições brasileiras (MME, Eletrobrás/CEPEL e universidades), esses projetos têm tido o suporte de organismos internacionais, particularmente da Agência Alemã de Cooperação Técnica – GTZ e do laboratório de Energia Renovável dos Estados Unidos (National Renewable Energy Laboratory) – NREL/DOE. (ANEEL, 2000).

Além dos projetos existentes que corroboram diretamente com o incentivo a geração de energia elétrica através do aproveitamento solar, existe uma série de incentivos que favorecem significativamente a geração de energia elétrica. Dentre esses, podemos citar alguns. (MME, 2016)

Isenção de IPI - De acordo com o Decreto nº 7.212, de 15/06/2010, são imunes à incidência do Imposto sobre Produtos Industrializados, a energia elétrica, derivados de petróleo, combustíveis e minerais.

Isenção de ICMS - Pelo Convênio ICMS 101/97, celebrado entre as secretarias de

Fazenda de todos os estados, há isenção do imposto Sobre Circulação de Mercadorias (ICMS) para as operações com equipamentos e componentes para o aproveitamento das energias solar e eólica, válido até 31/12/2021.

Desconto na TUST/TUSD - A RN ANEEL 481/2012, ampliou para 80% o desconto na tarifa de uso do sistema de transmissão/distribuição (TUST/TUSD) para empreendimentos com potência inferior a 30 MW.

Redução do Imposto de Importação – A Resolução CAMEX 64, de 22/08/2015, reduz de 14% para 2%, a alíquota incidente sobre bens de capital destinados à produção de equipamentos de geração solar fotovoltaica, vigente até 31/12/2016.

Apoio BNDES: pela Lei 13.203, de 8/12/2015, o Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social, foi autorizado a financiar, com taxas diferenciadas, os projetos de geração distribuída em hospitais e escolas públicas.

Plano Inova Energia – Fundo de R\$ 3 bilhões, criado em 2013, pelo BNDES, Financiadora de Estudos e Projetos (FINEP) e ANEEL, com foco na empresa privada e com o objetivo de pesquisa e inovação tecnológica nas áreas de: redes inteligentes de energia elétrica, linhas de transmissão de longa distância em alta tensão; energias alternativas, como a solar; e eficiência de veículos elétricos.

O Plano Decenal de Expansão de Energia – PDE 2024 estima que a capacidade instalada de geração solar chegue a 8.300 MW em 2024, sendo 7.000 MW de geração centralizada e 1.300 MW de geração distribuída. A proporção da geração solar chegará a 1% da total.

Outro fator relevante a respeito da utilização da energia solar é abordado por Pereira *et al.*(2006), onde afirma que a média anual de irradiação solar global apresenta boa uniformidade no Brasil, com médias relativamente altas em todo o território. Vale lembrar que esses valores de irradiação brasileira são bem superiores quando em comparados aos países europeus (1500-2500Wh/m²), como Alemanha(900-1250Wh/m²), França(900-1650Wh/m²) e entre outros.

Através da figura 3, será apresentado os níveis de irradiação solar direta normal diária média anual.

Figura 1 – Mapa de irradiação direta normal.



Fonte: EPE, 2016.

2.3 EFEITO FOTOELÉTRICO

Einstein desenvolveu, em 1905, uma teoria muito simples e revolucionária para explicar o efeito fotoelétrico. De acordo com sua teoria, um quantum de luz transfere toda a sua energia a um único elétron, independentemente da existência de outros quanta de luz. Tendo em conta que

um elétron ejetado do interior do corpo perde energia até atingir a superfície, Einstein propôs a seguinte equação, que relaciona a energia do elétron ejetado (E) na superfície, à frequência da luz incidente (n) e à função trabalho do metal (f), que é a energia necessária para escapar do material. (C.A. dos Santos, 2002).

Para Einstein, o efeito fotoelétrico faz com que alguns materiais absorvam fótons de luz e liberem elétrons. Quando estes elétrons livres são capturados, é gerada uma corrente elétrica que pode ser utilizada como energia.

Mediante a esse fator a respeito dessas propriedades atômicas, tornou-se mais ainda impulsivo a utilização da luz para geração de eletricidade, já que através dessa movimentação de elétrons através dos materiais que em grande maioria são metálicos, uma corrente elétrica é gerada. No caso real da implementação da energia solar, os materiais utilizados que possibilitam esse fluxo de elétrons, são os semicondutores.

2.4 SEMICONDUTORES²

Semicondutores são caracterizados pela presença de bandas de energia onde é permitida a presença de elétrons (bandas de valência e bandas de condução) e de outra totalmente vazia (banda proibida ou gap). À temperatura de 0 K, a banda de valência em semicondutores é totalmente preenchida, enquanto a banda de condução se encontra vazia. Já à temperatura ambiente, há energia necessária para que alguns elétrons atravessem o gap e passem para a banda de condução. Entretanto, essa quantidade de elétrons é pequena, sendo necessário realizar o processo conhecido como dopagem para utilização do semicondutor na produção de energia elétrica. (EPE, 2016).

O semicondutor mais usado é o silício, abundante na crosta terrestre. Seus átomos se caracterizam por possuírem quatro elétrons que se ligam aos vizinhos, formando uma rede cristalina. Ao se adicionar átomos com cinco elétrons de ligação, como o fósforo, por exemplo,

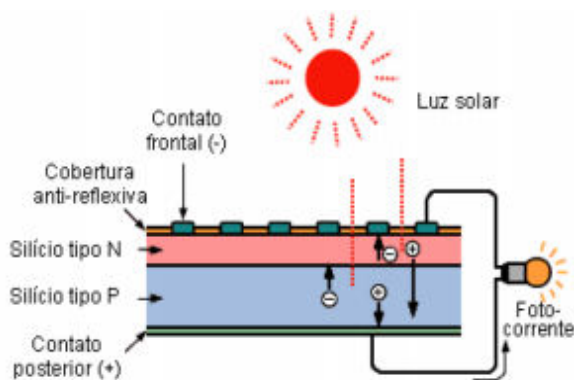
² Trecho meramente ilustrativo retirado da obra: Tolmasquim, Mauricio Tiomno. Energia Renovável: Hidráulica, Biomassa, Eólica, Solar, Oceânica / Mauricio Tiomno Tolmasquim (coord.). – EPE: Rio de Janeiro, 2016. Disponível em: <<http://www.epe.gov.br/Documents/Energia%20Renov%C3%A1vel%20Online%2016maio2016.pdf>>. Acesso em: 27 out. 2017.

haverá um elétron em excesso, que não poderá ser emparelhado e ficará "sobrando", fracamente ligado a seu átomo de origem. Isto permite que, com pouca energia, este elétron seja liberado, indo para a banda de condução. Diz-se assim, que o fósforo é um “dopante” doador de elétrons e denomina-se dopante n ou impureza n.

Se, por outro lado, são introduzidos átomos com apenas três elétrons de ligação, como é o caso do boro, “faltarão” um elétron para satisfazer as ligações com os átomos de silício da rede. Esta falta é denominada “buraco” ou “lacuna”. Da mesma forma, é demandada pouca energia para que um elétron de um sítio vizinho possa ocupar esta posição, fazendo com que o “buraco” se desloque. Diz-se, assim, que o boro é um “aceitador de elétrons” ou um dopante p.

Se, partindo de um silício puro, forem introduzidos átomos de boro em uma metade e de fósforo na outra, será formado o que se chama junção pn. O que ocorre nesta junção é que elétrons livres do lado n passam ao lado p onde se encontram os “buracos” a serem ocupados; isto faz com que haja um acúmulo de elétrons próximo à interface, no lado p, tornando essa região negativamente carregada, e uma redução de elétrons na região da interface do lado n, o que o torna essa parcela eletricamente positiva. Essas cargas aprisionadas dão origem a um campo elétrico permanente que dificulta a passagem de mais elétrons do lado n para o lado p; este processo alcança um equilíbrio quando o campo elétrico forma uma barreira capaz de barrar a movimentação dos elétrons livres remanescentes no lado n. A figura 2 ilustra o efeito fotovoltaico em uma célula composta de silício.

Figura 2 – Efeito fotovoltaico em uma célula



Fonte: Adaptado de (ZILLES et al., 2012).

2.5 CRISTAL SEMICONDUTOR

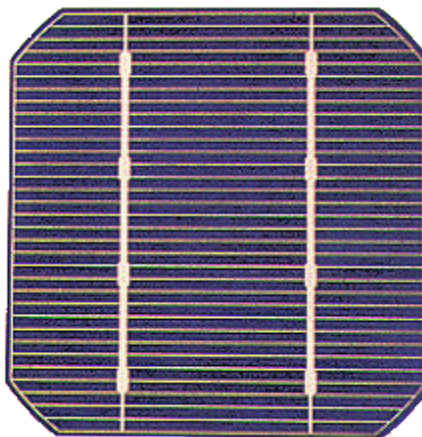
As células fotovoltaicas são fabricadas, em sua grande maioria, por sua vez, utilizando o silício (Si) e podendo ser constituída de cristais monocristalinos, policristalinos ou de silício amorfo. (CRESESB, 2008).

2.5.1 Silício monocristalino

A célula de silício monocristalino é a mais utilizada e comercializada como conversor direto de energia solar em eletricidade. A fabricação dessa célula começa com a extração do cristal de dióxido de silício. Este material é desoxidado em grandes fornos, purificado e solidificado. Este processo atinge um grau de pureza em 98 e 99% o que é razoavelmente eficiente sob o ponto de vista energético e custo. (CRESESB, 2008).

Dentre as células fotovoltaicas que utilizam o silício como material base, as monocristalinas apresentam a maior eficiência. Atingindo eficiência de até 15%, podendo chegar em 18% em células feitas em laboratórios. (CRESESB, 2008). A figura 3 mostra a estrutura de uma célula monocristalina.

