



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

ISABELA MARIA NOVAES DE MAGALHÃES

**PROJETO DE UM SISTEMA DE GERAÇÃO HÍBRIDO PARA SUPRIMENTO DE
ENERGIA ELÉTRICA ÀS ESTAÇÕES RÁDIO BASE DE UM SISTEMA DE
TELECOMUNICAÇÕES**

FORTALEZA
JUNHO DE 2018

ISABELA MARIA NOVAES DE MAGALHÃES

**PROJETO DE UM SISTEMA DE GERAÇÃO HÍBRIDO PARA SUPRIMENTO DE
ENERGIA ELÉTRICA ÀS ESTAÇÕES RÁDIO BASE DE UM SISTEMA DE
TELECOMUNICAÇÕES**

Trabalho Final de Curso (TFC) apresentado ao Departamento de Engenharia Elétrica (DEE) da Universidade Federal do Ceará (UFC), como um dos requisitos para obtenção do título de Engenheira Eletricista.

Orientador: Prof. Dr. Raphael Amaral da Câmara.

FORTALEZA

JUNHO DE 2018

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Biblioteca Universitária

Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

- M186p Magalhães, Isabela Maria Novaes de.
 Projeto de um Sistema de Geração Híbrido para Suprimento de Energia Elétrica às
 Estações Rádio Base de um Sistema de Telecomunicações / Isabela Maria Novaes de
 Magalhães. – 2018.
 80 f. : il. color.
- Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Centro
 de Tecnologia, Curso de Engenharia Elétrica, Fortaleza, 2018.
 Orientação: Prof. Dr. Raphael Amaral da Câmara.
1. Geração Fotovoltaica. 2. Telecomunicações e Painéis Potovoltaicos. 3. Alimentação de
 Sistemas de Telecomunicações. 4. Sistema Híbrido de Alimentação. 5. Painéis
 Fotovoltaicos. I. Título.

CDD 621.3

ISABELA MARIA NOVAES DE MAGALHÃES

**PROJETO DE UM SISTEMA DE GERAÇÃO HÍBRIDO PARA SUPRIMENTO DE
ENERGIA ELÉTRICA ÀS ESTAÇÕES RÁDIO BASE DE UM SISTEMA DE
TELECOMUNICAÇÕES**

Trabalho Final de Curso (TFC) apresentado ao
Departamento de Engenharia Elétrica (DEE) da
Universidade Federal do Ceará (UFC), como um
dos requisitos para obtenção do título de
Engenheira Eletricista.

Aprovado em: __/__/____

BANCA EXAMINADORA

Prof. Raphael Amaral da Câmara, Dr.
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Raimundo Furtado Sampaio, Dr.
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Eng.^a Priscila Maria Teles Barbosa
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Eng. Ricardo José Souza Albuquerque
Universidade Federal do Ceará (UFC)

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho aos meus pais, ao meu noivo, aos meus amigos, aos meus professores, aos meus colegas de trabalho e a todos que estiveram, de alguma forma, presentes em minha vida e contribuíram para a realização deste sonho, que é a graduação em Engenharia Elétrica.

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus pais, Afonso e Dinalva, por toda a dedicação a mim, todo o cuidado que têm por mim, todo o incentivo durante toda a minha vida, sempre estando ao meu lado, ajudando a superar os momentos difíceis, apoiando minhas decisões, e comemorando comigo cada vitória.

Agradeço ao meu noivo, Alan, por todo o incentivo, o apoio e o carinho que tem por mim, sempre me ajudando nos momentos difíceis, e contribuindo para a finalização do presente trabalho.

Agradeço aos meus amigos que sempre estão ao meu lado, tanto na carreira acadêmica, quanto na vida pessoal, sempre me ajudando, em especial à Amanda, minha amiga desde a infância, à Priscila, que ajudou a me orientar durante a reta final deste trabalho, à Jéssica e à Nátalie, que estiveram ao meu lado nos momentos mais difíceis deste curso, e a todos os outros amigos que me ajudaram de diversas formas.

Agradeço aos meus professores por todo o aprendizado que obtive, contribuindo fortemente para a minha formação como engenheira eletricista.

Agradeço aos meus colegas de trabalho por toda a contribuição para o meu crescimento profissional, por todo o conhecimento que adquiri, permitindo que eu pudesse escrever este documento.

EPÍGRAFE

“O sucesso nasce do querer, da determinação e persistência em se chegar a um objetivo. Mesmo não atingindo o alvo, quem busca e vence obstáculos, no mínimo fará coisas admiráveis.”

(José de Alencar)

RESUMO

O presente documento tem como objetivo estudar e apresentar a implementação de um sistema híbrido de alimentação de uma estação rádio base em localidade remota, onde a distribuição de energia elétrica pela concessionária local é precária, com foco na melhoria do fornecimento de um serviço de qualidade à população. Inicialmente, é apresentado o cenário energético brasileiro, mostrando as principais fontes de geração de energia elétrica, e também apresentando a capacidade do país de gerar energia elétrica a partir do Sol. Em seguida, são apresentados os principais tipos de painéis fotovoltaicos existentes, assim como seus princípios de funcionamento. Depois, são estudadas as ERBs, com foco na alimentação das mesmas, mostrando os equipamentos envolvidos na alimentação a partir da rede de distribuição e a partir do sistema fotovoltaico. Por fim, é mostrado o projeto proposto pela empresa, os equipamentos envolvidos, como é o funcionamento, apresentado o orçamento final e estudada a viabilidade financeira do projeto.

Palavras-chave: Geração fotovoltaica. Sistema híbrido de alimentação. Alimentação das ERBs. Painéis fotovoltaicos. Funcionamento das ERBs. Telecomunicações e painéis fotovoltaicos.

ABSTRACT

The purpose of this document is to study and present the implementation of a hybrid power system for a base station in a remote location, where the distribution of electricity by the local energy provider is precarious, focusing on improving the provision of a quality service to the population. Initially, the Brazilian energy scenario is presented, demonstrating the main sources of electricity generation, as well as demonstrating the country's capacity to generate electricity from the Sun. Soon after, the main types of existing photovoltaic panels are presented, as well as the principles of operation. Afterwards, the BSs are studied, focusing on their feeding, demonstrating the equipments involved in the feed from the distribution network and from the photovoltaic system. Finally, it demonstrate the project proposed by the company, the equipments involved, how it works, presented the final budget and studied the project's financial viability.

Keywords: Photovoltaic generation. Hybrid power system. Eletric feeding of BSs. Photovoltaic panels. Operation of BSs. Telecommunications and photovoltaic panels.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Potencial de geração de energia solar FV a partir do rendimento energético anual no Brasil	23
Figura 2: Esquematização da Associação de Módulos em Série	26
Figura 3: Esquematização da Associação de Módulos em Paralelo	26
Figura 4: Esquematização da Associação de Módulos de Forma Mista	27
Figura 5: Painel Solar FV Monocristalino	29
Figura 6: Painel Solar FV Policristalino	31
Figura 7: Painel Solar FV Filme Fino	32
Figura 8: Painel Solar FV Híbrido	33
Figura 9: Esquematização de Interligação da Rede de Telefonia Móvel	36
Figura 10: Diagrama da Alimentação CA	38
Figura 11: Instalação de Painéis Solares para Alimentação de ERBs	39
Figura 12: Painel Solar de Silício Policristalino	44
Figura 13: Conexão dos Painéis Solares	45
Figura 14: Interligação dos Sensores Mecânicos para os Painéis	45
Figura 15: Conexão do Controlador de Carregamento Solar ao Banco de Bateria e aos Painéis Solares	46
Figura 16: Módulo Lógico para Acionamento de Alarmes	47
Figura 17: Diagrama Funcional do Sistema de Suprimento da ERB.....	48

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Geração de Eletricidade por Fonte no Brasil (GW)	18
Gráfico 2 - Geração de Eletricidade por Fonte no Nordeste (GW)	20
Gráfico 3 - Geração de Eletricidade por Fonte no Ceará (GW)	21

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Especificações do Paine Solar Utilizado no Projeto	44
Tabela 2: Situações em que o Alarme é Acionado	47
Tabela 3: Alimentação Fornecida ao Sistema Conforme o Fornecedor e as Condições .	49
Tabela 4: Itens Solicitados	51
Tabela 5: Orçamento do Projeto	51

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

A	Ampère
a-Si	Silício Amorfo
BEN	Balanço Energético
BS	Base Station
BTS	Base Transceiver Station
CA	Corrente alternada
CC	Corrente contínua
CCC	Central de Comunicação e Controle
CIS/CIGS	Cobre, Índio e Gálio
CLP	Controlador Lógico Programável
CdTe	Telureto de Cádmio
eNodeB	Evolved NodeB
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
ERB	Estação rádio base
FAN	Flexible Access Network
FV	Fotovoltaico(a)
GMG	Grupo Moto Gerador
GSM	Groupe Special Mobile
GW	Gigawatt
HJT	Heterojunção
kWh	Quilowatt hora
kWp	Quilowatt pico
NodeB	Telecommunication Node
OPV	Orgânico
QDG	Quadro de Distribuição Geral
Si	Silício
STFC	Serviço Telefônico Fixo Comutado
UR	Unidade Retificadora
USCA	Unidade de Supervisão de Corrente Alternada

V	Volts
W	Watts

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	17
1.1 Motivação	17
1.2 Justificativa.....	17
1.3 Objetivo	17
1.4 Estrutura do Trabalho	17
2. SITUAÇÃO ENERGÉTICA BRASILEIRA.....	19
2.1 Cenário Energético Atual.....	19
2.1 Potencial Brasileiro para Geração de Energia Solar	23
3. OS PANÉIS FOTOVOLTAICOS E SUAS APLICAÇÕES.....	26
3.1 Princípios de Funcionamento	26
3.2 Tecnologias de Painéis Fotovoltaicos Disponíveis no Mercado.....	29
3.3 Exemplos de Aplicações dos Painéis Fotovoltaicos	33
4. AS ESTAÇÕES RÁDIO BASE (ERBs).....	36
4.1 Princípios de Funcionamento	36
4.2 Sistema de Alimentação das ERBs a Partir das Concessionárias.....	37
4.3 Sistema de Alimentação das ERBs a Partir das Placas Fotovoltaicas	39
4.4 Fatores a Serem Considerados no Dimensionamento do Sistema de Alimentação	40
5. IMPLEMENTAÇÃO DO PROJETO	43
5.1 Introdução.....	43
5.2 Painéis Solares	43
5.3 Controlador de Carregamento Solar	45
5.4 Módulo Lógico	46
5.5 Alarmes	47

5.6 Visão Geral.....	48
5.7 Condições de Funcionamento do Sistema	49
5.8 Lista de Componentes e Orçamento Final	50
5.9 Viabilidade Financeira do Projeto	51
6. CONCLUSÃO.....	54
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	56

1. INTRODUÇÃO

1.1 Motivação

As motivações para a realização deste estudo vêm do meu curso, engenharia elétrica, o qual me identifiquei especialmente com a área de energia solar a partir de fontes renováveis, e a partir do meu trabalho, que começou na área de operações e hoje está na área de implementação de novos projetos em uma empresa de telecomunicações.

1.2 Justificativa

O presente documento apresenta a implementação de um sistema híbrido de energia em uma ERB, que é uma estação rádio base, também conhecida como site ou torre de telecomunicações, em que há o fornecimento de energia elétrica pela concessionária e por um sistema de energia solar fotovoltaica, visando melhoria na qualidade do serviço oferecido pela empresa de telecomunicações, que, na localidade, oferece um serviço intermitente devido à má qualidade de fornecimento de energia elétrica.

