

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO TECNOLÓGICO DE JOINVILLE
CURSO DE ENGENHARIA MECATRÔNICA

ALAN RAFAEL ROSA

ANÁLISE DA VIABILIDADE DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS APLICADO AO
CONTEXTO DO CAMPUS DA UFSC EM JOINVILLE

Joinville
2022

ALAN RAFAEL ROSA

ANÁLISE DA VIABILIDADE DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS APLICADO AO
CONTEXTO DO CAMPUS DA UFSC EM JOINVILLE

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecatrônica, no curso Engenharia Mecatrônica da Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico de Joinville.

Orientador: Prof. Dr. Milton
Evangelista de Oliveira Filho

Joinville
2022

RESUMO

O Brasil vem enfrentando repetidas crises climáticas que afetam diretamente a produção de energia hidroelétrica do país. Esse problema é refletido no alto custo da eletricidade. A utilização da energia fotovoltaica se mostra como uma alternativa viável para a diversificação da matriz energética brasileira. Essa tecnologia é, também, acessível para a geração própria em casas, empresas e outros estabelecimentos. A geração de energia fotovoltaica é uma fonte sustentável e acessível, podendo ser implementada em qualquer região do país, inclusive em área urbana. Instalações fotovoltaicas requerem pouco investimento em infraestrutura adicional, com instalação possível em espaços já construídos como telhados. É discutida uma análise dos custos e retorno financeiro de um sistema de geração de energia fotovoltaica conectado à rede de distribuição. O projeto utilizou como base, a demanda de energia do campus de Joinville da UFSC, para discutir a viabilidade econômica da geração própria de energia solar no estado de Santa Catarina, em uma instituição com demanda de eletricidade elevada. Esta pesquisa focou em levantar os custos e equipamentos necessários para a instalação do sistema fotovoltaico com o auxílio da empresa IG Energia Renovável de Jaraguá do Sul em SC. O sistema proposto possui potência de 511,5kWp e requer um investimento inicial de R\$ 1.954.948,76. A análise financeira aponta um retorno do investimento em cerca de 8 anos. O estudo mostrou que sistemas fotovoltaicos são um investimento rentável, de baixo risco e sustentável.

Palavras-chave: Energia Fotovoltaica. Painéis Fotovoltaicos. IG Energia Renovável. Retorno do Investimento.

ABSTRACT

Brazil has been facing repeated climate crises that directly affect the country's hydroelectric power production. This problem is reflected in the high cost of electricity. The use of photovoltaic energy is shown as a viable alternative for the diversification of the Brazilian energy matrix. This technology is also accessible to the self-generation in homes, businesses and other establishments. Photovoltaic energy generation is a sustainable and affordable source, and can be implemented in any region of the country, including urban areas. Photovoltaic installations require little investment in additional infrastructure, with installation possible in already built spaces such as roofs. An analysis of the costs and financial return of a photovoltaic power generation system connected to the distribution network is discussed. The project used as a basis the energy demand of the UFSC's Joinville campus to discuss the economic viability of self-generation of solar energy in the state of Santa Catarina in an institution with high electricity demand. This research focused on analyzing the costs and equipment necessary for the installation of the photovoltaic system with the help of the company IG Energia Renovável from Jaraguá do Sul in SC. The proposed system has a potential of 511.5kWp and requires an initial investment of R\$1,954,948.76. The financial analysis points to a return on investment in about 8 years. The study showed that photovoltaic systems are a profitable, low-risk and sustainable investment.

Keywords: Photovoltaics. Photovoltaic panels. IG Renewable Energy. Return on investment.

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais Ademir de Mattos Rosa e Lisbete Marina Belzer Rosa que me deram educação, apoio e valores para a minha formação pessoal e profissional.

Aos meus tios e avós pelo apoio durante a realização desse trabalho.

Ao meu orientador, Prof. Prof. Dr. Milton Evangelista de Oliveira Filho, que me conduziu nessa pesquisa e foi incansável em sua função, não medindo esforços para alcançar o objetivo desse trabalho.

