

CENTRO ESTADUAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA PAULA SOUZA
FACULDADE DE TECNOLOGIA DE CAMPINAS
CURSO SUPERIOR DE TECNOLOGIA EM GESTÃO DE ENERGIA E
EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

ANDRÉ FERNANDO SIQUEIRA MIATTO
CLAYTON SALUSTIANO SANTOS

**ANÁLISE DE GERAÇÃO DE USINA DE MICROGERAÇÃO
FOTOVOLTAICA COM TECNOLOGIA MONOCRISTALINA E
POLICRISTALINA.**

CAMPINAS/SP
2022

CENTRO ESTADUAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA PAULA SOUZA
FACULDADE DE TECNOLOGIA DE CAMPINAS
CURSO SUPERIOR DE TECNOLOGIA EM GESTÃO DE ENERGIA E
EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

ANDRÉ FERNANDO SIQUEIRA MIATTO
CLAYTON SALUSTIANO SANTOS

**ANÁLISE DE GERAÇÃO DE USINA DE MICROGERAÇÃO
FOTOVOLTAICA COM TECNOLOGIA MONOCRISTALINA E
POLICRISTALINA.**

Trabalho de Graduação apresentado por André Siqueira Miatto e Clayton Salustiano Santos, como pré-requisito para a conclusão do curso Superior de Gestão de Energia e Eficiência Energética da Faculdade de Tecnologia de Campinas, elaborado sob a orientação do Prof. Dr. Haroldo Luiz Nogueira da Silva e o Prof. Dr. Francisco Del Moral Hernandez.

CAMPINAS/SP
2022

FICHA CATALOGRÁFICA
CEETEPS - FATEC Campinas – Biblioteca

S237a

SANTOS, Clayton Salustiano

Análise de geração de usina de microgeração fotovoltaica com tecnologia monocristalina e policristalina. Clayton Salustiano Santos e André Miatto. Campinas, 2022.

39 p.; 30 cm.

Trabalho de Graduação do Curso de Gestão de Energia e Eficiência Energética – Faculdade de Tecnologia de Campinas.

Orientador: Prof. Dr. Francisco Del Moral Hernandez.

1. Policristalina. 2. Geração. 3. Fotovoltaico. 4. Monocristalina. 5. Célula. I. Autor. II. Faculdade de Tecnologia de Campinas. III. Título.

CDD 621.4

Catálogo-na-fonte: Bibliotecária: Aparecida Stradiotto Mendes – CRB8/6553

TG GEEE 22.2

CLAYTON SALUSTIANO SANTOS; ANDRÉ FERNANDO SIQUEIRA MIATTO

Análise da planta fotovoltaica da Fatec Campinas, comparativo da geração entre as tecnologias instaladas policristalino e monocristalino em ambiente real e análise comparativa dos dados gerados

Trabalho de Graduação apresentado como exigência parcial para obtenção do título de Tecnólogo em Gestão de Energia e Eficiência Energética, pelo CEETEPS / Faculdade de Tecnologia – Fatec Campinas.

Campinas, 06 de dezembro de 2022.

BANCA EXAMINADORA



Haroldo Luiz Nogueira da Silva
Fatec Campinas

Valmir Calefi
Fatec Campinas



Fábio Aurélio Bonk
Fatec Campinas

RESUMO

O mercado de geração distribuída de fonte fotovoltaica, tem obtido crescimentos expressivos última década no Brasil e o mercado se estabeleceu com a importação dos materiais vindos de países do Hemisfério Norte, sendo que tal opção propiciou materiais normatizados para trabalharem em um ambiente diferente das condições ambientais locais. O desenvolvimento de células fotovoltaicas acarretou a cisão entre duas principais tecnologias: células policristalinas, com menor custo e tempo de produção, porém com menor pureza e eficiência na geração, com uma característica de serem menos impactadas pela temperatura ambiente; e monocristalina, com maior custo e tempo de produção, porém com maior pureza e eficiência na geração, com uma característica de serem mais impactadas pela temperatura ambiente. Com a opção mercadológica por módulos mais potentes e com menor proporção em aumento da área de captação, optou-se pela tecnologia monocristalina, que possui maior eficiência. Apesar desta tendência a uma padronização por uso de células monocristalinas, existem diversas usinas fotovoltaicas em geração - e que estão apenas no início de sua vida-útil - que foram projetadas com módulos compostos por tecnologia policristalina, as quais carecem de estudos direcionados sobre sua viabilidade e eficiência. Na presente análise, foi possível verificar em uma planta fotovoltaica as diferenças entre ambas as tecnologias, sendo estas implantadas no mesmo local e com condições físicas e ambientais mensuráveis através de uma estação solarimétrica, o que possibilitou listar uma série de considerações para a utilização e manutenção da usina fotovoltaica nos próximos anos.

Palavras-chave: policristalina; geração; fotovoltaico; monocristalina; célula.

ABSTRACT

The market for distributed generation of photovoltaic sources has achieved significant growth in the last decade in Brazil and the market was established with the importation of materials from countries in the Northern Hemisphere, and this option provided standardized materials to work in an environment different from the environmental conditions. locations. The development of photovoltaic cells led to the split between two main technologies: polycrystalline cells, with lower cost and production time, but with lower purity and generation efficiency, with a characteristic of being less impacted by ambient temperature; and monocrystalline, with greater cost and production time, but with greater purity and efficiency in generation, with a characteristic of being more impacted by ambient temperature. With the market option for more powerful modules and with a smaller proportion of increase in the catchment area, we opted for the monocrystalline technology, which has greater efficiency. Despite this trend towards a standardization by the use of monocrystalline cells, there are several photovoltaic plants in generation - and that are just at the beginning of their useful life - that were designed with modules composed of polycrystalline technology, which lack targeted studies on their viability. and efficiency. In the present analysis, it was possible to verify in a photovoltaic plant the differences between both technologies, being these implanted in the same place and with measurable physical and environmental conditions through a solarimetric station, which made it possible to list a series of considerations for the use and maintenance. of the photovoltaic plant in the coming years.

Keywords: polycrystalline; generation; photovoltaic; monocrystalline; cell.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Estrutura e função de uma célula cristalina solar.....	17
Figura 2 - Foto aérea instalações UFV da Fatec Campinas.....	18
Figura 3 - Módulos solares monocristalino e policristalino.....	19
Figura 4 - Inversor solar modelo Ingecon Sun 1 Play.....	20
Figura 5 - Consumo total do prédio FATEC Campinas.....	22
Figura 6 - Geração total da UFV- FATEC Campinas.....	22
Figura 7 - Fator de Capacidade da tecnologia policristalina.....	26
Figura 8 - Fator de Capacidade da tecnologia monocristalina.....	27
Figura 9 - Eficiência do módulo policristalino 330 Wp.....	27
Figura 10 - Eficiência do módulo monocristalino 370 Wp.....	28
Figura 11 - Eficiência das duas tecnologias somadas.....	28
Figura 12 - Cálculo para energia projetada do sistema.....	31
Figura 13 - Ponto quente encontrado na célula fotovoltaica monocristalina.....	31

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Comparação da Eficiência das diversas tecnologias de células fotovoltaicas.....	15
Tabela 2 - Balanço energético de uma célula solar cristalina.....	16
Tabela 3 - Descrição das tecnologias da UFV Fatec Campinas	19
Tabela 4 - Período em que houve falhas no sistema de internet com o inversor	21
Tabela 5 - Potência instalada na UFV.....	25
Tabela 6 - Cálculo do Fator Capacidade - Potência Instalada x Tempo.....	26
Tabela 7 - Cálculo Performance de Ratio	30

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Capacidade global energia fotovoltaica por países, 2011 – 2021.....	10
Gráfico 2 - Capacidade adição energia solar fotovoltaica, 10 maiores países- 2021	11
Gráfico 3 - Matriz elétrica Brasileira 2022.....	14
Gráfico 4 - Previsão Capacidade instalada solar fotovoltaica Brasileira 2016 e 2026	15
Gráfico 5 - Consumo hora de ponta no mês agosto de 2022	24
Gráfico 6 - Comparativo Anual Fator de Capacidade 2018 a outubro 2022.....	29
Gráfico 7 - Geração dos módulos no mês agosto 2022.	32
Gráfico 8 - Geração dos módulos no mês de outubro de 2022.....	33
Gráfico 9 - Geração dos módulos no mês de outubro de 2022.	34

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	9
1.1. DELIMITAÇÃO DO TEMA E PROBLEMA DE PESQUISA.....	11
1.2. JUSTIFICATIVA.....	12
1.3. OBJETIVOS.....	12
1.3.1. Objetivo Geral.....	12
1.3.2. Objetivos Específicos	12
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	13
3. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	17
4. ESTUDO DE CASO DA USINA FOTOVOLTAICA - ufv.....	18
4.1. FATOR DE CAPACIDADE	25
4.2. PERFORMANCE DE RATIO	29
4.3. SIMULTANIEDADE DE CONSUMO.....	33
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS	35
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	38

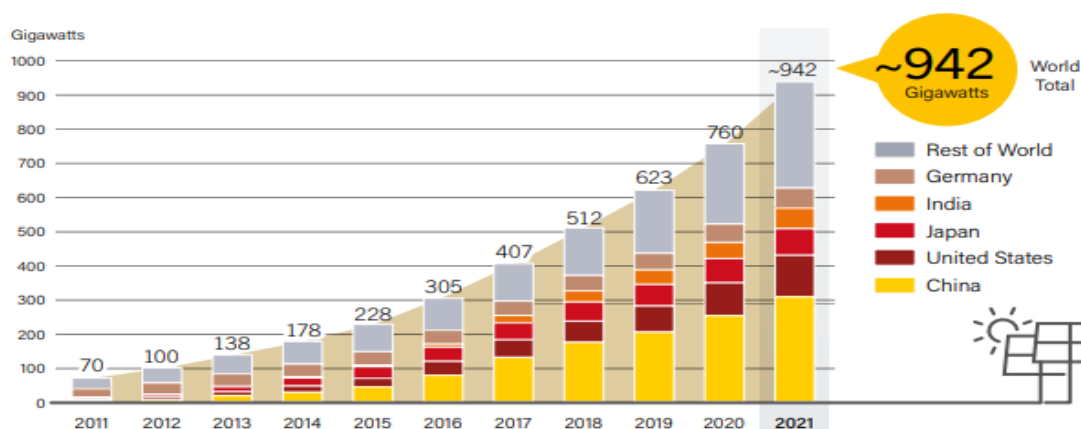
1. INTRODUÇÃO

No ano de 1839 o físico e cientista francês Alexandre Edmond Becquerel, descobriu que poderia gerar uma tensão elétrica através da luz do sol, usando um condutor metálico sob efeito de uma solução química. Mas em 1905 o cientista Albert Einstein, descobriu o efeito fotoelétrico que possui similaridade com o efeito fotovoltaico, em seguida o químico Polonês Jan Czochralski, desenvolveu um método cujo nome leva seu sobrenome, onde ele dá tratamento a cristais como exemplo o silício, onde é usado como semicondutor para geração fotovoltaica, até hoje sua técnica e empregada na indústria de células solares (VILALVA, 2015).

