

**PROJETO DE USINAS MICROGERADORAS
FOTOVOLTAICA *OFF-GRID*
E *ON-GRID* NA FAZENDA
ÁGUA LIMPA - UNB**

THIAGO MIRANDA DA SILVA LIMA

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO EM ENGENHARIA ELÉTRICA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA**

FACULDADE DE TECNOLOGIA

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA**

**PROJETO DE USINAS MICROGERADORAS
FOTOVOLTAICA *OFF-GRID*
E *ON-GRID* NA FAZENDA
ÁGUA LIMPA - UNB**

THIAGO MIRANDA DA SILVA LIMA

Orientador: PROF. DR. MARCO ANTONIO FREITAS DO EGITO COELHO

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

**PUBLICAÇÃO -
BRASÍLIA-DF, 14 DE DEZEMBRO DE 2020.**

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA**

**PROJETO DE USINAS MICROGERADORAS
FOTOVOLTAICA *OFF-GRID*
E *ON-GRID* NA FAZENDA
ÁGUA LIMPA - UNB**

THIAGO MIRANDA DA SILVA LIMA

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO ACADÊMICO SUBMETIDO AO DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA DA FACULDADE DE TECNOLOGIA DA UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA, COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE ENGENHEIRO ELETRICISTA.

APROVADA POR:

Prof. Dr. Marco Antonio Freitas do Egito Coelho
Orientador ENE/UnB

Prof. Dr. José Mauro da Silva Diogo
Membro FAV/UnB

Prof. Dr. Fernando Cardoso Melo
Membro - ENE/UnB

BRASÍLIA, 14 DE DEZEMBRO DE 2020.

FICHA CATALOGRÁFICA

THIAGO MIRANDA DA SILVA LIMA

Projeto de Usinas Microgeradoras Fotovoltaica *Off-grid* e *On-grid* na Fazenda Água Limpa - UnB

2020xv, 85p., 201x297 mm

(ENE/FT-UnB/FT/UnB, Engenheiro Eletricista, Engenharia Elétrica, 2020)

Trabalho de Conclusão de Curso - Universidade de Brasília

Faculdade de Tecnologia - Departamento de Engenharia Elétrica

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

LIMA. T. M. S. Projeto de Usinas Microgeradoras Fotovoltaica *Off-grid* e *On-grid* na Fazenda Água Limpa - UnB. Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia Elétrica, Publicação, Departamento de Engenharia Elétrica, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2020. 85p.

CESSÃO DE DIREITOS

AUTOR: Thiago Miranda da Silva Lima

TÍTULO: Projeto de Usinas Microgeradoras Fotovoltaica *Off-grid* e *On-grid* na Fazenda Água Limpa - UnB.

GRAU: Engenheiro Eletricista ANO: 2020

É concedida à Universidade de Brasília permissão para reproduzir cópias deste trabalho de conclusão de curso e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor se reserva a outros direitos de publicação e nenhuma parte deste trabalho de conclusão de curso pode ser reproduzida sem a autorização por escrito do autor.

Thiago Miranda da Silva Lima

Basta acreditar que um novo dia
vai raiar.
Sua hora vai chegar...

Trecho da música "Tá escrito".
Grupo Revelação.

Agradecimentos

Sinto-me engrandecido ao analisar toda minha trajetória durante esses seis anos e meio de universidade e verificar que apesar de todas as adversidades encontradas consegui finalizar o curso tão admirado e sonhado por mim e meus queridos avós, os quais tenho certeza de que vibram pela minha conquista lá do céu; me mostrando que sou capaz de conquistar tudo aquilo que mais desejo através da persistência, humildade e dedicação.

Esse trabalho de conclusão realizado é dedicado:

À Deus, a base de tudo, aquele me fortalece a cada dia, me trouxe amparo e proteção para os todos os momentos;

Aos meus pais César Lima e Liliana Miranda aqueles que me inspiram a seguir seus caminhos, que se doaram inteiros para me proporcionar tudo de melhor que pudessem, aqueles que me dão carinho e amor incondicionalmente, aqueles que me apoiam em todos os sentido e me guardam em suas orações.

Ao meu filho Bernardo Miranda, aquele que me enche os olhos de orgulho e alegria infinita, aquele que me motiva a dar o meu melhor sempre, a quem dedico todos os meus esforços, o meu melhor amigo.

A minha irmã Beatriz Miranda por ser uma pessoa incrível, de coração enorme, aquela com quem pude compartilhar as melhores memórias que tenho da minha infância e que sempre me entendeu e apoiou nos momentos de dificuldades.

A todos os meus familiares, em especial aos meus avós Pedro Agápito e Raimunda Miranda, José Carlos e Maria de Lourdes Lima (Lulu), as minhas tias Artemisa, Arabela, Sandra Miranda e Terezinha Lima e tio Ariel Miranda, os quais me dão suporte e incentivo desde quando me dou por gente, sem eles não seria quem sou hoje, muito obrigado por fazerem parte da minha vida.

Agradeço ao meu orientador Professor Dr. Marco Antônio Freitas do Egito Coelho, pela orientação. Obrigado pelos, conselhos, preocupações e por exigir para que eu pudesse dar o meu melhor. À Universidade de Brasília, a qual eu tenho muito orgulho de fazer parte, por ser o lugar que me permitiu ampliar meus horizontes e me mostrou que o conhecimento é algo que ninguém pode tirar de você.

Aos meus amigos de infância, do Marista, do Bsbamba, da faculdade e todos os outros que fazem parte da minha vida; por serem chaves fundamentais nela, aqueles que também considero

família, os quais tivemos a oportunidade de acompanhar de perto o crescimento um dos outros compartilhando momentos incríveis que levarei comigo para sempre.

À minha namorada Fabiana Salgado, aquela que faz tudo parecer mais leve, que me entende, me apoia diariamente, que tem minha total admiração pela dedicação em tudo que faz e pela mulher que é, aquela que me deu forças para vencer mais uma etapa da minha vida.

Agradeço aos colegas de estágios da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), Consórcio Construtor Belo Monte (CCBM), CEB- Distribuição e Perícia Predial Engenharia Diagnóstica e Consultoria. Obrigado por enriquecerem minha formação, pela troca de conhecimentos e pelas pessoas incríveis que pude conhecer.

A todos, minha sincera gratidão.

Resumo

O consumo energético aumenta conforme o crescimento demográfico e junto a isso, os impactos ambientais. Dessa forma, faz-se necessário o investimento em novas tecnologias na geração de energia que reduzam os impactos ambientais. Por isso, a geração de energia elétrica a partir de sistemas fotovoltaicos tem crescido no mundo sendo uma fonte alternativa e sustentável. A proposta deste estudo é projetar e dimensionar um sistema fotovoltaico *off-grid* e *on-grid* a fim de satisfazer as necessidades de energia elétrica da instalação do Centro de Capacitação em Bovinocultura de Leite – CCBL na Fazenda Água Limpa - UnB (FAL/UNB). Dessa forma o estudo de caso realizado no CCBL foi realizado a partir de um estudo bibliográfico aprofundado a respeito de sistemas fotovoltaicos e teve como resultado o atendimento a demanda de consumo de energia elétrica anual do local com o funcionamento dos dois sistemas em conjunto.

Palavras-chave - Energia fotovoltaica, sistemas fotovoltaicos *off-grid* e *on-grid*, geração de energia, geração distribuída.

Abstract

Energy consumption increases with demographic growth and environmental impacts. Thus, it is necessary to invest in new technologies in the generation of energy that reduce environmental impacts. Therefore, the generation of electric energy from photovoltaic systems has grown in the world as an alternative and sustainable source. The purpose of this study is to design and dimension an off-grid and an on-grid photovoltaic system in order to satisfy the electricity needs of the milking shed installation at Fazenda Água Limpa - UnB (FAL / UNB). Thus, the case study carried out in the milking shed from an in-depth bibliographic study on photovoltaic systems and resulted in meeting the demand for annual electricity consumption of the place with the operation of the two systems together.

Keywords - photovoltaic energy, off-grid and on-grid photovoltaic systems, energy generation, distributed generation.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	1
1.1	OBJETIVO GERAL	2
1.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	2
2	CONCEITOS TEÓRICOS	4
2.1	CONCEITOS DE ELETRICIDADE	4
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	9
3.1	CONTEXTO ENERGÉTICO MUNDIAL	9
3.2	ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA NO MUNDO	13
3.3	ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA NO BRASIL	14
3.4	FORNECIMENTO DE ENERGIA EM ZONA RURAL NO BRASIL ...	17
3.5	RECURSO SOLAR: CONCEITOS BÁSICOS	17
3.6	SISTEMA FOTOVOLTAICO	23
3.7	SISTEMA FOTOVOLTAICO HÍBRIDO	36
4	FAZENDA ÁGUA LIMPA	38
4.1	CONSUMO X DEMANDA - FAL	39
5	MATERIAIS E MÉTODOS	45
5.1	MÉTODO	45
5.2	UNIFILAR	70
6	SIMULAÇÃO	74
7	CONCLUSÃO	83
8	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	85

LISTA DE FIGURAS

3.1	Consumo per capita de energia em relação ao IDH do país. Fonte: Pasternak, 2000.....	10
3.2	Evolução da matriz energética mundial por fonte de geração de 1990 a 2018. Fonte: IEA, 2020a.....	10
3.3	Evolução da emissão (Mt) de CO ₂ por fonte de 1990 a 2018. Fonte: IEA, 2020a.	11
3.4	Matriz elétrica mundial por fonte de geração.Fonte: IEA, 2020a	12
3.5	Crescimento da geração de energia elétrica por meio de fontes renováveis no mundo. Fonte: IEA, 2020b.....	12
3.6	Os 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável da ONU. Fonte: ONU, 2015 ...	13
3.7	Matriz Energética Brasileira em 2019. Fonte: ECOA, 2020.....	16
3.8	Distribuição espectral da radiação solar. Fonte: CRESESB, 2014.	18
3.9	Movimento da Terra em torno do sol durante o ano. Fonte: CRESESB, 2014.....	19
3.10	Geometria Solar. Fonte: PINHO e GALDINO, 2014.....	20
3.11	Perfil da irradiância solar ao longo de um dia. Fonte: Villalva, 2015.....	20
3.12	Componentes da Radiação Solar. Fonte:Villalva, 2015.	21
3.13	Irradiação Global. Fonte: Solargis,2016.....	22
3.14	Irradiação Brasileira anual. Fonte: Solargis, 2017.....	23
3.15	Célula fotovoltaica de silício. Fonte: Portal Solar, 2020.....	24
3.16	Estrutura básica de uma célula fotovoltaica de silício. Fonte:PINHO e GALDINO, 2014.	25
3.17	Módulos Fotovoltaicos: Monocristalino, Policristalino e Amorfo (Filme Fino). Fonte: Autoral.....	26
3.18	Curva característica IxV e curva de potência PxV para um módulo com potência nominal de 100 Wp. Fonte:PINHO e GALDINO, 2014.	27
3.19	Influência da irradiância solar na operação do módulo fotovoltaico. Fonte: VILLALVA, 2015.....	28
3.20	Efeito causado pela variação da temperatura das células. Fonte:PINHO e GALDINO, 2014.	29
3.21	Modelos de inversores aplicados em SFI e aplicados em SFCR. Fonte: autoral. ...	30
3.22	Esquema de ligação módulo, controlador e banco de baterias. Fonte: Tem sustentável, 2020.....	31
3.23	Exemplos de controladores de carga. Fonte: Autoral.....	31
3.24	Exemplos de Bateria. Fonte: Autoral.....	32

3.25	Curvas típicas do efeito da profundidade de descarga e da temperatura na vida útil da bateria. Fonte: IMAMURA, HELM e PALZ,1992.....	33
3.26	Caixa de junção de diversas strings em paralelo, contendo fusíveis e barramento de ligação. Fonte: Villalva, 2015.	34
3.27	Esquema funcionamento do Sistema Fotovoltaico <i>On-Grid</i> . Fonte: SEBRAE, 2020.....	35
3.28	Esquema do funcionamento do Sistema Fotovoltaico <i>Off-Grid</i> . Fonte: BMCE-ENERGIA, 2020.....	36
3.29	Esquema funcionamento do Sistema Fotovoltaico Híbrido. Fonte: BMCENERGIA, 2020.	37
4.1	LOCALIZAÇÃO FAZENDA ÁGUA LIMPA - UnB. Retirada do Google Maps...	38
4.2	Conta de energia FAL/UnB. Fonte: Autoral	40
4.3	Vista superior do galpão de ordenha - FAL. Proveniente do Google Earth.....	42
4.4	Barracão de ordenha. fonte: Autoral.....	43
4.5	Máquina de ordenha DeLaval, fonte: Autoral	43
5.1	Medidor de energia elétrica instalado. Fonte: autoral	53
5.2	Consumo medido final. Fonte: Autoral	54
5.3	Curva de Carga Galpão. Fonte Autoral	55
5.4	Equipamento de refrigeração e armazenamento de leite. Fonte: Autoral.....	55
5.5	Área disponível para alocação dos módulos e localização geográfica. Fonte Google Earth.....	56
5.6	Irradiação solar diária média mensal no plano horizontal (kWh/m ² .dia) em Brasília. fonte: CRESESB	57
5.7	Diagrama unifilar sistema <i>off-grid</i> . Fonte: autoral	71
5.8	Diagrama unifilar sistema <i>on-grid</i> . Fonte: autoral	72
5.9	Visualização em 3D da localização das placas e do galpão. Fonte: autoral	73
6.1	Dados de irradiação global horizontal e irradiação difusa horizontal importados do site do CRESESB Fonte: autoral	74
6.2	Orientação dos módulos FV no telhado do Galpão de Ordenha. Fonte: autoral	75
6.3	Cargas críticas e curva de carga do CCBL que serão alimentadas pelo SFI. Fonte: autoral.....	75
6.4	Escolha do modelo e arranjo das baterias. Fonte: autoral	76
6.5	Escolha dos módulos FV, controlador de carga e o arranjo de entrada em cada MPPT do controlador de carga. Fonte: autoral.....	76
6.6	Parâmetros aplicados que influenciam na eficiência do SFV. Fonte: autoral.....	77
6.7	Dados gerais do sistema. Fonte: autoral	78
6.8	Perdas do sistema. Fonte: autoral	78
6.9	Resultados obtidos para o sistema isolado. Fonte: autoral	79
6.10	Escolha dos módulos FV, controlador de carga e o arranjo de entrada em cada MPPT do inversor. Fonte: autoral	80

6.11	Dados gerais SFCR. Fonte: autoral	81
6.12	Parâmetros e resultados da simulação SFCR - PVSyst. Fonte: autoral	82

LISTA DE TABELAS

3.1	radiação global direta horizontal (GHI) e a radiação global difusa horizontal (HD) em kWh/m ² .dia. Fonte: Solargis, 2016	22
4.1	Características técnicas do fornecimento de energia pela CEB-D. Fonte: Autoral.	39
4.2	DADOS DE CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA MENSAL FAL - UnB, FONTE: AUTORAL.....	41
5.1	Exemplo de cálculo de consumo diário de energia. Fonte: Autoral.....	46
5.2	Levantamento da carga instalada e cálculo do consumo de energia média mensal. Fonte: Autoral.	52
5.3	Dados de consumo de energia elétrica adquiridos.Fonte: Autoral.....	53
5.4	Projeção consumo médio mensal e diário de energia elétrica. Fonte: Autoral	54
5.5	Demanda máxima e Energia diária requerida c.a (L_{ca}). Fonte: Autoral.....	56
5.6	Características técnicas do módulo fotovoltaico, fonte: Jinko Solar, 2020.....	58
5.7	Tensões de operação do sistema. Fonte: Autoral	58
5.8	características técnicas do controlador de carga, fonte: Victron Energy, 2020a.....	58
5.9	Características técnicas da bateria. Fonte: Fulguris.....	59
5.10	Características técnicas da do inversor. Fonte: Victron Energy, 2020b	60
5.11	Características técnicas do inversor grid tie. Fonte: Solis, 2020.	61
5.12	Arranjo dos painéis fotovoltaicos. Fonte: Autoral	62
5.13	Valores nominais dos disjuntores adotados. Fonte: Autoral	70

1 Introdução

O consumo e o investimento em energia elétrica são essenciais para o desenvolvimento de um país (GOLDEMBERG,1998). É possível entender aspectos econômicos e sociais a partir da demanda de energia de um país, assim como o PIB per capita, saúde, educação e saneamento básico.

Observa-se que a matriz energética mundial é predominantemente derivada de fontes não renováveis, ou seja, traz impactos negativos nas questões ambientais, principalmente pela grande emissão de Gases de efeito estufa (GEE). Dessa forma, a Organização das Nações Unidas elaborou a "Agenda 2030", com vários objetivos focados nas causas ambientais e investimento em energia limpa.

A grande maioria das emissões globais de CO_2 vem do setor de energia, tornando clara a necessidade de um sistema energético mais limpo (IEA, 2020a). Os sistemas fotovoltaicos surgem como uma alternativa para a diminuição da emissão de CO_2 , tendo em vista a sua forma de gerar energia elétrica limpa e sustentável. Antes considerada uma aquisição de preço elevado e sendo utilizada apenas por países como Austrália, Dinamarca e Alemanha, atualmente é bastante utilizada em países da América Latina.

O Brasil possui um grande potencial em energias renováveis (EPE,2017). Em pesquisa feita pela WWF (*World Wide Fund for Nature*), estima que quase tudo que se produz e distribui de energia elétrica no país poderia ser gerado através de uma área de 2.400 km^2 de módulos fotovoltaicos localizados numa região com irradiação anual média da ordem de $1.400 \text{ kWh/m}^2/\text{ano}$. Em um levantamento feito pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), constata-se atualmente cerca de 3400 Usinas Fotovoltaicas (UFV) em operação no Sistema Interligado Nacional (SIN).

A democratização do acesso à energia solar fotovoltaica se deu a partir da resolução normativa $n^\circ 482$ de 2012, que estabelece condições técnicas e comerciais gerais para o acesso de micro e minigeração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica, o sistema de compensação de energia elétrica (*Net metering*) e demais providências relacionadas ao assunto. Ela apresenta uma grande oportunidade para o produtor rural que muitas vezes está sujeito a problemas de instabilidade com o fornecimento na rede elétrica em sua localidade possibilitando gerar sua própria energia e ainda injetar o excedente gerado na rede para consumir posteriormente, além de usufruir de um sistema limpo e sustentável agregando valor ao seu produto.

Para entender a implementação da tecnologia fotovoltaica, que tem um crescimento médio anual de 37% (IEA,2018), é importante entendermos os conceitos que envolvem a conversão de energia solar fotovoltaica em energia elétrica verificando desde conceitos básicos de irradiância e irradiação solar e os efeitos desses com a atmosfera, bem como o efeito fotovoltaico. Em seguida, serão apresentados os componentes que constituem as partes dos sistemas fotovoltaicos (SFVs) os quais são divididos em: geração, condicionamento de potência, proteção e quando necessário, o de armazenamento. Desta forma, é possível verificar as possibilidades de aplicação da tecnologia avaliando sua viabilidade técnica.

Na Fazenda Água Limpa da UnB é observado grande potencial para implementação da energia fotovoltaica em uma das suas estruturas, o CCBL, popularmente chamada de Leiteira. Tendo em vista os recursos oferecidos pela Fazenda em relação à estrutura e a sua missão de desenvolver projetos novos focados em pesquisa e extensão, além das características climáticas da região onde ela está localizada, o presente estudo é motivado e justificado.

Neste trabalho, está sendo abordado de forma mais profunda a instalação de um sistema *off-grid* visando assegurar o fornecimento de energia para uma carga crítica da instalação analisada e um sistema *on-grid* para o abatimento do consumo de energia das demais cargas. Para construir a monografia, foi realizado um minucioso levantamento bibliográfico para contextualizar o cenário energético e analisar os métodos e as tecnologias mais atuais utilizados no setor de energia fotovoltaica no Brasil e no mundo. Para análise descritiva textual, foram consultados livros, artigos, periódicos e reportagens. Os resultados desse trabalho foram agrupados e elucidados em figuras, gráficos e tabelas que permitiram uma melhor abordagem do tema e uma breve apreciação analítica descritiva da inserção da tecnologia no CCBL na Fazenda Água Limpa- UnB.

1.1 Objetivo Geral

O presente trabalho visa projetar e dimensionar um sistema fotovoltaico *off-grid* e um sistema fotovoltaico *on-grid* a fim de satisfazer as necessidades de energia elétrica da instalação no Centro de Capacitação em Bovinocultura de Leite – CCBL na Fazenda Água Limpa - UnB (FAL/UNB).

1.2 Objetivos específicos

- Analisar o consumo de energia elétrica e demanda contratada da Fazenda Água Limpa - UnB (FAL/UnB).
- Analisar o consumo e demanda máxima de energia elétrica do CCBL.
- Identificar a carga crítica do CCBL.
- Estudar a viabilidade técnica da implantação de um sistema fotovoltaico híbrido no local.

- Projetar um sistema *off-grid* e um sistema *on-grid*.

2 CONCEITOS TEÓRICOS

Neste tópico, serão expressos alguns conceitos pertinentes sobre termos técnicos relacionados à eletricidade, visando à assimilação dos assuntos que serão tratados nos tópicos posteriores. Tais conceitos foram adquiridos da resolução normativa número 414 de 2010, a qual regulamenta as condições gerais de fornecimento de energia elétrica. Além disso, utilizou-se o glossário do Operador Nacional do Sistema (ONS).

2.1 CONCEITOS DE ELETRICIDADE

2.1.1 BANDEIRAS TARIFÁRIAS

Sistema tarifário que tem como finalidade sinalizar aos consumidores faturados pela distribuidora por meio da Tarifa de Energia, os custos atuais da geração de energia elétrica.

2.1.2 CARGA INSTALADA

Soma das potências nominais dos equipamentos elétricos instalados na unidade consumidora, em condições de entrar em funcionamento, expressa em quilowatts (kW).

2.1.3 CENTRAL GERADORA FOTOVOLTAICA

Instalação de produção de energia elétrica a partir do aproveitamento da irradiação solar sob a aplicação do efeito fotovoltaico. Diz-se também usina fotovoltaica.

2.1.4 CONCESSIONÁRIA

Agente titular de concessão federal para prestar o serviço público de distribuição de energia elétrica, doravante denominado “distribuidora”.

2.1.5 CONSUMIDOR

Pessoa física ou jurídica, de direito público ou privado, legalmente representada, que solicite o fornecimento, a contratação de energia ou o uso do sistema elétrico à distribuidora, assumindo as obrigações decorrentes deste atendimento à(s) sua(s) unidade(s) consumidora(s), segundo disposto nas normas e nos contratos.

2.1.6 DEMANDA

Média das potências elétricas ativas ou reativas, solicitadas ao sistema elétrico pela parcela da carga instalada em operação na unidade consumidora, durante um intervalo de tempo especificado, expressa em quilowatts (kW) e quilovolt-ampère-reactivo (kVAr), respectivamente

2.1.7 DEMANDA CONTRATADA

Demanda de potência ativa a ser obrigatória e continuamente disponibilizada pela distribuidora, no ponto de entrega, conforme valor e período de vigência fixados em contrato, e que deve ser integralmente paga, seja ou não utilizada durante o período de faturamento, expressa em quilowatts (kW).

2.1.8 DESPACHO CENTRALIZADO

Condição em que uma usina tem o despacho de geração coordenado, estabelecido, programado, supervisionado e controlado pelo ONS nos processos de planejamento e programação, operação em tempo real e pós-operação. São despachadas centralizadamente as usinas do Tipo I e Tipo II A.

2.1.9 DISTRIBUIDORA

Agente titular de concessão ou permissão federal para prestar o serviço público de distribuição de energia elétrica.

2.1.10 ENERGIA ELÉTRICA ATIVA

Aquela que pode ser convertida em outra forma de energia, expressa em quilowatts-hora (kWh).

2.1.11 ENERGIA ELÉTRICA REATIVA

Aquela que circula entre os diversos campos elétricos e magnéticos de um sistema de corrente alternada, sem produzir trabalho, expressa em quilovolt-ampère-reactivo-hora (kVARh).

2.1.12 FALHA

Efeito ou consequência de ocorrência em equipamento ou Linha de Transmissão, que acarrete sua indisponibilidade operativa em condições não programadas e que, por isso, impede o equipamento ou a Linha de Transmissão de desempenhar suas funções em caráter permanente ou temporário.

2.1.13 FATOR DE POTÊNCIA

Razão entre a energia elétrica ativa e a raiz quadrada da soma dos quadrados das energias elétricas ativa e reativa, consumidas num mesmo período especificado

2.1.14 GRUPO A

Grupamento composto de unidades consumidoras com fornecimento em tensão igual ou superior a 2,3 kV, ou atendidas a partir de sistema subterrâneo de distribuição em tensão secundária, caracterizado pela tarifa binômica e subdividido nos seguintes subgrupos: a) subgrupo A1 – tensão de fornecimento igual ou superior a 230 kV; b) subgrupo A2 – tensão de fornecimento de 88 kV a 138 kV; c) subgrupo A3 – tensão de fornecimento de 69 kV; d) subgrupo A3a – tensão de fornecimento de 30 kV a 44 kV; e) subgrupo A4 – tensão de fornecimento de 2,3 kV a 25 kV; e f) subgrupo AS – tensão de fornecimento inferior a 2,3 kV, a partir de sistema subterrâneo de distribuição.

2.1.15 MODALIDADE TARIFÁRIA

Conjunto de tarifas aplicáveis às componentes de consumo de energia elétrica e demanda de potência ativa, considerando as seguintes modalidades:

a) modalidade tarifária convencional monômica: aplicada às unidades 10 REN ANEEL no 414/2010 consumidoras do grupo B, caracterizada por tarifas de consumo de energia elétrica, independentemente das horas de utilização do dia;

b) modalidade tarifária horária branca: aplicada às unidades consumidoras do grupo B, exceto para o subgrupo B4 e para as subclasses Baixa Renda do subgrupo B1, caracterizada por tarifas diferenciadas de consumo de energia elétrica, de acordo com as horas de utilização do dia;

c) modalidade tarifária convencional binômia: aplicada às unidades consumidoras do grupo A, caracterizada por tarifas de consumo de energia elétrica e demanda de potência, independentemente das horas de utilização do dia;

d) modalidade tarifária horária verde: aplicada às unidades consumidoras do grupo A, caracterizada por tarifas diferenciadas de consumo de energia elétrica, de acordo com as horas de utilização do dia, assim como de uma única tarifa de demanda de potência;

e) modalidade tarifária horária azul: aplicada às unidades consumidoras do grupo A, caracterizada por tarifas diferenciadas de consumo de energia elétrica e de demanda de potência, de acordo com as horas de utilização do dia;”

2.1.16 GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA

Conversão de uma forma qualquer de energia em energia elétrica.

2.1.17 ILHAMENTO

Separação automática de uma parte do sistema para que se possa obter e manter o equilíbrio entre as cargas e a geração.

2.1.18 OPERAÇÃO COMERCIAL

Situação operacional em que a energia produzida pela unidade geradora está disponibilizada ao sistema, podendo atender aos compromissos mercantis do agente ou para o seu uso exclusivo.

2.1.19 SIN - SISTEMA INTERLIGADO NACIONAL

Instalações responsáveis pelo suprimento de energia elétrica a todas as regiões do país, interligadas eletricamente.

2.1.20 UNIDADE CONSUMIDORA

Conjunto composto por instalações, ramal de entrada, equipamentos elétricos, condutores e acessórios, incluída a subestação, quando do fornecimento em tensão primária, caracterizado pelo recebimento de energia elétrica em apenas um ponto de entrega, com medição individualizada, correspondente a um único consumidor e localizado em uma mesma propriedade ou em propriedades contíguas.

2.1.21 Considerações finais

Neste capítulo, apresentou-se conceitos pertinentes a respeito de termos relacionados à eletricidade, gerando base para a assimilação dos assuntos que serão tratados no decorrer deste trabalho.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Este capítulo visa proporcionar os conceitos essenciais para o entendimento dos principais aspectos técnicos relacionados ao tema do presente trabalho. Assim como, abordar a importância deste estudo, apresentando como forma de contextualização dados mundiais e nacionais a fim de viabilizar o entendimento das análises a serem realizadas em capítulos posteriores.

3.1 CONTEXTO ENERGÉTICO MUNDIAL

A demanda por energia elétrica está diretamente associada aos diferentes aspectos sociais e econômicos relacionados à evolução demográfica de uma sociedade (EPE, 2017). Pode-se ter um panorama do desenvolvimento da atividade econômica do país com sua análise, uma vez que o crescimento dos setores industriais, comerciais e de serviços promovem maior acesso da população a produtos e serviços mais tecnológicos e com qualidade elevando, assim, o consumo de energia.

De acordo com Instituto de Engenheiros Eletricistas e Eletrônicos (IEEE) é evidenciado que, em média, a demanda por energia aumenta proporcionalmente ao PIB per capita do local de modo que, quanto mais avançada a economia e maior a renda per capita, maior será o acesso a equipamentos que utilizam energia. Desta forma, constata-se que a qualidade de vida dos indivíduos é afetada diretamente pelo investimento em serviços essenciais como saúde, educação, transporte, alimentação e saneamento básico, o que ocasiona a expansão da oferta de energia no local.

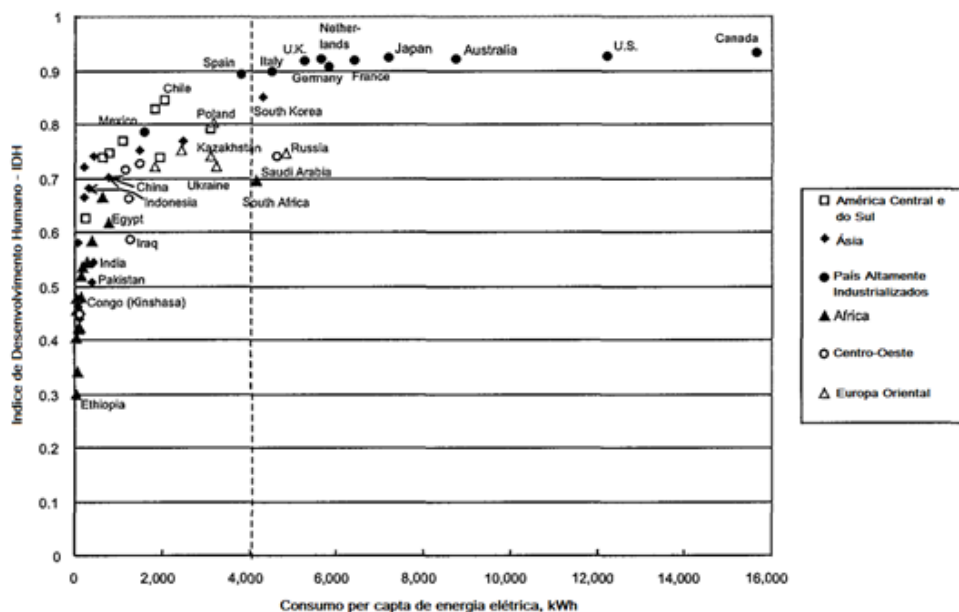


Figura 3.1: Consumo per capita de energia em relação ao IDH do país. Fonte: Pasternak, 2000.