À IG Energia Renovável, que me deu o suporte necessário para executar esse trabalho.

Ao engenheiro Alexandre Vieira, por fornecer dados e aconselhamento fundamentais para a pesquisa.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Radiação Solar	12
Figura 2 – Incidência dos Raios Solares	13
Figura 3 – Tipos de Radiação Solar	13
Figura 4 – Evolução da potência instalada (MW) até (31/07/2022)	19
Figura 5 – Matriz elétrica brasileira atualizada até (31/07/2022)	20
Figura 6 – Matriz elétrica brasileira atualizada até (31/07/2022)	21
Figura 7 – Processo de acesso da micro e minigeração distribuída	23
Figura 8 – Telha Solar Telite	26
Figura 9 – Módulos solares em funcionamento normal (a) e outro afetado por uma sombra (b)	27
Figura 10 – Curva característica do string	28
Figura 11 – Bloco das salas de aula	32
Figura 12 – Bloco do laboratório	33
Figura 13 – Consumo de energia em 2019	34
Figura 14 – Consumo de energia em 2020	34

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Leilões de geração solar no Brasil 2015	18
Tabela 2 – Instalações solares no Brasil 2017	18
Tabela 3 – Irradiação Solar ao Longo do Ano	35
Tabela 4 – Componentes da Proposta da IG	36
Tabela 5 – Correções da Tarifa de Energia	37
Tabela 6 – Energia Injetada na Rede de Distribuição	38
Tabela 7 – Retorno do Investimento	39

LISTA DE SIGLAS

ABNT Associação Brasileira de Normas Técnicas

ANEEL Agência Nacional de Energia Elétrica

CA Corrente Alternada

CC Corrente Contínua

CDI Certificado de Depósito Interbancário

CRESESB Centro de Referência para as Energias Solar e Eólica Sérgio de S. Brito

GD Geração Distribuída

ICMS Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Prestação de Serviços

IPCA Índice Nacional de Preços ao Consumidor Amplo

TIR Taxa Interna de Retorno

VPL Valor Presente Líquido

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	10
1.1	Objetivo Geral	10
1.2	Objetivos Específicos	11
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	12
2.1	Radiação Solar	12
2.1.1	Irradiância	12
2.1.2	Insolação	13
2.1.3	Tipos de Radiação Solar	13
2.2	Energia solar fotovoltaica	14
2.2.1	Sistemas isolados	15
2.2.2	Sistemas conectados à rede	15
2.3	Energia Solar no Brasil e no Mundo	17
2.3.1	Cenário Nacional do Uso de Sistemas Fotovoltaico	17
2.4	Normas e Recomendações para Sistemas Fotovoltaicos	21
2.4.1	Principais Normas Nacionais	21
2.4.2	Regulatório para a Conexão ao Sistema de Distribuição	22
2.5	Componentes de um Sistema de Geração Distribuída	24
2.5.1	Placa Fotovoltaica	24
2.5.1.1	Silício Monocristalino	24
2.5.1.2	Silício Policristalino	25
2.5.1.3	Filmes Finos	25
2.5.1.4	Telha Solar	25
2.5.2	Inversor	26
2.6	Efeitos do Sombreamento nos Módulos em Usinas Solares	26
2.7	Casos de Sucesso de Implantação da Energia Solar	28
3	DESENVOLVIMENTO	30
3.1	Indicadores de Viabilidade Econômica	30
3.2	Análise do terreno	31
3.3	Análise da demanda de energia	33
3.4	Análise da irradiação solar	35
3.5	Dimensionamento do sistema para a produção de 100% da demanda	35
3.6	Dimensionamento dos componentes	36
3.7	Economia anual gerada	37

4	CONCLUSÕES	40
	REFERÊNCIAS	42
	APÊNDICE A	45
	APÊNDICE B	47

1 INTRODUÇÃO

O aquecimento global vem causando escassez de água no Brasil, fazendo com que as hidroelétricas, a nossa principal fonte de energia elétrica, reduzam a sua capacidade de gerar energia. A solução adotada pelo país tem sido o uso de termoelétricas. Elas, contudo, contribuem para o aquecimento global e tem um custo elevado de funcionamento, causando um forte aumento no custo da energia. Uma alternativa mais econômica e menos poluente é necessária para resolver a crise nacional de energia, sem sacrificar o meio ambiente.