1.3 Objetivo

O objetivo deste trabalho é apresentar o projeto de um sistema de geração de energia elétrica híbrido, que opera no modo on-grid e off-grid, implementado por uma empresa de telecomunicações para suprimento das estações rádio base (ERBs).

1.4 Estrutura do Trabalho

O presente documento é dividido em 6 capítulos, sendo eles:

- 1) Introdução: Que é o presente capítulo, que visa a apresentação do trabalho;

- 2) Situação Energética Brasileira: É o capítulo no qual são apresentados um breve histórico da energia solar no Brasil, as principais fontes de energia elétrica utilizadas atualmente no Brasil, no Nordeste e no Ceará, e o potencial que o país detém para geração de energia elétrica a partir da energia solar, apresentando um mapa da irradiação solar no Brasil;
- 3) Os Painéis Fotovoltaicos e Algumas Aplicações: Neste capítulo, é dada uma visão geral sobre o funcionamento dos painéis fotovoltaicos, com os equipamentos necessários ao funcionamento do sistema, os principais tipos existentes com suas descrições e são destacadas algumas aplicações dos mesmos;
- 4) As ERBs: Capítulo no qual é apresentada uma visão geral do funcionamento das ERBs, com foco no sistema de alimentação, tanto para o caso de a alimentação ser fornecida pela concessionária, quanto por sistema autônomo, mostrando os equipamentos envolvidos, bem como os fatores que influenciam no dimensionamento dos equipamentos de alimentação;
- 5) Implementação do Projeto: É o capítulo em que é apresentado o projeto proposto pela empresa de telecomunicações, com os equipamentos a serem utilizados, a planta do projeto, as condições para o funcionamento a partir de cada fonte de energia, bem como o orçamento final do projeto.
- 6) Conclusão: É dada uma visão geral sobre a implementação do projeto e do desenvolvimento do presente trabalho.

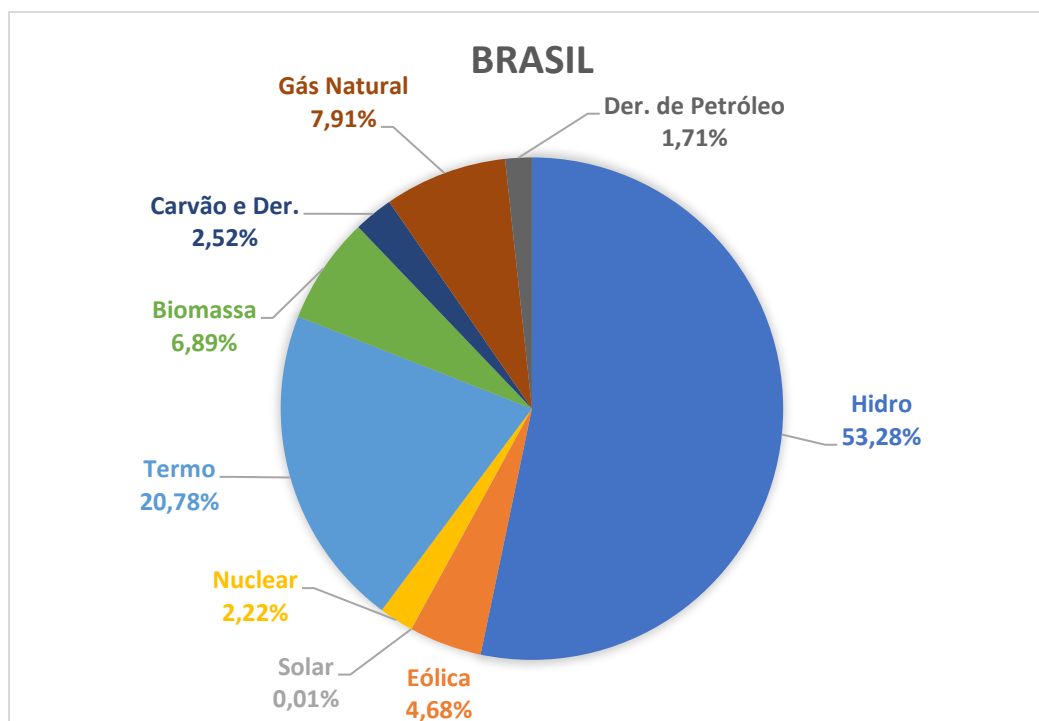
2. SITUAÇÃO ENERGÉTICA BRASILEIRA

2.1 Cenário Energético Atual

O Mercado de geração de energia elétrica apresenta forte tendência ao uso de fontes renováveis de energia, principalmente devido à preocupação com o meio ambiente, pois as fontes não-renováveis de energia emitem gases que contribuem para o efeito estufa (EXAME, 2017). Também deve ser ressaltado que as fontes não renováveis de energia são esgotáveis, enquanto as renováveis, como a solar e a eólica, são provenientes de fontes inesgotáveis no planeta (PORTAL ENERGIA, 2015).

A seguir, são apresentados gráficos com dados provenientes do Balanço Energético Nacional (BEN) de 2017 (ano base 2016), elaborado pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE). São apresentados os cenários atuais de geração de energia elétrica por fonte. No Gráfico 1, tem-se os percentuais de geração de eletricidade no Brasil por fonte:

Gráfico 1 - Geração de Eletricidade por Fonte no Brasil (GW)



Fonte: (Adaptado de BEN, 2017) O presente documento apresenta a implementação de um sistema híbrido de energia em uma ERB, que é uma estação rádio base, também

conhecida como site ou torre de telecomunicações, em que há o fornecimento de energia elétrica pela concessionária e por um sistema de energia solar fotovoltaica.

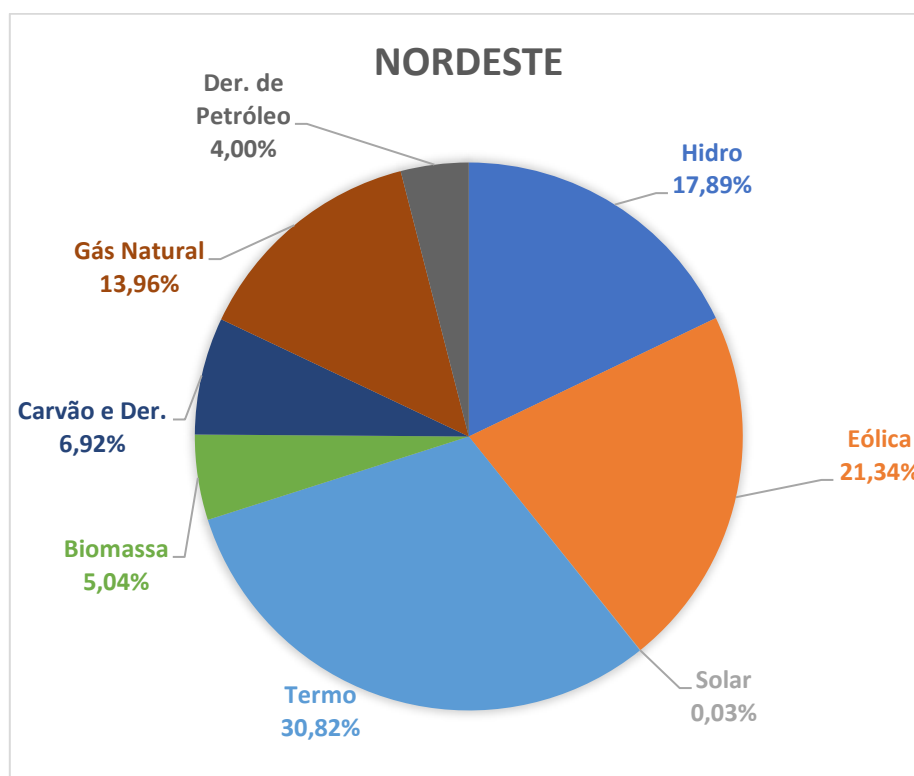
A partir do gráfico 1, pode-se notar que as hidroelétricas detêm mais da metade da geração de energia elétrica, com 53,28%, que, em quantidade, corresponde a 380.911GW. Em seguida, temos as termoelétricas, que são responsáveis por 20,78% da geração de eletricidade, correspondente a 148.549GW.

Atualmente, as fontes de energia hidroelétrica estão em crise devido às secas ocorridas nos últimos anos, o que força o acionamento das termoelétricas, o que acarreta maior poluição ambiental e aumento da conta de energia elétrica para o consumidor (DUSOL, 2017).

Os investimentos em energia solar e eólica devem aumentar, bem como os incentivos fiscais às implantações das mesmas (EXAME, 2017). Atualmente, a energia solar representa apenas 0,01% da geração nacional, o que corresponde a 85GW. Já a energia eólica apresenta participação de 4,68% no mercado nacional, o que é, em quantidade, 33.489GW.

No Gráfico 2, é apresentado o cenário energético atual para o nordeste, também mostrando os percentuais para geração de eletricidade por fonte:

Gráfico 2 - Geração de Eletricidade por Fonte no Nordeste (GW)



Fonte: (Adaptado de BEN, 2017)

Para o Nordeste, a principal fonte de geração de energia elétrica é a termoeletrônica, que corresponde, em porcentagem, a 30,82% do total, e, em quantidade, 40.932GW, seguido da eólica, que responde por 21,34% da geração total na região, sendo essa porcentagem correspondente ao valor de 28.349GW. Deve ser ressaltado que 84,65% de toda a energia eólica produzida no país é proveniente da região nordeste.

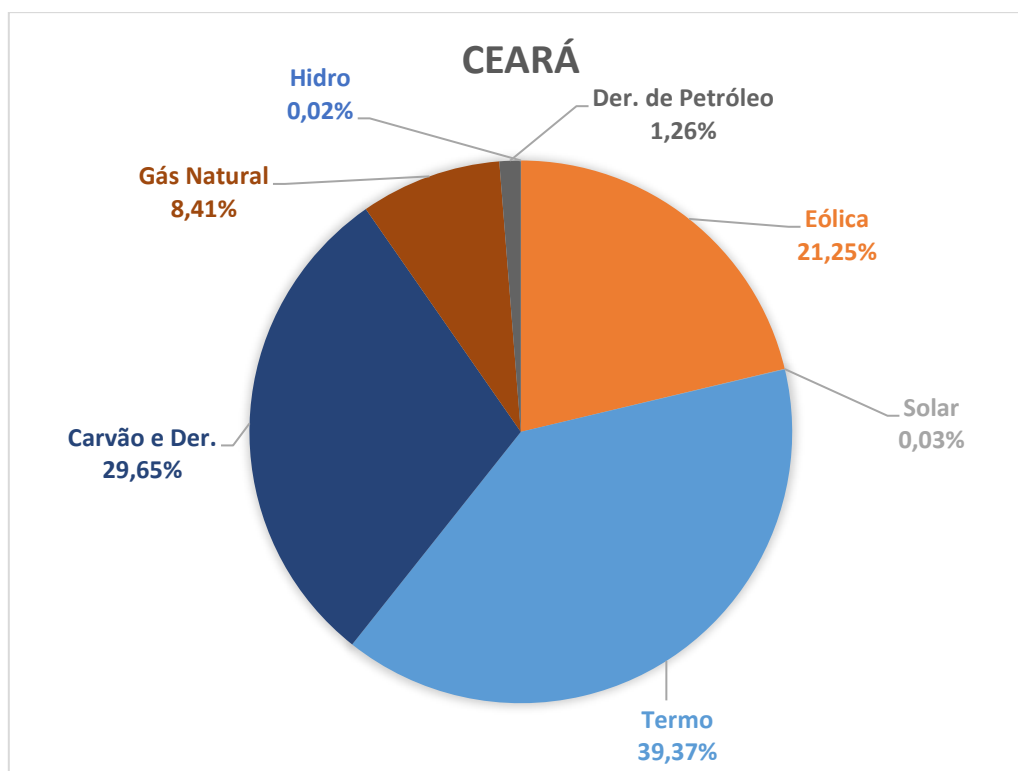
Tem-se que a participação das hidroelétricas tem uma redução drástica na participação total em relação ao cenário brasileiro, agora sendo responsável por apenas 17,89% da geração total, o que é, em quantidade, 23.758GW. A participação da energia solar aumentou em relação ao cenário nacional também, respondendo agora por 0,03%, que corresponde a 40GW, quase metade de toda a geração de eletricidade nacional.