A oferta de energia é um fator primordial para o crescimento econômico de um país. Contudo, observa-se que a matriz energética mundial ainda é predominantemente derivada de fontes não renováveis. Combustíveis fósseis como o carvão mineral e o petróleo, os mais poluentes, são ainda a maior fonte energética resultando em grandes emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE) na atmosfera terrestre provocando diversos danos ao planeta e aos seres vivos.

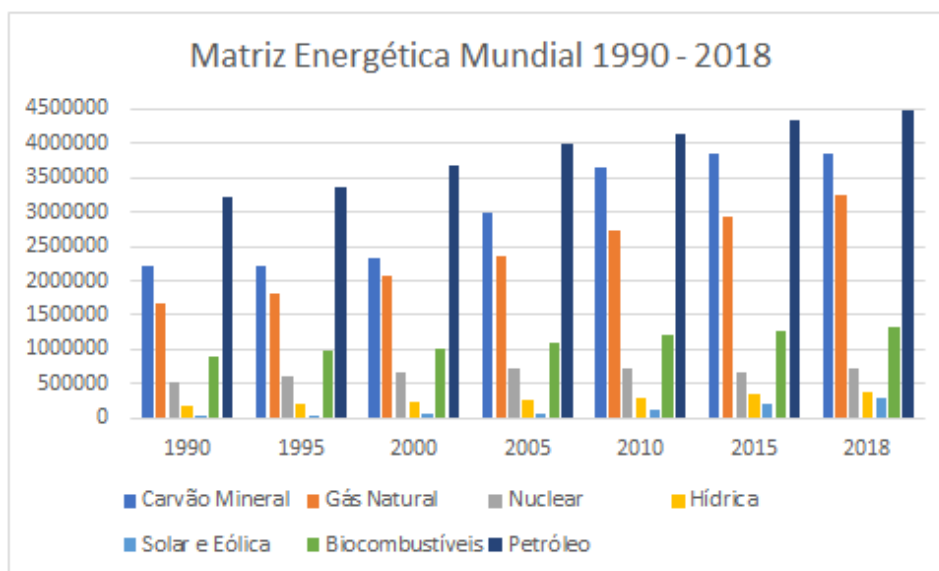


Figura 3.2: Evolução da matriz energética mundial por fonte de geração de 1990 a 2018. Fonte: IEA, 2020a

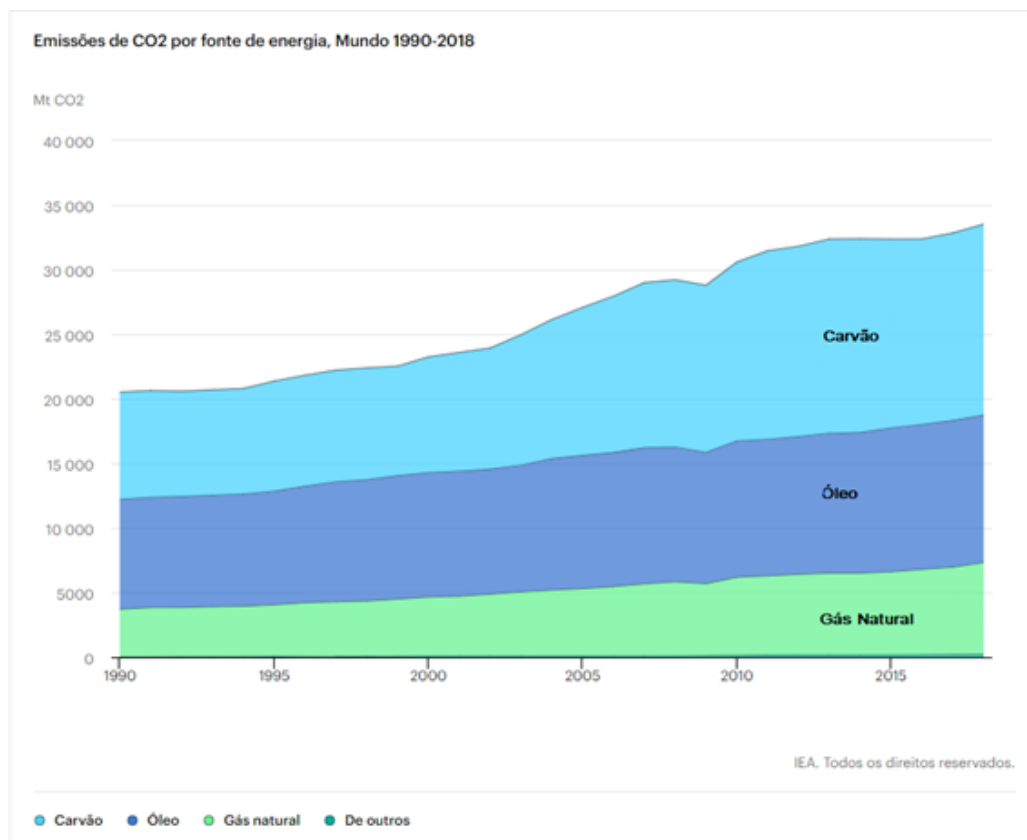


Figura 3.3: Evolução da emissão (Mt) de CO2 por fonte de 1990 a 2018. Fonte: IEA, 2020a

O planejamento da expansão da disponibilidade de tais recursos energéticos deve assegurar o fornecimento e atendimento de energia aos centros de cargas utilizando de maneira ótima e sustentável as fontes disponíveis no país. Assim, deve-se analisar tanto o viés econômico quanto os impactos socioambientais derivados de cada fonte energética visando mitigar os danos causados pelo setor elétrico.

As figuras a seguir apresentam o crescimento da matriz energética mundial por fonte de geração destacando o crescimento das fontes renováveis. Entre 1990 e 2019, houve um crescimento médio anual de 37 % da energia solar fotovoltaica, liderando a lista de fontes renováveis (IEA, 2018).

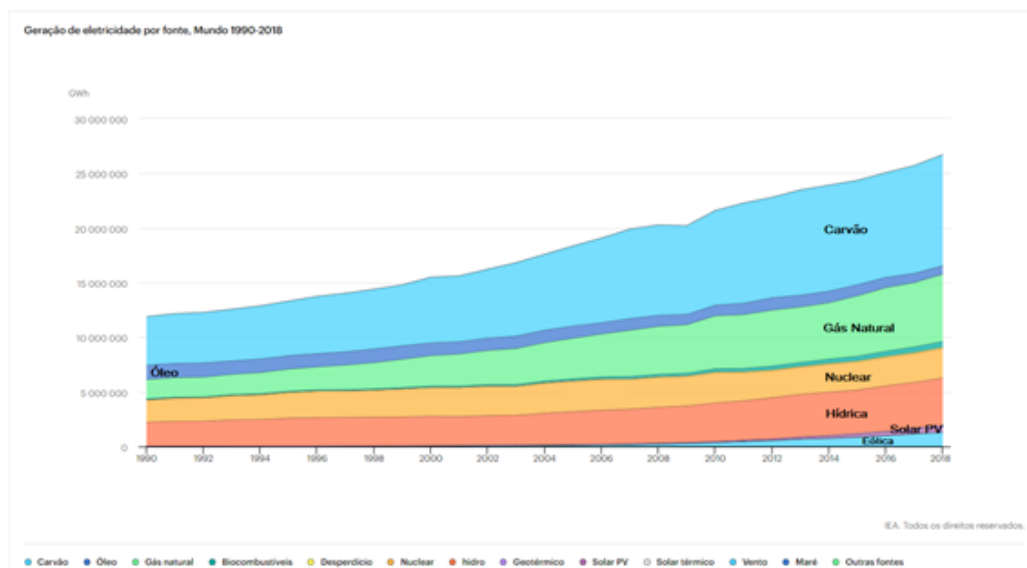


Figura 3.4: Matriz elétrica mundial por fonte de geração. Fonte: IEA, 2020a

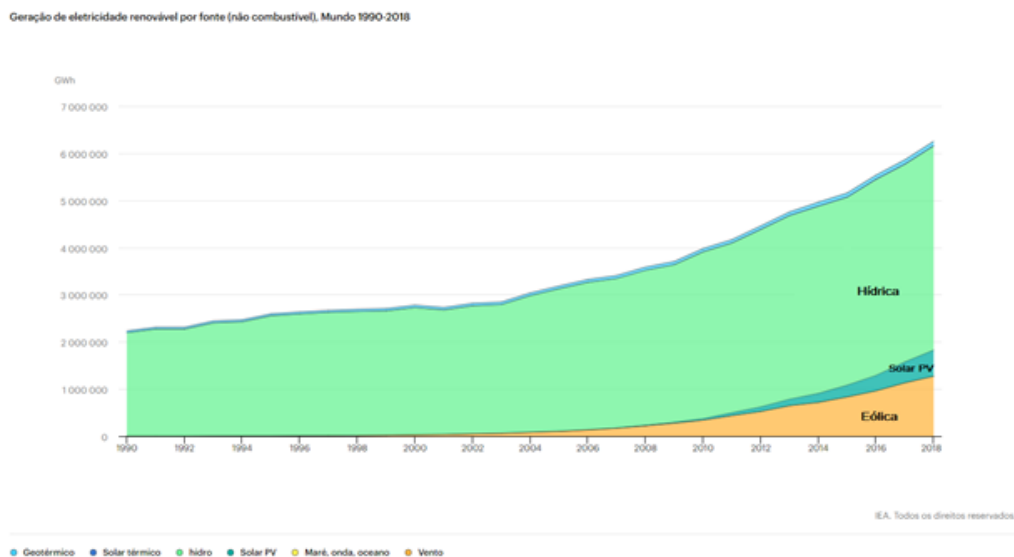


Figura 3.5: Crescimento da geração de energia elétrica por meio de fontes renováveis no mundo. Fonte: IEA, 2020b

Unindo esforços para a transformação da situação mundial através da criação de mecanismos de desenvolvimento econômico, social e ambiental de forma sustentável, as nações passaram a realizar acordos diplomáticos internacionais para atingir tais objetivos. Desta forma, em 2015, representantes dos 193 Estados-membros da Organização das Nações Unidas (ONU), elaboraram um plano de ação para as pessoas, o planeta e a prosperidade mediante a elaboração da “Agenda 2030”, na qual exprime 17 metas para se alcançar os objetivos de um mundo melhor até o ano de 2030.



Figura 3.6: Os 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável da ONU. Fonte: ONU, 2015

Com base nesses objetivos, o escopo do presente trabalho vai de encontro a algumas das metas adotadas pela ONU sendo as principais delas:

- Objetivo 7: Energia limpa e acessível. Assegurar o acesso confiável, sustentável, moderno e a preço acessível à energia para todas e todos.
- Objetivo 11: Cidades e comunidades sustentáveis. Tornar as cidades e os assentamentos humanos inclusivos, seguros, resilientes e sustentáveis.
- Objetivo 13: Ação contra a mudança global do clima. Tomar medidas urgentes para combater a mudança do clima e seus impactos.

3.2 ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA NO MUNDO

A fim de se evitar as piores consequências provenientes das mudanças climáticas, o sistema global de geração de energia deve reduzir o quanto antes suas emissões. O apelo para redução das emissões globais de gases estufa está crescendo a cada ano, contudo elas permanecem em níveis insustentáveis. Os objetivos climáticos internacionais exigem que as emissões atinjam o pico o mais rápido possível e, em seguida, diminuam rapidamente para atingir o valor líquido zero na segunda metade deste século. A grande maioria das emissões globais de CO_2 são provenientes do setor de energia, tornando clara a necessidade de um sistema de energia mais limpo (IEA, 2020).

Dessa forma, a geração de energia com sistemas fotovoltaicos surge como um meio de atingir os objetivos climáticos internacionais na diminuição da emissão de CO_2 mantendo o atendimento à demanda devido ao seu grande potencial energético. Não há emissão de CO_2 ou outros gases nem de líquidos ou sólidos poluentes durante a geração de energia elétrica com sistemas fotovoltaicos, além disso, o volume de emissão nas etapas industriais do setor é baixo, tornando-a uma fonte de energia limpa, sustentável e renovável (WWF-Brasil, 2015).

O setor solar fotovoltaico também possui grande capacidade de gerar novos empregos no âmbito mundial. Em 2013, nos Estados Unidos, a instalação de cerca de 3 mil MW gerou 142 mil empregos relacionados ao setor. No mundo, só no ano de 2011 foram gerados 1.435.000 empregos para cada 30 mil MW instalados (WWF-Brasil, 2015). A energia solar fotovoltaica é a maior empregadora dentre as energias renováveis, com mais de 3,4 milhões de empregos. China, Brasil, Estados Unidos, Índia, Alemanha e Japão possuem 90 % dos empregos de energia fotovoltaica do mundo, segundo a Agência Internacional de Energia Renovável (IRENA).

É importante salientar que há pouco tempo, a energia solar fotovoltaica era considerada uma aquisição extremamente cara e apenas países ricos possuíam esse poder de compra. Entretanto, a criação de políticas de suporte acelerou processos e estimulou inovações tecnológicas possibilitando um método continuado que resultou em uma acentuada redução de custos. Em países como Austrália, Dinamarca, Alemanha e Itália o valor pago por sistemas fotovoltaicos de pequeno porte é menor do que o valor pago pela utilização da energia elétrica proveniente da rede da concessionária de distribuição (IRENA, 2016).

Com a diminuição desse custo, observa-se que as características dos sistemas de potências desses países tomaram novos moldes em virtude do encurtamento entre o agente de geração e o consumidor final. Desta forma, em pouco tempo a Geração Distribuída (GD) se consolidou, crescendo consideravelmente de forma que, em 2015, 30% das unidades consumidoras que possuíam consumo menor que 100 kWh/mês já detinham um sistema fotovoltaico em sua residência (IHS,2015).

3.3 ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA NO BRASIL

A primeira menção à exploração de petróleo no Brasil data do ano de 1864 (DIAS, QUAGLINO, 1993). Desde então essa atividade foi se desenvolvendo principalmente em função do contexto mundial, no qual grandes potências como os Estados Unidos, Rússia e China mantinham a sua matriz energética composta predominantemente derivada do petróleo. Assim, a exploração dessa fonte de energia não renovável foi o principal foco do país até a década de 70 na qual foi atingido por crises econômicas motivadas por atritos diplomáticos que forçaram a diversificação da matriz energética com a exploração de novas fontes alternativas e a implantação de novas tecnologias para a geração de energia elétrica.

O investimento em novas fontes alternativas no Brasil está vinculado à crise do petróleo de 1973 e 1979 uma vez que verificou-se que a dependência na importação do petróleo e derivados para o abastecimento energético interno provocou efeitos negativos na balança de pagamentos do país. Em 1981, o preço do petróleo atingiu US\$ 34,00 dólares o barril equivalendo a um aumento nominal de mais de 1000 % em menos de dez anos. Neste contexto, o fornecimento de energia e os incentivos de desenvolvimento nesse setor se tornaram o centro das ações diplomáticas brasileiras visando reduzir sua dependência de fontes fósseis (PIMENTEL, 2011).

Descobriu-se então, que o Brasil possui alta capacidade para o desenvolvimento de fontes de energia renováveis, em especial a energia hídrica, eólica e solar, devido ao altos níveis de

irradiação (EPE,2017). A irradiação no território nacional apresenta valores superiores aos da Alemanha, país que tem a maior capacidade instalada de geração fotovoltaica no mundo, e que apresenta uma irradiação mínima de $2,95 \text{ kWh/m}^2$ /dia e a máxima de $3,42 \text{ kWh/m}^2$ /dia enquanto que no território brasileiro o valor mínimo da irradiação solar é de $4,25 \text{ kWh/m}^2$ /dia e o máximo de $6,75 \text{ kWh/m}^2$ /dia (WWF-Brasil, 2015).

Devido a esse grande potencial e aos crescentes debates sobre sustentabilidade no mundo, o Brasil vem discutindo e desenvolvendo formas de investimento nessa nova tecnologia, seguindo a direção tomada por outros países que, mesmo com menores potenciais solares se destacam na geração fotovoltaica. De acordo com o “Desafios e Oportunidades para a energia solar fotovoltaica no Brasil: recomendações para políticas públicas”, estudo feito pela WWF Brasil, a Empresa de Pesquisa Energética (EPE), o Ministério de Minas e Energia (MME), estima-se que o equivalente a todo o consumo do Sistema Interligado Nacional em 2011 poderia ser gerado através de uma área de 2.400 km^2 de painéis fotovoltaicos localizados numa região com irradiação anual média da ordem de 1.400 kWh/m^2 /ano.

A Associação Brasileira de Energia Solar (ABSOLAR) em seu artigo “Perspectivas Para A Geração Centralizada Solar Fotovoltaica No Brasil” divulgado em 2019 aponta que as usinas fotovoltaicas em operação geram energia suficiente para abastecer um consumo equivalente ao de 3 milhões de brasileiros. Além de gerar energia elétrica, o investimento nesta tecnologia tem alta capacidade de geração de empregos no setor sendo contabilizados mais de 50 mil novos empregos em locais onde esses empreendimentos foram implantadas.

De acordo com levantamento de dados recentes feito pela ANEEL, atualmente o Sistema Interligado Nacional (SIN) possui 3407 Usinas Fotovoltaicas (UFV) em operação comercial, despachadas centralizadamente pelo Operador Nacional do Sistema (ONS). Esses empreendimentos estão distribuídos em todo território nacional, correspondendo a uma potência outorgada de mais de 3.000 megawatts (MW) aproximadamente 1,7 % da matriz elétrica brasileira.

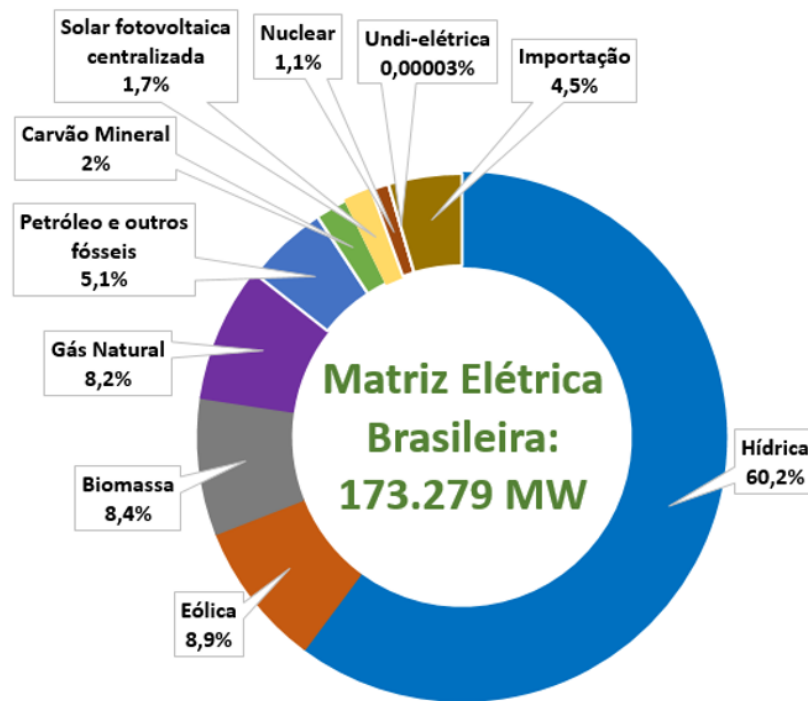


Figura 3.7: Matriz Energética Brasileira em 2019. Fonte: ECOA, 2020

O expressivo crescimento da energia solar fotovoltaica no país se deu principalmente pelo estímulo da Resolução Normativa (REN) nº 482/2012 da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL).

3.3.1 RESOLUÇÃO NORMATIVA 482/2012

A resolução normativa nº 482 de 2012, posteriormente alterada pelas REN nº 517/2012, 687/2015 e 786/2017, foi o marco regulatório estabelecendo condições técnicas e comerciais gerais para o acesso de micro e minigeração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica. O sistema de compensação de energia elétrica (*Net metering*) e demais providências relacionadas ao assunto.

Entende-se microgeração e minigeração distribuída como um sistema gerador de energia elétrica, que se encontra conectada fisicamente, por meio de instalações de unidades consumidoras (UC) à rede da concessionária de distribuição. Contudo, se diferem pela potência instalada, ou seja, pela sua capacidade nominal de geração, na qual a microgeração corresponde por centrais geradoras conectadas à rede que possuem potência instalada menor ou igual a 75 kW e a minigeração por centrais geradoras conectadas à rede que possuem potência instalada superior a 75 kW e menor ou igual a 5 MW.

Desta forma, de acordo com o sistema de compensação de energia elétrica, a UC que se torna adepta ao sistema recebe título de empréstimo da distribuidora passando a ter um crédito em quantidade de energia ativa por até 60 meses ao injetar energia ativa na rede da concessionária de distribuição.

A resolução normativa nº 687 de 2015 estabelece novas modalidades permitindo maior acesso à energia solar fotovoltaica, nas quais pessoas físicas e jurídicas têm a possibilidade de se juntarem, por meio de cooperativas ou consórcios, para desfrutar do direito da compensação de energia não havendo a necessidade de se instalar a central geradora fotovoltaica em suas residências, tornando assim o acesso à tecnologia mais igualitário.

3.4 FORNECIMENTO DE ENERGIA EM ZONA RURAL NO BRASIL

A carência de eletrificação rural constitui um dos problemas do sistema elétrico brasileiro. Tal problema se agrava quando as propriedades são muito distantes dos centros de carga, a densidade de consumidores por quilômetro é baixa e há escassez de recursos para investimento na rede. Mesmo com o avanço da tecnologia de geração descentralizada e maior adesão dos proprietários rurais, a maioria das propriedades ainda são atendidas por concessionárias de energia ou cooperativas, porém devido à grande extensão das linhas de distribuição rural a energia que chega nas propriedades possui baixa qualidade (SILVA, MUNHOZ, CORREIA, 2002).

Os altos preços cobrados pela energia elétrica no país têm motivado produtores rurais e indústrias a produzirem sua própria energia, ou seja, serem autogeradores ou geradores independentes de energia elétrica para venda. Além disso, no setor agropecuário, houve um aumento no consumo de energia, segundo a Empresa de Pesquisa Energética (EPE, 2017), de 2007 a 2016 representando um aumento de 58,2 % no consumo de energia elétrica pelo setor, ou seja, um aumento anual de 6 % (EMBRAPA, 2019).

Por meio da REN 482/2012, viabiliza-se todo o consumidor de energia elétrica a gerar sua própria energia, podendo ser injetado o excedente produzido na rede quando a energia gerada for maior que o consumo, desta forma, a unidade consumidora recebe créditos da concessionária, permitindo o consumo posterior da correspondente energia ativa quando a geração própria do sistema não for capaz de gerar a demanda necessária. Essa legislação possibilita que no meio rural os recursos naturais sejam aproveitados para a geração de energia necessária para abastecer seu consumo, promovendo assim redução de despesas na propriedade.

3.5 RECURSO SOLAR: CONCEITOS BÁSICOS

A energia proveniente do Sol é a principal fonte energética da Terra, por ser praticamente inesgotável na escala terrestre de tempo, agindo tanto como fonte de calor quanto sendo hoje uma das alternativas mais promissoras para prover a energia necessária ao desenvolvimento humano (PINHO, GALDINO, 2014). Ela é originada através de reações termonucleares, nas quais as moléculas de H_2 são convertidas em He, liberando uma quantidade de energia da ordem de 4.10^{20} J (Shayani, 2006).

A energia solar é liberada em forma de radiação eletromagnética, das quais 9 % são de

radiação ultravioleta, 40% localizam-se na região visível do espectro e, aproximadamente, 50 % são radiação infravermelha (Hinrichs e Klinbach, 2003).

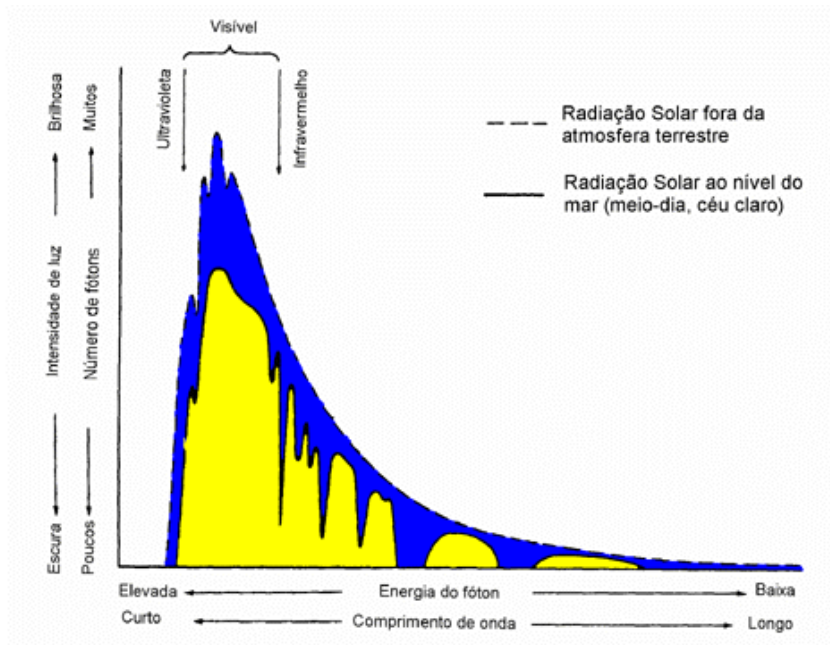


Figura 3.8: Distribuição espectral da radiação solar. Fonte: CRESESB, 2014.

3.5.1 Geometria Sol-Terra

A Terra descreve uma trajetória elíptica em seu movimento anual em torno do sol. Ela possui uma inclinação de $23,45^\circ$ relativa ao seu eixo comparado ao plano normal da elipse, que associada ao seu movimento dá origem às estações do ano. Observa-se que ao longo do ano, ao meio-dia, há uma variação angular máxima de $23,45^\circ$ (no dia 21 de junho, solstício de inverno no hemisfério sul) e $-23,45^\circ$ (no dia 21 de dezembro, solstício de verão no hemisfério sul) entre os raios solares e o plano do Equador. Esse ângulo é chamado de Declinação Solar (δ) e tem valor nulo nos dias 21 de março e 21 de setembro (PINHO, GALDINO, 2014). A Figura 3.9 mostra o movimento da Terra em torno do Sol ao longo do ano.

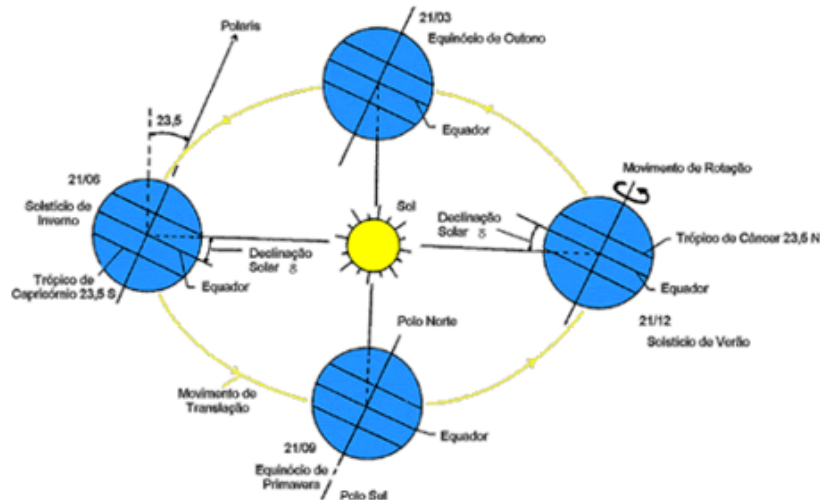


Figura 3.9: Movimento da Terra em torno do sol durante o ano. Fonte: CRESESB, 2014.

Em detrimento da angulação existente entre o eixo da Terra e o plano da trajetória, verifica-se uma variação da duração dos dias ao longo do ano e o movimento relativo do sol. Tais fatos justificam o posicionamento dos módulos fotovoltaicos, em regiões do hemisfério sul, em direção ao norte.

Outros ângulos são observados derivados do movimento relativo entre os raios solares e a superfície terrestre, que estão apontados na Figura 3.10 e definidas a seguir:

- Ângulo Zenital (θ_z): ângulo formado entre os raios do Sol e a vertical local (Zênite);
- Altura ou Elevação Solar (α): ângulo complementar o Ângulo Zenital (θ_z), compreendido entre os raios do Sol e a projeção dos mesmos sobre o plano horizontal.
- Ângulo Azimutal do Sol (γ_s): ângulo entre a projeção dos raios solares no plano horizontal e a direção Norte-Sul (horizonte do observador). O deslocamento angular é tomado a partir do norte, sendo, por convenção, positivo quando a projeção se encontra à Leste e negativo quando se encontra a Oeste. O conhecido também como azimuth solar, varia de -180° a $+180^\circ$;
- Ângulo Azimutal da Superfície (γ): ângulo entre a projeção da normal à superfície no plano horizontal e a direção Norte-Sul. Seu deslocamento segue às convenções do azimuth solar;
- Inclinação da Superfície de Captação (β): ângulo entre o plano da superfície analisada e o plano horizontal;
- Ângulo de Incidência (θ): ângulo formado entre os raios do Sol e a normal à superfície de captação (PINHO, GALDINO, 2014).

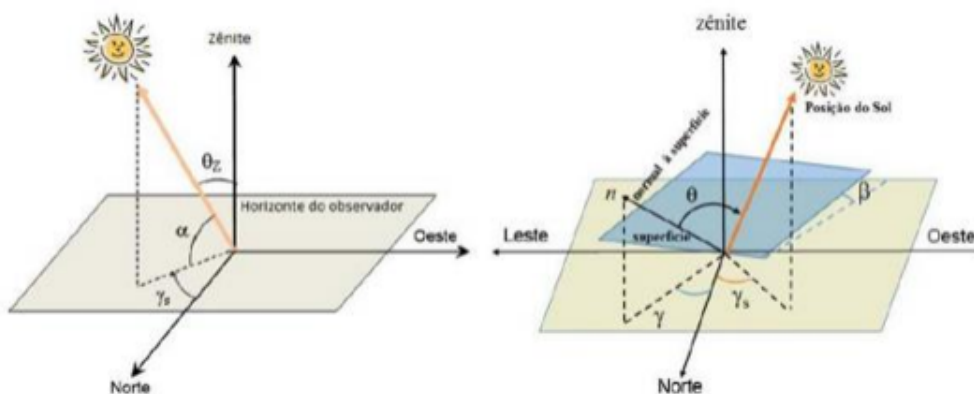


Figura 3.10: Geometria Solar. Fonte: PINHO e GALDINO, 2014.