Figura 3 – Silício monocristalino.



Fonte: CRESESB, 2008.

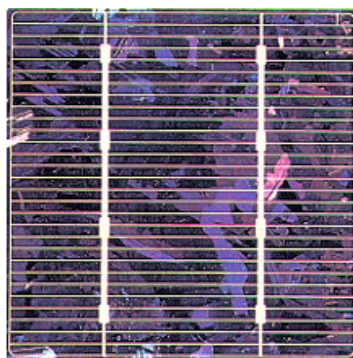
2.5.2 Silício policristalino

As células de silício policristalino são mais baratas que as de silício monocristalino por exigirem um processo de preparação menos rigoroso. (CRESESB, 2008).

O processo de pureza do silício utilizada na produção das células de silício policristalino é similar ao processo do Si monocristalino, o que permite obtenção de níveis de eficiência compatíveis. (CRESESB, 2008).

Podem ser preparadas pelo corte de um lingote, de fitas ou depositando um filme num substrato, tanto por transporte de vapor como por imersão. Cada técnica produz cristais com características específicas, incluindo tamanho, morfologia e concentração de impurezas. Ao longo dos anos, o processo de fabricação tem alcançado eficiência máxima de 12,5% em escalas industriais. (CRESESB, 2008). A figura 4 mostra a estrutura de uma célula policristalina.

Figura 4 – Silício policristalino.



Fonte: CRESESB, 2008.

2.5.3 Silício amorfo

Uma célula de silício amorfo difere das demais estruturas cristalinas por apresentar alto grau de desordem na estrutura dos átomos. A utilização de silício amorfo para uso em fotocélulas tem mostrado grandes vantagens tanto nas propriedades elétricas quanto no processo de fabricação. (CRESESB, 2008).

Por apresentar uma absorção da radiação solar na faixa do visível e podendo ser fabricado mediante deposição de diversos tipos de substratos, o silício amorfo vem se mostrando uma forte tecnologia para sistemas fotovoltaicos de baixo custo. (CRESESB, 2008).

Mesmo apresentando um custo reduzido na produção, o uso de silício amorfo apresenta duas desvantagens: a primeira é a baixa eficiência de conversão comparada às células mono e policristalinas de silício; em segundo, as células são afetadas por um processo de degradação logo nos primeiros meses de operação, reduzindo assim a eficiência ao longo da vida útil. (CRESESB, 2008).

Por outro lado, o silício amorfo apresenta vantagens que compensam as deficiências acima citados, são elas: (CRESESB, 2008).

- Processo de fabricação relativamente simples e barato;
- Possibilidade de fabricação de células com grandes áreas;
- Baixo consumo de energia na produção.

2.6 PAINEL FOTOVOLTAICO

2.6.1 Circuito equivalente do painel fotovoltaico

É válido ressaltar que os dispositivos fotovoltaicos podem ser associados em série e/ou em paralelo, de forma a se obter os níveis de corrente e tensão desejados. Esses dispositivos podem ser células, módulos ou arranjos fotovoltaicos. Os arranjos são constituídos por um conjunto de módulos associados eletricamente em série e/ou paralelo, com o objetivo principal de fornecer uma saída única de tensão e corrente. (GTES, 2014).

2.6.2 Associação em série

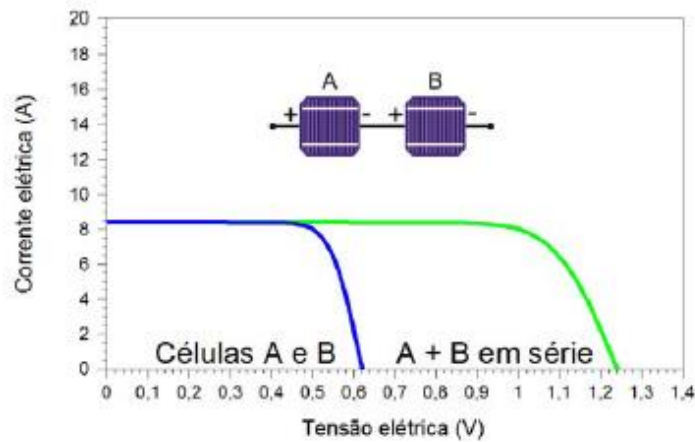
Nessa associação, o terminal positivo de um dispositivo fotovoltaico é conectado ao terminal negativo de outro dispositivo, e assim por diante. Para dispositivos idênticos e submetidos à mesma irradiância, quando a ligação é em série, as tensões são somadas e a corrente elétrica não é afetada. Logo, temos que: (GTES, 2014).

$$V = V_1 + V_2 + \dots + V_n \quad (1)$$

$$I = I_1 = I_2 = \dots = I_n \quad (2)$$

Se os dispositivos são idênticos e encontram-se sob as mesmas condições de irradiância e temperatura, então, as correntes elétricas individuais são iguais. É válido ressaltar que os mesmos dispositivos associados em série, mas com correntes diferentes de curto circuito, a corrente elétrica de associação apresentará limitações pela menor corrente. O mais usual é a utilização de associação de módulos com correntes iguais, pois o inverso pode causar superaquecimento. Através da figura 5, o resultado em série é apresentado. (GTES, 2014).

Figura 5 – Curvas I-V de células fotovoltaicas.



Fonte: GTES, 2014.

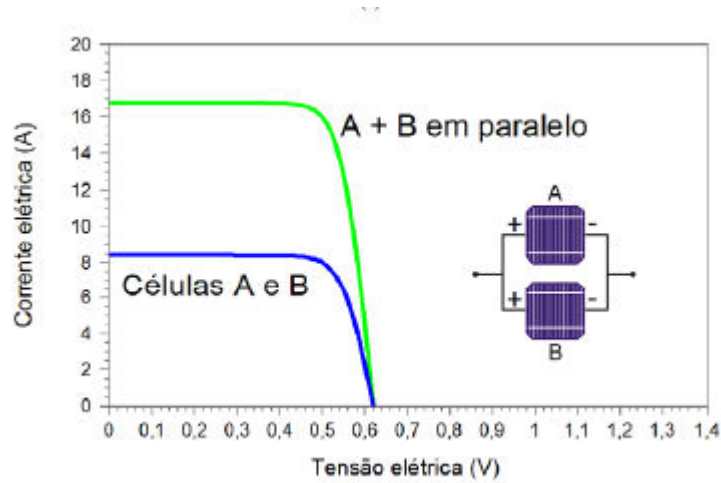
2.6.3 Associação em paralelo

Na conexão em paralelo, os terminais positivos dos dispositivos são interligados entre si, assim como os terminais negativos. Através da figura 6, será apresentado o resultado da soma das correntes elétricas em células ideais conectadas em paralelo. As correntes elétricas são somadas, permanecendo inalterada a tensão. (GTES, 2014).

$$I = I_1 + I_2 + \dots + I_n \quad (3)$$

$$V = V_1 = V_2 = \dots = V_n \quad (4)$$

Figura 6 – Curvas I-V de duas células fotovoltaicas.



Fonte: GTES, 2014.

2.7 PARÂMETROS ELÉTRICOS DO PAINEL FOTOVOLTAICO.

2.7.1 Curva i-v

A corrente elétrica em uma célula fotovoltaica pode ser considerada como a soma da corrente de uma junção pn no escuro (diodo semiconductor) com a corrente gerada pelos fótons absorvidos da radiação solar. Esta corrente em função da tensão no dispositivo, denominada de curva característica, pode ser descrita pela seguinte Equação de Shockley, do diodo ideal: (GTES, 2014).

$$I = I_L - I_0 \left[\exp\left(\frac{qV}{nKT}\right) - 1 \right] \quad (5)$$

Onde:

I_L – corrente fotogerada (A);

I_0 – corrente de saturação reversa do diodo (A);

n – fator de idealidade do diodo, geralmente entre 1 e 2.;

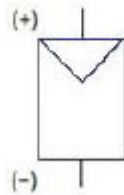
q – carga do elétron ($1,6 \times 10^{-19}\text{C}$);

k – constante de Boltzmann ($1,38 \times 10^{-23} \text{ J/K}$);

É válido lembrar que em ambientes escuros, onde não existe atribuição para corrente fotogerada ($I_L = 0$), a célula fotovoltaica ira comportar-se como um diodo.

Segundo a norma NBR10899, o módulo fotovoltaico é uma unidade básica formada por um conjunto de células fotovoltaicas, interligadas eletricamente e encapsuladas, com o objetivo de gerar energia elétrica. A figura 8 trata-se de uma ilustração do símbolo do modelo fotovoltaico.

Figura 7 – Símbolo módulo fotovoltaico.



Fonte: (GTES, 2014).

2.7.2 Parâmetros elétricos.

Alguns parâmetros elétricos são de extrema valia quando é necessário caracterizar as células ou módulos fotovoltaicos. Dentre esses parâmetros, é importante ressaltar: A tensão de circuito aberto, corrente de curto-circuito, fator de forma e eficiência.

Tensão de circuito aberto (V_{oc}): é a tensão entre os terminais de uma célula quando há corrente elétrica circulando e é a máxima tensão que uma célula fotovoltaica pode produzir. Pode ser averiguada diretamente com um voltímetro nos terminais do módulo. V_{oc} depende da corrente de saturação (I_0) da corrente elétrica fotogerada (I_L) e da temperatura, de acordo com a equação

abaixo, que deriva da equação de Schockley, ilustrada abaixo. (GTES, 2014).

$$V_{oc} = \frac{kT}{q} \ln \left(\frac{I_L}{I_0} + 1 \right) \quad (6)$$

Por depender da corrente de saturação (I_0), V_{oc} está relacionada com a recombinação dos portadores de carga minoritários do dispositivo. O valor de V_{oc} varia conforme a tecnologia utilizada nas células: c-Si (0,5V – 0,7V), CdTe (0,857V), a-Si(0,886V). (GTES, 2014).