Em escala mundial o mercado de energia solar fotovoltaica apesar das interrupções na cadeia de suprimentos, pandemia e constante aumentos dos custos, sempre manteve a escala de crescimento ano a ano. Fatos como a guerra entre Rússia e Ucrânia, fizeram a Europa acelerar a busca em geração de energia renovável e menos dependência do gás russo. Países como Alemanha são pioneiros no desenvolvimento de células fotovoltaicas e em políticas públicas com financiamentos de sistemas fotovoltaicos e incentivos fiscais a população (AGÊNCIA INTERNACIONAL ENERGIA, 2022).

Segundo Ren21 (2022, p. 126) no total, a energia solar fotovoltaica contribuiu com cerca de 5% da geração global de eletricidade, em comparação com 3,7% em 2020. Pelo nono ano consecutivo, a Ásia dominou todas as outras regiões em novas instalações solares fotovoltaicas, representando 52% da capacidade global adicionada em 2021, conforme observa-se no Gráfico 1.

Gráfico 1 - Capacidade global energia fotovoltaica por países, 2011 – 2021



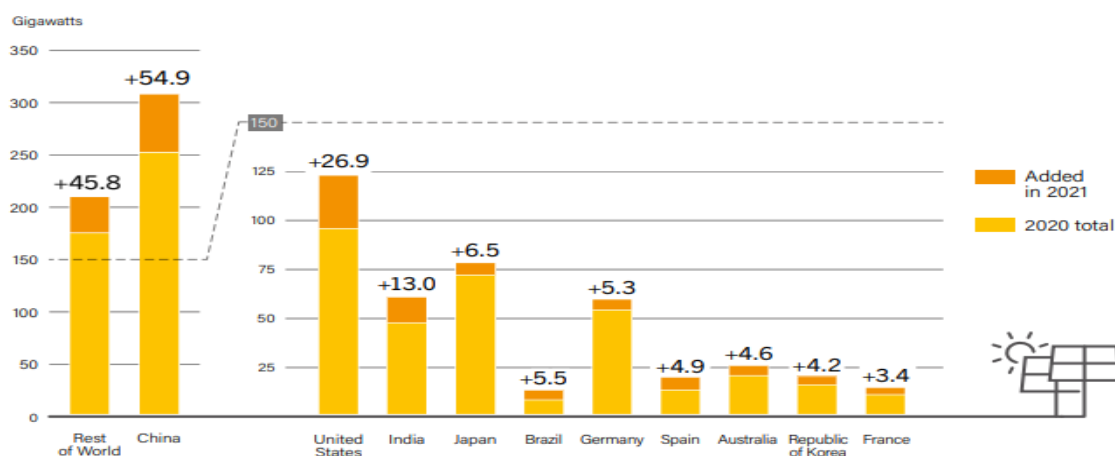
Fonte: Agência Internacional Energia – IEA

Atualmente o Brasil está passando por uma grande transformação quando se trata de geração de energia elétrica, a população está investindo exponencialmente, principalmente em geração solar fotovoltaica desde que entrou em vigor a resolução normativa 482/2012 e recentemente com a promulgação da Lei 14300 de 06/01/2022, instrumentos estes que são importantes para a seguridade de investimentos no setor. Em paralelo está a abertura do mercado livre de energia para todos demais consumidores de forma escalonada, conforme perfil do consumidor - comércios de grande e pequeno porte, indústrias e posteriormente o consumidor residencial - com projeções de construção de usinas de autoprodução local para atender tal demanda estarão em forte crescimento nos próximos anos (HEIN, 2022).

O Brasil lidera as adições de capacidade solar fotovoltaica da América Latina em 2020, com crescimento de 3 GW, um crescimento de 58% em relação a 2019 (AGÊNCIA INTERNACIONAL ENERGIA, 2022).

No Gráfico 2 observa-se a evolução da capacidade de adições de energia solar fotovoltaica no ano de 2021, sendo que o Brasil tem, entre os 10 países em destaque, uma representatividade de ter adicionado 5,5 % a sua capacidade instalada.

Gráfico 2 - Capacidade adição energia solar fotovoltaica, 10 maiores países- 2021



Fonte: IEA- Agência Internacional Energia

Conhecer o desenvolvimento de produção, características e tecnologias de células solares fotovoltaicas é de grande importância para o consumidor ter uma clareza de eficiência e investimento na hora de implantar projetos de geração. Visto que a análise da geração mostrará de forma real a produção energia e ao mesmo tempo teremos a chance de confrontar se a eficiência informada nos módulos pelos fabricantes das células fotovoltaicas, são realmente coerentes.

1.1. DELIMITAÇÃO DO TEMA E PROBLEMA DE PESQUISA

Conforme VILALVA (2015, p. 67),

Existem atualmente diversas tecnologias para a fabricação de células e módulos fotovoltaicos. As tecnologias de células fotovoltaicas mais comuns encontradas no mercado são a do silício monocristalino, a do silício policristalino e a do filme fino de silício. O silício empregado na fabricação de células fotovoltaicas é extraído do mineral quartzo. O Brasil é um dos principais produtores mundiais desse minério, mas a purificação do silício não é feita em nosso País, assim como a fabricação das células.

Sendo assim o estudo deste trabalho de graduação consiste em comparar a tecnologia monocristalina e policristalina, instalada no campus na Fatec Campinas, bem como analisar a geração obtida comparando a eficiência de cada tecnologia e observando o impacto desta geração no consumo das instalações do prédio.

1.2. JUSTIFICATIVA

Segundo a Associação Brasileira de Energia Solar (ABSOLAR, 2022), o Brasil ultrapassou a marca histórica de 20,2 GW (Gigawatts) de potência instalada da fonte solar fotovoltaica no ano de 2022. Os dados se referem tanto a instalações de grandes usinas e os sistemas de menor porte, grande parte espalhados pelos telhados de residências, comércios e entre outros.

O setor de geração de energia solar fotovoltaica trouxe valores na casa dos bilhões de reais em investimentos, fortalecendo a economia e gerando empregos. Os recorrentes aumentos de tarifas e o alto custo de energia, está fazendo com que os consumidores enxerguem como investimento, propondo ao longo do tempo economia e um significativo diferencial competitivo nos custos dos serviços ou produtos. Sendo o Brasil um país com características favoráveis em potencial solarimétrico, a eficiência dessa geração torna-se muito interessante.

Tendo em vista esse recorrente aumento de instalações de sistemas fotovoltaicos pelo Brasil, é importante o consumidor obter informações de como esses módulos geram energia, como são produzidos, quais tecnologias estão disponíveis no mercado e quão uma é mais eficiente do que a outra, o que pode impactar desde o investimento inicial até a real geração observada ao longo da vida-útil do sistema.

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. Objetivo Geral

O objetivo dessa pesquisa é comparar a eficiência das tecnologias de módulos fotovoltaicos policristalina e monocristalina e informar a significância da geração dessas tecnologias com o consumo das instalações onde se encontram instalados.

1.3.2. Objetivos Específicos

- Comparar eficiência de geração dos módulos de tecnologia policristalina e monocristalina.
- Comparar os módulos sujos e limpos e significância para geração.

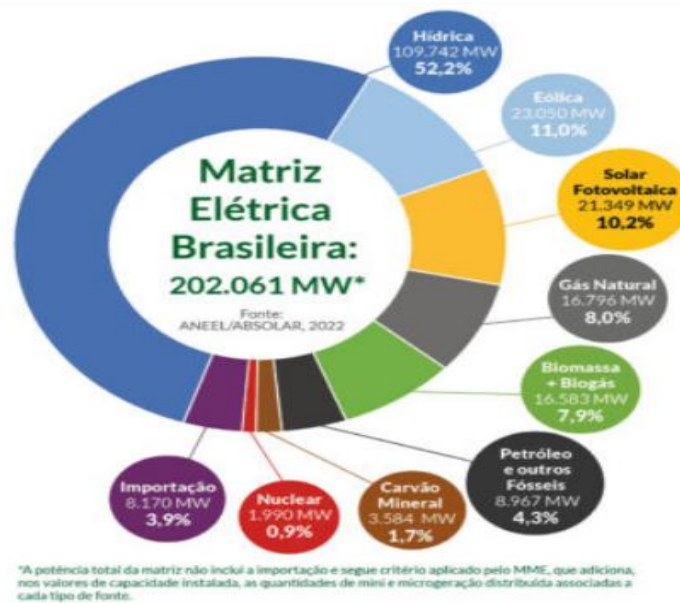
- Apresentar o fator de capacidade e Performance de Ratio - PR dos módulos instalados.
- Apresentar dados de geração desde quando foi instalada a UFV.
- Informar as características dos equipamentos instalados com os módulos.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Segundo Dornellas; Sauaia e Koloszuck (2022), nos últimos anos a energia solar fotovoltaica tem se destacado com números expressivos de instalações sejam de geração distribuída junto a carga ou em geração centralizada de usinas fotovoltaicas, gerando muitas vagas de empregos e contribuindo com muitos impostos ao poder público gerando rendas e sustentabilidade ao país. O Brasil por ter condições muito diferenciadas para implantações de sistemas de geração solar fotovoltaica, sai na frente de outros países, onde o índice de irradiação é bem menor, nas regiões Nordeste, norte de Minas Gerais, Centro – Oeste e São Paulo, cresce a cada mês o número de usinas com grande capacidade de geração. Mesmo que os grandes consumidores ainda estejam nas regiões sudeste e sul, os investimentos de geração não param de crescer.

Conforme Infográfico da Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica - ABSOLAR, a energia solar fotovoltaica em outubro de 2022 atingiu 10,2% da matriz elétrica brasileira – ver Gráfico 3.