3.5.2 Irradiância Solar

A irradiância solar está associada ao fluxo de potência por determinada área (W/m^2). Ela, quando atinge o topo da camada atmosférica, tem uma intensidade quase constante, sendo conhecida como constante solar (I_0). Tal valor representa a irradiância, popularmente chamada de radiação solar, incidente em uma superfície da atmosfera perpendicular aos raios solares e corresponde a $1.367 W/m^2$.

Verifica-se que radiação solar também está atrelada ao conceito de irradiação solar quando se refere à energia por unidade de área, uma vez que corresponde à integral da irradiância no tempo (Wh/m^2) e está diretamente atrelada à quantidade de geração de energia através do sistema fotovoltaico (SFV). A figura 3.11 ilustra o que foi colocado.

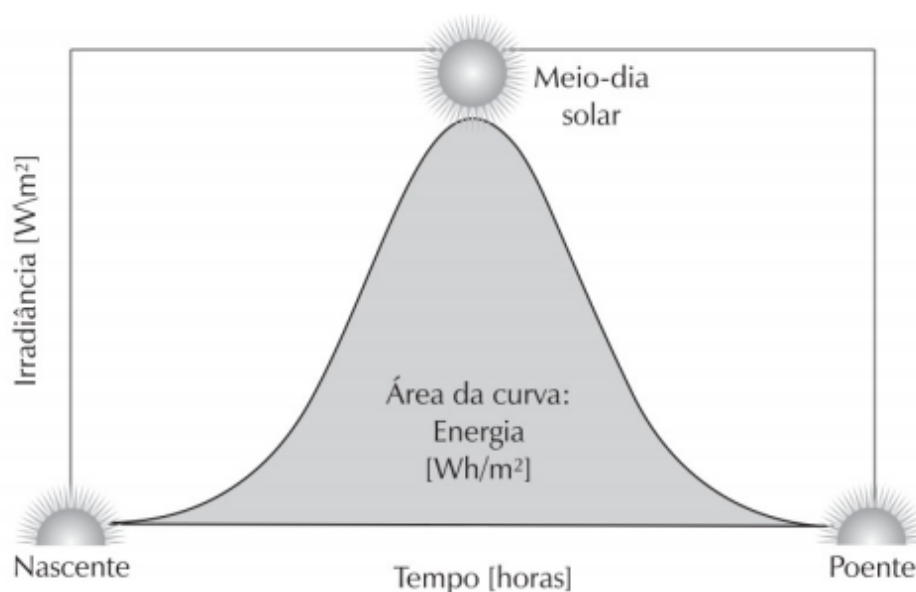


Figura 3.11: Perfil da irradiância solar ao longo de um dia. Fonte: Villalva, 2015.

A irradiância solar incidente sobre a superfície do módulo fotovoltaico pode ser dividida em duas componentes sendo uma a irradiância direta, a qual incide diretamente da direção do Sol

produzindo sombras nítidas e incidindo com um ângulo bem definido. E a irradiância difusa, a qual corresponde pela radiação solar incidente proveniente de componentes diversas direções e atingem a superfície após sofrer espalhamento pela atmosfera terrestre de forma irregular. (PINHO, GALDINO, 2014). O total de irradiação recebida pelo módulo corresponde à soma das duas componentes como é possível observar na figura 3.12.

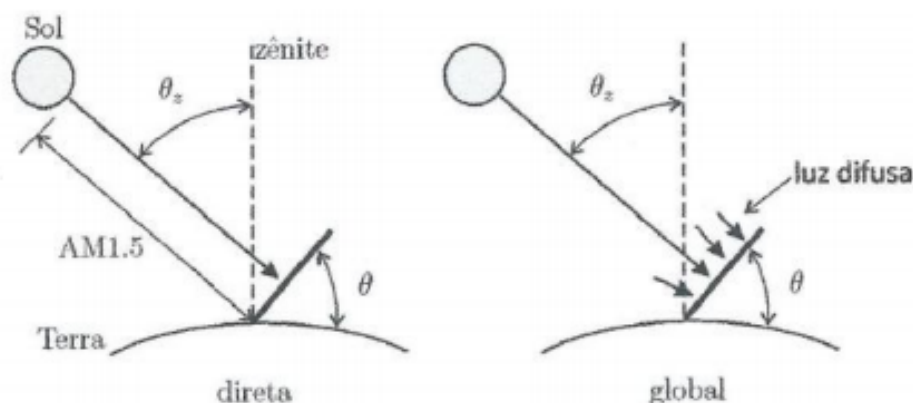


Figura 3.12: Componentes da Radiação Solar. Fonte: Villalva, 2015.

Antes de atingir o solo, a radiação solar sofre várias interações com a atmosfera. Sua intensidade, distribuição espectral e angular são perturbadas pelos efeitos de absorção e espalhamento que estão diretamente relacionados com a espessura da camada atmosférica. Assim, chega-se ao conceito de Massa de Ar (AM), que representa um coeficiente que expressa o caminho efetivo que a radiação incidente percorre para entrar na atmosfera até atingir a superfície da Terra em um local específico do planeta, caminho percorrido pelos raios na atmosfera para a superfície de um lugar ao nível do mar com o Sol em seu zênite. O coeficiente AM é calculado pela equação 3.1.

$$AM = \frac{1}{\cos(\theta_z)} \quad (3.1)$$

O Brasil é um país com dimensão continental localizado entre os trópicos de Câncer e Capricórnio, onde a maior parte de seu território se encontra próximo à Linha do Equador. Verifica-se na Figura 3.13 que devido ao seu posicionamento no globo, ele recebe uma intensa irradiação solar durante o ano.

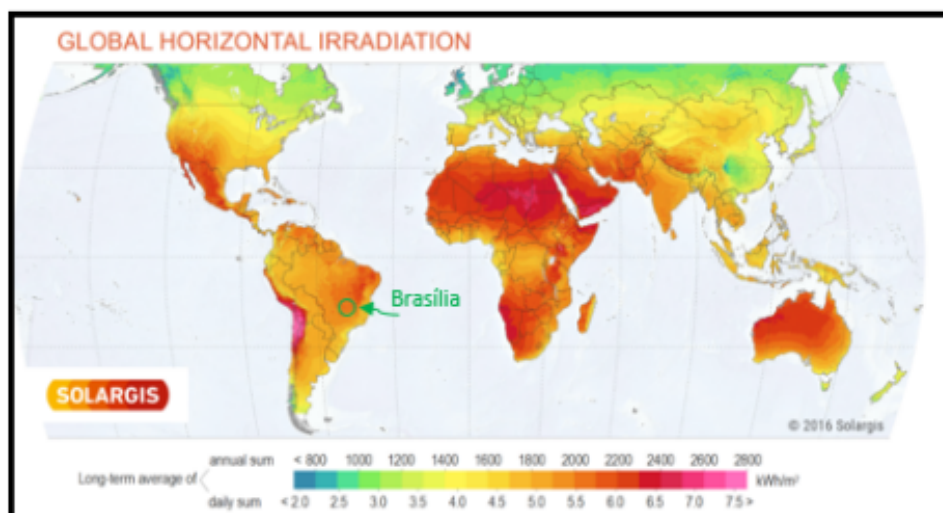


Figura 3.13: Irradiação Global. Fonte: Solargis,2016

Esse fato é de grande relevância para o desenvolvimento nacional e exploração de tecnologias de conversão de energia solar em energia elétrica. Uma vez que comparado aos países da Europa Central, países que fizeram grandes investimentos na área de energia fotovoltaica, a irradiância mínima do Brasil é maior que a máxima destes países de forma a se esperar um futuro brilhante para o crescimento sustentável e investimentos no setor.

Na Tabela 3.1 está uma comparação da radiação global direta horizontal (GHI) e a radiação global difusa horizontal (HD) em kWh/m².dia para Brasília (Brasil) e Freiberg (Alemanha) mostrado. A média anual de radiação em Brasília é cerca de 80% maior que a média de radiação anual global.

Tabela 3.1: radiação global direta horizontal (GHI) e a radiação global difusa horizontal (HD) em kWh/m².dia. Fonte: Solargis, 2016

kWh/m ² .d	Brasília (BRA)		Freiberg (ALE)	
	GHI	Hd	GHI	Hd
JAN	4,68	2,73	0,75	0,52
FEV	5,5	2,74	1,42	1,42
MAR	4,53	2,51	2,36	1,44
ABR	4,99	2,22	3,64	2,04
MAI	4,72	1,87	4,76	2,62
JUN	4,75	1,64	4,69	2,81
JUL	4,96	1,67	4,82	2,7
AGO	5,49	1,91	4,14	2,28
SET	5,25	2,39	2,79	1,59
OUT	4,68	2,62	1,83	1,04
NOV	4,75	2,71	0,83	0,59
DEZ	4,72	2,74	0,52	0,4
MÉDIA	4,92	2,31	2,71	1,62

A região central do Brasil é beneficiada pela alta radiação solar. Dados mostrados na figura

3.14 apontam que os recursos solares da região Centro-Oeste e do Nordeste são os maiores do país e que Brasília possui uma das maiores irradiações da sua região.

A capital brasileira possui diversos motivos para destacar-se pela energia fotovoltaica. Ela foi construída sob o signo da modernidade sendo um palco ideal para inovações. O seu clima é tropical com uma estação seca temporária típica de Planalto e montanhas existindo duas estações muito distintas, uma estação chuvosa que vai de outubro a março e a estação seca de abril a setembro. A temperatura média atinge valores em torno de 22° C e as máximas temperaturas ocorrem nos meses de primavera (HERMISDORFF, 2018).

A localização e as características climáticas facilitam a aplicação da tecnologia solar fotovoltaica e permitem boas condições para um alto rendimento de energia. Sua radiação varia de 4,25 a 6,5 kWh/m². De acordo com WWF Brasil, Brasília tem um potencial de radiação médio anual de, aproximadamente, 5,8 kWh/m².

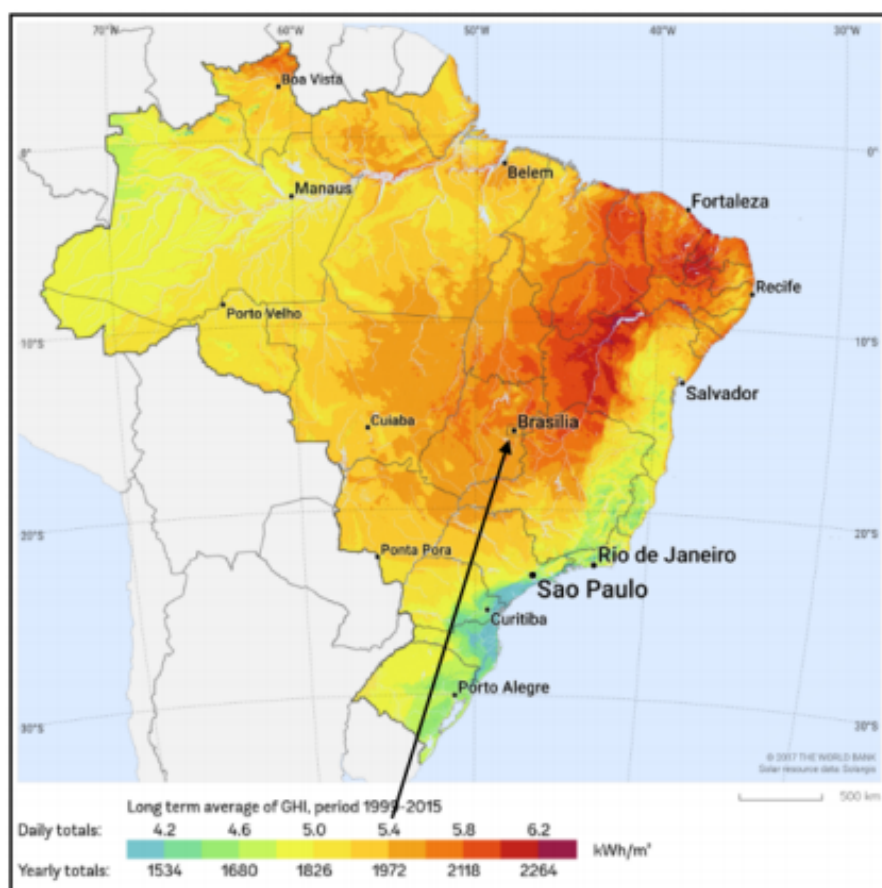


Figura 3.14: Irradiação Brasileira anual. Fonte: Solargis, 2017.

3.6 SISTEMA FOTOVOLTAICO

Um sistema solar fotovoltaico é composto pela parte geradora, composta pelos módulos fotovoltaicos, cabeamento que os interliga e o suporte do mesmo. Pela parte de condicionamento de potência, composta pelos inversores (com MPPT), controladores de carga (caso tenha armazenamento de energia), além de outros equipamentos de proteção e controle. E, opcionalmente,

pela parte de armazenamento compreendido por baterias e outras formas de armazenamento. (PINHO, GALDINO, 2014).

3.6.1 Efeito Fotovoltaico

A energia solar fotovoltaica é obtida a partir da conversão direta da radiação solar em eletricidade, esse processo é chamado de efeito fotovoltaico.

Células fotovoltaicas, na maioria das vezes, são fabricadas a partir do Silício (Si) extraído de rochas e areia através de métodos químicos adequados, obtendo-o da forma mais pura. Ele é classificado como elemento semicondutor por possuir características intermediárias entre um condutor e um isolante.



Figura 3.15: Célula fotovoltaica de silício. Fonte: Portal Solar, 2020.

Uma vez que seu cristal não possui elétrons livres, faz-se necessário que haja um acréscimo de outros elementos que tenham essas características, ou seja, incorporar outros elementos ao Si como forma a condicionar a condução de elétrons para a geração de energia, no caso injetam-se os elementos Fósforo (P) e o Boro (B).

O processo de acréscimo de elementos ao Silício chama-se Dopagem, na qual a dopagem do silício com o fósforo resulta em um material com elétrons livres sendo portadores de carga negativa (silício tipo N), já a dopagem do silício com o Boro obtêm-se um material com características opostas, um material com a falta de elétrons livres sendo portadores de cargas positivas (silício tipo P) apresentando, assim, as chamadas de lacunas.

As células fotovoltaicas possuem principalmente uma composição de duas camadas, uma fina do tipo N e outra maior tipo P, na quais, isoladamente, são eletricamente neutras. Ao serem unidas na chamada região P-N, evidencia-se a origem de um campo elétrico gerado pela ocupação dos vazios do semicondutor tipo P pelos elétrons livres do semicondutor tipo N. Um fluxo orientado de elétrons por meio de um condutor externo é formado ao incidir luz sobre a célula fotovoltaica, em detrimento do salto de nível quântico dos elétrons livres da estrutura do silício tipo N, criando assim uma diferença de potencial. A intensidade dessa corrente é diretamente proporcional a intensidade de radiação solar incidida sobre as células.

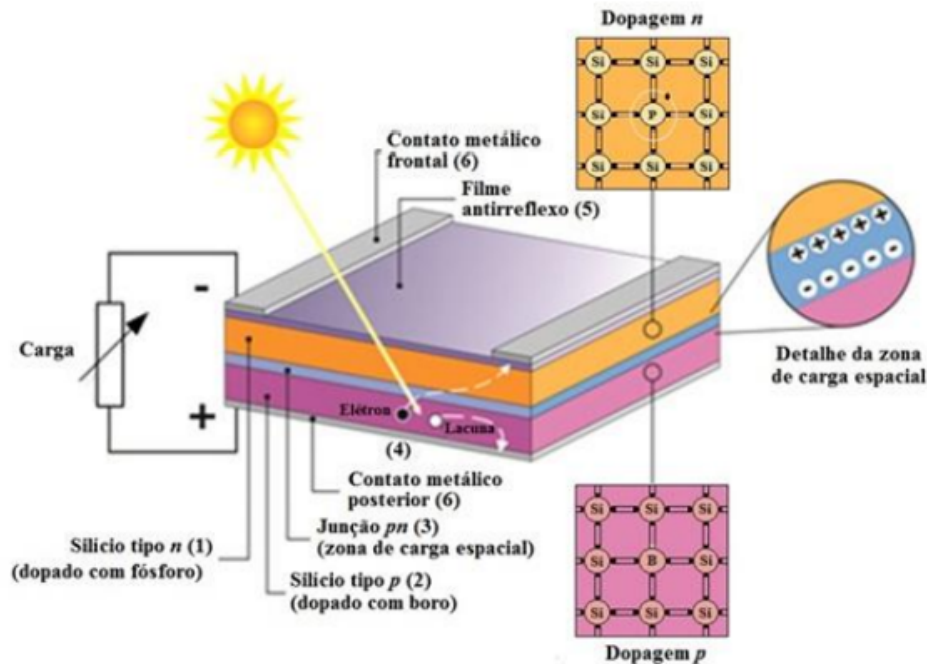


Figura 3.16: Estrutura básica de uma célula fotovoltaica de silício. Fonte:PINHO e GALDINO, 2014.

3.6.2 Módulo Fotovoltaico

Os módulos fotovoltaicos são formados por um agrupamento de células fotovoltaicas conectadas eletricamente, pois uma célula apenas possui baixa tensão e corrente de saída. O número de células conectadas em um módulo, e o tipo de arranjo em série ou paralelo, dependerá da potência desejada, ou seja, deve-se levar em consideração o consumo de cargas que serão conectadas a esse módulo (BRAGA, 2008).

O mercado utiliza três tipos de tecnologias para a fabricação dos módulos sendo que a diferença entre elas é o tipo de silício utilizado, de modo que o módulo pode ser constituído por células de silício monocristalino (m-Si); silício policristalino (p-Si); e silício amorfo (a-Si) utilizado em conjunto a outras células de diferentes elementos chamada de filme fino.

Os módulos de silício monocristalino são os mais eficientes produzidos em larga escala e disponíveis comercialmente. Podem alcançar eficiências de 15% a 18% pelo seu alto grau de pureza, conseqüentemente seu custo é maior. Os módulos de silício policristalino são os mais utilizados atualmente. São fabricados através de um processo mais econômico que o do monocristalino, no qual utilizam-se cristais heterogêneos. Deste modo, sua eficiência cai ligeiramente para 13% a 15% onde, no entanto, são módulos mais baratos, compensando economicamente a redução da eficiência. Já o módulo de filmes finos são desenvolvidos por uma tecnologia mais recente, na qual não são produzidas através de fatias de lingotes de silício e sim por filmes finos os quais são distribuídos sobre uma superfície, porém suas células se degradam pela radiação solar onde sua eficiência é de 5% a 8% (VILLALVA, 2015). A figura 3.17 ilustra os módulos com as diferentes tecnologias utilizadas.



Figura 3.17: Módulos Fotovoltaicos: Monocristalino, Policristalino e Amorfo (Filme Fino). Fonte: Autoral.

Os módulos são identificados por sua potência de pico (W_p), o que significa que a sua potência é definida de acordo com algumas condições específicas de ensaio (STC, do inglês *Standard Test Conditions*) nas quais são definidas irradiância solar de 1.000 W/m^2 , distribuição espectral padrão para AM 1,5 e temperatura de célula de 25°C .

Importante salientar que o módulo fotovoltaico não se comporta como uma fonte convencional, pois não apresenta uma tensão de saída constante nos seus terminais, que varia de acordo com a carga que está sendo alimentada. A figura 3.18 apresenta o comportamento da corrente e da tensão do módulo indicando a potência gerada em cada cenário. Tal relação é chamada de curva $I \times V$ do módulo.

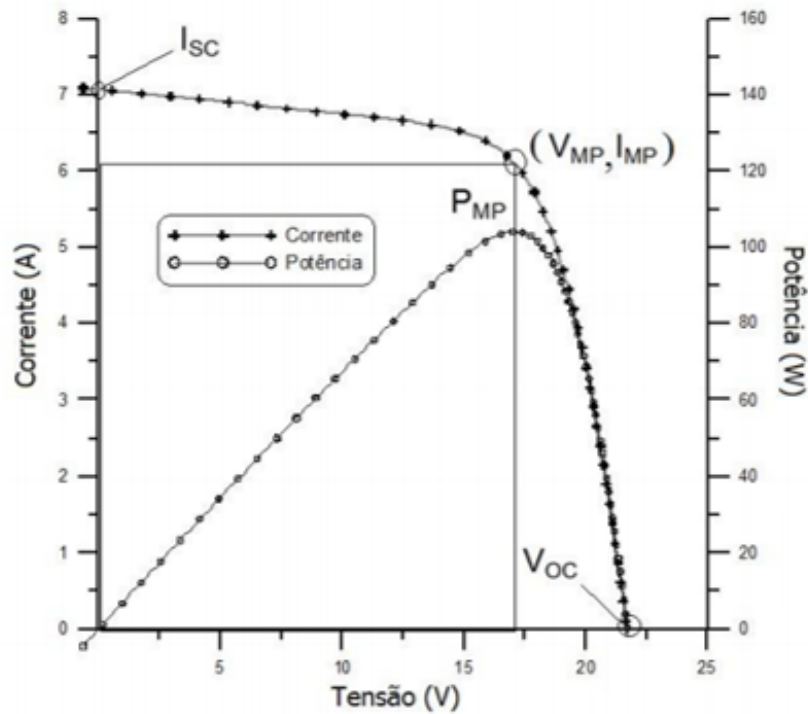


Figura 3.18: Curva característica $I \times V$ e curva de potência $P \times V$ para um módulo com potência nominal de 100 Wp. Fonte: PINHO e GALDINO, 2014.

Identifica-se nesse gráfico alguns valores importantes de parâmetros do módulos sendo eles:

- Corrente de curto-circuito (I_{sc}) - Corrente que surge quando colocamos em curto-circuito os terminais do módulo. Neste caso não existe tensão e o seu valor é máximo;
- Tensão de circuito aberto (V_{oc}) - Tensão aferida nos terminais do módulo quando aberto. Neste caso, nada está sendo alimentado por ele, não havendo corrente e seu valor é máximo;
- Corrente de máxima potência (I_{mp}) - Módulo da corrente quando o módulo fornece sua máxima potência;
- Tensão de máxima potência (V_{mp}) - Módulo de tensão quando o módulo fornece sua máxima potência;
- Ponto de Máxima Potência (P_{mp}) - Local do maior valor medido do produto $I_{mp} \times V_{mp}$ indicando a potência fornecida pelo módulo. (VILLALVA, 2015).

Pode-se calcular a eficiência de um módulo fotovoltaico a partir da seguinte fórmula:

$$\eta = \frac{P_{mp}}{A_m \cdot G} \cdot 100\% \quad (3.2)$$

Sendo

- η : Rendimento do módulo
- P_{mp} : Potência Máxima (W_p) fornecida pelo módulo.
- A_m : Área do módulo fotovoltaico (m^2).
- G : Irradiância incidente no módulo (W/m^2).

A corrente que o módulo oferece ao sistema é diretamente dependente da intensidade da irradiância incidente em sua superfície. Verifica-se na figura 3.19 que os parâmetros descritos anteriormente sofrem influência direta em detrimento da variação da irradiância no local, sendo possível observar que o módulo tem sua potência reduzida, perdendo, assim, eficiência conforme menor a irradiância no local.

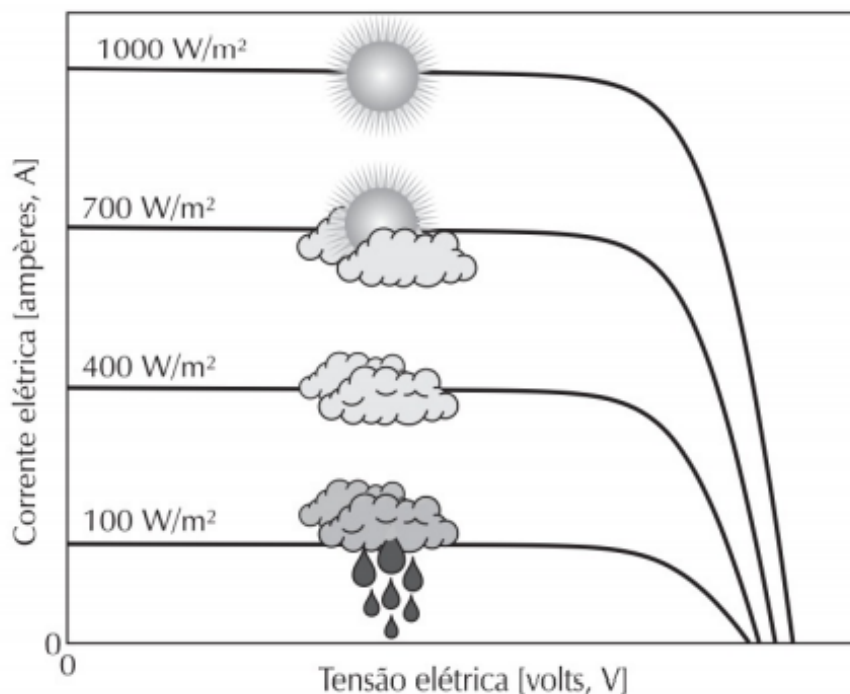


Figura 3.19: Influência da irradiância solar na operação do módulo fotovoltaico. Fonte: VILLALVA, 2015.

Além disso, a tensão e a corrente oferecida aos terminais do módulo é influenciada por sua temperatura, conseqüentemente a sua potência também. Constata-se na figura 3.20 que quanto maior sua temperatura, menor sua eficiência.

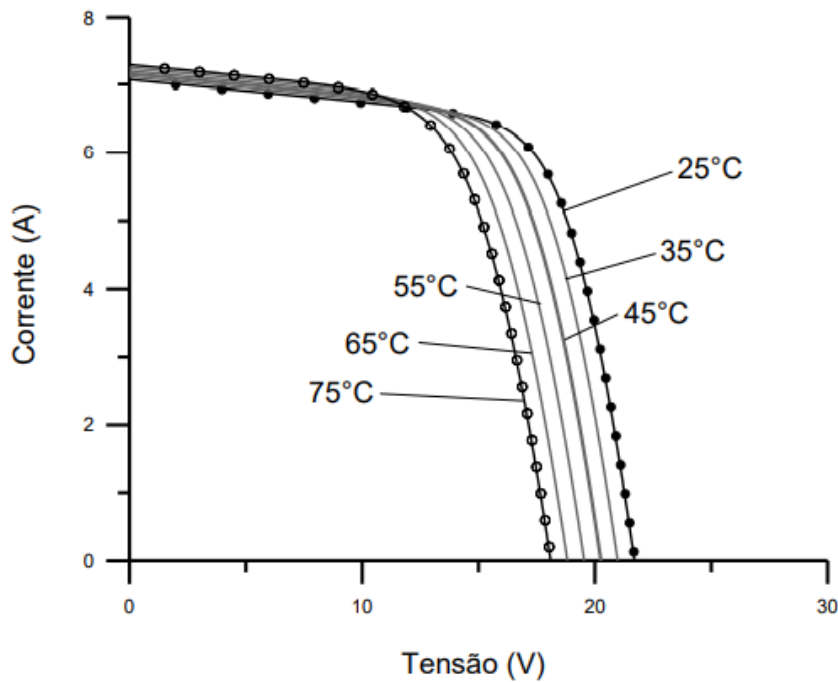


Figura 3.20: Efeito causado pela variação da temperatura das células. Fonte: PINHO e GALDINO, 2014.

3.6.3 Inversor

O inversor é o componente eletrônico do sistema fotovoltaico responsável pela transformação da corrente contínua (cc) gerada pelos módulos fotovoltaicos em corrente alternada (ca) com a amplitude, frequência e harmônico que atendam aos requisitos de acesso a rede de distribuição, para sua sincronização e que alimenta a grande maioria dos equipamentos utilizados em nosso dia a dia.

Possuem diversas aplicações, como no caso de UPS (*no-breaks*) e acionamento eletrônico para motores de indução. Embora os sistemas fotovoltaicos tanto isolado (SFI) quanto conectado à rede (SFCR) utilizem o equipamento para a mesma função, possuem certas características específicas que as diferem a fim de se atender às exigências das distribuidoras em termos de segurança e qualidade de energia injetada na rede (PINHO, GALDINO, 2014).

Os inversores utilizados para SFCR, em sua grande maioria, são autocomutados do tipo fonte de corrente (CSI, *current source inverter*), de modo que fornece corrente elétrica, não tendo a capacidade de fornecer tensão aos consumidores. Se caracterizam por serem mais estáveis diante de perturbação na rede e possuem meios de se controlar o fator de potência. Já os inversores usados para SFI são autocomutados do tipo fonte de tensão (VSI, *voltage source inverter*), de modo a fornecer tensões elétricas alternadas, preferencialmente onda senoidal pura, nos seus terminais para alimentação dos consumidores (PINHO, GALDINO, 2014). A Figura 3.21 apresenta os dois modelos de inversores.



Figura 3.21: Modelos de inversores aplicados em SFI e aplicados em SFCR. Fonte: autoral.

Os inversores possuem grande eficiência em função de MPPT neles contidos, o que possibilita operar rastreamento o ponto de potência máxima. Encontram-se amplamente no mercado, inversores que possuem mais de 1 MPPT, viabilizando assim diversos projetos.

Os inversores *on-grid* também são de grande importância para a proteção do sistema, por possuírem proteção anti-ilhamento, conforme estabelecido nas NBR ABNT 1674 e ABNT NBR 16274, na qual é previsto o desligamento automático quando não for detectado a tensão na rede elétrica, a fim de assegurar a não injeção de corrente na rede evitando qualquer tipo de acidente, em casos de possível manutenção do sistema.

3.6.4 Controlador de carga

O controlador de carga possui grande importância em sistemas fotovoltaicos isolados (*off-grid*). É o componente eletrônico que faz a correta conexão entre o arranjo fotovoltaico e a bateria, sendo responsável por impedir possível corrente reversa da bateria para o painel, além de ter a função de gerir a energia entregue a bateria, já realizando a compensação de temperatura, através do controle da tensão de regulação (VR); e assim prolongar sua vida útil, protegendo-a de sobrecargas ou descargas excessivas. A Figura 3.22 mostra um esquema de como o controlador faz a conexão do módulo ao banco de baterias.

