

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

ROBERSON PEREIRA ZIWICH

**ANÁLISE COMPARATIVA DO DESEMPENHO ENTRE USINAS
FOTOVOLTAICAS FLUTUANTE, EM SOLO E SOBRE UMA EDIFICAÇÃO,
AMBAS NA CIDADE DE CURITIBA-PR**

CURITIBA

2023

ROBERSON PEREIRA ZIWICH

**ANÁLISE COMPARATIVA DO DESEMPENHO ENTRE USINAS
FOTOVOLTAICAS FLUTUANTE, EM SOLO E SOBRE UMA EDIFICAÇÃO,
AMBAS NA CIDADE DE CURITIBA-PR**

**COMPARATIVE ANALYSIS OF PERFORMANCE BETWEEN FLOATING
PHOTOVOLTAIC PLANTS, ON THE GROUND AND ON A BUILDING, BOTH IN
THE CITY OF CURITIBA-PR**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Sistemas de Energia (PPGSE), da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, como requisito parcial para obtenção do título de “Mestre em Engenharia Elétrica”.

Linha de pesquisa: Sistemas de Energia.

Orientador: Prof. Dr. Jair Urbanetz Junior.

Coorientador: Prof. Dr. Gustavo Rafael Collere Possetti.

CURITIBA

2023



[4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/)

Esta licença permite download e compartilhamento do trabalho desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es), sem a possibilidade de alterá-lo ou utilizá-lo para fins comerciais.



Ministério da Educação
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Campus Curitiba



ROBERSON PEREIRA ZIWICH

ANÁLISE COMPARATIVA DO DESEMPENHO ENTRE USINAS FOTOVOLTAICAS FLUTUANTE, EM SOLO E SOBRE UMA EDIFICAÇÃO, AMBAS NA CIDADE DE CURITIBA-PR

Trabalho de pesquisa de mestrado apresentado como requisito para obtenção do título de Mestre Em Engenharia Elétrica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). Área de concentração: Automação E Sistemas De Energia.

Data de aprovação: 29 de Novembro de 2023

Dr. Jair Urbanetz Junior, Doutorado - Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Dr. Gerson Maximo Tiepolo, Doutorado - Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Dr. Joao Americo Vilela Junior, Doutorado - Universidade Federal do Paraná (Ufpr)

Documento gerado pelo Sistema Acadêmico da UTFPR a partir dos dados da Ata de Defesa em 29/11/2023.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus pelo dom da vida.

Agradeço a meus pais pela força e auxílios em momentos especiais.

Agradeço a minha esposa e filhos pelos momentos únicos.

Agradeço ao meu orientador Prof. Dr. Jair Urbanetz Junior, pela sabedoria com que me guiou nesta trajetória.

Agradeço ao meu Coorientador Prof. Dr. Gustavo Rafael Collere Possetti e ao Prof. Dr. Leandro Alberto Novak, pelo apoio e incentivo neste caminho.

Agradeço a Companhia de Saneamento do Paraná pela cooperação.

Certamente estes parágrafos não irão atender a todas as pessoas que fizeram parte dessa importante fase de minha vida. Portanto, desde já peço desculpas àquelas que não estão presentes entre essas palavras, mas elas podem estar certas de que fazem parte do meu pensamento e de minha gratidão.

Enfim, a todos os que por algum motivo contribuíram para a realização desta pesquisa.

RESUMO

ZIWICH, Roberson Pereira., **Análise comparativa do desempenho entre usinas fotovoltaicas flutuante, em solo e sobre uma edificação, ambas na cidade de Curitiba-Pr.** 123p. 2023. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2023.

A demanda por energia tem crescido ano após ano, e há a necessidade de incremento energético e disponibilização no sistema interligado nacional, de modo a abastecer todos os consumidores brasileiros, seja residencial, industrial e comercial, contudo para atender a demanda de forma sustentável há acordos internacionais como o COP21 que orientam este incremento para que seja realizado com sustentabilidade ambiental, objetivando a redução da emissão de gases do efeito estufa, buscando o desenvolvimento de tecnologia de geração de energia elétrica sustentáveis e eficientes. Especificamente os sistemas de geração distribuído na modalidade fotovoltaica tem tido um crescimento significativo segundo dados da ANEEL, contudo a modalidade de geração distribuída fotovoltaica flutuante, tem iniciado seus estudos no Brasil. O objetivo deste trabalho é demonstrar comparativos de índice de mérito entre sistemas de geração de energia elétrica fotovoltaico na modalidade flutuante, fixo em solo e fixo em cobertura de edificações, facilitando a avaliação de quais modos de instalação tem obtido maior eficiência. O método utilizado foi o de elaborar um comparativo de dados através dos índices de mérito possibilitando a comparação de diferentes usinas fotovoltaicas em uma pequena região no estado do Paraná, incluindo a elaboração de comparativo de cálculos de geração de energia esperado em cada usina e o efetivamente obtido e entregue. Esta pesquisa pode ser aplicada em diversas áreas, incluindo a área do saneamento, devido a características eletrointensiva dessas empresas, que demandam grande quantidade de energia elétrica para manter todo o sistema de abastecimento de água e coleta e tratamento e esgoto. Estas empresas normalmente possuem represas e áreas alagadas que possibilitam a aplicação de sistemas fotovoltaicos flutuantes, em regiões próximas aos grandes centros urbanos, fato que favorece o investimento devido à redução de infraestrutura necessária, contudo este não é o único fator que favorece tal estudo, outros benefícios indiretos são possíveis como a redução da evapotranspiração, redução da proliferação de algas entre outros benefícios possíveis como a redução das tarifas. Como conclusão, obteve-se que o rendimento das plantas no geral foi muito próximo, contudo pequenas variações são notadas em função dos microclimas em cada área de instalação. Este trabalho ainda apresenta desempenhos reais de usinas em operação e que apresentam problemas ao longo do período estudado.

Palavras-chave: Energia elétrica. Sistemas fotovoltaicos. Índices de mérito. Paraná.

ABSTRACT

ZIWICH, Roberson Pereira., Comparative analysis of the performance between floating photovoltaic plants, on the ground and on a building, both in the city of Curitiba-Pr. 123p. 2023. Dissertation (Master's in Electrical Engineering) – Federal Technological University of Paraná, Curitiba, 2023.

The demand for energy has grown year after year, and there is a need to increase energy and make it available in the national interconnected system, in order to supply all Brazilian consumers, whether residential or commercial, however, to meet the demand in a sustainable way, there are international agreements such as COP21 that guide this increase so that it is carried out with environmental sustainability, aiming to reduce greenhouse gas emissions, seeking the development of sustainable and efficient electricity generation technology. Specifically, distributed generation systems in the photovoltaic modality have seen significant growth according to data from ANEEL, however the floating photovoltaic distributed generation modality has begun its studies in Brazil. The objective of this work is to demonstrate comparisons of the merit index between photovoltaic electrical energy generation systems in floating mode, fixed on the ground and fixed on the roof of buildings, facilitating the evaluation of which installation modes are more efficient. The method used was to prepare a comparison of data through merit indices, enabling the comparison of different photovoltaic plants in a small region in the state of Paraná, including the elaboration of a comparison of expected energy generation calculations in each plant and the obtained It is delivered. This research can be applied in several areas, including the sanitation area, due to the electro-intensive characteristics of these companies, which require a large amount of electrical energy to maintain the entire water supply, collection, treatment and sewage system. These companies normally have dams and flooded areas that enable the application of floating photovoltaic systems, in regions close to large urban centers, a fact that favors investment due to the reduction in necessary infrastructure, however this is not the only factor that favors such a study, others indirect benefits are possible such as reduced evapotranspiration, reduced regulation of algae among other possible benefits such as reduced tariffs. As we concluded, we found that the yield of the plants in general was very close, however small variations are noted in the function of the microclimates in each installation area. This work also presents real performances of plants in operation that present problems throughout the trained period.

Keywords: Electricity. Photovoltaic systems. Performance ratio. Paraná.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Capacidade Instalada por Estado.	21
Figura 2 - Carga de energia, comparativo anual	22
Figura 3 - Valores de Irradiação Total (HTOT) e de Produtividade Gerada Estimada Total Anual no plano inclinado encontrados nos estados e no Brasil para uma TD 75%.	26
Figura 4 - Comparação dos valores médios de irradiação e de produtividade do Estado do Paraná em relação aos países europeus.	27
Figura 5 - Figura de mérito de valor/eficiência/geração	32
Figura 6 - Relação custos ano a ano	32
Figura 7 - Evolução da eficiência das diferentes tecnologias de células fotovoltaicas desde a década de 1970.	33
Figura 8 - Ilustração módulos fotovoltaicos fixos em telhado.	34
Figura 9 - Ilustração módulos fotovoltaicos fixos em parede.	35
Figura 10 - Ilustração módulos fotovoltaicos fixos em estruturas metálicas.	35
Figura 11 - Ilustração de BIPV utilizando módulos fotovoltaicos na fachada de edificação com interação com o ambiente externo.	36
Figura 12 - Ilustração de BIPV utilizando módulos fotovoltaicos na fachada de edificação.	36
Figura 13 - Ilustração de BIPV utilizando módulos fotovoltaicos em telhado de edificação.	37
Figura 14 - Tipos de sistemas fotovoltaicos.	39
Figura 15 - Ilustração Básica de sistema fotovoltaico de pequeno porte conectado à rede de distribuição de energia elétrica.....	40
Figura 16 - Inversores do primeiro sistema de geração fotovoltaica homologado e conectado à rede da COPEL – Propriedade ELCO.	41
Figura 17 - Configurações de SFCR: a) inversor central; b) inversor por string c) inversor multi-string; d) módulo CA;	41
Figura 18 - Fluxo de energia em um SFCR.....	47
Figura 19 - Exemplos hipotéticos de perfis de consumo com diferente fração de consumo direto.....	47
Figura 20 - Estrutura de fixação módulos fotovoltaicos em telhado de fibrocimento.	50
Figura 21 - Estrutura de fixação módulos fotovoltaicos em telhado de telhas de barro.	50
Figura 22 - Estrutura de fixação módulos fotovoltaicos em telhado de kalhetão.	50
Figura 23 - Estrutura de fixação de módulos fotovoltaicos em solo com estrutura metálica	51
Figura 24 - Estrutura de fixação de módulos fotovoltaicos em solo com estrutura para estacionamento de veículos.	51
Figura 25 - Estrutura de fixação de módulos fotovoltaicos flutuante.	51
Figura 26 - Geração de eletricidade por tipo de estação de energia “World Electricity generation by power station type”, escala em PWh/ano (1000TWh/ano).....	54

Figura 27 - Percentual total de custos de sistemas fotovoltaicos flutuantes - UFVF e montados em terra – GM FV	55
Figura 28 – Implantação da fazenda solar flutuante na barragem de Sirindhorn em Ubon Ratchathani.....	57
Figura 29 - Projeto unifilar de conexão da usina flutuante.....	60
Figura 30 - Local de controle e instalação de equipamentos da usina flutuante	61
Figura 31 - Local onde está instalado o sistema de geração de energia flutuante	61
Figura 32 - Sistema de geração de energia flutuante montado, vista específica do sistema.....	62
Figura 33 - Sistema de geração em operação, vista de terra possibilitando verificar o acesso.....	62
Figura 34 - Sistema de geração em operação.	63
Figura 35 - Estação de geração em solo / EPESOL – Estação de Pesquisa de energia solar UTFPR Curitiba.	64
Figura 36 - Estação de geração em solo, em específico demarcado a tecnologia de policristalino.....	64
Figura 37 - Instalação no telhado de edificação, vista mais específica do sistema. ...	66
Figura 38 - Instalação no telhado de edificação, vista da edificação completa.	66
Figura 39 - Instalação no telhado de edificação, instalação de conversores de frequência.....	67
Figura 40 - Instalação no telhado de edificação, sala dos conversores e painéis elétricos.	67
Figura 41 - Instalação no telhado de edificação, mais específico dos sistemas.....	67
Figura 42 – Estação solarimétrica SONDA campus Curitiba.....	69
Figura 43 - Software Radasol 15°.....	75
Figura 44 - Geração de energia Inversor 50kW	77
Figura 45 - Geração de energia Inversor 60kW	78
Figura 46 – Adversidades no sistema de geração em telhado com para raio ao meio da instalação	104
Figura 47 – Adversidade no sistema de geração flutuante, com bloco de ancoragem em aparente em solo.....	105
Figura 48 – Adversidade no sistema de geração flutuante, com módulos fora da posição e danificados 01.....	105
Figura 49 – Adversidade no sistema de geração flutuante, com módulos fora da posição e danificados 02.....	105
Figura 50 – Adversidade no sistema de geração flutuante, com sistema apoiado em solo.....	106
Figura 51 – Adversidade no sistema de geração flutuante, com passarela apoiada em solo.....	106
Figura 52 – Adversidade no sistema de geração flutuante, apresentando ângulo em solo.....	106
Figura 53 – Adversidade no sistema de geração flutuante, desalinhamento dos módulos fotovoltaico, com o apoio em solo.....	107

Figura 54 – Adversidade no sistema de geração flutuante, sujidade da água sob as instalações.	107
Figura 55 – Adversidade no sistema de geração flutuante, acumulo de material não apropriado sob as instalações dos sistemas.	107
Figura 56 – Adversidade no sistema de geração flutuante, ancoragem dos módulos no flutuador inadequada.	108
Figura 57 – Adversidade no sistema de geração flutuante, perfil de fixação dos módulos nos flutuadores.	108
Figura 58 - Adversidade no sistema de geração flutuante, sistema semi apoiado em solo.	108

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Composição matriz elétrica brasileira de usinas centralizadas/Capacidade instalada	17
Tabela 2 - Matriz elétrica na capacidade instalada do estado do Paraná	18
Tabela 3 - Dados da UFV flutuante da represa do Passaúna.	59
Tabela 4 - Dados da UFV em solo na UTFPR	63
Tabela 5 - Dados da UFV instalada em telhado/laje sede SANEPAR.	65
Tabela 6 - Equipamentos da Estação Sonda da UTFPR	68
Tabela 7 - Número de dias em cada mês considerado nos cálculos	70
Tabela 8 - Dados de geração de energia da usina flutuante - SANEPAR.....	71
Tabela 9 - Produtividade da usina flutuante – SANEPAR (kWh/kW _{pico}).	72
Tabela 10 - Fator de Capacidade da usina flutuante – SANEPAR (%).	74
Tabela 11 - Dados de irradiação no plano horizontal (kW/m ² .dia) da estação solarimétrica da sede neoville - UTFPR, no plano inclinado na latitude 15° calculado por software RADIASOL.....	76
Tabela 12 – Cálculo de taxa de performance da usina flutuante – SANEPAR (%). ..	76
Tabela 13 - máxima temperatura dos módulos fotovoltaicos	79
Tabela 14 – Temperatura ambiente nas mesmas datas da máxima temperatura dos módulos fotovoltaicos	81
Tabela 15 - Temperatura na água nas mesmas datas da máxima temperatura dos módulos fotovoltaicos	83
Tabela 16 - Dados de geração de energia da usina sede NEOVILLE - UTFPR	87
Tabela 17 – Produtividade (Yield) da usina sede NEOVILLE – UTFPR (kWh/kW _{pico}).	88
Tabela 18 - Fator de Capacidade da usina sede NEOVILLE – UTFPR (%).	89
Tabela 19 - Dados de irradiação no plano horizontal (kW/m ² .dia) da estação solarimétrica da sede neoville – UTFPR, e no plano horizontal 0° e no plano inclinado na latitude 25°.	90
Tabela 20 – Cálculo de taxa de performance da usina sede neoville – UTFPR (%). ..	91
Tabela 21 - Temperatura no módulo e temperatura ambiente no mesmo momento.	93
Tabela 22 - Dados de geração de energia da usina em telhado - SANEPAR.....	96
Tabela 23 - Produtividade da usina em telhado - SANEPAR (kWh/kW _{pico}).	97
Tabela 24 - Fator de Capacidade da usina em telhado - SANEPAR (%).	98
Tabela 25 - Dados de irradiação no plano horizontal (kW/m ² .dia) da estação solarimétrica da sede neoville – UTFPR, e dados no plano inclinado 25° com desvio azimutal de 30° oeste utilizando o software RADIASOL.	99
Tabela 26 – Cálculo de taxa de performance da usina em telhado - SANEPAR (%).	100

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1 - Produtividade	43
Equação 2 - Produtividade final.....	43
Equação 3 – Rendimento Global.....	44
Equação 4 - Fator de capacidade	45

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Temperatura Máxima do mês do sistema flutuante	85
Gráfico 2 - Temperatura do sistema flutuante	86
Gráfico 3 - Temperatura do sistema em solo	95
Gráfico 4 - Comparativo de fator de capacidade	101
Gráfico 5 - Comparativo de Yield	102
Gráfico 6 - Comparativo de Performance	103
Gráfico 7 - Comparativo de fator de capacidade	109
Gráfico 8 - Comparativo de Yield	110
Gráfico 9 - Comparativo de Performance	111

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E ACRÔNIMOS

AC	Tensão Alternada
ACL	Ambiente de Contratação Livre
AM	Espectro Solar
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
A-Si	Silício amorfo
ASTM	Sociedade Americana para Testes e Materiais
AT	Alta Tensão
BAPV	Painéis Solares Aplicados à Construção
BIPV	Painéis Solares Integrados à Construção
BT	Baixa Tensão
CA	Corrente Alternada
CC	Corrente Contínua
CCEE	Câmara de Comércio de Energia Elétrica
CdTe	Telureto de Cádmio
CIGS	Disseleneto de Cobre, Índio e Gálio
CIS	Disseleneto de Cobre e Índio
COPE 21	21ª Conferência das Partes das Nações Unidas
CTP	Condição Padrão de Teste
DC	Tensão Contínua
E	Energia
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
FC	Fator de Capacidade
FER	Fontes de Energia Renovável
FGV	Fundação Getúlio Vargas
FPV	Fotovoltaica Flutuante
FV	Fotovoltaico
GC	Geração Centralizada
GD	Geração Distribuída
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IEA	Agência Internacional de Energia
IEC	Comissão Eletrotécnica Internacional
MME	Ministério de Minas e Energia

NEPA	Lei de Política Ambiental Nacional – EUA
NOAA	Administração Oceânica e Atmosférica Nacional – EUA
NREL	Laboratório Nacional de Energia Renovável – EUA
PEE	Programa de Eficiência Energética
PQ	Pontos Quânticos
PR	Rendimento Global
PROCEL	Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica
PV	Energia Fotovoltaica
RN	Resolução Normativa
SANEPAR	Companhia de Saneamento do Paraná
SFV	Sistema Fotovoltaico
SFVCR	Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede
SFVI	Sistema Fotovoltaico Isolado
SIGA	Sistema de Informações de Geração da ANEEL
UTFPR	Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Yf	Rendimento Final
Yr	Rendimento Referencia

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	16
1.1 PANORAMA BRASIL.....	21
1.2 DELIMITAÇÃO DO PROBLEMA E MOTIVAÇÃO.....	22
1.3 OBJETIVOS.....	23
1.3.1 Objetivo Geral.....	23
1.3.2 Objetivos Específicos.....	23
1.4 JUSTIFICATIVA.....	23
1.5 ENERGIA E MEIO AMBIENTE.....	24
1.6 ESTRUTURA.....	28
2 REVISÃO LITERÁTURA.....	29
2.1 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	29
2.1.1 Energia Solar.....	29
2.1.2 Tipos, componentes e funcionamento de SFVCR.....	38
2.1.3 Desempenho de sistemas.....	42
2.1.3.1 Produtividade final.....	43
2.1.3.2 Rendimento Global.....	44
2.1.3.3 Fator de Capacidade.....	44
2.1.3.4 Modelo de negócio.....	45
2.1.3.5 Sistemas de geração fotovoltaica flutuante.....	48
2.2 ESTAÇÕES SOLARIMÉTRICAS.....	52
2.3 ESTADO DA ARTE.....	53
2.3.1 Sistemas e/ou perspectivas no Brasil.....	55
2.3.2 Sistemas e/ou perspectivas no Mundo.....	55
2.3.3 Sinergia.....	56
3 METODOLOGIA E MATERIAIS.....	58
3.1 OBJETOS DE ESTUDO.....	58
3.1.1 Usina fotovoltaica flutuante.....	58
3.1.2 Usina fotovoltaica em solo.....	63
3.1.3 Usina fotovoltaica em telhado/laje.....	65
3.2 ESTAÇÃO SOLARIMÉTRICA CAMPUS NEOVILLE.....	68
3.3 CONSIDERAÇÕES GERAIS PARA OS MÉTODOS E MATERIAIS.....	70
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	71
4.1 USINA FOTOVOLTAICA FLUTUANTE.....	71

4.2 COMPARATIVO DO SFV FLUTUANTE – TEMPERATURA MÁXIMA NOS MÓDULOS NO MÊS COM TEMPERATURA AMBIENTE E TEMPERATURA DA ÁGUA NOS RESPECTIVOS MOMENTOS.....	85
4.3 COMPARATIVO DO SFV FLUTUANTE – TEMPERATURA NOS MÓDULOS NO MÊS COM TEMPERATURA AMBIENTE E TEMPERATURA DA ÁGUA NOS RESPECTIVOS MOMENTOS DA MAXIMA TEMPERATURA DA PLANTA DO SISTEMA UTFPR NEOVILLE.	86
4.4 USINA FOTOVOLTAICA EM SOLO.	87
4.5 COMPARATIVO DO SFV EM SOLO – TEMPERATURA MÁXIMA NOS MÓDULOS NO MÊS COM TEMPERATURA AMBIENTE NOS RESPECTIVOS MOMENTOS.	95
4.6 USINA FOTOVOLTAICA EM COBERTURA.....	96
4.7 COMPARATIVO DO FATOR DE CAPACIDADE	101
4.8 COMPARATIVO DO YIELD	102
4.9 COMPARATIVO DA PERFORMANCE.....	103
4.10 ADVERSIDADES OCORRIDAS DURANTE O DESENVOLVIMENTO DOS TRABALHOS.....	104
4.11 COMPARATIVO DO FATOR DE CAPACIDADE PARA PERIODO ESPECÍFICO.....	109
4.12 COMPARATIVO DO YIELD PARA PERIODO ESPECÍFICO	110
4.13 COMPARATIVO DA PERFORMANCE PARA PERIODO ESPECÍFICO	111
5 CONCLUSÃO E CONSIDERAÇÕES FINAIS	112
REFERÊNCIAS.....	116

1 INTRODUÇÃO

A sustentabilidade do planeta é um assunto que vem sendo pautado em diversas discussões mundiais, e leva em consideração diversos itens; a redução de emissão de gases, redução de consumo de água, redução do consumo de energia elétrica, redução e reutilização de materiais entre outros itens, contudo o consumo de energia elétrica per capita tem crescido ano após ano (MUNDI, 2021).

O enfoque na sustentabilidade vem à tona após a ocorrência de eventos climáticos adversos, uma tentativa de melhorar a sustentabilidade global gerou o acordo de Paris, que entrou em vigor em 2016 com a participação de diversos países, um dos principais objetivos é conter o aquecimento global, com a redução da emissão de gases que geram o efeito estufa, este acordo foi discutido e negociado na 21ª Conferência das Partes das Nações Unidas - COP 21, e trata entre vários itens, da redução da queima de combustíveis fósseis.(COP21, 2015)

A geração energia elétrica pode agravar ou colaborar com a sustentabilidade, a eletricidade pode ser gerada de diversas formas, estão entre elas, como por exemplo, termoeletricas, usinas a carvão, estas são tratadas como usinas que utilizam combustíveis fósseis para movimentar os geradores de energia elétrica. Contudo há outras formas de se obter energia elétrica, como por exemplo as usinas nucleares, usinas eólicas, usinas hidroelétricas, usinas solares entre outras que utilizam outras fontes, como por exemplo energia dos ventos, irradiação solar, energia potencial das águas, entre outras.

O aquecimento global e as mudanças climáticas são os novos desafios da humanidade, podendo agravar condições climáticas fortemente ligada à queima de combustíveis fósseis. Por este motivo, a busca por Fontes de Energia Renovável - FER aumentou fortemente na última década com uma importância avassaladora no setor elétrico. A Geração de energia Fotovoltaica Flutuante tem sido utilizada em diversos países do globo, e pode se consolidar como uma tecnologia de geração de energia sustentável para o futuro.

Os impactos ou resíduos dependem dos modos de geração, algumas usinas, como as usinas nucleares, geram resíduos radiativos, que são fluidos que tiveram exposição direta com a radiação, as usinas hidroelétricas geram impacto ambiental pelo alagamento de grandes áreas, e que afetam o ecossistema, as usinas solares, podem gerar resíduos na fabricação de seus componentes, ou no descarte e

substituição dos módulos caso não haja uma política de descarte de resíduos adequada para cada situação, entre outras condições.

A geração de energia elétrica possui diversos modelos de geração, dois principais são chamados de Geração Centralizada – GC e Geração Distribuída - GD, e que possuem diferenças significativas em diversos pontos, a centralizada é caracterizada pela geração de energia com o objetivo de comercializá-la, já a distribuída geralmente possui menor potência e está presente próximo ou no ponto de consumo.

Segundo o “Boletim Energético, da FGV energia” FGV (2018). A oferta de energia elétrica com baixo custo está relacionada a possibilidade de crescimento do Produto Interno Bruto - PIB dos países, entre outras relações possíveis. Com isso o aproveitamento das diversas formas de geração, incluindo a geração distribuída pode favorecer ou acrescentar obstáculos no desenvolvimento de nações, podendo ainda, contribuir para a redução da emissão de gases e geração resíduos.

A matriz elétrica brasileira (tabela 1) é composta principalmente por usinas hidroelétricas que compõem aproximadamente 52% da geração atual, e usinas que utilizam combustíveis fósseis somam aproximadamente 23% dos sistemas de geração elétrica, os outros 25% são divididos entre sistema de geração alimentados por biomassa, radiação solar, energia eólica, nuclear e energia das marés. Já para o estado do Paraná (tabela 2) sua principal fonte de geração é hidroelétrica. (ANEEL/SIGA, 2023)

Tabela 1 - Composição matriz elétrica brasileira de usinas centralizadas/Capacidade instalada

Tipo	Quantidade	Potência Outorgada (kW)	Potência Fiscalizada (kW)	% (Pot. Fiscalizada)
UHE	221	103.580.021,00	103.195.357,00	52,73%
UTE	3124	56.405.036,61	46.457.481,01	23,74%
EOL	1616	54.511.543,86	26.983.823,86	13,79%
UFV	21162	141.604.304,97	10.436.529,55	5,33%
PCH	532	7.210.243,22	5.777.492,56	2,95%
UTN	3	3.340.000,00	1.990.000,00	1,02%
CGH	714	890.514,66	874.959,66	0,45%
Total	27372	367.541.664,32	195.715.643,64	100,00%

Fonte – (ANEEL/SIGA, 2023)

Tabela 2 - Matriz elétrica na capacidade instalada do estado do Paraná

Tipo	Quantidade	Potência Outorgada (kW)	Potência Fiscalizada (kW)	% (Pot. Fiscalizada)
UHE	17	15.078.471,00	15.018.609,00	85,61%
UTE	110	1.924.262,35	1.917.962,35	10,93%
PCH	58	754.189,10	496.279,10	2,83%
CGH	71	92.464,23	92.464,23	0,53%
UFV	36	15.949,31	15.949,31	0,09%
EOL	1	2.500,00	2.500,00	0,01%
Total	293	17.867.835,99	17.543.763,99	100,00%

Fonte – (ANEEL/SIGA, 2023)

A energia elétrica tem papel fundamental para o desenvolvimento da sociedade em geral, e,

Desde 17 de abril de 2012, quando entrou em vigor a Resolução Normativa - RN ANEEL nº 482/2012, o consumidor brasileiro pode gerar sua própria energia elétrica a partir de fontes renováveis ou cogeração qualificada e inclusive fornecer o excedente para a rede de distribuição de sua localidade. Trata-se da microgeração e da minigeração distribuídas de energia elétrica, inovações que podem aliar economia financeira, consciência socioambiental e autossustentabilidade.(ANEEL, 2020).

No início de 2020, a eclosão da pandemia da COVID-19 alterou de forma significativa o cenário econômico mundial e nacional, revertendo às expectativas apresentadas no Planejamento Anual da Operação Energética 2020-2024 em dezembro de 2019.(Nota Técnica - EPE 2020)

A avaliação e o planejamento das operações relacionadas aos sistemas energéticos, são imprescindíveis para uma condição de expansão da economia em determinado país ou região.

“A Câmara de Comércio de Energia Elétrica – CCEE relatou uma mudança no perfil de Consumo de Energia Elétrica em meio a Pandemia de COVID-19 em todo o Brasil. Os setores com as maiores reduções de consumo são: Automobilístico, Têxteis, Serviços, Manufaturados, Minerais não metálicos e Comércio, isso representa em torno de 68% de queda de consumo no Ambiente de Contratação Livre - ACL. Por outro lado, mesmo em meio à pandemia, o perfil de consumo de alguns setores tais como: Madeira, Papel & Celulose, alimentício e Metálico tiveram um leve aumento devido ao aumento em sua demanda” (CCEE, 2020).

Todas as mudanças, seja no ramo de atividade ou na quantidade, ainda demandam crescimento na produção de energia elétrica, segundo a Empresa de Pesquisa Energética – EPE - Ministério de Minas e Energia - MME,

O consumo final de energia cresce à taxa média de 1,9% anuais entre 2016 e 2026. A intensidade energética reduz no período, graças à eficiência energética e a uma mudança na participação dos setores no consumo de energia (MME; EPE, 2017).

Os sistemas de GD, podem aliviar os sistemas de geração e transmissão de forma significativa no futuro, bem como, tem criado mais oportunidades em função do cenário brasileiro. Segundo a ANEEL/SISGD (09/2023), há 2.105.827 unidades de GD espalhadas pelo Brasil, totalizando a potência instalada de 23.602.851,86kW, considerando apenas geração solar há um total de 2.105.117 com potência instalada de 23.346.838,02kW. Segundo Urbanetz (2010) A possibilidade de gerar energia elétrica a partir de módulos fotovoltaicos no entorno das edificações só tem a contribuir com a redução dos problemas inerentes às formas convencionais de geração.

As possibilidades vão além dos telhados, lajes e estacionamentos, há discussões e possibilidades sobre a utilização de grandes áreas alagadas para a implantação projetos de sistemas de geração fotovoltaicas em represas, lagos e mares.

Diversos fatores depõem favoravelmente à energia solar fotovoltaica, como: o alto rendimento energético por hectare (cinco vezes maior que a eólica e dez vezes maior que a cana-de-açúcar). Além disso, fotovoltaicos são silenciosos, modulares, utilizam combustível gratuito e possuem baixo custo operacional e de manutenção. No entanto, dois grandes desafios necessitam ser vencidos para que a energia solar fotovoltaica atinja todo o seu potencial: o custo de geração/implantação e armazenamento da energia, e estes necessitam ser menor que os de combustíveis fósseis. (ELY, 2014)

Dessa forma surge uma nova possibilidade ou um novo ambiente para instalação de sistemas fotovoltaicos, com muito potencial de crescimento e aproveitamento, e em alguns casos, próximos de grandes centros urbanos de consumo, mas que deve ser avaliado para otimizar os sistemas de geração em função das características do seu entorno, são eles os sistemas de geração de energia

elétrica através de sistema fotovoltaico flutuante, podendo se enquadrar tanto em GD ou GC dependendo das características do sistema.