Corrente de curto-circuito (I_{sc}): é a máxima corrente que se pode obter e é obtida quando a tensão elétrica nos terminais da célula é igual à zero. Pode ser medida com um amperímetro curto-circuitando os terminais do módulo. (GTES, 2014).

Fator de forma (FF): é a razão entre a máxima potência da célula e produto da corrente de curto circuito com a tensão de circuito aberto. (GTES, 2014). Através da equação abaixo pode ser obtido o fator de forma.

$$FF = \frac{V_{MP} I_{MP}}{V_{oc} I_{sc}} \quad (7)$$

Por fim, determina-se eficiência(η), como o parâmetro que define quão efetivo é o processo de conversão de energia solar em energia elétrica. Representa por sua vez, a relação entre a potência elétrica produzida pela célula fotovoltaica e a potencia de energia solar incidente. (GTES, 2014).

2.8 LEGISLAÇÃO E TIPOS DE CONEXÃO.

Os sistemas fotovoltaicos são classificados mediante a forma da geração e utilização da energia elétrica. Por sua vez, são caracterizados por sistemas isolados e conectados a rede.

2.8.1 Sistemas isolados.

Basicamente, um sistema isolado é aquele que não contata com a rede de distribuição de

eletricidade das concessionárias. Além disso, é válido ressaltar que esses sistemas podem ser classificados como híbridos ou autônomos. (Bluesol, 2016).

Os sistemas isolados foram regulamentados inicialmente pela Resolução Aneel N° 83/2004, porém novamente é publicada uma resolução por parte da Aneel, em junho de 2012 a de N° 493/2012, que substitui a anterior e estabelece os procedimentos e as condições de fornecimento por meio de Microsistema Isolado de Geração e Distribuição de Energia Elétrica (MIGDI), além do Sistema Individual de Geração de Energia Elétrica com Fontes Intermitentes (SIGFI).

2.82 Sistemas híbridos.

Um sistema fotovoltaico híbrido é aquele que trabalha em conjunto com outro sistema de geração elétrica, que pode ser um aerogerador (no caso de um sistema híbrido solar-eólico), um moto-gerador a combustível líquido, ou qualquer outro sistema de geração elétrica. (BLUE SOL, 2016).

Através da figura 10 logo a baixo, pode ser visualizado um exemplo de sistema híbrido eólico fotovoltaico.

Figura 8 – Sistema híbrido eólico fotovoltaico.



Fonte: BLUE SOL, 2016.

De modo geral, utilizam-se sistemas híbridos para o atendimento a cargas em corrente alternada (c.a.) necessitando, portanto, de um inversor. (GTES, 2014).

2.83 Sistemas conectados a rede.

Os sistemas conectados a rede são aqueles que a potência produzida pelo gerador fotovoltaico é entregue diretamente a rede elétrica. Para tanto, é indispensável que se utilize um inversor que satisfaça as exigências de qualidade e segurança, para que não comprometa de maneira ruim a qualidade do sistema elétrico ao qual se interliga o gerar fotovoltaico. (GTES, 2014).

Os Sistemas Fotovoltaicos Conectados a Rede (SFCR) foram incluídos na regulamentação proposta pela Aneel, através da resolução 482 de abril de 2012.

Os elementos necessários para o devido funcionamento dos SFCR são:

- Módulo fotovoltaicos;
- Controlador de carga;
- Banco de baterias;
- Inversor de frequência

2.9 EQUIPAMENTOS.

É válido ressaltar que através da combinação de determinados componentes eletrônicos, de armazenamento, proteção e equipamentos para gerar energia elétrica através da energia solar, conseguimos determinar um sistema fotovoltaico. Basicamente, um sistema fotovoltaico é constituído de alguns componentes básicos, tais quais: As células fotovoltaicas, controladores de carga, inversores e baterias.

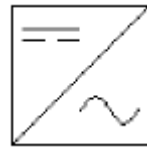
2.91 Módulos fotovoltaicos.

É válido ressaltar que em relação aos módulos fotovoltaicos, é essencial se atentar as curvas características das células para um correto dimensionamento de sistemas fotovoltaicos. Geralmente, as curvas são fornecidas pelos fabricantes no datasheet dos produtos. (MIRANDA, Arthur Biagio Canedo Montesano, 2014).

2.92 Inversores.

O símbolo elétrico do inversor poderá ser visualizado através da figura 11 a seguir:

Figura 9 – Símbolo elétrico inversor.



Fonte: MIRANDA, Arthur Biagio Canedo Montesano, 2014.

O inversor converte a saída variável em DC do painel fotovoltaico em uma senoide de 60Hz ou 50Hz, dependendo do sistema elétrico do local. (MIRANDA, Arthur Biagio Canedo Montesano, 2014).

Os inversores do mercado, em sua maioria, possuem capacidade de comunicação com os usuários, de forma que o usuário possa monitorá-lo e obter relatórios sobre as condições de funcionamento, fornecer atualizações de firmware e controlar a ligação à rede. Dependendo do modelo, os protocolos de conexões de rede com fio são o RS-485, CAN ou Ethernet; sem fio Bluetooth, ZigBee /IEEE802.15.4 ou 6LoWPAN. (MIRANDA, Arthur Biagio Canedo Montesano, 2014).

2.93 Controlador de carga.

O controlador maximiza a potência de saída do módulo fotovoltaico através de algoritmos que servem para rastreamento do ponto de máxima potência (MPPT). A potência máxima de saída do painel fotovoltaico é dependente das condições de funcionamento, e varia de momento a momento, devido à temperatura, sombreamento, cobertura de nuvens, e hora do dia. Rastrear e ajustar para este ponto de máxima potência é um processo contínuo. (MIRANDA, Arthur Biagio Canedo Montesano, 2014).

2.94 Baterias.

Em sistemas fotovoltaicos isolados na rede elétrica, as baterias são essencialmente utilizadas, pois apresentam características de armazenamento de energia. Faz-se necessário o uso para atender a demanda em períodos nos quais geração é nula ou insuficiente (à noite ou em dias chuvosos ou nublados, com baixos níveis de irradiância solar). (GTES, 2014).

As baterias podem ser classificadas, dependendo do tipo de célula que as compõem, em recarregáveis e não recarregáveis. Existem dois tipos básicos de células: primárias e secundárias. (GTES, 2014).

As células primárias compõem as baterias que podem ser utilizadas apenas uma vez (não recarregáveis). Quando as células primárias descarregam-se completamente, sua vida útil se encerra e elas devem ser descartadas. É possível encontrar baterias compostas por células primárias que admitem recargas leves, aumentando sua vida útil. (GTES, 2014).

As células secundárias compõem as baterias recarregáveis, ou seja, aquelas que podem ser carregadas com o auxílio de uma fonte de tensão ou corrente, e reutilizadas várias vezes. (GTES, 2014).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

O estudo foi realizado para contemplar possível utilização de sistema fotovoltaico no bloco de salas 01 da Universidade Federal Rural do Semi - árido – UFERSA, no campus de Caraúbas - RN. Caraúbas está localizada na microrregião da Chapada do Apodi, no oeste potiguar, a 77 Km de Mossoró e a 300 Km da capital do estado, Natal. De acordo com o censo de 2010 do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística-IBGE, Caraúbas apresenta uma população de 19.576 habitantes, área territorial de 1133 quilômetros quadrados. A figura 12 apresenta uma imagem retirada UFERSA Caraúbas, que representa através de uma marcação na cor vermelha, o bloco de sala de aulas 01.

Figura 10 – Representação da UFERSA Caraúbas com local de pesquisa marcado em cor vermelha.



Fonte: UFERSA, 2017.

3.2 CARACTERIZAÇÃO DO BLOCO DE AULAS 01

O tópico relaciona-se com os dados referentes à potência instalada do bloco de aula 01 da Universidade Federal Rural do Semi Árido - UFERSA, Campus Caraúbas. Esse bloco é constituído de dez salas de aula, quatro banheiros e um almoxarifado.

Foi averiguado em cada sala do bloco, a quantidade de lâmpadas, os tipos e as suas respectivas potências, assim como se observou a potência das centrais de ar no interior de cada uma delas, a quantidade de lâmpadas nos corredores com suas respectivas potências e a potência do bebedouro.

3.2.1 Luminárias

As luminárias presentes no bloco são do tipo FS-840, e podem ser utilizadas com lâmpadas T8, T10 e T12.

Figura 11 – Luminária FS – 840.



Fonte: Intral, 2014.

3.2.2 Lâmpadas

As lâmpadas instaladas no bloco são fluorescentes do modelo T8 e apresentam modelo tubular. As marcas são Osram, Phillips e Starlight. Algumas apresentam potência de 32 w e

outras 40 w.

A tabela 1 apresenta as quantidades de lâmpadas de diferentes marcas e suas respectivas potências.

Tabela 1 – Relação da quantidade de lâmpadas de diferentes marcas e suas respectivas potências.

LÂMPADAS FLUORESCENTES		
Marca	Potência	Quantidade
OSRAM	32 W	204
	40 W	66
PHILLIPS	40 W	22
STARLIGHT	40 W	6

Fonte: Autoria própria.

Nesse contexto, torna-se necessário a elaboração precisa da tabela 2 para identificar separadamente a potência instalada das lâmpadas de cada sala de aula, dos banheiros e corredores.

Tabela 2 – Quantidade de lâmpadas por cômodo e suas respectivas potências.

CÔMODO	Quantidade de 32 W	Quantidade de 40W	Potência total
Sala 01	24	N/A	768W
Sala 02	22	2	784W
Sala 03	16	8	832W
Sala 04	24	N/A	768W
Sala 05	24	N/A	768W
Sala 06	12	12	864W
Sala 07	12	12	864W
Sala 08	22	2	784W
Sala 09	24	N/A	768W

Sala 10	22	2	784W
Corredor	0	34	1360W
Banheiro masculino	4	8	448W
Banheiro feminino	0	12	480W
TOTAL	206	92	10,272KW

Fonte: Autoria própria.