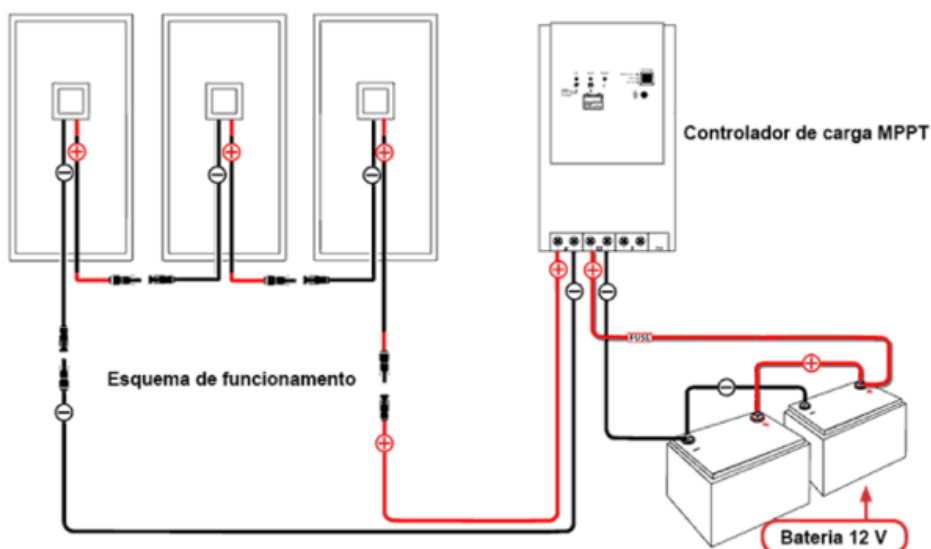


Figura 3.22: Esquema de ligação módulo, controlador e banco de baterias. Fonte: Tem sustentável, 2020.

São equipamentos críticos em sistemas fotovoltaicos isolados (SFI), uma vez que venham a falhar, pode-se gerar danos irreversíveis à bateria, tornando-o indispensável. Observa-se que sua utilização permite otimizar o dimensionamento da bateria, uma vez que alguns permitem o ajuste de parâmetros e métodos de controle adaptando a bateria utilizada, além de permitir um maior nível de proteção para qualquer intervenção do usuário no sistema.

Existem dois tipos de controladores de carga, so do tipo PWM comum, ou seja que não possui rastreador de ponto de máxima potência (MPPT) e o do tipo PWM com MPPT.

Ambos os controladores utilizam modulação por pulsos de corrente, porém o controlador com MPPT possui maiores vantagens, como a possibilidade de controlar a corrente e tensão que chegam dos módulos para oferecer a máxima potência (P_{max}) as baterias, já no controlador comum, a mesma tensão e corrente (desconsiderando perdas) geradas nos painéis são entregues a bateria. Desta forma, o controlador com MPPT possui uma eficiência maior, entregando cerca de 97% da potência enquanto o comum apenas 90%. O MPPT possui maior custo comparado ao comum, porém suas características justificam a sua escolha.



Figura 3.23: Exemplos de controladores de carga. Fonte: Autoral.

3.6.5 Baterias

As Baterias são os componentes responsáveis pelo armazenamento de energia gerada pelos módulos fotovoltaicos. Sua presença é necessária para proporcionar o atendimento de fornecimento de energia às cargas nos períodos cuja geração é nula ou insuficiente e evitar o desperdício da energia gerada.

Diferente das baterias automotivas, feitas para trabalharem em ciclos de alta corrente por breves períodos de tempo (partida de motor), as baterias estacionárias foram desenvolvidas para operarem estaticamente, com ciclos profundos de baixa corrente por longos períodos de tempo, geralmente considerando um ciclo de descarga e recarga de 24h, sendo ideais para serem utilizadas na aplicação de SFVs.



Figura 3.24: Exemplos de Bateria. Fonte: Autoral.

Há diferentes tipos de baterias, assim, os principais modelos existentes serão apresentados nas próximas seções.

3.6.5.1 Chumbo-ácido comum

Baterias com eletrólito líquido de ampla utilização no mercado solar pelo seu custo mais baixo. Possui eficiência de 90 %. Necessitam de manutenções periódicas devido a decantação dos eletrólitos.

3.6.5.2 Chumbo-ácido com eletrólito em gel

Bateria conhecida como selada, regulada a válvula de segurança contra sobrecarga (controle de temperatura e pressão). Possui eficiência de 98%. Não há a decantação de eletrólitos por ser em gel havendo menor necessidade de manutenções periódicas. Custo elevado, mas bastante utilizadas.

3.6.5.3 AMG (Absorved Glass Mat)

Bateria selada, com eletrólitos imobilizados (fibra de vidro), possui válvula de segurança contra sobrecarga, excelente eficiência e vida útil. Possui alto custo.

3.6.5.4 OPzS e OPzV

Baterias com placas tubulares em liga Pb-Sb e eletrólito líquido especial, possuem grande capacidade, alta vida útil e são indicadas para locais remotos necessitando de manutenções periódicas anuais. O seu alto custo vem diminuindo nos últimos anos, tornando viável sua utilização para certas aplicações.

A Figura 3.25 indica que a vida útil das baterias está inversamente relacionada com a temperatura de operação e a profundidade de descarga. Em SFI é recomendado que as baterias estacionárias de chumbo ácido comum não cheguem a uma profundidade de descarga maior que 80 % da sua capacidade nominal, uma vez que há um ciclo constante (PINHO, GALDINO, 2014).

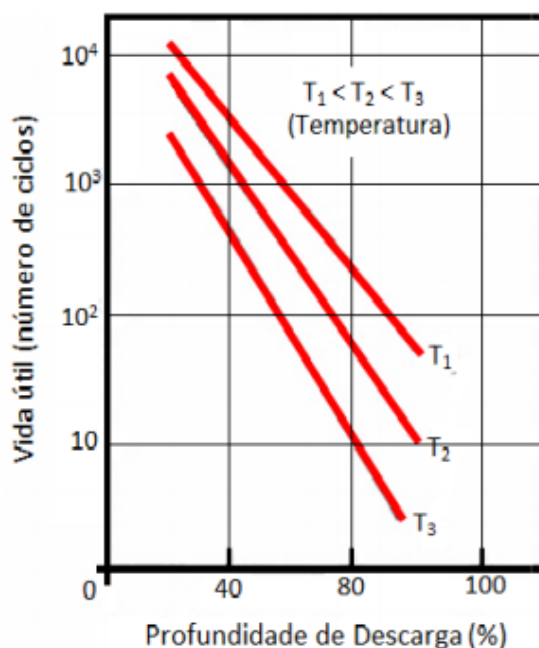


Figura 3.25: Curvas típicas do efeito da profundidade de descarga e da temperatura na vida útil da bateria. Fonte: IMAMURA, HELM e PALZ,1992.

3.6.6 String Box

A Caixa de Junção, ou mais conhecida como *String Box*, corresponde ao local no qual os conjuntos fotovoltaicos são ligados, devendo possuir proteção contra intempéries e o grau de proteção mínimo contra contato, entrada de corpos sólidos estranhos e água em componentes de IP54. Além disso, deve ter também um barramento positivo e negativo bem separados e identificados em seu interior, como é possível verificar na Figura a seguir.

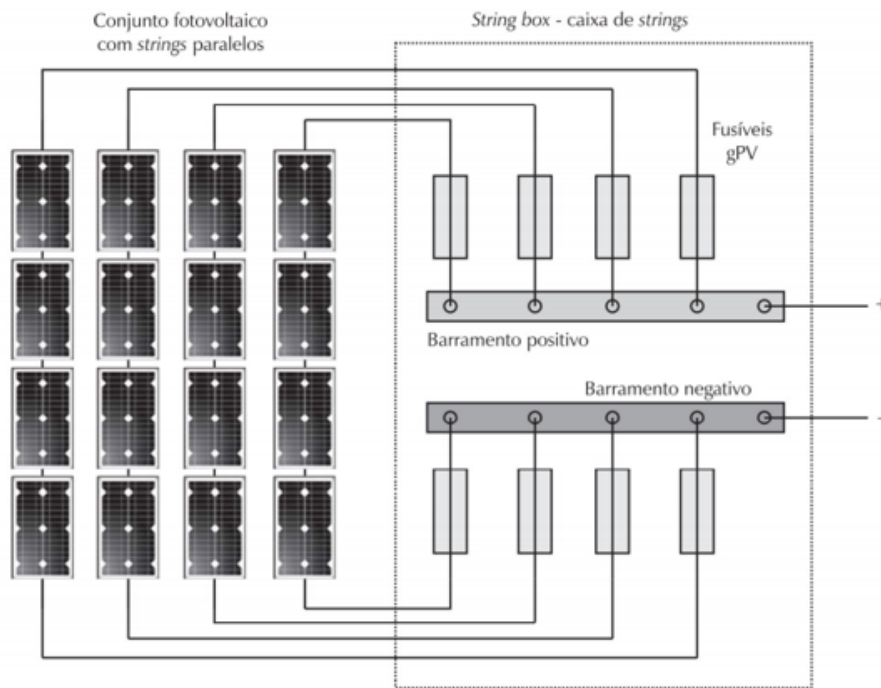


Figura 3.26: Caixa de junção de diversas strings em paralelo, contendo fusíveis e barramento de ligação. Fonte: Villalva, 2015.

3.6.7 Sistema Fotovoltaico *On-Grid*

De acordo com a REN 674/2015 o sistema interligado, conhecido como “*Grid*” é definido como o conjunto de geradores, linhas de transmissão e distribuição de diversas empresas eletricamente interligados e atendendo uma área extensa.

O sistema fotovoltaico *On-grid* (SFCR) é conectado à rede de distribuição. Seus principais componentes são módulo fotovoltaico, inversor e a *string box*. Esse sistema funciona de tal forma que quando o usuário não consome toda a energia gerada, ou produz uma parcela excedente de energia, esta é enviada para a rede de distribuição e convertida em créditos com a concessionária de energia para a instalação. Esses créditos são mensurados por um medidor bi-direcional e podem ser armazenados por até cinco anos, entretanto, caso o usuário não usufrua dos mesmos, ficam com a concessionária. Esta troca de energia entre as concessionárias e as instalações é mensurada mensalmente e discriminada na fatura de energia do cliente. (BOSO; GABRIEL; FILHO, 2015).

A Figura a seguir apresenta o fluxo de potência através do sistema, indicando com a seta vermelha o caso onde há maior consumo na residência que energia gerada pelo SFV, sendo necessária a utilização da energia proveniente da distribuidora e a seta verde no caso em que há uma maior geração do SFV, injetando o excedente na rede.

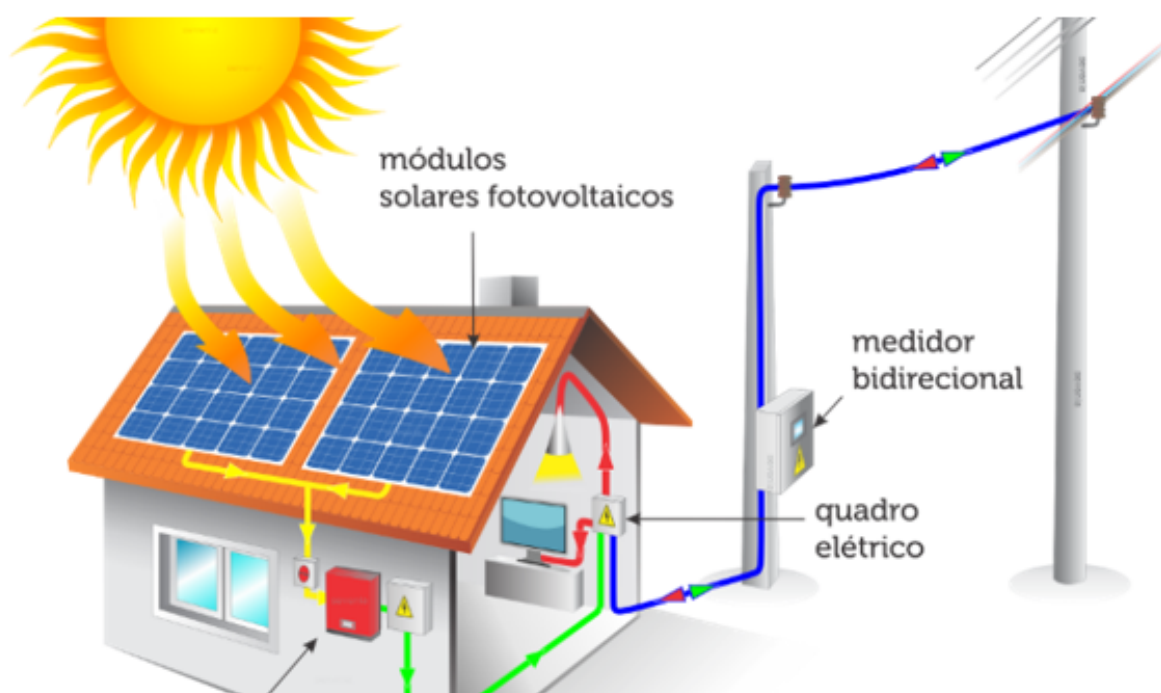


Figura 3.27: Esquema funcionamento do Sistema Fotovoltaico *On-Grid*. Fonte: SEBRAE, 2020.

3.6.8 SISTEMA FOTOVOLTAICO *OFF-GRID*

O sistema isolado não é conectado à rede elétrica. É empregado em locais onde não se dispõe de rede elétrica ou quando o usuário opta por uma forma de *backup* para assegurar o fornecimento de energia elétrica, armazenando a energia solar excedente em baterias para ser utilizada quando não houver produção. Pode ser usado para atender a necessidade de eletricidade em zonas rurais, praias ou qualquer lugar que não disponha de uma rede elétrica, além de poder ser a maneira mais econômica e simples de gerar energia elétrica nesses lugares (VILLALVA, 2015).

O IRENA estima que cerca de 133 milhões de pessoas acessaram a iluminação e outros serviços de eletricidade usando soluções de energia renovável *off-grid* em 2016. Isso inclui cerca de 100 milhões usando luz solar (<11 watts), 24 milhões usando sistemas domésticos solares (> 11 watts) e pelo menos 9 milhões conectados a uma mini-rede (IRENA,2016).

Os principais componentes no sistema fotovoltaico *off-grid* são os módulos fotovoltaicos, controlador de carga, bateria e inversor. A irradiação solar é convertida em eletricidade diretamente pelo módulo gerando energia em corrente contínua (CC). O controlador de carga é necessário para transferir essa corrente do módulo para a bateria visando proteger as baterias de sobrecargas ou de descargas demasiadas assim gerenciando seu funcionamento e aumentando sua vida útil. Além disso, o controlador possui rastreador de ponto de potência máxima (MPPT) que condiciona o sistema à sua potência de valor máximo em todas as condições e funciona como um conversor CC/CC de potência. A maioria das cargas elétricas são alimentadas por corrente alternada (CA), portanto, para esses casos, deve-se converter a corrente contínua para alternada.

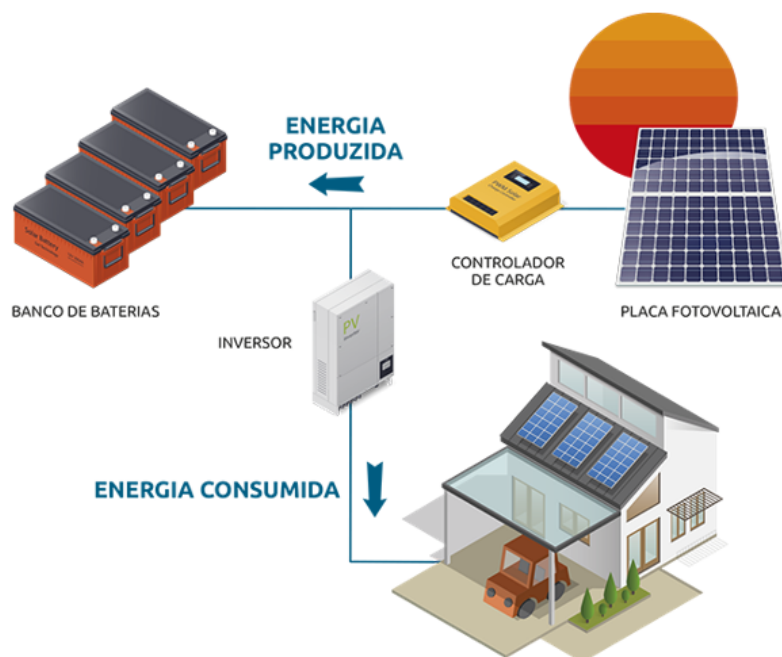


Figura 3.28: Esquema do funcionamento do Sistema Fotovoltaico *Off-Grid*. Fonte: BMCENERGIA, 2020.

3.7 SISTEMA FOTOVOLTAICO HÍBRIDO

Sistema híbrido de energia pode ser definido como a integração de diversos equipamentos de geração de energia que podem ser utilizados conectados a rede de energia ou isolados com objetivos específicos de acordo com a necessidade do consumidor (ZOBAA; ALEEM; ABD-ELAZIZ, 2018).

Como esses sistemas empregam duas ou mais fontes diferentes de energia, eles garantem um alto grau de confiabilidade em comparação a sistemas de fonte única, como um gerador a diesel independente ou um sistema fotovoltaico e eólico independente. As aplicações de sistemas de energia híbridos variam de pequenas fontes de alimentação para residências remotas, fornecendo eletricidade para iluminação e outros aparelhos elétricos essenciais, até eletrificação de vilas para comunidades remotas (DINCER; ZAMFIRESCU, 2014).

É importante salientar que os inversores utilizados para aplicações *off-grid* e que também possuam em suas funcionalidades a possibilidade de interação com a rede de distribuição, ou seja, estar conectada a mesma, ainda não podem ser utilizados com essa função. Pois, até então, não estão regulamentados pelas resoluções de procedimentos de acesso à rede e não possuem selo de certificação INMETRO, necessário para inversores aplicados em sistemas *on-grid*.

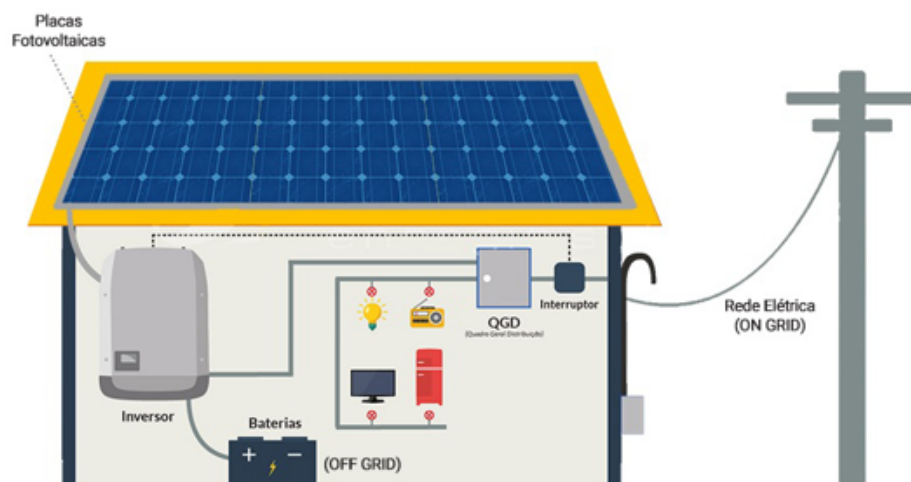


Figura 3.29: Esquema funcionamento do Sistema Fotovoltaico Híbrido. Fonte: BMCENERGIA, 2020.

3.7.1 Considerações finais

Neste capítulo foram expostos todos os conceitos essenciais para o entendimento dos principais aspectos técnicos relacionados ao tema do presente trabalho. Foram abordados as motivações, a importância deste estudo e foram apresentando como forma de contextualização dados mundiais e nacionais, além de se expor os componentes e métodos de utilização do sistema fotovoltaico.

4 FAZENDA ÁGUA LIMPA

A Fazenda Água Limpa (FAL) da Universidade de Brasília (UNB) existe há mais de 30 anos, com a missão de planejar e executar atividades relacionadas aos trabalhos de ensino, pesquisa e extensão das Unidades Acadêmicas, além de, desenvolver projetos próprios. A FAL batalha pelas causas ambientais, sempre protegendo o seu extenso território no Distrito Federal (DF) desenvolvendo trabalhos de ensino, pesquisa e extensão a nível sustentável e ainda prestar relevantes serviços à comunidade do em torno de Brasília, assim como a nível nacional e internacional, através de Projetos e Intercâmbio Técnicos/Científicos.

Em relação à sua extensão e localização, a FAL está localizada a 28 km da sede do Campus Universitário da Asa Norte e faz parte da Área de Proteção Ambiental (APA), Bacia do Gama, Cabeça de Veado. Possui uma área de aproximadamente 4.340 ha destinada a preservação (2.340 ha), a conservação (800 ha) e a produção (1.200 ha), duas Áreas Relevantes de Interesse Ecológico (ARIES) denominada Capetinga e Taquaras com uma área total de aproximadamente 2.100 ha.



Figura 4.1: LOCALIZAÇÃO FAZENDA ÁGUA LIMPA - UnB. Retirada do Google Maps.

Pertence ao Núcleo da Biosfera do Cerrado. Limita-se ao norte com o Ribeirão do Gama e o Núcleo Rural da Vargem Bonita, ao sul com a BR 251, que liga Brasília a Unaí/MG, ao leste com o Córrego Taquara e o IBGE, e ao oeste com a estrada de ferro e o Country Club de Brasília

Da área total da fazenda, 50% são destinados à preservação. Diversos cursos da UnB pos-

suem atividades na fazenda, como os de biologia, agronomia, medicina veterinária, engenharia florestal, geologia e física. Devido ao seu grande potencial técnico/científico natural são realizados estudos na área de zootecnia, fitotecnia, silvicultura, manejo florestal, irrigação, drenagem, armazenamento entre outros. A FAL tem infraestrutura com salas de aula, laboratórios, equipamentos e máquinas agrícolas, restaurante, lanchonete, alojamento, estradas em todo o perímetro e transporte diário para o campus universitário.

4.1 CONSUMO X DEMANDA - FAL

De acordo com os Procedimentos de Regulação Tarifária (PRORET/ANEEL), documento responsável por estabelecer os procedimentos gerais a serem aplicados ao processo de definição da Estrutura Tarifária para as concessionárias de serviço público de distribuição de energia elétrica, a Fazenda Água Limpa enquadra-se como uma unidade consumidora do Grupo A, modalidade tarifária horo-sazonal (THS) Verde, Subgrupo A4, com tensão de fornecimento de 13,8 kV e demanda contratada de 65 kW.

Tabela 4.1: Características técnicas do fornecimento de energia pela CEB-D. Fonte: Autoral.

FAZENDA ÁGUA LIMPA - UnB	
Identificação UC	466793-X
Classificação	P.PUBLICO
Ligação	VERDE
Tarifa	THS-A4
Nº do Medidor	1160120
Tensão de Fornecimento [V]	13800

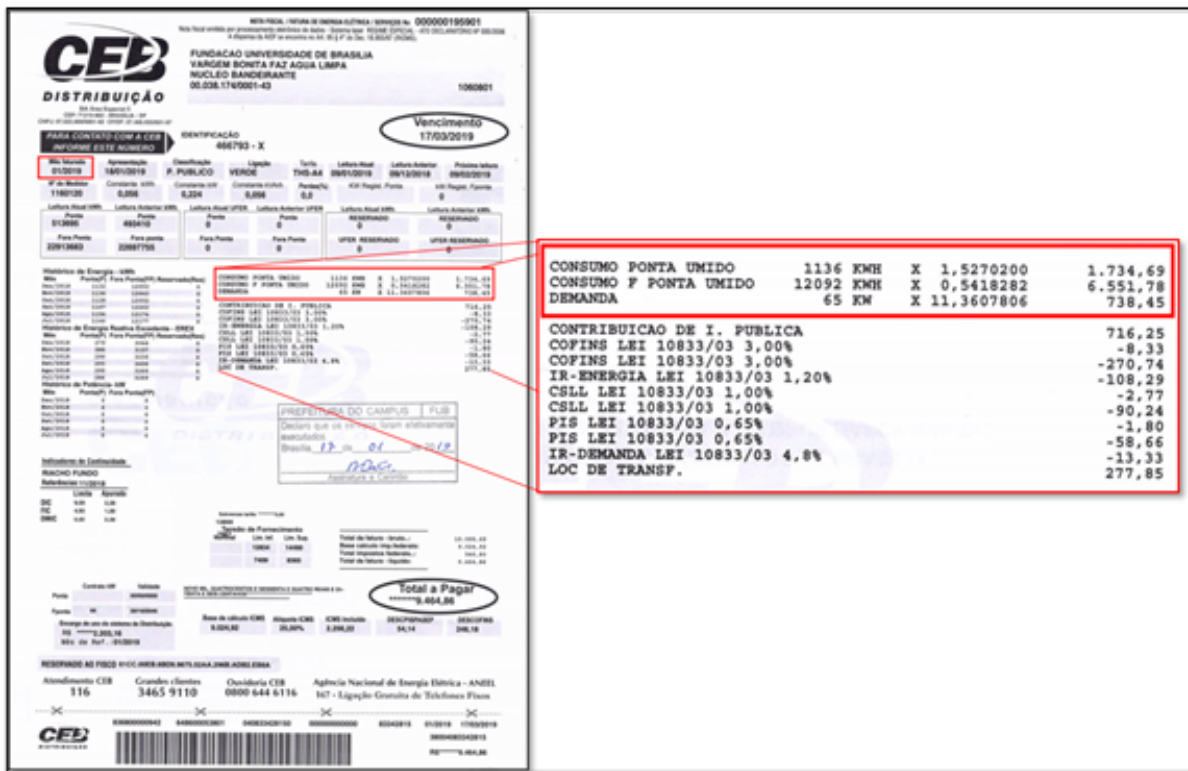


Figura 4.2: Conta de energia FAL/UnB. Fonte: Autoral

Por determinação do PRORET, aplicam-se horários de ponta e horários fora de ponta para as modalidades tarifárias do Grupo A, ou seja, os consumidores que possuem tensão de fornecimento superior à 2,3 kV.

Segundo a ANEEL, horário de ponta corresponde a um período definido pela distribuidora e aprovado pela Agência para toda sua concessão considerando a curva de carga de seu sistema elétrico composto por 3 (três) horas diárias consecutivas aplicadas em dias úteis. Já o horário fora de ponta corresponde às horas complementares ao horário de ponta.

Analisando a tabela 4.2 verifica-se que o consumo médio mensal de energia elétrica da UC é de 1136,92 kWh no horário de ponta e de 12092,33 kWh no horário fora de ponta totalizando um consumo médio mensal de 13247,24 kWh um consumo médio anual de 158966,86 kWh.

Tabela 4.2: DADOS DE CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA MENSAL FAL - UnB, FONTE: AUTORAL.

HISTÓRICOS DE CONTAS DE ENERGIA DA FAZENDA ÁGUA LIMPA						
Mês Faturado	Consumo Ponta (kWh)	Consumo F Ponta (kWh)	Demanda (kW)	Ultrapassagem de Demanda (kW)	Erex Ponta (UFER)	Erex F Ponta (UFER)
jan/18	1091	11724	65	0	269	2509
fev/18	1116	11879	65	0	259	2718
mar/18	1126	12047	65	0	261	2945
abr/18	1140	12198	65	0	274	3190
mai/18	1149	12277	65	0	283	3276
jun/18	1158	12222	65	0	285	3259
jul/18	1146	12177	65	0	286	3269
ago/18	1154	12174	65	0	290	3260
set/18	1167	12262	65	0	293	3406
out/18	1128	12052	65	0	290	3230
nov/18	1136	12043	65	0	286	3157
dez/18	1132	12053	65	0	279	3044
jan/19	1136	12092	65	0	0	0
fev/19	1140	12123	65	0	0	0
mar/19	1142	12143	65	0	0	0
abr/19	1144	12151	65	0	0	0
mai/19	1144	12147	65	0	0	0
jun/19	1143	12136	65	0	167	1885
jul/19	1142	12129	65	0	0	0
ago/19	1142	12125	65	0	0	0
set/19	1141	12121	65	0	0	0
MÉDIA MENSAL	1138,90	12108,33	65,00	0,00	167,71	1864,19
TOTAL ANUAL	23917,00	254275,00	1365,00	0,00	3522,00	39148,00

Sabe-se que demanda é a média das potências elétricas ativas ou reativas, solicitadas ao sistema elétrico pela parcela da carga instalada em operação na unidade consumidora, durante um intervalo de tempo especificado. Além disso, a demanda contratada é a demanda de potência ativa a ser obrigatória e continuamente disponibilizada pela concessionária, no ponto de entrega, conforme valor e período de vigência fixados no contrato de fornecimento e que deverá ser integralmente paga, seja ou não utilizada durante o período de faturamento, expressa em quilowatts (kW) segundo expresso na resolução normativa 414 de 2010 da ANEEL.

Observa-se pela tabela que a demanda da FAL se manteve constante durante os meses não havendo ultrapassagens na fatura contratada.

A energia reativa apresenta grande importância para o funcionamento do sistema elétrico de potência (SEP), por permitir o funcionamento de motores indutivos por meio da indução de fluxos magnéticos na rede. Todavia, em demasiada presença pode causar prejuízos ao sistema, apresentando problemas como a redução do fator de potência (FP), aumento da queda de tensão, aumento do efeito joule nos condutores o que gera maiores gastos com superdimensionamento dos mesmos. Desta forma, a REN 414/2010 estabelece que consumidores do grupo A são taxados ao identificar-se um fator de potência (FP) menor que 0,92.

Observa-se que na conta de energia elétrica da FAL há taxação de Energia Reativa Excedente médio mensal no horário de ponta (UFER de ponta) de 167,71 kVAh e de 1864,19 kVAh, no

horário fora de ponta (UFER fora ponta), totalizando um EREX médio mensal total é de 2031,90 kVAh e, assim, totalizando 24382,88 kVAh anual.

4.1.1 Estudo de Caso

O presente estudo de caso tem como objetivo projetar e dimensionar um sistema fotovoltaico *off-grid* e um sistema fotovoltaico *on-grid* a fim de satisfazer as necessidades de energia elétrica da instalação do Centro de Capacitação em Bovinocultura de Leite – CCBL na Fazenda Água Limpa - UnB (FAL/UNB) que compreende as instalações de sala de ordenha, currais de espera, currais de manejo, mini fábrica de rações, galpão de armazenamento de insumos, produtos de higiene, limpeza e medicamento, armazenamento de leite e escritório.

A FAL tem uma grande preocupação com o meio ambiente e a sua conservação, com aproximadamente 50% do seu território destinado a conservação, além de um grande potencial técnico e científico, devido ao seu vínculo com a Universidade de Brasília, sempre apoiando a inovação. O investimento em tecnologias inovadoras, sustentáveis e econômicas em suas instalações, torna-se uma grande oportunidade para o desenvolvimento da mesma.

Uma importante instalação da FAL é o CCBL, popularmente chamada de Leiteira. Lá realiza-se a ordenha diária das vacas leiteiras da raça Girolles, que produzem em média cerca de 700 litros diários de leite. Esse insumo é comercializado com empresas de laticínios e também usado internamente pelos colaboradores e funcionários. Nessa instalação também é desempenhada a produção da ração dos animais da fazenda, os bovinos, equinos e ovinos, sendo assim, um local de alto consumo de energia elétrica.