No panorama mundial, há pesquisas relacionadas ao ganho de sistemas flutuantes com a redução da evapotranspiração e o aumento do rendimento de geração de energia elétrica através de módulos fotovoltaicos por unidade de área (m^2), uma justificativa a ser pesquisada é a relação com a temperatura nos módulos, são os estudos sobre a proliferação de algas, nas regiões onde se instala módulos fotovoltaicos flutuantes, uma vez que há redução de irradiação solar nas áreas alagadas. Em casos específicos, pode-se obter outros benefícios indiretos, que podem ser avaliados e quantificados devido as reduções de erosões em barragens devido às chuvas, uma vez que os módulos se tornam uma barreira entre o solo e as gotas da chuva, podendo preservar ainda mais sua margem dependendo do modo de instalação.

Dentre as diversas empresas presentes no Brasil, as empresas no ramo de saneamento, possuem características peculiares, normalmente estas empresas possuem um alto consumo de energia elétrica para manter em operação os sistemas de bombeamento, outra característica relevante é a necessidade de barragens e áreas alagadas para utilizar como reservatórios de água de forma a regular sua disponibilidade.

Dessa maneira para se ter um desenvolvimento sustentável gerando um crescimento efetivo refletido no PIB, o aumento da geração de energia elétrica de forma sustentável e com valor acessível é o grande desafio das próximas décadas, e uma alternativa que tem se mostrado viável é o crescimento da potência instalada de geração distribuída.

Quando o renomado arquiteto britânico Sir Norman Foster afirmou que “Arquitetura Solar não é sobre moda, mas sobre sobrevivência”, ele condensou um fenômeno altamente complexo em uma análise simples, mas emblemática, já que cerca de 40% da demanda energética mundial é consumida por edifícios. Diante do suprimento limitado de combustíveis fósseis e urânio, a mudança para as energias renováveis é inevitável e simplesmente vital. As décadas de transição para a neutralidade climática estão sendo e ainda serão marcadas pela atividade mundial em pesquisa e desenvolvimento, uma transferência incessante de tecnologia e um mercado altamente competitivo em todos os setores de comercialização de energia renovável. (Heinstein, 2013)

1.1 PANORAMA BRASIL

O Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) é o órgão oficial que tem a missão institucional de "Retratar o Brasil com informações necessárias ao conhecimento de sua realidade e ao exercício da cidadania." (IBGE, 2021).

Atualmente o país possui uma população estimada em 203 milhões de habitantes segundo o IBGE (2022), uma grande parte dessa população pode utilizar a energia elétrica de modo a atender suas necessidades, o sistema interligado nacional pode ser abastecido por sistemas de geração, sistemas estes que utilizam diversos combustíveis, e segundo a ANEEL/SIGA (2023) a capacidade instalada no Brasil se divide em sistemas de geração de energia elétrica através de recursos Hídrico, Fóssil, Eólica, Biomassa, Nuclear entre outros.

A Figura 1 apresenta a capacidade instalada em cada estado brasileiro no ano de 2023 (referência 09/2023). Pode-se perceber que apenas 10 estados estão acima de 15GW de potência outorgada na modalidade geração centralizada, incluindo todas as modalidades de geração de energia elétrica.

Segundo dados contabilizados até setembro de 2023 do Operador Nacional do Sistema - ONS a energia demandada tem sido incrementada ano a ano, em 2012 a carga energética despachada pelo ONS foi de 514.219GWh já para o ano de 2019 foi de 594.237GWh e em 2022 totalizou 611.262GWh conforme figura 02.

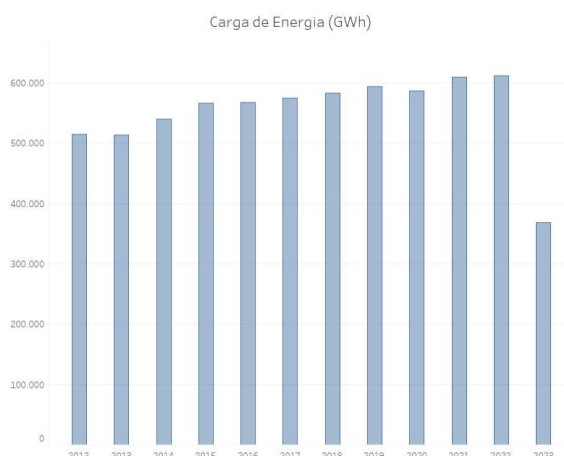
Figura 1 - Capacidade Instalada por Estado.



Fonte – (ANEEL/SIGA, 2023)

Obs.: dados contabilizados até setembro de 2023.

Figura 2 - Carga de energia, comparativo anual



Fonte – (ONS, 2023)

Obs.: dados contabilizados até setembro de 2023.

O Brasil tem uma longa história de programas eficazes de eficiência energética em todos os setores. Isso inclui padrões e etiquetagem de eletrodomésticos, códigos e etiquetagem de edifícios, padrões para equipamentos industriais, instrumentos econômicos, incluindo o PEE (Programa de Eficiência Energética - ANEEL) e vários outros programas sob o guarda-chuva do Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica - PROCEL. Estas ações colocam o Brasil em uma posição que incentiva a continuar progredindo em eficiência energética, desenvolvendo programas existentes, atualizando códigos e padrões e expandindo programas para áreas que ainda não possuem cobertura obrigatória (EPE, 2019).

1.2 DELIMITAÇÃO DO PROBLEMA E MOTIVAÇÃO

Visando empresas eletrointensivas, que possuem em seu parque fabril grandes cargas, e/ou cargas em grande quantidade, como é o caso de empresas do ramo de saneamento, estas possuem muitos conjuntos motobombas instalados em diversos pontos das cidades, e ainda possuem áreas alagadas próximos a centros urbanos. Atualmente a SANEPAR possui uma usina solar fotovoltaica flutuante instalado e em operação na represa do Passaúna, possibilitando sua avaliação de índices de mérito, e possíveis correlações de temperatura, com a usina em operação da UTFPR na sede neoville, a usina da UTFPR possui uma estação solarimétrica com elevada precisão, juntamente com a usina instalada na laje do edifício na sede da SANEPAR, dessa forma será elaborado a comparação de usina flutuante, usina

instalada em laje de edifício, bem como com a usina instalada em solo, fixada sobre estruturas metálicas, todas em regiões próximas da estação solarimétrica.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo Geral

O objetivo geral é comparar os dados e analisar os índices de mérito de sistemas de geração fotovoltaica instalado em solo, laje e flutuante na mesma região, sendo eles; o flutuante na represa do Passaúna, a usina da UTFPR sede neoville, e a planta em laje na sede SANEPAR.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Realizar estimativa teórica da produção energética das usinas analisadas;
- Analisar os índices de mérito das usinas fotovoltaicas estudadas;
- Realizar uma análise comparativa entre as usinas estudadas;
- Realizar análise dos fatores que afetam o desempenho dos geradores analisados;

1.4 JUSTIFICATIVA

Diante do cenário mundial, com a busca de produtos menos poluentes, empresas mais eficientes, e a sustentabilidade no foco da sociedade, é possível ampliar as possibilidades de utilização dos lagos e represas, para além do armazenamento de água, como fazer o uso da superfície para a geração de energia. Porém é necessário a pesquisa e a comparação das variáveis do entorno de usinas de geração solar instalados em solo, usinas instaladas em laje e/ou telhado, bem como com usinas flutuante, obtendo conhecimento das melhores práticas de aplicação de cada modelo de instalação, aperfeiçoando o rendimento dos sistemas, e obtendo sistemas de geração solar menos poluente e mais sustentável.

1.5 ENERGIA E MEIO AMBIENTE

Segundo O Atlas de Energia Solar do Estado do Paraná (2017) o clima do estado do Paraná apresenta contrastes nos regimes de precipitação e temperatura sendo a maior parte deles resultado do relevo e da localização geográfica do estado. Caracterizado como transição entre os climas quentes das baixas latitudes e o clima temperado (subtropical) das latitudes médias, seu regime de precipitação possui uma importante contribuição dos sistemas frontais e de fenômenos como a Zona de Convergência do Atlântico Sul. A localização geográfica também garante uma das maiores amplitudes do ciclo anual de temperatura no Brasil, com maior contraste entre o inverno e o verão. Além disso, o planalto meridional e as serras produzem diferenças relevantes na distribuição das temperaturas.

O estado do Paraná apresenta recursos hídricos abundantes, oriundos das diversas bacias hidrográficas, importantes usinas hidroelétricas foram construídas. O Estado do Paraná tem se destacado como o maior gerador de eletricidade do país entre as unidades federativas, o que representou, em 2015, um total gerado de 99.410 GWh. Este valor equivale a, aproximadamente, 17,1% de toda a energia elétrica produzida no país. A maior parte desta geração é realizada pelas hidroelétricas, que corresponderam em 2015 a um total próximo a 94,4% do total gerado no estado, o que mostra a vocação do Paraná na geração de energia elétrica. (Atlas de Energia Solar do Estado do Paraná, et al., 2017)

O levantamento do potencial de energia solar e fotovoltaico no Estado do Paraná é de fundamental importância, de forma a auxiliar governo, consumidores e investidores quanto à utilização desta fonte renovável de energia, complementando a atual matriz elétrica e, conseqüentemente, norteador o planejamento energético do estado. As estações meteorológicas automáticas do INMET operam com a transmissão dos seus dados via satélite ou telefonia e estão distribuídas por todo o território nacional. Uma estação meteorológica automática é composta de uma unidade de memória central (datalogger) ligada a vários sensores dos parâmetros meteorológicos (pressão atmosférica, temperatura e umidade relativa do ar, precipitação, radiação solar, direção e velocidade do vento, entre outras). Para fins de radiometria, as estações do INMET possuem menor acurácia uma vez que utilizam piranômetros de segunda classe adequados a estudos meteorológicos. No entanto,

ainda apresentam dados bastante confiáveis dentro de uma faixa de erro e de precisão aceitáveis para uso no processo de validação.

Os dados de irradiação global horizontal segundo o atlas de energia solar do estado do Paraná mostram que o Estado do Paraná apresenta uma média anual de 1.705 kWh/m².ano, sendo que os maiores valores médios de irradiação anual encontra-se nos municípios de Itaguajé e Santa Inês, com 1.938 kWh/m².ano, e o valor mínimo encontra-se no município de Guaratuba, com 1.365 kWh/m².ano, sendo estes os valores extremos encontrados no estado.(Pereira, 2019)

A irradiação média anual no plano inclinado segundo o Atlas de energia solar do estado do Paraná é 1.789 kWh/m². ano, a Figura 3 apresenta um comparativo de irradiação solar no plano inclinado entre estados brasileiros, a Figura 4, apresenta uma comparação da irradiação solar no estado do Paraná com países do continente Europeu. (Tiepolo 2015)

Os valores da irradiação média encontrados no Estado do Paraná são expressivos, tanto quando comparados a outras unidades federativas, como quando comparado as médias das regiões, e ainda mais em relação as estimativas apresentadas pelos países europeus, o que auxilia a desmistificar o conceito de que na região Sul, mais especificamente no Paraná, não há potencial solar a ser aproveitado, o que não é a realidade (TIEPOLO & URBANETZ 2018).

A radiação solar é radiação eletromagnética que se propaga a uma velocidade de 300.000 km/s, podendo-se observar aspectos ondulatórios e corpusculares (PINHO & GALDINO 2004).

A densidade média anual do fluxo energético é um fator interessante de ser mencionado para que se possa tomar uma dimensão da quantidade de energia fornecida pelo Sol para a Terra, tomando por base o raio médio da Terra como sendo 6.371 km e que o valor de irradiância no topo da atmosfera é de 1.367 W/m², segundo um cálculo estimado em uma média anual de propagação dos raios solares sobre o topo da atmosfera, pode-se estimar concluir que a potência total fornecida pelo Sol para a atmosfera é de 174 mil TW (terawatts).

O consumo mundial de energia primária no ano de 2011 foi de 143 mil TWh (terawatt hora), então no intervalo de duas horas a quantidade de energia solar recebida na superfície terrestre (multiplicando 94 mil TW por duas horas, resultando em 188 mil TWh) é superior ao consumo energético anual da humanidade. (PINHO e GALDINO, 2014).

Figura 3 - Valores de Irradiação Total (HTOT) e de Produtividade Gerada Estimada Total Anual no plano inclinado encontrados nos estados e no Brasil para uma TD 75%.

Estado	Valor de Irradiação Total (H _{TOT}) Anual no plano inclinado (kwh/m².ano)			Valor de Produtividade Total Anual no Plano Inclinado (kWh/kWp.ano)			Diferença percentual da Média obtida no Paraná em relação ao estado
	Total Anual MÍNIMO	Total Anual MÁXIMO	Total Anual MÉDIA	Total Anual MÍNIMO	Total Anual MÁXIMO	Total Anual MÉDIA	
Acre	1.873	2.057	1.933	1.405	1.542	1.450	2,73%
Alagoas	1.886	2.043	1.970	1.415	1.532	1.478	0,80%
Amapá	1.844	2.020	1.903	1.383	1.515	1.427	4,39%
Amazonas	1.795	2.091	1.898	1.346	1.568	1.423	4,65%
Bahia	1.803	2.246	2.055	1.352	1.684	1.541	-3,34%
Ceará	1.983	2.181	2.079	1.488	1.636	1.559	-4,47%
Distrito Federal	2.127	2.195	2.156	1.596	1.646	1.617	-7,89%
Espírito Santo	1.790	1.983	1.888	1.342	1.487	1.416	5,19%
Goiás	2.068	2.215	2.150	1.551	1.662	1.613	-7,64%
Maranhão	1.848	2.163	2.016	1.386	1.622	1.512	-1,49%
Mato Grosso	1.853	2.163	2.047	1.389	1.622	1.535	-2,97%
Mato Grosso do Sul	1.795	2.186	2.103	1.346	1.639	1.577	-5,55%
Minas Gerais	1.850	2.220	2.077	1.388	1.665	1.558	-4,38%
Pará	1.859	2.088	1.961	1.394	1.566	1.471	1,28%
Paraíba	1.900	2.197	2.068	1.425	1.648	1.551	-3,94%
Paraná	1.651	2.119	1.986	1.238	1.589	1.490	
Pernambuco	1.870	2.184	2.040	1.403	1.638	1.530	-2,64%
Piauí	2.058	2.227	2.141	1.544	1.670	1.606	-7,25%
Rio de Janeiro	1.785	2.034	1.912	1.339	1.525	1.434	3,85%
Rio Grande do Norte	1.941	2.168	2.054	1.455	1.626	1.540	-3,29%
Rio Grande do Sul	1.737	2.013	1.927	1.303	1.510	1.445	3,08%
Rondônia	1.907	2.020	1.954	1.430	1.515	1.466	1,62%
Roraima	1.861	2.116	1.961	1.396	1.587	1.471	1,25%
Santa Catarina	1.644	2.031	1.852	1.233	1.523	1.389	7,26%
São Paulo	1.658	2.176	2.053	1.243	1.632	1.540	-3,28%
Sergipe	1.911	2.057	1.965	1.433	1.542	1.474	1,07%
Tocantins	1.986	2.188	2.086	1.489	1.641	1.564	-4,77%
BRASIL	1.644	2.246	2.001	1.233	1.684	1.501	-0,76%

Fonte – TIEPOLO, 2015.

Figura 4 - Comparação dos valores médios de irradiação e de produtividade do Estado do Paraná em relação aos países europeus.

Paraná / País Europeu	Média Anual no Plano Inclinado na Latitude		Diferença Percentual entre a Média Anual no Paraná e no país europeu
	Irradiação (kWh/m ² .ano)	Produtividade (kWh/kWp.ano)	
Paraná	1.789	1.342	
Chipre	2.217	1.663	-19,31%
Malta	2.155	1.617	-17,00%
Portugal	1.996	1.497	-10,38%
Espanha	1.948	1.461	-8,14%
Grécia	1.897	1.423	-5,68%
Turquia	1.873	1.405	-4,47%
Itália	1.750	1.313	2,22%
Macedónia	1.696	1.272	5,47%
Bulgária	1.631	1.223	9,71%
Croácia	1.570	1.178	13,93%
Montenegro	1.563	1.172	14,45%
Sérvia	1.531	1.148	16,83%
França	1.513	1.135	18,25%
Roménia	1.496	1.122	19,60%
Hungria	1.490	1.117	20,10%
Eslovênia	1.444	1.083	23,90%
Eslováquia	1.333	1.000	34,17%
Áustria	1.325	994	35,00%
República Tcheca	1.256	942	42,44%
Polónia	1.252	939	42,85%
Alemanha	1.251	938	43,00%
Luxemburgo	1.243	932	43,94%
Holanda	1.242	931	44,06%
Bélgica	1.238	928	44,54%
Dinamarca	1.211	908	47,73%
Lituânia	1.183	887	51,28%
Letónia	1.175	881	52,23%
Irlanda	1.174	880	52,42%
Reino Unido	1.153	865	55,11%
Estónia	1.151	864	55,36%
Suécia	1.084	813	64,99%
Finlândia	1.054	790	69,81%
Islândia	949	712	88,43%

Fonte – TIEPOLO & URBANETZ 2018.

1.6 ESTRUTURA

- Capítulo 01: Introdução. Contexto geral, delimitação do problema e motivação, objetivo geral, objetivos específicos e justificativa;
- Capítulo 02: Revisão bibliográfica. Fundamentação teórica e estado da arte;
- Capítulo 03: Materiais e métodos;
- Capítulo 04: Resultados e discussões;
- Capítulo 05: Conclusão e Considerações finais;
- Referências.

2 REVISÃO LITERÁTURA

A revisão de literatura é composta pela pesquisa e a busca de informações, relativas ao tema, que é citada, apresentada a seguir e relacionada ao tema deste trabalho.

2.1 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1.1 Energia Solar

O aproveitamento da energia gerada pelo Sol, inesgotável na escala terrestre de tempo, tanto como fonte de calor quanto de luz, é hoje, sem sombra de dúvidas, uma das alternativas energéticas mais promissoras para enfrentar os desafios do novo milênio. E quando se fala em energia, deve-se lembrar que o Sol é responsável pela origem de praticamente todas as outras fontes de energia. Em outras palavras, as fontes de energia são, em última instância, derivadas, em sua maioria, da energia do Sol (PINHO & GALDINO 2014).

De toda a radiação solar que chega às camadas superiores da atmosfera, apenas uma fração atinge a superfície terrestre, devido à reflexão e absorção dos raios solares pela atmosfera. Esta fração que atinge o solo é constituída por uma componente direta (ou de feixe) e por uma componente difusa (PINHO & GALDINO 2004).

A célula fotovoltaica é parte elementar de um módulo fotovoltaico, que converte diretamente a luz do sol em eletricidade através do efeito fotovoltaico. Essas células são associadas eletricamente em arranjos série e paralelo a fim de formar um módulo fotovoltaico. Para gerar a energia requerida pela carga, módulos são associados formando um painel fotovoltaico, a fim de obter-se o nível de tensão e corrente desejados (URBANETZ, 2010).

A célula solar fotovoltaica é o elemento essencial da conversão da radiação solar em energia elétrica. No início dos anos 2000, cada célula individual possuía, cerca de 100 mm², gerava aos seus terminais uma tensão entre 0,5 e 1,0 V, com uma corrente típica em curto-circuito de algumas dezenas de miliamperes. Esta

intensidade da corrente é razoável, mas a tensão é demasiado pequena para a generalidade das aplicações pelo que normalmente as células são montadas em série em painéis solares, com 28 a 36 células, gerando tensões contínuas - DC da ordem dos 12Vcc em condições padrão de iluminação. Estes módulos fotovoltaicos podem ser utilizados individualmente ou montados em série e/ou em paralelo, de modo a obterem-se maiores tensões e/ou correntes, conforme as necessidades da aplicação (BRITO, 2006).

Atualmente com todo desenvolvimento obtido, as características são diferentes, incluindo o número de células por módulos, corrente na ordem de amperes ou dezenas de amperes, e ainda contam com módulos que se aplicam células em ambos os lados, considerados módulos bifaciais, há variações de cada fabricantes.

O efeito fotovoltaico foi descoberto por Becquerel em 1839, quando observou que ao iluminar uma solução ácida surgia uma diferença de potencial entre os eletrodos imersos nessa solução. Em 1876, W. G. Adams e R. E. Day observaram efeito similar em um dispositivo de estado sólido fabricado com selênio. Os primeiros dispositivos que podem ser denominados de células solares ou células fotovoltaicas foram fabricados em selênio e desenvolvidos por C. E. Frits em 1883. Nos anos 1950, ou seja, mais de 110 anos após a descoberta de Becquerel, foram fabricadas nos Laboratórios Bell, nos Estados Unidos, as primeiras células fotovoltaicas baseadas nos avanços tecnológicos na área de dispositivos semicondutores. Estas células fotovoltaicas foram fabricadas a partir de lâminas de silício cristalino e atingiram uma eficiência de conversão de energia solar em elétrica, relativamente alta para a época, de 6%, com potência de 5 mW e área de 2 cm² (Pinho & GALDINO 2014).

A tecnologia fotovoltaica geralmente é diferenciada por três diferentes gerações. Alguns setores na indústria identificam diferentes “gerações” da tecnologia solar fotovoltaica, onde o silício cristalino corresponderia à primeira geração. A segunda geração é considerada aquela baseada em filmes finos inorgânicos, por exemplo: CdTe, disseleneto de cobre e índio (CIS), disseleneto de cobre, índio e gálio (CIGS) e silício amorfo (a-Si). A terceira geração é um pouco ambígua na definição de quais tecnologias são englobadas, embora haja uma tendência de incluir tecnologias orgânicas, pontos quânticos (PQs), células tandem/multijunção, células de portadores quentes (hot carriers), células solares sensibilizadas por corantes (DSSC) entre outras. Uma definição útil para a terceira geração de células solares é

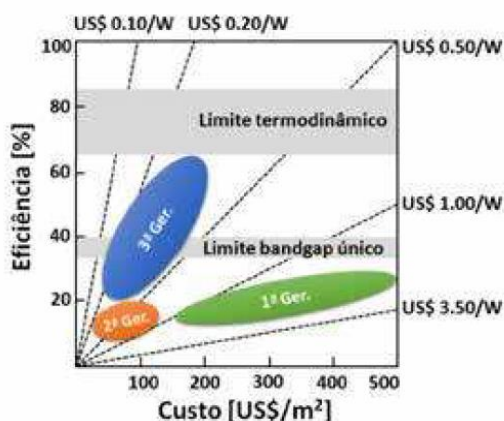
a seguinte: São células que permitem uma utilização mais eficiente da luz solar que as células baseadas em um único band-gap eletrônico. De forma geral, a terceira geração deve ser altamente eficiente, possuir baixo custo/watt e utilizar materiais abundantes e de baixa toxicidade (ELY & SWART, 2014).

Em resumo as células aplicadas em módulos fotovoltaicos são subdivididas em três categorias principais, sendo:

- 1º Geração - Geração Silício - silício monocristalino - m-Si e silício policristalino p-Si;
- 2º Geração - Geração de filmes finos, como silício amorfo - a-Si, disseleneto de cobre e índio - CIS e telureto de cádmio – CdTe;
- 3º Geração - Geração é formada por células multi junção, células sensibilizadas por corantes, células orgânicas, células poliméricas, entre outras.

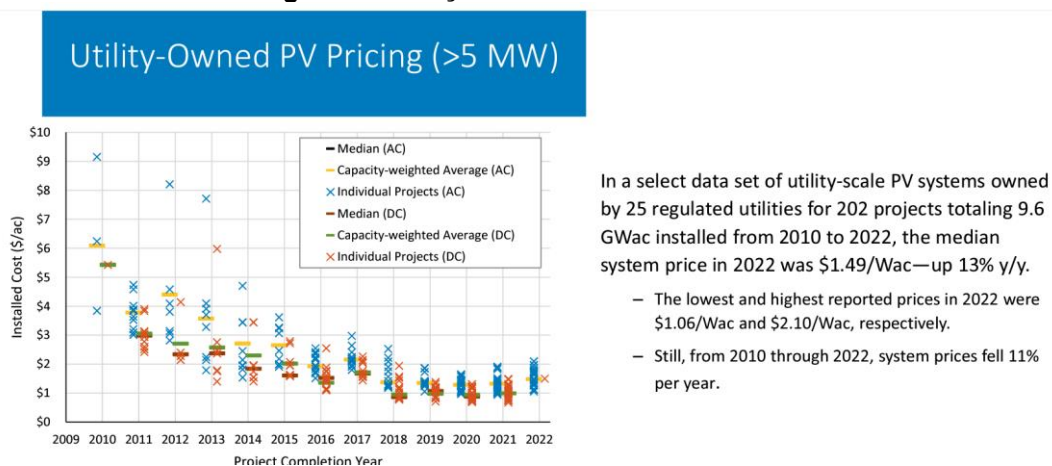
O custo por watt pode ser reduzido aumentando-se a eficiência das células solares individuais e dos painéis e ou reduzindo o custo de fabricação. Assim, as novas tecnologias precisam ser simultaneamente de alta eficiência e de baixo custo. Uma figura de mérito para isso é que se energia solar é coletada a um custo instalado de US\$1,00 por Wp, então os painéis produzirão eletricidade durante a sua vida útil a um custo equivalente a US\$0,05 kWh. Esses valores seriam extremamente competitivos com os preços atuais da energia elétrica sem necessitar de qualquer subsídio. Historicamente, silício cristalino tem sido usado como semicondutor absorvedor de luz na maioria das células fotovoltaicas. Embora, seja um fraco absorvedor de luz e necessite filmes consideravelmente espessos (centenas de micrometros) o Si tem uma representatividade elevada do mercado de módulos fotovoltaicos. O Silício mostra-se conveniente, pois produz módulos solares estáveis com boas eficiências atualmente próximas de 23% e usa a tecnologia desenvolvida na indústria de microeletrônica. (ELY & SWART, 2014), a Figura 5 e 6 ilustra a evolução, bem com a comparação de valores de produção de energia elétrica (US\$/W) e sua evolução com o passar dos anos.

Figura 5 - Figura de mérito de valor/eficiência/geração



Fonte - ELY & SWART, 2014.

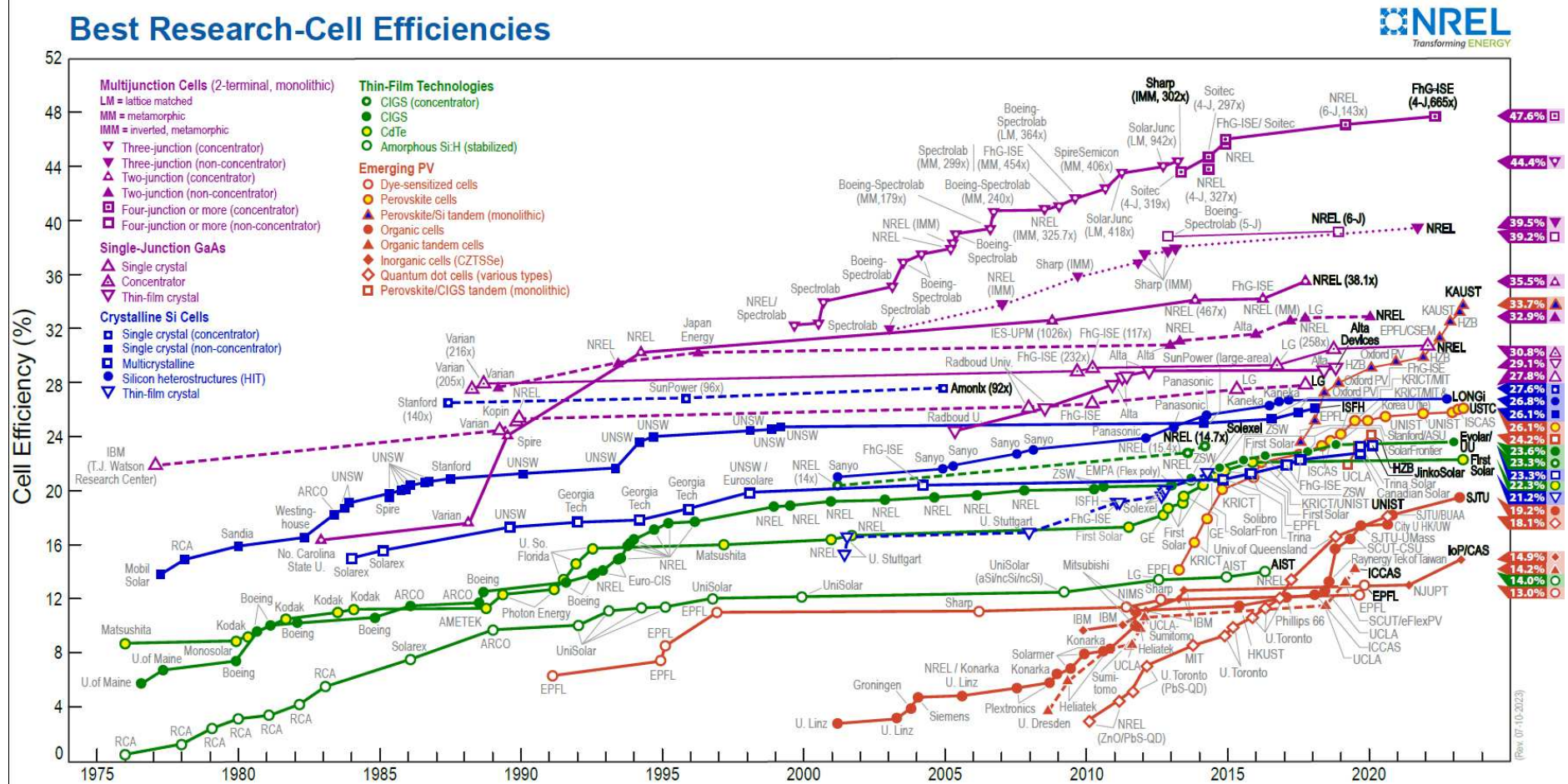
Figura 6 - Relação custos ano a ano



Fonte – NREL - Spring 2023 Solar Industry Update - April 27, 2023

A Figura 7 - Evolução da eficiência das diferentes tecnologias de células fotovoltaicas desde a década de 1970. Apresenta como se deu a evolução da eficiência das células fotovoltaicas desde os anos de 1970 até recentemente (NREL, 2023).

Figura 7 - Evolução da eficiência das diferentes tecnologias de células fotovoltaicas desde a década de 1970.