Gráfico 3 - Matriz elétrica Brasileira 2022

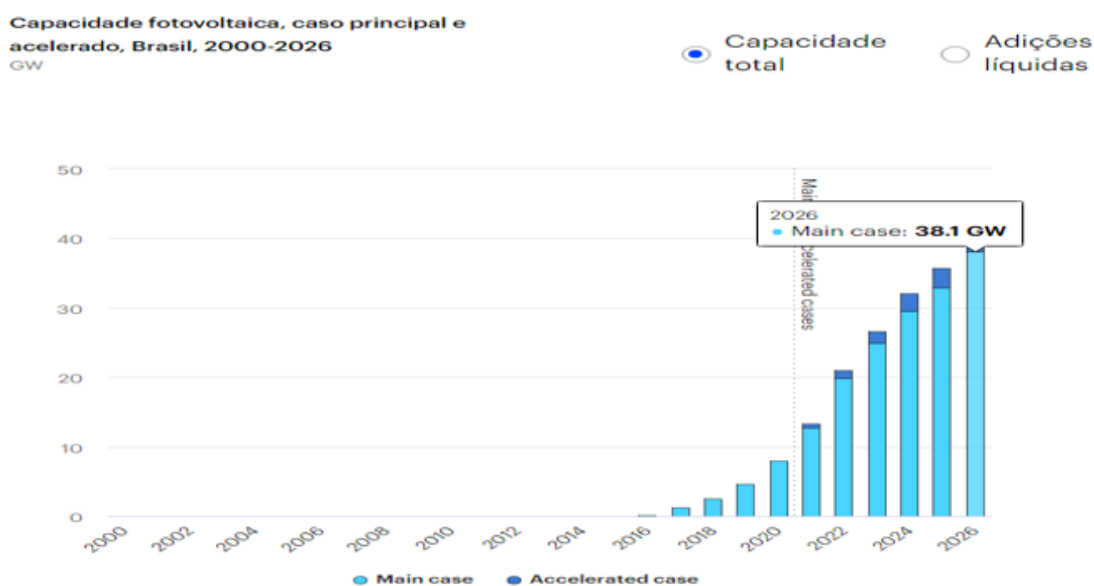


Fonte: ABSOLAR 2022.

Os marcos regulatórios como a Lei 14.300 sancionada em 06/01/2022, trouxe algumas melhorias em relação as antigas normas REN 482/2012 e 687/2015, que norteavam a geração distribuída e o sistema de compensação de excedentes de energia, fator que contribuiu para o aumento relevante de sistemas instalados até o momento no ano de 2022.

Segundo estudos da IEA - Agência Internacional de Energia, o Brasil tem uma perspectiva de crescimento em 100% de capacidade instalada de energia solar fotovoltaica até 2026, dos atuais 18,5GW para mais de 38GW, conforme observa-se na Gráfico 4.

Gráfico 4 - Previsão Capacidade instalada solar fotovoltaica Brasileira 2016 e 2026



Fonte: IEA (2021), Agência Internacional de Energia 2021

As diferentes tecnologias e os mais variados materiais empregados na fabricação de células solares, nos entrega uma diversa gama de produtos, uns com pouca e outros com melhores eficiência de geração. A tabela 1 mostra a comparação de eficiência e de algumas tecnologias de células fotovoltaicas existentes no mercado.

Tabela 1 - Comparação da Eficiência das diversas tecnologias de células fotovoltaicas

Material da Célula fotovoltaica	Eficiência da Célula em laboratório	Eficiência da Célula Comercial	Eficiência dos Módulos Comerciais
Silício Monocristalino	24,7%	18,0%	14,0%
Silício Policristalino	19,8%	15,0%	13,0%
Silício Cristalino de Filme fino	19,2%	9,5%	7,9%
Silício Amorfo	13,0%	10,5%	7,5%
Silício Micromorfo	12,0%	10,7%	9,1%
Célula solar híbrida CIS, CIGS	20,1%	17,3%	15,2%
Telureto de Cádmio	18,8%	14,0%	10,0%
	16,4%	10,0%	9,0%

Fonte: Vilalva, 2015, apud Instituto Fraunhofer de Sistemas Energia Solar adaptada de “Energia Fotovoltaica – Manual sobre tecnologias, projeto e instalação”, Portugal, 2004.

As tecnologias monocristalina e policristalina são empregadas em grande escala nas instalações de sistemas fotovoltaicos, sendo que a policristalina está

diminuindo muito sua produção e atualmente encontra-se muita dificuldade de encontrar no mercado nacional e mundial.

Segundo GREENPRO (2004, p. 34),

A célula solar clássica de silício cristalino, é composta por duas camadas de silício contaminadas com diferentes impurezas. A camada orientada para o Sol está contaminada negativamente com fósforo, e a camada inferior está contaminada positivamente com boro. É produzido um campo elétrico na junção das duas camadas, que conduz à separação das cargas (electrões e lacunas) libertadas pela luz solar. No intuito de gerar eletricidade a partir da célula solar, são impressos contatos metálicos nas suas partes frontal e posterior. Em geral, e neste contexto, é utilizada a impressão em tela. É possível conseguir uma camada de contacto em toda a extensão da célula, com a aplicação de uma folha de alumínio ou de prata na parte posterior. No entanto, a parte frontal deverá ser tão translúcida quanto possível. Aqui os contatos são essencialmente aplicados na forma de uma grelha fina ou numa estrutura em árvore. A reflexão da luz pode ser reduzida, com o depósito por vapor de uma camada mais fina (camada anti-reflexão) na parte frontal da célula solar, feita de nitreto de silício ou de dióxido de titânio. A radiação provoca a separação dos portadores de carga, como é acima descrito, e o surgimento de uma corrente caso exista um aparelho de consumo ligado (a imagem mostra uma lâmpada). As perdas ocasionadas pela recombinação, pela reflexão e pelo sombreamento entre os contatos frontais, ocorrem na célula solar. Para além disso, uma grande proporção da energia de radiações de onda longa e curta não pode ser aproveitada. Como exemplo, as perdas de transmissão estão ilustradas na figura. Uma outra parte da energia não aproveitada é absorvida e transformada em calor. As perdas individuais de uma célula solar de silício cristalino, são dadas no seguinte balanço energético:

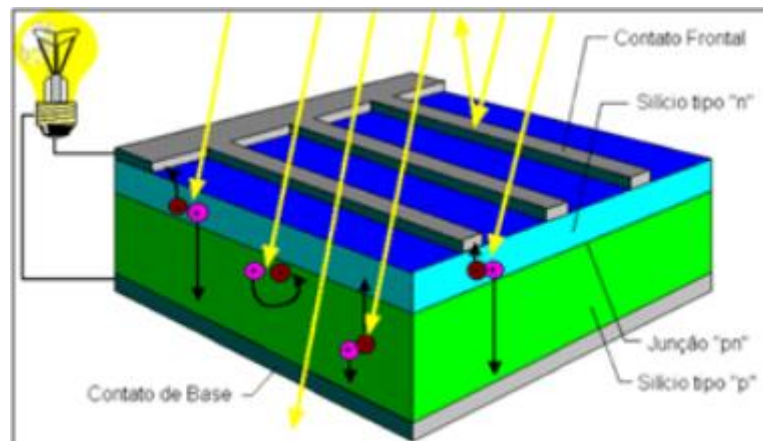
Na Tabela 2 é descrito um breve balanço energético as perdas individuais de uma célula solar de silício cristalino, em seguida na Figura 1 é mostrado a estrutura e função de uma célula cristalina solar.

Tabela 2 - Balanço energético de uma célula solar cristalina

%	Descrição
100%	Energia solar irradiada
-3,0%	Reflexão e sombreamento dos contatos frontais
-23,0%	Insuficiente energia do fóton na radiação de onda longa
-32,0%	Excedente de energia do fóton na radiação de onda curta
-8,5%	Recombinação
-20,0%	Gradiente elétrico numa célula, especialmente na da barreira de potencial
-0,5%	Resistência em série (perdas térmicas da condução elétrica)
13,0%	Resultado = Energia elétrica utilizável

Fonte: GREENPRO 2004 – Energia Fotovoltaica- Manual sobre tecnologias, projeto e instalação adaptado pelo autor.

Figura 1 - Estrutura e função de uma célula cristalina solar.



Fonte: GREENPRO 2004 – Energia Fotovoltaica- Manual sobre tecnologias, projeto e instalação.

3. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

A usina solar fotovoltaica da Faculdade de Tecnologia de Campinas será o objeto de estudo deste trabalho sendo constituída de 22 módulos fotovoltaicos - 10 unidades de tecnologia monocristalina e 12 unidades de tecnologia policristalina. Na UFV temos uma estação meteorológica com sensores – temperatura, pluviométrico, barômetro e outros.

A natureza da abordagem dos procedimentos de coleta e análise de dados deu-se através do uso dados fornecidos pelo monitoramento da UFV, sendo este atrelado a empresa fabricante dos inversores.

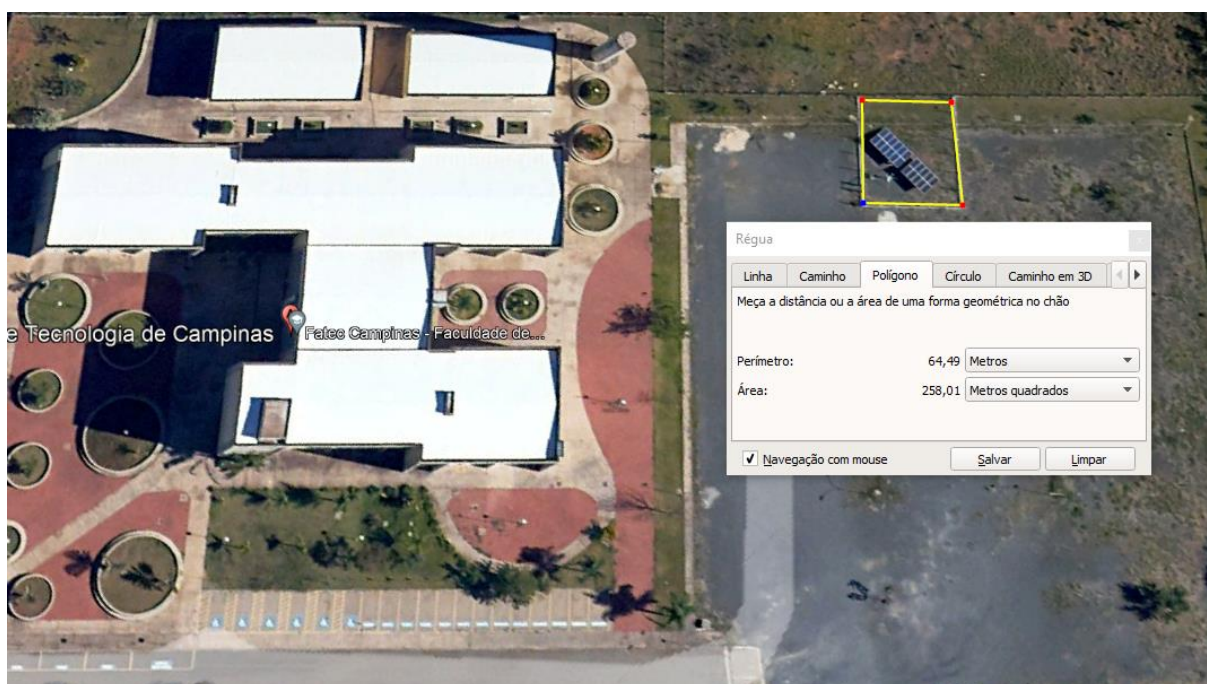
No período de geração foi comparado como a geração de cada tecnologia se comportou desde a inauguração/conexão até e a limpeza de um dos arranjos

Através da ferramenta Microsoft Power BI será demonstrado dados de geração e consumo de energia do prédio, apresentando uma interface mais clara dos dados gerados e consumidos. As características dos equipamentos e suas descrições detalhadas trarão um olhar mais conciso das diferenças de tecnologias.