A energia solar fotovoltaica representa uma alternativa mais limpa para a geração de energia no país. Uma vantagem do Brasil é o seu alto índice de insolação, o que resulta em um grande potencial de geração de energia pelo sol.

Outra vantagem da energia solar fotovoltaica é poder ser implementada em grandes quantidades de unidades com baixo potencial de geração e conectadas diretamente na rede de distribuição de energia elétrica. É importante observar, também, que uma planta de geração de energia fotovoltaica pode ser instalada dentro de uma zona urbana, conectada diretamente a uma unidade consumidora. O espaço para a instalação dos módulos de geração de energia não é um problema, pois é possível instalá-los nos telhados de residências, prédios e galpões, sem causar inconveniências para quem frequenta esses espaços.

No Brasil, conforme definição da ANEEL, quando uma unidade consumidora fornece mais energia para a rede do que consome, esta diferença não é compensada financeiramente pela concessionária de energia. Isso faz com que não seja interessante implementar um sistema fotovoltaico com maior capacidade de geração, além do consumo local. Estabelecimentos com alta demanda de eletricidade, contudo, se beneficiariam pelo uso de plantas de geração de energia de maior capacidade para atender seu consumo, mesmo que parcialmente.

1.1 Objetivo Geral

O objetivo geral desse trabalho é fazer um estudo da viabilidade econômica da instalação de um sistema de geração de energia fotovoltaica para atender a demanda de eletricidade do campus de Joinville da UFSC. O estudo servirá como base para a análise do retorno financeiro trazido pela economia de energia resultante.

1.2 Objetivos Específicos

Os objetivos específicos desse trabalhos são:

1. Identificar os benefícios da utilização da energia solar no campus da UFSC de Joinville;
2. Levantar os custos da implementação de um sistema de geração fotovoltaica no campus de Joinville da Universidade Federal de Santa Catarina.
3. Estimar a taxa de retorno do investimento e tempo necessário para o sistema compensar o próprio custo.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Radiação Solar

Radiação Solar é o efeito da propagação de energia do sol que é transportada para nosso planeta através de ondas eletromagnéticas, como ilustrado na Figura 1. As ondas eletromagnéticas transmitidas pelo sol produzem efeitos diversos sobre os seres vivos e objetos existentes na terra. Sua unidade de medida mais usada é o $W.h/m^2$ (VILLALVA; GAZOLI, 2012).

Figura 1 – Radiação Solar



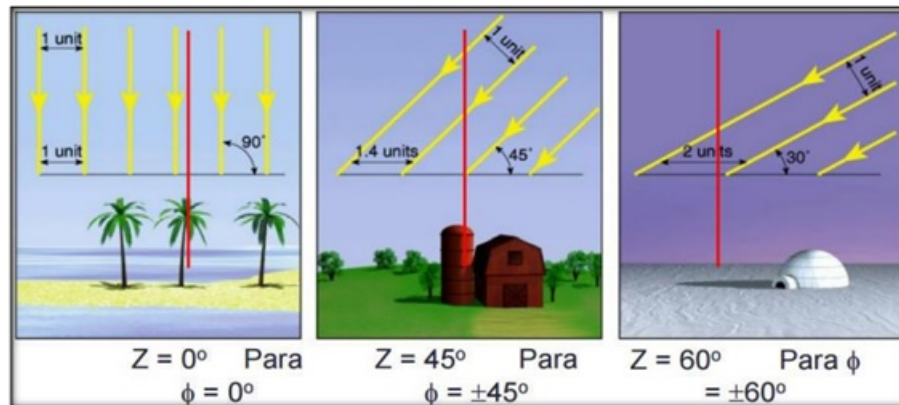
Fonte: Bocafoli (2017)

2.1.1 Irradiância

Irradiância é a medida de potência por metro quadrado, ou seja, uma densidade de potência. É expressa em W/m^2 (watt por metro quadrado) (VILLALVA; GAZOLI, 2012).