3.2.3 Centrais de ar

Em cada sala de aula possui duas centrais de ar da marca LG, desse modo, como o bloco apresenta dez salas, existe um total de 20 no bloco. As informações pertinentes sobre o produto inclusive a potência nominal, poderá ser visualizada através da tabela 03.

Tabela 3 – Relação da quantidade de centrais de ar LG e sua respectiva potência

CENTRAIS DE AR			
Marca	Potência nominal	Quantidade	Potência total
LG	3290 W	20	65,8KW

Fonte: Autoria própria.

3.2.4 Bebedouro

O bloco apresenta um único bebedouro. As informações pertinentes do fabricante podem ser visualizadas através da figura 14.

Figura 12 - Informações fabricante bebedouro.



Fonte: Autoria própria.

A tabela 04 servirá para representar informações pertinentes do bebedouro do bloco, informações estas, provenientes da figura 14.

Tabela 4 – Bebedouro IGLU e sua respectiva potência.

BEBEDOURO		
Marca	Potência	Quantidade
IGLU	210 W	1

Fonte: Próprio autor.

3.3 DESENVOLVIMENTO DA PESQUISA

A pesquisa será caracterizada através de estimativas de consumo mensal através dos horários de aula expostos nos corredores correspondentes ao período 2017.1. Portanto, os cômodos do bloco foram analisados separadamente e a estimativa corresponderá ao consumo das centrais de ar, lâmpadas e bebedouro.

3.3.1 Estimativa centrais de ar

Através da tabela 5, poderemos ter uma estimativa das horas de consumo das centrais de ar nos três turnos do dia durante a semana de aula.

Tabela 5 – Consumo das centrais de ar por sala em cada turno durante a semana.

TURNO	MANHÃ	TARDE	NOITE
Cômodo	Horas de consumo	Horas de consumo	Horas de consumo
Sala 01	1 hora e 50 minutos	11 horas	14 horas e 40 minutos
Sala 02	3 horas e 40 minutos	3 horas e 40 minutos	14 horas e 40 minutos
Sala 03	5 horas e 30 minutos	5 horas e 30 minutos	11 horas
Sala 04	14 horas e 40 minutos	12 horas e 50 minutos	14 horas e 40 minutos
Sala 05	14 horas e 40 minutos	14 horas e 40 minutos	14 horas e 40 minutos
Sala 06	16 horas e 30 minutos	12 horas e 50 minutos	12 horas e 50 minutos
Sala 07	11 horas	14 horas e 40 minutos	14 horas e 40 minutos
Sala 08	7 horas e 20 minutos	11 horas	14 horas e 40 minutos
Sala 09	14 horas e 40 minutos	9 horas e 10 minutos	18 horas e 20 minutos
Sala 10	5 horas e 30 minutos	5 horas e 30 minutos	16 horas e 30 minutos
TOTAL	95 horas e 20 minutos	101 horas	146 horas e 40 minutos

Fonte: Autoria própria.

É válido ressaltar que as horas de consumo foram perceptíveis através da exposição dos horários de aula no mural do bloco de aulas estudado, onde é exibido todos os horários em que

está tendo aula, assim como os horários livres. Através disso, e por saber que independente do turno da aula, as centrais estarão sempre ligadas, foi feito uma soma de todos os horários correspondentes de aula para obtermos uma especulação das horas de consumo.

Em conformidade com o tempo de consumo semanal para cada sala, a tabela 6 foi elaborada para apresentar dados mensais da estimativa de consumo nos três turnos possíveis, além de expor os dados do consumo total mensal das centrais de ar nas salas de aula, dados estes que poderão servir como base para o dimensionamento fotovoltaico. A tabela 6 poderá ser visualizada logo abaixo.

Tabela 6 – Consumo mensal por turno das centrais de ar.

TURNO	MANHÃ	TARDE	NOITE	TOTAL
Mês	Horas de consumo	Horas de consumo	Horas de consumo	Horas de consumo
JULHO	392 horas e 20 minutos	429 horas e 40 minutos	610 horas e 30 minutos	1432 horas e 30 minutos
AGOSTO	443 horas e 20 minutos	459 horas	672 horas e 10 minutos	1574 horas e 30 minutos
SETEMBRO	394 horas e 10 minutos	418 horas e 40 minutos	616 horas	1428 horas e 50 minutos
OUTUBRO	416 horas e 10 minutos	453 horas e 30 minutos	646 horas e 30 minutos	1516 horas e 10 minutos

Fonte: Autoria própria.

Para elaboração da tabela 6, foram levados em consideração alguns fatores relevantes de cada mês. Os meses estudados apresentam 30 ou 31 dias, sendo caracterizados por meses que apresentam quatro semanas e alguns dias úteis diferentes. Sabendo disso, a tabela de consumo mensal respeitou essas considerações e foram acrescidas as horas de consumo daquele respectivo dia útil.

Através dos dados apresentados na tabela 3, torna-se possível identificar a potência equivalente das centrais de ar presente em cada sala de aula. A potência de uma única central é de 3290 W, como já abordado, existem 10 salas de aula e cada sala apresenta duas centrais, portanto, totaliza-se 20 centrais de ar. Com isso, a potência instalada nominal total das centrais de ar,

totaliza um valor de 65,8 KW. É válido ressaltar que nas estimativas de consumo foi considerado a potência nominal fornecida pelo fabricante, mas é válido mencionar que para o caso das centrais de ar, o valor da potência pode variar dependendo da aplicação. Baseado nesse valor e o das horas de consumo mensal poderá ser apresentado através da tabela 7, o consumo elétrico mensal por parte das centrais de ar. A tabela 7 poderá ser visualizada em seguida.

Tabela 7 – Consumo elétrico mensal das centrais de ar.

MÊS	HORAS DE CONSUMO	POTÊNCIA INSTALADA	CONSUMO ELÉTRICO MENSAL
JULHO	1432 horas e 30 minutos	65,8 KW	94.258.500 Wh
AGOSTO	1574 horas e 30 minutos	65,8 KW	103.602.100 Wh
SETEMBRO	1428 horas e 50 minutos	65,8 KW	94.017.233 Wh
OUTUBRO	1516 horas e 10 minutos	65,8 KW	99.763.767 Wh

Fonte: Autoria própria.

Além das horas efetivas de consumo das centrais de ar, torna-se necessário a mesma abordagem para as lâmpadas fluorescentes presentes nas salas de aula, corredores e banheiros.

3.3.2 Estimativa lâmpadas

Diferentemente do caso das centrais de ar, que independente do turno, estarão sempre ligados, as lâmpadas necessitam de considerações especiais, pois no turno diurno, parte dos docentes não as ligam. Sabendo disso, foi elaborada a tabela 8 considerando uma margem de 50% para horas de consumo das demais salas durante a semana.

No caso dos corredores, as lâmpadas são acessas nos intermediários da tarde, por volta das cinco horas, sendo apagadas somente ao término das aulas do turno noturno, portanto, sendo

caracterizada por um consumo diário de 6 horas.

Os banheiros por apresentarem algumas janelas, pouco ou quase nunca necessitam da utilização das lâmpadas durante o dia, então será considerado o mesmo tempo de consumo utilizado para os corredores, 6 horas. Em contra partida, consideraremos 50% desse valor, pois só são acessos durante o uso do banheiro. Diante dessas considerações, através da tabela 8, poderá ser visualizado as horas de consumo para cada espaço determinado.

Tabela 8 – Consumo elétrico semanal lâmpadas

	MANHÃ	TARDE	NOITE
CÔMODO	HORAS DE CONSUMO	HORAS DE CONSUMO	HORAS DE CONSUMO
Sala 01	55 minutos	5 horas e 30 minutos	7 horas e 20 minutos
Sala 02	1 hora e 50 minutos	1 hora e 50 minutos	7 horas e 20 minutos
Sala 03	2 horas e 45 minutos	2 horas e 45 minutos	5 horas e 30 minutos
Sala 04	7 horas e 20 minutos	6 horas e 25 minutos	7 horas e 20 minutos
Sala 05	7 horas e 20 minutos	7 horas e 20 minutos	7 horas e 20 minutos
Sala 06	8 horas e 15 minutos	6 horas e 25 minutos	6 horas e 25 minutos
Sala 07	5 horas e 30 minutos	7 horas e 20 minutos	7 horas e 20 minutos
Sala 08	3 horas e 40 minutos	5 horas e 30 minutos	7 horas e 20 minutos
Sala 09	7 horas e 20 minutos	4 horas e 35 minutos	9 horas e 10 minutos
Sala 10	2 horas e 45 minutos	2 horas e 45 minutos	8 horas e 15 minutos
Corredor	N/A	5 horas	25 horas
Banheiro masculino	N/A	2 horas e 30 minutos	12 horas e 30 minutos
Banheiro feminino	N/A	2 horas e 30 minutos	12 horas e 30 minutos
TOTAL	47 horas e 40 minutos	60 horas e 30 minutos	123 horas e 20 minutos

Fonte: Autoria própria.

Em conformidade com o tempo de consumo semanal para cada sala e cômodo, a tabela 9 foi elaborada para apresentar dados mensais da estimativa de consumo nos três turnos possíveis, além de expor os dados do consumo total mensal das lâmpadas das salas de aula, banheiro e corredores, dados estes que servirão como base para o dimensionamento fotovoltaico. A tabela 9 poderá ser visualizada logo abaixo.

Tabela 9 – Consumo mensal por turno das lâmpadas.