4. ESTUDO DE CASO DA USINA FOTOVOLTAICA - UFV

A descrição detalhada dos componentes de estudo deste trabalho é especificamente a estrutura da UFV da Fatec Campinas. A central de geração fotovoltaica fica situada em uma área segregada com cerca de 258 m² no estacionamento, localizada nos fundos da instituição. Abaixo, na Figura 2, temos uma foto aérea retirada do aplicativo Google Earth:

Figura 2 - Foto aérea instalações UFV da Fatec Campinas.



Fonte: Google Earth Pro.

Os equipamentos que compõe o sistema, são 12 módulos de tecnologia policristalina do fabricante alemão Axitec com potência de geração de 330 Wp por módulo, totalizando uma potência instalada de 3,96 kWp.

Também compõe o sistema mais 10 módulos de tecnologia monocristalina do mesmo fabricante, com potência de geração de 370 Wp por módulo, totalizando uma potência instalada de 3,70 kWp. Na Tabela 3 temos a descrição das potências.

Tabela 3 - Descrição das tecnologias da UFV Fatec Campinas

Descrição	Tecnologia	Potência (W)	Quantidade	Potência Total (kW)
AC-330P 72S	POLICRISTALINA	330 Wp	12	3,96 kWp
AC-370M 72S	MONOCRISTALINA	370 Wp	10	3,70 kWp

Fonte: Elaboração própria dos autores

Todos os módulos do fabricante contêm o selo do programa nacional de conservação de energia elétrica (PROCEL) atestado em parceria com o instituto nacional de metrologia, qualidade e tecnologia (Inmetro), sendo nível A. Para uma melhor ilustração das tecnologias citadas, abaixo a Figura 3 dos módulos do fabricante e selo PROCEL de conformidade.

Figura 3 - Módulos solares monocristalino e policristalino

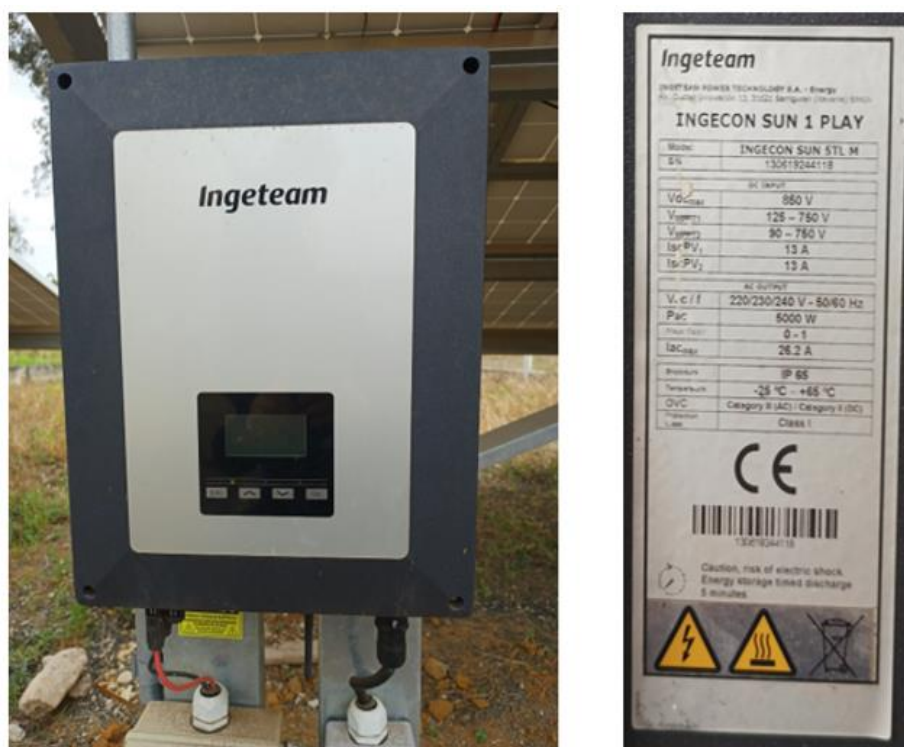


Fonte: Fabricante Axitec.

Os Inversores instalados são do fabricante Ingeteam Power Technology S.A, fabricante espanhola presente em mais de 24 países. O modelo presente na UFV são 2 inversores INGECON SUN 5TL M de potência de 5 kW, sendo atribuído um para cada arranjo de módulos. Nota-se assim que a soma das potências dos módulos ($P_{mód}$) é menor do que a potência nominal do inversor ($P_{inv\ nom}$), sendo que é de uso o uso de sobredimensionamento CC - também conhecido como overload, oversinzing ou carregamento - dos inversores com a finalidade de obter uma melhor

performance do equipamento ao se trabalhar em seu ponto de máxima potência. De toda via, nota-se que o projeto da UFV foi elaborado desconsiderando esta característica ou prevendo aumento futuro. Tal informação não pode ser verificada devido a inexistência de documentação do projeto. Na Figura 4 tem-se o modelo e potência do inversor.

Figura 4 - Inversor solar modelo Ingecon Sun 1 Play



Fonte: Fotografia registrada pelos autores na UFV.

Os módulos fotovoltaicos são constituídos basicamente de células conectadas eletricamente, sendo que a quantidade de células é diretamente responsável pela tensão de trabalho. Existem módulos com 54, 60, 72, 140 e 144 células. No caso de presente estudo, os módulos possuem 72 células (Vilalva, 2015).

Sabe-se que os módulos fotovoltaicos não têm um mesmo comportamento que um circuito com fonte elétrica convencional, pois nos seus terminais não apresentam uma tensão constante, como a exemplo de uma fonte alimentada por bateria, no módulo a tensão da corrente e vice-versa.

Conforme VILALVA (2015, p. 78),

A temperatura tem influência na tensão que o módulo fornece em seus terminais e conseqüentemente na potência fornecida. Em temperaturas mais baixas as tensões são maiores em temperaturas mais altas as tensões são menores. A corrente fornecida pelo módulo não se altera com a temperatura. Uma consequência da variação sobre o módulo fotovoltaico é que, quando a temperatura aumenta, a potência fornecida pelo módulo diminui, pois, a potência é o produto da tensão e da corrente do módulo.

A conexão e geração da UFV da FATEC Campinas iniciou em 14 de julho de 2020, tendo períodos de monitoramento constante e outros com perdas de dados. Desta forma foi necessária a extração mês a mês dos dados armazenados nos inversores, sendo verificado uma perda considerável de dados de datas específicas – inexistência de envio ao servidor da Injeteam.

Após análise completa de todos os meses, destacamos na Tabela 4 os intervalos de datas em que houve falha de transmissão de dados ocasionado pela falta de sinal de internet que faz o upload dos dados gerados, houve geração, porém, com essa falta de transmissão ficou-se impossibilitado de exportar os dados do servidor da Injeteam, sendo assim foi considerada como geração válida, os dados do mesmo período do ano anterior.

Tabela 4 - Período em que houve falhas no sistema de internet com o inversor

Datas	Período Considerado
10/12/2021 à 22/12/2021	Mesmo período ano anterior
10/02/2022 à 27/04/2022	Mesmo período ano anterior
05/05/2022 à 10/05/2022	Mesmo período ano anterior
15/06/2022 à 17/06/2022	Mesmo período ano anterior
16/09/2022 à 30/09/2022	Mesmo período ano anterior

Fonte: Elaborada pelos autores

Para auxiliar nas análises foi usado uma ferramenta gratuita da Microsoft, o Power BI, tal ferramenta demonstra um visual mais intuitivo e educativo. Foi elaborado uma base de dados de contas de luz desde junho de 2019 até outubro de 2022 e todas as contas foram inseridas em uma planilha Excel no qual alimenta os dashboards gerados em Power BI, também foram exportados para essa mesma base, toda geração extraída do servidor dos inversores instalados na UFV.

Nas Figuras 5 e 6 é demonstrado o consumo de energia do prédio da Fatec-Campinas no período de julho/2020 a setembro/2022 e a geração das tecnologias policristalina e monocristalina pelo mesmo período, sendo que a geração se iniciou em 14/07/2020. Percebe-se que o total de geração no período mencionado equivale a aproximadamente 9,34 % do consumo do prédio.

Figura 5 - Consumo total do prédio FATEC Campinas

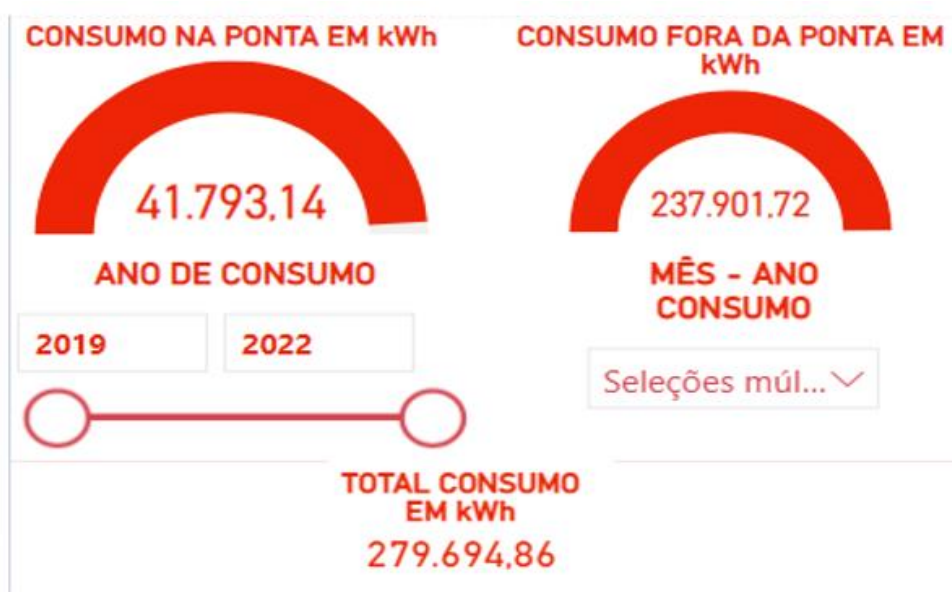


Figura 6 - Geração total da UFV- FATEC Campinas



Fonte: Dados obtidos pelo software Power BI elaborado pelos autores.