Eberhardt (2005) afirma que alguns fatores, como as definições das condições padrões, medição da curva corrente-tensão, fonte de iluminação, medida de área e sensor de referência, influenciam na determinação da eficiência. Adicionalmente, tem-se que: O rendimento das células depende de diversos fatores e a operação em módulo possui eficiência global inferior à eficiência das células individuais devido ao fator de empacotamento, à eficiência ótica de cobertura do módulo e, à perda nas interconexões elétricas das células e ao descasamento (REIS10 apud SEVERINO & OLIVEIRA, 2010).

As unidades consumidoras seja empresas, comércio, indústrias, ou até mesmo o consumidor residencial podem optar por instalar seu próprio sistema de geração de energia elétrica denominado Geração Distribuída (GD), esta possibilidade se deu em 17 de abril de 2012 quando entrou em vigor a Resolução Normativa ANEEL Nº482 de 2012 (ANEEL, 2015).

O modelo tradicional de instalação de sistemas fotovoltaicos, é aquele no qual os módulos fotovoltaicos são instalados sobre estruturas, podendo ser sobre o telhado, fixo em paredes ou em estruturas metálicas, como ilustrados nas Figura 8, Figura 9 e Figura 10.

As aplicações sobre estruturas metálicas são as mais diversas possíveis, podendo ser utilizadas para melhorar a orientação do módulo em relação a irradiação solar, pode ser utilizado para não fixar diretamente os módulos nos telhados, pisos e lajes, entre outras possibilidades arquitetonicamente mais atraente.

Figura 8 - Ilustração módulos fotovoltaicos fixos em telhado.



Fonte - SOLAR, 2019.

Figura 9 - Ilustração módulos fotovoltaicos fixos em parede.



Fonte - ENERGIA, 2020.

Figura 10 - Ilustração módulos fotovoltaicos fixos em estruturas metálicas.



Fonte - UTFPR, 2020.

Os modos de instalação citados na Figura 8 e Figura 9, são considerados BAPV, ou seja, é a aplicação de elementos fotovoltaicos como módulos fotovoltaicos em estruturas pré-existentes, podendo ser em paralelo aos elementos da estrutura de uma edificação.

Contudo outros modos de instalação são possíveis, e um deles é considerado construções com módulos fotovoltaicos integrados na estrutura, ou seja, aplicação em construções elaboradas considerando os módulos fotovoltaicos como parte integrante da estrutura, podendo ser aplicados na fachada ou fechamento da edificação, ou como elemento arquitetônico como telhado, elemento estético, entre outras possibilidades, quando da elaboração do projeto do novo empreendimento, neste caso pode-se levar em consideração a utilização de materiais como módulo de

geração de energia elétrica fotovoltaica na sua concepção, o nome que se dá a esta condição é BIPV, que se traduz por "Painéis solares integrados a construção" a Figura 11, figura 12 e Figura 123, apresentam ilustrações da utilização de módulos fotovoltaicos na condição BIPV.

A integração de módulos fotovoltaico podem ir de paredes a telhados, bem como muitas outras aplicações. A Figura 13, ilustra a aplicação de módulos fotovoltaicos em telhados.

Figura 11 - Ilustração de BIPV utilizando módulos fotovoltaicos na fachada de edificação com interação com o ambiente externo.



Fonte - THÓRUS, 2020.

Figura 12 - Ilustração de BIPV utilizando módulos fotovoltaicos na fachada de edificação.



Fonte - THÓRUS, 2020.

Figura 13 - Ilustração de BIPV utilizando módulos fotovoltaicos em telhado de edificação.



Fonte - HISOUR, 2018.

Em contraste com a construção convencional de energia fotovoltaica adotada BAPV, que descreve a instalação aditiva de um sistema fotovoltaico em um envelope de edifício já acabado, o BIPV é entendido como um componente integral do edifício: Os módulos de produção de eletricidade são aqui uma unidade funcional do edifício acabado, e ainda um elemento de construção da pele do edifício, uma vez que substituem os materiais convencionais. Esta abordagem define o módulo fotovoltaico como um componente arquiteturalmente relevante, como uma unidade produtora de energia ativa que, além disso, confere um valor estético a toda a construção. Isso afeta novas construções, bem como o segmento de reforma economicamente significativo, ou reforma, uma vez que muitas casas e edificações arquitetonicamente atraentes estão sujeitas a modernização. Além de captar energia, os módulos fotovoltaicos bem integrados são adequados para contribuir para o conforto do edifício: servem como proteção contra intempéries, isolamento térmico, modulação de sombreamento, proteção contra ruído, isolamento térmico e blindagem eletromagnética etc (Heinstein et al., 2013).

A multifuncionalidade dos módulos fotovoltaicos vinculados ao BIPV tem um efeito favorável nos custos globais de um projeto de construção e na amortização do próprio sistema fotovoltaico (Heinstein et al., 2013).

A integração de sistemas solares fotovoltaicos ao entorno construído vem tomando impulso crescente, principalmente nos países industrializados, por oferecer várias vantagens que compensam seu atual alto custo, se utilizados como material de construção, módulos solares substituem outros materiais de revestimento, reduzindo

assim o custo total do sistema fotovoltaico. Com relação à instalação elétrica predial envolvida por sistemas deste tipo, algumas peculiaridades devem ser observadas para que um sistema solar fotovoltaico seja integrado ao entorno construído e conectado à rede elétrica pública sem maiores dificuldades (RUTHER, 2004).

2.1.2 Tipos, componentes e funcionamento de SFVCR

Do ponto de vista de instalações elétricas e da construção civil, as tecnologias necessárias à incorporação de painéis solares fotovoltaicos a projetos de construção convencional já são bem estabelecidas (a utilização de painéis de vidro em fachadas e coberturas é uma prática comum no setor da construção). A conexão elétrica dos painéis à rede e os dispositivos periféricos necessários à interconexão são comercialmente disponíveis no mercado, mercado este que possui periféricos para qualquer tipo de configuração ou porte de instalação de sistemas fotovoltaicos (RUTHER, 2004).

O painel fotovoltaico é o principal componente no processo de conversão da luz em energia elétrica, sendo que ao longo do tempo essa tecnologia passou por diversos processos de evolução, que podem ser segmentados em três períodos, onde, a primeira a geração destaca-se pela produção do silício nas formas monocristalina e policristalina, que representam a maior parte do mercado, com mais de 85% de participação, muito dessa alta representatividade deve-se a confiabilidade da tecnologia e a eficiência gerada por ela (PINHO e GALDINO, 2014).

Os módulos fotovoltaicos convertem a energia do sol diretamente em energia elétrica. Esta energia gerada é disponibilizada nos terminais dos módulos fotovoltaicos na forma de corrente contínua (CC). Estes painéis podem ser conectados diretamente em cargas CC, como lâmpadas, motores e alguns refrigeradores. Entretanto, os equipamentos que funcionam a partir de uma fonte CC são bastante restritos no mercado, além de possuem um custo relativamente elevado. Assim os sistemas fotovoltaicos necessitam de um sistema de conversão para transformar de forma eficiente esta energia CC na forma de corrente alternada – CA, utilizada pelos aparelhos eletroeletrônicos comumente disponibilizados comercialmente (IMHOFF, 2007).

É possível classificar os sistemas fotovoltaicos em dois grandes grupos os sistemas fotovoltaicos isolados – SFVI e os sistemas fotovoltaicos conectados à rede – SFVCR, contudo a Figura 14, ilustra as variações possíveis de sistemas fotovoltaicos, que podem ser em micro rede, grandes centrais, integrados a edificação BIPV ou aplicados sobre a edificação BAPV.

Sistemas em rede podem ser projetado para alimentar cargas em corrente contínua e/ou cargas de corrente alternada, são também chamados de on grid já os sistemas on grid, normalmente são aplicados em sistemas de corrente alternada.



Fonte - URBANETZ, 2010.

A composição de um sistema de geração de energia elétrica conectado à rede é ou pode ser composto pelos elementos:

- Inversor de frequência;
- Módulos fotovoltaicos;
- Fiação/cabeamento;
- Dispositivos de proteção (fusíveis, disjuntores, protetores de surto);
- Suportes mecânicos, e/ou estruturas metálicas;
- Transformadores BT/BT e/ou AT/BT.

Atualmente, a contribuição da energia elétrica, gerada através da tecnologia fotovoltaica e disponibilizada no sistema interligado nacional – SIN, se comparada a energia gerada e disponibilizada ao SIN de outras fontes de energia renovável, a energia fotovoltaica é pouco expressiva, mas devido aos preços decrescentes de implantação, bem como de ser um mercado estável e de rápido crescimento, caso haja uma tendência contínua, os sistemas fotovoltaicos poderão ser uma das fontes de energia mais importantes no futuro. Contudo para manter o crescimento é importante diminuir o custo, e ao mesmo tempo melhorar a eficiência e confiabilidade

desses sistemas. Melhorias valiosas podem ser feitas no lado dos inversores para sistemas fotovoltaicos. Esses inversores são responsáveis por aproximadamente 15 - 25% do custo do sistema e ainda são um gargalo para a confiabilidade dos sistemas (SCHIMPF&NORUM, 2008).

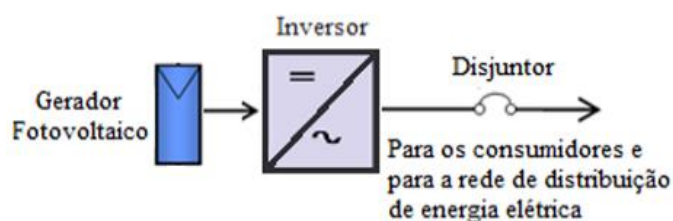
O funcionamento de um SFVCR propriamente dito, se dá através do efeito fotovoltaico da exposição células/módulos fotovoltaicos a irradiação solar, que por sua vez gera a corrente elétrica em corrente contínua encaminhada ao inversor on grid para sistemas conectados à rede elétrica, este converte corrente contínua em corrente alternada para que seja possível compatibilizar com a rede elétrica local. Durante o período do dia que há irradiação solar, esta energia pode ser consumida pelas cargas sem que seja injetada na rede elétrica, quando a geração ultrapassa o consumo, este excedente é injetado na rede da concessionária de energia.

Os sistemas fotovoltaicos integrados às edificações e interligados à rede elétrica são vantajosos à concessionária elétrica local, no sentido de que podem aliviar picos de consumo na rede, aumentando assim a vida útil do sistema de transmissão e distribuição e adiando os grandes investimentos e longos prazos de instalação envolvidos na construção de centrais elétricas convencionais (URBANETZ et al, 2014).

A Figura 15, apresenta um sistema básico de geração fotovoltaica conectada à rede elétrica, contudo grandes variações podem ser obtidas e em algumas ocasiões, com vantagens.

A Figura 16, apresenta os equipamentos de proteção e controle, cada sistema pode ter características diferentes e pode demandar mais ou menos espaço para a instalação de seus componentes.

Figura 15 - Ilustração Básica de sistema fotovoltaico de pequeno porte conectado à rede de distribuição de energia elétrica



Fonte - VIANA, 2010.

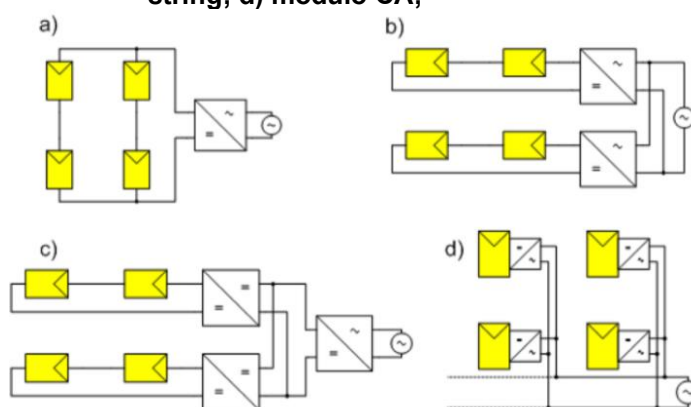
Figura 16 - Inversores do primeiro sistema de geração fotovoltaica homologado e conectado à rede da COPEL – Propriedade ELCO.



Fonte - URBANETZ et al, 2014.

Em um SFVCR, o conjunto formado por inversor(es) e módulo(s) pode ser enquadrado basicamente em uma das quatro configurações apresentadas na Figura 17 (CASARO&MARTINS, 2010) (KJAER et al., 2005) (SCHIMPF&NORUM, 2008).

Figura 17 - Configurações de SFCR: a) inversor central; b) inversor por string c) inversor multi-string; d) módulo CA;



Fonte - URBANETZ, 2010 e SCHIMPF&NORUM, 2008.

Em geral um sistema fotovoltaico de pequeno porte possui módulos fotovoltaicos, inversores, dispositivos de proteção e sistema de aterramento, contudo sistemas de maior porte, podem contar com outros equipamentos ou acessórios, como seguidor solar, entre outros equipamentos, contudo os sistemas que são objetos de estudo não contem esse sistema.

De maneira geral, há dois tipos de seguidores: os de um e os de dois eixos. O primeiro somente acompanha o movimento do Sol durante o dia, na direção leste oeste. Já os seguidores de dois eixos, além de acompanharem o movimento diário do

Sol, elevação e/ou azimute, também acompanham o movimento sazonal ao longo do ano, podendo proporcionar incidência da radiação solar perpendicular ao plano dos módulos fotovoltaicos (Cassares, 2018).

Gomés Gil (2012) analisaram várias usinas fotovoltaicas na Espanha, e constataram que, em comparação com sistemas fixos, sistemas com seguidores de um e dois eixos têm 22,3% e 25,2% de ganho anual, respectivamente.

2.1.3 Desempenho de sistemas

Avaliações precisas e consistentes do desempenho do sistema fotovoltaico (FV) são fundamentais para o desenvolvimento contínuo da indústria FV. Para fabricantes de componentes, as avaliações de desempenho são referências de qualidade para produtos existentes. Para equipes de pesquisa e desenvolvimento, eles são uma métrica chave para ajudar a identificar necessidades futuras. Para integradores de sistemas e clientes finais, eles são ferramentas vitais para avaliar produtos e sua qualidade para orientar futuras tomadas de decisão (NREL, 2005).

Os métodos padrão de avaliação e classificação também ajudarão a definir as expectativas adequadas de desempenho com clientes instruídos, levando a uma maior credibilidade para a indústria fotovoltaica e posicionando-a para um maior crescimento (NREL, 2005).

Os parâmetros que descrevem as quantidades de energia para o sistema fotovoltaico e seus componentes foram estabelecidos pelo Programa de Sistemas de Energia Fotovoltaica da Agência Internacional de Energia (IEA) e estão descritos na norma IEC 61724 (NREL, 2005).

Três parâmetros de desempenho da norma IEC 61724 podem ser usados para definir o desempenho geral do sistema com relação à produção de energia, recurso solar e efeito geral das perdas do sistema. Esses parâmetros são o rendimento final do sistema PV, o rendimento de referência e a taxa de desempenho (NREL, 2005) (IEC 61724, 2021).

O fator de capacidade é muito utilizado no setor elétrico a fim de comparar o desempenho plantas geradoras de diversas tecnologias e com diferentes insumos para produção de energia elétrica (RONCOLATTO, 2016).

Em condições laboratoriais ou condições padrões de teste, a radiação solar padrão (STP) de 1000W/m², temperatura padrão de 25° Celsius e espectro solar AM=1,5, com o atual estado da arte da tecnologia, é possível produzir células individuais de cristal de silício, com eficiência superior a 24%. Ainda assim, devido a contínuas pesquisas no campo das células solares, o valor teórico alcançável da eficiência se direciona aos 30% (MARTIN et. al., 2015).

2.1.3.1 Produtividade final

Produtividade Final, rendimento final, ou Yield final - Yf: que é a razão entre a energia gerada pelo sistema fotovoltaico no intervalo de tempo considerado, dividido pela potência pico em corrente contínua nominal do arranjo fotovoltaico em questão. Conforme equação 1, e com seu resultado é possível comparar sistemas de diferentes potências (URBANETZ, 2014) (CASSARES, 2016).

$$\text{Equação 1 - Produtividade}$$

$$Yf = \frac{E}{P} = \frac{kWh}{kWp} \quad (1)$$

Onde:

E = energia gerada [kWh];

P = potência nominal do SFVCR [KW_p].

Para o rendimento de referência, utiliza-se a irradiância total no plano de referência, dividido pela irradiância (G) nas condições padrão de ensaio (1000 W/m²), assim o resultado obtido é o número de horas de sol a pico, ou a radiação solar em unidades de kWh/m², conforme equação 2 (NREL, 2005).

$$\text{Equação 2 - Produtividade final}$$

$$Yr = \frac{H}{G} \quad (2)$$

Onde:

G = 1000 W/m².

H = Irradiância

2.1.3.2 Rendimento Global

O Rendimento Global - PR indica o rendimento do sistema em relação a um sistema teórico ideal e sem perdas. A partir dessa normalização com respeito à disponibilidade do recurso solar, são quantificadas as perdas devido a diversos fatores, como: eficiência do inversor, perdas elétricas, temperatura do módulo, perdas por reflexão, sujeira, sombreamento e falhas dos componentes, e se calcula através da equação 3 (CASSARES, 2018).

Equação 3 – Rendimento Global

$$PR = \frac{E \cdot G}{P \cdot H} = \frac{Y_f}{Y_r} \quad (3)$$

Onde:

Y_f = produtividade final [kWh/kW_p];

Y_r = produtividade de referência;

H_{tot} = irradiação no plano do módulo fotovoltaico [kWh/m²];

G = irradiância solar de 1,0 kW/m².

De acordo com Pinho e Galdino (2014), utiliza-se a taxa de desempenho, chamada também de rendimento global ou performance ratio (PR) para mensurar o desempenho na geração de energia elétrica fotovoltaica. Para os autores, é uma relação importante pois compara o rendimento real com o limite teoricamente possível, levando em conta uma ampla gama de perdas de eficiência envolvidas.

Embora a taxa de desempenho de 75% seja adotada internacionalmente na elaboração de mapas fotovoltaicos, no Brasil é possível encontrar valores próximos e até mesmo superiores a 80%. O desempenho de um SFVCR é aperfeiçoado à medida que equipamentos certificados e de boa qualidade são empregados, assim como o dimensionamento do sistema é realizado de forma correta (TIEPOLO et al, 2017).

2.1.3.3 Fator de Capacidade

O fator de capacidade - FC mede a quantidade de energia produzida pela planta comparada à energia que o sistema poderia produzir se operasse em sua

potência máxima durante todo o período analisado. O período de análise para uma planta geradora é geralmente anual (RONCOLATTO, 2016).

Seu cálculo é através da equação (4).

Equação 4 - Fator de capacidade

$$FC = \frac{E}{P_{pico\ CC} \cdot \Delta T} \quad (4)$$

FC = fator de capacidade;

E = energia produzida [kWh];

Ppico cc = Potência do arranjo fotovoltaicos [W];

ΔT = Intervalo de tempo em questão [h].

O fator de capacidade esperado para a região sul do país é de 14,2% (QUAGLIA, 2010) e em Curitiba de 12,1% (NAKABAYASHI, 2014).

2.1.3.4 Modelo de negócio

No Brasil, a geração de energia por parte dos consumidores já existe há bastante tempo. A forma mais comum é o uso de geradores a gás ou óleo diesel no horário de pico, associado ou não à cogeração, que vem sendo empregados em hotéis ou centros comerciais. Nestes casos, entretanto, a energia gerada era utilizada somente pelo próprio consumidor e não era permitida a injeção na rede. A novidade da geração distribuída estabelecida pela Resolução Normativa (RN) Aneel 482 é a permissão de exportar a energia eventualmente excedente para a rede da concessionária de distribuição. A grande questão é definir como a energia exportada por um consumidor deve ser contabilizada, não só em termos financeiros (valor da energia, impostos), como também o próprio balanço da energia em si. Há dois conceitos diferentes: muitos países criaram uma feed-in-tariff que estabelece o valor pelo qual o consumidor vende a energia à distribuidora. A maioria dos governos decide subsidiar este valor durante os primeiros anos para estimular a criação do mercado. O ato de vender exige definições tarifárias, geralmente complexas (Rauschmayer&Galdino, 2014).

Depois que o engenheiro suíço Markus Real tomou a primeira iniciativa (“Megawatt”) de convocar 333 proprietários de casas em Zurique para instalar painéis fotovoltaicos em seus telhados em 1986, a ideia de usar fotovoltaico para coleta descentralizada de energia através da “rede inteligente” se iniciou (Heinstein et al., 2013).

Já em 1990, os primeiros edifícios a respeitar esta ambiciosa questão em um nível superior começaram a ser erguidos em todo o mundo (Heinstein et al., 2013).

Seguindo o conceito de sincronicidade do Departamento de Energia dos EUA, Escritório de Política e Assistência da NEPA, Meio Ambiente, Segurança e Saúde (US-DOE, 1996), em que geração e consumo ocorrem simultaneamente, a energia elétrica gerada em alguns períodos do dia tem um valor maior para a concessionária elétrica do que em outros períodos em que a demanda não é crítica. O mais óbvio exemplo disto é o caso da demanda de energia por aparelhos de ar-condicionado em períodos de elevada incidência solar (e portando geração de energia solar). Por esta razão, instalações solares fotovoltaicas integradas a prédios comerciais de escritórios e interligadas à rede elétrica pública são um exemplo de aplicação ideal destes sistemas, onde picos de consumo e geração são muitas vezes coincidentes, aliviando assim o sistema de distribuição da concessionária elétrica. Isto acarreta não somente uma economia de energia, mas também o aumento da vida útil de transformadores e outros componentes do sistema de distribuição (RUTHER, 2004).

As resoluções normativas da ANEEL que marcaram a geração distribuída, são as resoluções nº482/2012 e 687/2015.

No Brasil após a vigência da Resolução Normativa ANEEL Nº482 de 2012, esta foi alterada pela Resolução Normativa Nº 517, de 11 de dezembro de 2012. Os seguintes artigos definem a contabilização da energia injetada, no que se refere a pequenos consumidores (Rauschmayer&Galdino, 2014).

Gradativamente a legislação foi se desenvolvendo e atualizações foram publicadas, a Resolução Normativa nº687 de 2015, a Resolução Normativa nº786 de 2017, e estas estabelecem principalmente a possibilidade de geração no ponto de consumo e a possibilidade de crédito de energia, bem como o autoconsumo remoto que possibilita o abatimento do excedente de energia gerada, mesmo que o consumo e a geração sejam em locais diferentes, podendo ser até em outro município.

O “custo de disponibilidade”, popularmente chamada de “taxa mínima” é o valor mínimo cobrado de qualquer consumidor, independentemente se ele gera

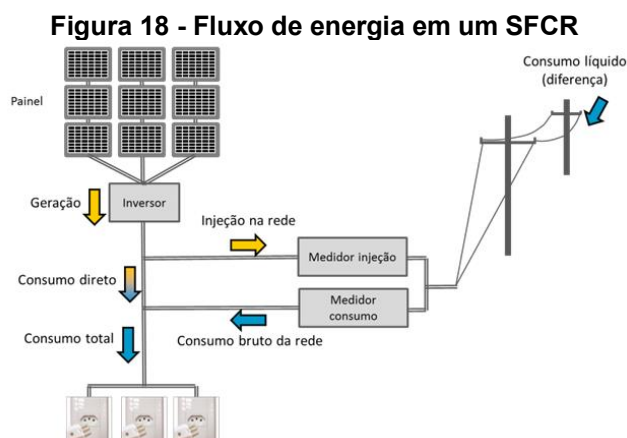
energia ou não. Ela é definida na RN Aneel 414/2010 da forma descrita no artigo 98 descrito na sequência. (Rauschmayer&Galdino, 2014) a Figura 18 apresenta de forma intuitiva como se dá a contabilização da energia consumida e a energia gerada que pode ser consumida ou injetada na rede.

Art. 98. O custo de disponibilidade do sistema elétrico, aplicável ao faturamento mensal de consumidor responsável por unidade consumidora do grupo B, é o valor em moeda corrente equivalente a:

I – 30 kWh, se monofásico ou bifásico a 2 (dois) condutores;

II – 50 kWh, se bifásico a 3 (três) condutores; ou

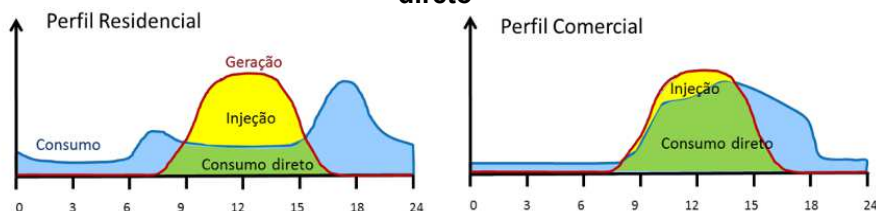
III – 100 kWh, se trifásico.



Fonte - Rauschmayer&Galdino, 2014.

A Figura 19 apresenta duas perfis de consumos para consumidores com perfil residencial e outro com perfil comercial, ressaltando que o perfil residencial consome a energia em horário que não há geração em quantidade significativa, ou seja, a geração é disponibilizada para a concessionária e posteriormente há o consumo.

Figura 19 - Exemplos hipotéticos de perfis de consumo com diferente fração de consumo direto



Fonte - Rauschmayer&Galdino, 2014.

2.1.3.5 Sistemas de geração fotovoltaica flutuante

A popularização da energia solar fotovoltaica contribuiu para que os módulos fotovoltaicos se tornassem mais acessíveis. Com isso, vem ocorrendo uma diversificação na forma de instalação das usinas, podendo ser montadas no solo, telhados de residências ou edifícios, suspensas sobre canais de água, offshore (plataformas) e flutuantes sobre lagos e reservatórios (BORBA&NOVAK, 2018).

O maior desafio do sistema fotovoltaico flutuante é projetar a estrutura de maneira que se mantenha flutuando e seja resistente. Os flutuadores precisam suportar condições ambientais adversas como ventos, correnteza, acúmulo de algas, organismos vivos nas estruturas e enchentes (Sahu, 2016).

Conforme BORBA&NOVAK (2018), os módulos podem ser fixados de diferentes maneiras, podendo ser utilizadas estacas ou blocos de concreto no fundo e/ou cabos ligados à margem do lago. Para a realização do projeto de ancoragem devem ser realizados estudos preliminares com a finalidade de determinar a melhor localização, tipo, tamanho e quantidade de âncoras. São eles:

- Batimetria para determinação da topografia do fundo do lago no local da usina;
- Correnteza;
- Velocidade do vento;
- Formato das margens;
- Sondagem do solo nos pontos onde será executada a ancoragem;
- Variação do nível d'água;
- Altura de ondas.

Os sistemas fotovoltaicos flutuantes apresentam bom potencial de crescimento, com diversos benefícios, por exemplo, redução da evaporação em lagos, redução da proliferação de algas, não ocupação do solo, aumento da eficiência em função da redução da temperatura dos módulos. Apesar disso, é uma forma de aplicação ainda recente no mercado, impondo desafios a serem vencidos. Deve-se lembrar que a usina flutuante está sujeita à instabilidade de posição e aos eventos da natureza. Por isso, os estudos preliminares devem ser bem realizados para que os projetos do sistema flutuante e sua ancoragem sejam bem executados, prevenindo o

mal funcionamento, baixa resistência mecânica e redução da vida útil (BORBA&NOVAK, 2018).

As estruturas as quais os módulos encontram-se fixos, tem como principal objetivo, mantê-los estáveis, além de que, ela deve possibilitar a ventilação necessária para que o sistema trabalhe em uma temperatura adequada, uma vez que temperaturas elevadas causam perdas na eficiência energética do sistema. Outro fator que deve ser levado em conta, é o distanciamento necessário entre os painéis, especificado pelo fabricante, que deve ser respeitado, a fim de preservá-los de possíveis danos causados pela dilatação (PINHO e GALDINO, 2014).

Em suma, os suportes devem adaptar-se, ao terreno, ou à edificação na qual serão montados, à estratégia concebida de inclinação e orientação, as características físicas e elétricas dos módulos além até mesmo de levar em conta os fatores estéticos e a aparência. Sem contar que devem estar aterrados, e manufaturados com materiais que possuem pouca suscetibilidade a corrosão, especialmente para casos de ambientes mais severos, resistência aos raios ultravioleta, e possuir o tempo de vida compatível com o dos módulos (PINHO e GALDINO, 2014).

As estruturas utilizadas mais frequentemente para a fixação de módulos fotovoltaicos são:

- Fixação em telhado de fibrocimento conforme Figura 20;
- Fixação em telhado de telhas de barro, conforme Figura 21;
- Fixação em telhado de kalhetão, conforme Figura 22;
- Fixação em solo com estrutura metálica, conforme Figura 23;
- Fixação em solo com estrutura metálica para estacionamento de veículos, conforme Figura 24;
- Fixação flutuante para mares, represas ou lagos, conforme Figura 25.

Figura 20 - Estrutura de fixação módulos fotovoltaicos em telhado de fibrocimento.



Fonte – Alu-Cek, 2021.

Figura 21 - Estrutura de fixação módulos fotovoltaicos em telhado de telhas de barro.



Fonte - Canal Solar, 2021.

Figura 22 - Estrutura de fixação módulos fotovoltaicos em telhado de kalhetão.



Fonte - Peça Solar, 2021.

Figura 23 - Estrutura de fixação de módulos fotovoltaicos em solo com estrutura metálica.



Fonte - Ecoenergias, 2021.

Figura 24 - Estrutura de fixação de módulos fotovoltaicos em solo com estrutura para estacionamento de veículos.



Fonte – Portal Solar, 2021

Figura 25 - Estrutura de fixação de módulos fotovoltaicos flutuante.



Fonte - Energia Solar, 2021.

2.2 ESTAÇÕES SOLARIMÉTRICAS

Uma Estação Solarimétrica é composta por um conjunto de instrumentos que mensuram diversos parâmetros, principalmente parâmetros de radiação solar e suas componentes global, difusa e direta, mas podem medir também outros parâmetros (ROMIOTTO, 2015).

É possível equipar uma estação solarimétrica com diversos equipamentos, com uma variedade de precisão de cada um deles.

A EPE (Empresa de Pesquisa Energética) é uma empresa público federal que tem por finalidade prestar serviços ao Ministério de Minas e Energia (MME) na área de estudos e pesquisas destinadas a subsidiar o planejamento do setor energético, cobrindo energia elétrica, petróleo e gás natural e seus derivados e biocombustíveis (ROMIOTTO, 2015).

A EPE tem como objetivo resgatar a responsabilidade constitucional do Estado nacional em assegurar as bases para o desenvolvimento sustentável da infraestrutura energética do país, atuando em diversas áreas como: energia elétrica; estatísticas; economia de energia; petróleo, gás e biocombustíveis; estudos socioambientais e planejamento energético (SOUZA, 2020).

A Estação Solarimétrica padrão EPE é composta por um conjunto de equipamentos que mensuram parâmetros como: radiação solar global, radiação solar direta, refletida, saldo radiômetro e radiação solar difusa.