Figura 4.3: Vista superior do galpão de ordenha - FAL. Proveniente do Google Earth

O alto consumo de energia elétrica em zonas rurais ou mais afastadas pode causar instabilidade no fornecimento da rede. Dessa forma, é importante que certas instalações como o CCBL, tenham um fornecimento ininterrupto de energia, tendo em vista que o seu desligamento pode causar danos à produção e qualidade dos produtos vendidos e consumidos pela FAL. Nesse sentido, a utilização da energia fotovoltaica surge como uma solução de forma a assegurar au-

tonomia das cargas críticas da instalação, no caso de falta ou instabilidade no fornecimento da rede, conjuntamente a oportunidade de adesão de uma tecnologia inovadora, limpa e sustentável para abater o seu consumo de energia elétrica.



Figura 4.4: Barracão de ordenha. fonte: Autoral



Figura 4.5: Máquina de ordenha DeLaval, fonte: Autoral

O território da FAL localizado em Brasília, tem características climáticas que facilitam a aplicação da tecnologia solar fotovoltaica e permitem boas condições para um alto rendimento de energia, tendo em vista sua radiação que varia de 4,25 a 6,5 kWh/m². De acordo com WWF-Brasil, Brasília tem um potencial de radiação médio anual de aproximadamente 5,8 kWh/m².

4.1.2 Considerações finais

Neste capítulo foi realizado a caracterização do estudo de caso, apresentando as características do fornecimento de energia elétrica da FAL, o seu consumo e sua demanda de energia elétrica, a instalação do CCBL e dados climáticos do local.

5 Materiais e Métodos

Neste capítulo é apresentada a metodologia de análise técnica para a implantação do sistema fotovoltaico no CCBL na Fazenda Água Limpa - UnB. Avalia-se o sistema de resfriamento e armazenamento de leite existente no galpão e propõe-se uma melhoria para assegurar a disponibilidade de energia elétrica à instalação. Além disso, avalia-se o recurso solar e dados meteorológicos do local de modo a estimar a curva de carga do sistema, especificar os parâmetros adotados para o dimensionamento do SFV incluindo o cabeamento e as proteções.

5.1 MÉTODO

A metodologia adotada no presente trabalho baseia-se em na análise técnica do projeto, a qual fundamenta-se nas diretrizes de dimensionamento do Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos (PINHO, GALDINO, 2014) publicado pelo Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito (CRESESB) em 2014, no qual apresentam-se procedimentos para dimensionar o SFVR (Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede), o SFI (Sistema Fotovoltaico Isolado) e estabelecendo valores padrões de dimensionamento de acordo com características geoclimáticas do Brasil e as tecnologias disponíveis em mercado.

5.1.1 Análise técnica

Esta seção visa apresentar o estudo técnico realizado para o projeto do sistema.

5.1.1.1 Dimensionamento do SFV

Nesse tópico será detalhado dados técnicos para escolha dos componentes que compõem cada tipo de sistema fotovoltaico, seguindo a técnica de dimensionamento do CRESESB individualmente e em seguida apresenta-se dados de simulação computacional através do *software* PVsyst.

Levantamento da demanda e do consumo de energia elétrica

A construção da curva de carga é necessária para o estudo da demanda que deverá ser aten-

didada pela inserção do SFV (Sistema Fotovoltaico). Nesse sentido, deve-se conhecer o consumo horário dos equipamentos que compõem a instalação, assim como sua potência nominal, observando o seu tempo diário de operação e os padrões do funcionamento das atividades no local.

Após o levantamento das cargas e a verificação da rotina das atividades da instalação, deve-se multiplicar o valor das potências ativas (W) de cada equipamento pelo o tempo de funcionamento diário (h/dia) e quantidades de dias no mês (dias/mês) em que estava operando. Desta maneira, o consumo médio mensal do local se dá pelo somatório dos valores de energia consumida média mensal (C_m) por cada equipamento. A equação 5.1 representa o cálculo de C_m .

$$C_m = \frac{P_e \cdot N_d \cdot D_m}{1000} \quad (5.1)$$

Na qual:

- C_m (kWh/mês) - consumo médio mensal;
- P_e (W) - Potência do equipamento;
- N_d (h/dia) - Número médio de horas de uso diárias;
- D_m (dia/mês) - Número de dias de utilização do equipamento por mês.

Os equipamentos que não consomem energia elétrica continuamente, como por exemplo, os compressores dos refrigeradores, serão considerados como permanecendo ligados apenas durante 50% a 60% do tempo para fins de cálculo de consumo.

A Tabela 5.1 apresenta uma forma de se dispor os dados de consumo médio mensal. Nela, o índice "x" representa o símbolo de multiplicação.

Tabela 5.1: Exemplo de cálculo de consumo diário de energia. Fonte: Autoral

CARGA	Potência (W)	Funcionamento			Consumo Mensal (kWh)
		Horas/dia	Dia/mês		
Equipamento 1	15	3	16	x30	24
Equipamento 2	60	2	8	x30	32
Equipamento 2	100	1,5	28	x30	140
Potência Total (W)	175				196

SFI

O SFI é dimensionado tendo como referência o chamado mês crítico. O Método do Mês Crítico é aquele no qual utilizam-se dos dados no período em que ocorrem condições médias mais desfavoráveis para a geração de energia, ou seja, em que ocorre a menor irradiação na região, garantindo que se houver total aproveitamento do sistema nesse período, ocorrerá um aproveitamento completo durante todo o ano.

Para determinar a potência de pico do painel fotovoltaico que atende a demanda da instalação temos a equação 5.2:

$$P_m = \max_{i=1}^{12} \left(\frac{L_i}{HSP_i \cdot Red_1 \cdot Red_2} \right) \quad (5.2)$$

Na qual:

- P_m (Wp) - potência do painel fotovoltaico;
- L_i (Wh/dia) - Consumo diário de energia;
- HSP_i (h/dia) - Horas de sol pleno do painel no mês i ;
- Red_1 (%) - Taxa de dimensionamento do sistema fotovoltaico contabilizando as perdas provenientes do acúmulo de sujeira nos módulos, *mismatching*, degradação física ao longo do tempo e perdas pela temperatura. Seu valor indicado é de 75%;
- Red_2 (%) - Fator de dimensionamento que engloba as perdas provenientes da eficiência dos equipamentos, perdas nos cabos e outros. Assumindo um valor médio de 90%.

Uma vez que o projeto do SFI tem o intuito de assegurar o fornecimento de energia para cargas de alimentação c.a, calcula-se a quantidade de energia consumida (L) diariamente no mês utilizando a equação 5.3.

$$L = \frac{L_{ca}}{\eta_{bat} \cdot \eta_{inv}} \quad (5.3)$$

Na qual:

- L_{ca} (Wh/dia) - consumo de energia em corrente alternada no mês analisado;
- η_{bat} (%) - eficiência global da bateria;
- η_{inv} (%) - Eficiência do inversor;

Após escolhido o módulo fotovoltaico que será utilizado no projeto, define-se o arranjo FV que será combinado ao controlador de carga (MPPT). Sugere-se a escolha de componentes do SFV baseando-se na eficiência do equipamento, a credibilidade do fabricante e a disponibilidade no mercado nacional. Porém, para essa aplicação, não se faz necessário adquirir equipamentos com certificado INMETRO.

Observa-se a necessidade de se respeitar a máxima tensão de operação do controlador de carga a fim de se dimensionar a quantidade de módulos máximo em série calculada pela equação a seguir.

$$N_{modulosemserie} \leq \frac{V_{iSPPMmax}}{V_{ocTmin}} \quad (5.4)$$

Na qual

- $V_{iSPPMmax}$ (V) - é a máxima tensão de operação do MPPT do controlador de carga;
- V_{ocTmin} (V) - é a tensão de circuito aberto do módulo fotovoltaico em sua temperatura de operação mínima;

Complementarmente, para o cálculo do número de strings em paralelo, considera-se a potência total do gerador (P_m) e a potência de cada série de string, conforme a equação a seguir:

$$N_{modulosemparalelo} = \frac{P_m}{N_{modulosemserie} \cdot P_{mod}} \quad (5.5)$$

Na qual

- P_{mod} (Wp) - é a potência nominal do módulo fotovoltaico.

Como forma de garantir que o controlador de carga não se danifique realiza-se o cálculo do número de strings em paralelo, avaliando a corrente máxima tolerada pelo controlador ($I_{sppmmax}$) e considerando a corrente de curto-circuito do painel (I_{sc}) acrescida de um fator de 25%. O valor do n° de strings em paralelo é obtido pela equação a seguir:

$$N_{stringsemparalelo} \leq \frac{I_{SPPMmax}}{1,25 \cdot I_{sc}} \quad (5.6)$$

A bateria possui grande importância de assegurar o fornecimento de energia durante o tempo determinado de autonomia, garantindo fornecimento mesmo durante períodos de pouca incidência solar. Por esse motivo deve ser dimensionada corretamente, uma vez que possui custos elevados e, dependendo do seu tipo e forma de uso, possui uma vida útil reduzida, pode-se determinar a viabilidade econômica do sistema a ser implantado.

Para se determinar a capacidade que um banco de baterias deve ter, usamos as seguintes equações:

$$CB_{c20} = \frac{L_m \cdot N}{P_d} \quad (5.7)$$

$$CBI_{c20} = \frac{CB_{c20}}{V_{sist}} \quad (5.8)$$

Nas quais:

- L_m - é a energia média diária consumida no mês crítico;
- CB_{c20} (Wh) - corresponde a capacidade do banco de bateria para o regime de descarga em 20 horas;

- CBI_{c20} (Ah) - é a capacidade do banco em Ah;
- V_{sist} (V) - é a tensão do sistema;
- P_d (%) - é a máxima profundidade de descarga da bateria;

Uma vez calculada a capacidade do sistema de armazenamento, a determinação do número de baterias em paralelo é realizada pela equação 5.9:

$$N^{\circ}bateriasparalelo = \frac{CBI}{CBI_{bat}} \quad (5.9)$$

Sendo:

- CBI_{bat} (Ah) - é a capacidade da bateria selecionada, no mesmo regime de descarga calculado para CBI.

A tensão do banco é dada pela soma das tensões das baterias em série.

SFCR

A potência de um micro gerador que compõe um SFCR pode ser calculada pela Equação a seguir, na qual observa-se que é possível escolher uma fração da demanda de energia elétrica consumida que se pretende suprir com o SFCR.

$$P_{fv} = \frac{E}{TD.HSP_{ma}} \quad (5.10)$$

Na qual:

- P_{fv} - é a potência de pico do sistema fotovoltaico;
- E (Wh/dia) - é o consumo diário médio de energia anual da edificação ou da carga a ser abastecida;
- HSP_{ma} (h) - é a média diária anual das HSP incidente no plano do painel;
- TD (adimensional) - taxa de desempenho.

A eficiência de um SFV é medida através da Taxa de Desempenho (TD), que é definida pela relação entre a potência real entregue pela planta comparada ao máximo desempenho teórico possível, avaliando-o sob condições de operação. As perdas envolvidas, como perdas por queda de tensão, devido à resistência de conectores e cabeamento, sujeira na superfície do painel, sombreamento, eficiência do inversor, carregamento do inversor, descasamento (*mismatch*)

entre módulos de mesmo modelo (diferenças entre as suas potências máximas), resposta espectral, temperatura operacional, dentre outras reduzem o desempenho do sistema (PINHO; GALDINO, 2014).

Após se dimensionar a potência da central geradora fotovoltaica P_{fv} , pode-se dimensionar o inversor. Como já exposto no presente trabalho, sabe-se que a potência dos módulos FV perde eficiência com o aumento da temperatura (devido ao coeficiente negativo) e constata-se, por séries de fatores, que mesmo em situações nas quais a irradiância do local se aproxima da condição de teste (1.000 W/m^2) os módulos não desempenham a sua potência nominal. Por esse e por motivos econômicos, é comum se utilizar inversores que tenham potência nominal c.a inferior a potência de pico do arranjo dos módulos, onde mesmo que esses produzam sua potência nominal, a tecnologia de rastreamento de ponto máximo de potência (MPPT) do inversor limita a sua potência de entrada, não se utilizando da potência que sobra.

O Fator de Dimensionamento de Inversores (FDI) exprime a relação entre a potência nominal c.a. do inversor comparada a potência de pico (W_p) do painel.

$$FDI = \frac{P_{nca}}{P_{fv}} \quad (5.11)$$

Na qual:

- FDI - fator de dimensionamento do inversor;
- P_{nca} (W) - Potência nominal em corrente alternada do inversor.

Recomenda-se que o valor de FDI se situe na faixa de 0,75 a 0,85, enquanto o seu valor máximo é de 1,05. O FDI indica a relação custo/benefício do inversor utilizado.

É preciso calcular as tensões de operação do sistema para que seja determinado o cálculo da quantidade de módulos por strings. A tensão de operação se dá pelo somatório das tensões individuais dos módulos em uma string. Pelo fato da tensão dos módulos FV variarem de acordo com a temperatura, faz-se necessário calcular o efeito da temperatura na variação de tensão, uma vez que se deve atender à faixa de tensão MPPT do inversor.

$$V_{mp}(T) = V_{MPstc}(1 + \gamma(T - 25)) \quad (5.12)$$

$$V_{ca}(T) = V_{castc}(1 + \beta(T - 25)) \quad (5.13)$$

Nas quais:

- β ($\%/^{\circ}C$) - é o coeficiente de temperatura de tensão de circuito aberto;
- γ ($\%/^{\circ}C$) - é o coeficiente de temperatura de máxima potência;

- V_{MPstc} (V) - é a tensão de máxima potência na condição de teste;
- V_{castc} (V) - é a tensão de circuito aberto na condição de teste;
- T ($^{\circ}C$) - é a temperatura do módulo.

A equação 5.4, assim, podemos arranjar:

$$\frac{V_{iSPPMmin}}{V_{mpTmax}} < N_{modulosemserie} < \frac{V_{iSPPMmax}}{V_{mpTmin}} \quad (5.14)$$

Sendo:

- $V_{iSPPMmin}$ (V) - é a mínima tensão cc de operação do inversor;
- V_{mpTmax} (V) - é a tensão de máxima potência do painel;
- $V_{iSPPMmax}$ (V) - é a máxima tensão cc de operação do inversor;
- V_{mpTmin} (V) - é a tensão mínima do ponto de máxima potência do módulo fotovoltaico.

Assim, para determinar a máxima quantidade de módulos em série por string temos:

$$N_{modulosemserie} < \frac{V_{iSPPMmax}}{V_{ocTmin}} \quad (5.15)$$

O inversor possui também uma corrente de entrada c.c máxima. A equação a seguir calcula o número máximo de fileiras em série, conectadas em paralelo.

$$N_{mdulosemparalelo} < \frac{I_{invmax}}{I_{sc}} \quad (5.16)$$

5.1.1.2 Memorial de cálculo e descritivo

Neste capítulo apresentam-se os dimensionamentos realizados tendo como embasamento a metodologia estudada, seguindo sempre as normas vigentes a fim de garantir a segurança dos indivíduos e das instalações elétricas. Nesse sentido, os dimensionamentos realizados seguem as indicações citadas nas normas brasileiras, resoluções da ANEEL e normas da concessionária local:

- ABNT NBR 5410:2005 - Instalações elétricas de baixa tensão;
- ABNT NBR 5419:2015 - Proteção contra descargas atmosféricas;
- ABNT NBR 16690:2019 – Instalações elétricas de arranjos fotovoltaicos;

- ABNT NBR 16274:2014 – Sistemas fotovoltaicos conectados à rede - Requisitos mínimos para documentação, ensaios de comissionamento, inspeção e avaliação de desempenho;
- REN 687:2015 – Resolução Normativa da ANEEL;
- NTD 6.09 – Norma Técnica de Distribuição – CEB.

Levantamento do consumo de energia do Centro de Capacitação em Bovinocultura de Leite, Fazenda Água Limpa - UnB

O estudo do consumo de energia elétrica do CCBL da FAL foi realizado durante o período inicial do presente trabalho de conclusão de curso que corresponde aos meses de setembro e outubro de 2020.

Levantou-se, in loco, toda a carga instalada e o consumo de energia elétrica. Durante esse período foram listados os equipamentos elétricos e eletromecânicos, analisando seus dados de placa, o tempo de funcionamento diário bem como o horário em que eram utilizados, permitindo, dessa forma, a realização do cálculo de consumo médio mensal da instalação, utilizando a Equação 5.1.

Tabela 5.2: Levantamento da carga instalada e cálculo do consumo de energia média mensal. Fonte: Autoral.

LEVANTAMENTO DA CARGA INSTALADA NO GALPÃO								
DESCRIÇÃO	Origem	Registro	Potência (W)	Quantidade	Potência Total (W)	Funcionamento		Consumo (kWh)
						Horas/dia	Dia/mês	
Condensadora Leiteira - DeLaval dxoc			5200	1	5200	2,5	30	390
Motor Agitador			145	1	145	5,2	20	15,08
Freezer Metalfrio modelo DA420	FUB	243506	350	1	350	24	30	252
Geladeira Consul Contest 28			120	1	120	24	30	86,4
Micro-ondas			1300	1	1300	1,5	22	42,9
Motor Ordenha			550	1	550	5	30	82,5
Bomba Recalque de Água (Limpeza estrutura)			1500	1	1500	1,5	30	67,5
Bomba Vácuo (Limpeza Sistema)			3700	1	3700	1	30	111
Motor Ração 1			2200	1	2200	3,5	4	30,8
Motor Ração 2			9200	1	9200	3,5	4	128,8
Motor Ração 3			3500	1	3500	3,5	4	49
Bebedouro IBBL BAG40			174	1	174	24	30	125,28
Chuveiro Elétrico			4600	2	9200	1,5	22	303,6
Lâmpadas Tubulares Fluorescentes sala			20	2	40	10	25	10
Lâmpadas Tubulares Fluorescentes cozinha			20	2	40	4	22	3,52
Lâmpadas Tubulares Fluorescentes armários			20	2	40	8	22	7,04
Lâmpadas LED			12	14	168	7	25	29,4
Carga Instalada (W)					37427	CONSUMO TOTAL MENSAL (kWh)		1734,82

A Tabela 5.2 mostra o levantamento de carga. Observa-se que as horas de funcionamento dos maquinários listados podem divergir da realidade, uma vez que se torna inviável o monito-

ramento extensivo preciso. Desta maneira, utilizou-se um medidor trifásico de energia elétrica que foi instalado no quadro geral de baixa tensão- QGBT da instalação, possibilitando assim a aquisição de dados precisos de consumo de energia elétrica e a demanda do galpão. A figura 5.1 ilustra a forma que o aparelho foi instalado. Obteve-se dados de monitorados durante sete dias, período considerado suficiente para se projetar o consumo mensal, uma vez que as atividades desenvolvidas no local se repetem diariamente, não havendo grandes alterações na rotina.



Figura 5.1: Medidor de energia elétrica instalado. Fonte: autoral

No decorrer do período de análise, foram realizadas visitas para verificação do bom funcionamento do aparelho, assegurando a correta aquisição de dados. A Tabela 5.3 mostra os dias e horários dessas visitas, contendo o consumo de energia elétrica acumulado.

Tabela 5.3: Dados de consumo de energia elétrica adquiridos. Fonte: Autoral

MEDIÇÃO		
DIA	HORA AQUISIÇÃO	ENERGIA CONSUMIDA ACUMULADA (kWh)
28-set	16:17	0
30-set	13:57	133,77
2-out	15:34	254
5-out	14:36	413
CONSUMO TOTAL SEMANAL (kWh) :		413



Figura 5.2: Consumo medido final. Fonte: Autoral

Constatou-se que o consumo semanal do CCBL foi de 413 kWh, ou seja, houve uma média diária de consumo de 59 kWh. A partir do consumo diário médio, projeta-se o consumo médio mensal e anual, obtendo-se os valores expressos na Tabela 5.4.

Tabela 5.4: Projeção consumo médio mensal e diário de energia elétrica. Fonte: Autoral

PROJEÇÃO DE CONSUMO MÉDIO (kWh)	
CONSUMO MÉDIO DIÁRIO (kWh):	59
CONSUMO MÉDIO MENSAL (kWh):	1770
CONSUMO MÉDIO ANUAL (kWh):	21240

Avaliando o tempo de uso diário dos equipamentos e suas potências nominais, foi possível gerar a curva de carga do local. A Figura 5.3 mostra o comportamento do Galpão, verificando assim a demanda máxima.

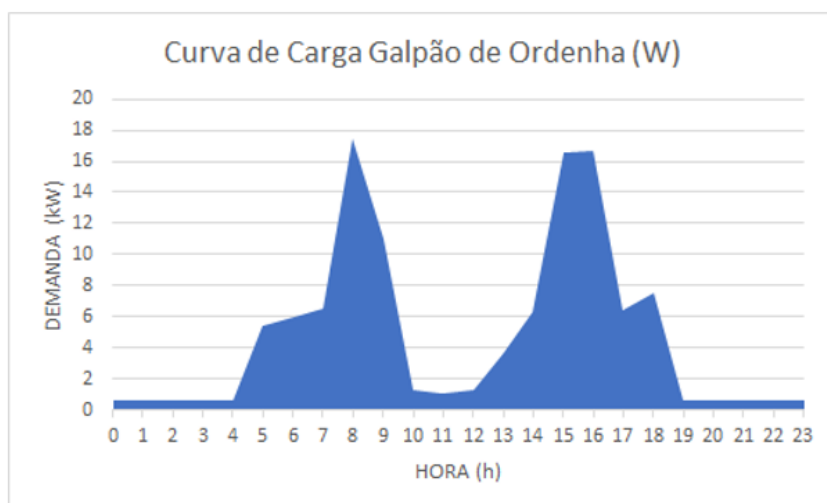


Figura 5.3: Curva de Carga Galpão. Fonte Autoral

Constata-se que os horários de 6:30h às 9 h e de 15h às 17h são os horários de maior demanda de energia diária, justificados por serem os horários em que as ordenhas são feitas. Levanta-se, então, que o equipamento responsável pela refrigeração e armazenamento do leite é a carga crítica da instalação, não podendo deixar de ser fornecida energia para que mantenha os níveis de qualidade do leite exigidos pelos seus compradores e para abastecimento interno das outras instalações da Fazenda Água Limpa.



Figura 5.4: Equipamento de refrigeração e armazenamento de leite. Fonte: Autoral.

O equipamento de refrigeração e armazenamento de leite DeLaval DXOC, tem uma capacidade de armazenamento de 1950L. Possui controle de temperatura, sendo programado para que o leite seja refrigerado a uma temperatura mínima de 3,5° e máxima de 4,5°, sua condensadora Copeland CR53KQ-TFD de 5,2kW é acionada quando o leite não se encontra nessa faixa. Quando cheio, um motor agitador de 145 W é acionado de 12 em 12 minutos garantindo a homogeneização do leite.

Em conversas com os servidores do local, levanta-se que também é interessante assegurar o fornecimento de energia ao freezer Metalfrio - DA420, de 350 W, a fim de não haver perdas dos alimentos congelados em caso de falta de energia prolongada. Deste modo, com base na Tabela 5.5 temos a demanda máxima e a energia diária requerida e que deve ser gerada por nosso SFI.

Tabela 5.5: Demanda máxima e Energia diária requerida c.a (L_{ca}). Fonte: Autoral

EQUIPAMENTO	Demanda Maxima (kW)	Energia Diária Requerida(kWh/dia)
Condensadora Leiteira - DeLaval dxoc	5,2	390
Motor Agitador	0,145	15,08
Freezer Metalfrio modelo DA420	0,35	252
TOTAL	5,695	21,90

O SFV será instalado no telhado de fibrocimento do CCBL, que possui $479,77 m^2$ de área disponível. O local de implantação do sistema é localizado pelas coordenadas geográficas $-15.5633, -47.5555$ como é possível verificar na figura a seguir.

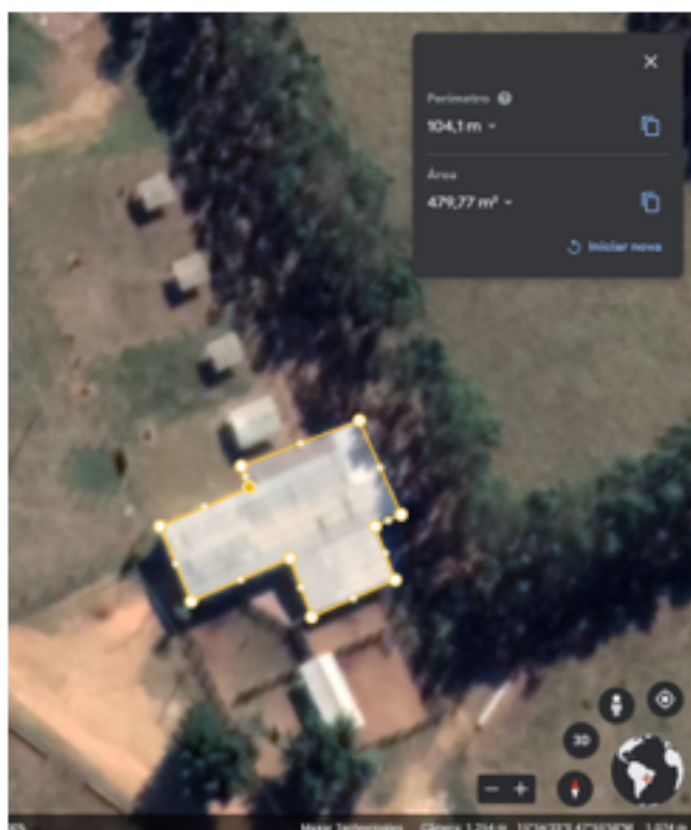


Figura 5.5: Área disponível para alocação dos módulos e localização geográfica. Fonte Google Earth.

A Figura 5.6 mostra a irradiação solar diária média mensal ($kWh/m^2 \cdot dia$) em Brasília.

Latitude: 15,943123° S
Longitude: 47,932° O

#	Estação	Município	UF	País	Irradiação solar diária média [kWh/m ² .dia]												Média	Delta				
					Latitude [°]	Longitude [°]	Distância [km]	Jan	Feb	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set			Out	Nov	Dez	
✓	Brasília	Brasília	DF	BRASIL	15,9° S	47,949° O		5,1	5,39	5,66	5,03	5,01	4,78	4,74	5,02	5,92	5,73	5,56	5,07	5,38	5,28	1,17
✓	Brasília	Brasília	DF	BRASIL	16° S	47,949° O		6,6	5,35	5,63	5,00	4,97	4,78	4,74	5,03	5,89	5,67	5,43	4,99	5,33	5,23	1,15
✓	Brasília	Brasília	DF	BRASIL	15,9° S	47,849° O		10,1	5,45	5,67	5,04	5,05	4,82	4,80	5,04	5,94	5,75	5,56	5,10	5,44	5,30	1,15

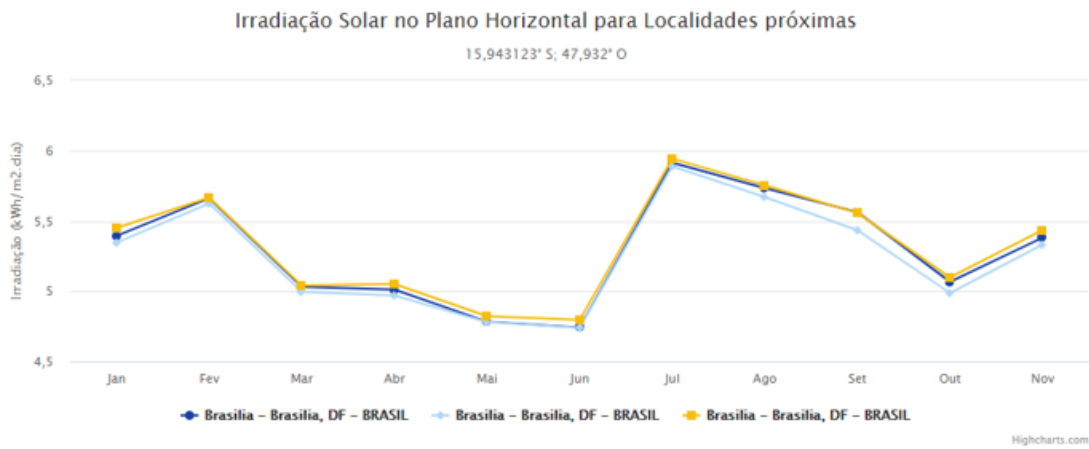


Figura 5.6: Irradiação solar diária média mensal no plano horizontal (kWh/m².dia) em Brasília. fonte: CRESESB

É possível verificar que o mês de junho possui irradiação solar diária média mensal de 4,74 kWh/m².dia, sendo a menor irradiação no plano horizontal em Brasília.

Para calcular a potência do painel fotovoltaico (P_m), deve-se calcular a energia ativa necessária diária com base na equação 5.3. Utiliza-se valores comuns encontrados em dispositivos comerciais para a eficiência do inversor e das baterias sendo 0,93 e 0,95, respectivamente.

$$L = \frac{21900}{0,93 \cdot 0,95} = 24787,78Wh \quad (5.17)$$

Considera-se os fatores de redução de potência dos módulos (Red_1) e dos demais componentes do sistema (Red_2) para o cálculo de P_m . Esses valores são 0,75 e 0,9, obtendo o seu valor através da equação 5.2:

$$P_m = \frac{24787,78}{4,74 \cdot 0,75 \cdot 0,9} = 7747,4Wp \quad (5.18)$$

Observa-se que as potências dos módulos FV decaem 0,732% ao ano (20% após 25 anos), deste modo aplica-se um fator corretivo de 1,157 garantindo que o SFI irá atender a demanda até o final de sua vida econômica (20 anos para o presente estudo).

$$P_m = 7747,4 \cdot 1,157 = 8963,73Wp \quad (5.19)$$

Os módulos considerados no projeto são da empresa chinesa Jinko Solar, modelo JKM395M-72H. Suas principais características técnicas que servem como referência para os cálculos estão na Tabela abaixo.

Tabela 5.6: Características técnicas do módulo fotovoltaico, fonte: Jinko Solar, 2020

JKM395M-72H	
Potência Nominal	395 Wp
Eficiência STC	19,63%
Corrente de curto circuito (Isc)	10,23 A
Tensão de circuito aberto (Vca)	49,5 V
Corrente de máxima potência (Imp)	9,55 A
Tensão de máxima potência (Vmp)	41,4 V
Coefficiente de temperatura Vca	-0,29% $^{\circ}$ C
Coefficiente de temperatura Isc	0,048% $^{\circ}$ C
Coefficiente de temperatura Pmáx	-0,35% $^{\circ}$ C
Largura	1002 mm
Comprimento	2008 mm
Peso	22,5 kg

As tensões de operação do sistema são obtidas através do clima local, assim, considera-se temperatura mínima de 0 $^{\circ}$ C e máxima de 60 $^{\circ}$ C, que são justificadas pelas condições climáticas de Brasília e são apresentadas na tabela 5.7

Tabela 5.7: Tensões de operação do sistema. Fonte: Autoral

CONDIÇÃO PADRÃO DE TESTE (STC)			
Irradiância 1000W/m ²	Temperatura 25 $^{\circ}$ C		AM 1.5
TENSÕES DE OPERAÇÃO DO SISTEMA			
Temperaturas	Mínima 0 $^{\circ}$ C	STC 25 $^{\circ}$ C	Máxima 60 $^{\circ}$ C
Tensão de máxima potencia (Vmp)	45,0225 V	41,4000 V	36,3285 V
Tensão de circuito aberto (Vca)	53,0888 V	49,5000 V	44,4758 V

O controlador de carga considerado no projeto do SFI é do fabricante holandês Victron Energy. Os dados nominais do equipamento se encontram na Tabela abaixo.