O total de geração de energia através dos módulos fotovoltaicos, foi de 26.135,97 kWh, sendo deste total 13.144,73 kWh dos módulos de tecnologia policristalina e 12.991,17 kWh dos módulos monocristalina. A Fatec-Campinas tem contrato de fornecimento com a concessionária de energia CPFL Paulista, sendo enquadrada no grupo Tarifário A e subgrupo A4 e modalidade tarifário Verde, possuindo Demanda única 65 kW e valores de tarifa com horário de Ponta e fora ponta.

As modalidades tarifárias são um conjunto de tarifas aplicáveis ao consumo de energia elétrica e à demanda de potência ativa. Elas são definidas de acordo com o grupo tarifário, segundo as opções de contratação definidas na Resolução Normativa ANEEL nº 1.000/2021 e no Módulo 7 dos Procedimentos de Regulação Tarifária - Proret. Unidades consumidoras da Alta Tensão (Subgrupos A1, A2 e A3), Média Tensão (Subgrupos A3a e A4), e de sistemas subterrâneos (Subgrupo AS). Horária Azul, tarifas diferenciadas de consumo de energia elétrica e de demanda de potência, de acordo com as horas de utilização do dia (postos tarifários). Disponibilizada para todos os subgrupos do grupo A; e a Horária Verde: tarifas diferenciadas de consumo de energia elétrica, de acordo com as horas de utilização do dia (postos tarifários), e de uma única tarifa de demanda de potência. Disponível para os subgrupos A3a, A4 e AS (ANEEL, 2022).

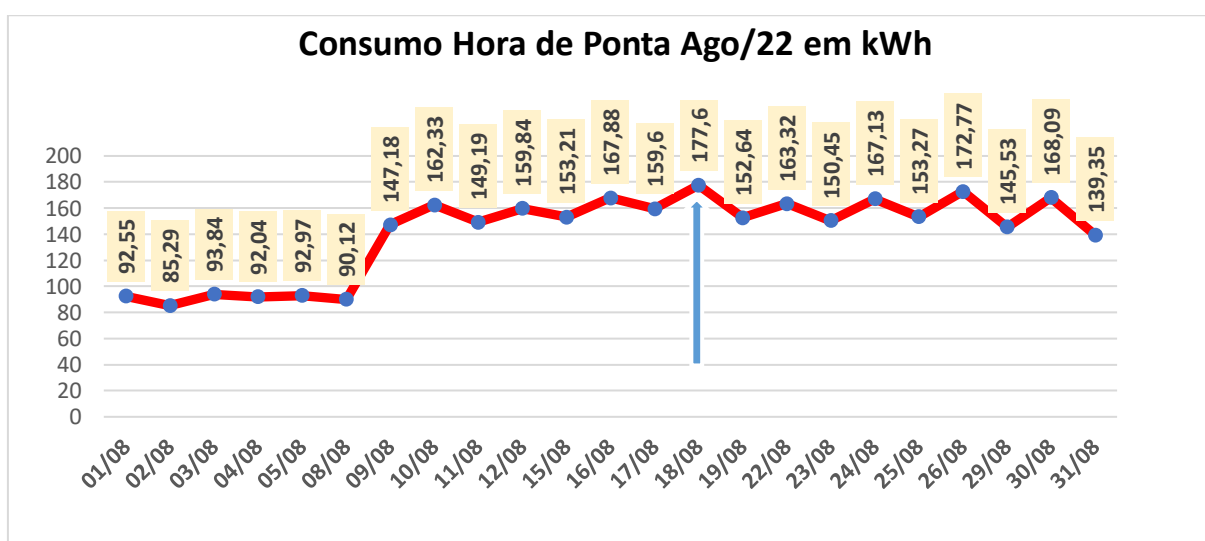
Os horários ponta e fora ponta, representam valores de tarifas diferentes, o horário de ponta corresponde período diário de 3h consecutivas, com exceção feita aos sábados, domingos e feriados nacionais, e o horário fora ponta período diário composto pelas horas consecutivas e complementares ao horário de ponta e intermediário. O horário intermediário é período de horas conjugadas ao horário de ponta, aplicado exclusivamente às unidades consumidoras que optem pela tarifa branca que frequentemente são do grupo B. Pode variar de 1h a 1h30 antes e depois do horário de ponta (ANEEL, 2021).

No horário de ponta a carga do SISTEMA INTERLIGADO NACIONAL – SIN, tem um consumo de energia maior, por esse motivo o valor da tarifa nesse horário é mais alto que do horário fora ponta. Cada concessionária ou permissionária de energia determina o horário de ponta, depende da região geográfica do Brasil, no caso da FATEC Campinas que é atendida pela concessionária CPFL Paulista o horário é entre 18:00 horas e 21:00 horas.

Analisando a figura 9 percebe-se que a carga de consumo no horário de ponta do prédio da Fatec Campinas corresponde a 14,85% do consumo total do período analisado, sendo considerado coerente com o perfil de consumo, no caso um prédio onde se há aulas no período noturno e com períodos sazonais em que não há aulas.

No Gráfico 5 observa-se que no dia 18/08/22 ocorreu o pico máximo de consumo no período de horário de ponta, chegando a 177,6 kWh consumidos no período das 18:00 às 21:00 horas.

Gráfico 5 - Consumo hora de ponta no mês agosto de 2022



Fonte: Elaboração própria

Abaixo segue o link para acesso aos *dashboards*, para que o leitor tenha interatividade com a plataforma e possa fazer os filtros conforme sua curiosidade sobre o tema abordado (copiar e colar no navegador):

<https://app.powerbi.com/view?r=eyJrljoiNjZiZDA0MWUtNTVhMC00OWQyLWl1NDEtYmY1Y2MxZmFkYzVklwidCI6ImNmNzJlMmJkLTdhMmItNDc4My1iZGVlTM5ZDU3YjA3Zjc2ZilslmMiOjR9>

4.1. FATOR DE CAPACIDADE

O Fator de capacidade de um sistema é um indicador de fundamental importância, pois indica o quanto a usina está gerando em relação ao máximo que ela poderia gerar, resumindo seria a proporção da energia gerada pela capacidade instalada de um sistema de geração. É uma medida muito eficiente e ajuda a detectar anomalias no sistema, sabe-se que para se medir o fator da capacidade as variáveis envolvidas como tempo e medidas de potências devem estarem alinhadas, como exemplo, se estamos trabalhando em geração de kWh, a potência terá que estar expressa em kWh, se estamos calculando o período em ano, na fórmula para cálculo a expressão terá que estar em horas, exemplo 8760 horas que corresponde a um ano. Abaixo segue a equação 1, com a descrição da fórmula. (MME, 2007)

$$Fc = \frac{\text{Energia anual}}{\text{Potencia} \times 8760} \quad (1)$$

Sabendo-se da necessidade do fator de capacidade de cada tecnologia para que se possa comparar a eficiência entre ambas, foi elaborado a Tabela 5 demonstrando a potência instalada do sistema em cada tecnologia.

Tabela 5 - Potência instalada na UFV

Tecnologia	POTÊNCIA kWp
Monocristalina	3,70 kWp
Policristalina	3,96 kWp

Fonte: Elaboração própria

Na Tabela 6 é demonstrado a tecnologia, ano da geração, total da geração em kWh e o tempo em horas referente a cada ano, sendo considerado em 2022 até o mês de outubro.

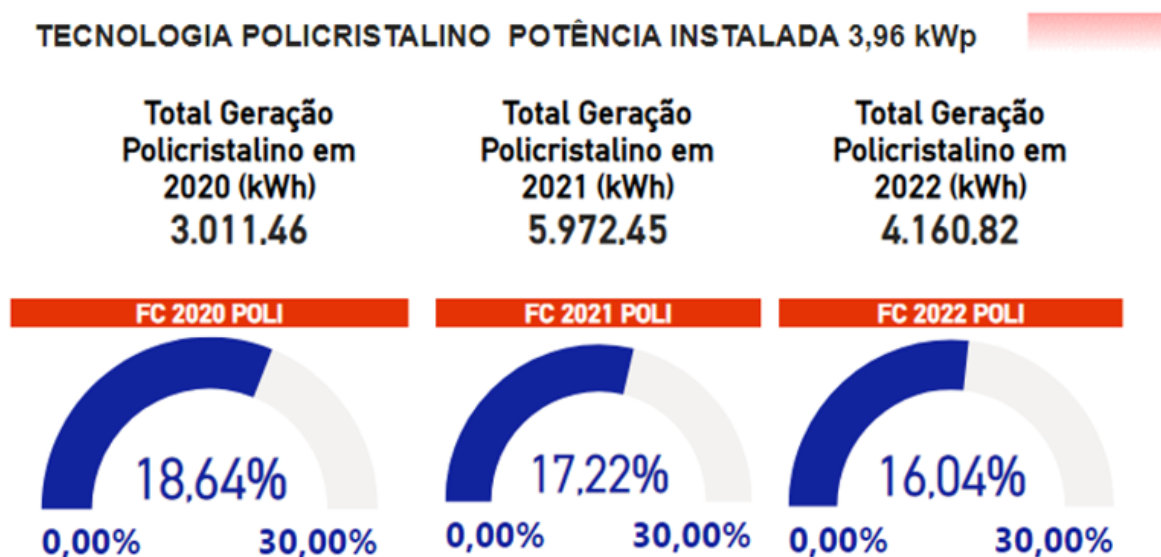
Tabela 6 - Cálculo do Fator Capacidade - Potência Instalada x Tempo