Os principais equipamentos de medição são:

- PIRELIÔMETRO - O pireliômetro é um radiômetro para medição de irradiância direta normal.
- PIRANÔMETRO - O piranômetro é um radiômetro utilizado para medir a irradiância solar em uma superfície plana.
- EQUIPAMENTOS DE SOMBREAMENTO – Para a medição de radiação solar difusa.

A rede SONDA começou a operar em 2004 como um projeto coordenado pelo INPE, em conjunto com vários institutos de pesquisa e universidades brasileiras, para implementação de infraestrutura física e de recursos humanos destinada a levantar e melhorar a base de dados dos recursos de energia solar e eólica no Brasil. O projeto tem como principal objetivo o desenvolvimento de uma base de dados completa,

integrada e de alta confiabilidade que contemple as necessidades dos setores da sociedade envolvidos com a pesquisa, o desenvolvimento, o planejamento e o investimento em uso e aplicações de energias renováveis, principalmente, a energia solar e eólica (Martins, 2005).

Todas as estações da rede SONDA empregam piranômetros para aquisição de dados de irradiância global horizontal (GHOR) e irradiância horizontal difusa (GDIF), sendo que algumas incluem pireliômetro e rastreador solar para medição da irradiância direta normal (GDIN). As estações de coleta desta rede utilizam radiômetros “padrão secundário”, onde as estimativas de incertezas das medições da irradiação solar são aquelas constantes da ISO 9060 para instrumentos de padrão secundário (Pereira, 2017).

2.3 ESTADO DA ARTE

Segundo Cazzaniga&Rosa-Clot (2021) As razões para o rápido desenvolvimento da tecnologia fotovoltaica são as seguintes.

- Simplicidade e confiabilidade das usinas que requerem um nível mínimo de manutenção em desacordo com o setor eólico onde a mecânica do aerogerador, mesmo que de muito desempenho, requer várias intervenções de manutenção por ano
- Escalabilidade: é simples construir uma planta fotovoltaica de alguns kWp, mas também é muito simples estendê-la a grandes plantas de vários MWp.
- Baixo custo. O custo do UFV caiu drasticamente nos últimos anos e hoje a energia pode ser produzida a custos cada vez mais reduzidos.

O principal limite no uso de fontes de energia fotovoltaica está no uso do solo: a necessidade de uma grande superfície de terreno devido à baixa eficiência do painel fotovoltaico

O recorde de maior rendimento de células fotovoltaicas mais recente para cada tecnologia é destacado ao longo da borda direita em uma bandeira que contém a eficiência e o símbolo da tecnologia da figura 07 já apresentada anteriormente. (NREL, 2023).

Os resultados de eficiência celular são fornecidos dentro de famílias de semicondutores, Células multijuncionais, Células de arsenieto de gálio de junção única, Células de silício cristalino, Tecnologias de filme fino, fotovoltaicos emergentes. Cerca de 28 subcategorias diferentes são indicadas por símbolos coloridos distintos (NREL, 2021).

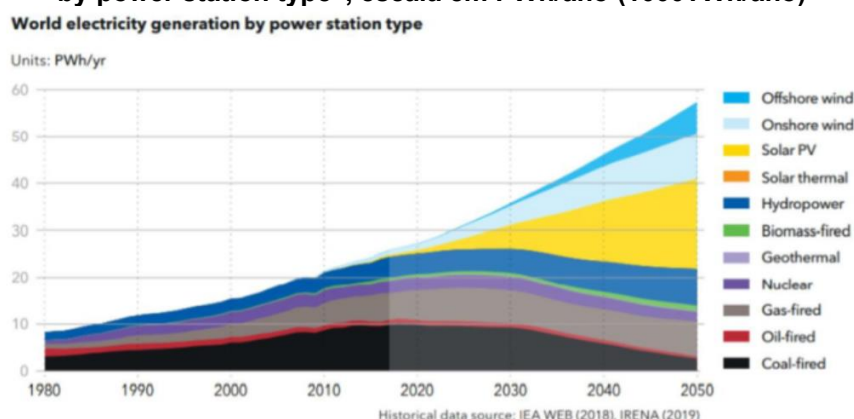
Segundo Cazzaniga&Rosa-Clot (2021) as vantagens relativas à utilização se sistemas fotovoltaicos flutuantes são

- Forte redução de ocupação de solo;
- Limitar o efeito estufa e o efeito albedo;
- Possibilidade de utilização de sistemas híbridos com acoplamento em usinas hidroelétricas;
- Redução de custos específicos de energia;
- Economia de água com a redução da evaporação;
- Resfriamento e rastreamento dos sistemas de forma barata;
- Controle do ambiente com a contenção da proliferação de algas.

“Por definição, “Efeito albedo”, é uma propriedade que descreve a quantidade de radiação solar que uma determinada superfície reflete de volta para a atmosfera”.

Outra perspectiva de futuro para geração de energia elétrica é apresentada por Engel (2019) conforme Figura 26, esta apresenta uma perspectiva de crescimento de geração de energia elétrica até 2050, na qual a geração fotovoltaica se torna representativa e ainda há uma redução de geração de energia com a utilização de carvão.

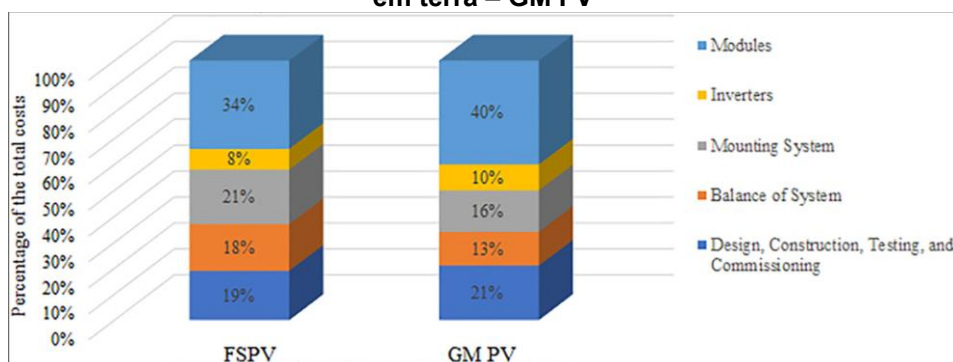
Figura 26 - Geração de eletricidade por tipo de estação de energia “World Electricity generation by power station type”, escala em PWh/ano (1000TWh/ano)



Fonte - Engel, 2019.

Ainda segundo Costa (2021) os custos de sistema fotovoltaico, seja instalado em solo ou flutuante, são comparados através da Figura 27 na qual é possível identificar que há um maior custo de toda estrutura e uma redução do percentual do custo dos módulos fotovoltaicos propriamente dito.

Figura 27 - Percentual total de custos de sistemas fotovoltaicos flutuantes - UFVF e montados em terra – GM FV



Fonte - Costa, 2021 e Bylander, 2018.

2.3.1 Sistemas e/ou perspectivas no Brasil

- Estado do Amazonas, na Hidroelétrica de Balbina, 5,0MWp (2017) – expansível até 300,0MWp;
- Estado da Bahia, na Hidroelétrica de Sobradinho, 1,0MWp (2019) – expansível até 2,5MWp;
- Estado do Piauí, na hidroelétrica de Boa Esperança, 1,25MWp (2020);
- Estado do Paraná, na represa do Passaúna, 130,68kWp (SANEPAR, 2019) entrou em operação o sistema de geração de energia fotovoltaica flutuante.

2.3.2 Sistemas e/ou perspectivas no Mundo

As maiores fazendas solares no mundo por potência segundo o site YSG Solar (2021):

1. Bhadla Solar Park, India – 2,25GW;
2. Huanghe Hydropower Hainan Solar Park, China – 2,20GW;
3. Pavagada Solar Park, India – 2,05GW;
4. Benban Solar Park, Egypt – 1,65GW;

5. Tengger Desert Solar Park, China – 1,54GW;
6. Noor Abu Dhabi, United Arab Emirates – 1,18GW;
7. Mohammed bin Rashid Al Maktoum Solar Park, United Arab Emirates – 1,01GW;
8. Kurnool Ultra Mega Solar Park, India – 1,00GW;
9. Datong Solar Power Top Runner Base, China – 1,00GW.

As maiores fazendas solares flutuantes no mundo em projeto e/ou executadas por potência segundo site Power Technology (2021).

1. Saemangeum floating solar energy project – 200MW (2019) – 2,1GW (Korea do Sul);
2. Omkareshwar Dam floating solar farm – 600,0MW (previsão de operação 2022-2023) (Índia);
3. Hangzhou Fengling Electricity Science Technology's solar farm – 320,0MW;
4. Three Gorges New Energy's floating solar farm – 150,0MW;
5. Cirata Reservoir floating photovoltaic (FV) power project – 145,0MW;
6. NTPC Kayamkulam solar project – 105,0MW;
7. NTPC Ramagundam solar power plant – 100,0MW.

Segundo o Cleantechnica (2021) o grupo Sunseap Group está buscando a construção de uma fazenda solar flutuante de 2,2GWp no reservatório Duriangkang na Ilha Batam na Indonésia, um acordo foi assinado em julho de 2021, a construção está prevista para ocorrer do ano de 2022 a 2024, e este projeto inclui sistemas de armazenamento de energia bem como a fazenda solar flutuante.

2.3.3 Sinergia

De modo geral, é possível perceber que estamos em um momento em que a busca de sinergias entre diferentes aspectos está sendo avaliados pelos projetistas, sejam em edificações, reservatórios, construções, entre outros, buscando a geração de energia e outros benefícios associados, como por exemplo os itens citados a seguir:

- Detalhes arquitetônicos;
- Redução da evapotranspiração;
- Redução de ocupação terrestre;
- Redução de aquecimento em ambientes por radiação;
- Aumento da geração de energia.

Segundo bangkokpost (2021), a Figura 28 ilustra a execução de grandes obras de sistemas de geração de energia elétrica através da tecnologia fotovoltaica flutuante pode ser desenvolvida e aperfeiçoada e colabora com a criação de empregos. A Figura 28 foi obtida da fazenda solar da barragem de Sirindhorn, localizada em Ubon Ratchathani na Tailândia, e com capacidade de 45,0MWp.

Figura 28 – Implantação da fazenda solar flutuante na barragem de Sirindhorn em Ubon Ratchathani



Fonte - Bangkokpost, 2021.

3 METODOLOGIA E MATERIAIS

A metodologia utilizada para se obter a avaliação dos critérios de performance das usinas escolhidas, se dará primeiramente com a apresentação das plantas, na sequência com apresentação das estações meteorológicas seguida pela apresentação das instalações dos sensores, seguidos pela apresentação dos dados coletados.

Os dados teóricos, foram obtidos com o auxílio do software radiasol para a conversão de dados do plano horizontal para o plano inclinado quando necessário.

3.1 OBJETOS DE ESTUDO

Os objetos de estudo, serão três usinas, sendo elas uma flutuante, uma instalada em solo e outra em telhado/laje de edificação.

Os dados de irradiação foram extraídos da estação solarimétrica da UTFPR sede neoville.

Para fins de estudo, serão extraídos os dados de temperatura máxima na usina em solo para o período do mês corrente, comparando com temperatura ambiente, também, haverá uma correção nas mesmas datas e horários (ajuste UTM, ou seja, mesma base horária) com a temperatura dos módulos, água e ambiente do sistema flutuante. Será desenvolvido um gráfico com a diferença da máxima temperatura do módulo com a temperatura ambiente no mesmo momento para ambas as plantas.

3.1.1 Usina fotovoltaica flutuante.

É um sistema flutuante, implantado pela equipe de pesquisa e desenvolvimento da SANEPAR, ele está localizado na represa do passaúna no município de Curitiba, interligado eletricamente na entrada de energia da captação de água bruta desta represa, nas coordenadas (-25,51203. -49,36919). As características elétricas da usina de geração fotovoltaica flutuante são apresentadas na Tabela 3.

Este sistema conta com um sensor de temperatura ambiente, com dois sensores de temperatura na água, e conta também com 06 unidades de sensores de temperatura fixados nas costas dos módulos fotovoltaicos.

Para fins de apresentação de dados no próximo capítulo, utilizou-se a média das informações de temperatura dos sensores utilizados.

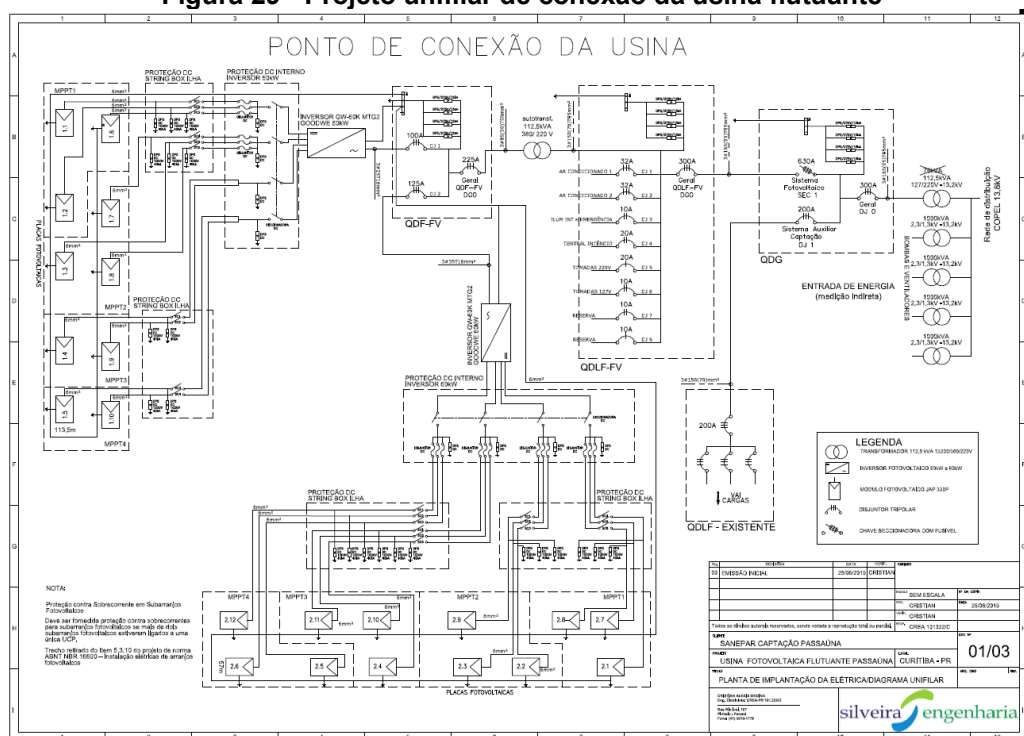
Serão extraídos os dados de temperatura máxima no período do mês corrente, e uma comparação com a temperatura da água e a temperatura ambiente.

Tabela 3 - Dados da UFV flutuante da represa do Passaúna.

Sistema fotovoltaico flutuante SANEPAR – Represa Passaúna	
Potência total lado CC	130,68kWp
Potência total lado CA	110kW
Números de módulos fotovoltaicos	396 unidades.
Potência individual de cada Módulo	330W
Número de Inversores	02 unidades
Potência dos Inversores	50kW e 60kW
Potência CC em cada inversor	59,4kWp e 71,28kWp
Tecnologia	Silício Policristalino – Si-p
Marca/Modelo Módulos Fotovoltaicos	JA SOLAR - JAP72S01 330/SC
Inclinação da instalação	15°
Desvio azimutal	0°

Na figura 29 apresenta como se dá a ligação da usina flutuante, uma vez que esta foi instada em uma estação de bombeamento da companhia de saneamento do paraná.

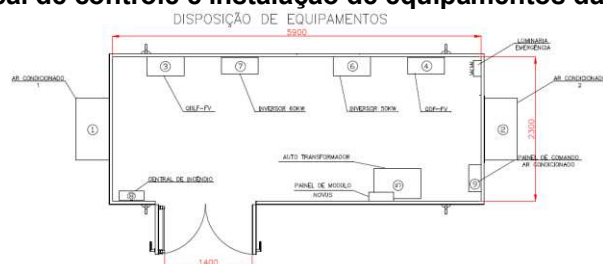
Figura 29 - Projeto unifilar de conexão da usina flutuante



Fonte - Sanepar, 2018.

Como se trata de uma unidade de bombeamento pré-existente, seria necessário se fazer um abrigo para a instalação de equipamentos, contudo foi adotado a solução de se utilizar um contêiner para a instalação de equipamentos e fazer os controles necessários do sistema de geração de energia elétrica flutuante. A figura 30 apresenta a disposição e os equipamentos instalados no contêiner.

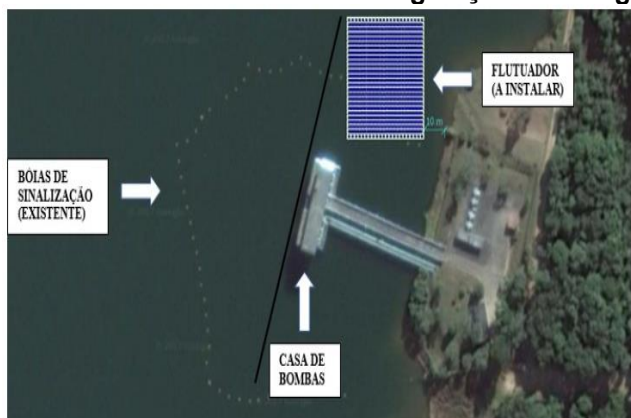
Figura 30 - Local de controle e instalação de equipamentos da usina flutuante



Fonte - Sanepar, 2018.

Uma vez em operação os dados do sistema de geração são armazenados em planilhas que possibilitam a visualização e tratamento dos dados.

Figura 31 - Local onde está instalado o sistema de geração de energia flutuante



Fonte – Novak, 2018.

Figura 32 - Sistema de geração de energia flutuante montado, vista específica do sistema.



Fonte – Novak, 2018.

As figuras 33 e 34 apresentam o sistema de geração em operação.

Figura 33 - Sistema de geração em operação, vista de terra possibilitando verificar o acesso.



Fonte – Autoria Própria, 2021.

O sistema fotovoltaico flutuante possui um sistema de ancoragem através de boias e blocos de concreto de forma que mantenha a orientação de todo o sistema sem desvio azimutal, dentro de uma faixa de variação de nível da represa.

Figura 34 - Sistema de geração em operação.



Fonte – Autoria Própria, 2021.

3.1.2 Usina fotovoltaica em solo.

É um sistema fotovoltaico instalado em estrutura fixa em solo, implantado pela equipe de pesquisa da UTFPR, este sistema está localizado na sede NEOVILE no município de Curitiba, interligado eletricamente na entrada de energia desta unidade, localizada na coordenada (-24,50762, -4931863). As características elétricas da usina de geração fotovoltaica fixa em solo são apresentadas na Tabela 4.

Serão extraídos os dados de temperatura máxima no período do mês corrente, e uma comparação com a temperatura ambiente.

Tabela 4 - Dados da UFV em solo na UTFPR

Sistema fotovoltaico instalado em solo – Sede UTFPR Neoville	
Potência total lado CC	4,69kWp
Potência total lado CA	6kW
Números de módulos fotovoltaicos	14 unidades
Potência individual de cada Módulo	335W
Número de Inversores	02 unidades

Tabela 04 – Continuação (Dados da UFV em solo na UTFPR)

Potência CA do Inversore 01	3,0kW
Potência CA do Inversore 02	3,0kW
Potência CC em cada inversor 01	2,35kWp
Potência CC em cada inversor 02	2,35kWp
Tecnologia	Silício Policristalino – Si-p
Marca/Modelo Módulos Fotovoltaicos	QCells – Q.Power L-G5
Inclinação da instalação	25°
Desvio azimutal	0°

A figura 35 apresenta a estação UTFPR NEOVILLE objeto de estudo.

Figura 35 - Estação de geração em solo / EPESOL – Estação de Pesquisa de energia solar UTFPR Curitiba.

Fonte: Labens (2022).

Figura 36 - Estação de geração em solo, em específico demarcado a tecnologia de policristalino.

Fonte: Labens (2023).

3.1.3 Usina fotovoltaica em telhado/laje.

É um sistema fotovoltaico instalado em estrutura fixa em telhado, implantado pela equipe de obras da SANEPAR, este sistema está localizado na sede da empresa no município de Curitiba, interligado eletricamente na entrada de energia desta unidade, localizada na coordenada (-24,44028°, -49,25904°). As características elétricas da usina de geração fotovoltaica fixa em telhado/laje são apresentadas na Tabela 5.

Tabela 5 - Dados da UFV instalada em telhado/laje sede SANEPAR.

Sistema fotovoltaico sede SANEPAR – Edifício administrativo	
Potência total lado CC	75,04kWp
Potência total lado CA	75,0kW
Números de módulos fotovoltaicos	224 unidades.
Potência individual de cada Módulo	335W
Número de Inversores	03 unidades
Potência dos Inversores	25,0kW
Potência CC em cada inversor	$(74 * 335W) = 24,790kW_{cc}$ $(75 * 335W) = 25,125kW_{cc}$ $(75 * 335W) = 25,125kW_{cc}$
Tecnologia	Silício Policristalino – Si-p
Marca/Modelo Módulos Fotovoltaicos	Jinko Solar
Inclinação da instalação	25°
Desvio azimutal	30° - Oeste

Fonte: Autoria própria (2023).

As figuras 37 e 38 apresentam a instalação em avaliação no telhado da edificação.

Figura 37 - Instalação no telhado de edificação, vista mais específica do sistema.



Fonte: Autoria própria (2020).

Figura 38 - Instalação no telhado de edificação, vista da edificação completa.



Fonte: Autoria própria (2020).

Figura 39 - Instalação no telhado de edificação, instalação de conversores de frequência.



Fonte: Autoria própria (2020).

Figura 40 - Instalação no telhado de edificação, sala dos conversores e painéis elétricos.



Fonte: Autoria própria (2020).

Figura 41 - Instalação no telhado de edificação, mais específico dos sistemas.



Fonte: Autoria própria (2020).

3.2 ESTAÇÃO SOLARIMETRICA CAMPUS NEOVILLE.

O campus NEOVILLE da UTFPR possui uma estação padrão SONDA e uma estação padrão EPE, os equipamentos que integram estas estações que são relacionados na tabela 6:

Tabela 6 - Equipamentos da Estação Sonda da UTFPR

Equipamento	Modelo	Descrição	Fabricante	Quantidade
Piranômetro	CMP 10	Medição da radiação global horizontal	Kipp&Zonen	1
Piranômetro	CMP 10	Medição da radiação global no plano inclinado	Kipp&Zonen	1
Piranômetro	CMP 10	Medição da radiação difusa	Kipp&Zonen	1
Pireliômetro	CHP 1	Medição da radiação direta normal	Kipp&Zonen	1
Unidade de ventilação	CVF 4	Para piranômetro radiação global horizontal	Kipp&Zonen	1
Unidade de ventilação	CVF 4	Para piranômetro radiação global no plano inclinado	Kipp&Zonen	1
Unidade de ventilação	CVF 4	Para piranômetro radiação difusa	Kipp&Zonen	1
Unidade de ventilação	CVF 4	Para pirgeômetro	Kipp&Zonen	1
Pirgeômetro	CGR4	Medição do espectro de radiação infravermelho	Kipp&Zonen	1
Sun sensor		Acoplado ao Solys 2 para acompanhamento da posição do Sol		1
Solys 2	SOLYS2 SUN TRACKER	Rastreador Solar	Kipp&Zonen	1
Anemômetro Ultrassônico	91000B RESPONSE ONE-2D ULTRASONIC ANEMO.-BLK	Medição da velocidade e direção do vento	Young	1
Pluviômetro TB4-0,2mm		Recolhimento e medição, em milímetros lineares, da quantidade de líquidos ou sólidos (chuva, neve, granizo) precipitados durante um determinado tempo e local	Hyquest Solutions	1
Abrigo TB4MM-L	COMPACT ASPIRATED RADIATION SHIELD MODEL 43502	Para pluviômetro	Hyquest Solutions	1
Termohigrômetro	41382VC TEMP/RH SENSOR, DEG C	Medição de umidade relativa e temperatura do ar	Young	1
Abrigo Aspirado	43502-90 COMPACT ASPIRATED RADIATION SHIELD	Para termohigrômetro	Young	1
Barômetro	61302V BAROMETRIC PRESSURE SENSOR (0-5VDC)	Medição da pressão atmosférica	Young	1
PAR Quantum Sensor	PQS 1	Medição precisa da radiação fotossinteticamente ativa	Kipp&Zonen	1
Datalogger	CR1000X	Armazenamento e transmissão dos dados	Campbell Scientific	1
Módulos de entrada analógica	CDM-A108	Módulos de entrada analógica de 24 bits	Campbell Scientific	1

Fonte: Souza 2020.

Tabela 6 – Continuação (Equipamentos utilizados na Estação EPE da UTFPR)

Equipamento	Modelo	Descrição	Fabricante	Quantidade
Piranômetro	CMP6	Medição da radiação global horizontal	Kipp&Zonen	1
Piranômetro	CMP6	Medição da radiação global no plano inclinado	Kipp&Zonen	1
Anemômetro	M.014A	Medição da velocidade do vento	Met One	1
Termohigrômetro	41382VC	Medição de umidade relativa e temperatura do ar	Young	1
Abrigo Aspirado	41003	Para termohigrômetro	Young	1
<i>Datalogger</i>	CR1000X	Armazenamento e transmissão dos dados	Campbell Scientific	1

Fonte: Souza (2020).

Considerando a elevada precisão apresentada pelos piranômetros instalados nas estações, são utilizados dados de radiação no plano horizontal e no plano inclinado.

Na Figura 42, é apresentada a estação solarimétrica SONDA presente no Campus Neville, no município de Curitiba, neste trabalho foram utilizados dados de irradiação horizontal, irradiação no plano inclinado, temperatura ambiente entre outras informações.

Figura 42 – Estação solarimétrica SONDA campus Curitiba

Fonte: Labens (2023).

3.3 CONSIDERAÇÕES GERAIS PARA OS METODOS E MATERIAIS.

Será considerado o número de dias de cada mês conforme tabela 7 para os cálculos de geração de energia.

Tabela 7 - Número de dias em cada mês considerado nos cálculos

nov/20	30	nov/21	30	nov/22	30
dez/20	31	dez/21	31	dez/22	31
jan/21	31	jan/22	31	jan/23	31
fev/21	28	fev/22	28	fev/23	28
mar/21	31	mar/22	31	mar/23	31
abr/21	30	abr/22	30	abr/23	30
mai/21	31	mai/22	31	mai/23	31
jun/21	30	jun/22	30	jun/23	30
jul/21	31	jul/22	31	jul/23	31
ago/21	31	ago/22	31	ago/23	31
set/21	30	set/22	30	set/23	30
out/21	31	out/22	31	out/23	31

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Aqui serão apresentados os resultados dos cálculos de geração de energia, bem como apresentado os cálculos de desempenho dos sistemas, e ainda serão apresentadas a comparação dos critérios de desempenho dos sistemas.

A seguir serão apresentados resultados dos cálculos dos critérios de desempenho dos sistemas.

4.1 USINA FOTOVOLTAICA FLUTUANTE.

A Tabela 8 apresenta os dados de geração de energia elétrica coletados para cada mês, e na coluna total, tem-se a soma das energias produzidas por cada conversor de frequência.

Tabela 8 - Dados de geração de energia da usina flutuante - SANEPAR

	Energia produzida Inv. 01 (MWh)	Energia produzida Inv. 02 (MWh)	Energia produzida Total (Inv. 01+ Inv. 02) (MWh)
nov/20	7,24	8,76	16,00
dez/20	7,31	8,99	16,30
jan/21	6,26	7,78	14,04
fev/21	7,82	9,66	17,48
mar/21	6,86	8,50	15,36
abr/21	5,60	6,97	12,57
mai/21	6,08	7,60	13,68
jun/21	4,20	5,25	9,45
jul/21	6,75	8,42	15,17
ago/21	4,93	6,69	11,62
set/21	5,94	8,02	13,96
out/21	4,64	6,24	10,88
nov/21	7,12	9,48	16,60
dez/21	8,24	9,51	17,75
jan/22	7,57	9,41	16,98
fev/22	7,84	9,71	17,55
mar/22	6,46	8,04	14,50
abr/22	5,24	6,54	11,78
mai/22	5,37	6,64	12,01
jun/22	4,52	5,60	10,13
jul/22	6,35	7,85	14,20

Tabela 8 – Continuação (Dados de geração de energia da usina flutuante – SANEPAR)

ago/22	5,61	6,92	12,53
set/22	4,69	5,77	10,46
out/22	5,54	6,80	12,34
nov/22	7,07	8,92	15,99
dez/22	7,49	9,26	16,75
jan/23	7,90	9,75	17,65
fev/23	6,76	8,36	15,12
mar/23	7,29	9,04	16,33
abr/23	4,93	6,12	11,05
mai/23	0,00	0,00	0,00
jun/23	2,10	2,62	4,72
jul/23	5,01	6,25	11,26
ago/23	5,79	7,20	12,98
set/23	6,76	8,42	15,19
out/23	4,44	5,54	9,99
Média mensal 36 meses			13,34

Obs: A planta de geração esteve parada de 24/04/2023 a 19/06/2023.

Cada inversor possui nas suas entradas de corrente contínua a potência de 59,4kWcc e 71,28kWcc, que é composta por 180 e 216 módulos respectivamente de 330W e a potência total do conjunto lado CC é de 130,68kWp considerando as somas das potências nas entradas dos dois inversores.

A Tabela 09 apresenta o resultado da produtividade ou yield para cada inversor bem como a potência total do sistema.

Tabela 9 - Produtividade da usina flutuante – SANEPAR (kWh/kW_{pico}).

	Yield Inv. 01	Yield Inv. 02	Yield Total
nov/20	121,80	122,90	122,40
dez/20	123,09	126,10	124,73
jan/21	105,39	109,08	107,40
fev/21	131,67	135,56	133,79
mar/21	115,42	119,35	117,57
abr/21	94,27	97,73	96,16
mai/21	102,43	106,57	104,69
jun/21	70,73	73,64	72,32
jul/21	113,56	118,14	116,06
ago/21	83,01	93,88	88,94

Tabela 09 – Continuação (Produtividade da usina flutuante – SANEPAR (kWh/kW_{pico})).

set/21	100,07	112,56	106,88
out/21	78,15	87,58	83,29
nov/21	119,85	133,02	127,03
dez/21	138,64	133,45	135,81
jan/22	127,39	132,05	129,93
fev/22	131,96	136,21	134,28
mar/22	108,78	112,81	110,98
abr/22	88,20	91,77	90,15
mai/22	90,35	93,15	91,88
jun/22	76,14	78,61	77,49
jul/22	106,94	110,09	108,66
ago/22	94,50	97,13	95,94
set/22	79,01	80,95	80,07
out/22	93,25	95,34	94,39
nov/22	118,98	125,17	122,35
dez/22	126,03	129,98	128,18
jan/23	132,91	136,80	135,03
fev/23	113,87	117,34	115,76
mar/23	122,76	126,84	124,99
abr/23	82,94	85,90	84,55
mai/23	0,00	0,00	0,00
jun/23	35,27	36,69	36,05
jul/23	84,38	87,74	86,21
ago/23	97,40	100,99	99,35
set/23	113,89	118,16	116,22
out/23	74,81	77,77	76,42
Média	99,94	103,92	102,11

Obs: A planta de geração esteve parada de 24/04/2023 a 19/06/2023, devido a problemas de manutenção.