Tabela 5.8: características técnicas do controlador de carga, fonte: Victron Energy, 2020a

Dado	Valor	Dado	Valor
Fabricante	Victron Energy	Modelo	MPPT 250 85
Faixa de potência do MPPT (V)	0 - 250	Corrente de carga max. (A)	85
Número de MPPT	2	Isc max do painel (A)	70
Potência nominal 24V (W)	2400	Potência nominal 48V (W)	4900
Consumo próprio (mA)	20	Eficiência Máxima (%)	99
Temperatura de operação ($^{\circ}$ C)	30 (-) a 60 (+)	Categoria de Proteção	IP43 e IP22

Após realizados os cálculos das tensões de operação do sistema calcula-se a quantidade de módulos em série e, posteriormente, o número de strings em paralelo atendendo às condições

de operação do controlador de carga.

$$N_{\text{modulosemserie}} \leq \frac{250}{53,088} \quad (5.20)$$

$$N_{\text{modulosemserie}} \leq 4,7 \quad (5.21)$$

$$N_{\text{modulosemparalelo}} \leq \frac{70}{1,25 \cdot 10,23} \quad (5.22)$$

$$N_{\text{modulosemparalelo}} \leq 5,47 \quad (5.23)$$

Desta maneira se faz possível definir o arranjo FV que será adotado. Para satisfazer P_m (8963,73 Wp) são necessários, aproximadamente, 23 módulos de 395 Wp. Como cada controlador possui dois MPPT em paralelo, escolhe-se adotar um arranjo para cada MPPT com 3 módulos em série. Desta forma, utilizando 4 controladores, completa-se 24 módulos, respeitando os limites de operação de cada controlador de carga (2400 W) e a nova potência do painel será de 9480 Wp.

O banco de baterias fornecerá energia suficiente para o atendimento das cargas críticas. Para o seu dimensionamento, optou-se por utilizar uma bateria do tipo OPzS, do fabricante nacional Fulguris, modelo 200PzS-2500, que apresenta grande confiabilidade, robustez e é livre de manutenção. Consideradas baterias de ciclo profundo, podem trabalhar com profundidades de descarga de até 80%, sendo as mais utilizadas para *backup* de sistemas de energia. A tabela 5.9 apresenta os dados técnicos da bateria.

Tabela 5.9: Características técnicas da bateria. Fonte: Fulguris.

Dado	Valor	Dado	Valor
Fabricante	Fulguris	Modelo	200PzS-2500
Tensão nominal [V]	2	Capacidade CBc20	2750
Dimensões [mm]	214 x 399 x 793	Peso [Kg]	171
Tipo	OPzS	Vida útil com Pd 20%	12

Considerando os valores calculados anteriormente de L e uma autonomia de 2 dias, além de, $P_d = 0,8$, calcula-se a partir das equações 5.7 e 5.8, a capacidade do banco de baterias para o regime de descarga de 20h e capacidade em Ah do banco de baterias.

$$CB_{c20} = \frac{24787,78 \cdot 2}{0,8} = 61,97 kWh \quad (5.24)$$

$$CBI_{c20} = \frac{61969}{24} = 2582,06 Ah \quad (5.25)$$

Posteriormente, são obtidas, pela equação 5.9 e pelo nível de tensão, a quantidade de baterias em paralelo e em série necessárias para atender a demanda.

$$N^{\circ}bateriasemparalelo = \frac{2582,06}{2750} = 0,94 = 1 \quad (5.26)$$

$$N^{\circ}bateriasemsrie = \frac{V_{sist}}{V_{bat}} = \frac{24}{2} = 12 \quad (5.27)$$

O inversor escolhido foi o Quattro Inverter 8 kVA da Victron Energy. É um inversor de alta potência que atende a demanda máxima (5,6 kW) calculada através da soma das potências nominais das cargas críticas. Sabe-se que o inversor deve assegurar a corrente de partida dos equipamentos, assim, esse inversor de onda senoidal pura, atende um acréscimo de até aproximadamente 3 vezes a potência da demanda máxima. A Tabela a seguir traz os dados técnicos do equipamento.

Tabela 5.10: Características técnicas da do inversor. Fonte: Victron Energy, 2020b

Dado	Valor	Dado	Valor
Fabricante	Victron Energy	Modelo	Quattro 8000 VA
Tensão de entrada [Vcc]	24	Tensão de saída [Vca]	230
Onda de saída	Senoidal Pura	Potência nominal [W]	8000
Fator de Potência [FP]	1	Potência de Pico [W]	16000
Frequência CA [Hz]	60	Eficiência [%]	96
Temperatura de operação [°C]	40 (-) A 65 (+)	Proteção	IP21

Após dimensionado o SFI objetivando atender as cargas essenciais do CCBL, calcula-se o SFCR abatendo o restante do consumo de energia elétrica.

Para o cálculo da potência de pico do sistema FV, considerou-se a energia diária não atendida pelo sistema *off-grid*. A equação abaixo indica a energia que será considerada.

$$E = 59000 - 21900E = 37100Wh/dia \quad (5.28)$$

A partir dos dados da Figura 5.6, observa-se que a média diária anual das HSP (horas de pleno sol) incidente no plano do painel FV é de 5,28 horas.

Segundo PINHO e GALDINO (2014) recomenda uma TD entre 70 e 80 % para SFCR em locais bem ventilados, não sombreados e localizados no Brasil. Para este trabalho será adotado o valor médio (75%). Utilizando o mesmo fator corretivo para o cálculo da potência de pico dos painéis FV para o SFI, chega-se ao valor da Potência do sistema fotovoltaico conectado na

rede.

$$P_{fv} = \frac{37100,1,157}{0,75,5,28} \quad (5.29)$$

$$P_{fv} = 10839,57Wp \quad (5.30)$$

Como estudado, para a escolha do inversor deve ser levado em consideração que o FDI esteja entre os limites inferior de 0,75 a 0,85 e superior a 1,05, ou seja, entre os seguintes valores:

$$8129,68 - 9213,63 < P_{nca} < 11381,54Wp \quad (5.31)$$

A Tabela a seguir traz dados técnicos do inversor escolhido, o Solis-1P10K-4G, de 10kW da fabricante chinesa Ginlong Technology.

Tabela 5.11: Características técnicas do inversor grid tie. Fonte: Solis, 2020.

Dado	Valor	Dado	Valor
Fabricante	Solis	Modelo	Solis-1P10K-4G
Faixa de potência do MPPT (V)	100-500	Corrente cc máxima (A)	15,6/15,6/15,6
Número de MPPT	3	Tensão nominal ca (W)	220/230
Potência CA nominal (W)	10000	Número de fases	1
Frequência ca (Hz)	60	Eficiência Máxima (%)	98,1

A partir da equação 5.11, temos que:

$$FDI = \frac{10000}{10839,57} = 0,923 \quad (5.32)$$

O arranjo fotovoltaico será baseado nos dados do módulo JKM395M-72H e pela tensão de operação do inversor de modo que o número de módulos em série e em paralelo serão:

$$\frac{100}{36,328} < N_{\text{modulosemserie}}^{\circ} < \frac{500}{45,0225} \quad (5.33)$$

$$2,75 < N_{\text{modulosemserie}}^{\circ} < 11,1 \quad (5.34)$$

$$N_{\text{modulosemserie}}^{\circ} < \frac{600}{53,088} \quad (5.35)$$

$$N_{\text{modulosemserie}}^{\circ} < 11,3 \quad (5.36)$$

$$N_{\text{modulosemparalelo}}^{\circ} < \frac{15,6}{10,23} \quad (5.37)$$

$$N^{\circ}_{\text{modulosemparalelo}} < 1,52 \quad (5.38)$$

Para satisfazer P_{fv} (10839,57 Wp) são necessários aproximadamente 28 módulos de 395 Wp. O inversor possui TRÊS MPPTs em paralelo de modo que escolheu-se adotar um arranjo descrito na tabela abaixo para cada MPPT.

Tabela 5.12: Arranjo dos painéis fotovoltaicos. Fonte: Autoral

Parâmetros funcionamento do inversor								
MPPT	Número	Módulos em Série por String	Strings em Paralelo	Tensão V _{ca} Máxima	Tensão V _{mp} Máxima	Corrente de entrada do inversor na faixa de máxima potência (A)	Potência dos módulos	Potência total
	1	10	1	495	410,4	9,55 x 2 = 19,1A	395 W	3.950 Wp
	2	9	1	445,5	372,6	9,55 A		3.555 Wp
	3	9	1	445,5	372,6	9,55 A		3.555 Wp

Desta forma, a potência do sistema P_{fv} será de 11060 Wp.

5.1.1.3 Dimensionamento do cabeamento de corrente contínua

Para o dimensionamento dos condutores c.c. do SFI e do SFCR, considera-se dois métodos: Método da capacidade de condução de corrente e o critério da queda de tensão. Aplica-se o critério mais conservador no projeto. Define-se que o método de instalação aplicado será o método número 5 “Condutores isolados ou cabos unipolares em eletroduto aparente de seção circular sobre parede”, define-se assim o método de referência B1 para determinar capacidade de condução de corrente (Tabela 37 da Norma ABNT NBR 5410). Para o condutor, define-se a utilização de condutores (positivo e negativo) com isolamento EPR. Através da Tabela 40, obtém-se o fator de temperatura cujo valor é de 0,96 considerando uma temperatura de 35° C. Além deste, tem-se o fator de correção por agrupamento pela Tabela 42 da NBR 5410 que vale 0,45 considerando o número total de strings (SFI e SFCR). Adota-se como parâmetro uma queda de tensão máxima de 1,5% (geralmente exigidos em editais de licitações de obras de SFV).

Sabe-se que a máxima corrente que circula em uma única string, para o SFCR, corresponde a corrente I_{sc} do módulo utilizado (10,23 A).

Utilizando a equação abaixo, calcula-se a corrente cc de projeto corrigida $I_{cc_{projeto}}$

$$I_{cc'_{projeto}} = \frac{I_{cc_{projeto}}}{K_1 \cdot K_2} \quad (5.39)$$

Onde:

- $I_{cc'_{projeto}}$ (A) = Corrente de curto circuito de projeto corrigida;
- $I_{cc_{projeto}}$ (A) = Corrente de curto circuito do módulo fotovoltaico;
- K_1 = fator de correção de temperatura;
- K_2 = fator de correção de agrupamento.

Substituindo os valores descritos nas equações obtém-se os seguintes valores:

$$I'_{cc'_{mdulossfi}} = I'_{cc'_{mdulossfcr}} = \frac{10,23}{0,96.0,45} = 23,68A \quad (5.40)$$

Adota-se um coeficiente de segurança no valor de 1,25 para a capacidade de condução de corrente do condutor. Define-se então que a corrente máxima percorrida pela string pela equação:

$$I_{string} \leq I'_{cc'_{projeto}} \quad (5.41)$$

Na qual:

- I_{string} (A) - é a corrente máxima na string.

$$I'_{cc'_{mdulossfi}} = I'_{cc'_{mdulossfcr}} \leq 23,68.1,25 = 29,6A \quad (5.42)$$

A configuração do SFI é dividida em dois trechos sendo o primeiro composto pelos cabos de strings entre os módulos e o controlador de carga e o segundo pelos cabos que ligam o controlador e a bateria e entre o controlador e o inversor. Para calcular a corrente $I'_{cc'_{bateriassfi}}$ controlador-banco de bateria, considerou-se o fator de correção de agrupamento o valor de 0,8, dois condutores energizados (positivo e negativo). Temos que $I'_{cc'_{bateriassfi}}$ através da equação:

$$I'_{cc'_{bateriassfi}} = \frac{2750}{24.0,96.0,8} * 1,25 = 186,49A \quad (5.43)$$

Logo, segundo a Tabela 37 da NBR 5410, os cabos que suportam essas correntes devem ter $2,5 \text{ mm}^2$ (31 A), $2,5 \text{ mm}^2$ (31 A) e 50 mm^2 (198 A), respectivamente. Observando a pouca margem entre a capacidade máxima de corrente do condutor e a corrente corrigida de projeto, adotam-se condutores de 4 mm^2 (42A), 4 mm^2 (42A) e 70 mm^2 (253A).

Calcula-se então a queda de tensão do gerador ao inversor:

$$\Delta V_{string} = \frac{2.R_{cc}.I'_{cc'_{projeto}}.L}{V_{string}^{MP-0^\circ C}}.100 \quad (5.44)$$

Na qual:

- ΔV_{string} (%) - é a queda de tensão do gerador fotovoltaico;
- R_{cc} ($\frac{\Omega}{km}$) - é a resistência do cabeamento fornecida pelo fabricante;
- L (km) - é a distância mais longa percorrida pelo cabeamento de corrente contínua do gerador fotovoltaico;

- $V_{string}^{MP-0^{\circ}C}$ (V) - é a tensão de máxima potência da string na temperatura mínima de operação.

Para o SFI, utiliza-se a especificação de resistência do cabeamento (encontrada no *datasheet* do cabo da fabricante Grupo Prysmian Group - Afumex Solar) escolhido para ser utilizado no projeto, com a seção de $2,5 \text{ mm}^2$ que é $10,53 \left(\frac{\Omega}{\text{km}}\right)$. Observa-se que a máxima distância entre o arranjo e o controlador de cargas é de 0,025 km.

$$\Delta V_{stringccsfi} = \frac{2.10,53.10,23.0,025}{135,07} \quad (5.45)$$

$$\Delta V_{stringccsfi} = 3,98\% \quad (5.46)$$

O valor ultrapassa o limite estipulado no projeto. Toma-se como referência o condutor de seção nominal de 10 mm^2 , que possui resistência do cabeamento de $2,5 \left(\frac{\Omega}{\text{km}}\right)$:

$$\Delta V_{stringccsfi} = \frac{2.2,5.10,23.0,025}{135,07} \quad (5.47)$$

$$\Delta V_{stringccsfi} = 0,94\% \quad (5.48)$$

Calculando para a queda de tensão para o conjunto controlador-bateria, considerando que o cabo de seção de 50 mm^2 possui resistência de $0,504 \left(\frac{\Omega}{\text{km}}\right)$ têm-se que:

$$\Delta V_{bateriacsfi} = \frac{2.0,504.114,58.0,005}{24} \quad (5.49)$$

$$\Delta V_{bateriacsfi} = 2,4\% \quad (5.50)$$

O valor ultrapassa o limite estipulado no projeto. Assim, foi necessário ampliar a área de seção do condutor. Tendo como referência o condutor de seção nominal de 95 mm^2 , que possui resistência do cabeamento de $0,269 \left(\frac{\Omega}{\text{km}}\right)$, temos:

$$\Delta V_{bateriacsfi} = \frac{2.0.269.114,58.0,005}{24} \quad (5.51)$$

$$\Delta V_{bateriacsfi} = 1,28\% \quad (5.52)$$

Já para o cálculo da variação de tensão para o SFCR, usa-se o valor da resistência de cabeamento de $2,5 \text{ mm}^2$ que é $10,53 \left(\frac{\Omega}{\text{km}}\right)$. Observa-se que a máxima distância entre o arranjo e o

inversor é de 0,03 Km.

$$\Delta V_{stringccsfer} = \frac{2.10, 23.10, 53.0, 035}{407, 025} \quad (5.53)$$

$$\Delta V_{bateriacsfi} = 1, 85\% \quad (5.54)$$

Adotando-se o condutor de 4 mm², tem -se que:

$$\Delta V_{stringccsfer} = \frac{2.6, 53.10, 53.0, 035}{407, 025} \quad (5.55)$$

$$\Delta V_{bateriacsfi} = 1, 14\% \quad (5.56)$$

Observa-se que a seção de área transversal do condutor encontrado pelo método da capacidade de condução foi corroborada pelo método da queda de tensão máxima para o caso dos condutores cc dos painéis do SFI e SFCR. Por outro lado, considerou-se a seção do condutor do banco de baterias através do método mais conservador, o da queda de tensão, assim os condutores cc do SFI serão de 10 mm², para as strings, e 95 mm² para o banco de baterias e das strings SFCR são de 4 mm².

De acordo com a Tabela 58 da NBR 5410, a seção mínima do condutor de proteção para o SFI é de 10 mm² para strings, e 50 mm² para o banco de baterias. As strings do SFCR são 4 mm² como o condutor de fase.

5.1.1.4 Dimensionamento do Cabeamento de Corrente Alternada

Da mesma maneira que calculamos os condutores da parte c.c. dos SFVs, foram dimensionado os condutores da parte c.a. Considerou se tanto o método da capacidade de condução de corrente quanto o critério da queda de tensão de modo que será aplicado o critério mais conservador no projeto. Define-se que o método de instalação aplicado será o método número 5 “Condutores isolados ou cabos unipolares em eletroduto aparente de seção circular sobre parede”, assim como, o método de referência B1 para determinar a capacidade de condução de corrente (Tabela 37 da Norma ABNT NBR 5410). Para o condutor, define-se a utilização de condutores com isolamento HERP.

Assim como na parte c.c., utiliza-se o fator de temperatura cujo valor é de 0,96 considerando uma temperatura de 35°C (Tabela 40 NBR 5410). Tem-se, também, o fator de correção por agrupamento pela Tabela 42 da NBR 5410 que vale 1, uma vez que considerado o total de 1 circuito. Adota-se como parâmetro uma queda de tensão máxima de 1,5%.

Utilizando a equação 5.39 e considerando os inversores Quattro e Solis que possuem cor-

rente máxima de saída 34,78 A e 45,9 A, temos:

$$I'ca_{invsfi} = \frac{34,78}{0,96} = 36,23A \quad (5.57)$$

$$I'ca_{invsfcr} = \frac{45,9}{0,96} = 47,81A \quad (5.58)$$

Adotando-se um coeficiente de segurança no valor de 1,25 para a capacidade de condução de corrente do condutor. Define-se que a corrente máxima percorrida pela string pela equação:

Define-se a corrente máxima c.a por sistema como sendo:

$$I_{ca} \leq I'ca_{projeto} \quad (5.59)$$

$$Ica_{invsfi} \leq 45,29A \quad (5.60)$$

$$Ica_{invsfcr} \leq 59,76A \quad (5.61)$$

Segundo a Tabela 37 da NBR 5410, os cabos que suportam essas correntes devem ter 6 mm^2 (54 A) para o SFI e 10 mm^2 (76 A) para SFCR.

Assim, podemos calcular a queda de tensão no inversor através da equação:

$$\Delta V_{ca} = \frac{Ica_{projeto} \cdot L \cdot R_{ca} \cdot \cos(\theta)}{V_{ca}} \cdot 100 \quad (5.62)$$

Na qual:

- ΔV_{ca} (%) - é a queda de tensão no inversor;
- R_{ca} (Ω/km) - é a resistência do cabeamento;
- $Ica_{projeto}$ (A) - é a corrente máxima de saída do inversor;
- V_{ca} (V)- é a tensão de saída do inversor;
- Θ (graus)- é o ângulo de defasagem entre a corrente elétrica e a tensão do sistema.

O inversor Quattro possui fator de potência (FP) igual a um. Dessa forma, para o inversor SFI, considera-se L a distância entre o inversor *off-grid* e o Quadro Geral de Distribuição de baixa tensão (QGD) da instalação, fornecendo assim a potência necessária para o atendimento às cargas críticas que dimensionamos durante o trabalho. Utiliza-se as especificações de resistência e reatância do cabeamento (encontrada no datasheet do cabo da fabricante francês Ne-

xans) a ser utilizado no projeto, com a seção de 6 mm^2 que são $4,323 (\Omega/\text{km})$ e $0,114(\Omega/\text{km})$. Como $FP = 1$, a parcela $\sin(\Theta)$ é zerada e a queda de tensão é calculada:

$$\Delta V_{ca_{sfi}} = \frac{36,23.0,009.4,323}{230} = 1,084 \quad (5.63)$$

Assim, a queda de tensão encontra-se dentro do limite de 1,5 % estipulado e o cabeamento atende aos requisitos do projeto.

Para o condutor de 10mm^2 , tem-se resistência (Ω/km) e reatância 0,994.

$$\Delta V_{ca_{sfc}} = \frac{59,76.0,07.2,486}{230} = 0,45 \quad (5.64)$$

Observa-se que a seção do condutor encontrado pelo método da capacidade de condução foi corroborada pelo método da queda de tensão máxima, para o caso dos condutores c.a. dos inversores do SFI e SFCR, chegando nos valores de 6 mm^2 e 10 mm^2 , respectivamente.

As seções dos condutores de proteção da parte c.a. do sistema isolado e do conecta à rede são de 6 mm^2 e 10 mm^2 , conforme estabelecido em norma.

5.1.1.5 Aterramento

A instalação do CCBL se insere em um sistema o qual tem-se como o referencial o potencial da terra, assim todos equipamentos elétricos, eletromecânicos, a fim de interconectar a malha para escoamento de surtos provenientes de descargas elétricas atmosféricas (local propício à incidência de raios) e surtos na rede de distribuição, havendo a equipotencialização ao barramento de proteção terra assegurando assim que as pessoas, cargas e animais que estejam no local estejam protegidos.

De acordo com a norma, deve-se aterrar os SFV. Equipotencializa-se os módulos através de cordoalhas perimetrais de cobre de 16mm^2 nu, no qual é interligado ao sistema de aterramento da instalação BEP (Barramento de Equipotencialização Principal), garantindo assim que todo o galpão esteja protegido. Os inversores, baterias e controladores de cargas estão aterrados também e possuem outros dispositivos para a sua proteção e da instalação.

5.1.1.6 Dispositivos de proteção

Verifica-se nos manuais técnicos dos inversores e do controlador de carga a presença de dispositivos de proteção contra curto-circuito e sobrecargas e proteção contra correntes reversas. Ressalta-se que os inversores Quattro e Solis possuem certificados baseados em teste laboratoriais internacionais de segurança EN-IEC 60335-1 IEC 60335-2-29 e EN-IEC 62109-1; e EN-IEC 62109, EN-IEC 61000-6-1 e EN-IEC 61000-6-2.

5.1.1.7 Dispositivos de Proteção contra Surtos (DPS)

Utilizando-se o critério expresso na equação a seguir, que atende a NBR ABNT 16690, para o dimensionamento do dispositivo de proteção contra surtos (DPS) para a parte c.c.

$$V_{DPS} \geq 1,2 \cdot V_x \quad (5.65)$$

Segundo o manual controlador de carga SmartSolar 2500|85, o equipamento possui dispositivo contra surtos em sua composição.

Para o SFI, tem-se que:

$$V_{DPSbateriacontrolador} \geq 1,2 \cdot V_{bateria} \quad (5.66)$$

$$V_{DPSbateriacontrolador} \geq 1,2 \cdot 24 \quad (5.67)$$

$$V_{DPSbateriacontrolador} \geq 28,8 V_{cc} \quad (5.68)$$

$$V_{DPScontroladorinversor} = V_{DPSbateriacontrolador} \quad (5.69)$$

$$V_{DPScontroladorinversor} \geq 28,8 V_{cc} \quad (5.70)$$

Para as strings do SFCR, tem-se que:

$$V_{DPSstrings} \geq 1,2 \cdot V_{mp(0^\circ)} \quad (5.71)$$

$$V_{DPSstrings} \geq 1,2 \cdot 450,225 \quad (5.72)$$

$$V_{DPSstrings} \geq 540,27 V_{cc} \quad (5.73)$$

Ambos sistemas possuem inversores que possuem tensão de saída 230V, assim dimensionando as proteções dos SFV:

$$V_{DPSinversores} \geq 1,2 \cdot V_{saidaca} \quad (5.74)$$

$$V_{DPSinversores} \geq 1,2 \cdot 230 \quad (5.75)$$

$$V_{DPS\text{Inversores}} \geq 276V_{ca} \quad (5.76)$$

Consideram-se para a parte c.c.: DPS CC de 1000Vcc / 40kA / 8/20ms /CLASSE II. Para parte c.a.: DPS CA de 1000Vca / 40kA / 8/20ms / CLASE II.

5.1.1.8 Dispositivos de Seccionamento

Dimensiona-se os dispositivos de seccionamento através da equação a seguir:

$$I_{cc}^{projeto} \leq I_{seccionadora} \quad (5.77)$$

- $I_{cc}^{projeto}$ (A) - é a corrente de curto circuito do módulo fotovoltaico
- $I_{seccionadora}$ (A) - é a corrente nominal da chave seccionadora

Para atender as normas da concessionária NTD 6.09 - CEB D, adota-se uma chave seccionadora de 25 A 1000Vcc para o SFCR.

$$10,23 \leq I_{seccionadora} \quad (5.78)$$

Os inversores e os controladores de carga já possuem essa função em sua configuração.

5.1.1.9 Dispositivos de proteção para sobrecorrentes e curto-circuito

O dimensionamento dos dispositivos de proteção para sobrecorrentes e curto-circuito é baseado na NBR 5410.

$$I'_{cprojeto} \leq I_n \leq I_z \quad (5.79)$$

Sendo:

- $I'_{cprojeto}$ (A) - corresponde ao valor calculado da corrente de projeto corrigida;
- I_n (A) - corresponde a corrente nominal do disjuntor;
- I_z (A) - corresponde ao valor da corrente máxima de condução no cabo.

A Tabela abaixo mostra os valores dos disjuntores adotados para cada trecho dos sistemas.

Tabela 5.13: Valores nominais dos disjuntores adotados. Fonte: Autoral

SFV	Trecho	$I'_{projeto}$ (A)	I_n (A)	I_z (A)
SFI	Controlador-Bateria	186,49	250	306
	Controlador-Inversor	186,49	250	306
	Inversor - Carga	45,29	50	54
SFCR	Inversor-QGD	59,76	63	75

Os disjuntores de 50, 63 e 250 A escolhidos são da fabricante Siemens, modelos: 5SX1 150-7, 5SX1 163-7 e 3VL3725 respectivamente.