Temos essa mudança de cenário devido ao fato das maiores usinas hidroelétricas estarem situadas na região norte (CHP, 2013), e também ao fato do Nordeste ter um longo período de estiagem ao longo de um ano, o que leva a grandes secas.

O Nordeste possui os maiores índices de irradiação solar do Brasil, o que torna a região favorável à geração de eletricidade por meio de placas fotovoltaicas, e quanto à energia eólica, sua participação está crescendo cada vez mais devido aos avanços tecnológicos na área, e, em 2024, a previsão é que 45% da energia elétrica gerada nesta região seja proveniente dos ventos (MOSSORÓ HOJE, 2016).

O próximo cenário apresentado, no Gráfico 3, de forma semelhante aos anteriores, é para o Ceará, que é o estado em que o projeto será implementado:

Gráfico 3 - Geração de Eletricidade por Fonte no Ceará (GW)



Fonte: (Adaptado de BEN, 2017)

No Ceará, tem-se que a principal fonte de geração de eletricidade é a termoelétrica, com 39,37% da geração total no estado, que significa 9.307GW de potência, e há uma redução mais drástica ainda na participação das hidroelétricas, que,

em comparação ao cenário nacional pode ser considerado insignificante, sendo responsável por apenas 0,02% da geração total estadual, sendo essa porcentagem correspondente a 4GW de potência apenas.

Em porcentagem, as participações da energia eólica e solar do Ceará são semelhantes às do Nordeste, sendo, respectivamente, correspondentes a 21,25%, 5.024GW de potência, e 0,03%, 8GW de potência.

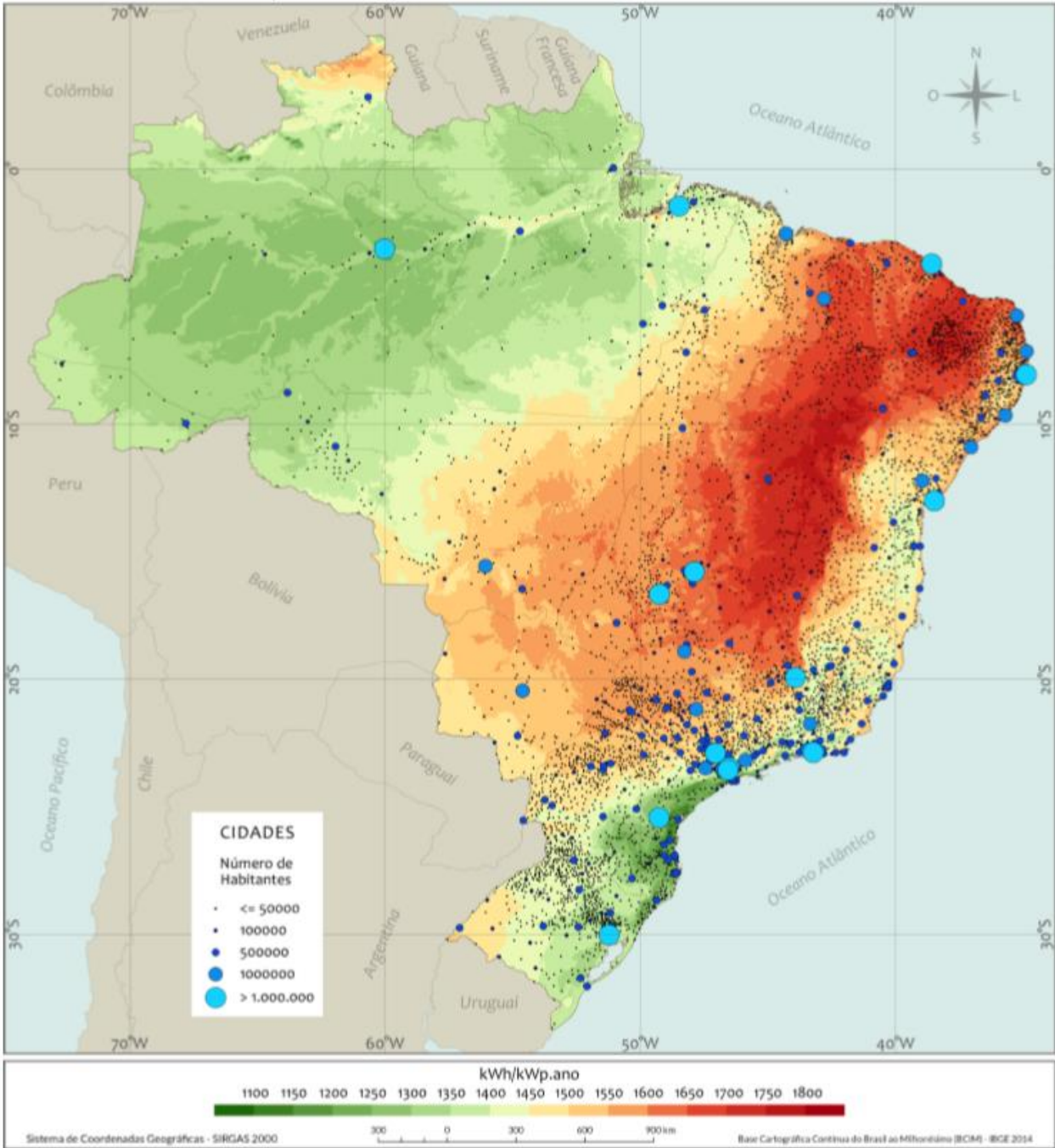
Esta mudança de cenário deve-se ao fato do Ceará ser o estado que possui a menor quantidade de rios perenes do Brasil, possuindo então Pequenas Centrais Hidrelétricas instaladas em açudes, como a PCH do açude Paulo Sarasate, localizado no município de Varjota (SALES; MENDONÇA; MACIEL, 2010, p. 35).

O Ceará é o estado com maior potencial de eficiência do vento do Brasil, favorecendo o desenvolvimento da energia eólica (TRIBUNA DO CEARÁ, 2016), e também, devido ao posicionamento geográfico do estado, próximo à linha do Equador, possui alta incidência de irradiação solar, tendo pouca oscilação, o que permite que a energia elétrica proveniente das placas fotovoltaicas tenha seu crescimento beneficiado.

2.1 Potencial Brasileiro para Geração de Energia Solar

A Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica (ABSOLAR) disponibiliza o Atlas Brasileiro de Energia Solar, que possui, dentre várias outras informações, o mapa do potencial de geração solar fotovoltaica a partir do rendimento energético anual, medido em kWh/kWp.ano, em que kWh significa kW por hora e kWp a potência máxima que o painel FV pode fornecer, utilizando uma taxa de desempenho de 80% para as placas FV. Na Figura 1, o mapa de potencial para geração de energia fotovoltaica:

Figura 1 – Potencial de geração de energia solar FV a partir do rendimento energético anual no Brasil



Fonte: (Atlas Brasileiro Solar, 2ª ed., 2017)

O que se pode concluir pelo mapa é o que foi afirmado no tópico anterior, que o Nordeste e o Ceará, em especial, possuem grandes potenciais para o desenvolvimento da geração de eletricidade a partir da energia solar.

3. OS PANÉIS FOTOVOLTAICOS E SUAS APLICAÇÕES

3.1 Princípios de Funcionamento

Os painéis fotovoltaicos são placas utilizadas para converter a energia solar em elétrica, utilizando para isso células feitas de materiais semicondutores, como o silício, que é o mais comum (COSOL, 2016).

Durante o efeito fotovoltaico, surge uma tensão elétrica no material semicondutor quando é exposto à luz, que faz com que os átomos da banda de valência do elemento semicondutor saltem para a banda de condução, provocando a corrente elétrica, caso haja carga conectada ao painel (SOUZA R., 2017).

Como principais fatores que influenciam a eficiência das placas fotovoltaicas, pode-se citar:

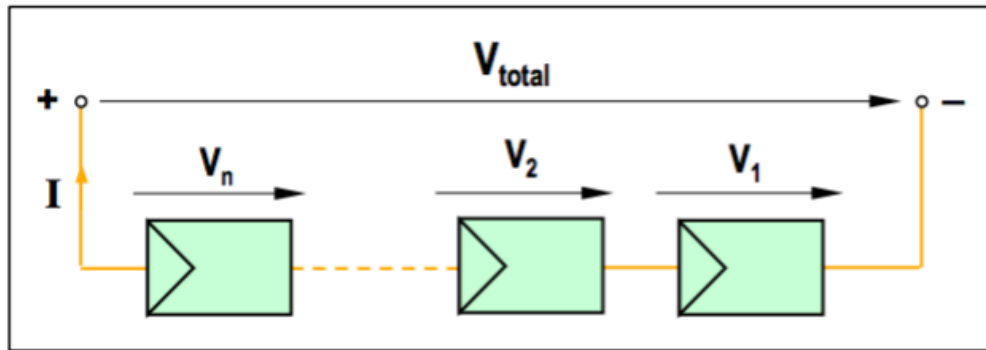
- 1) Temperatura: Boa parte da energia captada pelos painéis é dissipada em forma de calor, o que faz com que a temperatura do painel esteja sempre mais elevada do que a do ambiente, e isso é medido por meio do coeficiente de potência, que indica o percentual de perda de potência para cada grau Celsius a mais. A temperatura dos painéis solares pode chegar a 70°C, ocasionando perda de até 30% da potência (SIMÕES, 2015);
- 2) Nível de radiação solar: Os painéis não produzirão energia à noite, quando não há incidência de radiação solar sobre o painel;
- 3) Sombreamento: As áreas sombreadas, tanto por árvores, sujeira, prédios, entre outros fatores, causarão uma perda na produção de energia elétrica, podendo chegar a tornar a instalação do sistema inviável (SIMÕES, 2015).

A fim de aumentar a potência máxima do sistema, os módulos fotovoltaicos podem ser ligados das seguintes formas:

- 1) Série: Nesta associação, o terminal positivo de uma placa é ligado ao terminal negativo de outra placa, em fileira. É recomendado que os módulos sejam iguais, para que assim sejam evitadas perdas de potência do sistema, já que a corrente que percorre os módulos é a mesma, e a tensão total do sistema é o somatório da tensão individual de cada placa. Logo, este tipo de ligação é utilizado quando deseja-se obter tensões mais altas.