TURNO	MANHÃ	TARDE	NOITE	TOTAL
Mês	Horas de consumo	Horas de consumo	Horas de consumo	Horas de consumo
JULHO	196 horas e 10 minutos	214 horas e 50 minutos	820 horas e 30 minutos	1231 horas e 30 minutos
AGOSTO	221 horas e 40 minutos	278 horas e 30 minutos	902 horas e 10 minutos	1402 horas e 20 minutos
SETEMBRO	197 horas e 5 minutos	252 horas e 20 minutos	826 horas	1275 horas e 25 minutos
OUTUBRO	208 horas e 5 minutos	272 horas e 45 minutos	866 horas e 30 minutos	1347 horas e 20 minutos

Fonte: Autoria própria.

Através das informações da tabela 2, podemos afirmar que o total da potência instalada em todos os cômodos do bloco de salas 1 é igual a 10,272KW, diante desse valor, podemos obter o valor do consumo elétrico mensal de cada mês através da tabela 10 logo abaixo.

Tabela 10 – Consumo elétrico mensal lâmpadas fluorescentes.

MÊS	HORAS DE CONSUMO	POTÊNCIA INSTALADA	CONSUMO ELÉTRICO MENSAL
JULHO	1231 horas e 30 minutos	10,272KW	12.649.968Wh
AGOSTO	1402 horas e 20 minutos	10,272KW	14.404.768Wh
SETEMBRO	1275 horas e 25 minutos	10,272KW	13.101.080Wh
OUTUBRO	1347 horas e 20 minutos	10,272KW	14.117.152Wh

Fonte: Autoria própria.

3.3.3 Estimativa bebedouro

Outro fator bastante relevante a respeito do consumo elétrico no prédio é o consumo proveniente da ligação do bebedouro. Através da figura 17, é possível identificarmos o valor da sua potência, que é de 210 W. Nesse bloco de salas só existe um bebedouro em funcionamento. Dessa forma, para estimar o consumo mensal elétrico, torna-se necessário considerar uma boa parte do dia, pois se encontra quase sempre ligado. Portanto, o valor de horas estimado por dia, será de 20 horas. Com isso, o consumo elétrico mensal, poderá ser visualizado através da tabela 11.

Tabela 11 – Consumo elétrico mensal bebedouro.

MÊS	HORAS DE CONSUMO	POTÊNCIA INSTALADA	CONSUMO ELÉTRICO MENSAL
JULHO	420 h	210 W	88200 Wh
AGOSTO	460 h	210 W	96600 Wh
SETEMBRO	460 h	210 W	96600 Wh
OUTUBRO	440 h	210 W	92400 Wh

Fonte: Autoria própria.

Nota-se que existe divergência entre as horas de consume mensal, esse fator está associado à consideração dos dias úteis de cada mês, seguindo a mesma consideração apresentado para o caso das lâmpadas.

3.3.4 Estimativa total mensal

Através do estudo de consumo mensal elétrico das centrais de ar, lâmpadas e bebedouro nos meses de julho a outubro, é possível também obter um consumo mensal total de todo o prédio nesses meses. Portanto, através da tabela 12 é possível visualizar uma soma da contribuição mensal total no bloco averiguado.

Tabela 12 – Consumo elétrico mensal bloco de aulas 01.

MÊS	CONSUMO CENTRAL DE AR	CONSUMO LÂMPADAS	CONSUMO BEBEDOURO	CONSUMO TOTAL
JULHO	94.258.500 Wh	12.649.968Wh	88200 Wh	106.996.668Wh
AGOSTO	103.602.100 Wh	14.404.768Wh	96600 Wh	118.103.468Wh
SETEMBRO	94.017.233 Wh	13.101.080Wh	96600 Wh	107.214.913Wh
OUTUBRO	99.763.767 Wh	14.117.152Wh	92400 Wh	113.973.319Wh
MÉDIAS	97.910.400 Wh	13.568.242Wh	93450 Wh	111.572.092Wh

Fonte: Autoria própria.

Através dessas estimativas de consumo médio mensal de todo o bloco de aulas, assim como os valores dos índices solarimétricos da região, posteriormente poderá ser determinado à quantidade de painéis para a geração de energia fotovoltaica.

3.3.5 Estudo do uso de sistema fotovoltaico para geração fotovoltaica

Através das estimativas de consumo mensal realizadas do prédio é possível uma real obtenção do sistema de geração fotovoltaica, que necessariamente, precisa ser elaborado.

Na perspectiva do estudo da viabilidade, torna-se necessário uma análise para diferentes tipos de dimensionamento. Então, será realizado um estudo de dimensionamento fotovoltaico que seja capaz de alimentar todo o consumo do prédio, o consumo somente das lâmpadas, assim como, um estudo na perspectiva de injetar a energia produzida pelo sistema na rede, de forma a garantir créditos de energia, já que de acordo com a resolução normativa da ANEEL nº 687/2015, isso tornou-se realidade e os créditos agem diretamente nos valores pagos à concessionária por parte da instituição.

Para o dimensionamento fotovoltaico, além das estimativas de consumo que já foram elaboradas, é necessário respeitar alguns outros fatores. Dentre esses:

- Conhecer os índices solarimétricos do local de instalação do projeto.

- Determinar a quantidade de painéis fotovoltaicos de acordo com a finalidade do projeto de dimensionamento.
- Determinar o inversor necessário para a aplicação escolhida.
- Levar em consideração se o projeto é conectado ou não à rede elétrica, para dimensionar componentes como controlador de carga e banco de baterias.
- Levantamento econômico para saber se é viável ou não a implementação do projeto.

É válido ressaltar que os dimensionamentos realizados apresentam como objetivo principal promover o incentivo de geração renovável de energia por parte da instituição, apresentando razões econômicas na perspectiva de viabilidade, com o intuito também de favorecer positivamente a UFERSA na redução dos gastos de energia elétrica.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 ÍNDICES SOLARIMÉTRICOS DO LOCAL DE INSTALAÇÃO

Para obter os valores desses índices, torna-se necessário a utilização das coordenadas geográficas do local de instalação. Para isso, utilizando o aplicativo do google maps, conseguiremos ter acesso a essas informações da latitude e longitude do bloco de salas através da figura abaixo.

Figura 13 - Coordenadas geográficas bloco de aulas



Fonte: Google Maps, 2017.

Os valores encontrados foram de -5,77354 e -37,569906, latitude e longitude, respectivamente. Através dessas coordenadas e da utilização do portal da CRESESB SUNDATA, será possível identificar os índices da região que corresponde à aplicação do projeto fotovoltaico.

Diante da utilização desse portal, é possível a obtenção de uma tabela que corresponde aos índices solarimétricos, assim como um gráfico ilustrativo. É válido ressaltar que pelo portal, o município de Caraúbas não foi encontrado, portanto, foi utilizado as considerações da cidade mais próxima ao município, pois apresentam coordenadas geográficas muito parecidas e, dessa

maneira, a cidade de Apodi foi atribuída e está à uma distância de 46,9 Km.

Através da figura 16, poderá ser visualizado os valores da irradiação solar diária média mensal, na cidade de Apodi.

Figura 14 - Irradiação solar diária mensal

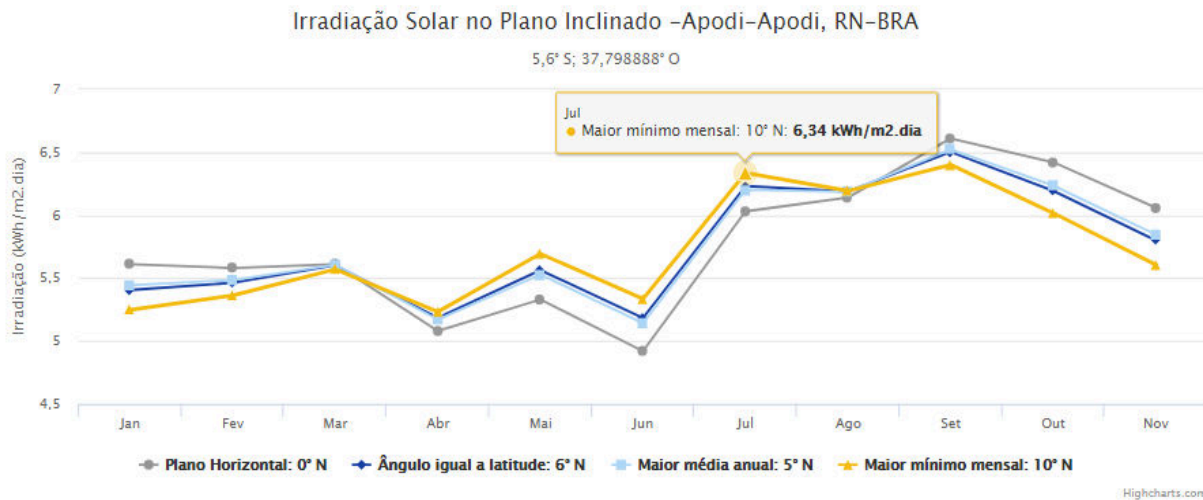
Estação: Apodi
Município: Apodi, RN - BRA
Latitude: 5,6° S
Longitude: 37,798888° O
Distância do ponto de ref. (5,773525° S; 37,569962° O) : 31,9 km

#	Ângulo	Inclinação	Irradiação solar diária média mensal [kWh/m ² .dia]												Média	Delta
			Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez		
✓	Plano Horizontal	0° N	5,61	5,58	5,61	5,08	5,33	4,92	5,31	6,03	6,14	6,61	6,42	6,06	5,73	1,69
✓	Ângulo igual a latitude	6° N	5,41	5,46	5,60	5,19	5,56	5,18	5,58	6,23	6,19	6,50	6,19	5,80	5,74	1,32
✓	Maior média anual	5° N	5,44	5,49	5,61	5,17	5,53	5,14	5,54	6,20	6,18	6,52	6,23	5,85	5,74	1,38
✓	Maior mínimo mensal	10° N	5,25	5,36	5,57	5,23	5,69	5,34	5,73	6,34	6,19	6,40	6,02	5,61	5,73	1,17

Fonte: CRESESB SUNDATA, 2017.