5.2 Unifilar

A partir do dimensionamento realizado durante capítulos anteriores, elaborou-se o diagrama unifilar dos microgeradores *off-grid* e *on-grid*, utilizando o software AutoCad 2018. Ambos encontram-se em anexo ao fim deste trabalho e serão apresentado de forma resumida neste ponto:

GERADOR FOTOVOLTAICO - 9,06kWp

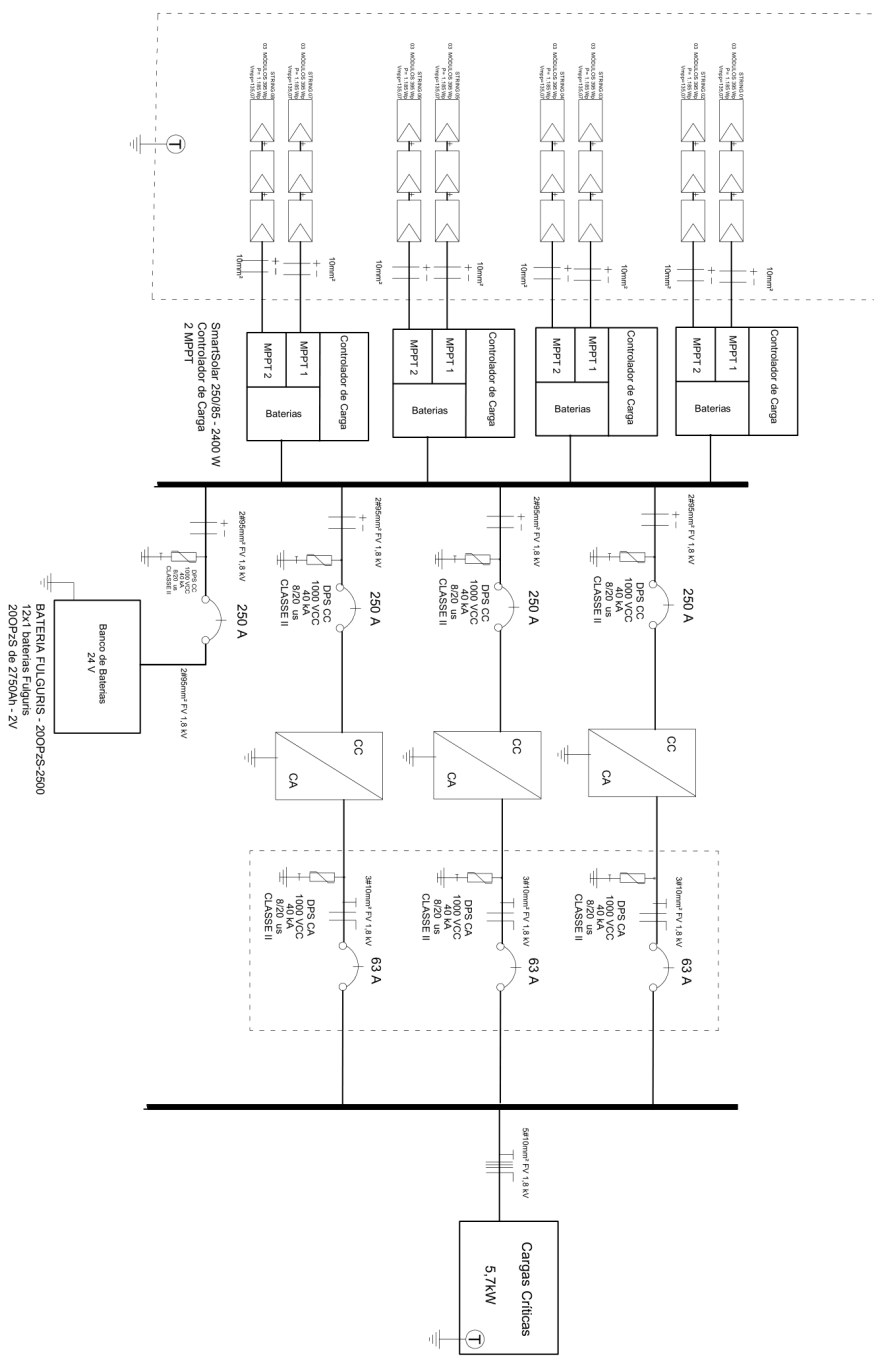


Figura 5.7: Diagrama unifilar sistema *off-grid*. Fonte: autoral

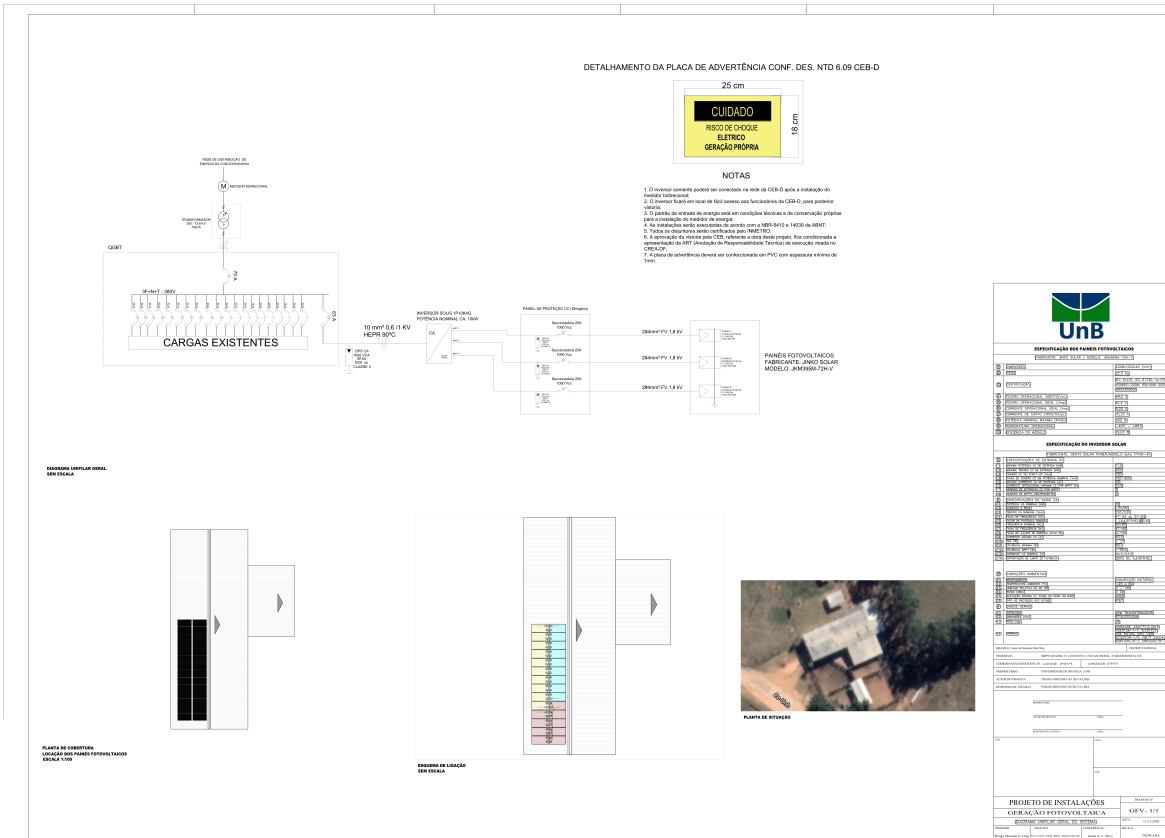


Figura 5.8: Diagrama unifilar sistema on-grid. Fonte: autoral

Além disso, foi construído um modelo tridimensional da edificação, ilustrando o posicionamento onde serão instalados módulos dos sistemas através do software Sketch-Up

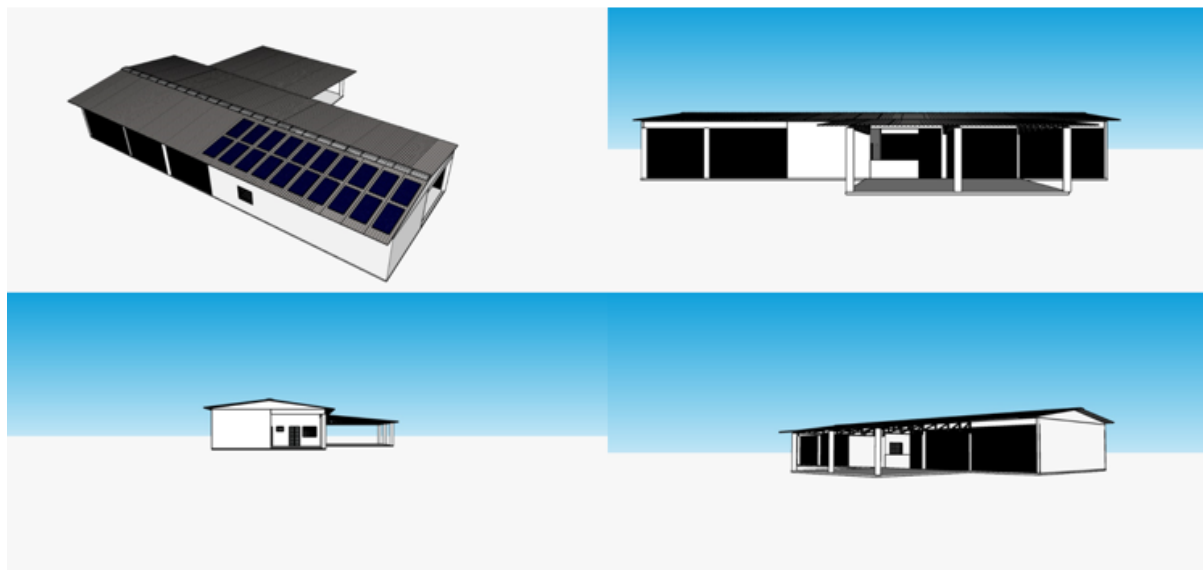


Figura 5.9: Visualização em 3D da localização das placas e do galpão. Fonte: autoral

5.2.1 Considerações Finais

Neste capítulo foi apresentado o dimensionamento dos componentes dos sistemas fotovoltaico *On-grid* e *Off-grid*, bem como o dimensionamento de seus condutores, através dos métodos da capacidade de condução de corrente e do critério da queda de tensão. Também foram dimensionadas as proteções nas normas técnicas e é apresentado o diagrama unifilar de ambos os sistemas que serão implantados na instalação do CCBL.

6 Simulação

O PVSyst V7.1.0 é um software que tem como finalidade a simulação de SFVs. Obtêm-se resultados baseados no cruzamento de dados inseridos pelo usuário, como: posição geográfica do sistema a ser projetado, os equipamentos utilizados e parâmetros relativos às perdas; com o seu banco de dados meteorológico (pode ser alimentado conforme a necessidade do projetista), gerando relatórios informando quantidade de energia gerada, taxa de eficiência entre outros indicadores.

Desta forma, utiliza-se o software a fim de avaliar o dimensionamento realizado baseado no método do Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos - CRESESB, analisando, assim, se os valores de balanço energético entre geração de energia do SFI/consumo das cargas críticas; e geração do SFCR/atendimento ao consumo de energia restante do CCBL convergiram ao proposto.

Primeiramente, importa-se os dados meteorológicos da região disponíveis no site do CRESESB, a fim de se obter um resultado mais preciso do comportamento do SFV quando em operação.

	Irradiação global horizontal kWh/m²/da	Irradiação difusa horizontal kWh/m²/da	Temperatura °C	Velocidade do vento m/s	Linke turbidity [-]	Relative humidity %
Janeiro	5.39	2.82	23.3	2.40	2.700	78.5
Fevereiro	5.66	2.77	22.5	2.00	2.900	76.0
Março	5.03	2.39	22.2	2.00	3.000	77.7
Abril	5.04	1.82	21.9	2.00	2.700	75.0
Mai	4.78	1.42	20.5	1.80	2.700	67.7
Junho	4.74	1.16	19.0	1.90	3.100	63.8
Julho	5.02	1.13	19.5	2.00	3.000	56.3
Agosto	5.92	1.20	21.0	2.30	3.500	50.2
Setembro	5.73	2.06	22.4	2.40	4.000	53.0
Outubro	5.56	2.45	23.6	2.30	4.100	59.3
Novembro	5.07	2.29	22.1	2.30	3.200	75.3
Dezembro	5.38	2.63	21.6	2.20	3.300	74.0
Ano	5.27	2.01	21.6	2.1	3.183	67.2

Figura 6.1: Dados de irradiação global horizontal e irradiação difusa horizontal importados do site do CRESESB Fonte: autoral

Após a inserção dos dados meteorológicos, indica-se a inclinação (a mesma do telhado) e o ângulo azimutal nos quais o painel FV estará orientado (NO).

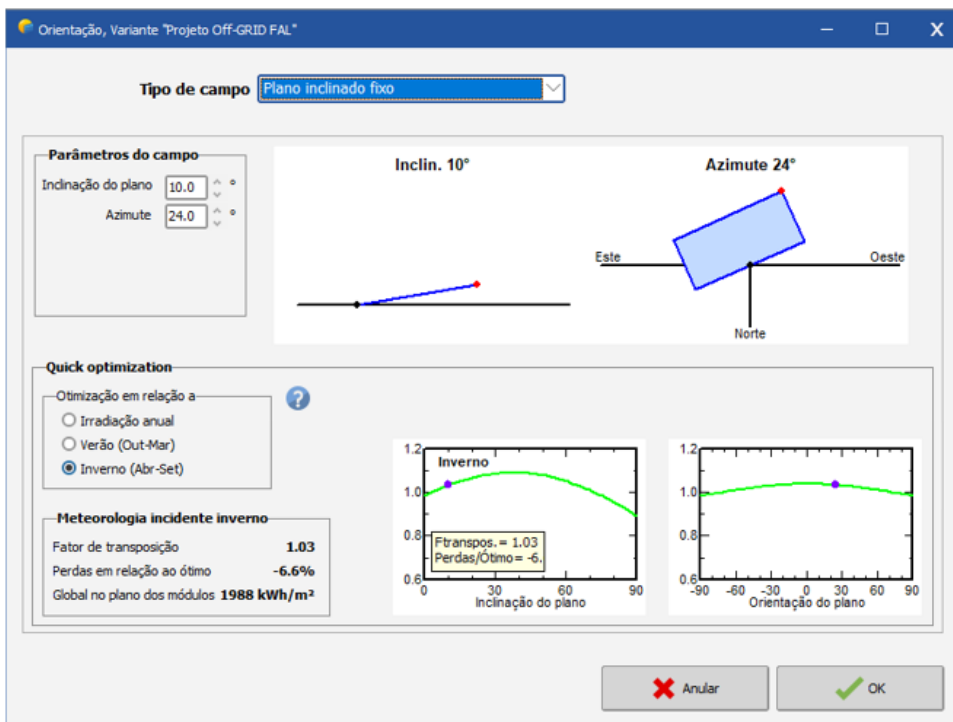


Figura 6.2: Orientação dos módulos FV no telhado do Galpão de Ordenha. Fonte: autoral

Para analisar o SFI dimensionado, deve-se incluir no *software* os dados de potência e de perfil de consumo das cargas críticas, levantados in loco através de inspeção visual e medição, alimentadas pelo sistema.

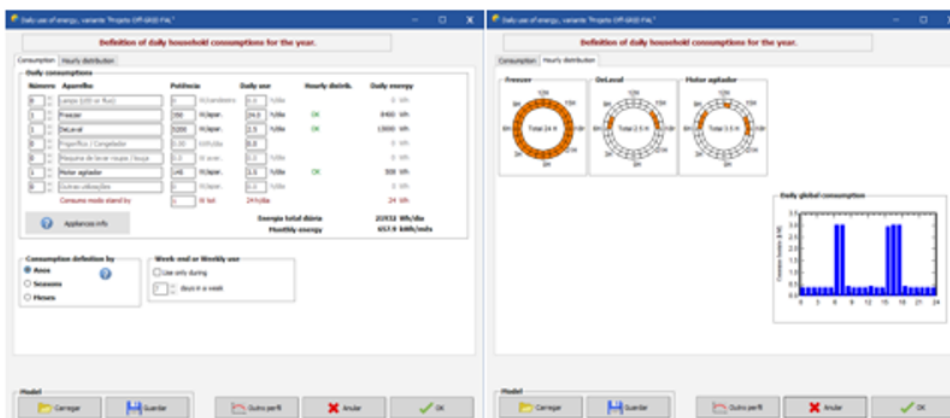


Figura 6.3: Cargas críticas e curva de carga do CCBL que serão alimentadas pelo SFI. Fonte: autoral

Em seguida, insere-se as especificações do sistema de armazenamento escolhido, indicando o modelo, o tipo, a tensão e a capacidade de armazenamento da bateria desejada informando o seu arranjo.

Storage Grupo FV Back-Up Esquema simplificado

Procedure

The Pre-sizing suggestions are based on the Monthly meteo and the user's needs definition

1. - Pre-sizing Define the desired Pre-sizing conditions (P.L.O.L, Autonomy, Battery voltage)
2. - Storage Define the battery pack (default checkboxes will approach the pre-sizing)
3. - PV Array design Design the PV array (PV module) and the control mode. You are advised to begin with a universal controller.
4. - Back-Up Define an eventual Genset

Specify the Battery set

Sort batteries by tensão capacidade fabricante

Moll 2 V 2690 Ah Pb Open Tub OPzS Solar 3420 Since 2016

Chumbo-Ácida

12 baterias em série Number of baterias 12

1 baterias em paralelo Number of elements 12

100.0 % Initial State of Wear (nb. of cycles)

100.0 % Initial State of Wear (static)

Battery pack voltage 24 V

Global capacity 2690 Ah

Stored energy (80% DOD) 51.6 kWh

Total weight 2260 kg

80% DOD 1500

Total stored energy during the battery life 84 MWh

Operating battery temperature

Temper. mode External ambient temp

The battery temperature is important for the aging of the battery. An increase of 10 °C divides the "static" battery life by a factor of two.

Figura 6.4: Escolha do modelo e arranjo das baterias. Fonte: autoral

Define-se o módulo FV e o arranjo deles nas entradas do MPPT do controlador, escolhido pelo projetista, atendendo os dados técnicos do controlador de carga.

Storage Grupo FV Back-Up Esquema simplificado

Nome e orientação do sub-grupo

Nome Grupo FV Inclinação 10° Azimute 24°

Orientação: Plano inclinado fixo

Ajuda para o dimensionamento

Sem pré dim. Introduza Prom desejado 5.2 kWp

Resize ... ou superficie disponível 26 m²

Seleção do módulo FV

Disponíveis Ordenar módulos por Potência Tecnologia

Jinkosolar 395 Wp 35V Si-mono 30439SM-72H-V Since 2020 Datasheets 2020

Dimens. das tensões: Vmpo (60°C) 35.4 V Vco (-10°C) 54.6 V

Select the control mode and the controller

Converter de potência MPPT

Universal controller Victron

Modo de operação: Acoplamento direto Conversor MPPT - DC DC-DC converter

MPPT 2400 W 24 V 85 A 85 A SmartSolar MPPT 250/85 24V

Number of controllers 4 MPP Operating voltage 29-245 V Controller's power 9.60 kW Tensão máxima entrada 250 V Associated Battery 24 V

PV Array design

Number of modules and strings

Mod. em série 5 entre 1 et 4

Nr. strings 8 entre 4 et 6

Perdas sobre-got. 0.00%

Rácio Prom 0.99

Nr. módulos 24 Superficie 48 m²

Condições de funcionamento:

Vmpo (60°C) 106 V

Vmpo (20°C) 125 V

Vco (-10°C) 164 V

Irradián. no plano 1000 W/m²

Impo (STC) 92.8 A

Isc (STC) 82.9 A

Isc (em STC) 81.8 A

Potênc. Máx. em funcionamento 11.3 kW (em 1000 W/m² e 50°C)

Potência nom. grupo (STC) 9.5 kWp

User's needs

Household	Aver. power	914 W
Night ratio	Daily energy	22 kWh
Conjunto de baterias	Capacidade	2690 Ah
Autonomy	Stored energy	54 kWh
Grupo FV	Potência nom.	9.48 kWp
PV/PLoad	Energia méd. diária	36 kWh
Regulador	Potência nom.	9.60 kW
PV/PConv	Thresholds seg. tensões	

Figura 6.5: Escolha dos módulos FV, controlador de carga e o arranjo de entrada em cada MPPT do controlador de carga. Fonte: autoral

Após escolher-se os componentes do SFV, aplicam-se os parâmetros relativos às perdas, como: Parâmetros Térmicos, Ôhmicos, Qualidade dos módulos, Perda por sujidade, etc.

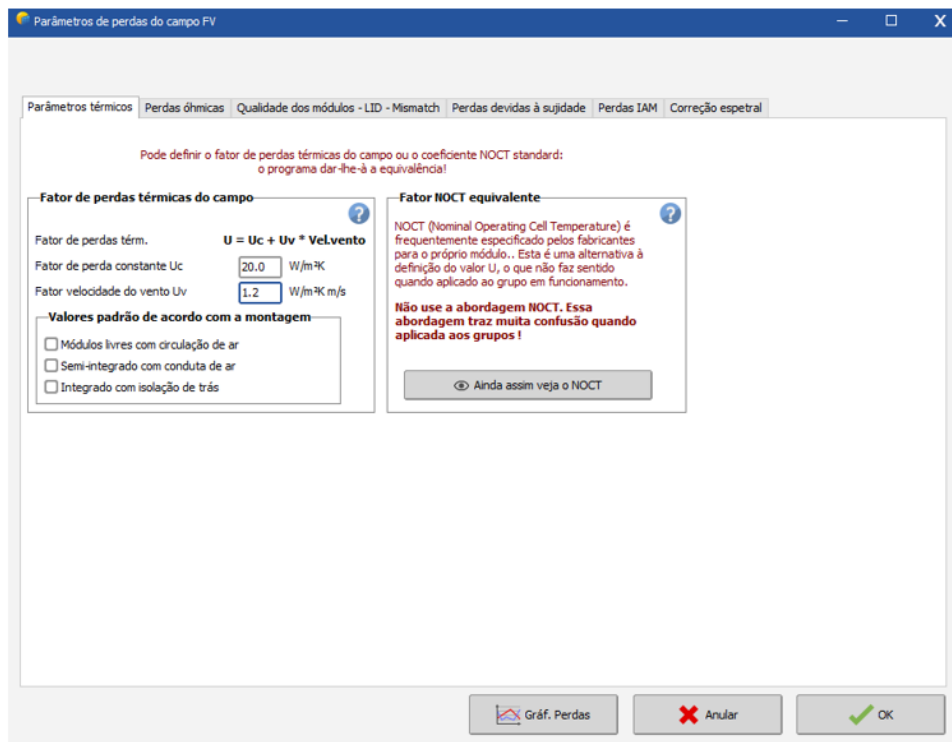


Figura 6.6: Parâmetros aplicados que influenciam na eficiência do SFV. Fonte: autoral

Em seguida, é efetuada a simulação. As figuras 6.7 e 6.8 mostram os dados da microgeradora *off-grid* e a figura 6.9 os dados de geração, taxa de performance obtidos.



PVsyst V7.1.0

Data da simulação: 02/12/20 12:57
com v7.1.0

Projeto: offgrid
Variante: Projeto Off-GRID FAL

Parâmetros gerais			
Stand alone system		Sistema isolado com baterias	
Orientação do plano dos módulos		Exigências do consumidor	
Orientação		Modelos utilizados	Consumo doméstico
Plano fixo		Transposição	Constantes ao longo do ano
Tilt/Azimuth	10 / 24 °	Difuso	Média
		Cicumsolar	21.9 kWh/Dia
		Perez	
		Perez, Meteonorm separado	
Características do grupo FV			
Módulo FV		Bateria	
Fabricante	Generic	Fabricante	Generic
Modelo	JKM395M-72H-V	Modelo	OPzS Solar 3420
(Original PVsyst database)		Tecnologia	Chumbo-Ácida, vaso aberto, tubular
Potência unitária	395 Wp	Número de unidades	12 em série
Número de módulos FV	24 unidades	Discharging min. SOC	20.0 %
Nominal (STC)	9.48 kWp	Stored energy	51.6 kWh
Módulos	8 Strings x 3 Em série	Características do conjunto de baterias	
Em condições de func. (50°C)		Tensão	24 V
Pmpp	8.64 kWp	Capacidade nominal	2690 Ah (C10)
Umpp	111 V	Temperatura	Temp. ambiente exterior
Impp	78 A	Limites de regulação da bateria	
Regulador		Limites de comando segundo	Tensão da bateria
Fabricante	Generic	Carga	29.3 / 25.1 V
Modelo	SmartSolar MPPT 250/85 24V	SOC corresp.	0.95 / 0.75
Nr. de unidades	4 unidades	Descarga	23.2 / 24.4 V
Tecnologia	Conversor MPPT – DC	SOC corresp.	0.16 / 0.45
Coef. de temp.	-2.7 mV/°C/Elem	Conversor	
Conversor		Eficiência maxi e EURO	99.0 / 97.0 %
Total PV power			
Nominal (STC)	9 kWp		
Total	24 módulos		
Superfície módulos	48.3 m ²		
Superfície célula	42.9 m ²		

Figura 6.7: Dados gerais do sistema. Fonte: autoral

Perdas do grupo								
Perdas sujidade grupo		Fator de perdas térm.		Perdas de cablagem DC				
Fração perdas	3.0 %	Temperatura módulos em função irradiância		Res. global do grupo	24 mΩ			
		Uc (const.)	20.0 W/m ² K	Fração perdas	1.5 % em STC			
		Uv (vento)	1.2 W/m ² K/m/s	Perdas dos módulos com disparidade				
Perdas diodo série		Perdas de qualidade dos módulos		Fração perdas	2.0 % no MPP			
Queda de tensão	0.7 V	Fração perdas	-0.8 %					
Fração perdas	0.6 % em STC							
Perdas devidas a disparidade, em fiadas								
Fração perdas	0.1 %							
Fator de perda IAM								
Efeito de incidência (IAM): Fresnel AR coating, n(glass)=1.526, n(AR)=1.290								
0°	30°	50°	60°	70°	75°	80°	85°	90°
1.000	0.999	0.987	0.962	0.892	0.816	0.681	0.440	0.000

Figura 6.8: Perdas do sistema. Fonte: autoral



PVsyst V7.1.0

Data da simulação: 02/12/20 12:57
com v7.1.0

Projeto: offgrid
Variante: Projeto Off-GRID FAL

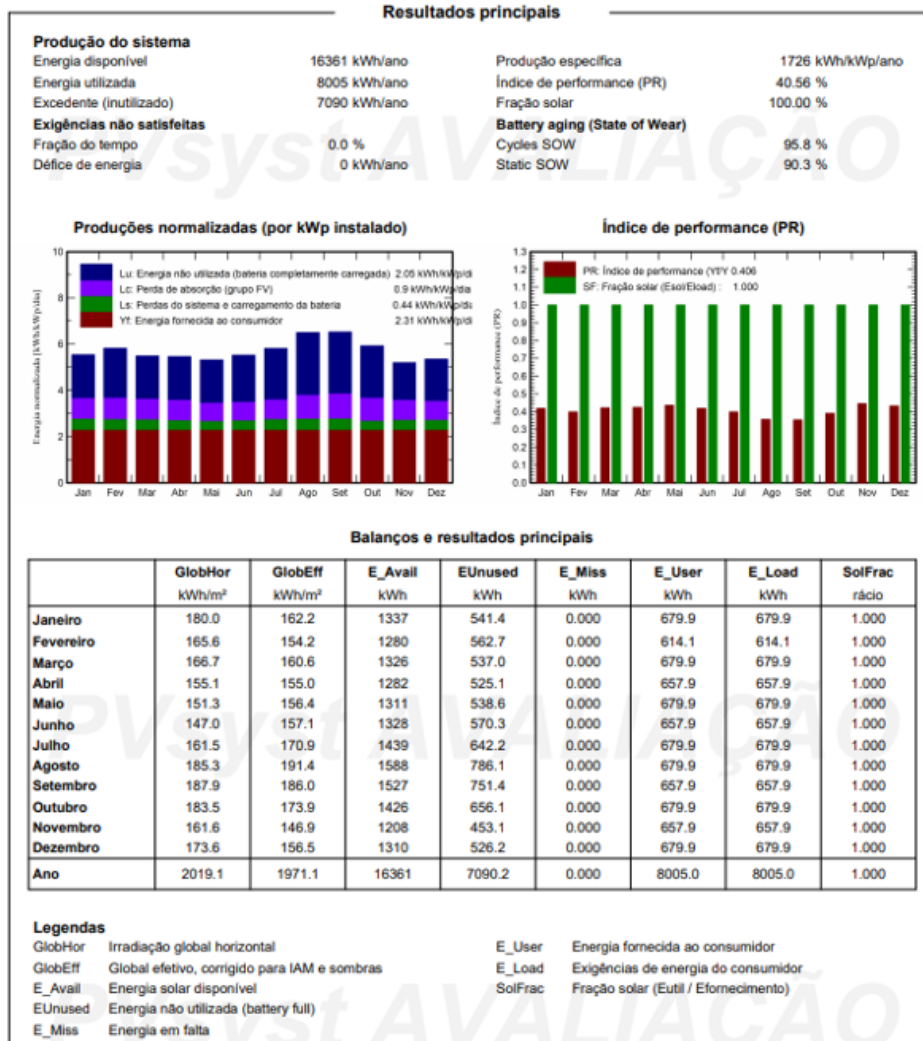


Figura 6.9: Resultados obtidos para o sistema isolado. Fonte: autoral

Verifica-se na figura 6.9 que pelo fato do SFI ser dimensionado considerando o pleno atendimento à demanda com base nos dados do mês de menor irradiação no local, ainda possuindo autonomia de 2 dias, é justificável que o valor de PR seja 40,05, uma vez que se torna inevitável desperdícios de energia para a aplicação.

O resultado obtido vai de encontro com o objetivo de atender ao balanço energético de consumo das cargas críticas durante todo o ano. Há assim uma redução de 8005 kWh/ano no consumo, correspondendo a uma redução de 5,05% do total consumido por toda a FAL e 37,17% da energia elétrica consumida pelo Galpão por ano.

Ao simular o SFCR, o projetista realiza os mesmos passos iniciais de inserção de dados meteorológicos do local da aplicação assim como a inclinação e ângulo azimutal dos módulos. Na sequência determinam-se os módulos, seu arranjo e o inversor utilizado no projeto.

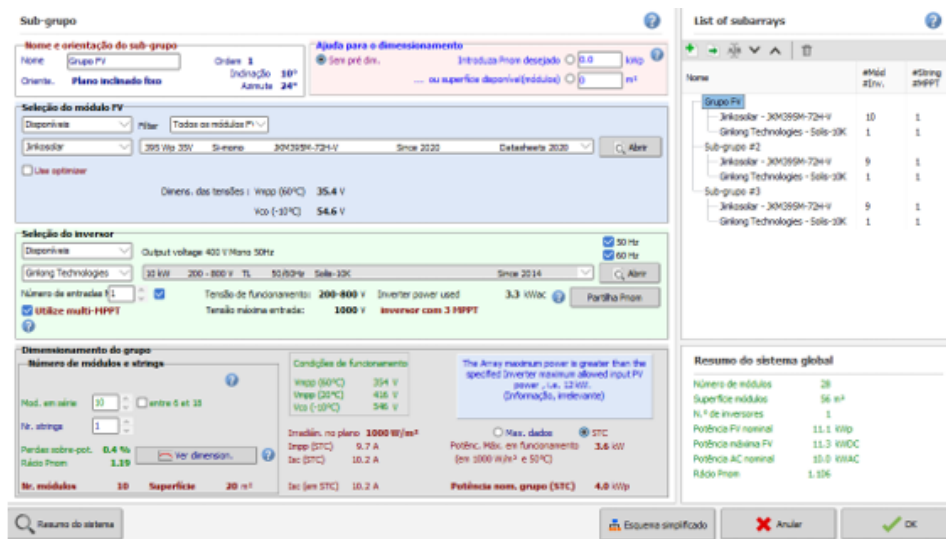


Figura 6.10: Escolha dos módulos FV, controlador de carga e o arranjo de entrada em cada MPPT do inversor. Fonte: autoral

Aplicando-se os mesmos fatores de perdas utilizados no SFI já que se projetou a instalação de ambos os sistemas no telhado do CCBL, de maneira otimizada. A figura 6.11 apresenta o resumo do SFCR dimensionado e em seguida na figura 6.12 apresenta-se os dados de geração e consumo.