Na Figura 2, tem-se o esquema de módulos ligados em série:

Figura 2 – Esquematização da Associação de Módulos em Série

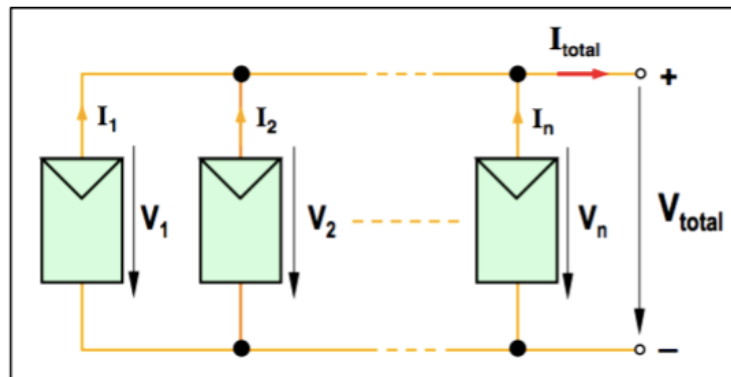


Fonte: (Carneiro, 2010)

- 2) Paralelo: Neste associação, geralmente utilizada em sistemas autônomos, os terminais positivos de cada módulo são ligados a um ponto, e os terminais negativos de cada um são ligados a outro ponto. Também se recomenda que sejam utilizados módulos iguais, porém, a tensão total sobre o sistema é igual à tensão individual de cada placa, e a corrente total é o somatório das correntes individuais de cada uma. Logo, este tipo de ligação é utilizado quando deseja-se obter uma corrente mais alta no sistema.

Na Figura 3, tem-se o esquema de módulos ligados em paralelo:

Figura 3 – Esquematização da Associação de Módulos em Paralelo

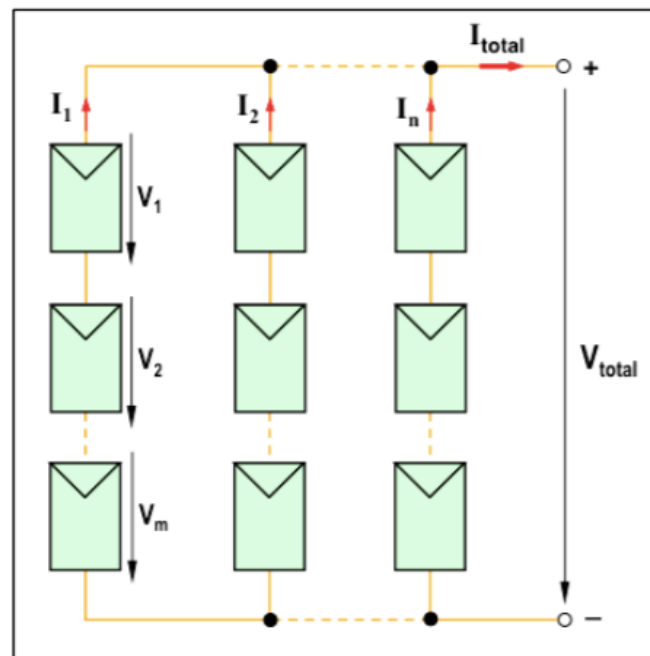


Fonte: (Carneiro, 2010)

- 3) Misto: Nesta associação, geralmente utilizada em sistemas ligados à rede de distribuição local, há as duas associações, ou seja, tem-se módulos ligados em série, as fileiras, ligados em paralelo. Novamente, é ideal que os módulos sejam iguais, e a corrente total do sistema é o somatório das correntes que passam por cada ligação em série, e a tensão total é o somatório das tensões de cada módulo em uma só fileira. Este tipo de associação permite que sejam obtidos maiores valores tanto de corrente, quanto de tensão (CARNEIRO, 2010).

Na Figura 4, tem-se o esquema de módulos ligados de forma mista:

Figura 4 – Esquemática da Associação de Módulos de Forma Mista



Fonte: (Carneiro, 2010)

Como vantagens do sistema solar, pode-se citar que é um sistema de geração de energia limpa, de fácil instalação, baixa manutenção e longa vida útil (SOUSA, 2014). Como desvantagens, pode-se citar que ainda é um sistema de alto custo financeiro e, conforme os itens 2 e 3, em locais com muita sombra, invernos severos ou com baixo nível de radiação solar, torna-se inviável a instalação.

3.2 Tecnologias de Painéis Fotovoltaicos Disponíveis no Mercado

Neste tópico, são apresentadas as tecnologias mais comuns atualmente, e também outra tecnologia ainda em desenvolvimento.

Segundo o Portal Solar (2015), documento no qual este tópico é baseado, existem 3 tipos de painéis fotovoltaicos: Silício, filme fino e híbrido.

1) Silício (Si): O silício é, nos tempos atuais, a base para a fabricação de 80% dos painéis existentes. As suas variações são de acordo com a pureza do silício utilizados, que é diretamente proporcional à eficiência do painel.

a. Silício Monocristalino: Com eficiência entre 14 e 22%, que chega a ser a maior disponível no mercado, é uma das tecnologias mais caras e mais antigas. Possui alta pureza de silício.

Como vantagens desta tecnologia, além da alta eficiência, tem-se que, devido este fator, é necessária uma área menor para a mesma geração de energia, logo, ocupa menos espaço, possuem vida útil superior a 30 anos e tendem a funcionar melhor do que os policristalinos.

Como desvantagens desta tecnologia, além de ser a tecnologia mais cara, tem-se que o processo utilizado para sua produção gera uma quantidade significativa de silício que não é aproveitado, indo para a reciclagem.

A Figura 5 apresenta um exemplo de painel solar monocristalino:

Figura 5: Paine Solar FV Monocristalino



Fonte: (Enel Soluções, 2016)

- b. Silício Policristalino: Com eficiência entre 13 e 18%, o nome dá-se devido ao fato de que os cristais de silício, durante o processo, têm sua formação de múltiplos cristais preservada.

Como vantagens, tem-se que estes painéis são baratos do que os monocristalinos, gera menos quantidade de placa residual do que a tecnologia anterior, e a vida útil é semelhante ao tipo de painel anterior. Como desvantagens, tem-se que é menos eficiente do que o monocristalino, o que implica no fato de ser necessária uma área maior para produzir a mesma quantidade de energia elétrica do que a tecnologia do item a.

A Figura 6 apresenta um exemplo de painel solar policristalino:

Figura 6: Painei Solar FV Policristalino



Fonte: (Portal Solar, 2015)

- 2) Filme Fino: São painéis onde são depositadas uma ou várias camadas finas de um material FV sobre um substrato. A eficiência média é de 7 a 13%, podendo chegar até 16%. Os materiais FV podem ser:
- a. Silício Amorfo (a-Si): Utilizada principalmente em aplicações de baixa escala, durante o processo de produção, são “empilhadas” várias camadas de silício amorfo. Possui eficiência entre 6 e 9%.
 - b. Telureto de Cádmio (CdTe): Utilizada principalmente em grandes usinas solares e em satélites, devido ao teor tóxico do cádmio, possui relação custo/benefício melhor do que os painéis de silício cristalino. Possui eficiência entre 9 e 16%.
 - c. Cobre, Índio e Gálio (CIS/CIGS): Contém menos cádmio do que a tecnologia descrita no item b, em alguns países, são vendidos painéis FV CIGS flexíveis. Possui eficiência média de 10 a 12%, podendo passar do 13% em alguns casos.
 - d. Orgânico (OPV): Tecnologia ainda em desenvolvimento, utilizando polímeros como matéria-prima, pretende ter como características ser de

baixo custo, flexível e utilizando máquinas simples. A eficiência é variável.

Como vantagens do painel de filme fino, tem-se que, por serem homogêneos, são esteticamente mais bonitos, alguns são flexíveis, são mais baratos devido ao processo de produção ser mais simples, e não sofrem tanta influência da temperatura e do sombreamento sobre a eficiência.

Como desvantagens desta tecnologia, tem-se que têm eficiência menor do que os painéis de silício cristalino, demandando maior quantidade de painéis, logo, maior área ocupada, com maior custo de implantação, e possuem vida útil menor do que as de silício.

A Figura 7 apresenta um exemplo de painel solar de filme fino flexível:

Figura 7: Painel Solar FV Filme Fino



Fonte: (Portal Solstício Energia, 2017)

- 3) Híbrido (HJT): Esta tecnologia ainda é novidade no Brasil, sendo também conhecida como heterojunção, possui processo de fabricação semelhante ao do silício monocristalino, porém com passivação com camada de silício amorfo. Possui eficiência média de 20% e sofre pouca influência da temperatura.

A Figura 8 apresenta um exemplo de painel solar híbrido:

Figura 8: Painel Solar FV Híbrido



Fonte: (Portal Solar, 2015)

3.3 Exemplos de Aplicações dos Painéis Fotovoltaicos

Cada vez mais, devido aos fatores discutidos no capítulo 2 deste presente documento, são procuradas formas de utilizar a energia solar como fonte de energia elétrica. Serão mostrados, então, algumas das principais aplicações de utilização deste sistema:

- 1) Sistema autônomo isolado: Consiste no sistema solar “puro”, que não está interligado à rede de distribuição. Pode ser dos seguintes tipos:
 - a. Carga CC sem armazenamento: Há a utilização da energia elétrica de fonte solar no momento em que é gerada, sem banco de baterias para armazenar;
 - b. Carga CC com armazenamento: Além da utilização momentânea da energia, há o armazenamento de uma parcela da geração em baterias;
 - c. Carga CA sem armazenamento: Funciona de forma semelhante à de carga CC sem armazenamento, porém utilizando um conversor CA/CC entre o sistema FV e o equipamento a ser utilizado;

- d. Carga CA com armazenamento: Funciona de forma semelhante à de carga CC com armazenamento, porém utilizando um conversor CA/CC entre o sistema FV e o equipamento a ser utilizado. Este é normalmente utilizado em residências.
- 2) Sistema autônomo híbrido: É um sistema que utiliza, além do modelo FV, outras fontes de energia que não provêm da rede de distribuição local, como sistema de geração de energia elétrica a partir da eólica, a partir de combustíveis fósseis, a partir da biomassa, entre outros (FADIGAS, 200-);
 - 3) Microgeração interligada à rede: Pode ser utilizado em instalações de pequeno, médio e grande porte, para diversos usos, em que o sistema FV é utilizado para geração de energia elétrica de consumo próprio, com os excedentes sendo injetados na rede de distribuição local. Esse excedente é contabilizado por um medidor bidirecional, que mede a energia consumida e a produzida, e, caso confirmado o excedente, é fornecido um crédito de energia, que pode ser utilizado tanto na mesma Unidade Consumidora de origem, quanto em outra, pelo Sistema de Compensação de Energia Elétrica, regulamentado pela Resolução Normativa ANEEL nº 482/2012 (ENEL, 201-);
 - 4) Bombeamento de água: Utilizado principalmente em regiões rurais, é uma das aplicações do sistema autônomo isolado a ser destacada, onde o acesso ao fornecimento de energia elétrica a partir das concessionárias é precário, essa energia é então obtida a partir de um sistema de painéis FV. Pode ser feito de dois modos:
 - a. Direto: Os painéis solares são ligados diretamente às bombas, com o funcionamento então dependente da variação climática no local. Por não utilizar muitos equipamentos, é um sistema mais barato;
 - b. Indireto: Há a implementação de banco de baterias e de controladores ao sistema, possibilitando o armazenamento de energia. Portanto, esse sistema é mais caro (BRAGA, 2008).
 - 5) Usinas Solares: Consiste na utilização em grande escala da energia solar, em que há um número muito grande de placas FV, e pode ser utilizada para

diversos fins, tanto para geração autônoma, quanto para microgeração distribuída (PORTAL DA ENERGIA, 2018);

- 6) Geração de energia elétrica para torres de telecomunicações: É a aplicação em foco no presente documento, em que é instalado um sistema FV, associado ou não a outras fontes de energia elétrica, utilizada principalmente em locais remotos, cujo fornecimento de energia pela concessionária é precário.