No plano inclinado, as características de irradiação poderão ser descritas e visualizadas através da figura 17 logo abaixo.

Figura 15 - Irradiação solar no plano inclinado.



Fonte: CRESESB SUNDATA, 2017.

Através da utilização desses dados obtidos no portal da CRESESB, é possível definir o índice solarimétrico da região, onde através da figura 18, é atribuído o valor para o ângulo igual o da latitude, sendo definida por $5,74 \text{ kWh/m}^2\text{dia}$.

4.2 DIMENSIONAMENTOS FOTOVOLTAICOS

4.2.1 Painéis solares

Para obter a quantidade de painéis necessários para suprir a demanda do bloco de aulas 01, torna-se necessário seguir alguns passos. Dentre esses, podemos citar:

- Identificar o consumo médio total mensal do bloco de aulas 01 através da tabela 11, assim como se atentar ao tipo de ligação do sistema, para determinar o dimensionamento de geração.
- Considerar o índice solarimétrico pré-estabelecido da região.
- Levar em consideração as perdas do sistema de geração.
- Calcular a quantidade de painéis respeitando os passos anteriores.

Através da tabela 11, torna-se possível determinar o consumo médio total mensal dos meses em que o estudo foi realizado. Portanto, através das estimativas de consumo realizadas, têm-se um valor de **111.572.092Wh**. É válido mencionar que o tipo de ligação é trifásico, então o consumidor deverá pagar uma taxa de **100KWh**.

Através dos dados do portal CRESESB SUNDATA, o índice solarimétrico da região é definido pelo valor do ângulo igual ao da latitude e apresenta valor de **5,74h/dia**.

As perdas em um sistema de produção de energia solar por fotovoltaica podem ser resumidas em: (Fotaic Energia Solar, 2017).

- Perdas pela resistência das conexões;
- Perdas devido às diferenças entre painéis (células diferentes produzem energia elétrica a uma tensão levemente diferente, o que provoca pequenas perdas de energia quando os painéis são colocados em paralelo);
- Perdas no inversor acoplado ao sistema, para conversão de energia DC em energia AC;

- Perdas devido a obstruções nos painéis, como pó.
- Perdas pela temperatura da região.

É válido ressaltar que o valor atribuído para a eficiência elétrica considerando as perdas do sistema, para esse trabalho é algo bastante estimativo, pois necessitaria da aplicação e do real funcionamento do sistema fotovoltaico. Em contra partida, as perdas mediante aos fatores mencionados, seguem um padrão. Esses padrões são descritos a seguir.

Tabela 13 – Percentuais perdas elétricas de Sistema fotovoltaico.

PERDAS	PERCENTUAIS PADRÕES	PADRÃO ATRIBUIDO
Temperatura	(7% - 18%)	10,5 %
Incompatibilidade elétrica	(1% - 2%)	1,5%
Acumulo de sujeira	(1% - 8%)	2%
Cabeamento CC	(0.5%-1%)	1%
Cabeamento CA	(0.5%-1%)	1%
Inversor	(2.5%-5%)	4%

Fonte: Fotaic Energia Solar, 2017.

De acordo com a tabela 13, será considerado um valor de aproximadamente 80% de eficiência para o sistema fotovoltaico.

Para calcular a quantidade de painéis, inicialmente o valor do consumo mensal será dividido por 30, para afirmar a quantidade consumida por dia no prédio. Então, o valor final é **3719,07 KWh/dia.**

A potência das placas necessárias será definida através da equação abaixo:

$$P_{placas} = \frac{\text{Dimensionamento de geração}_{placas}}{\text{Índice}_{\text{solarimétrico}}} \times \frac{1}{\mu} \quad (8)$$

- P_{placas} =potência das placas

- Dimensionamento de geração = Consumo mensal – preço por tipo de ligação (100KWh)
= 3715,73 KWh/dia
- Índice solarimétrico = 5,74 h/dia.
- μ = rendimento dos painéis = 0,8

Portanto,

$$P_{placas} = \frac{3715,73K}{5,74} \times \frac{1}{0.8} \quad (9)$$

Logo, a P_{placas} = 809,2 KWatts.

Para calcular a quantidade de placas solares, torna-se necessário escolher a potência de cada célula que pode ser utilizada. Portanto, foi averiguado uma série de preços de painéis por fabricante e suas respectivas potências, que por sua vez, foram escolhidos mediante determinação do estudo dos preços.

O trabalho trata-se de uma investigação científica de responsabilidade, portanto, foram consideradas marcas que apresentavam delimitação do Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (INMETRO).

O portal do INMETRO disponibiliza algumas tabelas de consumo/eficiência energética dos componentes que formam o sistema fotovoltaico. Nesse momento, escolheremos a marca da célula fotovoltaica através dessas tabelas, que apresentam placas de silício monocristalino e policristalino, separando por suas especificações técnicas e eficiência. Diante disso, a marca escolhida foi a CANADIAN SOLAR CS6U-320P, que é feita de silício policristalino, apresenta 320 W de potência e preço de 865,00 reais pela empresa MAIS SOLAR.

Através da utilização dessas placas de 320 W, podemos definir a quantidade de painéis por uma simples razão.

$$Quantidade_{painéis} = \frac{Potência_{placas}}{320W} \quad (10)$$

- $Potência_{placas}$ = 809,2 KWatts

Logo,

$$Quantidade_{painéis} \cong 2529_{painéis}$$

Através do cálculo de determinação da quantidade de painéis, observa-se que é uma quantidade muito grande de painéis quando em comparado a área de instalação, pois como as dimensões do painel escolhido são de (1,96 X 0,992)m, é necessária uma área de instalação de aproximadamente 5443m², algo enorme em relação à área disponível do telhado do bloco, necessitando um novo estudo para um possível ambiente ideal de instalação.

Se o dimensionamento para alimentar todo o consumo mensal estimado para o bloco 01 for implementado, é necessário ainda definir alguns parâmetros, dentre esses: O inversor, controlador de carga e o banco de baterias.

4.2.2 Inversor solar

Para determinar o inversor ideal, é necessário utilizar a potência correspondente à quantidade de painéis. A quantidade de painéis foi de 2529, portanto, a potência necessária do inversor é encontrada através de uma simples relação.

$$Potência\ total\ inversor = Quantidade\ de\ painéis \times Potência\ dos\ painéis$$

- Quantidade de painéis = 2529.
- Potência dos painéis = 320W.

Portanto,

$$Potência\ total\ inversor = 809,28KW$$

Comercialmente, são encontrados inversores de diferentes potências nominais. Mas, devido à potência encontrada ser muito grande, dificilmente será encontrado um inversor que atenda essa demanda. Então, é comum utilizar vários inversores, onde esses sejam capazes de atender a potência estimada.

Através do PORTAL SOLAR (Maço, 2017), é listado o preço de alguns inversores:

- Inversor solar de 1.5KWp aproximadamente R\$ 3.000,00 – R\$5.000,00
- Inversor solar de 2.5kWp de R\$5.000,00 – R\$7.000,00
- Inversor solar de 3.0kWp de R\$6.500,00 – R\$7.500,00
- Inversor solar de 5.0kWp de R\$8.000,00 – R\$10.000,00
- Inversor solar de 15.0kWp de R\$ 15.000,00 – R\$20.000,00
- Inversor solar de 20.0kWp de R\$ 20.000,00 – R\$25.000,00
- Inversor solar Central 100kWp de R\$ 50.000,00 até 100.000,00
- Inversor solar Central 1000kWp de R\$ 300.000,00 até R\$600.000,00

Se fosse utilizado inversores de 20KWp para atender a demanda estimada do consumo médio mensal do bloco de aulas, seria necessário uma quantidade muito grande de inversores, cerca de 41. Acumulando um valor médio de R\$922.500,00. Tornando novamente, um fator negativo para a elaboração do projeto.

Outros aspectos do projeto fotovoltaico são a implementação do controlador de carga do banco de baterias para o caso de um projeto não conectado à rede.

4.2.3 Controlador de carga

O controlador de carga é utilizado em sistemas off-grid, sistemas não conectados à rede elétrica. O principal objetivo desse equipamento elétrico é controlar a carga e descarga do banco de baterias, aumentando a vida útil delas, corroborando com a não explosão, problemas no sistema e incêndios. Para definir o controlador de carga, é necessário definir a tensão de trabalho do sistema e sua capacidade está relacionada com o maior valor de corrente dos painéis ou de consumo.

4.2.4 Banco de baterias

As baterias são responsáveis para armazenar energia gerada em uma tensão de 12 V ou 24 V e fornecer eletricidade quando solicitada. Geralmente, em sistemas fotovoltaicos, são utilizadas baterias de chumbo-ácido por conta do menor custo e da maior maturidade. Em relação ao seu dimensionamento, deve-se utilizar o total de corrente produzida pelos painéis

multiplicado pelas horas de insolação diária, para exemplificar: os painéis produzem 50Ah em 12 volts, operando por 8 horas de insolação, então, são gerados 400 amperes por dia. Considerando, então, uma bateria ideal de 12 V, teríamos uma unidade de 400 Ah.

Então torna-se interessante definir qual a finalidade real do projeto fotovoltaico, seja para suprir a demanda das lâmpadas, centrais de ar ou bebedouro, ou simplesmente, uma geração para abater no valor cobrado pela concessionária de energia, caracterizada por ser um modelo conectado à rede.