PVsyst V7.1.0

Data da simulação: 29/11/20 15:42
com v7.1.0

Projeto: FAL

Variante: Nova variante da simulação

Resumo do projeto			
Localização geográfica	Localização	Parâmetros projeto	
Brasília	Latitude	-15.87 °S	Albedo
Brazil	Longitude	-47.93 °W	0.20
	Altitude	1061 m	
	Fuso horário	UTC-3	
Dados meteorológicos	Brasília		
	Meteonorm 7.3 (2008-2015) - Síntético		

Resumo do sistema			
Sistema acoplado à rede	Sem desenho 3D de sombras, sem sombras		
Orientação do plano dos módulos	Sombras próximas	Exigências do consumidor	
Plano fixo	Sem sombras	Carga limitada (rede)	
Tilt/Azimuth	10 / 24 °		
Informação do sistema	Inversores		
Grupo FV	Número de unidades		
Número de módulos	28 unidades	1 Unidade	
Prnom total	11.06 kWp	Prnom total 10.00 kWac	
		Rácio Prnom 1.106	

Resumo dos resultados			
Energia produzida	18.99 MWh/ano	Produção específica	1717 kWh/kWp/ano
		Índice de perf. PR	82.45 %

Parâmetros gerais			
Sistema acoplado à rede	Sem desenho 3D de sombras, sem sombras		
Orientação do plano dos módulos	Modelos utilizados	Horizonte	
Orientação	Transposição	Perez	
Plano fixo	Difuso	Perez, Meteonorm	
Tilt/Azimuth	Circumsolar	separado	
10 / 24 °			
Sombras próximas	Exigências do consumidor		
Sem sombras	Carga limitada (rede)		

Características do grupo FV			
Módulo FV	Generic	Inversor	Generic
Fabricante	JKM395M-72-V	Fabricante	Solis-10K
Modelo	(Original PVsyst database)	Modelo	(Custom parameters definition)
Potência unitária	395 Wp	Potência unitária	10.00 kWac
Número de módulos FV	28 unidades	Número de inversores	1 Unidade
Nominal (STC)	11.06 kWp	Potência total	10.0 kWac
Grupo #1 - Grupo FV		Número de inversores	2 * MPPT 33% 0.7 unidades
Número de módulos FV	18 unidades	Potência total	6.7 kWac
Nominal (STC)	7.11 kWp	Tensão de funcionamento	200-800 V
Módulos	2 Strings x 9 Em série	Rácio Prnom (DC/AC)	1.07
Em condições de func. (50°C)			
Prmpp	6.46 kWp		
Umpp	332 V		
Impp	19 A		
Grupo #2 - Sub-grupo #2		Número de inversores	1 * MPPT 33% 0.3 unidades
Número de módulos FV	10 unidades	Potência total	3.3 kWac
Nominal (STC)	3950 Wp	Tensão de funcionamento	200-800 V
Módulos	1 String x 10 Em série	Rácio Prnom (DC/AC)	1.19
Em condições de func. (50°C)			
Prmpp	3591 Wp		
Umpp	369 V		
Impp	9.7 A		
Total PV power		Total inverter power	
Nominal (STC)	11 kWp	Potência total	10 kWac
Total	28 módulos	N.º de inversores	1 Unidade
Superfície módulos	55.5 m²	Rácio Prnom	1.11
Superfície célula	50.2 m²		

Perdas do grupo			
Perdas sujidade grupo	Fator de perdas térm.	Perdas de qualidade dos módulos	
Fração perdas	3.0 %	Temperatura módulos em função irradância	Fração perdas
		Uc (const.)	-0.8 %
		Uv (vento)	
		20.0 W/m²K	
		1.2 W/m²K/m/s	
Perdas dos módulos com disparidade	Perdas devidas a disparidade, em fiação		
Fração perdas	2.0 % no MPP	Fração perdas	0.1 %

Figura 6.11: Dados gerais SFCR. Fonte: autoral

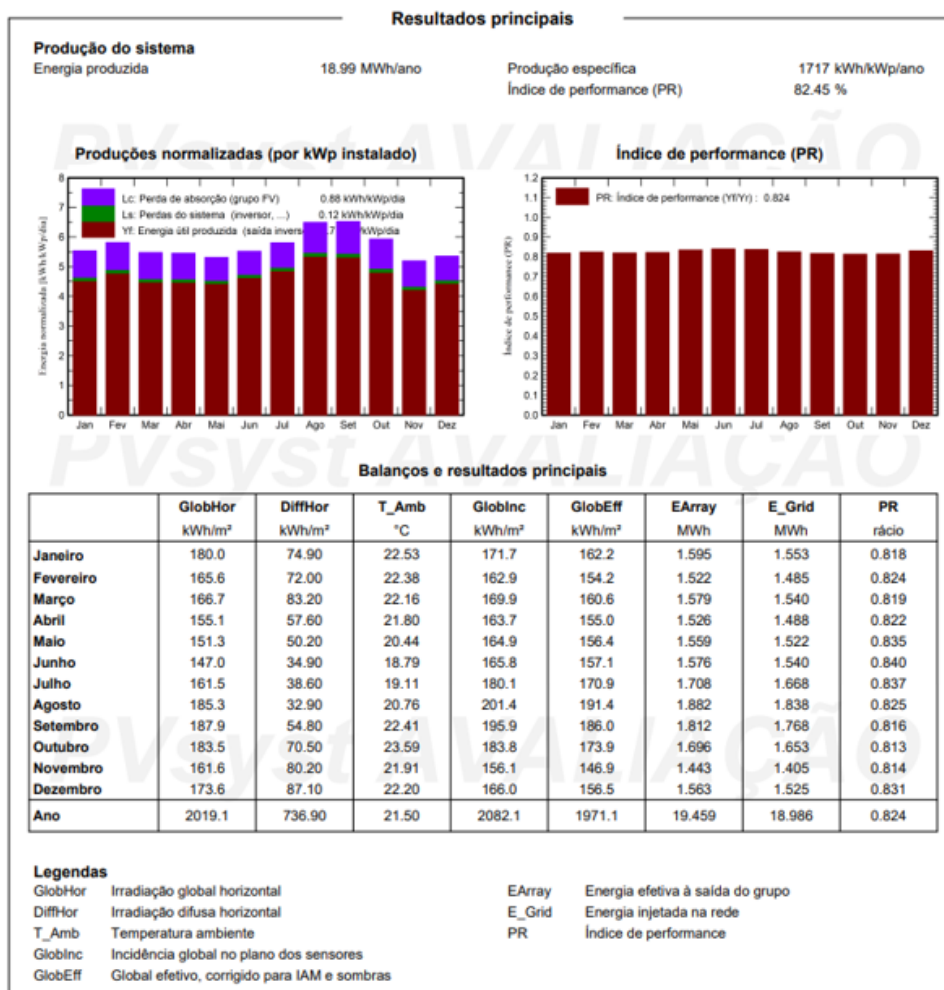


Figura 6.12: Parâmetros e resultados da simulação SFCR - PVSyst. Fonte: autoral

Observa-se, a partir da simulação, que o SFCR possui um PR de 82,45%. Tal valor representa a relação entre o desempenho simulado/real do SFV sobre o desempenho máximo teórico. Verifica-se a diferença dos valores simulados de geração de energia elétrica ao consumo calculado que a usina deveria gerar.

Isso é explicado pelo fato que a geração de energia elétrica do SFCR projetado simulado é superior ao previsto levando em conta o seu consumo de energia elétrica. Observa-se que a energia gerada anualmente pelo SFCR equivale a 11,88% do consumo total anual da FAL e o consumo total do CCBL. Sendo o consumo total o montante consumido descontando-se as cargas atendidas pelo sistema isolado.

6.0.1 Considerações finais

Neste capítulo foi apresentado a forma em que foram realizadas as simulações dos sistemas fotovoltaicos dimensionados a partir do Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos publicado pelo CRESESB, bem como seus resultados.

7 Conclusão

O investimento em fontes alternativas de energia, em especial a energia solar fotovoltaica se faz totalmente necessária, tendo em vista que essa forma de geração de energia atua como vetor de preservação ambiental, autonomia na produção de energia e implementação de uma tecnologia que está em expansão no mundo, sendo importante para o país a busca constante pela inovação.

A energia solar fotovoltaica se caracteriza por ter elevado grau de confiabilidade e pela alta flexibilidade que deriva a capacidade de chegar as localidades remotas às quais a rede convencional não teria acesso e, para as áreas que possuem, propicia o encurtamento entre a geração e consumidor final por meio da autogeração de energia elétrica, sendo vantajosa principalmente pelo abatimento da energia injetada na rede do consumo de energia elétrica da unidade consumidora, reduzindo assim custos de acesso ao insumo essencial para o desenvolvimento da sociedade.

Esse trabalho de conclusão de curso apresenta o projeto de um sistema fotovoltaico isolado (SFI) e de um sistema conectado à rede (SFCR) viabilizando o Centro de Capacitação em Bovinocultura de Leite CCBL, da Fazenda Água Limpa da Fazenda Água Limpa - UnB a abater totalmente seu consumo de energia através da associação de ambos os SFVs.

Observa-se que a metodologia apresentada pelo CRESESB é bastante didática, na qual abrange todo estudo a respeito de componentes e sistemas fotovoltaicos, passando desde a forma de seus dimensionamentos, assim como suas proteções.

Verifica-se, após simulação pelo software PVSyst com base nos dados encontrados a partir do método teórico, que o Manual é um método conservador, uma vez que a utilização de fatores que aplicados recorrentemente nas etapas, torna o SFV sobredimensionado. Todavia, observa-se que o SFCR possui um PR bom, onde além de atender a demanda de consumo de energia elétrica que não foi atendida pelo SFI, ainda há sobras para a injeção na rede, abastecendo assim o equivalente a 11,88% total do consumo de energia elétrica de toda a Fazenda.

Constata-se que devido ao fato do SFI ser dimensionado considerando situações extremas, é justificado que o valor de PR do sistema seja tolerável, uma vez que o atendimento a aplicação foi garantido de forma a assegurar energia o ano inteiro e com produção excedente. É responsável pela redução de 8005 kWh/ano no consumo total da FAL e corresponde a 37,17% da energia elétrica consumida pelo CCBL por ano.

Observa-se a produção de um projeto que atende às normas da ABNT, assim como a NTD

6.09, podendo ser utilizado para solicitação de acesso à rede de distribuição da compensação de energia elétrica do CCBL/FAL.

Para trabalhos futuros. sugere-se com esse trabalho, estudos aprofundados da viabilidade econômico-financeira para a implementação das tecnologias propostas.

8 Referências Bibliográficas

Afumex solar. "Datasheet Cabo Afumex Solar". 2020. Disponível em: [https : //br.prysmiangroup.com/sites/default/files/atoms/files/SO_001_01_PT_Afumex_Solar.pdf](https://br.prysmiangroup.com/sites/default/files/atoms/files/SO_001_01_PT_Afumex_Solar.pdf) . Acessado em: Novembro 2020.

ANEEL, Agência Brasileira de Energia Elétrica. "Resolução normativa número 482/2012". Brasília, DF. 2012.

ANEEL, Agência Brasileira de Energia Elétrica. "Resolução normativa número 414/2010". Brasília, DF. 2010.

ANEEL, Agência Brasileira de Energia Elétrica. "Resolução normativa número 687/2015". Brasília, DF. 2015.

Braga, R. P. "Energia Solar Fotovoltaica: Fundamentos e Aplicações". Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), escola politécnica, Departamento de engenharia elétrica. Rio de Janeiro, 2008.

DINCER, I; ZAMFIRESCU, C. "Advanced Power Generation Systems." Editora Elsevier, primeira edição, p. 656, 2014. ISBN 978-0-12-383860-5.

BMCENERGIA. "Como funcionam?". 2020. Disponível em: <http://www.bmcenergia.com.br/como-funcionam> Acessado em: Novembro de 2020.

BOSO, A. C. M. R; GABRIEL, C. P. C.; FILHO, L. R. A. G. "ANÁLISE DE CUSTOS DOS SISTEMAS FOTOVOLTAICOS ON-GRID E OFF-GRID NO BRASIL." Revista Científica ANAP Brasil, volume 8, número 12 de novembro de 2015. ISSN 1984-3240.

CRESESB, Centro de referência para energias solar e eólica Sérgio de S.Brito. "Radiação Solar". 2014. Disponível em: [http : //www.cresesb.cepel.br/index.php?section = com_content&lang = pt&cid = 301](http://www.cresesb.cepel.br/index.php?section=com_content&lang=pt&cid=301) . Acessado em: novembro de 2020.

DIAS, J. L. M; QUAGLINO, M. .A. "A questão do petróleo no Brasil: uma história da PETROBRAS". Editora FGV, Coleção FGV CPDOC - Artigos, Livros, Papers, p 211. Rio de Janeiro, 1993.

ECO A energia renovável. "Brasil chega a mais de 300 mil sistemas fotovoltaicos na geração distribuída conectados à rede!". Disponível em: <https://www.ecoenergias.com.br/2020/09/29/energia-fotovoltaica-brasil-dados/> . Acessado em: Dezembro de 2020.

EMBRAPA, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. "Resultados Econômicos da Geração de Energia Eólica e Fotovoltaica no Meio Rural". BOLETIM DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO 318. Rio Grande do Sul. 2019. ISSN 1678-2518.

EPE, Empresa de Pesquisa Energética. "Balanço Energético Nacional 2017: Ano base 2016". Rio de Janeiro. 2017.

GOLDEMBERG. J. "Energia e desenvolvimento". Revista Estudos avançados, volume 12, número 33, dossiê de recursos naturais, p. 7-15. Universidade de São Paulo (USP), Instituto de Estudos Avançados. São Paulo, 1998.

HERMISDORFF, C. E. "*Hydrophotovoltaik-modell: psw* paranoá*". Dissertação (*Master of Science*) - *Technische Universitat Bergakademie Freiberg*, p. 122. Brasília, DF, 2018. Disponível em: http://biblioteca.aneel.gov.br/index.asp?codigo_sophia=188473 Acessado em: 16 set. 2020.

HINRICHS, R. A; KLEINBACH, M. "Energia e meio ambiente". Tradução técnica de Flávio Maron Vichi e Leonardo Freire de Mello. Editora Pioneira Thomson Learning, terceira edição. São Paulo, 2003.

IEA, *International Energy Agency*. "*World Energy Outlook 2020*". Paris. 2020. Disponível em: <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2020>. Acessado em: Novembro de 2020.

IEA, *International Energy Agency*. "*Data and statistics*". Paris. 2020. Disponível em: <https://www.iea.org/data-and-statistics/country=World&fuel=Energy%20supply&indicator=TPEsbySource>. Acessado em: Novembro de 2020.

IEA, *International Energy Agency*. "*World Energy Outlook 2018*". Paris. 2018. Disponível em: <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2018> . Acessado em:

Novembro de 2020.

IHS. "Top Solar Power Industry Trends in 2015". 2015. Disponível em: [www.ihc.com/pdf/Top - Solar - PowerIndustry - Trends - for - 2015_213963110915583632.pdf](http://www.ihc.com/pdf/Top_Solar_PowerIndustry_Trends_for_2015_213963110915583632.pdf) . Acessado em: Outubro de 2020

IMAMURA, M.S; HELM, P; PALZ, W. "*Photovoltaic system technology: A european handbook*". Editora Taylor & Francis, primeira edição, p. 566. 1992.

IRENA, *International Renewable Energy Agency*. "*Letting in the Light: How solar photovoltaics will revolutionise the electricity system*". Abu Dhabi. 2016. ISBN 978-92-95111-96-7

Jinko solar. "Datasheet Cheetah HC 72M". 2020. Disponível em: [https://www.jinkosolar.com/uploads/CheetahPerc%20JKM390-410M-72H-\(V\)-A3-EN.pdf](https://www.jinkosolar.com/uploads/CheetahPerc%20JKM390-410M-72H-(V)-A3-EN.pdf) . Acessado em: Novembro de 2020.

Nexans. "Cabo Energyflex BR Afitox 120° (Cu) - 0.6/1 kV". Disponível em: [https : //www.nexans.com.br/eservice/Brazil - ptBR/pdf - family28886/Cabo_Energyflex_BR_Afitox_120_Cu_0_6_1_kV_.pdf](https://www.nexans.com.br/eservice/Brazil-ptBR/pdf-family28886/Cabo_Energyflex_BR_Afitox_120_Cu_0_6_1_kV_.pdf) . Acessado em novembro de 2020.

ONU, Organização das Nações Unidas. "Objetivos de Desenvolvimento Sustentável". 2015. Disponível em: [https : //brasil.un.org/pt - br/sdgs](https://brasil.un.org/pt-br/sdgs) . Acessado em: novembro de 2020.

Pasternak. A. D. "*Global Energy Futures and Human Development: A Framework for Analysis*". Departamento de energia dos estados unidos (*U.S Department of Energy*). Lawrence Livermore National Laboratory. Califórnia, 2000.

PIMENTEL, F. "O Fim da Era do Petróleo e a Mudança do Paradigma Energético Mundial: Perspectivas e Desafios para a Atuação Diplomática Brasileira". Fundação Alexandre Gusmão, Ministério das Relações exteriores, Brasília, DF, 2011.

Pinho. J. T; Galdino. M. A. "Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos." Grupo de trabalho GTES, CEPEL, DTE, CRESESB. Rio de Janeiro, 2014. Disponível em: [http : //www.cresesb.cepel.br/publicacoes/download/Manual_de_Engenharia_FV2014.pdf](http://www.cresesb.cepel.br/publicacoes/download/Manual_de_Engenharia_FV2014.pdf) Acessado em: Novembro de 2020.

Portal Solar. "PORTAL SOLAR ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA CÉLULA SOLAR FOTOVOLTAICA Célula solar fotovoltaica". 2020. Disponível em: <https://www.portalsolar.com.br/celula-fotovoltaica.html> Acessado em: novembro de 2020.

SEBRAE. "Energia Solar: Qual a diferença entre sistemas On Grid e Off Grid?". 2020. Disponível em: <https://respostas.sebrae.com.br/energia-solar-qual-a-diferenca-entre-sistemas-on-grid-e-off-grid/> Acessado em: novembro de 2020.

SHAYANI, R. A. "Medição do Rendimento Global de um Sistema Fotovoltaico Isolado Utilizando Módulos de 32 Células". Dissertação de Mestrado em Engenharia Elétrica, Publicação PPGENE.DM-265/06, Departamento de Engenharia Elétrica, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 184p. 2006.

SILVA, A. J; MUNHOZ, F. C. e CORREIA, P. B. "Qualidade na utilização de energia elétrica no setor rural: problemas, legislação e alternativas". Publicado no encontro de energia no meio rural, quarta edição. Campinas, 2002. Disponível em: http://www.proceedings.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=MSC0000000022002000200047&lng=en&nrm=abn Acessado em: 22 de novembro de 2020.

Simens. "Componentes para instalações elétricas industriais, comerciais e prediais". 2020. Disponível em: <https://www.helenge.com.br/uploads/032cf1eabc37e238074a7db2e5015cfc.pdf> . Acessado em novembro de 2020.

Solargis. "Global Horizontal Irradiation"2016. Disponível em: <https://solargis.com/products/maps-and-gis-data/free/download/world> . Acessado em outubro de 2020.

Solargis. "Global Horizontal Irradiation"2017. Disponível em: <https://solargis.com/products/maps-and-gis-data/free/download/world> . Acessado em outubro de 2020.

Solis. "Datasheet Solis-1P10K-4G". 2020. Disponível em: <https://genyx.com.br/site/wp-content/uploads/2018/10/Solis-1P10K-4G.pdf>. Acessado em: Novembro de 2020.

Tem sustentável. "Controladores de carga, o meio-campo da voltagem nas baterias". 2020. Disponível: <https://www.temsustentavel.com.br/controladores-de-carga-o->

meio – campo/ Acessado em: novembro de 2020.

Villalva, M. G. "Energia solar fotovoltaica: Conceitos e aplicações". Editora Érica, segunda edição. 2015. ISBN-10 : 8536514892

Victron Energy. "Datasheet SmartSolar Charge Controllers.". 2020. Disponível em: <https://www.victronenergy.com/upload/documents/Datasheet-SmartSolar-charge-controller-MPPT-250-60-up-to-250-100-EN-.pdf> . Acessado em: Novembro de 2020.

Victron Energy. "Datasheet Inversor/carregador Quattro.". 2020. Disponível em: <https://www.victronenergy.pt/upload/documents/Datasheet-Quattro-3kVA-15kVA-PT.pdf> . Acessado em: Novembro de 2020.

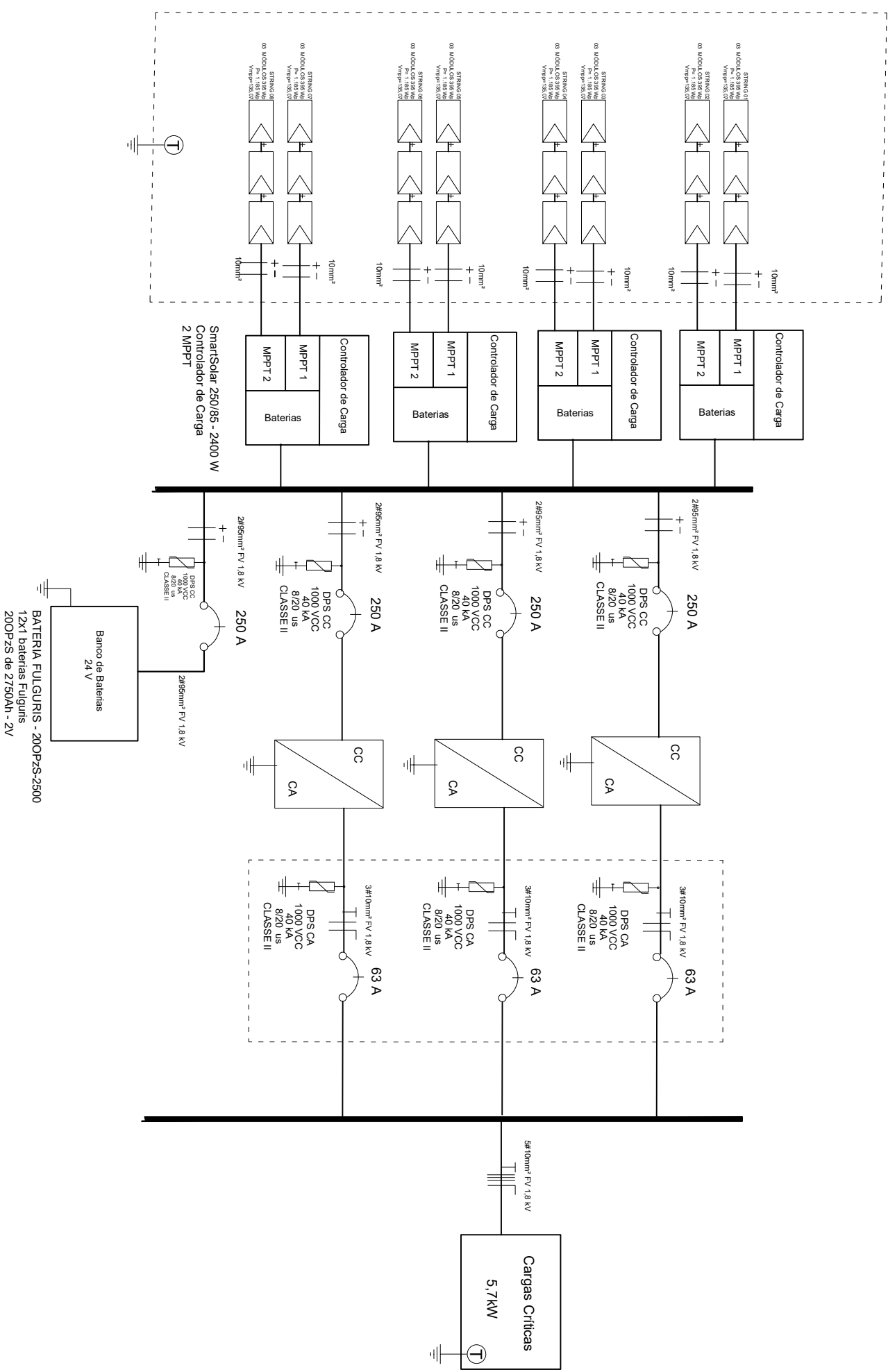
WWF - BRASIL. "Desafios e Oportunidades para a energia solar fotovoltaica no Brasil: recomendações para políticas públicas." Editora Supernova Design, primeira edição p. 40. Brasília, DF, 2015. Disponível em: https://wwfbr.awsassets.panda.org/downloads/15_6_2015_wwf_energ_solar_final_web_3.pdf Acesso em: 30 set. 2020.

ZOBAA, A; ALEEM, S; ABDELAZIZ, A. "*Classical and Recent Aspects of Power System Optimization*". Editora Elsevier, primeira edição, p.586, 2018. ISBN 978-0-12-812441-3.

Anexos

Os anexos a seguir apresentam os diagramas unifilares dos sistemas *off-grid* e *on-grid* dimensionados e projetados neste trabalho.

GERADOR FOTOVOLTAICO - 9,06kWp



SmartSolar 250/85 - 2400 W
Controlador de Carga
2 MPPT

Bateria FULGURIS - 200P-2S-2500
12x1 baterias Fulguris
200P-2S de 2750Ah - 2V

Cargas Críticas
5,7KW

DETALHAMENTO DA PLACA DE ADVERTÊNCIA CONF. DES. NTD 6.09 CEB-D



NOTAS

1. O inversor somente poderá ser conectado na rede da CEB-D após a instalação do medidor bidirecional.
2. O inversor ficará em local de fácil acesso aos funcionários da CEB-D, para posterior visita.
3. O padrão de entrada de energia está em condições técnicas e de conservação próprias para a instalação do medidor de energia.
4. As instalações serão executadas de acordo com a NBR-5410 e 14339 da ABNT.
5. Todos os disjuntores serão verificados pelo INMETRO.
6. A aprovação da visita pela CEB, referente a obra deste projeto, fica condicionada a apresentação da ART (Anotação de Responsabilidade Técnica) de execução assinada no CREA/DF.
7. A placa de advertência deverá ser confeccionada em PVC com espessura mínima de 3mm.

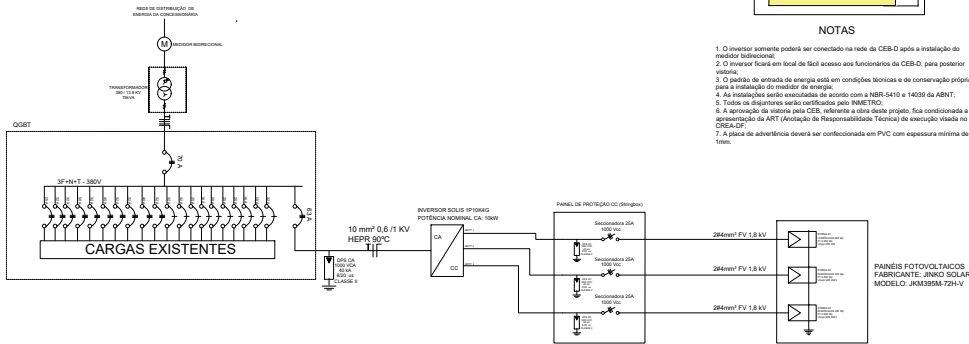
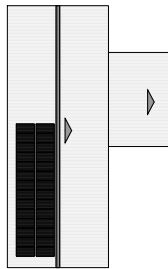
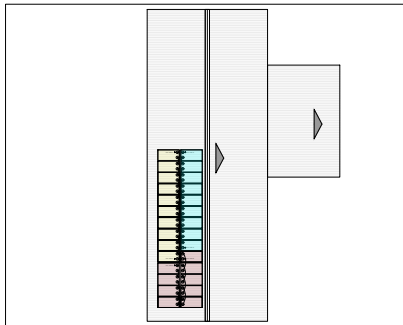


DIAGRAMA UNIFILAR GERAL SEM ESCALA



PLANTA DE COBERTURA
LOCALIZAÇÃO DOS PAINÉIS FOTOVOLTAICOS
ESCALA 1:100



ESQUEMA DE LIGAÇÃO
SEM ESCALA



PLANTA DE SITUAÇÃO

ESPECIFICAÇÃO DOS PAINÉIS FOTOVOLTAICOS	
FABRICANTE: JINKO SOLAR / MODELO: JKM550M-72H-V	
1) QUANTIDADE	2) DIMENSÕES (mm)
3) PICO	4) TENSÃO MÁXIMA (V _{oc})
5) IDENTIFICAÇÃO	6) TENSÃO MÁXIMA (V _{mp})
7) TENSÃO OPERACIONAL (V _{oc})	8) TENSÃO MÁXIMA (V _{mp})
9) CORRENTE MÁXIMA (I _{sc})	10) CORRENTE MÁXIMA (I _{mp})
11) CORRENTE MÁXIMA (I _{op})	12) PERDA POR TEMPERATURA
13) PERDA POR TEMPERATURA	14) PERDA POR TEMPERATURA
ESPECIFICAÇÃO DO INVERSOR SOLAR	
FABRICANTE: SOLAR FOMENTO Selo SP100-02	
1) ESPECIFICAÇÃO DO INVERSOR	2) TENSÃO MÁXIMA (V _{oc})
3) TENSÃO MÁXIMA (V _{mp})	4) TENSÃO MÁXIMA (V _{op})
5) CORRENTE MÁXIMA (I _{sc})	6) CORRENTE MÁXIMA (I _{mp})
7) CORRENTE MÁXIMA (I _{op})	8) PERDA POR TEMPERATURA
9) PERDA POR TEMPERATURA	10) PERDA POR TEMPERATURA
11) PERDA POR TEMPERATURA	12) PERDA POR TEMPERATURA
13) PERDA POR TEMPERATURA	14) PERDA POR TEMPERATURA
15) PERDA POR TEMPERATURA	16) PERDA POR TEMPERATURA
17) PERDA POR TEMPERATURA	18) PERDA POR TEMPERATURA
19) PERDA POR TEMPERATURA	20) PERDA POR TEMPERATURA
21) PERDA POR TEMPERATURA	22) PERDA POR TEMPERATURA
23) PERDA POR TEMPERATURA	24) PERDA POR TEMPERATURA
25) PERDA POR TEMPERATURA	26) PERDA POR TEMPERATURA
27) PERDA POR TEMPERATURA	28) PERDA POR TEMPERATURA
29) PERDA POR TEMPERATURA	30) PERDA POR TEMPERATURA
31) PERDA POR TEMPERATURA	32) PERDA POR TEMPERATURA
33) PERDA POR TEMPERATURA	34) PERDA POR TEMPERATURA
35) PERDA POR TEMPERATURA	36) PERDA POR TEMPERATURA
37) PERDA POR TEMPERATURA	38) PERDA POR TEMPERATURA
39) PERDA POR TEMPERATURA	40) PERDA POR TEMPERATURA
41) PERDA POR TEMPERATURA	42) PERDA POR TEMPERATURA
43) PERDA POR TEMPERATURA	44) PERDA POR TEMPERATURA
45) PERDA POR TEMPERATURA	46) PERDA POR TEMPERATURA
47) PERDA POR TEMPERATURA	48) PERDA POR TEMPERATURA
49) PERDA POR TEMPERATURA	50) PERDA POR TEMPERATURA
51) PERDA POR TEMPERATURA	52) PERDA POR TEMPERATURA
53) PERDA POR TEMPERATURA	54) PERDA POR TEMPERATURA
55) PERDA POR TEMPERATURA	56) PERDA POR TEMPERATURA
57) PERDA POR TEMPERATURA	58) PERDA POR TEMPERATURA
59) PERDA POR TEMPERATURA	60) PERDA POR TEMPERATURA
61) PERDA POR TEMPERATURA	62) PERDA POR TEMPERATURA
63) PERDA POR TEMPERATURA	64) PERDA POR TEMPERATURA
65) PERDA POR TEMPERATURA	66) PERDA POR TEMPERATURA
67) PERDA POR TEMPERATURA	68) PERDA POR TEMPERATURA
69) PERDA POR TEMPERATURA	70) PERDA POR TEMPERATURA
71) PERDA POR TEMPERATURA	72) PERDA POR TEMPERATURA
73) PERDA POR TEMPERATURA	74) PERDA POR TEMPERATURA
75) PERDA POR TEMPERATURA	76) PERDA POR TEMPERATURA
77) PERDA POR TEMPERATURA	78) PERDA POR TEMPERATURA
79) PERDA POR TEMPERATURA	80) PERDA POR TEMPERATURA
81) PERDA POR TEMPERATURA	82) PERDA POR TEMPERATURA
83) PERDA POR TEMPERATURA	84) PERDA POR TEMPERATURA
85) PERDA POR TEMPERATURA	86) PERDA POR TEMPERATURA
87) PERDA POR TEMPERATURA	88) PERDA POR TEMPERATURA
89) PERDA POR TEMPERATURA	90) PERDA POR TEMPERATURA
91) PERDA POR TEMPERATURA	92) PERDA POR TEMPERATURA
93) PERDA POR TEMPERATURA	94) PERDA POR TEMPERATURA
95) PERDA POR TEMPERATURA	96) PERDA POR TEMPERATURA
97) PERDA POR TEMPERATURA	98) PERDA POR TEMPERATURA
99) PERDA POR TEMPERATURA	100) PERDA POR TEMPERATURA
PROJETO DE INSTALAÇÕES	
GERAÇÃO FOTOVOLTAICA	
DIAGRAMA UNIFILAR GERAL DO SISTEMA	
GERADO POR: [Software]	
DATA: [Data]	
LOCAL: [Local]	
PROJETO: [Projeto]	
AUTOR: [Autor]	
REVISOR: [Revisor]	
APROVADO: [Aprovado]	
[Assinatura]	