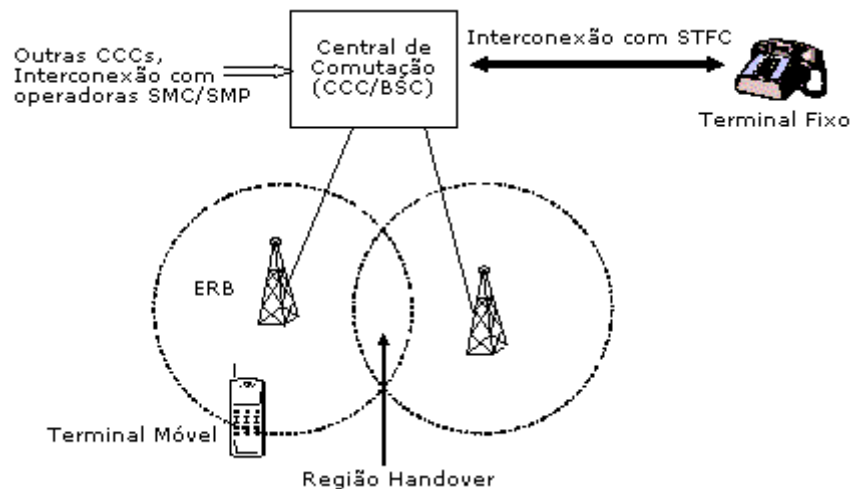
4. AS ESTAÇÕES RÁDIO BASE (ERBs)

4.1 Princípios de Funcionamento

As estações rádio base (ERBs), popularmente conhecidas como torres de telefonia ou sites, é a estação fixa onde ocorre a comunicação entre telefone móvel (celulares) e outros terminais, que podem ser outros celulares ou telefones fixos. Elas estão conectadas a uma Central de Comutação e Controle (CCC), que, por sua vez, têm interconexão com o Serviço Telefônico Fixo Comutado (STFC), que são as centrais que permitem que a rede funciona (TUDE, SOUZA J., 2007).

Na Figura 9, tem-se uma esquematização da interligação entre as ERBs e a CCC, bem como com o STFC. A região de *handover* é onde há encontro dos sinais de ambas as ERBs, onde o aparelho celular do cliente troca de sinal de um site para o outro.

Figura 9: Esquematização de Interligação da Rede de Telefonia Móvel



Fonte: (Tude; Souza J., 2007)

Os sites podem ser do tipo *indoor*, que são dentro de compartimentos, necessitando de uma infraestrutura de climatização, utilizadas especialmente dentro de grandes centros comerciais e turísticos, ou *outdoor*, que são implantadas ao ar livre, necessitando de uma infraestrutura adequada para obter uma boa ventilação, sendo este o tipo mais utilizado e que existe em maior número.

De um modo geral, as ERBs são compostas por 4 elementos:

- 1) Local de implantação;
- 2) Infraestrutura necessária para a implantação, o que inclui a parte civil e a elétrica, que é o foco do presente documento, que é constituído por: alimentação, climatização, baterias, fontes e GMG (Grupo Moto Gerador);
- 3) Torre, onde são instaladas as antenas e o enlace de rádio;
- 4) Equipamentos de telecomunicações (HENRIQUES, MARTINS, 2009).

4.2 Sistema de Alimentação das ERBs a Partir das Concessionárias

A alimentação dos sites pode ser feita em CC ou CA, a 220 ou 380V monofásico ou trifásico, sendo feita em sua maior parte em CA, e em CC, apenas quando a alimentação vem de alguma estação da rede fixa.

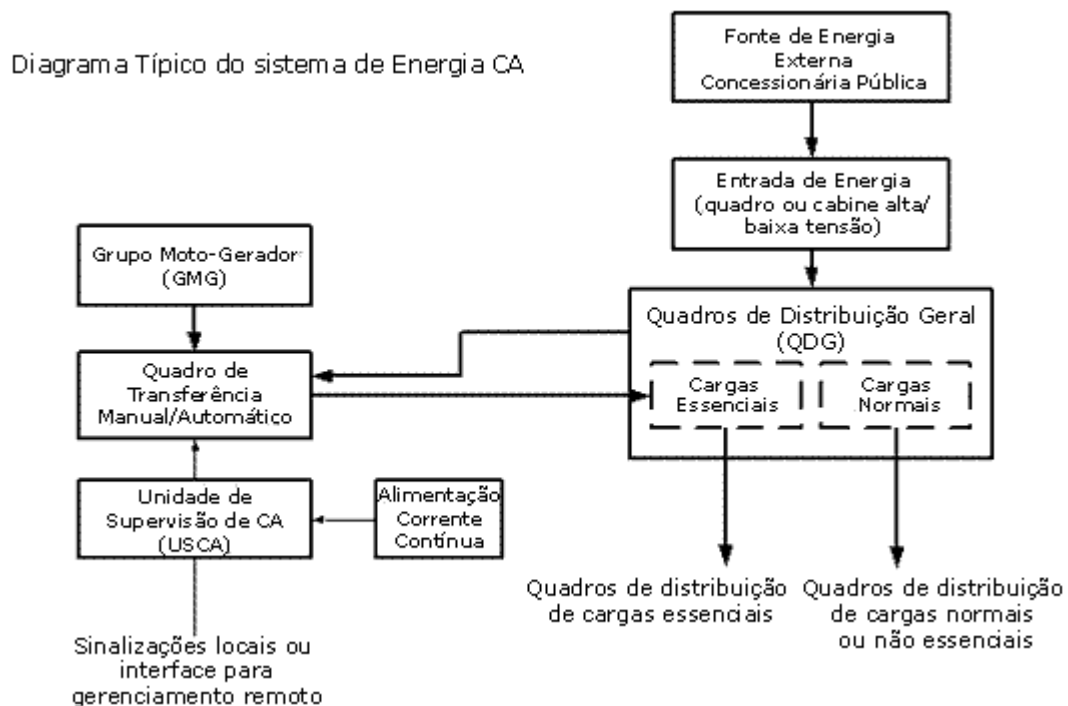
Os componentes necessários para a parte de alimentação de uma ERB, segundo MALUF, MARTINS, 2008, são:

- 1) Fonte de Energia de Entrada: É o local do qual o fornecimento de energia é provido, que, neste caso, é da concessionária;
- 2) Quadro de Entrada: É o local no qual ocorre a integração entre a alimentação e os componentes do site. Há uma proteção contra surtos de tensão e descargas atmosféricas;
- 3) Grupo Moto Gerador (GMG): É o gerador que funciona na falta de energia principal da concessionária, constituído por um motor a diesel acoplado a um alternador síncrono trifásico, e pode ser estacionário na estação (neste caso, não pode haver paralelismo de GMGs) ou móvel. É utilizado o estacionário para estações de médio porte, e móvel para estações de pequeno porte (RODRIGUES, 2013). Ele funciona sob comando e supervisão da USCA;
- 4) Quadro de Distribuição Geral (QDG): É o quadro intermediário que alimenta as cargas que a ele estão ligadas. Normalmente, abrigam fusíveis e disjuntores;
- 5) Unidade de Supervisão de Corrente Alternada (USCA): É o local que recebe, controle e protege e comanda as transferências de energia a partir das fontes de CA;

- 6) Alimentação CC da USCA: A alimentação da USCA provém de um banco de baterias (alimentação CC);
- 7) Quadro de Transferência Manual/Automático: Realiza a comutação manual ou automática da alimentação do barramento essencial pelas fontes CA;
- 8) Sistema de Aterramento Descarga Atmosférica: Composto por barramentos, eletrodos e condutores de terra, é um item exigido legalmente, sendo importante para garantir a segurança pessoal, proteger os equipamentos do site contra sobretensões e correntes de alta frequência, limitar os níveis de ruídos e utilizar o terra como caminho de retorno para um dos condutores do circuito CC.

Na Figura 10, é apresentado o esquemático do sistema de alimentação em CA.

Figura 10: Diagrama da Alimentação CA



Fonte: (Maluf; Martins, 2008)

Após esta primeira etapa, existe a estrutura intermediária de retificação, que é a Unidade Retificadora (UR), sendo esta uma fonte chaveada controlada eletronicamente, o que permite a conexão com computadores, permitindo que o controle da mesma seja

feito remotamente. É responsável por fornecer a potência para as cargas e controlar os eventos de carga e descarga dos bancos de bateria (RODRIGUES, 2013).

Como estrutura final, tem-se o banco de baterias, fundamental ao funcionamento dos sites, pois os mesmos devem funcionar 24h por dia, que deve ter autonomia de até 4 horas na falta de energia. O mesmo é dimensionado de acordo com os equipamentos a ele ligados, sendo, na sua maior parte, bancos de 4, 8 ou 12 baterias, de 100Ah ou 170Ah.

4.3 Sistema de Alimentação das ERBs a Partir das Placas Fotovoltaicas

A Figura 11 apresenta um exemplo de instalação de painéis solares para alimentar os sites:

Figura 11: Instalação de Painéis Solares para Alimentação de ERBs



Fonte: (Solarterra, 201-)

A estrutura necessária para a alimentação de uma ERB a partir de um sistema fotovoltaico é:

- 1) Painel solar: As especificações, modelos, vantagens e desvantagens foram discutidos no capítulo 3 deste presente documento;
- 2) Módulo Fotovoltaico: É responsável pela conversão da energia que chega às células fotovoltaicas em energia elétrica, sendo uma unidade essencial ao sistema, sendo composto pelos painéis solares, banco de baterias, controladores de cargas e inversores (SANTOS, 2006);
- 3) Banco de baterias: Indispensável neste caso, pois, como discutido no capítulo 2, o painel solar apenas gera energia durante o período de irradiação solar, e os sites devem estar disponíveis 24h por dia. O banco de baterias deve armazenar a energia captada durante o dia para que a mesma seja utilizada durante a noite e em períodos com pouca irradiação solar, sem interrupção do serviço de telecomunicações;
- 4) Controlador de cargas: É utilizado para proteção do banco de baterias, suportando a corrente de curto circuito do módulo e a corrente que vai para as cargas, evitando assim descargas e sobrecargas (SANTOS, 2006);
- 5) Conversor CC-CA: Também conhecido comercialmente como inversor, é um equipamento que transforma a corrente contínua das baterias em corrente alternada. Também elevam o nível de tensão, diminuindo a bitola necessária dos cabos, o que diminui as perdas ôhmicas no sistema (RODRIGUES, 2013; SANTOS, 2006).

4.4 Fatores a Serem Considerados no Dimensionamento do Sistema de Alimentação

Para dimensionar os equipamentos envolvidos no sistema de alimentação dos sites, devem ser levados em consideração os seguintes fatores:

- 1) Tecnologias disponíveis no site: No geral, quanto mais tecnologias ofertadas, maior o consumo do site, pois são necessários mais equipamentos no geral, pois

cada tecnologia tem suas particularidades e utilizam um sistema específico, com mais bastidores. São elas:

- a. 2G (Ou GSM): Tecnologia pela qual há tráfego de voz e dados, está ligada a uma estação rádio base transceptor (BTS), nome dado à estrutura fixa dentro do gabinete instalado no chão, ao lado da torre. Possui capacidade avançada para processamento de chamadas;
 - b. 3G: Possibilita o tráfego de voz, dados e vídeos, sendo este preferido para dados em relação ao 2G, com acessos via rádio aperfeiçoados que possibilitam a navegação de dados em alta velocidade. O nome dado ao gabinete desta tecnologia é NodeB;
 - c. 4G: É uma tecnologia 10 vezes melhor do que a anterior, com tráfego apenas de dados, que possibilita acesso à internet em altíssima velocidade, sendo, no Brasil, a melhor tecnologia móvel disponível (BLACKBOARD, 2018). Atualmente, está em processo de ampliação para o que é, comercialmente, vendido como 4,5G, que, nada mais é do que a implantação de novas antenas operando em frequência diferente da anterior, que era 2.600MHz, e agora há também em 1.800MHz, possibilitando a ampliação da cobertura desta tecnologia. O nome dado ao gabinete do 4G é eNodeB.
- 2) Quantidade de setores: A quantidade de setores de cada tecnologia, ou seja, de antenas, é também importante. Normalmente, são 3 para cada tecnologia, podendo variar em casos específicos, como em interiores com pouca população, diminuindo a quantidade de setores, para sites em “beira de estrada”, em que há apenas 2 setores, sites indoor e localidades na capital, em que é necessária ampliação de setores;
- 3) Climatização: Nos sites, há um bastidor que comporta quase todos os equipamentos do sistema, que é o bastidor, que, na maioria dos casos, que são sites outdoor, ficam expostos ao ar livre, e visto que vivemos em um país tropical, além do calor ambiente, há também o calor proveniente dos equipamentos internos, sendo necessário um sistema de climatização, com FANs (ventiladores, também conhecidos como “coolers”) e alarmes que acionam, remotamente, a

central em casos de superaquecimento. A temperatura ideal costuma ser em torno de 25°C (RODRIGUES, 2013);

- 4) Caso de painel fotovoltaico: Os fatores que influenciam no dimensionamento dos sistemas fotovoltaicos são os discutidos no capítulo 3.