A Tabela 10 apresenta o resultado do cálculo de fator de capacidade para a usina flutuante da SANEPAR.

O fator de capacidade total, leva em consideração a potência total do sistema.

Tabela 10 - Fator de Capacidade da usina flutuante – SANEPAR (%).

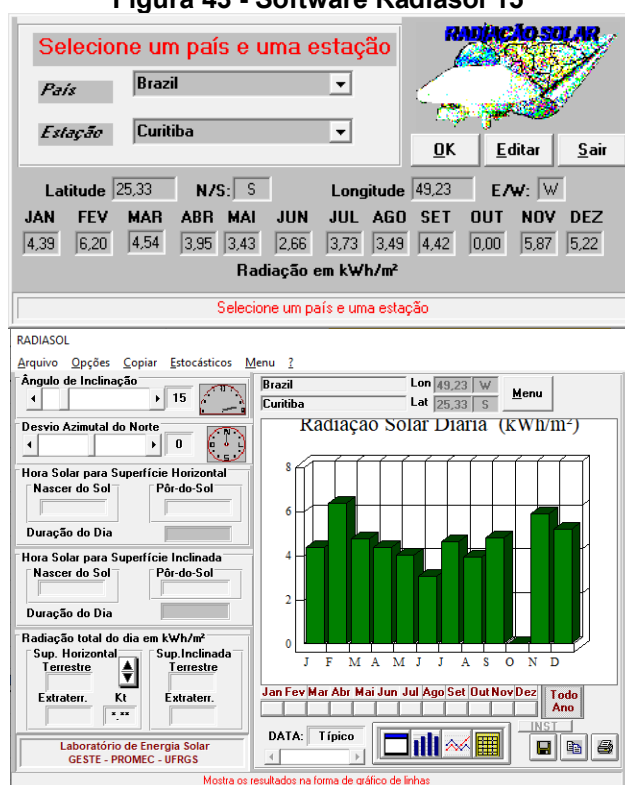
	Fator de capacidade Inversor 01	Fator de capacidade Inversor 02	Fator de capacidade Total (Inv. 01 + Inv. 02)
nov/20	16,92%	17,07%	17,00%
dez/20	16,54%	16,95%	16,77%
jan/21	14,17%	14,66%	14,44%
fev/21	19,59%	20,17%	19,91%
mar/21	15,51%	16,04%	15,80%
abr/21	13,09%	13,57%	13,36%
mai/21	13,77%	14,32%	14,07%
jun/21	9,82%	10,23%	10,04%
jul/21	15,26%	15,88%	15,60%
ago/21	11,16%	12,62%	11,95%
set/21	13,90%	15,63%	14,85%
out/21	10,50%	11,77%	11,20%
nov/21	16,65%	18,47%	17,64%
dez/21	18,63%	17,94%	18,25%
jan/22	17,12%	17,75%	17,46%
fev/22	19,64%	20,27%	19,98%
mar/22	14,62%	15,16%	14,92%
abr/22	12,25%	12,75%	12,52%
mai/22	12,14%	12,52%	12,35%
jun/22	10,57%	10,92%	10,76%
jul/22	14,85%	15,29%	15,09%
ago/22	12,70%	13,06%	12,89%
set/22	10,97%	11,24%	11,12%
out/22	12,53%	12,81%	12,69%
nov/22	16,53%	17,38%	16,99%
dez/22	16,94%	17,47%	17,23%
jan/23	17,86%	18,39%	18,15%
fev/23	16,94%	17,46%	17,23%
mar/23	16,50%	17,05%	16,80%
abr/23	11,52%	11,93%	11,74%
mai/23	0,00%	0,00%	0,00%
jun/23	4,90%	5,10%	5,01%
jul/23	11,34%	11,79%	11,59%
ago/23	13,09%	13,57%	13,35%
set/23	15,82%	16,41%	16,14%
out/23	10,05%	10,45%	10,27%
Média	13,73%	14,28%	14,03%

Obs: A planta de geração esteve parada de 24/04/2023 a 19/06/2023.

Os dados apresentados na Tabela 11, foram elaborados considerando a informação básica da irradiação horizontal obtida da estação solarimétrica na sede neoville – UTFPR, posteriormente, foi criada uma estação no software RADIASOL, para a obtenção das informações no plano inclinado na latitude de 15° e sem desvio azimutal, a Figura 43, apresenta os dados e o programa utilizado para fazer a conversão da irradiação horizontal para a irradiação no plano inclinado.

Como referenciado no capítulo 3 este sistema não possui desvio azimutal devido ao sistema de ancoramento que mantém o sistema de geração orientado ao norte mesmo que haja variações de níveis aceitáveis na represa. Esta estabilidade se dá devido a instalação de boias e blocos de ancoragens.

Figura 43 - Software Radiasol 15°



Fonte – Autoria própria, 2021.

Tabela 11 - Dados de irradiação no plano horizontal (kW/m².dia) da estação solarimétrica da sede neoville - UTFPR, no plano inclinado na latitude 15° calculado por software RADIASOL.

	Irradiação Horizontal	Irradiação Inclinado		Irradiação Horizontal	Irradiação Inclinado		Irradiação Horizontal	Irradiação Inclinado
nov/20	6,09	6,148	nov/21	5,82	5,874	nov/22	5,49	5,534
dez/20	5,21	5,21	dez/21	6,17	6,160	dez/22	5,45	5,450
jan/21	4,37	4,358	jan/22	5,44	5,458	jan/23	5,19	5,198
fev/21	6,18	6,350	fev/22	6,32	6,498	fev/23	5,23	5,338
mar/21	4,52	4,764	mar/22	4,15	4,322	mar/23	4,86	5,172
abr/21	3,95	4,390	abr/22	3,50	3,784	abr/23	4,09	4,580
mai/21	3,42	4,018	mai/22	3,47	4,090	mai/23	3,63	4,328
jun/21	2,63	3,018	jun/22	2,67	3,080	jun/23	3,17	3,866
jul/21	3,69	4,570	jul/22	3,72	4,614	jul/23	2,92	3,396
ago/21	3,45	3,866	ago/22	3,35	3,724	ago/23	3,56	4,02
set/21	4,37	4,744	set/22	3,26	3,362	set/23	4,57	4,998
out/21	3,34	3,344	out/22	4,51	4,630	out/23	3,10	3,092
Média	Plano horizontal – 4,301691242				Plano Inclinado – 4,593			

Utilizando os dados de irradiação solar no plano inclinado da tabela 11 e a potência instalada em cada inversor e a total do sistema, tem-se os dados de performance da usina flutuante da SANEPAR na tabela 12.

Tabela 12 – Cálculo de taxa de performance da usina flutuante – SANEPAR (%).

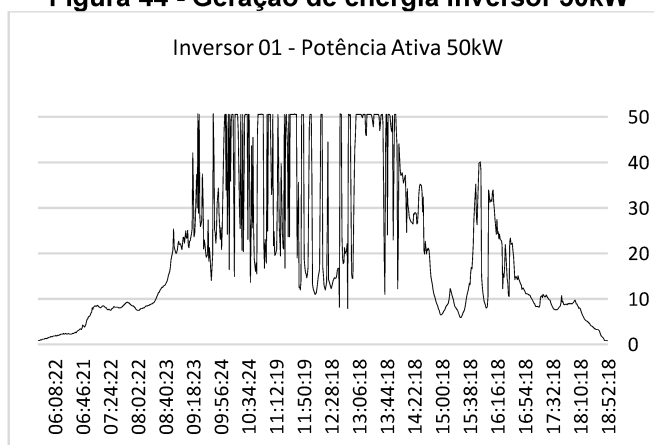
	PR - Inversor 1	PR - Inversor 2	PR - Total (Inv. 1 + Inv. 2)
nov/20	66,04%	66,63%	66,36%
dez/20	76,21%	78,08%	77,23%
jan/21	78,01%	80,74%	79,50%
fev/21	74,05%	76,24%	75,25%
mar/21	78,15%	80,82%	79,61%
abr/21	71,58%	74,21%	73,01%
mai/21	82,23%	85,56%	84,05%
jun/21	78,12%	81,33%	79,87%
jul/21	80,16%	83,39%	81,92%
ago/21	69,27%	78,33%	74,21%
set/21	70,32%	79,09%	75,10%
out/21	75,39%	84,48%	80,35%
nov/21	68,01%	75,48%	72,09%
dez/21	72,60%	69,88%	71,22%
jan/22	75,29%	78,04%	76,79%
fev/22	72,53%	74,86%	73,80%

Tabela 12– Continuação (Cálculo de taxa de performance da usina flutuante – SANEPAR (%)).

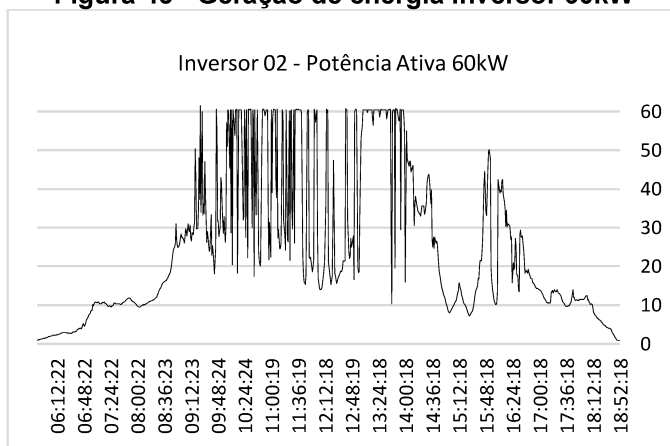
mar/22	81,19%	84,20%	82,83%
abr/22	77,70%	80,84%	79,41%
mai/22	71,26%	73,47%	72,46%
jun/22	82,40%	85,08%	83,86%
jul/22	77,26%	79,53%	78,50%
ago/22	81,86%	84,14%	83,10%
set/22	78,33%	80,26%	79,38%
out/22	64,97%	66,43%	65,76%
nov/22	71,67%	75,39%	73,70%
dez/22	74,60%	76,93%	75,87%
jan/23	82,48%	84,89%	83,80%
fev/23	76,18%	78,50%	77,45%
mar/23	76,57%	79,11%	77,95%
abr/23	60,36%	62,52%	61,54%
mai/23	0,00%	0,00%	0,00%
jun/23	30,41%	31,64%	31,08%
jul/23	80,15%	83,35%	81,89%
ago/23	78,15%	81,03%	79,73%
set/23	75,96%	78,80%	77,51%
out/23	78,05%	81,13%	79,73%
Média	71,88%	74,85%	73,50%

Obs: A planta de geração esteve parada de 24/04/2023 a 19/06/2023.

Na figura 44 e 45 são apresentados os dados de geração dos inversores de frequência em dias aleatórios, constata-se que há ceifamento (clipping) devido ao sobrecarregamento no lado de CC, ou seja, a potência CC é maior que a potência CA que o inversor de frequências pode disponibilizar.

Figura 44 - Geração de energia Inversor 50kW

Fonte – Autoria própria, 2023.

Figura 45 - Geração de energia Inversor 60kW

Fonte – Autoria própria, 2023.

A tabela 13, apresenta a máxima temperatura nos módulos fotovoltaicos dentro do período de um mês. Como há na planta seis sensores de temperatura, faz-se a média das máximas temperaturas para se obter os gráficos.

Tabela 13 - máxima temperatura dos módulos fotovoltaicos

		Máxima temperatura dos módulos no mês									
		sensor 01		sensor 02		sensor 03		sensor 04		sensor 05	
		data	temperatura	data	temperatura	data	temperatura	data	temperatura	data	temperatura
nov/20		22-nov-20 12:29:00	65,49	26-nov-20 13:18:00	67,48	26-nov-20 13:18:00	67,68	22-nov-20 12:29:00	69,46	22-nov-20 13:36:00	63,84
dez/20		08-dez-20 12:49:00	67,85	08-dez-20 12:50:00	70,85	08-dez-20 12:51:00	69,93	08-dez-20 12:50:00	71,88	08-dez-20 11:59:00	69,41
jan/21		10-jan-21 12:47:00	67,80	10-jan-21 12:48:00	71,27	10-jan-21 12:48:00	71,14	10-jan-21 12:47:00	72,37	10-jan-21 12:22:00	69,56
fev/21		19-fev-21 11:47:00	66,48	#N/D	0,00	02-fev-21 12:11:00	70,53	02-fev-21 12:19:00	72,18	02-fev-21 12:19:00	69,01
mar/21		08-mar-21 11:30:00	67,49	08-mar-21 11:30:00	69,42	08-mar-21 11:30:00	69,07	08-mar-21 11:30:00	70,62	08-mar-21 11:30:00	67,51
abr/21		02-abr-21 13:20:00	63,39	02-abr-21 13:20:00	65,29	02-abr-21 13:20:00	65,08	02-abr-21 13:20:00	66,32	28-abr-21 12:18:00	63,14
mai/21		03-mai-21 12:30:00	57,07	03-mai-21 12:28:00	58,92	03-mai-21 12:28:00	58,71	03-mai-21 12:29:00	59,61	03-mai-21 12:24:00	57,06
jun/21		03-jun-21 11:31:00	51,31	06-jun-21 12:11:00	52,36	06-jun-21 12:12:00	52,31	06-jun-21 12:12:00	53,30	03-jun-21 11:24:00	51,92
jul/21		23-jul-21 13:07:00	48,99	23-jul-21 13:08:00	49,70	23-jul-21 13:08:00	49,35	20-jul-21 12:05:00	50,08	23-jul-21 13:11:00	48,74
ago/21		23-ago-21 12:25:00	59,89	17-ago-21 13:17:00	58,36	17-ago-21 11:58:00	58,29	17-ago-21 11:59:00	58,37	17-ago-21 10:43:00	54,66
set/21		19-set-21 12:40:00	68,03	27-set-21 13:14:00	64,76	27-set-21 13:13:00	64,31	27-set-21 13:14:00	65,07	27-set-21 13:14:00	63,59
out/21		16-out-21 12:57:00	71,09	16-out-21 12:57:00	68,06	16-out-21 12:57:00	68,03	16-out-21 12:59:00	70,34	16-out-21 12:58:00	66,94
nov/21		16-nov-21 13:16:00	75,23	28-nov-21 11:39:00	68,68	05-nov-21 12:48:00	68,63	05-nov-21 12:51:00	71,39	16-nov-21 12:02:00	66,22
dez/21		16-dez-21 12:41:00	67,10	12-dez-21 12:45:00	71,59	12-dez-21 12:44:00	70,96	21-dez-21 12:42:00	75,63	21-dez-21 12:41:00	72,03
jan/22		21-jan-22 12:36:00	73,52	21-jan-22 12:32:00	76,96	21-jan-22 12:32:00	76,14	21-jan-22 12:32:00	78,07	21-jan-22 12:32:00	74,68
fev/22		23-fev-22 13:29:00	69,13	23-fev-22 13:28:00	71,32	23-fev-22 13:29:00	70,94	08-fev-22 12:31:00	72,61	26-fev-22 13:51:00	68,70
										23-fev-22 13:29:00	71,62

Tabela 13 – Continuação (máxima temperatura dos módulos fotovoltaicos)

mar/22	10-mar-22 11:51:00	69,17	10-mar-22 11:51:00	69,54	10-mar-22 11:51:00	68,71	07-mar-22 12:20:00	71,44	08-mar-22 12:56:00	66,44	10-mar-22 11:51:00	68,85
abr/22	10-abr-22 12:34:00	59,84	10-abr-22 12:36:00	62,70	10-abr-22 12:36:00	62,42	10-abr-22 12:34:00	64,51	06-abr-22 13:25:00	60,31	10-abr-22 12:35:00	63,17
mai/22	10-mai-22 12:27:00	56,09	02-mai-22 12:14:00	57,86	02-mai-22 12:14:00	57,31	02-mai-22 12:14:00	59,23	02-mai-22 12:14:00	56,37	02-mai-22 12:14:00	58,05
jun/22	16-jun-22 12:38:00	48,73	16-jun-22 12:38:00	49,71	16-jun-22 12:38:00	49,18	16-jun-22 12:38:00	50,35	16-jun-22 12:08:00	48,64	16-jun-22 12:38:00	49,68
jul/22	25-jul-22 12:28:00	55,01	25-jul-22 12:24:00	55,35	25-jul-22 12:25:00	54,49	25-jul-22 12:27:00	55,63	25-jul-22 12:25:00	55,28	25-jul-22 12:27:00	55,21
ago/22	26-ago-22 12:32:00	55,94	26-ago-22 12:23:00	56,45	26-ago-22 12:16:00	55,37	26-ago-22 12:22:00	56,77	02-ago-22 12:39:00	56,27	26-ago-22 12:15:00	56,22
set/22	13-set-22 11:31:00	56,59	13-set-22 11:31:00	59,03	13-set-22 11:31:00	58,31	13-set-22 11:31:00	60,30	13-set-22 11:30:00	58,88	13-set-22 11:31:00	59,83
out/22	24-out-22 12:08:00	66,18	28-out-22 11:56:00	67,85	24-out-22 12:06:00	66,82	24-out-22 11:48:00	69,02	24-out-22 12:15:00	63,61	24-out-22 12:06:00	68,61
nov/22	12-nov-22 12:18:00	64,82	12-nov-22 12:18:00	66,64	12-nov-22 12:18:00	65,84	12-nov-22 12:16:00	69,60	08-nov-22 12:56:00	65,88	12-nov-22 12:16:00	67,69
dez/22	27-dez-22 12:46:00	70,06	27-dez-22 12:46:00	72,50	27-dez-22 12:46:00	70,73	27-dez-22 12:35:00	74,27	09-dez-22 12:20:00	66,73	27-dez-22 12:46:00	73,19
jan/23	16-jan-23 12:14:00	70,00	01-jan-23 12:42:00	72,89	01-jan-23 12:42:00	70,39	01-jan-23 12:42:00	74,48	01-jan-23 12:42:00	71,52	16-jan-23 12:16:00	73,25
fev/23	08-fev-23 11:54:00	66,74	08-fev-23 12:24:00	69,14	07-fev-23 12:18:00	65,99	07-fev-23 12:19:00	70,24	07-fev-23 12:17:00	68,53	07-fev-23 12:18:00	69,53
mar/23	09-mar-23 13:46:00	69,31	09-mar-23 11:51:00	70,72	09-mar-23 11:52:00	67,04	09-mar-23 11:50:00	72,15	09-mar-23 11:51:00	69,19	09-mar-23 11:52:00	71,28
abr/23	13-abr-23 12:53:00	61,64	13-abr-23 12:53:00	63,62	13-abr-23 12:53:00	59,20	13-abr-23 12:51:00	64,40	04-abr-23 13:13:00	60,11	13-abr-23 12:53:00	62,85
mai/23	07-mai-23 11:54:00	62,27	07-mai-23 11:54:00	64,34	07-mai-23 11:56:00	60,32	07-mai-23 11:55:00	64,84	07-mai-23 11:48:00	63,06	07-mai-23 11:54:00	63,85
jun/23	08-jun-23 13:21:00	52,99	05-jun-23 13:48:00	54,84	08-jun-23 11:44:00	51,46	05-jun-23 13:46:00	55,35	05-jun-23 11:39:00	54,59	05-jun-23 13:49:00	54,32
jul/23	24-jul-23 12:40:00	53,35	17-jul-23 16:11:00	442,78	24-jul-23 12:41:00	50,64	24-jul-23 12:40:00	55,20	24-jul-23 12:42:00	54,02	24-jul-23 12:40:00	53,19
ago/23	02-ago-23 11:58:00	54,27	31-ago-23 11:52:00	56,32	31-ago-23 11:53:00	52,19	31-ago-23 11:50:00	57,04	02-ago-23 11:58:00	55,66	17-ago-23 15:27:00	80,31
set/23	17-set-23 12:10:00	62,20	17-set-23 12:49:00	64,75	17-set-23 12:17:00	60,48	17-set-23 12:37:00	65,14	17-set-23 12:35:00	63,50	17-set-23 12:37:00	63,56
out/23	23-out-23 12:14:00	62,49	23-out-23 12:09:00	63,92	23-out-23 12:31:00	60,05	23-out-23 12:59:00	64,85	23-out-23 12:07:00	61,47	23-out-23 12:29:00	63,70

Obs: relativo ao sensor 02 no mês de julho de 2023 este dado foi desconsiderado devido a falha do sensor.

A tabela 14, apresenta a temperatura ambiente nas mesmas datas da máxima temperatura nos módulos fotovoltaicos dentro do período de um mês. Como há na planta seis sensores de temperatura nos módulos, obtivemos as mesmas quantidades de dados nas mesmas datas, e faz-se a média das temperaturas para se obter os gráficos.

Tabela 14 – Temperatura ambiente nas mesmas datas da máxima temperatura dos módulos fotovoltaicos

	Temperatura AMBIENTE NAS MESMAS DATAS															
	sensor 01		sensor 02		sensor 03		sensor 04		sensor 05		sensor 06					
	data	temperatura	data	temperatura	data	temperatura	data	temperatura	data	temperatura	data	temperatura				
nov/20	22-nov-20 12:29:00	23,09	26-nov-20 13:18:00	30,67	26-nov-20 13:18:00	30,67	22-nov-20 12:29:00	23,09	22-nov-20 13:36:00	24,87	22-nov-20 12:28:00	23,09				
dez/20	08-dez-20 12:49:00	23,35	08-dez-20 12:50:00	25,61	08-dez-20 12:51:00	25,61	08-dez-20 12:50:00	25,61	08-dez-20 11:59:00	24,03	09-dez-20 12:19:00	26,63				
jan/21	10-jan-21 12:47:00	27,19	10-jan-21 12:48:00	27,19	10-jan-21 12:48:00	27,19	10-jan-21 12:47:00	27,19	10-jan-21 12:22:00	26,98	10-jan-21 12:48:00	27,19				
fev/21	19-fev-21 11:47:00	25,31	#N/D		02-fev-21 12:11:00	28,17	02-fev-21 12:19:00	27,88	02-fev-21 12:19:00	27,88	02-fev-21 12:19:00	27,88				
mar/21	08-mar-21 11:30:00	22,83	08-mar-21 11:30:00	22,83	08-mar-21 11:30:00	22,83	08-mar-21 11:30:00	22,83	08-mar-21 11:30:00	22,83	08-mar-21 11:30:00	22,83				
abr/21	02-abr-21 13:20:00	22,72	02-abr-21 13:20:00	22,72	02-abr-21 13:20:00	22,72	02-abr-21 13:20:00	22,72	28-abr-21 13:18:00	20,44	02-abr-21 13:18:00	22,72				
mai/21	03-mai-21 12:30:00	24,15	03-mai-21 12:28:00	24,15	03-mai-21 12:28:00	24,15	03-mai-21 12:29:00	24,15	03-mai-21 12:24:00	24,36	03-mai-21 12:28:00	24,15				
jun/21	03-jun-21 11:31:00	22,48	06-jun-21 12:11:00	20,80	06-jun-21 12:12:00	20,80	06-jun-21 12:12:00	20,80	03-jun-21 11:24:00	21,93	06-jun-21 12:12:00	20,80				
jul/21	23-jul-21 13:07:00	20,44	23-jul-21 13:08:00	20,44	23-jul-21 13:08:00	20,44	20-jul-21 12:05:00	14,13	23-jul-21 13:11:00	20,28	23-jul-21 13:10:00	20,28				
ago/21	23-ago-21 12:25:00	25,54	17-ago-21 13:17:00	23,16	17-ago-21 11:58:00	22,84	17-ago-21 11:59:00	22,84	17-ago-21 10:43:00	21,28	17-ago-21 12:01:00	22,84				
set/21	19-set-21 12:40:00	27,95	27-set-21 13:14:00	27,63	27-set-21 13:13:00	27,63	27-set-21 13:14:00	27,63	27-set-21 13:14:00	27,63	27-set-21 13:14:00	27,63				
out/21	16-out-21 12:57:00	22,67	16-out-21 12:57:00	22,67	16-out-21 12:57:00	22,67	16-out-21 12:59:00	22,67	16-out-21 12:58:00	22,67	16-out-21 12:58:00	22,67				
nov/21	16-nov-21 13:16:00	27,66	28-nov-21 11:39:00	26,07	05-nov-21 12:48:00	23,25	05-nov-21 12:51:00	23,42	16-nov-21 12:02:00	26,91	05-nov-21 12:59:00	23,42				
dez/21	16-dez-21 12:41:00	27,79	12-dez-21 12:45:00	29,78	12-dez-21 12:44:00	29,78	21-dez-21 12:42:00	27,78	21-dez-21 12:41:00	27,78	21-dez-21 12:40:00	27,78				

Tabela 14 – Continuação (Temperatura ambiente nas mesmas datas da máxima temperatura dos módulos fotovoltaicos)

jan/22	21-jan-22 12:36:00	29,62	21-jan-22 12:32:00	29,27	21-jan-22 12:32:00	29,27	21-jan-22 12:32:00	29,27	21-jan-22 12:32:00	29,27	21-jan-22 12:36:00	29,62
fev/22	23-fev-22 13:29:00	30,08	23-fev-22 13:28:00	30,08	23-fev-22 13:29:00	30,08	08-fev-22 12:31:00	24,28	26-fev-22 13:51:00	29,77	23-fev-22 13:29:00	30,08
mar/22	10-mar-22 11:51:00	26,89	10-mar-22 11:51:00	26,89	10-mar-22 11:51:00	26,89	07-mar-22 12:20:00	29,45	08-mar-22 12:56:00	29,26	10-mar-22 11:51:00	26,89
abr/22	10-abr-22 12:34:00	23,67	10-abr-22 12:36:00	23,88	10-abr-22 12:36:00	23,88	10-abr-22 12:34:00	23,67	06-abr-22 13:25:00	24,54	10-abr-22 12:35:00	23,67
mai/22	10-mai-22 12:27:00	20,45	02-mai-22 12:14:00	24,09	02-mai-22 12:14:00	24,09	02-mai-22 12:14:00	24,09	02-mai-22 12:14:00	24,09	02-mai-22 12:14:00	24,09
jun/22	16-jun-22 12:38:00	22,62	16-jun-22 12:38:00	22,62	16-jun-22 12:38:00	22,62	16-jun-22 12:38:00	22,62	16-jun-22 12:08:00	22,01	16-jun-22 12:38:00	22,62
jul/22	25-jul-22 12:28:00	24,13	25-jul-22 12:24:00	24,13	25-jul-22 12:25:00	24,13	25-jul-22 12:27:00	24,13	25-jul-22 12:25:00	24,13	25-jul-22 12:27:00	24,13
ago/22	26-ago-22 12:32:00	22,13	26-ago-22 12:23:00	21,89	26-ago-22 12:16:00	21,37	26-ago-22 12:22:00	21,89	02-ago-22 12:39:00	23,99	26-ago-22 12:15:00	21,37
set/22	13-set-22 11:31:00	20,46	13-set-22 11:31:00	20,46	13-set-22 11:31:00	20,46	13-set-22 11:31:00	20,46	13-set-22 11:30:00	20,45	13-set-22 11:31:00	20,46
out/22	24-out-22 12:08:00	22,34	28-out-22 11:56:00	25,84	24-out-22 12:06:00	22,34	24-out-22 11:48:00	22,24	24-out-22 12:15:00	22,83	24-out-22 12:06:00	22,34
nov/22	12-nov-22 12:18:00	22,66	12-nov-22 12:18:00	22,66	12-nov-22 12:18:00	22,66	12-nov-22 12:16:00	22,66	08-nov-22 12:56:00	21,84	12-nov-22 12:16:00	22,66
dez/22	27-dez-22 12:46:00	25,95	27-dez-22 12:46:00	25,95	27-dez-22 12:46:00	25,95	27-dez-22 12:35:00	26,38	09-dez-22 12:20:00	30,87	27-dez-22 12:46:00	25,95
jan/23	16-jan-23 12:14:00	26,78	01-jan-23 12:42:00	28,47	01-jan-23 12:42:00	28,47	01-jan-23 12:42:00	28,47	01-jan-23 12:42:00	28,47	16-jan-23 12:16:00	26,78
fev/23	08-fev-23 11:54:00	27,00	08-fev-23 12:24:00	27,32	07-fev-23 12:18:00	25,08	07-fev-23 12:19:00	25,08	07-fev-23 12:17:00	25,08	07-fev-23 12:18:00	25,08
mar/23	09-mar-23 13:46:00	27,95	09-mar-23 11:51:00	26,43	09-mar-23 11:52:00	26,43	09-mar-23 11:50:00	26,43	09-mar-23 11:51:00	26,43	09-mar-23 11:52:00	26,43
abr/23	13-abr-23 12:53:00	26,43	13-abr-23 12:53:00	26,43	13-abr-23 12:53:00	26,43	13-abr-23 12:51:00	26,43	04-abr-23 13:13:00	25,36	13-abr-23 12:53:00	26,43
mai/23	07-mai-23 11:54:00	23,36	07-mai-23 11:54:00	23,36	07-mai-23 11:56:00	23,70	07-mai-23 11:55:00	23,70	07-mai-23 11:48:00	22,94	07-mai-23 11:54:00	23,36
jun/23	08-jun-23 13:21:00	21,87	05-jun-23 13:48:00	21,74	08-jun-23 11:44:00	20,70	05-jun-23 13:46:00	21,74	05-jun-23 11:39:00	17,77	05-jun-23 13:49:00	21,74
jul/23	24-jul-23 12:40:00	24,71	17-jul-23 16:11:00	14,65	24-jul-23 12:41:00	24,71	24-jul-23 12:40:00	24,71	24-jul-23 12:42:00	24,71	24-jul-23 12:40:00	24,71
ago/23	02-ago-23 11:58:00	22,38	31-ago-23 11:52:00	21,49	31-ago-23 11:53:00	21,68	31-ago-23 11:50:00	21,49	02-ago-23 11:58:00	22,38	17-ago-23 15:27:00	23,82
set/23	17-set-23 12:10:00	27,69	17-set-23 12:49:00	28,25	17-set-23 12:17:00	27,69	17-set-23 12:37:00	27,79	17-set-23 12:35:00	27,79	17-set-23 12:37:00	27,79
out/23	23-out-23 12:14:00	25,29	23-out-23 12:09:00	25,74	23-out-23 12:31:00	26,05	23-out-23 12:59:00	26,64	23-out-23 12:07:00	25,50	23-out-23 12:29:00	25,62

A tabela 15, apresenta a temperatura na água nas mesmas datas da máxima temperatura nos módulos fotovoltaicos dentro do período de um mês. Como há na planta seis sensores de temperatura nos módulos, obtivemos as mesmas quantidades de dados nas mesmas datas, e faz-se a média das temperaturas para se obter os gráficos.