TECNOLOGIA	ANO	TEMPO(HS)	POTÊNCIA kWp	TOTAL kWh
Monocristalina	2020	4080	3,70	15.096,00
Monocristalina	2021	8760	3,70	32.412,00
Monocristalina	2022	7296	3,70	26.995,20
Policristalina	2020	4080	3,96	16.156,80
Policristalina	2021	8760	3,96	34.689,60
Policristalina	2022	7296	3,96	28.892,16

Fonte: Elaborada pelos autores

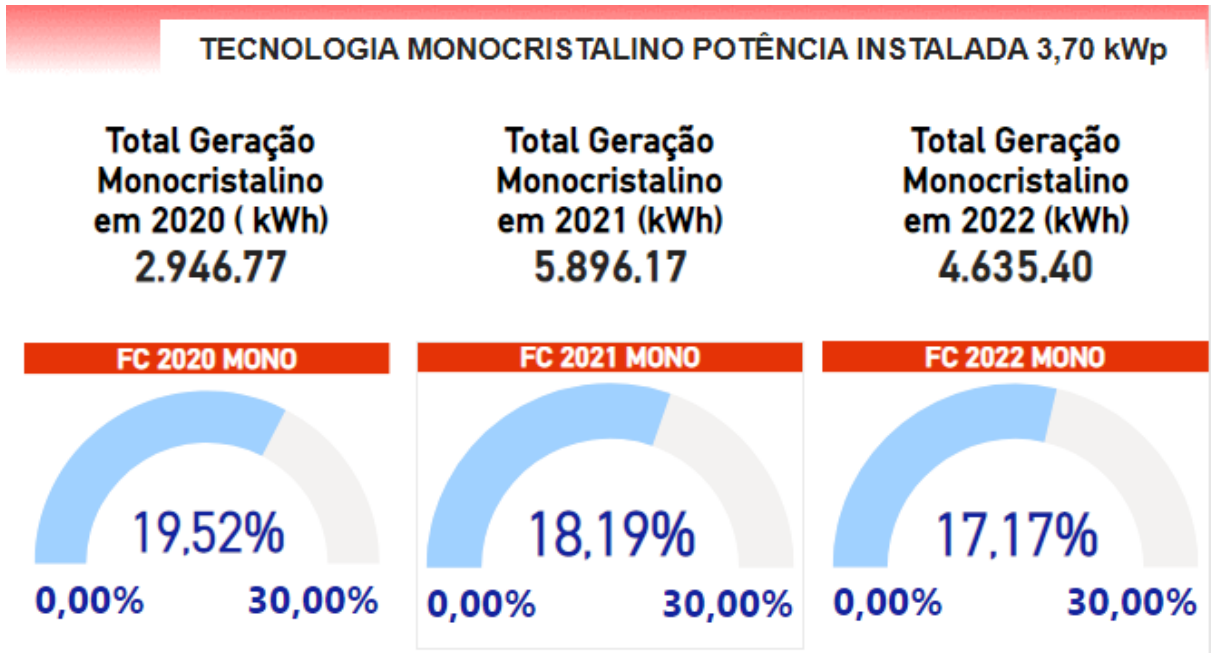
Após todos os dados serem inseridos em uma base de dados em Excel, e posteriormente no Microsoft Power BI, foi aplicado a fórmula da equação 1, após as configurações e desenvolvimento das medidas dentro do Power BI, são demonstrados nas Figuras 7, 8 e 11 o painel com os respectivos dados de fator de capacidade de cada tecnologia, por ano com a soma das duas tecnologias e por último considerando a soma do período de 14/07/2020 até outubro de 2022.

Figura 7 - Fator de Capacidade da tecnologia policristalina



Fonte: Elaborado pelos autores

Figura 8 - Fator de Capacidade da tecnologia monocristalina



Fonte: Elaborado pelos autores

Percebe-se que a tecnologia monocristalina tem um valor mais elevado de eficiência de capacidade, mesmo com potência instalada inferior a tecnologia policristalina, também se observa que a cada ano esse fator diminui e identificamos como consequência a falta de limpeza dos módulos. Conforme observado nas Figuras 7, 8, 9 e 10, conclui-se que o Fator de Capacidade dos módulos de ambas as tecnologias estão em conformidade com o valor de eficiência informado no seu *manual de fabricante*, no caso 17,01% para a tecnologia policristalina e 19,07% para a tecnologia monocristalina.

Figura 9 - Eficiência do módulo policristalino 330 Wp

Electrical data (at standard conditions (STC) irradiance 1000 watt/m², spectrum AM 1,5 at a cell temperature of 25°C)

Type	Nominal output P _{mpp}	Nominal voltage U _{mpp}	Nominal current I _{mpp}	Short circuit current I _{sc}	Open circuit voltage U _{oc}	Module conversion efficiency
AC-310P/72S	310 Wp	37,16 V	8,36 A	8,82 A	45,58 V	15,98 %
AC-315P/72S	315 Wp	37,28 V	8,45 A	8,91 A	45,60 V	16,23 %
AC-320P/72S	320 Wp	37,56 V	8,52 A	9,03 A	45,82 V	16,49 %
AC-325P/72S	325 Wp	37,66 V	8,63 A	9,15 A	45,92 V	16,75 %
AC-330P/72S	330 Wp	37,82 V	8,73 A	9,28 A	46,97 V	17,01%

Fonte: Manual módulo AC -330P/72S - AXITEC

Figura 10 - Eficiência do módulo monocristalino 370 Wp

Electrical data (at standard conditions (STC) irradiance 1000 watt/m², spectrum AM 1,5 at a cell temperature of 25°C)

Type	Nominal output P _{mpp}	Nominal voltage U _{mpp}	Nominal current I _{mpp}	Short circuit current I _{sc}	Open circuit voltage U _{oc}	Module conversion efficiency
AC-350M/72S	350 Wp	38,34 V	9,13 A	9,58 A	46,89 V	18,04 %
AC-355M/72S	355 Wp	38,63 V	9,19 A	9,66 A	47,16 V	18,30 %
AC-360M/72S	360 Wp	39,01 V	9,23 A	9,73 A	47,44 V	18,55 %
AC-365M/72S	365 Wp	39,38 V	9,27 A	9,81 A	47,67 V	18,81 %
AC-370M/72S	370 Wp	39,67 V	9,33 A	9,88 A	47,90 V	19,07 %

Fonte: Manual módulo AC -370M/72S – AXITEC

Na Figura 11 são exibidas a capacidade das tecnologias somadas, considerando as datas de 2019 com intervalo de 14/07/2020 a 31/12/2020, o ano de 2021 completo e o ano de 2022 apenas com dados até o mês de outubro. É destacado também na figura o valor de todos os intervalos e as potências somadas, resultando em um fator de capacidade geral do sistema.

Figura 11 - Eficiência das duas tecnologias somadas

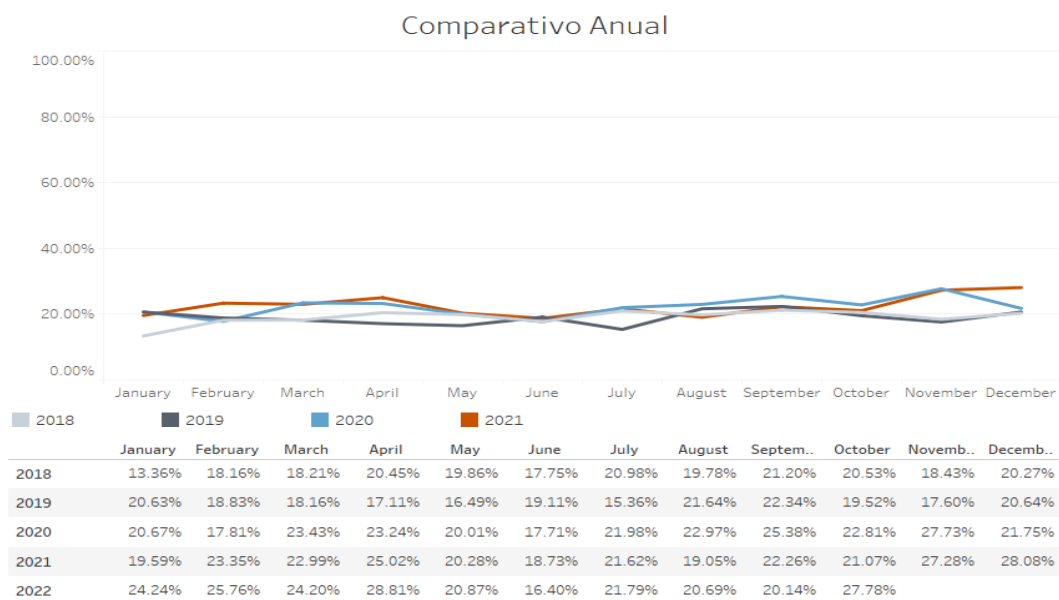


Fonte: Elaborado pelos autores

Para efeitos de comparação com a UFV da Fatec Campinas, foi mostrado o fator de capacidade médio de usinas fotovoltaicas no estado de São Paulo de 2018 a outubro de 2022, porém sabe-se que muitas dessas usinas usam sistema de rastreamento, chamados trackers, dispositivo que faz o rastreamento do sol durante toda geração, aumentando a eficiência de geração energia. No Gráfico 6, podemos ver dados extraídos do Operador Nacional Sistema Elétrico – ONS, que demonstra que o Fator de Capacidade - FC da UFV da Fatec-Campinas, não está muito abaixo

do Fator de Capacidade Médio ($FC_{méd}$) do Estado de São Paulo, visto que a instalação dos módulos não dispõe de dispositivo de rastreamento.

Gráfico 6 - Comparativo Anual Fator de Capacidade 2018 a outubro 2022.



Fonte: ONS - Operador Nacional Sistema Elétrico

4.2. PERFORMANCE DE RATIO

Sabe-se que a Performance de Ratio também é um indicador muito importante para medir o desempenho de um sistema fotovoltaico, conforme a equação 2 a razão entre a energia gerada e a energia calculada ou dimensionada, tem como resultado as perdas que o sistema teve em sua geração, o cálculo vai mostrar o percentual de perdas que se poderia gerar em condições favoráveis a geração.