4.3 ANÁLISE DE DIMENSIONAMENTO PARA ALIMENTAÇÃO DAS LÂMPADAS

4.3.1 Painéis solares

Na perspectiva da viabilidade, será realizado mais uma estimativa de geração fotovoltaica para suprir a demanda de consumo das lâmpadas. Portanto, refazendo os cálculos de potência dos painéis, temos:

$$P_{placas} = \frac{\text{Dimensionamento de geração}_{placas}}{\text{Índice}_{\text{solarimétrico}}} \times \frac{1}{\mu}$$

- P_{placas} =potência das placas.
- Dimensionamento de geração = 448,94 KWh /dia.
- Índice solarimétrico = 5,74h/dia.
- μ = rendimento dos painéis = 0,8.

Portanto,

$$P_{placas} = \frac{448,94K}{5,74} \times \frac{1}{0,8} \quad (11)$$

Logo, a P_{placas} = 97,76 KWatts.

Com isso, será determinado a nova quantidade de painéis para a mesma potência de 320W.

$$Quantidade_{painéis} = \frac{Potência_{placas}}{320W} \quad (12)$$

- $Potência_{placas} = 182,86 \text{ KWatts}$

Logo,

$$Quantidade_{painéis} \cong 305 \text{ painéis}$$

Novamente é bastante pertinente citar que é uma quantidade muito grande de painéis, além de necessitar de uma área muito grande para instalação, já que as dimensões do painel escolhido são também de (1,96 X 0,992)m.

4.3.2 Inversor solar

Na determinação do inversor ideal, como a quantidade de painéis foi de 305, pode ser determinado a potência total do inversor pela mesma relação realizada para o projeto de abastecimento de todo o consumo mensal. Então:

$$Potência \text{ total inversor} = Quantidade \text{ de painéis} \times Potência \text{ dos painéis}$$

- Quantidade de painéis = 305.
- Potência dos painéis = 320W.

Portanto,

$$Potência \text{ total inversor} = 97,6KW$$

Se fosse utilizado inversores de 20KWp, seria necessário uma quantidade aproximada de 5 inversores. Novamente utilizando a média dos preços fornecidos pelo PORTAL SOLAR, o

investimento para obter essa quantidade de inversores é cerca de 112.500 reais. Portanto, é notório que sistemas dentro dessa expectativa de suprir um consumo total mensal através de sistemas off-grid é necessário um investimento muito alto.

Diante disso, torna-se interessante a elaboração de um sistema fotovoltaico conectado a rede visando uma contribuição financeira referente ao preço a ser pago para a concessionária nos meses do ano.

4.4 ANÁLISE DE DIMENSIONAMENTO CONECTADO À REDE

4.4.1 Painéis solares

De modo a garantir a implementação de um sistema fotovoltaico que contribuísse diretamente nas contas de energia da UFERSA, será dimensionado um sistema fotovoltaico que contenha 50 painéis de 320 W do modelo CANADIAN SOLAR CS6U-320P fornecidos através da empresa MAIS SOLAR e que apresentam valor de 865,00 reais a unidade. É válido ressaltar que a quantidade escolhida de painéis respeitou as dimensões do bloco de instalação.

Os painéis dessa marca escolhida dentre as cadastradas pelo INMETRO, apresenta dimensões de (1,96 X 0,992)m, então, será necessário uma área de 97,22m² para a instalação.

Para determinarmos a geração de energia associada aos 50 painéis, utilizaremos a relação a seguir:

$$P_{placas} = \frac{\text{Dimensionamento de geração}_{placas}}{\text{Índice}_{\text{solarimétrico}}} \times \frac{1}{\mu}$$

- P_{placas} = potência das placas = Quantidade de painéis X Potência das placas utilizadas = 16KW.
- Índice solarimétrico = 5,74h/dia.
- μ = rendimento dos painéis = 0,8

Portanto,

$$16000 = \frac{\text{Dimensionamento de geração}}{5,74} \times \frac{1}{0,8}$$

Logo, *Dimensionamento de geração* = 73,472 KWh/dia.

É válido ressaltar que o dimensionamento de geração encontrado é uma estimativa por dia, é possível determinar o consumo mensal utilizando esse valor e multiplicando por 30, que corresponde a quantidade de dias do mês. Portanto, o sistema fotovoltaico que será dimensionado é capaz de gerar energia para suprir um consumo mensal de 2.204.160Wh.

Posteriormente, será elucidado uma média da quantidade real abatida nas contas de energia cobrada mensalmente na UFERSA.

4.4.2 Inversor solar

Outro ponto bastante relevante nos sistemas fotovoltaicos é a determinação do inversor. O valor calculado para as potências dos painéis foi de 16KWp, portanto, é necessário escolher um inversor que atenda essa demanda. É válido ressaltar que pode ser escolhido inversores com potência de 20% para mais ou menos da potência dos painéis. Portanto, dentre as opções do mercado, torna-se interessante escolher um inversor de 15KWp.

Na pesquisa de mercado, foi encontrado dois inversores que atendem a demanda de 15KWp, a da marca e modelo Fronius Symo 15.0-3-M e o Inversor PWM15.000. Embora o Inversor PWM15.000 fosse mais barato, custando cerca de 14.990 reais, o inversor escolhido foi o da marca Fronius Symo 15.0-3-M, pois além de ser referência no mercado em energia solar desde 1992, apresenta um manual referente as especificações técnicas, manual este, não encontrado junto ao fornecedor OTTO do Inversor PWM15.000.

O portal NEOSOLAR oferece o inversor da Fronius Symo 15.0-3-M por um preço de 20.390,00.

Figura 16 - Inversor on-grid Fronius Symo 15.0-3-M.



Fonte: NEOSOLAR, 2017

A Tabela 14 apresenta as principais características elétricas desse modelo de módulo fotovoltaico.

Tabela 14 – Características elétricas do inversor Fronius Symo 15.0-3-M.

Entrada C.C. (Saída do Gerador Fotovoltaico)
Voltagem máxima de entrada: 1000Vcc.
Faixa de Voltagem do MPP: (320Vcc a 800Vcc).
Corrente máxima de entrada: 33A / 27A.
Saída C.A. (Rede Elétrica)
Potência nominal de saída: 15000W.
Voltagem de saída (faixa): 154Vca a 264Vca.
Frequência de saída: 60Hz.
Corrente máxima de saída: 23,9A.

Fonte: NEOSOLAR, 2017.

4.4.3 Medidor bidirecional

Para um sistema fotovoltaico conectado à rede é válido ressaltar que é necessário solicitar à concessionária de energia a troca do medidor convencional para o bidirecional. O medidor bidirecional caracteriza-se por registrar a energia recebida da distribuidora e a energia

solar injetada na rede, de forma a garantir créditos de energia, que de acordo com a resolução normativa da ANEEL nº 687/2015, podem ser utilizados pelos próximos 60 meses, podendo ainda, abater o consumo de unidades consumidoras do mesmo titular situadas em outro local, desde que na área de atendimento de uma mesma distribuidora.

Para o dimensionamento do medidor bidirecional é necessário ser levado em consideração alguns fatores, dentre esses: Correntes máxima e nominal, tensão nominal, potência, número de fases, entre outros.

A figura 19 logo abaixo tem como intuito demonstrar o sistema de compensação elétrica conectado à rede.

Figura 17 - Sistema de compensação de energia elétrica.



Fonte: ANEEL, 2016.

4.5 Viabilidade econômica

A Universidade Federal Rural do Semi-árido – UFERSA é classificada pela concessionária de energia do estado, a COSERN, como A4 Horo-Sazonal Verde e apresenta tipo de ligação trifásico.

Diante dessa classificação, a UFERSA paga todo mês por alguns fatores. Dentre esses, podemos citar:

- Demanda ativa (KW);
- Demanda reativa excedente;
- Consumo ativo na ponta (KWh);
- Consumo ativo fora ponta (KWh);
- Consumo reativo excedente na ponta (KVARh);
- Consumo reativo excedente fora ponta (KVARh);
- Iluminação pública;
- Outros;

Através da implementação do projeto fotovoltaico, a Universidade irá ser contemplada com o abate no consumo ativo fora ponta (KWh), que representa o consumo diário de todas as horas complementares ao consumo ativo na ponta, que representa o consumo de 17:30 – 20:30, horário esse, não incluso em período de geração de energia por partes dos painéis solares, que recebem irradiação solar até um horário médio de 17:30 na grande maioria do ano.

Portanto, será elaborada a tabela 15, que elucidará aos valores pagos nos primeiros meses do ano de 2107 pelo consumo ativo fora ponta. Valores esses que foram obtidos através de uma tabela de eficiência energética disponibilizada pelo vice-diretor do campus.

Tabela 15 – Valor mensal do consumo ativo fora ponta.

MÊS	CONSUMO (KWh)	VALOR MENSAL
JANEIRO	3.429,16	R\$ 5.447,52
FEVEREIRO	8.485,00	R\$ 15.067,76
MARÇO	8.832,74	R\$ 14.198,79
ABRIL	9.220,54	R\$ 13.932,60
MÉDIA	7.491,86	R\$ 12.161,67

Fonte: UFERSA, 2017.

De acordo com a tabela 15, é perceptível que o preço cobrado por 1 KWh é diferente para cada mês elucidado. Esse fator está diretamente associado à mudança das alíquotas mensalmente, principalmente por despesas da concessionária com a compra de energia. Então, mesmo tendo uma tarifa fixada pela Aneel, o preço da luz varia levemente todos os meses.

Portanto, para estimarmos o valor que pode ser economizado nas contas da UFERSA, iremos considerar os valores médios da tabela para descobrir o preço médio do KWh. Então, através da relação abaixo, temos que:

$$\text{Preço médio KWh} = \frac{\text{Valor pago médio mensal}}{\text{Consumo médio mensal}} \quad (13)$$

- Valor pago médio mensal= R\$ 12.161,67.

- Consumo médio mensal = 7.491,86 KWh.

Logo, Preço médio KWh = R\$ 1,531337747.