Tabela 15 - Temperatura na água nas mesmas datas da máxima temperatura dos módulos fotovoltaicos

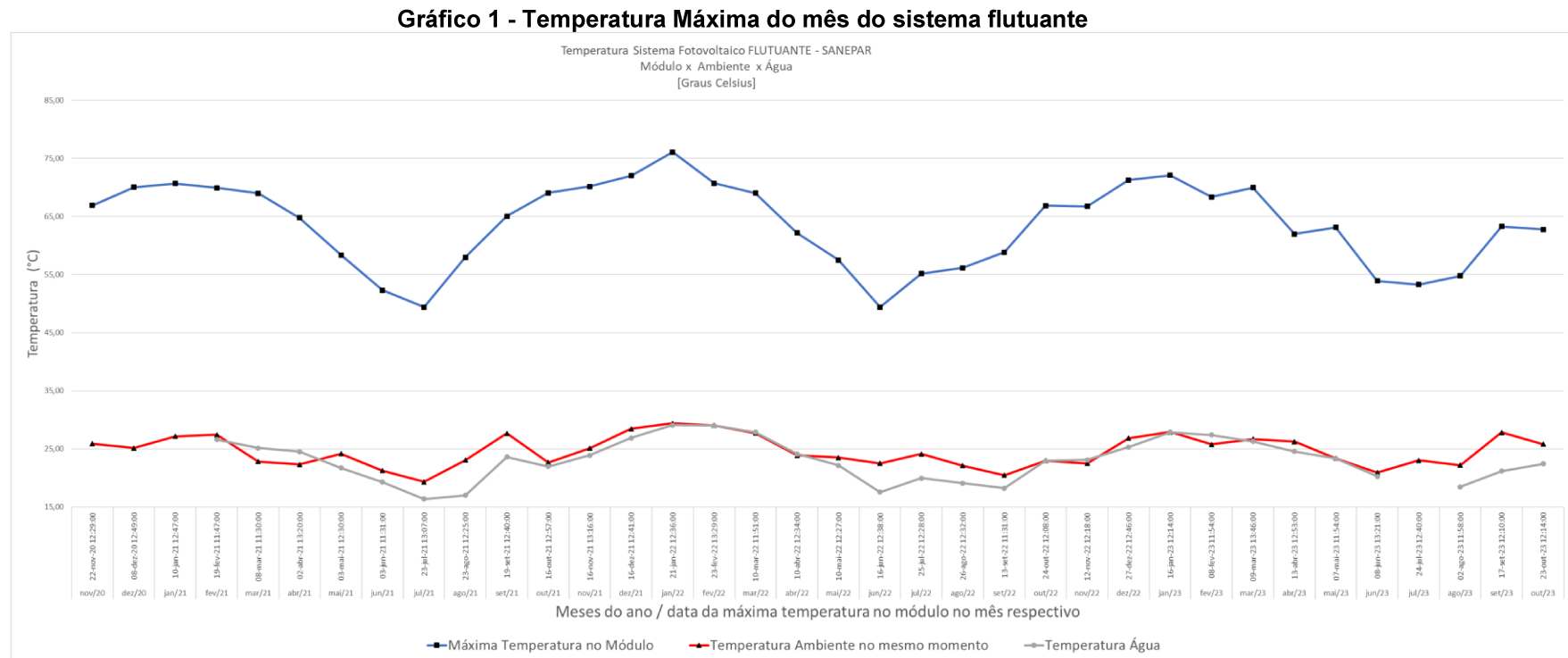
	Temperatura ÁGUA NAS MESMAS DATAS																	
	sensor 01			sensor 02			sensor 03			sensor 04			sensor 05			sensor 06		
	data	Temp. ÁGUA SENSOR 01	Temp. ÁGUA SENSOR 02	data	Temp. ÁGUA SENSOR 01	Temp. ÁGUA SENSOR 02	data	Temp. ÁGUA SENSOR 01	Temp. ÁGUA SENSOR 02	data	Temp. ÁGUA SENSOR 01	Temp. ÁGUA SENSOR 02	data	Temp. ÁGUA SENSOR 01	Temp. ÁGUA SENSOR 02	data	Temp. ÁGUA SENSOR 01	Temp. ÁGUA SENSOR 02
nov/20	22-nov-20 12:29:00			26-nov-20 13:18:00			26-nov-20 13:18:00			22-nov-20 12:29:00			22-nov-20 13:36:00			22-nov-20 12:28:00		
dez/20	08-dez-20 12:49:00			08-dez-20 12:50:00			08-dez-20 12:51:00			08-dez-20 12:50:00			08-dez-20 11:59:00			09-dez-20 12:19:00		
jan/21	10-jan-21 12:47:00			10-jan-21 12:48:00			10-jan-21 12:48:00			10-jan-21 12:47:00			10-jan-21 12:22:00			10-jan-21 12:48:00		
fev/21	19-fev-21 11:47:00 26,67			#N/D			02-fev-21 12:11:00 26,90			02-fev-21 12:19:00 26,47			02-fev-21 12:19:00 26,47			02-fev-21 12:19:00 26,47		
mar/21	08-mar-21 11:30:00 25,40 24,95			08-mar-21 11:30:00 25,40 24,95			08-mar-21 11:30:00 25,40 24,95			08-mar-21 11:30:00 25,40 24,95			08-mar-21 11:30:00 25,40 24,95			08-mar-21 11:30:00 25,40 24,95		
abr/21	02-abr-21 13:20:00 24,87 25,14			02-abr-21 13:20:00 24,87 25,14			02-abr-21 13:20:00 24,87 25,14			02-abr-21 13:20:00 24,87 25,14			28-abr-21 12:18:00 21,94 22,21			02-abr-21 13:18:00 24,87 25,14		
mai/21	03-mai-21 12:30:00 21,59 21,87			03-mai-21 12:28:00 21,59 21,87			03-mai-21 12:28:00 21,59 21,87			03-mai-21 12:29:00 21,59 21,87			03-mai-21 12:24:00 21,59 21,87			03-mai-21 12:28:00 21,59 21,87		
jun/21	03-jun-21 11:31:00 19,27 19,65			06-jun-21 12:11:00 19,16 19,38			06-jun-21 12:12:00 19,16 19,38			06-jun-21 12:12:00 19,16 19,38			03-jun-21 11:24:00 18,96 19,32			06-jun-21 12:12:00 19,16 19,38		
jul/21	23-jul-21 13:07:00 16,58 16,57			23-jul-21 13:08:00 16,58 16,57			23-jul-21 13:08:00 16,58 16,57			20-jul-21 12:05:00 15,42 15,67			23-jul-21 13:11:00 16,58 16,57			23-jul-21 13:10:00 16,58 16,57		
ago/21	23-ago-21 12:25:00 18,63 18,89			17-ago-21 13:17:00 16,72 17,02			17-ago-21 11:58:00 16,72 17,02			17-ago-21 11:59:00 16,72 17,02			17-ago-21 10:43:00 15,54 16,04			17-ago-21 12:01:00 16,72 17,02		
set/21	19-set-21 12:40:00 22,52 22,75			27-set-21 13:14:00 23,55 24,11			27-set-21 13:13:00 23,55 24,11			27-set-21 13:14:00 23,55 24,11			27-set-21 13:14:00 23,55 24,11			27-set-21 13:14:00 23,55 24,11		
out/21	16-out-21 12:57:00 21,67 22,26			16-out-21 12:57:00 21,67 22,26			16-out-21 12:57:00 21,67 22,26			16-out-21 12:59:00 21,67 22,26			16-out-21 12:58:00 21,67 22,26			16-out-21 12:58:00 21,67 22,26		
nov/21	16-nov-21 13:16:00 24,60 24,79			28-nov-21 11:39:00 25,35 25,56			05-nov-21 12:48:00 22,60 22,87			05-nov-21 12:51:00 23,25 23,49			16-nov-21 12:02:00 23,68 23,94			05-nov-21 12:59:00 23,25 23,49		
dez/21	16-dez-21 12:41:00 26,53 26,80			12-dez-21 12:45:00 26,25 26,66			12-dez-21 12:44:00 26,25 26,66			21-dez-21 12:42:00 27,11 27,38			21-dez-21 12:41:00 27,11 27,38			21-dez-21 12:40:00 27,11 27,38		

Tabela 15 – Continuação (Temperatura na água nas mesmas datas da máxima temperatura dos módulos fotovoltaicos)

jan/22	21-jan-22 12:36:00	28,89	29,26	21-jan-22 12:32:00	28,89	29,26	21-jan-22 12:32:00	28,89	29,26	21-jan-22 12:32:00	28,89	29,26	21-jan-22 12:32:00	28,89	29,26	21-jan-22 12:36:00	28,89	29,26
fev/22	23-fev-22 13:29:00	29,00	29,49	23-fev-22 13:28:00	29,00	29,49	23-fev-22 13:29:00	29,00	29,49	08-fev-22 12:31:00	26,71	27,08	26-fev-22 13:51:00	29,99	30,44	23-fev-22 13:29:00	29,00	29,49
mar/22	10-mar-22 11:51:00	27,38	27,65	10-mar-22 11:51:00	27,38	27,65	10-mar-22 11:51:00	27,38	27,65	07-mar-22 12:20:00	28,39	28,63	08-mar-22 12:56:00	28,39	28,95	10-mar-22 11:51:00	27,38	27,65
abr/22	10-abr-22 12:34:00	23,78	24,42	10-abr-22 12:36:00	23,78	24,42	10-abr-22 12:36:00	23,78	24,42	10-abr-22 12:34:00	23,78	24,42	06-abr-22 13:25:00	24,13	24,60	10-abr-22 12:35:00	23,78	24,42
mai/22	10-mai-22 12:27:00	20,60	21,22	02-mai-22 12:14:00	22,11	22,73	02-mai-22 12:14:00	22,11	22,73	02-mai-22 12:14:00	22,11	22,73	02-mai-22 12:14:00	22,11	22,73	02-mai-22 12:14:00	22,11	22,73
jun/22	16-jun-22 12:38:00	17,26	17,98	16-jun-22 12:38:00	17,26	17,98	16-jun-22 12:38:00	17,26	17,98	16-jun-22 12:38:00	17,26	17,98	16-jun-22 12:08:00	17,02	17,76	16-jun-22 12:38:00	17,26	17,98
jul/22	25-jul-22 12:28:00	19,47	20,45	25-jul-22 12:24:00	19,47	20,45	25-jul-22 12:25:00	19,47	20,45	25-jul-22 12:27:00	19,47	20,45	25-jul-22 12:25:00	19,47	20,45	25-jul-22 12:27:00	19,47	20,45
ago/22	26-ago-22 12:32:00	18,84	19,79	26-ago-22 12:32:00	18,50	19,27	26-ago-22 12:16:00	18,50	19,27	26-ago-22 12:22:00	18,50	19,27	02-ago-22 12:39:00	19,15	20,17	26-ago-22 12:15:00	18,50	19,27
set/22	13-set-22 11:31:00	17,86	18,60	13-set-22 11:31:00	17,86	18,60	13-set-22 11:31:00	17,86	18,60	13-set-22 11:31:00	17,86	18,60	13-set-22 11:30:00	17,86	18,63	13-set-22 11:31:00	17,86	18,60
out/22	24-out-22 12:08:00	22,11	23,24	28-out-22 11:56:00	23,90	24,71	24-out-22 12:06:00	22,11	23,24	24-out-22 11:48:00	22,11	22,94	24-out-22 12:15:00	22,39	23,24	24-out-22 12:06:00	22,11	23,24
nov/22	12-nov-22 12:18:00	22,88	23,67	12-nov-22 12:18:00	22,88	23,67	12-nov-22 12:18:00	22,88	23,67	12-nov-22 12:16:00	22,70	23,67	08-nov-22 12:56:00	21,99	22,96	12-nov-22 12:16:00	22,70	23,67
dez/22	27-dez-22 12:46:00	24,68	24,93	27-dez-22 12:46:00	24,68	24,93	27-dez-22 12:46:00	24,68	24,93	27-dez-22 12:35:00	24,44	24,57	09-dez-22 12:20:00	27,85	28,45	27-dez-22 12:46:00	24,68	24,93
jan/23	16-jan-23 12:14:00	26,51	26,36	01-jan-23 12:42:00	28,35	28,86	01-jan-23 12:42:00	28,35	28,86	01-jan-23 12:42:00	28,35	28,86	01-jan-23 12:42:00	28,35	28,86	16-jan-23 12:16:00	26,51	26,36
fev/23	08-fev-23 11:54:00	27,67	27,57	08-fev-23 12:24:00	28,12	27,95	07-fev-23 12:18:00	27,21	27,15	07-fev-23 12:19:00	27,21	27,15	07-fev-23 12:17:00	27,21	27,15	07-fev-23 12:18:00	27,21	27,15
mar/23	09-mar-23 13:46:00	27,28	27,11	09-mar-23 11:51:00	26,28	25,98	09-mar-23 11:52:00	26,28	25,98	09-mar-23 11:52:00	26,28	25,98	09-mar-23 11:51:00	26,28	25,98	09-mar-23 11:52:00	26,28	25,98
abr/23	13-abr-23 12:53:00	24,24	24,48	13-abr-23 12:53:00	24,24	24,48	13-abr-23 12:53:00	24,24	24,48	13-abr-23 12:53:00	24,24	24,48	04-abr-23 13:13:00	25,71	25,57	13-abr-23 12:53:00	24,24	24,48
mai/23	07-mai-23 11:54:00	23,25	23,58	07-mai-23 11:54:00	23,25	23,58	07-mai-23 11:56:00	23,25	23,58	07-mai-23 11:55:00	23,25	23,58	07-mai-23 11:48:00	22,86	23,17	07-mai-23 11:54:00	23,25	23,58
jun/23	08-jun-23 13:21:00	19,99	20,15	05-jun-23 13:48:00	20,40	20,65	08-jun-23 11:44:00	19,82	20,15	05-jun-23 13:46:00	20,40	20,65	05-jun-23 11:39:00	19,83	20,11	05-jun-23 13:49:00	20,40	20,65
jul/23	24-jul-23 12:40:00	0,00	0,00	17-jul-23 16:11:00	0,00	0,00	24-jul-23 12:41:00	0,00	0,00	24-jul-23 12:40:00	0,00	0,00	24-jul-23 12:42:00	0,00	0,00	24-jul-23 12:40:00	0,00	0,00
ago/23	02-ago-23 11:58:00	19,17	17,28	31-ago-23 11:52:00	19,29	17,98	31-ago-23 11:53:00	19,29	17,98	31-ago-23 11:50:00	19,29	17,98	02-ago-23 11:58:00	19,17	17,28	17-ago-23 15:27:00	18,99	18,02
Set/23	17-set-23 12:10:00	21,13	21,21	17-set-23 12:49:00	21,13	21,21	17-set-23 12:17:00	21,13	21,21	17-set-23 12:37:00	21,13	21,21	17-set-23 12:35:00	21,13	21,21	17-set-23 12:37:00	21,13	21,21
Out/23	23-out-23 12:14:00	22,00	22,14	23-out-23 12:09:00	22,00	22,14	23-out-23 12:31:00	22,29	22,58	23-out-23 12:59:00	23,25	23,70	23-out-23 12:07:00	22,00	22,14	23-out-23 12:29:00	22,29	22,58

4.2 COMPARATIVO DO SFV FLUTUANTE – TEMPERATURA MÁXIMA NOS MÓDULOS NO MÊS COM TEMPERATURA AMBIENTE E TEMPERATURA DA ÁGUA NOS RESPECTIVOS MOMENTOS.

O gráfico 01 apresenta um comparativo entre a temperatura máxima do módulo fotovoltaico em cada mês, no mesmo instante, se obteve a temperatura ambiente e a temperatura na água.

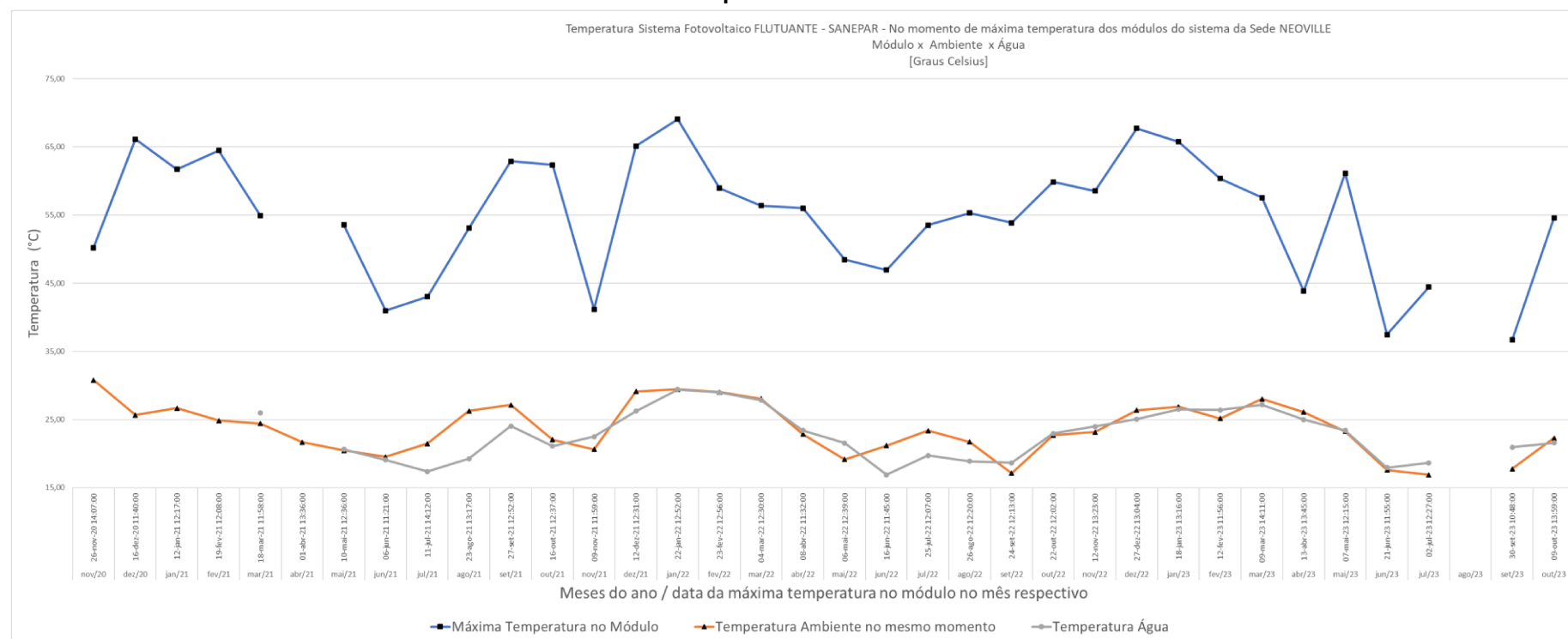


Fonte – Autoria própria, 2023.

4.3 COMPARATIVO DO SFV FLUTUANTE – TEMPERATURA NOS MÓDULOS NO MÊS COM TEMPERATURA AMBIENTE E TEMPERATURA DA ÁGUA NOS RESPECTIVOS MOMENTOS DA MÁXIMA TEMPERATURA DA PLANTA DO SISTEMA UTFPR NEOVILLE.

O gráfico 02 apresenta um comparativo entre a temperatura do módulo fotovoltaico em cada mês, no mesmo instante, se obteve a temperatura ambiente e a temperatura na água, nos respectivos momentos da máxima temperatura da planta do sistema UTFPR NEOVILLE.

Gráfico 2 - Temperatura do sistema flutuante



Fonte – Autoria própria, 2023.

4.4 USINA FOTOVOLTAICA EM SOLO.

A Tabela 16 apresenta os dados de geração de energia elétrica coletados para cada mês específico.

Tabela 16 - Dados de geração de energia da usina sede NEOVILLE - UTFPR

	Energia produzida Inversor 01 (MWh)	Energia produzida Inversor 02 (MWh)	Energia produzida Total (Inv. 01+ Inv. 02) (MWh)
nov/20	0,30	0,30	0,59
dez/20	0,26	0,25	0,51
jan/21	0,23	0,22	0,45
fev/21	0,29	0,29	0,58
mar/21	0,26	0,26	0,52
abr/21	0,24	0,24	0,48
mai/21	0,25	0,25	0,50
jun/21	0,19	0,20	0,39
jul/21	0,28	0,31	0,59
ago/21	0,23	0,25	0,48
set/21	0,25	0,27	0,52
out/21	0,17	0,19	0,36
nov/21	0,27	0,29	0,56
dez/21	0,29	0,31	0,60
jan/22	0,26	0,28	0,54
fev/22	0,29	0,31	0,60
mar/22	0,23	0,25	0,48
abr/22	0,21	0,22	0,43
mai/22	0,25	0,26	0,50
jun/22	0,19	0,20	0,38
jul/22	0,27	0,28	0,55
ago/22	0,21	0,22	0,44
set/22	0,18	0,18	0,36
out/22	0,22	0,23	0,46
nov/22	0,25	0,26	0,51
dez/22	0,25	0,26	0,51
jan/23	0,26	0,27	0,53
fev/23	0,23	0,23	0,46
mar/23	0,27	0,27	0,54
abr/23	0,23	0,23	0,46
mai/23	0,24	0,25	0,50
jun/23	0,11	0,23	0,34
jul/23	0,00	0,15	0,15
ago/23	0,00	0,22	0,22
set/23	0,00	0,25	0,25
out/23	0,00	0,00	0,00
Média	0,21	0,24	0,45

Cada inversor possui nas suas entradas de corrente contínua a potência de 2,35kW, que é composta por 14 módulos de 335W e a potência total do conjunto é de 4,69kW_{pico} considerando as somas das potências nas entradas dos dois inversores.

A Tabela 17 apresenta o resultado da produtividade ou yield para cada inversor bem como a potência total.

Nesta aplicação, não há o ceifamento devido a potência CC instalada em inversor de frequências, é menor que a potência CA do equipamento.

Tabela 17 – Produtividade (Yield) da usina sede NEOVILLE – UTFPR (kWh/kW_{pico}).

	Yield Inv. 01	Yield Inv. 02	Yield Total
nov/20	126,35	125,88	126,12
dez/20	108,87	108,10	108,49
jan/21	95,96	95,82	95,89
fev/21	124,51	124,14	124,32
mar/21	110,58	109,85	110,21
abr/21	102,21	101,75	101,98
mai/21	106,33	108,10	107,21
jun/21	80,51	87,29	83,90
jul/21	119,40	130,06	124,73
ago/21	98,34	106,57	102,45
set/21	105,37	114,71	110,04
out/21	73,39	80,30	76,84
nov/21	115,48	123,97	119,72
dez/21	123,54	131,86	127,70
jan/22	111,17	119,10	115,13
fev/22	123,96	131,13	127,54
mar/22	99,79	105,07	102,43
abr/22	89,72	94,50	92,10
mai/22	104,16	109,59	106,87
jun/22	80,00	83,92	81,96
jul/22	114,63	119,74	117,19
ago/22	91,00	94,75	92,88
set/22	75,75	78,87	77,31
out/22	95,46	99,51	97,48
nov/22	106,91	111,56	109,23
dez/22	105,97	110,36	108,17
jan/23	109,86	114,71	112,28
fev/23	95,92	99,40	97,66
mar/23	113,21	116,89	115,05
abr/23	96,13	99,06	97,60

Tabela 17 – Continuação (Produtividade (Yield) da usina sede NEOVILLE – UTFPR (kWh/kWpico)).

mai/23	104,04	107,38	105,70
jun/23	45,20	98,38	71,79
jul/23	0,00	61,83	30,92
ago/23	0,00	95,05	47,53
set/23	0,00	104,73	52,37
out/23	0,00	0,00	0,00
Média MENSAL	90,38	102,89	96,63
Média ANUAL	1084,58	1234,66	1159,60

Obs. De julho a outubro de 2023 a planta tem passado por problemas e alguns equipamentos estão fora de operação.

A tabela 18 apresenta o resultado do cálculo de fator de capacidade para a usina da sede do neoville da UTFPR.

Tabela 18 - Fator de Capacidade da usina sede NEOVILLE – UTFPR (%).

	Fator de capacidade Inversor 01	Fator de capacidade Inversor 02	Fator de capacidade Total (Inv. 01 + Inv. 02)
nov/20	17,55%	17,48%	17,52%
dez/20	14,63%	14,53%	14,58%
jan/21	12,90%	12,88%	12,89%
fev/21	18,53%	18,47%	18,50%
mar/21	14,86%	14,76%	14,81%
abr/21	14,20%	14,13%	14,16%
mai/21	14,29%	14,53%	14,41%
jun/21	11,18%	12,12%	11,65%
jul/21	16,05%	17,48%	16,77%
ago/21	13,22%	14,32%	13,77%
set/21	14,64%	15,93%	15,28%
out/21	9,86%	10,79%	10,33%
nov/21	16,04%	17,22%	16,63%
dez/21	16,60%	17,72%	17,16%
jan/22	14,94%	16,01%	15,47%
fev/22	18,45%	19,51%	18,98%
mar/22	13,41%	14,12%	13,77%
abr/22	12,46%	13,12%	12,79%
mai/22	14,00%	14,73%	14,36%
jun/22	11,11%	11,66%	11,38%

Tabela 18 – Continuação (Fator de Capacidade da usina sede NEOVILLE – UTFPR (%)).

jul/22	15,92%	16,63%	16,28%
ago/22	12,23%	12,74%	12,48%
set/22	10,52%	10,95%	10,74%
out/22	12,83%	13,37%	13,10%
nov/22	14,85%	15,49%	15,17%
dez/22	14,24%	14,83%	14,54%
jan/23	14,77%	15,42%	15,09%
fev/23	14,27%	14,79%	14,53%
mar/23	15,22%	15,71%	15,46%
abr/23	13,35%	13,76%	13,55%
mai/23	13,98%	14,43%	14,21%
jun/23	6,28%	13,66%	9,97%
jul/23	0,00%	8,31%	4,16%
ago/23	0,00%	12,78%	6,39%
set/23	0,00%	14,55%	7,27%
out/23	0,00%	0,00%	0,00%
Média	12,43%	14,14%	13,28%

Os dados apresentados na Tabela 19, apresentam a informação da irradiação horizontal obtida da estação solarimétrica existente na sede neoville – UTFPR, tanto no plano horizontal como no plano inclinado na latitude de 25° e sem desvio azimutal.

Os dados de irradiação no plano inclinado favorecem a geração nos meses de inverno no hemisfério sul, devido a inclinação da irradiação solar na superfície terrestre.

Tabela 19 - Dados de irradiação no plano horizontal (kW/m².dia) da estação solarimétrica da sede neoville – UTFPR, e no plano horizontal 0° e no plano inclinado na latitude 25°.

	Irradiação Horizontal	Irradiação Inclinado		Irradiação Horizontal	Irradiação Inclinado
nov/20	6,09	5,60	mai/22	3,47	4,49
dez/20	5,21	4,74	jun/22	2,67	3,55
jan/21	4,37	4,09	jul/22	3,72	5,03
fev/21	6,18	5,98	ago/22	3,35	4,01
mar/21	4,52	4,75	set/22	3,26	3,53
abr/21	3,95	4,49	out/22	4,51	4,53
mai/21	3,42	4,36	nov/22	5,49	5,16
jun/21	2,63	3,42	dez/22	5,45	5,00
jul/21	3,69	4,94	jan/23	5,19	4,86
ago/21	3,45	4,19	fev/23	5,23	5,17

Tabela 19 – Continuação (Dados de irradiação no plano horizontal (kW/m2.dia) da estação solarimétrica da sede neoville – UTFPR, e no plano horizontal 0° e no plano inclinado na latitude 25°).

set/21	4,37	4,82	mar/23	4,86	5,16
out/21	3,34	3,27	abr/23	4,09	4,73
nov/21	5,82	5,43	mai/23	3,63	4,65
dez/21	6,17	5,65	jun/23	3,17	4,19
jan/22	5,44	5,07	jul/23	2,92	3,66
fev/22	6,32	6,23	ago/23	3,56	4,23
mar/22	4,15	4,39	set/23	4,57	5,00
abr/22	3,50	4,02	out/23	3,10	3,10
			Média	4,30	4,60

Utilizando os dados de irradiação solar no plano inclinado da Tabela 19 e a potência de cada inversor ou total do sistema, obtém-se os dados de performance da usina em solo da UTFPR sede NEOVILLE na tabela 20.

Tabela 20 – Cálculo de taxa de performance da usina sede neoville – UTFPR (%).

	PR - Inversor 1	PR - Inversor 2	PR - Total (Inv. 1 + Inv. 2)
nov/20	74,00%	73,72%	73,86%
dez/20	70,01%	69,52%	69,77%
jan/21	75,73%	75,62%	75,68%
fev/21	74,34%	74,12%	74,23%
mar/21	75,13%	74,63%	74,88%
abr/21	75,80%	75,46%	75,63%
mai/21	78,76%	80,07%	79,41%
jun/21	78,41%	85,01%	81,71%
jul/21	78,00%	84,96%	81,48%
ago/21	75,76%	82,10%	78,93%
set/21	72,93%	79,40%	76,16%
out/21	72,33%	79,14%	75,73%
nov/21	70,88%	76,08%	73,48%
dez/21	70,58%	75,33%	72,96%
jan/22	70,75%	75,80%	73,27%
fev/22	71,12%	75,23%	73,17%
mar/22	73,32%	77,21%	75,26%

Tabela 20 – Continuação (Cálculo de taxa de performance da usina sede neoville – UTFPR (%)).

abr/22	74,35%	78,31%	76,33%
mai/22	74,91%	78,82%	76,86%
jun/22	75,07%	78,75%	76,91%
jul/22	75,98%	79,37%	77,68%
ago/22	73,24%	76,26%	74,75%
set/22	71,44%	74,38%	72,91%
out/22	67,91%	70,79%	69,35%
nov/22	69,00%	72,00%	70,50%
dez/22	68,35%	71,18%	69,77%
jan/23	72,90%	76,12%	74,51%
fev/23	66,28%	68,68%	67,48%
mar/23	70,82%	73,12%	71,97%
abr/23	67,81%	69,87%	68,84%
mai/23	72,23%	74,55%	73,39%
jun/23	35,92%	78,18%	57,05%
jul/23	0,00%	54,50%	27,25%
ago/23	0,00%	72,49%	36,24%
set/23	0,00%	69,82%	34,91%
out/23	0,00%	0,00%	0,00%
Média	63,87%	73,22%	68,54%

Tabela 21 - Temperatura no módulo e temperatura ambiente no mesmo momento.