No próximo capítulo, será apresentado um exemplo de implementação de um projeto híbrido, ou seja, uma ERB alimentada tanto pelos painéis fotovoltaicos, quanto pela concessionária local, em um site localizado no interior, uma localidade remota, tendo como objetivo principal o fornecimento mais estável de energia à torre de telecomunicações, para que assim a população que habita o município, bem como os visitantes, possam ter um sinal de telefonia móvel de melhor qualidade.

5. IMPLEMENTAÇÃO DO PROJETO

5.1 Introdução

O projeto estudado neste trabalho está sendo implementado por uma empresa de telecomunicações, e visa a implementação de um sistema híbrido de energia, com foco na melhoria da qualidade do serviço fornecido, utilizando tanto a energia proveniente da concessionária, na qual esta parte não será apresentada neste capítulo, quanto de um sistema de painéis fotovoltaicos em um site já existente, que possui alimentação apenas pela rede de distribuição.

A ERB está localizada em um lugar de difícil acesso, chamada de localidade remota, onde o fornecimento de energia elétrica é precário, logo, o sistema híbrido permite uma estabilidade maior no fornecimento de energia elétrica do site, que é o foco principal do projeto, e também irá gerar economia no consumo de energia.

Então, é projetado um sistema híbrido de energia para atendimento em 48V, envolvendo uma rede comercial CA, um conjunto de painéis solares e um banco de baterias. O sistema terá como prioridade a energia gerada pelos painéis solares e o sistema CA, fornecido pela concessionária, como complementar. O sistema contará ainda com uma interface para um sistema de alarmes, com contatos secos de relés.

O sistema tem como principais componentes um controlador de carregamento solar e um módulo lógico, que serão apresentados a seguir, visto que já há um inversor no site, que será aproveitado neste projeto.

5.2 Painéis Solares

De acordo com o consumo do site, a empresa definiu o uso de 6 painéis de 250W de silício policristalino, que está apresentado na Figura 12, cujas especificações estão apresentadas na Tabela 1:

Tabela 1: Especificações do Painel Solar Utilizado no Projeto

Potência nom./máx.	187/260W
Tensão nominal	27,9Vdc
Corrente nominal	6,71A
Tensão máx. sistema	1000V
Nº de Células	60/painel
Dimensões (LxAxP)	166x99x4,6cm
Peso	19kg
Eficiência	18,50%

Fonte: (Energy Green, 2015)

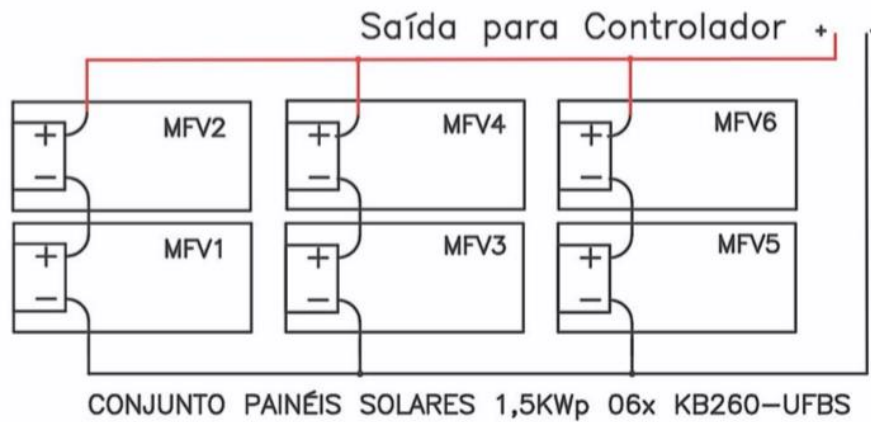
Figura 12: Painel Solar de Silício Policristalino



Fonte: (Energy Green, 2015)

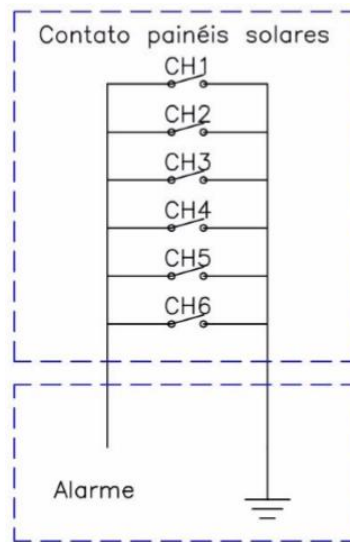
Estes serão interligados conforme a Figura 13, que apresenta um tipo de ligação mista (em série e em paralelo), onde a tensão gerada pelo conjunto será próxima a 48V em CC. Há também a previsão de uma rede de sensores mecânicos conectados fisicamente à cada painel e interligados em paralelos para o acionamento de um alarme, conforme a Figura 14.

Figura 13: Conexão dos Painéis Solares



Fonte: (Próprio Autor, 2018)

Figura 14: Interligação dos Sensores Mecânicos para os Painéis



Fonte: (Próprio Autor, 2018)

5.3 Controlador de Carregamento Solar

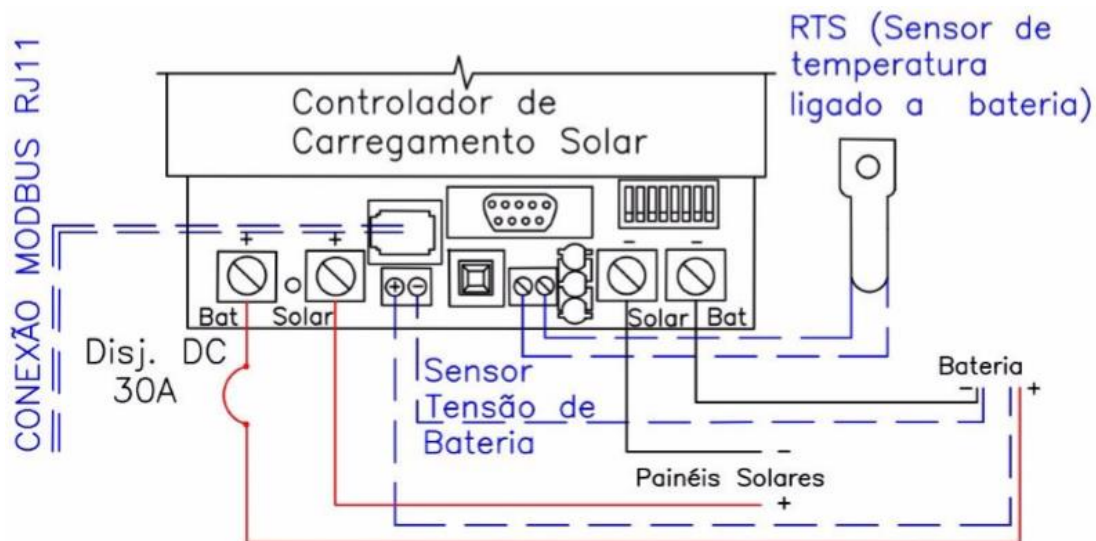
O controlador de carregamento solar, os painéis FV e as baterias estão interligados conforme Figura 15, em que a saída dos painéis solares é conectada à entrada do controlador, assim como o banco de baterias também está ligado a ele.

Entre o conector positivo do controlador e o banco de baterias, é interligado um disjuntor de 30A CC.

É utilizada também uma conexão de sensoriamento mais preciso da tensão de bateria, disponível no controlador. O controlador prevê uma entrada de sensor de temperatura para maior controle do processo de carregamento e uma interface para comunicação MODBUS para troca de informações com outros dispositivos.

A comunicação MODBUS é um protocolo de comunicação serial utilizado em controladores lógicos programáveis (CLP's), que transmite informações sobre redes seriais entre dispositivos eletrônicos, sendo um protocolo livre que permite que os fabricantes o utilizem sem precisar pagar “royalties” (SILVEIRA, 2018).

Figura 15: Conexão do Controlador de Carregamento Solar ao Banco de Bateria e aos Painéis Solares.

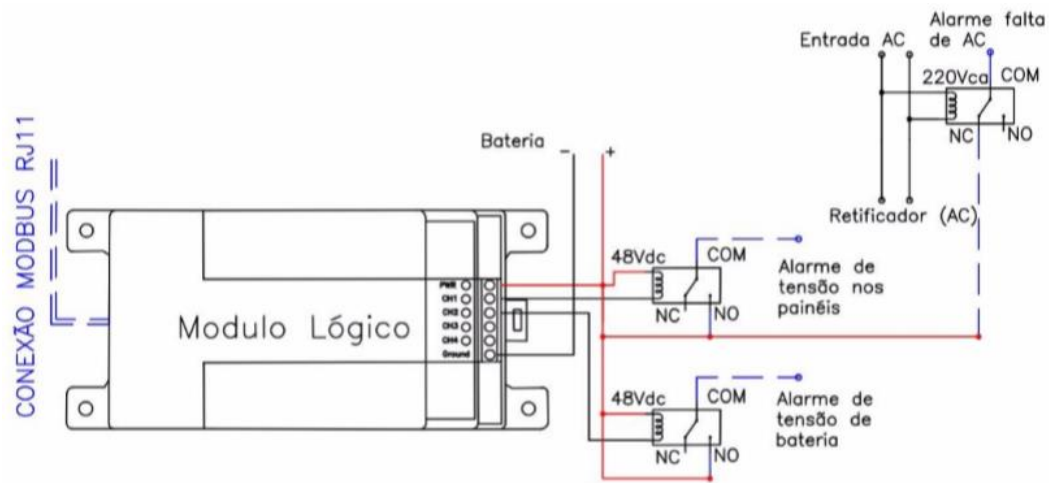


Fonte: (Próprio Autor, 2018)

5.4 Módulo Lógico

O módulo lógico controla quatro saídas independentes através da leitura digital de dados de entrada do controlador de carregamento. Ele é utilizado em conjunto com o controlador de carregamento de baterias e relés de interface conforme a Figura 16. O módulo lógico obtém dados de tensão de painel e bateria fornecidos pelo controlador através da conexão MODBUS, para assim poder atuar nos contatos secos de relé informando situações de baixa insolação e baixa carga de bateria.