Não existe uma norma internacional que estipule valores adequados de PR. No entanto, é usual no mercado aceitar valores de PR anuais entre 0.75 e 0.85. Resultados abaixo dessa faixa são motivo de atenção por partes do proprietário da usina (Portalsolar,2021).

$$PR = \frac{\text{Energia gerada} \left(\frac{kWh}{ano}\right)}{\text{Energia Calculada} \left(\frac{kWh}{ano}\right)} \quad (2)$$

Para o cálculo da Performance Ratio - PR da UFV da Fatec Campinas, como base de dados, foi coletado dos inversores da usina o total de energia gerado no ano de 2021, separados por tecnologia policristalina e monocristalina. Para os dados de energia calculada, foi preciso coletar dados de irradiância do local da usina, dados do tamanho do módulo em metros quadrados, eficiência do módulo e considerar os dias do ano igual a 365.

Os dados de irradiância foram obtidos pelo site do Cresesb, inserindo à latitude e longitude, foi encontrado a média anual de irradiação um valor de 5,16 kWh/m²/dia. Foi coletado do manual de fabricação dos módulos fotovoltaicos a área total de cada um, sendo que para a tecnologia policristalina está instalado uma área de 23,28m² e para a tecnologia monocristalina está instalado uma área de 19,40m², observando que o tamanho dos módulos são os mesmos 1,94m², porém a tecnologia policristalina conta com 12 módulos e a monocristalina com 10 módulos. A eficiência de rendimento de cada tecnologia foi coletada também pelo manual do módulo fotovoltaico, sendo para policristalino 0,17% e para monocristalino 0,19%. A seguir a Tabela 7 demonstra os cálculos e o resultado da Performance Ratio de cada tecnologia que corresponde aos módulos monocristalinos uma porcentagem de perdas de (100% - 84,92% = 15,08 %) enquanto os módulos policristalinos uma porcentagem de (100% - 80,11% = 19,88%) de perdas do sistema., também sem seguida a Figura 12 mostra os cálculos da energia projetada com base no ano de 2021 em que houve geração durante todo ano.

Tabela 7 - Cálculo Performance de Ratio

Tecnologia	Média Radiação kWh/m²/dia	Dias em Ano	Área módulo M²	Eficiência Módulo %	Energia Calculada ou Projetada (kWh)	Geração Ano 2021 kWh	PR %
Monocristalina	5,16	365	19,4035	0,19	6.943,47	5.896,17	84,92%
Policristalina	5,16	365	23,2842	0,17	7.455,09	5.972,45	80,11%

Fonte: Elaborado pelos autores, dados de irradiação média obtidos <http://www.cresesb.cepel.br>

Figura 12 - Cálculo para energia projetada do sistema

$$\text{Energia projetada} = \text{kWh/m}^2/\text{dia} * \text{tempo análise em dias} * \text{área módulo} * \text{rendimento módulo}$$

$$\text{Energia Projetada} = 5,16 * 365 * 23,28422 * 17,01 = 7.455,09 \text{ kWh}$$

$$\text{Energia Projetada} = 5,16 * 365 * 19,40352 * 19,07 = 6.943,47 \text{ kWh}$$

Fonte: De própria autoria

Sabendo-se da importância de manter os módulos fotovoltaicos com a adequada manutenção de limpeza e ao mesmo tempo querer saber qual seria a porcentagem de ganho eficiência com os módulos limpos, foi realizado em 27 de agosto 2022 a lavagem dos módulos fotovoltaicos da tecnologia monocristalina, foi encontrado sobre os módulos pontos quentes, conhecido no Brasil como *hotspot*, a Figura 13 nos mostra esse fenômeno.

Figura 13 - Ponto quente encontrado na célula fotovoltaica monocristalina.



Fonte: Dos autores.

A eficiência de geração do sistema está muito relacionada com a importância de se manter os sistemas sempre limpos, evitando danos as células fotovoltaicas.

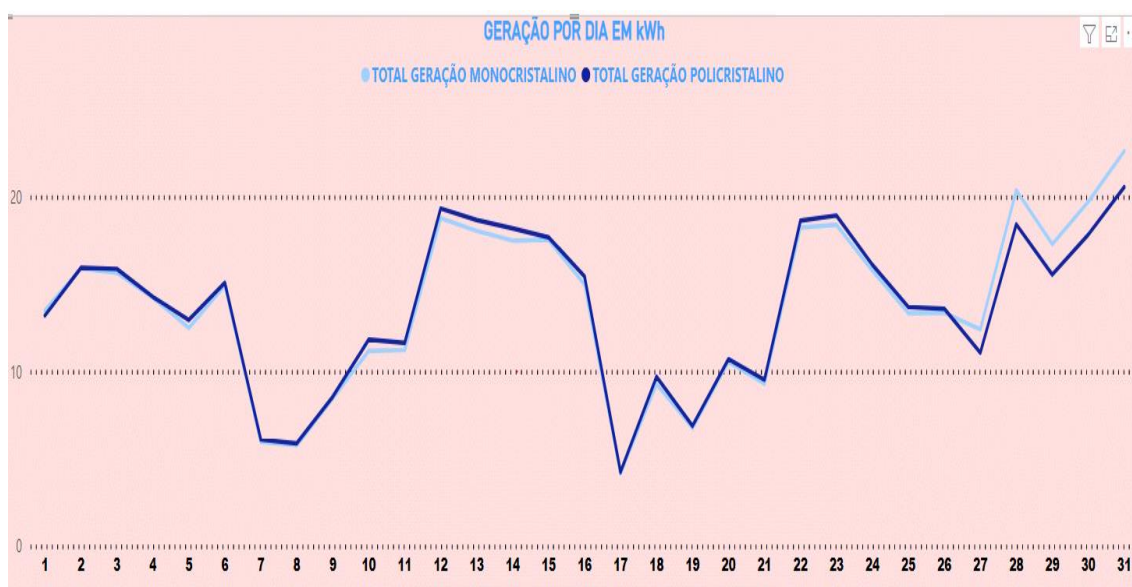
Quando uma ou mais células recebe menos radiação solar do que as outras da mesma associação, sua corrente vai limitar a corrente de todo o conjunto série. Esta redução de radiação incidente pode ocorrer por um sombreamento parcial do módulo, depósito de sujeira sobre o vidro, ou algo que tenha caído sobre o módulo, dentre outras possibilidades. O efeito de redução da corrente

no conjunto de células do módulo acaba sendo propagado para todos dos módulos conectados em série. Além da perda de potência no gerador fotovoltaico, há risco de danos ao módulo parcialmente sombreado, uma vez que a potência elétrica gerada que não está sendo entregue ao consumo é dissipada no módulo afetado, às vezes sobre apenas uma de suas células. Neste caso pode ocorrer o fenômeno conhecido como “ponto quente” (por vezes referenciado no Brasil pelo termo em inglês “hotspot”), que produz intenso calor sobre a célula afetada, com ruptura do vidro e fusão de polímeros e metais (Pinho; Galdino, 2014, p. 159).

Após a lavagem do arranjo de módulos monocristalinos, percebeu-se uma nítida diferença de eficiência na geração, tendo como recorte as datas entre 01 e 31 de agosto 2022. Este aumento deu-se a média de 10,15% em relação ao arranjo de módulos policristalinos.

O Gráfico 7 apresenta os dados de geração do período anterior e posterior a citada limpeza.

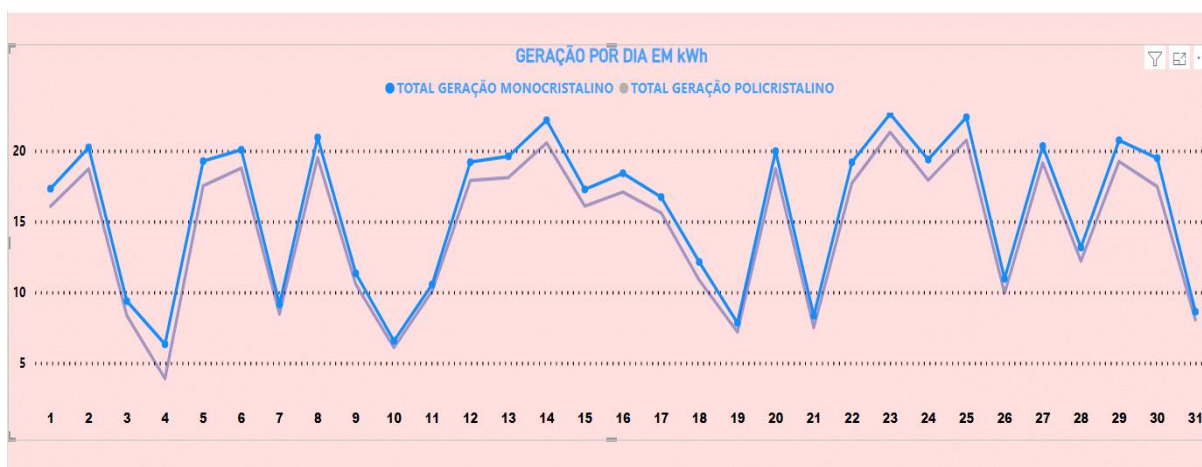
Gráfico 7 - Geração dos módulos no mês agosto 2022.



Fonte: Elaborado pelos autores, usando Microsoft Power BI.

Observa-se no Gráfico 8 que passados 30 dias da limpeza, a geração no arranjo monocristalino manteve-se constante e acima do arranjo policristalino, com dias pontuais de igualdade (clima nebuloso ou chuvoso).

Gráfico 8 - Geração dos módulos no mês de outubro de 2022.



Fonte: Elaborado pelos autores, usando Microsoft Power BI

Devido a localidade da UFV da FATEC Campinas, estar em uma área onde a vegetação encontra-se muito afastada do centro urbano, houve ocorrências em que se ficou impossibilitado de realizar a lavagem dos módulos policristalinos, neste período houve uma infestação de abelhas africanas na caixa de água do prédio, que no caso está bem próximo a usina UFV. Demorou-se quase 25 dias para o retorno das atividades presenciais no prédio, período que encurtou muito o tempo de análise com os módulos limpos.