Através do projeto fotovoltaico sugerido, é possível suprir um consumo de 2.204.160 KWh, então, considerando o valor do preço médio calculado, será possível uma redução mensal de R\$ 3375,31.

Outro número bastante relevante é a porcentagem de quanto essa geração representa em relação ao consumo total fora ponta. Então, se o valor do consumo médio mensal é de 7491,86 KWh e o projeto consegue suprir um consumo de 2204,160KWh, então, aproximadamente 29,4% do consumo ativo fora ponta será atendido pela geração solar.

Levando em conta todas essas considerações positivas para UFERSA, é válido analisar os custos de aplicação do projeto, para que através de artifício matemático seja possível ter ideia de qual será o tempo necessário para recuperar o dinheiro investido e, de fato, verificar as condições de viabilidade.

A tabela 16 logo abaixo foi elaborada para trazer os valores que serão gastos para o projeto fotovoltaico on-grid de 50 painéis.

Tabela 16 – Orçamento projeto de 50 painéis.

EQUIPAMENTOS	FABRICANTE	QUANTIDADE	PREÇO (R\$)
Placas solares	Canadian Solar	50	43.250,00.
Inversor solar	Fronius	1	20.390,00.
Mão de obra + Estrutura (30%)	N/A	N/A	19.092,00.
TOTAL	N/A	N/A	82.732,00.

Fonte: QUALISOL, 2017.

Observa-se que o valor total do investimento será de 87.732,00 reais, portanto, sabendo que a geração do sistema fotovoltaico contribui com um valor médio de R\$ 3375,31 mensais,

torna-se possível delimitarmos uma previsão média de recuperação do dinheiro aplicado através de uma relação de viabilidade conhecida como Payback.

O payback é um indicador de tempo de análise geral, pois é extremamente limitado. Nesse indicador, não é considerado os riscos do investimento ou financiamento. Só indica o tempo necessário para que o lucro líquido obtido pela geração do projeto iguale ao valor do investimento analisado. O cálculo do payback pode ser visualizado logo abaixo.

$$Payback = \frac{\text{Investimento aplicado}}{\text{lucro líquido mensal}} \quad (14)$$

- Investimento aplicado = R\$ 87.732,00.
- Lucro líquido mensal = R\$ 3375,45.

Logo,

$$Payback = 25,99 \text{ meses}$$

É notório que através do cálculo realizado, em pouco tempo a UFERSA conseguirá recuperar o dinheiro investido através da geração. Se esse valor for representado em anos e meses, será encontrado um período de 2 anos e 2 meses. Em contra partida, é necessária outra ferramenta para comprovar se o projeto é realmente viável. Essa outra ferramenta é o Valor Presente Líquido – VPL.

Para determinar o VPL, é necessário utilizar uma expressão matemática, essa expressão será apresentada logo abaixo.

$$\sum_{x=1}^n \frac{Fc}{(1+i)^j} - IA \quad (15)$$

- Fc = Fluxo de caixa;
- i= taxa de atualização;
- j= ano;

- IA = Investimento aplicado;

É válido ressaltar que será utilizada uma taxa de atualização de 5%, que representa uma estimativa anual para as variações dos tributos como PIS e COFINS.

Será elaborada a tabela 17 para mostrar uma estimativa do fluxo de caixa proveniente da geração solar fotovoltaica. A tabela 17 poderá ser visualizada abaixo.

Tabela 17 – Fluxo de Caixa

ANO	0	1	2	3	4	5
Fluxo de caixa (R\$)	-87.732,00	40.505,4	40.505,4	40.505,4	40.505,4	40.505,4
Fluxo de caixa acumulado (R\$)	-87.732,00	-47.226,6	-6.721,2	33.784,2	74.289,6	114.795

Fonte: Autoria própria, 2017.

Através dos valores do fluxo de caixa acima e da fórmula ilustrada para o cálculo do VPL, é possível encontrar um valor de 41.440,8. De acordo com Henrique Hirschfeld em seu livro de engenharia econômica, quando o valor encontrado de VPL é positivo, necessariamente, o projeto é viável para ser aplicado.

Na perspectiva de viabilidade os dois primeiros projetos apresetaram dimensionamentos gigantescos, caracterizando por projetos que necessitavam de grandes investimentos por parte da UFERSA.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A utilização de projetos de energia solar fotovoltaica para geração de energia elétrica como retratado durante a pesquisa, apresentam aspectos positivos dependendo da sua aplicabilidade. Dessa maneira, é muito importante levar em consideração os padrões de viabilidade.

No primeiro momento, foi dimensionado um projeto off - grid na perspectiva de gerar energia suficiente para alimentar todo o bloco de aulas. Em contra partida, através das estimativas de consumo, percebeu-se que seria necessário uma quantidade gigantesca de painéis, propiciando um alto valor de investimento. Para se ter ideia, se fosse calculado o Payback para esse primeiro dimensionamento somente das placas solares, seria necessário um tempo de quase 60 anos para recuperação do dinheiro investido. Se a garantia das placas solares é em média 25 anos, o projeto torna-se inviável logo na primeira análise. Além dos preços das placas solares, seria necessário acrescentar os valores correspondentes ao inversor solar, controlador de carga, banco de baterias e mão de obra + instalação, tornando o projeto mais caro e definitivamente inviável.

Em contra partida, o trabalho apresentou um projeto de dimensionamento on-grid para promover o abate nas contas de energia cobradas pela concessionária. Observou-se através das estimativas do Payback e do VPL que o projeto é viável e que poderá despertar interesse da UFERSA em adotar ao sistema, visto que o sistema irá corroborar positivamente no acúmulo de créditos de energia para a instituição.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). Atlas de energia elétrica do Brasil / Agência Nacional de Energia Elétrica. – Brasília: ANEEL, 2002.
- [2] MIRANDA, Arthur Biagio Canedo Montesano. Análise de Viabilidade Econômica de um sistema fotovoltaico conectado à rede / Arthur Biagio Canedo Montesano Miranda. Rio de Janeiro: UFRJ / Escola Politécnica, 2014.
- [3] PINHO, João Tavares. GALDINO, Marco Antonio. GTES – CEPEL – DTE – CRESESB. Manual de engenharia para sistemas fotovoltaicos. Rio de Janeiro, 2014.
- [4] DIENSTMANN, Gustavo. Energia solar uma comparação de tecnologias. Porto Alegre: UFRGS, 2009.
- [5] ANEEL. *Resolução Normativa 482/2012*. Brasília: Agência Nacional de Energia Elétrica, 2012.
- [6] INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, QUALIDADE E TECNOLOGIA (INMETRO). Tabelas de consumo/Eficiência Energética – Componentes fotovoltaicos – inversores conectados à rede (On grid), 2017.
- [7] DA SILVA, Rodrigo Guedes. Dimensionamento de um Sistema Fotovoltaico para Atender uma Demanda de Iluminação. Londrina, 2014.
- [8] TOLMASQUIM, Mauricio Tiomno. Energia Renovável: Hidráulica, Biomassa, Eólica, Solar, Oceânica / Mauricio Tiomno Tolmasquim (coord.). – EPE: Rio de Janeiro, 2016
- [9] INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, QUALIDADE E TECNOLOGIA (INMETRO). Tabelas de consumo/Eficiência Energética – Componentes fotovoltaicos – Módulos, 2017.
- [10] AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). Cadernos Temáticos ANEEL Micro e Minigeração Distribuída Sistema de Compensação de Energia Elétrica. Brasília, 2016.
- [11] ALVES, Guilherme Henrique. Projeto e análise de viabilidade econômica da instalação de painéis fotovoltaicos no setor industrial/ Guilherme Henrique Alves; orientador: Rici Quadros Machado. São Carlos, 2016.
- [12] GREEN, M. A. et al. Solar cell efficiency tables: version 16. Progress in photovoltaics: Research and Applications, Sydney, v. 8, 2000 (adaptado). 377p.

- [13] ANEEL. *Nota técnica n° 0056/2017*. Brasília: Agência Nacional de Energia Elétrica, 2012.
- [14] OSRAM. Catálogo geral: Lâmpadas fluorescentes tubulares e circulares. Disponível em: <<https://dsoem.osram.com/pt/produtos/pdb/l%C3%A2mpadas/l%C3%A2mpadasfluorescentes/l%C3%A2mpadas-fluorescentes-t5/lumilux-t5-he-es/he-es-25-w830/4008321958051/>> Data de acesso: 15/08/2017.
- [15] EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE). *Nota Técnica, Análise da Inserção da Geração Solar na Matriz Elétrica Brasileira*. Rio de Janeiro: EPE, 2012.
- [16] DE SOUSA, Ronilson. *BLUE SOL energia solar. Os sistemas de energia solar fotovoltaica*. São Paulo: Edição geral, 2016.
- [17] CRESESB. *Energia solar fotovoltaica*. Rio de Janeiro, 2008. Disponível em: <http://cresesb.cepel.br/index.php?section=com_content&cid=321>. Data de acesso: 30/10/2017.
- [18] MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA (MME). *Energia solar*. Disponível em: <<http://www.mme.gov.br/documents/10584/3580498/17+-+Energia+Solar+-+Brasil+e+Mundo+-+ano+ref.+2015+%28PDF%29/4b03ff2d-1452-4476-907d-d9301226d26c;jsessionid=41E8065CA95D1FABA7C8B26BB66878C9.srv154>>Data de acesso: 22/07/2017.
- [19] NEOSOLAR. Inversor Fronius symo. Disponível em: <<https://www.neosolar.com.br/loja/inversor-fronius-symo-15-0-3-m-15000w.html>> Data de acesso: 13/09/2017.
- [20] OTTOLT. *Linha de inversores*. Disponível em: <<https://www.ottolt.com/linha-de-inversores/inversor-pwm-15-000-solar-nautica-motor-home/>>Data de acesso: 13/09/2017.