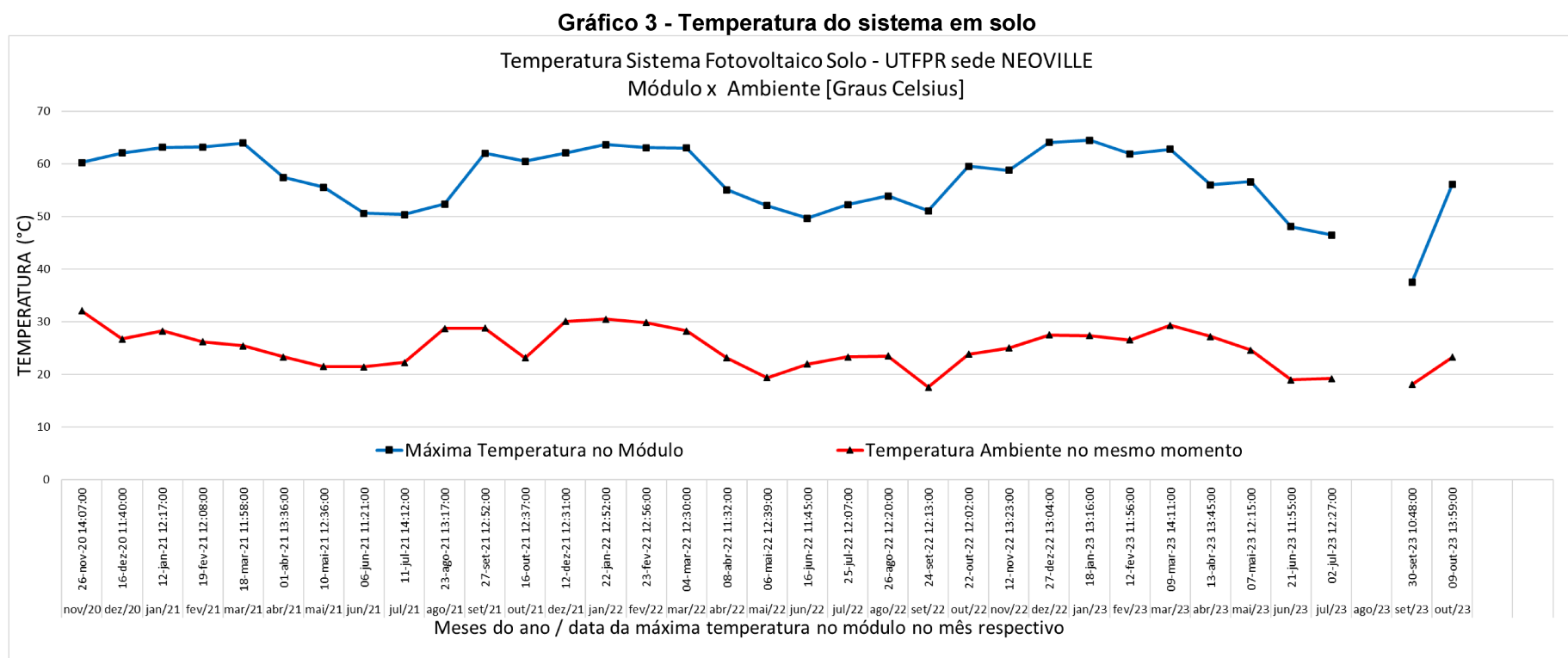
	Máxima temperatura dos módulos no mês		Diferença de temperatura máxima no módulo x Ambiente	Temperatura AMBIENTE NAS MESMAS DATAS	
	sensor 01			sensor 01	
	data	temperatura		temperatura	data
nov/20	26-nov-20 14:07:00	60,26	28,20	32,06	26-nov-20 14:07:00
dez/20	16-dez-20 11:40:00	62,06	35,33	26,73	16-dez-20 11:40:00
jan/21	12-jan-21 12:17:00	63,14	34,89	28,25	12-jan-21 12:17:00
fev/21	19-fev-21 12:08:00	63,19	36,99	26,20	19-fev-21 12:08:00
mar/21	18-mar-21 11:58:00	63,94	38,50	25,44	18-mar-21 11:58:00
abr/21	01-abr-21 13:36:00	57,44	34,12	23,32	01-abr-21 13:36:00
mai/21	10-mai-21 12:36:00	55,55	34,07	21,48	10-mai-21 12:36:00
jun/21	06-jun-21 11:21:00	50,61	29,17	21,44	06-jun-21 11:21:00
jul/21	11-jul-21 14:12:00	50,33	28,08	22,25	11-jul-21 14:12:00
ago/21	23-ago-21 13:17:00	52,33	23,64	28,69	23-ago-21 13:17:00
set/21	27-set-21 12:52:00	61,97	33,22	28,75	27-set-21 12:52:00
out/21	16-out-21 12:37:00	60,48	37,36	23,12	16-out-21 12:37:00
nov/21	09-nov-21 11:59:00	60,58	37,37	23,21	09-nov-21 11:59:00
dez/21	12-dez-21 12:31:00	62,03	31,97	30,06	12-dez-21 12:31:00
jan/22	22-jan-22 12:52:00	63,63	33,18	30,45	22-jan-22 12:52:00
fev/22	23-fev-22 12:56:00	63,03	33,20	29,83	23-fev-22 12:56:00
mar/22	04-mar-22 12:30:00	62,98	34,77	28,21	04-mar-22 12:30:00
abr/22	08-abr-22 11:32:00	55,06	31,95	23,11	08-abr-22 11:32:00
mai/22	06-mai-22 12:39:00	52,03	32,68	19,35	06-mai-22 12:39:00
jun/22	16-jun-22 11:45:00	49,65	27,72	21,93	16-jun-22 11:45:00
jul/22	25-jul-22 12:07:00	52,21	28,90	23,31	25-jul-22 12:07:00

Tabela 21 – Continuação (Temperatura no módulo e temperatura ambiente no mesmo momento).

ago/22	26-ago-22 12:20:00	53,91	30,46	23,45	26-ago-22 12:20:00
set/22	24-set-22 12:13:00	51,06	33,53	17,53	24-set-22 12:13:00
out/22	22-out-22 12:02:00	59,52	35,71	23,81	22-out-22 12:02:00
nov/22	12-nov-22 13:23:00	58,76	33,76	25,00	12-nov-22 13:23:00
dez/22	27-dez-22 13:04:00	64,06	36,61	27,45	27-dez-22 13:04:00
jan/23	18-jan-23 13:16:00	64,48	37,12	27,36	18-jan-23 13:16:00
fev/23	12-fev-23 11:56:00	61,89	35,34	26,55	12-fev-23 11:56:00
mar/23	09-mar-23 14:11:00	62,78	33,47	29,31	09-mar-23 14:11:00
abr/23	13-abr-23 13:45:00	56,02	28,82	27,20	13-abr-23 13:45:00
mai/23	07-mai-23 12:15:00	56,56	31,99	24,57	07-mai-23 12:15:00
jun/23	21-jun-23 11:55:00	48,06	29,09	18,97	21-jun-23 11:55:00
jul/23	02-jul-23 12:27:00	46,50	27,29	19,21	02-jul-23 12:30:00
ago/23					
set/23	30-set-23 10:48:00	37,45	19,40	18,05	30-set-23 10:50:00
out/23	09-out-23 13:59:00	56,05	32,83	23,22	09-out-23 14:00:00

4.5 COMPARATIVO DO SFV EM SOLO – TEMPERATURA MÁXIMA NOS MÓDULOS NO MÊS COM TEMPERATURA AMBIENTE NOS RESPECTIVOS MOMENTOS.

O gráfico 03 apresenta um comparativo entre a temperatura máxima do módulo fotovoltaico em cada mês, no mesmo instante, se obteve a temperatura ambiente, gerando assim o gráfico abaixo.



Fonte – Autoria própria, 2023.

4.6 USINA FOTOVOLTAICA EM COBERTURA.

A tabela 22 apresenta os dados de geração de energia elétrica coletados para cada mês específico.

Tabela 22 - Dados de geração de energia da usina em telhado - SANEPAR

	Energia produzida Inversor 01 (MWh)	Energia produzida Inversor 02 (MWh)	Energia produzida Inversor 03 (MWh)	Energia produzida Total (Inv. 01+ Inv. 02+Inv.03) (MWh)
jul/21	3,29	2,98	3,41	9,68
ago/21	2,06	1,88	2,11	6,04
set/21	2,54	2,33	2,60	7,47
out/21	1,97	1,82	2,03	5,82
nov/21	2,90	2,70	3,04	8,63
dez/21	3,39	3,25	3,54	10,19
jan/22	3,39	3,25	3,54	10,19
fev/22	3,44	3,27	3,55	10,26
mar/22	2,71	2,54	2,63	7,88
abr/22	2,20	2,10	2,41	6,71
mai/22	2,21	2,07	2,28	6,56
jun/22	1,71	1,59	1,77	5,07
jul/22	2,40	2,23	2,48	7,11
ago/22	2,08	1,95	2,14	6,17
set/22	2,08	1,95	2,10	6,13
out/22	2,35	2,21	2,38	6,94
nov/22	3,03	2,87	3,09	8,99
dez/22	2,90	2,76	2,96	8,62
jan/23	2,77	2,63	2,84	8,24
fev/23	2,41	2,28	2,45	7,14
mar/23	3,06	2,88	3,13	9,07
abr/23	2,12	1,99	2,17	6,28
mai/23	2,14	2,00	2,21	6,35
jun/23	1,98	1,83	2,05	5,86
jul/23	1,59	1,48	1,65	4,72
ago/23	2,10	1,95	2,14	6,19
set/23	2,48	2,33	2,53	7,34
out/23	1,63	1,53	1,66	4,82
Média	2,46	2,31	2,53	7,30

Cada inversor possui nas suas entradas de corrente contínua a potência aproximada de 25kW (24,790kWcc – 25,125kWcc – 25,125kWcc), que é composta por 74, 75 e 75 módulos respectivamente de 335W e a potência total do conjunto é de 75,04kW_{pico} considerando as somas das potências nas entradas dos três inversores.

A tabela 23 apresenta o resultado da produtividade ou yield para cada inversor bem como a potência total.

Tabela 23 - Produtividade da usina em telhado - SANEPAR (kWh/kW_{pico}).

	Yield Inv. 01	Yield Inv. 02	Yield Inv. 03	Yield Total (Inv. 01 + Inv. 02 + Inv. 03)
jul/21	131,40	119,24	136,44	129,03
ago/21	82,24	75,00	84,52	80,59
set/21	101,64	93,20	103,88	99,57
out/21	78,96	72,96	81,00	77,64
nov/21	115,80	107,84	121,44	115,03
dez/21	135,76	129,94	141,70	135,80
jan/22	135,76	129,94	141,70	135,80
fev/22	137,60	130,76	142,00	136,79
mar/22	108,40	101,40	105,20	105,00
abr/22	88,00	84,00	96,40	89,47
mai/22	88,40	82,80	91,20	87,47
jun/22	68,40	63,60	70,80	67,60
jul/22	96,00	89,20	99,20	94,80
ago/22	83,20	78,00	85,60	82,27
set/22	83,20	78,00	84,00	81,73
out/22	94,00	88,40	95,20	92,53
nov/22	121,20	114,80	123,60	119,87
dez/22	116,00	110,40	118,40	114,93
jan/23	110,80	105,20	113,60	109,87
fev/23	96,40	91,20	98,00	95,20
mar/23	122,40	115,20	125,20	120,93
abr/23	84,80	79,60	86,80	83,73
mai/23	85,60	80,00	88,40	84,67
jun/23	79,20	73,20	82,00	78,13
jul/23	63,60	59,20	66,00	62,93
ago/23	84,00	78,00	85,60	82,53
set/23	99,20	93,20	101,20	97,87
out/23	65,20	61,20	66,40	64,27
Média mensal	98,47	92,34	101,27	97,36
Média Anual	1181,64	1108,06	1215,21	1168,30

A tabela 24 apresenta o resultado do fator de capacidade para cada inversor bem como a potência total.

Tabela 24 - Fator de Capacidade da usina em telhado - SANEPAR (%).

	Fator de capacidade Inversor 01	Fator de capacidade Inversor 02	Fator de capacidade Inversor 03	Fator de capacidade Total (Inv. 01 + Inv. 02 + Inv. 03)
jul/21	17,66%	16,03%	18,34%	17,34%
ago/21	11,05%	10,08%	11,36%	10,83%
set/21	14,12%	12,94%	14,43%	13,83%
out/21	10,61%	9,81%	10,89%	10,44%
nov/21	16,08%	14,98%	16,87%	15,98%
dez/21	18,25%	17,47%	19,05%	18,25%
jan/22	18,25%	17,47%	19,05%	18,25%
fev/22	20,48%	19,46%	21,13%	20,36%
mar/22	14,57%	13,63%	14,14%	14,11%
abr/22	12,22%	11,67%	13,39%	12,43%
mai/22	11,88%	11,13%	12,26%	11,76%
jun/22	9,50%	8,83%	9,83%	9,39%
jul/22	13,33%	12,39%	13,78%	13,17%
ago/22	11,18%	10,48%	11,51%	11,06%
set/22	11,56%	10,83%	11,67%	11,35%
out/22	12,63%	11,88%	12,80%	12,44%
nov/22	16,83%	15,94%	17,17%	16,65%
dez/22	15,59%	14,84%	15,91%	15,45%
jan/23	14,89%	14,14%	15,27%	14,77%
fev/23	14,35%	13,57%	14,58%	14,17%
mar/23	16,45%	15,48%	16,83%	16,25%
abr/23	11,78%	11,06%	12,06%	11,63%
mai/23	11,51%	10,75%	11,88%	11,38%
jun/23	11,00%	10,17%	11,39%	10,85%
jul/23	8,55%	7,96%	8,87%	8,46%
ago/23	11,29%	10,48%	11,51%	11,09%
set/23	13,78%	12,94%	14,06%	13,59%
out/23	8,76%	8,23%	8,92%	8,64%
Média	13,51%	12,67%	13,89%	13,35%

Os dados apresentados na tabela 25, foram elaborados considerando a informação básica da irradiação horizontal obtida da estação solarimétrica existente

na sede neoville – UTFPR, e os dados da irradiação no plano inclinado na latitude de 25° e com desvio azimutal de 30° oeste, foi obtido com o auxílio do software RADIASOL.

Tabela 25 - Dados de irradiação no plano horizontal (kW/m².dia) da estação solarimétrica da sede neoville – UTFPR, e dados no plano inclinado 25° com desvio azimutal de 30° oeste utilizando o software RADIASOL.

	Irradiação Horizontal	Irradiação no plano Inclinado e com desvio azimutal
jul/21	3,69	4,716
ago/21	3,45	3,855
set/21	4,37	4,677
out/21	3,34	3,260
nov/21	5,82	5,661
dez/21	6,17	5,900
jan/22	5,44	5,257
fev/22	6,32	6,285
mar/22	4,15	4,225
abr/22	3,50	3,740
mai/22	3,47	4,145
jun/22	2,67	3,107
jul/22	3,72	4,764
ago/22	3,35	3,711
set/22	3,26	3,295
out/22	4,51	4,507
nov/22	5,49	5,339
dez/22	5,45	5,245
jan/23	5,19	5,019
fev/23	5,23	5,174
mar/23	4,86	5,067
abr/23	4,09	4,560
mai/23	3,63	4,400
jun/23	3,17	3,964
jul/23	2,92	3,429
ago/23	3,56	4,02
set/23	4,57	4,934
out/23	3,10	3,016
Média	4,23	4,47

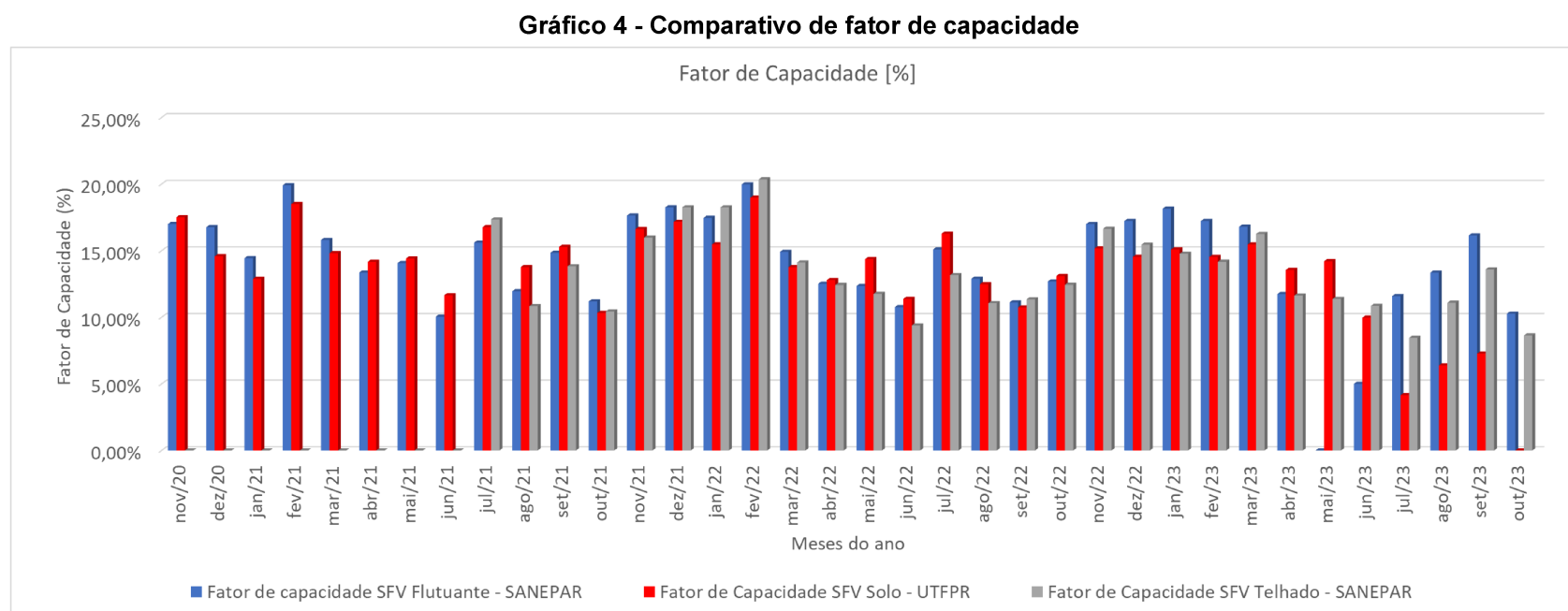
Utilizando os dados de irradiação solar no plano inclinado da tabela 25 e a potência de cada inversor ou total do sistema, obtemos os dados de performance da usina em telhado da SANEPAR na tabela 26.

Tabela 26 – Cálculo de taxa de performance da usina em telhado - SANEPAR (%).

	PR - Inversor 01	PR - Inversor 02	PR - Inversor 03	PR - Total (Inv. 01 + Inv. 02 + Inv. 03)
jul/21	89,88%	81,56%	93,33%	88,26%
ago/21	68,82%	62,76%	70,73%	67,43%
set/21	72,44%	66,42%	74,04%	70,97%
out/21	78,13%	72,19%	80,15%	76,83%
nov/21	68,19%	63,50%	71,51%	67,73%
dez/21	74,23%	71,04%	77,47%	74,25%
jan/22	83,31%	79,73%	86,95%	83,33%
fev/22	78,19%	74,30%	80,69%	77,73%
mar/22	82,76%	77,42%	80,32%	80,17%
abr/22	78,43%	74,87%	85,92%	79,74%
mai/22	68,80%	64,44%	70,98%	68,07%
jun/22	73,38%	68,23%	75,96%	72,52%
jul/22	67,17%	62,41%	69,41%	66,33%
ago/22	72,32%	67,80%	74,41%	71,51%
set/22	84,17%	78,91%	84,98%	82,68%
out/22	67,28%	63,27%	68,14%	66,23%
nov/22	75,67%	71,67%	77,17%	74,84%
dez/22	71,34%	67,90%	72,82%	70,69%
jan/23	71,21%	67,61%	73,01%	70,61%
fev/23	66,54%	62,95%	67,65%	65,71%
mar/23	77,92%	73,34%	79,71%	76,99%
abr/23	61,99%	58,19%	63,45%	61,21%
mai/23	62,76%	58,65%	64,81%	62,07%
jun/23	66,60%	61,55%	68,95%	65,70%
jul/23	59,83%	55,69%	62,09%	59,20%
ago/23	67,40%	62,59%	68,69%	66,23%
set/23	67,02%	62,96%	68,37%	66,12%
out/23	69,74%	65,46%	71,02%	68,74%
Média	73,40%	68,78%	75,52%	71,50%

4.7 COMPARATIVO DO FATOR DE CAPACIDADE

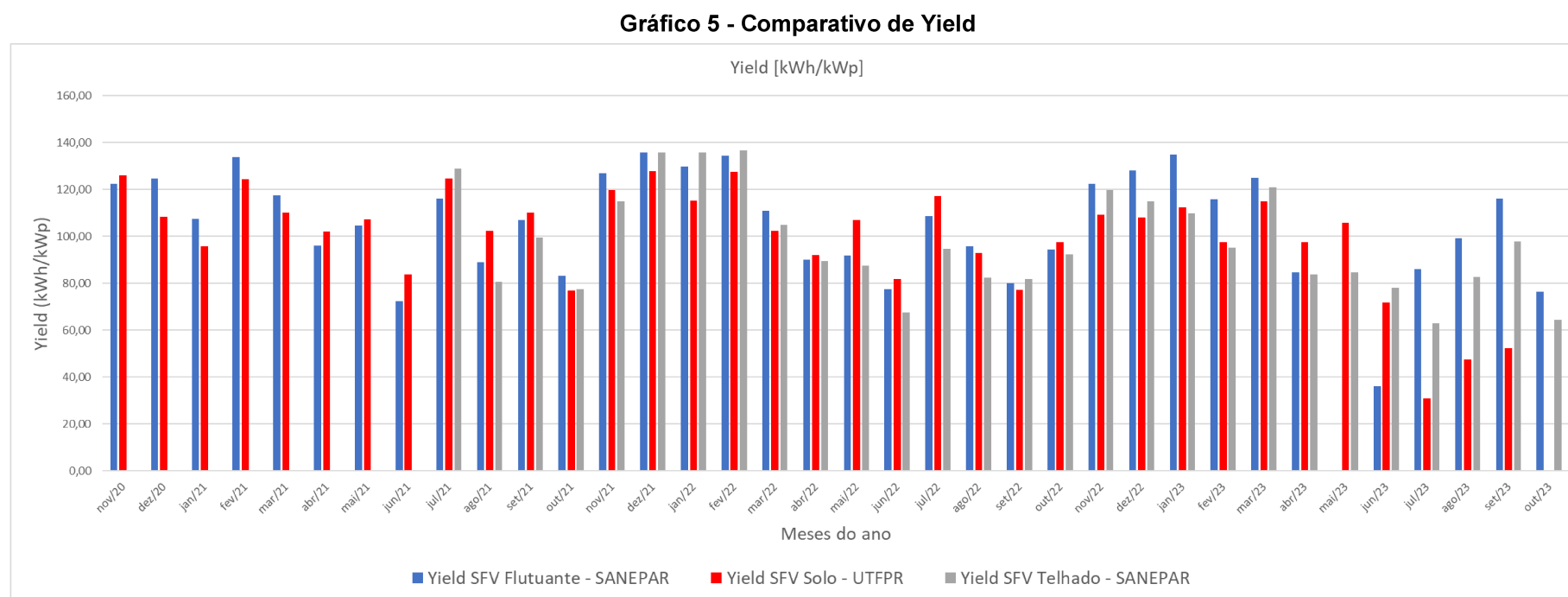
O gráfico 04 apresenta um comparativo do fator de capacidade entre os três sistemas de geração (flutuante, solo, telhado).



Fonte – Autoria própria, 2023.

4.8 COMPARATIVO DO YIELD

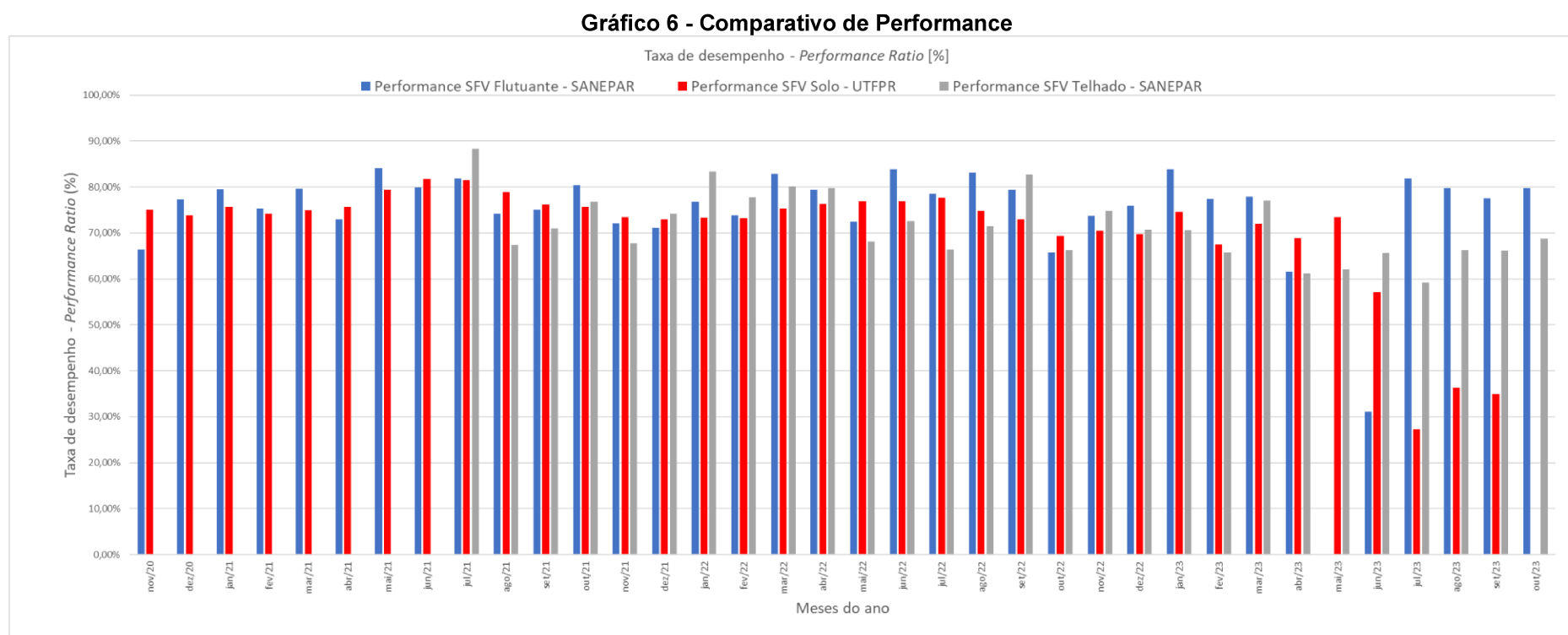
O gráfico 05 apresenta um comparativo do yield entre os três sistemas de geração (flutuante, solo, telhado).



Fonte – Autoria própria, 2023.

4.9 COMPARATIVO DA PERFORMANCE

O gráfico 06 apresenta um comparativo de performance entre os três sistemas de geração (flutuante, solo, telhado).



Fonte – Autoria própria, 2023.

4.10 ADVERSIDADES OCORRIDAS DURANTE O DESENVOLVIMENTO DOS TRABALHOS.

Durante a execução e operacionalização da usina em telhado e fotovoltaica flutuante, houve diversos aspectos que chama a atenção, de modo que uma das alternativas seja um bom projeto mecânico de todo o sistema além de todo o dimensionamento elétrico.

As figuras de 46 a 54 apresentam diversos pontos onde demandam atenção no dimensionamento para que a planta apresente um desempenho dentro dos padrões da normalidade.

Entre os problemas verificados são:

- Difundir conhecimento sobre os problemas enfrentados em projetos;
- Informar sobre a importância de áreas sombreadas, seja por para raios e outros itens;
- Fixação de estrutura que não cause sombreamento da estrutura;
- Fixação estrutural dos módulos para ventos num histórico de 20 anos;
- Atenção sobre a possibilidade de um sistema semi apoiado, assim deve-se levar em consideração longos períodos de estiagem;
- Em caso de estiagem levar em consideração a possibilidade de surgimento de interferências do fundo do lago;
- Perda de orientação azimutal em função da variação de nível;
- Administrar a limpeza e conservação do sistema aquático sob a usina de geração.

Figura 46 – Adversidades no sistema de geração em telhado com para raio ao meio da instalação



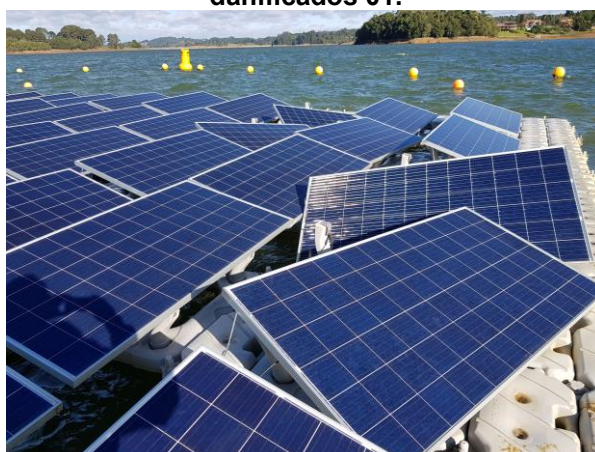
Fonte – Autoria própria, 2022.

Figura 47 – Adversidade no sistema de geração flutuante, com bloco de ancoragem em aparente em solo.



Fonte – Novak, 2020.

Figura 48 – Adversidade no sistema de geração flutuante, com módulos fora da posição e danificados 01.



Fonte – Novak, 2020.

Figura 49 – Adversidade no sistema de geração flutuante, com módulos fora da posição e danificados 02.



Fonte – Novak, 2020.

Figura 50 – Adversidade no sistema de geração flutuante, com sistema apoiado em solo.



Fonte – Novak, 2020.

Figura 51 – Adversidade no sistema de geração flutuante, com passarela apoiada em solo.



Fonte – Novak, 2020.

Figura 52 – Adversidade no sistema de geração flutuante, apresentando ângulo em solo.



Fonte – Novak, 2020.

Figura 53 – Adversidade no sistema de geração flutuante, desalinhamento dos módulos fotovoltaico, com o apoio em solo.



Fonte – Novak, 2020.

Figura 54 – Adversidade no sistema de geração flutuante, sujeira da água sob as instalações.



Fonte – Novak, 2020.

Figura 55 – Adversidade no sistema de geração flutuante, acúmulo de material não apropriado sob as instalações dos sistemas.



Fonte – Novak, 2020.

Figura 56 – Adversidade no sistema de geração flutuante, ancoragem dos módulos no flutuador inadequada.



Fonte – Novak, 2020.

Figura 57 – Adversidade no sistema de geração flutuante, perfil de fixação dos módulos nos flutuadores.



Fonte – Novak, 2020.

Figura 58 - Adversidade no sistema de geração flutuante, sistema semi apoiado em solo.