Figura 16: Módulo Lógico para Acionamento de Alarmes



Fonte: (Próprio Autor, 2018)

5.5 Alarmes

A interface para o sistema de alarme é feita por contatos secos de relé, cujas funções estão descritas na Tabela 2:

Tabela 2: Situações em que o Alarme é Acionado

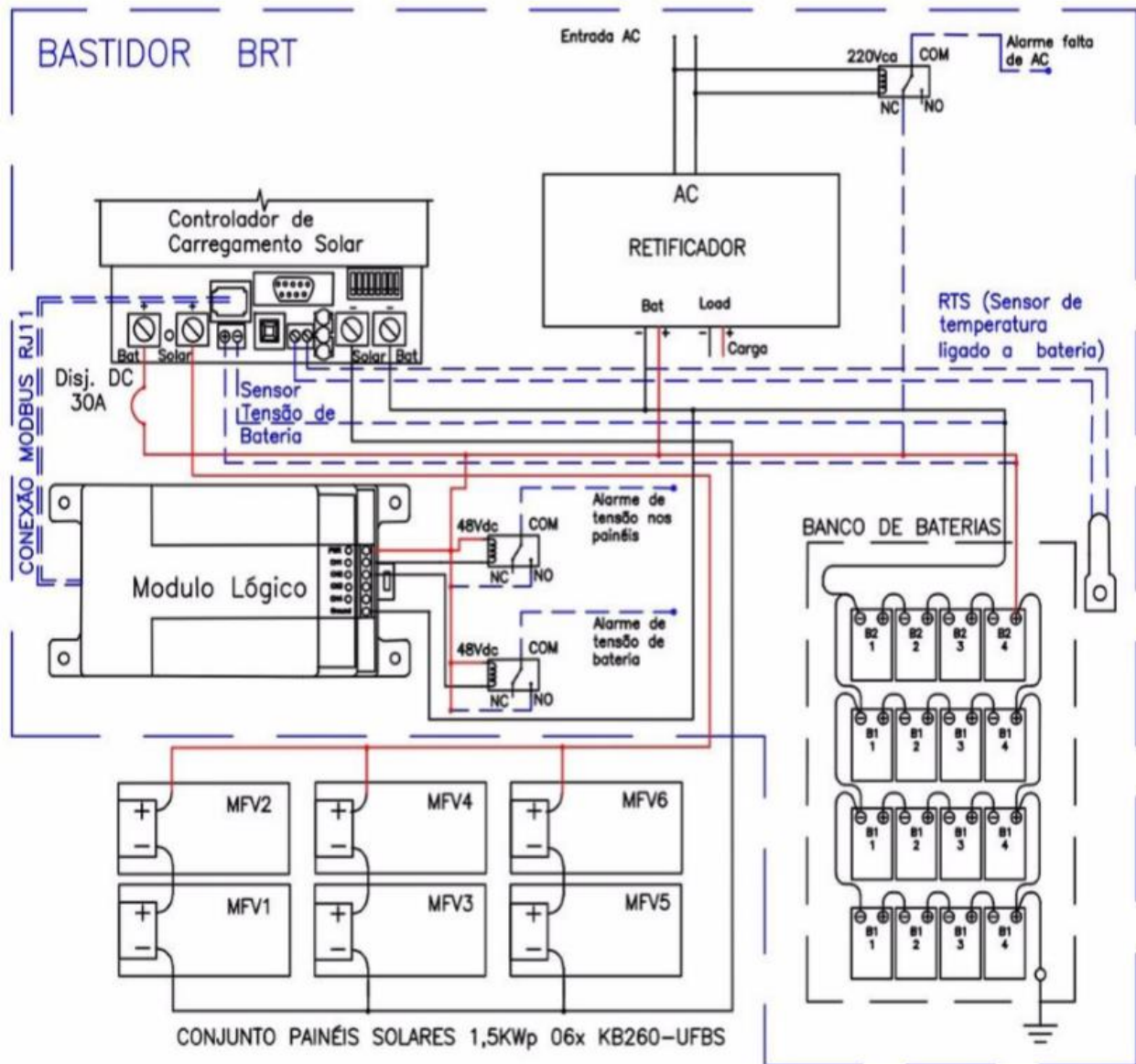
Alarme	Situação
Falta de AC	Quando falta tensão em corrente alternada à montante do retificador.
Tensão nos Painéis	Quando a tensão dos painéis não é suficiente, e não atinge um limiar seguro pré-definido.
Tensão de Bateria	Quando a tensão no conjunto de baterias está abaixo de um limiar seguro pré-definido.
Furto de Painéis	Quando um ou mais painéis não estão presentes no suporte.

Fonte: (Próprio Autor, 2018)

5.6 Visão Geral

A visão geral do site com suas instalações está mostrada na Figura 17, e a planta do projeto está no Anexo A.

Figura 17: Diagrama Funcional do Sistema de Suprimento da ERB



Fonte: (Próprio Autor, 2018)

5.7 Condições de Funcionamento do Sistema

Na Tabela 3 são dadas as condições e, conforme as mesmas, é dado o sistema que alimentação que atuará no site, se é a partir da energia solar, a partir da energia fornecida pela concessionária ou a partir do banco de baterias.

Tabela 3: Alimentação Fornecida ao Sistema Conforme o Fornecedor e as Condições

	Insolação	AC	Bateria	Carga	Provedor
Solar - Principal	ON	ON	ON	ON	Solar
	ON	ON	OFF	ON	Retificador
	ON	OFF	ON	ON	Solar
	ON	OFF	OFF	ND	Solar
AC - Backup	OFF	ON	ON	ON	Retificador
	OFF	ON	OFF	ON	Retificador
	OFF	OFF	ON	ON	Bateria
	OFF	OFF	OFF	OFF	Nenhum

Fonte: (Próprio Autor, 2018)

Logo, a partir da observação da tabela acima, pode-se concluir que a alimentação é fornecida por cada fornecedor a partir das seguintes condições:

1) Solar:

- Quando a energia solar está ligada, há insolação, há fornecimento de energia pela concessionária e o banco de baterias está carregada, havendo carga no sistema;
- Quando a energia solar está ligada, há insolação, não há fornecimento de energia pela concessionária e o banco de baterias está carregada, havendo carga no sistema;
- Quando a energia solar está ligada, há insolação, não há fornecimento de energia pela concessionária e o banco de baterias está carregada, não havendo carga no sistema;

2) Retificador (Vindo da UR):

- Quando a energia solar está ligada, há insolação, há fornecimento de energia pela concessionária e o banco de baterias não está carregada, havendo carga no sistema;

- b. Quando a energia de backup está ligada, não há insolação, há fornecimento de energia pela concessionária e o banco de baterias está carregada, havendo carga no sistema;
 - c. Quando a energia de backup está ligada, não há insolação, há fornecimento de energia pela concessionária e o banco de baterias não está carregada, havendo carga no sistema;
- 3) Banco de baterias: Apenas na situação em que a energia de backup está ligada, não há insolação nem fornecimento de energia pela concessionária, mas o banco de baterias está carregado, havendo carga no sistema;
- 4) Falta de energia: Ocorre na situação em que o sistema está no fornecimento de energia de backup, mas não há insolação nem fornecimento de energia pela concessionária, o banco de baterias não está carregado, não havendo carga no sistema.

Logo, pode-se perceber que, para o site ser alimentado pela energia solar, é fundamental que haja insolação e o sistema esteja ligado e, caso haja fornecimento também de energia pela concessionária, o banco de baterias deve estar ligado.

Já para que seja acionada a energia a partir das UR's, ou seja, seja alimentado pelo fornecimento da concessionária, ou não deve haver insolação, ou, caso haja, o banco de baterias não deve estar carregado.

O banco de baterias entra em funcionamento apenas no caso em que não há outro tipo de fornecimento de energia ao site e o mesmo está carregado, e caso não esteja ou já tenha utilizado sua capacidade máxima, haverá falta de fornecimento energético e a ERB não funcionará.

5.8 Lista de Componentes e Orçamento Final

Cada painel solar em questão custa em torno de R\$ 800,00, e cada bateria (de 115Ah) em torno de R\$ 700,00. A partir de negociações com os fornecedores, foram montadas as Tabelas 4 e 5, que fornecem, respectivamente, os itens comprados e o orçamento final:

Tabela 4: Itens Solicitados

Item	Quantidade
Bateria	16
Painel Solar	6
Retificador	1
Controlador de Carregamento Solar	1
Módulo Lógico	1
Relé 110/220Vca	1
Relé 48Vcc	2

Fonte: (Próprio Autor, 2018)

Tabela 5: Orçamento do Projeto

Item	Preço
Materiais (6 painéis solares 250W, a carregador de carga, ferragens, cabos, conectores e infraestrutura)	R\$44.407,88
Serviços (projeto, Infraestrutura, instalação, testes e aceitação)	R\$2.330,05
Total	R\$46.737,93

Fonte: (Próprio Autor, 2018)

5.9 Viabilidade Financeira do Projeto

Para calcular a viabilidade financeira, alguns cálculos simples devem ser feitos.

A conta mensal de consumo de energia elétrica de uma ERB semelhante à deste projeto em questão é, em média, R\$1.400,00, com o preço médio de R\$0,73 por kWh. Considerando que um site deve funcionar durante todos os dias da semana, 24h por dia, tem-se um consumo médio de 2,66kWh.

Considerando os 6 painéis FV com potência de 250W cada, tendo eficiência de 18,50%, tem-se que o sistema é capaz de fornecer ao site:

$$P_{FV} = n * P_U * \eta \quad (1)$$

Onde:

P_{FV} : Potência total fornecida pelo sistema;

n : Número total de painéis FV;

P_U : Potência unitária de cada painel FV;

η : Rendimento do painel FV.

$$P_{FV} = 6 * 250 * 0,185 \text{ (2)}$$

$$P_{FV} = 277,5W \text{ (3)}$$

Portanto, o sistema é capaz de fornecer 277,5W por segundo. Então, é calculada a potência fornecida em kWh:

$$P_{kWh} = P_{FV} * 60 * 60 \text{ (4)}$$

Onde:

P_{kWh} : Potência fornecida pelo sistema FV em kWh.

$$P_{kWh} = 0,2775 * 60 * 60 \text{ (5)}$$

$$P_{kWh} = 0,999kWh \text{ (6)}$$

Logo, tem-se que os painéis FV são capazes de fornecer aproximadamente 1kWh ao site.

Considerando que o país é tropical e o estado do Ceará não tem mudanças consideráveis nas estações sazonais, tem-se que há incidência de irradiação solar durante 12h por dia, ou seja, metade do dia. Então, pode-se considerar uma economia de consumo da rede de distribuição local de 1kWh durante 12h ao dia, todos os dias da semana e durante todos os dias do mês, que neste caso, será considerado o número de 30 dias por mês.

Considerando também o preço de R\$0,73 por kWh consumido, pode-se calcular:

$$C_{R\$} = P_{kWh} * p_{kWh} * t_f * d_f \text{ (7)}$$

Onde:

$C_{R\$}$: Consumo em reais;

p_{kWh} : Preço por kWh consumido;

t_f : Tempo de funcionamento;

d_f : Quantidade de dias em funcionamento.

$$C_{R\$} = 1 * 0,73 * 12 * 30 \text{ (8)}$$

$$C_{R\$} = 282,8 \text{ (9)}$$

Logo, a economia mensal na conta de energia é de R\$282,8, que corresponde a 20,2% da conta mensal média. Sendo assim, a conta mensal média passa a ter o valor de R\$1.137,2.

A partir de uma simples divisão entre o valor total pago para implementação do sistema FV e o valor economizado mensalmente, obtém-se o resultado de 13 anos e 9

meses, que é o tempo no qual o valor da economia gerada se iguala ao custo da implantação do sistema fotovoltaico, sem considerar inflação futura, enquanto a vida útil dos painéis de silício, como citado no capítulo 3 do presente documento, é de cerca de 30 anos.

Então, pode-se considerar que o sistema é viável financeiramente.