4.3. SIMULTANIEDADE DE CONSUMO

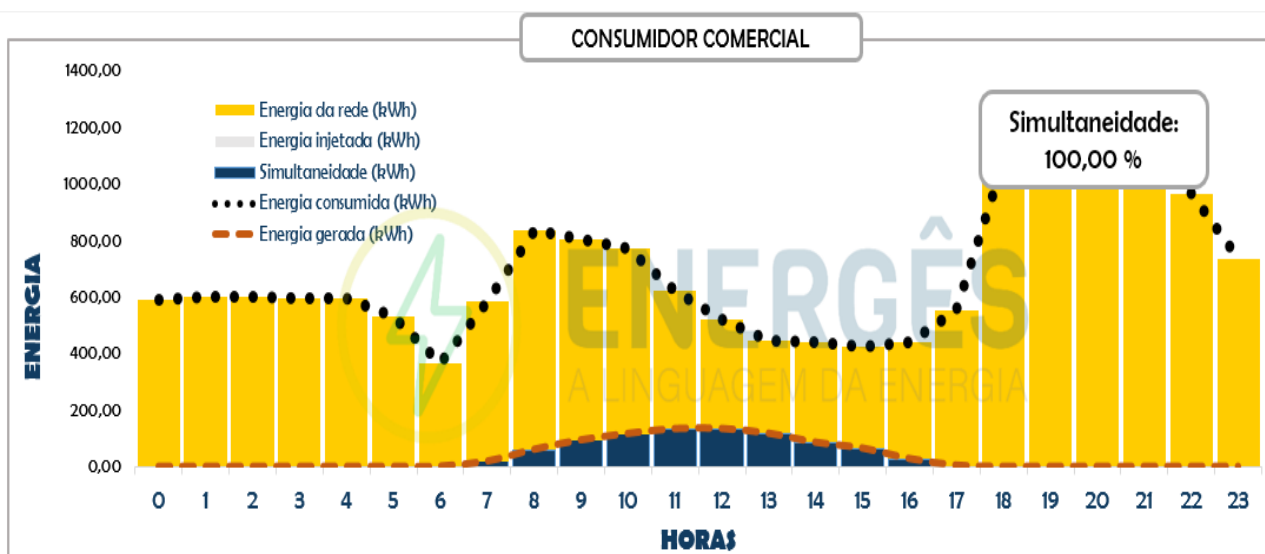
A UFV da Fatec-Campinas possui um índice elevado de simultaneidade, que se confirma pelo fato da potência instalada no sistema ser relativamente inferior ao consumo necessário, mesmo considerando a sazonalidade de baixo consumo, que ocorrem em meses de férias escolares ou no período de Quarentena da Covid-19, período compreendido entre Abril de 2020 à Dezembro de 2021, momento em que somente atividades de baixo consumo elétrico foram observadas (iluminação, alarmes, telefonia, portaria e outras).

Após solicitado à concessionária CPFL Paulista a planilha de memória de massa do mês de Agosto de 2022, realizou-se uma análise de consumo no horário de

geração de energia na UFV e constatou-se que em dias úteis, principalmente entre as 6:00 horas e às 17:30 horas, a média de consumo foi de somente 300 kWh.

No Gráfico 9, observa-se a simultaneidade da geração em relação ao consumo, a parte em azul representa a geração, a planilha usada para inserção das medições foi elaborada pela Comunidade Energês¹.

Gráfico 9 - Geração dos módulos no mês de outubro de 2022.



Fonte: Comunidade Energês adaptada pelos autores

¹ A Comunidade Energês é uma plataforma de ensino a distância, onde ministra aulas de energias renováveis e geração distribuída e regulação do setor elétrico brasileiro.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A presente análise, dentro das limitações técnicas e de acesso, trouxe à tona algumas boas observações, como segue:

- i- A eficiência de cada tecnologia de módulos manteve-se conforme documentado no manual do fabricante, o que gera dúvidas em relação a taxa de degradação das células e/ou ao método aqui utilizado para tal análise. Seria a verificação de geração total o melhor método perante as diferenças existentes entre cada módulo, sejam para maior ou menor geração, inerentes ao processo de fabricação, onde a média tende a se manter perante os picos e vales dos valores individuais? Ou seria o tipo de tecnologia do inversor, no caso MPPT, que normaliza os valores para o menor global, o que evita que tenhamos um cenário real nas medições do monitoramento?
- ii- A geração de energia entre os arranjos de tecnologias monocristalina e policristalina manteve uma similaridade na maior parte do tempo analisado, mesmo considerando a pequena diferença de maior potência instalada ($P_{\text{poli}} = P_{\text{mono}} + 0,26\text{kWp}$). Tal similaridade, considerando tecnologias e potências diferentes nos dois arranjos, traz algumas boas questões como:
 - Se módulos de tecnologia policristalina possuem uma menor perda de geração em ambientes de maior temperatura local, o uso destes em território brasileiro – ou até nos territórios com proximidade as zonas mais quentes – traz benefícios a ponto de reduzir o investimento em módulos de tecnologia monocristalina, notadamente mais caros?
 - Os módulos de tecnologia monocristalina, por conta de possuir maior perda de geração em ambientes com maior temperatura local, deveriam ser indicados para locais com menor temperatura média anual?
 - Tal baixa diferença de geração poderia ter ocorrido por conta do uso de inversores de geração já ultrapassada e/ou sem sobredimensionamento devidamente simulado para obter o máximo de geração?
- iii- A falta de manutenção efetiva, principalmente a limpeza dos módulos, gerou diversos *hotspot* e machas de sobreposição em vários módulos, culminando

em possível mudança de ângulo de incidência nas células fotovoltaicas e assim diminuindo a geração futura ou até riscos físicos trazido pelo aquecimento anormal da célula de uma linha do módulo (efeito resistivo, causando consumo da energia gerada e aumentando a temperatura do módulo).

- iv-** A falta de infraestrutura, assim como o fechamento das instalações da IE por conta de problemas de manutenção interna, impediu a limpeza do outro arranjo, o que impossibilitou que a análise fosse realizada comparando como cada tecnologia se comporta ao longo de um espaço de tempo controlado após a limpeza, tudo devidamente comparado com a célula suja de referência existente na estação solarimétrica local.
- v-** As medições da estação solarimétrica podem ser exploradas para análise mais precisa e com possibilidade de embasamento das observações anteriores.

Desta forma e pelo curto tempo disponível, adicionada a impossibilidade de limpeza total da planta, acrescentam-se algumas indicações para a utilização futura da UFV:

- a-** Realizar um planejamento de manutenção periódica: limpezas em períodos pré-fixados, inspeções eletromecânicas anuais e acompanhamento mensal da geração via *dashboard* de Power BI – inclusive a continuidade do desenvolvido neste projeto;
- b-** Indicar aos alunos ingressantes do curso de Gestão de Energia e Eficiência Energética a possibilidade de darem continuidade as análises de geração da UFV, tendo assim um período de análise mais longo e conseqüentemente com maior base de dados para uma análise mais precisa ao longo de um médio prazo - primeiros 8-10 anos de implantação da UFV;
- c-** Levantamento do projeto: verificação dos cálculos, execução e necessidade real: há indicações de que o projeto foi dimensionado e executado de forma incorreta. Como exemplo pode-se citar o aterramento simplório, a falta de proteção contra intempéries dos inversores e quadros elétricos, os cabos levemente desprotegidos, a existência de sinais de insetos dentro dos equipamentos, entre outros.

Estas ações tendem a promover uma maior vida-útil a UFV, além de garantir a segurança da planta e um melhor custo de manutenção ao longo dos anos.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABSOLAR, Associação Brasileira de energia solar fotovoltaica. Disponível em:

<<https://www.absolar.org.br/noticia/energia-solar-brasil-ultrapassa-marca-historica-de-16-gw>>. Acesso em 28/08/2022.

ANEEL, Agência Nacional de Energia Elétrica. Disponível em: <<https://www.gov.br/aneel/pt-br/assuntos/tarifas/entenda-a-tarifa/modalidades-tarifarias>>

AXITEC Fabricante de módulos solares. Disponível em: <https://www.axitecsolar.com/pt-br/solarmodule-von-axitec>. Acesso em 08/10/2022.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. Secretaria de Planejamento e Desenvolvimento Energético (SDE). Manual de Inventário Hidrelétrico de Bacias Hidrográficas. Brasília, 2007. 686 p.

COMUNIDADE ENERGÊS – Tudo sobre Simultaneidade de geração energia. Disponível em: <https://comunidade.energes.com.br/area/produto/item/674855>. Acesso 22/10/2022.

CRESESB – Centro de Referência para Energia Solar e Eólica. Disponível em: <http://www.cresesb.cepel.br/index.php#data>. Acesso em 10/10/2022.

DORNELAS, C., SAUAIA, R., KOLOSZUK R. - As tarifas de transmissão e o desenvolvimento da fonte solar. Disponível em :< <https://www.absolar.org.br/artigos/as-tarifas-de-transmissao-e-o-desenvolvimento-da-fonte-solar/>>. Acesso em 07 set. 2022.

GREENPRO 2004 – Energia Fotovoltaica- Manual sobre tecnologias, projeto e instalação. Disponível em: < <https://www.portal-energia.com/downloads/guia-tecnico-manual-energia-fotovoltaica.pdf>> Acesso em 12/10/2022.

IEA (2021), Solar PV, IEA, Paris Disponível em: <<https://www.iea.org/reports/solar-pv>>. Acesso em 17/09/2022.

HEIN, Henrique – Canal Solar proposta abertura mercado livre de energia. Disponível em: < <https://canalsolar.com.br/proposta-de-abertura-do-mercado-livre-avanca-para-abrangar-mais-consumidores/> >. Acesso 07/09/2022.

IEA (2021), Renewables 2021 Data Explorer, IEA, Paris. Disponível em: <<https://www.iea.org/data-and-statistics/data-tools/renewables-2021-data-explorer>>. Acesso em 17/09/2022.

LEI Nº 14.300, DE 6 DE JANEIRO DE 2022. Disponível em: <https://in.gov.br/en/web/dou/-/lei-n-14.300-de-6-de-janeiro-de-2022-372467821>. Acessado em: 18/09/2022.

ONS – Operador Nacional do Sistema Elétrico. Disponível em: <
<http://www.ons.org.br/Paginas/resultados-da-operacao/historico-da-operacao/geracao-fator-capacidade-medios-mensais.aspx>>. Acesso em 10/10/2022.

PINHO, J. T.; GALDINO, M. A. – Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos. Disponível em: <
http://www.cresesb.cepel.br/publicacoes/download/manual_de_engenharia_fv_2014.pdf> Acesso em 11/10/2022.

PORTAL SOLAR Disponível em :
<https://www.portalsolar.com.br/noticias/opiniao/opiniao-tecnologia/performance-ratio-em-usinas-fotovoltaicas-da-definicao-a-inovacao>>. Acesso em 11/10/2022.

REN21 – Renewables 2022 global status report. Disponível em: <
https://www.ren21.net/wp-content/uploads/2019/05/GSR2022_Full_Report.pdf>
Acesso em 11/10/2022.

VILALVA, Marcelo. Energia Solar Fotovoltaica. 2 ed. São Paulo: Érica, 2015.