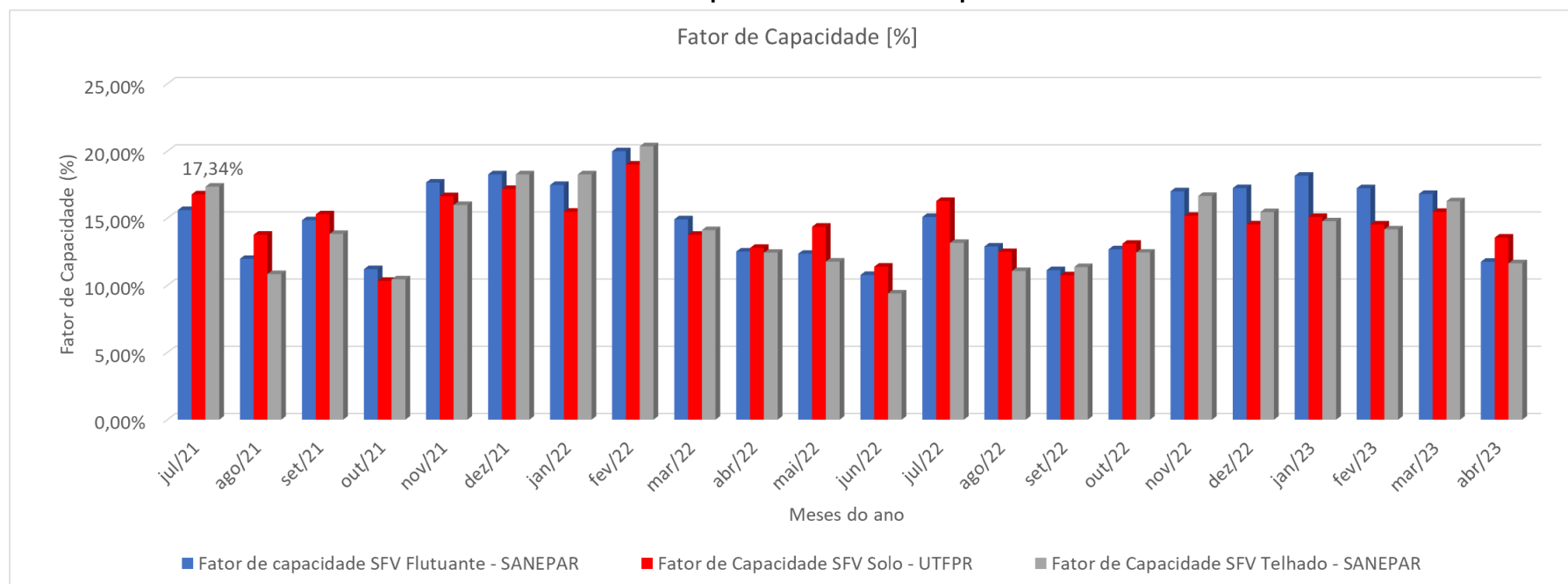
Fonte – Novak, 2020.

Os sistemas de geração fotovoltaicas podem apresentar as mais diversas dificuldades e erros de instalação como apresentado nas Figuras de 46 a 58.

4.11 COMPARATIVO DO FATOR DE CAPACIDADE PARA PERÍODO ESPECÍFICO

O gráfico 07 apresenta um comparativo do fator de capacidade entre os três sistemas de geração (flutuante, solo, telhado).

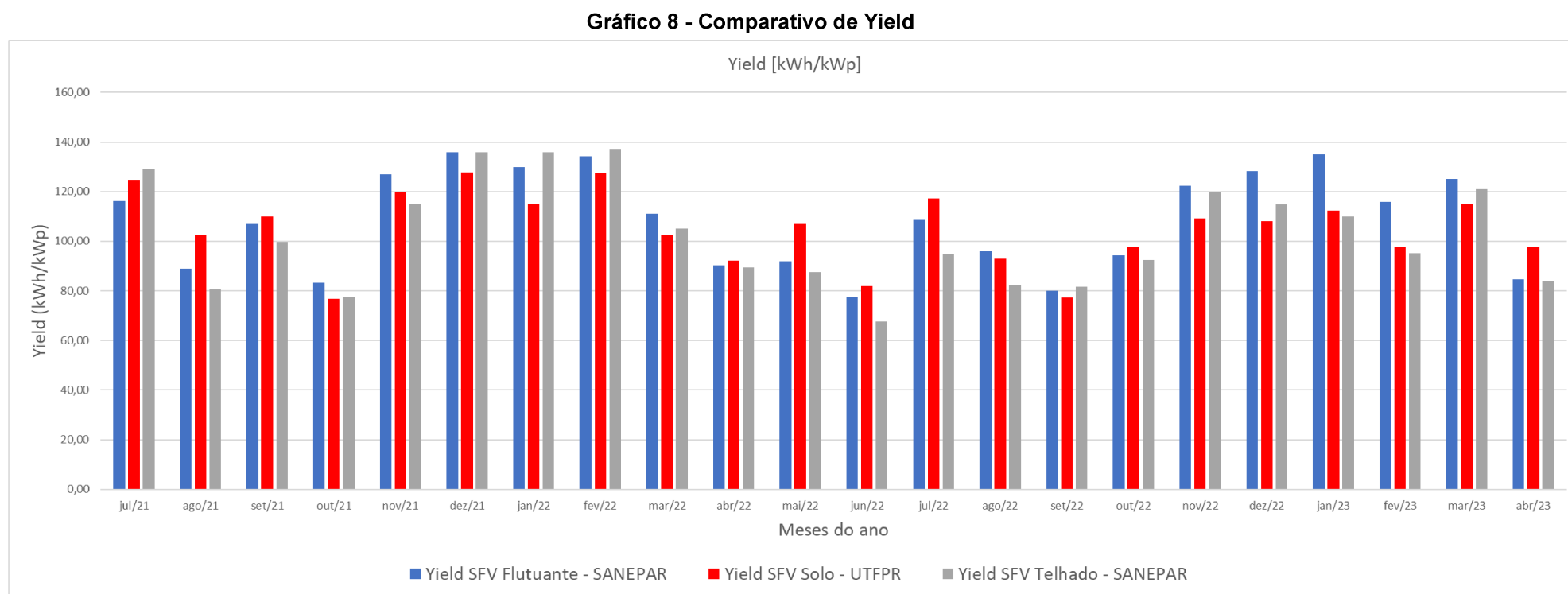
Gráfico 7 - Comparativo de fator de capacidade



Fonte – Autoria própria, 2023.

4.12 COMPARATIVO DO YIELD PARA PERIODO ESPECÍFICO

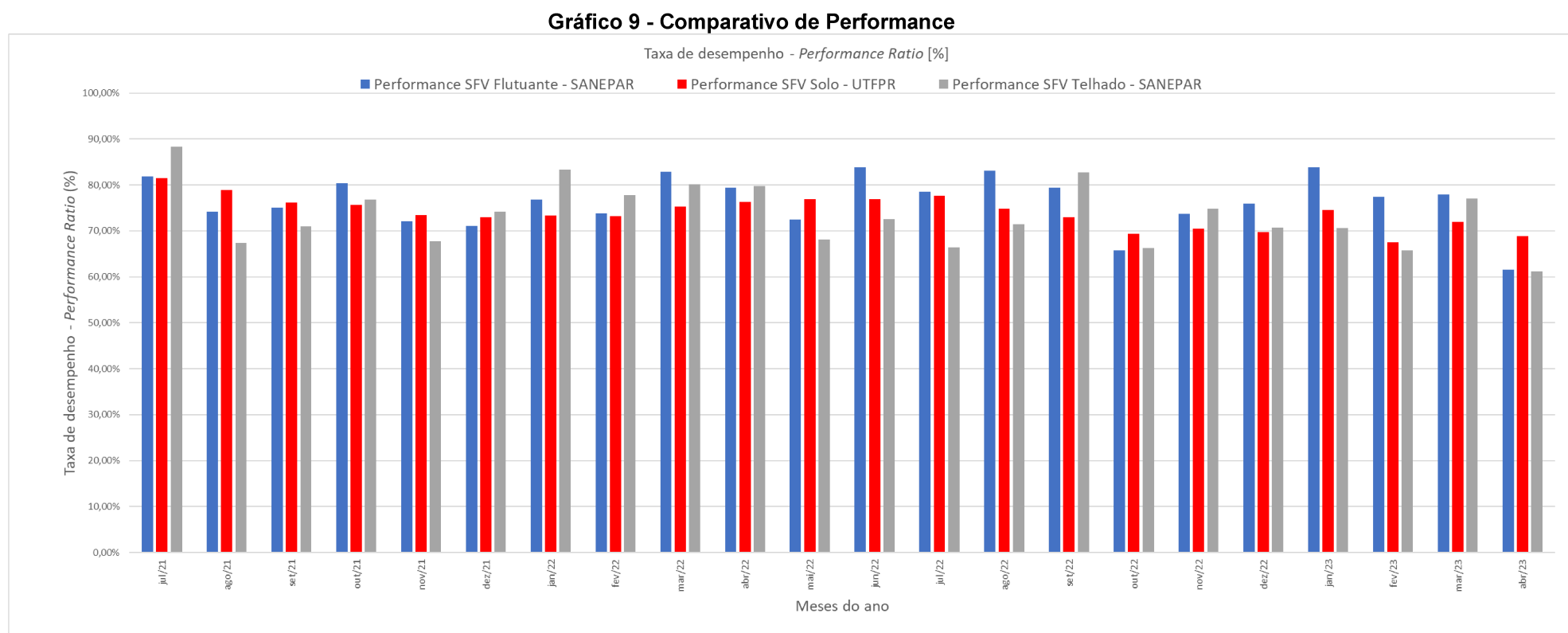
O gráfico 08 apresenta um comparativo do yield entre os três sistemas de geração (flutuante, solo, telhado).



Fonte – Autoria própria, 2023.

4.13 COMPARATIVO DA PERFORMANCE PARA PERÍODO ESPECÍFICO

O gráfico 09 apresenta um comparativo de performance entre os três sistemas de geração (flutuante, solo, telhado).



Fonte – Autoria própria, 2023.

5 CONCLUSÃO E CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste trabalho, foram abordados alguns dos conhecimentos existentes sobre energia solar, como, por exemplo, os conceitos de radiação, irradiância e irradiação solar. Também foram apresentadas as configurações de tipos de sistemas fotovoltaicos. Destes sistemas, os componentes detalhados foram a célula fotovoltaica, o módulo fotovoltaico e os inversores.

Este estudo apresenta dados de aproximadamente 36 meses de avaliação de sistemas, exceto para o sistema em cobertura que são tratados 28 meses.

Resumo do Yield dos sistemas são apresentados em ordem crescente do valor médio mensal de todo o período avaliado.

- SFVCR flutuante 102,11 kWh/kWp – média/mês;
- SFVCR em Cobertura 97,36 kWh/kWp – média/mês;
- SFVCR em Solo 96,63 kWh/kWp – média/mês.

Resumo do Fator de Capacidade são apresentados em ordem crescente do valor médio mensal de todo o período avaliado.

- SFVCR flutuante 14,03%;
- SFVCR em Cobertura 13,35%;
- SFVCR em Solo 13,28%.

Resumo do Desempenho são apresentados em ordem crescente do valor médio mensal de todo o período avaliado.

- SFVCR flutuante 73,50%;
- SFVCR em Cobertura 71,50%;
- SFVCR em Solo 68,54%.

Como conclusão pode-se constatar que o sistema flutuante aparenta ter o melhor desempenho global. A manutenção tem papel fundamental nesse processo todo, o sistema em solo estava apresentando melhor desempenho global deste estudo, contudo após as últimas amostras com falhas nos equipamentos, este sistema caiu na classificação.

Ainda assim há diversos fatores interferem no desempenho de SFVCR, como por exemplo, a sujeidade, o microclima do local de instalação, as perdas nas conversões, as perdas em cabos (transferência), as perdas de rendimento por temperatura seja ambiente ou nos módulos e demais componentes, se inclui também a questão de dimensionamento do inversor de frequência, entre outros itens.

A constatação desta conclusão pode ser interpretada, devido as condições na qual estes sistemas estão instalados, como por exemplo:

- SFVCR em Solo
 - Boa região com menor sujeidade devido ao local de instalação, devido a estar em região mais arborizada.
 - Região com menor trânsito de veículos;
 - Região com microclima favorável e temperatura menor (menor quantidade de concreto);
 - Melhor sistema de acompanhamento dos sistemas SFVCR (LABENS);
- SFVCR flutuante
 - Boa região com menor sujeidade devido ao local de instalação;
 - Região com menor trânsito de veículos;
 - Região com microclima mais favorável a temperatura menor (menor quantidade de concreto);
 - Complicado sistema de manutenção e acompanhamento dos SFVCR;
- SFVCR em Cobertura
 - Região com maior sujeidade devido ao local de instalação;
 - Região com maior trânsito de veículos;
 - Região com microclima mais desfavorável a temperatura menor (maior quantidade de concreto);
 - Região menos arborizada;
 - Difícil sistema de manutenção e acompanhamento dos SFVCR;

Os valores de temperatura dos módulos e do meio ambiente que foram coletados, permitiram a investigação mais aprofundada no comparativo sobre os resultados. Portanto, a vantagem do SFV Flutuante que possui sobre o SFV Solo, afirmada por muitos autores, pode estar associada à diminuição da temperatura dos módulos fotovoltaicos por consequência do efeito de evaporação da água, porém,

nesse estudo os resultados expressaram que não há um ganho significativo em função da temperatura local, mas afirma que uma manutenção bem efetiva e ágil, mantem o SFVCR com performance dentro dos padrões esperados.

Conclui-se que existe a possibilidade de aprimoramento desse estudo considerando outras informações como o cálculo da taxa de evaporação do local onde foi instalado o SFV Flutuante, dados temporais sobre as condições climáticas como vento e outras variáveis locais. Em suma, a aplicação dos cálculos dos índices de mérito, resultados e discussões desse estudo, permitiram a visualização do comportamento dos SFV Solo e SFV Flutuante, e as reflexões desse estudo poderão auxiliar os próximos trabalhos e pesquisas. Portanto, pode-se considerar que o estudo possui a sua devida importância por permitir a visualização e análises de SFV por meio do uso dos índices de mérito.

Observações gerais:

- Segundo a tabela 09, há um yield aproximadamente 4% maior para um dos inversores de frequência, esta diferença pode ser devida as ligações dos módulos, e as perdas envolvidas.
- Foi utilizado o software RADIASOL como base de conversão, devido a trabalhos publicados nesta área.
- Segundo a tabela 17, são apresentadas médias diferentes, contudo estas diferenças são devido a falhas nos equipamentos.

Já para o período específico os dados médios mensais são:

Resumo do Yield dos sistemas são apresentados em ordem crescente do valor médio mensal de todo o período avaliado.

- SFVCR em Solo 105,11 kWh/kWp – média/mês.
- SFVCR em Cobertura 102,53 kWh/kWp – média/mês;
- SFVCR flutuante 102,11 kWh/kWp – média/mês;

Resumo do Fator de Capacidade são apresentados em ordem crescente do valor médio mensal de todo o período avaliado.

- SFVCR em Solo 14,44%.

- SFVCR em Cobertura 14,09%;
- SFVCR flutuante 14,03%;

Resumo do Desempenho são apresentados em ordem crescente do valor médio mensal de todo o período avaliado.

- SFVCR em Solo 74,01%.
- SFVCR flutuante 73,50%;
- SFVCR em Cobertura 73,36%;

REFERÊNCIAS

ANEEL, A. N. d. E. E. Geração Distribuída. 2020. Disponível em: <https://www.aneel.gov.br/geracao-distribuida>. Acesso em: 10 set. 2021.

ANEEL. Geração Distribuída. 2015. Disponível em: <https://www.aneel.gov.br/geracao-distribuida>. Acesso em: 13 set. 2021.

ANEEL/SIGA, A. N. de E. E. Sistema de Informações de Geração da ANEEL - SIGA. 2021. Disponível em: <https://app.powerbi.com/>. Acesso em: 8 set. 2021.

ANEEL/SIGA, B. d. d. Capacidade Instalada por Estado. 2021. Disponível em: <https://app.powerbi.com/view?r=eyJrljoiNjc4OGYyYjQtYWM2ZC00YjllLWJlYmEtYzdkNTQ1MTc1NjM2liwidCI6IjQwZDZmOWI4LWVjYTctNDZhMi05MmQ0LWVhNGU5YzAxNzBIMSIsImMiOjR9>. Acesso em: 17 set. 2023.

ANEEL/SISGD, A. N. de E. E. Sistema de Análise de Geração Distribuída - SISGD. 2021. Disponível em: <https://app.powerbi.com/>. Acesso em: 8 set. 2021.

ANEEL/T.RESIDENCIAL, A. N. de E. E. Tarifa Residencial - Evolução TUSD/TE. 2021. Disponível em: <https://app.powerbi.com>. Acesso em: 8 set. 2021.

BLUESOL, B. E. S. Energia Renovável no Brasil: Uso Atual nas Usinas e na Geração Pelos Consumidores. 2021. Disponível em: [https://blog.bluesol.com.br/ energia-renovavel-no-brasil/](https://blog.bluesol.com.br/energia-renovavel-no-brasil/). Acesso em: 24 set. 2021.

BORBA, R. A.; NOVAK, L. H. Sistemas fotovoltaicos flutuantes: aspectos positivos e desafios. In: VII CBENS CONGRESSO BRASILEIRO DE ENERGIA SOLAR, 17 a 20 de abr. de 2018, Gramado, RS, Brasil. Disponível em <<https://anaiscbens.emnuvens.com.br/cbens/article/view/151>>. Acesso em: 02 out. 2021.

BYLANDER J., Crunching the numbers on floating solar. PV-Tech. 2018; 37: 46-51. Google Scholar

CASSARD, H., DENHOLM, P., ONG, S., Technical and economic performance of residential solar water heating in the United States, Renew. Sust. Energ. Rev. 15 (8) (2011) 3789–3800.

CASSARES, M. A. R. Avaliação operacional de sistemas fotovoltaicos com seguimento solar: sistemas com e sem concentração. 151 f. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Universidade de São Paulo. Programa de Pós-Graduação em Energia, São Paulo, 2016. Disponível em <<https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/106/106131/tde-01032017-170035/pt-br.php>> Acesso em: 03 out. 2021.

CASSARES, M. A. R., ALMEIDA, M. P., ZILLES, R., Análise da produtividade do primeiro ano de operação de um sistema fotovoltaico com seguidor solar de eixo horizontal. CBENS. 2018

CASSARES, M. A. R., ALMEIDA, M. P., ZILLES, R., Análise da produtividade do primeiro ano de operação de um sistema fotovoltaico com seguidor solar de eixo horizontal. In: VII CBENS Congresso Brasileiro De Energia Solar, 17 a 20 de abr. de 2018, Gramado, RS, Brasil Disponível em <<https://anaiscbens.emnuvens.com.br/cbens/article/view/163>>. Acesso em: 02 out. 2021.

CAZZANIGA, R., ROSA-CLOT, M.. The booming of floating PV. Solar Energy 219, 2021

CCEE, C. d. C. d. e. e. Brasil registra redução de consumo de energia a partir do início da quarentena. 2020. Disponível em: <https://www.ccee.org.br/>. Acesso em: 10 set. 2020.

COP21. 21ª Conferência das Partes das Nações Unidas - COP 21. 2015. Disponível em: <https://cebds.org/cop21/cop21/>. Acesso em: 23 set. 2021.

CRESESB - Centro de Pesquisas de Energia Elétrica. Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito. Grupo de Trabalho de Energia Solar. Manual de engenharia para sistemas fotovoltaicos / Rio de Janeiro, 1999.

CTAN. The comprehensive TEX archive network. 2009. Disponível em: <http://www.ctan.org>. Acesso em: 8 nov. 2009.

EBERHARDT, D. Desenvolvimento de um Sistema Completo para Caracterização de Células Solares. Dissertação de Mestrado apresentada à Escola de Engenharia da Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. 2005. 104 f

ELY, F., SWART, J. W., IEEE - Instituto De Engenheiros Eletricistas E Eletrônicos. Energia solar fotovoltaica de terceira geração. 2014. Disponível em: <http://www.ieee.org.br/wpcontent/uploads/2014/05/energia-solar-fotovoltaica-terceira-geracao.pdf>. Acesso em: 01 out. 2021.

ENERGIA, E. R. P. Megaprojeto – Central solar fotovoltaica na barragem mais alta da Europa. 2020. Disponível em: <https://www.portal-energia.com/megaprojeto-central-solar-fotovoltaica-na-barragem-mais-alta-da-europa/>. Acesso em: 12 set. 2021.

ENGEL, D., 2019. Renewables, Power and Energy Use Forecast to 2050. DNVGL energy transition outlook.

EPE, E. d. P. E. Atlas da Eficiência Energética – Relatório de indicadores – Brasil 2019. 2019. Disponível em: www.epe.gov.br. Acesso em: 24 set. 2021.

EPE, E. d. P. E. Resenha Mensal do Mercado de Energia Elétrica - Dezembro 2020. 2020. Disponível em: www.epe.gov.br. Acesso em: 01 out. 2021.

EPE, E. d. P. E. Série ESTUDO DA DEMANDA - nota técnica EPE DEA 0012/2020, nota técnica ONS 109/2020, nota técnica CCEE 0087/2020, 2º Revisão Quadrimestral da Projeções da Demanda de energia Elétrica do Sistema Interligado Nacional - 2020-2024. 2020.

FACILITA, E. S. Geração Compartilhada. 2018. Disponível em: <https://facilita.eng.br/geracao-distribuida-ultrapassa-20-mil-conexoes/geracao-distribuida-ultrapassa-20-mil-conexoes-segundo-aneel-energia-solar-facilita-03/>. Acesso em: 13 set. 2021.

FELDMAN, D., MARGOLIS, R., NREL Solar Industry Update, Disponível em <https://www.nrel.gov/>. Acessado em 14/10/2021

FGV, F. G. V. Boletim de Conjuntura do Setor Energético. 2018. Disponível em: <http://www.fgv.br/energia>. Acesso em: 06 Set. 2021.

GÓMEZ-GIL, F. J.; WANG, X.; BARNETT, A. 2012. Energy production of photovoltaic systems: Fixed, tracking, and concentrating. Renewable and Sustainable Energy Reviews, v. 16, p. 306– 313.

HAAS, J.; KHALIGHI, J.; FUENTE, A. de la; GERBERSDORF, S.; NOWAK, W.; CHEN, P.-J. Floating photovoltaic plants: Ecological impacts versus hydropower operation flexibility - Artigo publicado em - Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2020.

HEINSTEIN, P., BALLIF, C., AND PERRET-AEBI, L., Building Integrated Photovoltaics (BIPV): Review, Potentials, Barriers and Myths, Expert View from Science, 2013

HISOUR. Telha Solar - Energia. 2018. Disponível em: <https://www.hisour.com/pt/solar-shingle-39722/>. Acesso em: 12 set. 2021.

IBGE, I. B. d. G. e. E. Divisão Regional do Brasil. 2021. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/organizacao-do-territorio/divisao-regional/15778-divisoes-regionais-do-brasil.html?=&t=o-que-e>. Acesso em: 24 set. 2021.

IBGE. Missão Institucional. 2021. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/acesso-informacao/institucional/o-ibge.html>. Acesso em: 13 set. 2021.

IBGE. Projeção da população do Brasil e das Unidades da Federação. 2021. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/apps/populacao/projecao/>. Acesso em: 13 set. 2021.

IMHOFF, J., Desenvolvimento de conversores estáticos para sistemas fotovoltaicos autônomos. Dissertação de mestrado. Santa Maria. 2006

JRSOLAR, Projeto Fotovoltaico Offgrid. Disponível em <https://jrsolar.com.br/projeto-fotovoltaico-offgrid/>. Acesso em 03/10/2021.

MICROGERAÇÃO FOTOVOLTAICA. Fora da rede – Isolado – Sistema solar fotovoltaico off grid. Disponível em <https://microgeracaofv.wordpress.com/2021/04/21/fora-da-rede-isolado-sistema-solar-fotovoltaico-off-grid/>. Acessado em: 03/10/2021

MME, M. d. M. e. E.; EPE, E. d. P. E. Plano Decenal de Expansão de Energia 2026 / Ministério de Minas e Energia. Empresa de Pesquisa Energética. Brasil, Brasília: MME/EPE, 2017.

MUNDI, I. Consumo de eletricidade per capita. 2021. Disponível em: <https://www.indexmundi.com/map/?t=0&v=81000&r=sa&l=pt>. Acesso em: 8 set. 2021.

NAKABAYASHI, R. K. Microgeração fotovoltaica no Brasil: condições atuais e perspectivas. 2014. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2014. Disponível em: <<https://teses.usp.br/teses/disponiveis/106/106131/tde-26012015-141237/pt-br.php>>. Acesso em: 06 out. 2021.

NIMER, E.; IBGE. Um modelo metodológico de classificação de climas. Revista Brasileira de Geografia. 1979. Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br>. Acesso em: 24 set. 2021.

NOAA, N. C. F. E. I. Médias do Clima. 2021. Disponível em: <https://www.ncdc.noaa.gov/>. Acesso em: 24 set. 2021.

NREL, 2005. Performance Parameters for Grid-Connected PV Systems. National Renewable Energy Laboratory – NREL. February 2005 – NREL/CP-520-37358

NREL, Best Research-Cell Efficiency Chart. 2021. Disponível em <https://www.nrel.gov/pv/cell-efficiency.html>. Acesso em: 30/09/2021

NREL, Building-Integrated Photovoltaics in the Residential Sector: an Analysis of Installed Rooftop System Prices, Ed. National Renewable Energy Laboratory, USA, 2012.

O.N.S Operador Nacional do Sistema – Carga de energia – Disponível em: https://www.ons.org.br/Paginas/resultados-da-operacao/historico-da-operacao/carga_energia.aspx. Acessado em 17/09/2023.

OTHMAN, M.Y.H., SOPIAN K., Teknologi Tenaga Suria, 2002.

PINHO, J. T.; GALDINO, M. A. “Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos”, 2014.

PINHO, J. T.; GALDINO, M. A. “Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos”, 2004.

POWER TECHNOLOGY. Top ten floating solar farms by capacity. 2021. Disponível em: <https://www.power-technology.com/features/worlds-biggest-floating-solar-farms/>. Acesso em: 18 out. 2021.

QUAGLIA, R. K. Incentivo à Geração Distribuída com Sistemas Fotovoltaicos: cenários para o setor elétrico brasileiro. 2010. Dissertação (Mestrado em Energia) – Universidade Federal do ABC, Santo André, 2010. Disponível em: <http://bdtd.ibict.br/vufind/Record/UFBC_3f2619e6bffd0770d93d35a36e3e974>. Acesso em: 06 out. 2021.

RAUSCHMAYER, H., GALDINO, M. A. Os impactos da regulamentação ANEEL/482 e da legislação tributária no retorno financeiro de sistemas fotovoltaicos conectados à rede. In: V CBENS congresso brasileiro de energia solar, 31 a 03 de abr. 2014, Recife, Brasil. Publicação182.

REN21. Renewables 2021 Global Status Report. 2021. Disponível em: <https://www.ren21.net/reports/global-status-report/>. Acesso em: 13 set. 2021.

RONCOLATTO, R. A., DONADON, A. R., CAMARGO, J. C., Avaliação técnica e econômica de sistema móvel versus fixo na USFV TANQUINHO. In: VI CBENS congresso brasileiro de energia solar, 04 a 07 de abr. de 2016, Belo Horizonte, MG, Brasil. Disponível em 2741<<https://www.abens.org.br/CBENS2016/anais/anais/index.htm>>. Acesso em: 02 out. 2021.

ROSA-CLOT, M. TINA, G.,. Floating PV Plants., Academic Press. Fev. 2020.

RUTHER, R. – Edifícios solares fotovoltaicos: o potencial de geração solar fotovoltaica integrada a edificações urbanas e interligadas a rede elétrica pública no Brasil. Florianópolis, SC: Labsolar, 2004.

SAHU, A., YADAV, N., SUDHAKAR, K.. Floating photovoltaic power plant: A review. Renewable And Sustainable Energy Reviews, v. 66, p.815-824, dez. 2016. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2016.08.051>. Acesso em: 02 out. 2021.

SCHIMPF, F.; NORUM, L. E. Grid connected converters for photovoltaic, state of the art, ideas for improvement of transformerless inverters: Nordic Workshop on Power and Industrial Electronics. Noruega, 2008.

SOLAR BRASIL. Sistemas isolados sem armazenamento, Disponível em <https://www.solarbrasil.com.br/energia-solar/>. Acesso em 03/10/2021

SOLAR, D. Os telhados mais comuns para instalação dos Painéis Solares. 2019. Disponível em: <https://microgeracaoofv.wordpress.com/2019/04/15/os-telhados-mais-comuns-para-instalacao-dos-paineis-solares/>. Acesso em: 12 set. 2021.

SOLLARES. Painéis solares com novas cores. 2019. Disponível em: <https://cineshop.com.br/blog/paineis-solares-com-novas-cores/>. Acesso em: 12 set. 2021.

THÓRUS, E. BIPV: Painéis Solares Integrados na Construção. 2020. Disponível em: <https://thorusengenharia.com.br/bipv-paineis-solares-integrados-na-construcao/>. Acesso em: 12 set. 2021.

TIAN, Y., ZHAO, C.Y., A review of solar collectors and thermal energy storage in solar thermal applications, Appl. Energy 104 (2013) 538–553.

TIEPOLO, G. "Estudo do potencial de geração de energia elétrica através de sistemas fotovoltaicos conectados à rede no Estado do Paraná", Tese (doutorado), Pontifícia Universidade Católica do Paraná, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção e Sistemas - PPGEPS, Curitiba, 2015.

TIEPOLO, G. M., URBANETZ, Jair., Atlas de energia solar do estado do Paraná - Comparação do potencial do Paraná com outros estados e europa, Smart Energy Paraná, 2018.

TIEPOLO, G. M.; PEREIRA, E. B.; URBANETZ JR, J.; PEREIRA, S. V.; GONCALVES, A. R.; LIMA, F. J. L.; COSTA, R. S., ALVES, A. R. "Atlas de Energia Solar do Estado do Paraná". 1a Edição. Curitiba: INPE, 2017.

URBANETZ JUNIOR, J.; CHINVELSKI, T.; SIMÃO, C. A. F.; MAKISHI, L. M. M. Primeiro sistema fotovoltaico conectado à rede elétrica homologado pela Copel. In: V CBENS Congresso Brasileiro de Energia Solar, 31 a 03 de abr. de 2014, Recife, PE, Brasil. Disponível em <<https://utfpr-ct-static-content.s3.amazonaws.com/labens.ct.utfpr.edu.br/wp-content/uploads/2016/06/URBANETZ-et-al-V-CBENS-2014b.pdf>> Acesso em: 03 out. 2021.

URBANETZ, Jair. Sistemas Fotovoltaicos Conectados a Redes de Distribuição Urbanas: Sua Influência na Qualidade de Energia Elétrica e Análise dos Parâmetros que Possam Afetar a Conectividade. 2010.

UTFPR. UTFPR e COPEL inauguram a Estação de Pesquisa em Energia Solar em Pato Branco. 2020. Disponível em: <http://www.utfpr.edu.br/noticias/pato-branco/inauguracao>. Acesso em: 12 set. 2021.

VIANA, T. S., Potencial de geração de energia elétrica com sistemas fotovoltaicos com concentrador no Brasil. Florianópolis, UFSC, 2010. (Tese de Doutorado UFSC).