6. CONCLUSÃO

O presente trabalho estudou a implementação de um sistema híbrido de alimentação das ERBs, utilizando como fontes a própria rede de distribuição local e painéis fotovoltaicos, com os principais objetivos de poder oferecer um serviço de melhor qualidade em localidades mais remotas, utilizar uma forma limpa de geração de energia elétrica e assim gerar economia financeira.

Foi estudado o cenário energético atual para o Brasil, para o Nordeste e para o Ceará, apresentado o potencial energético do país para a geração de energia fotovoltaica, concluindo-se que o país, em especial a região Nordeste e o estado do Ceará, por suas condições climáticas favoráveis, possuem grande capacidade para a geração deste tipo de energia elétrica.

Foram apresentados os modelos atuais de painéis fotovoltaicos oferecidos pelo mercado, além de uma opção que está ainda em desenvolvimento, que é o modelo híbrido, mostrando as vantagens e desvantagens de cada modelo, bem como suas aplicações, concluindo que os modelos mais utilizados atualmente são à base de silício, responsáveis por 80% da produção atual, que são mais eficientes e mais caros do que os de filme fino. O modelo utilizado no projeto proposto pela empresa de telecomunicações é o de silício policristalino, que possui eficiência de 18,5%.

Foi também apresentado o funcionamento básico de um site, com foco na alimentação energética do mesmo, e também estudados os fatores que influenciam no consumo médio de energia elétrica do site.

Por fim, a partir dos estudos feitos, foi então apresentado o projeto proposto pela empresa, assim como os equipamentos que serão utilizados, o orçamento final para implementação do sistema, e então calculada a economia média na conta de energia elétrica mensal, que é de 20,2%, obtendo um retorno de investimento em 13 anos e 9 meses, e visto que o sistema fotovoltaico tem duração média de 30 anos, pode-se concluir que o sistema é viável financeiramente.

Deve-se notar a importância que o projeto tem para a população e a empresa, pois dessa forma poderá oferecer um serviço de melhor qualidade à população, que antes, devido ao fornecimento precário de energia elétrica pela concessionária, recebia um

serviço intermitente, e agora passará a ter um serviço contínuo de voz de dados móveis, fazendo com que a população adquira o serviço oferecido, contribuindo para o crescimento da empresa.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANEEL. **RESOLUÇÃO NORMATIVA Nº 482**. 17 de abril de 2012. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2012482.pdf>> Acesso em 13 de junho de 2018.

BARBOSA, V. **7 tendências globais em energia renovável para ficar de olho**. EXAME. 19 de junho de 2017. Disponível em <<https://exame.abril.com.br/economia/7-tendencias-globais-em-energia-renovavel-para-ficar-de-olho/>> Acesso em 12 de maio de 2018.

BARRETO, S. **ESTUDO DE VIABILIDADE PARA IMPLEMENTAÇÃO DE UMA PLANTA FOTOVOLTAICA INTEGRADA EM UM SHOPPING CENTER DE FORTALEZA**. 2017. 85f. Trabalho Final de Curso (Graduação em Engenharia Elétrica). Universidade Federal do Ceará (UFC). Fortaleza, CE.

BLACKBOARD. **Tecnologias de redes móveis**. 2018. Disponível em: <https://iesb.blackboard.com/bbcswebdav/institution/Ead/_disciplinas/EADG456/T11/sections/pdf/TASK5369.pdf> Acesso em 23 de maio de 2018.

BRAGA, R. **ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA: FUNDAMENTOS E APLICAÇÕES**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Elétrica). Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ, RJ). 2013. 80f. Disponível em: <<http://monografias.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10001103.pdf>> Acesso em 27 de maio de 2018.

CARNEIRO, J. **ELETROMAGNETISMO B – MÓDULOS FOTOVOLTAICOS – CARACTERÍSTICAS E ASSOCIAÇÕES**. Universidade do Minho. Braga, Portugal. 2010. 18f. Disponível em: <https://repositorium.sdum.uminho.pt/bitstream/1822/16961/1/M%C3%B3dulos%20Fotovoltaicos_Caracteristicas%20e%20Associa%C3%A7%C3%B5es.pdf> Acesso em 12 de junho de 2018.

CHP. **Conheça as 10 maiores usinas hidrelétricas do Brasil**. 2013. Disponível em <<http://chp.com.br/site/index.php/conheca-as-10-maiores-usinas-hidreletricas-do-brasil/>> Acesso em 14 de maio de 2018.

COSOL. **Entenda como funcionam os painéis solares.** 2016. Disponível em: <<https://www.cosol.com.br/blog/entenda-como-fsobrefuncionam-os-paineis-solares>> Acesso em 21 de maio de 2018.

DUSOL. **Por que 2018 promete ser o ano da energia solar?** 2017. Disponível em <<http://www.dusolengenharia.com.br/post/por-que-2018-promete-ser-o-ano-da-energia-solar/>> Acesso em 12 de maio de 2018.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. Relatório Final: **Balanço Energético Nacional 2017: ano base 2016.** Rio de Janeiro, RJ. 2017.

ENEL Soluções. **Energia Solar: Conheça os tipos de placas solares.** 2016. Disponível em: <<https://www.enelsolucoes.com.br/blog/2016/11/energia-solar-conheca-os-tipos-de-placas-solares/>> Acesso em 13 de maio de 2018.

ENERGY GREEN. **Painéis Fotovoltaicos KYOCERA KB260.** 2015. Disponível em: <<http://energygreenbrasil.com.br/wp-content/uploads/2015/06/Kyocera-KB260.pdf>> Acesso em 27 de maio de 2018.

FADIGAS, E. **Energia Solar Fotovoltaica: Fundamentos, Conversão e Viabilidade técnico-econômica.** Universidade de São Paulo. GEPEA – Grupo de Energia. 71p. 200-. Disponível em: <https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/56337/mod_resource/content/2/Apostila_solar.pdf> Acesso em 13 de junho de 2018.

HENRIQUES, A.; MARTINS, V. **Implantação de Estações Rádio Base (ERBs).** 2009. Disponível em: <<http://www.teleco.com.br/tutoriais/tutorialerb/default.asp>> Acesso em 22 de maio de 2018.

MALUF, A.; MARTINS, V. **Infraestrutura de Sistemas de Energia CA em Sites de Telecomunicações.** 2008. Disponível em: <<http://www.teleco.com.br/tutoriais/tutorialenergca/default.asp>> Acesso em 26 de maio de 2018.

MOSSORÓ HOJE. **Nordeste deve ter 45% de sua energia gerada pelos ventos em 2024.** Disponível em <<http://www.mossorohoje.com.br/noticias/5227/02-01-2016/Nordeste-deve-ter-45por-cento-de-sua-energia-gerada-pelos-ventos-em-2024>> Acesso em 15 de maio de 2018.

PEREIRA, E. *et al.* Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). **Atlas Brasileiro de Energia Solar.** 2.ed. 2017. 80p. Disponível em: <http://ftp.cptec.inpe.br/labren/publ/livros/Atlas_Brasileiro_Energia_Solar_2a_Edicao.pdf> Acesso em 14 de maio de 2018.

PORTAL DA ENERGIA. **APLICAÇÕES DA ENERGIA SOLAR: CONHEÇA AS PRINCIPAIS.** 2018. Disponível em: <<http://portaldaenergia.com/aplicacoes-da-energia-solar-conheca-as-principais/>> Acesso em 14 de junho de 2018.

PORTAL ENERGIA. **Portugal Telecom reforça aposta nas energias renováveis.** 2016. Disponível em: <<https://www.portal-energia.com/portugal-telecom-reforca-aposta-nas-energias-renovaveis/>> Acesso em 14 de junho de 2018.

PORTAL SOLAR. **TIPOS DE PAINEL SOLAR FOTOVOLTAICO.** 2015. Disponível em: <<https://www.portalsolar.com.br/tipos-de-painel-solar-fotovoltaico.html>> Acesso em 20 de maio de 2018.

RODRIGUES, M. **INSTALAÇÃO DE MICROGERAÇÃO DISTRIBUÍDA COM FONTE FOTOVOLTAICA NAS ESTAÇÕES DE TELECOMUNICAÇÕES.** 2013. 125f. Tese (Mestrado em Engenharia Elétrica). Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS).

SALES J.; MENDONÇA K.; MACIEL N. Universalização de Energia Elétrica no Brasil. AS PEQUENAS CENTRAIS HIDRELÉTRICAS NO CEARÁ. **Revista pch notícias & shp news.** Itajubá, MG, ano 12, n. 47, p. 35-40. 2010. Disponível em: <<https://cerpch.unifei.edu.br/wp-content/uploads/revistas/revista-47.pdf#page=35>> Acesso em 16 de 2018.

SANTOS, P. **ALIMENTAÇÃO DE ESTAÇÕES RÁDIO BASE UTILIZANDO CÉLULAS FOTOVOLTAICAS.** 2006. 29f. Monografia (Graduação em Engenharia Elétrica). Universidade Federal de Lavras. Lavras, MG.

SILVEIRA, C. **Saiba Tudo Sobre o Protocolo Modbus**. 2018. Disponível em: <<https://www.citisystems.com.br/modbus/>> Acesso em 27 de maio de 2018.

SIMÕES, F. **Entenda o que influencia a geração do seu sistema solar**. 2015. Disponível em <<http://www.enovaenergia.com.br/blog/post/entenda-o-que-influencia-a-geracao-do-seu-sistema-solar>> Acesso em 21 de maio de 2018.

SOLARTERRA. **ENERGIA SOLAR PARA ANTENA DA VIVO EM TERESÓPOLIS – RJ**. 201-. Disponível em: <<http://solarterra.com.br/energia-solar-para-antena-da-vivo-em-teresopolis-rj/>> Acesso em 25 de maio de 2018.

SOLSTÍCIO ENERGIA. **PRÓS E CONTRAS DOS DIFERENTES TIPOS DE PAINEL SOLAR**. 2017. Disponível em: <<https://www.solsticioenergia.com/2017/05/08/tipos-de-painel-solar/>> Acesso em 21 de maio de 2018.

SOUSA, M. **USO DE BOMBEAMENTO FOTOVOLTAICO PARA IRRIGAÇÃO DE UNIDADES DE PRODUÇÃO AGRÍCOLA DE PEQUENO PORTE**. 2014. 78f. Trabalho Final de Curso (Graduação em Engenharia Elétrica). Universidade Federal do Ceará (UFC). Fortaleza, CE.

SOUZA, R. **Célula Fotovoltaica – O Guia Técnico Absolutamente Completo**. 2017. Disponível em: <<http://blog.bluesol.com.br/celula-fotovoltaica-guia-completo/>> Acesso em 15 de maio de 2018.

TRIBUNA DO CEARÁ. **Ceará tem maior potencial de eficiência de ventos do Brasil**. 19 de junho de 2016. Disponível em: <<http://tribunadoceara.uol.com.br/noticias/cotidiano-2/ceara-tem-maior-potencial-de-eficiencia-de-ventos-do-brasil/>> Acesso em 20 de maio de 2018.

TUDE, E.; SOUZA, J. **Telefonia Celular no Brasil**. 2002. Disponível em: <<http://www.teleco.com.br/tutoriais/tutorialcelb/default.asp>> Acesso em 22 de maio de 2018.

VITORIANO, C. **ANÁLISE DA VIABILIDADE DE INSTALAÇÃO DE PLANTAS FOTOVOLTAICAS NO BRASIL PELO CRITÉRIO DE ÁREA OCUPADA**. 2017. 65f. Trabalho Final de Curso (Graduação em Engenharia Elétrica). Universidade Federal do Ceará (UFC). Fortaleza, CE.

ANEXO A