A irradiância solar varia de acordo com o ângulo de incidência dos raios solares (GALVANI, 2014). O ângulo formado entre os raios solares e a linha perpendicular ao plano terrestre é chamado de ângulo zenital (Z) e quanto maior for o ângulo Z, menor será a irradiância sobre a superfície da terra (CRESESB; CEPEL, 2014b). A Figura 2 ilustra a incidência dos raios solares na superfície do planeta para diferentes ângulos de inclinação. Esse ângulo também define o parâmetro conhecido como AM (Air Mass) que é a razão da unidade e o cosseno do ângulo Z.

Figura 2 – Incidência dos Raios Solares



Fonte: Galvani (2014)

De acordo com Villalva e Gazoli (2012); “Na superfície terrestre, a irradiância da luz solar é tipicamente 1000 W/m^2 , nas condições de temperatura de 25°C , $AM=1,5$ no solstício de verão. No espaço extraterrestre, na distância média entre o Sol e a Terra, a irradiância é de 1353 W/m^2 ”.

2.1.2 Insolação

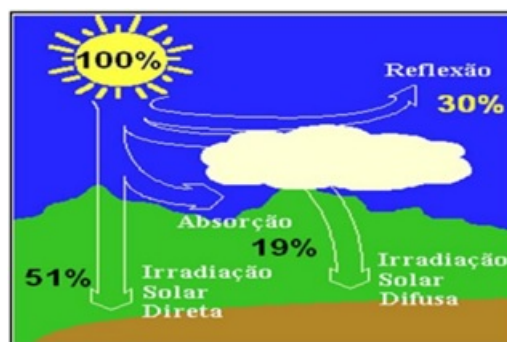
Segundo Villalva e Gazoli (2012), a insolação é a medida de energia solar que incide sobre uma determinada área de superfície plana ao longo de um período de tempo, normalmente de um dia e com a unidade $\text{Wh/m}^2/\text{dia}$ (watt hora por metro quadrado por dia).

2.1.3 Tipos de Radiação Solar

Segundo Villalva e Gazoli (2012), a radiação do sol vinda do espaço sofre a influência de diversos obstáculos antes de incidir sobre a superfície da terra, entre esses obstáculos estão o ar atmosférico, as nuvens, a poluição do ar, e outros.

A Figura 3 mostra os efeitos dos obstáculos no caminho do sol e a superfície da terra.

Figura 3 – Tipos de Radiação Solar



Fonte: Cresesb e Cepel (2014)

Os tipos de irradiação solar que incidem sobre a superfície da terra são (VILLALVA; GAZOLI, 2012):

- a) Irradiação solar Direta: é a fração da radiação solar que atravessa a atmosfera (sem interagir) e atinge a superfície;
- b) Irradiação solar Difusa: é a fração da radiação solar que atravessa a atmosfera sendo difundida pelos constituintes atmosféricos (altera a direção);
- c) Irradiação solar Global: é a somatória da radiação solar direta mais a difusa;
- d) Radiação solar Refletida: é a fração da radiação global que não chega à superfície devido a sua reflexão para o espaço.

Os valores instantâneos da irradiância solar global na superfície sofrem grandes variações temporais e espaciais em função de umidade e nebulosidade, ou outros fatores climáticos, e também da época do ano e hora do dia, pois ocorre variação da camada da atmosfera a ser atravessada pela radiação solar (GALVANI, 2014).

2.2 Energia solar fotovoltaica

Diversos fatores fizeram com que o sistema de geração de energia elétrica tradicional não conseguisse suprir toda a demanda necessária. O desenvolvimento do setor industrial, a alta demanda por equipamentos eletroeletrônicos e a necessidade da mudança da matriz energética, devido a questões ambientais e econômicas aumentaram de forma vertiginosa o consumo de energia elétrica nas últimas décadas (MIRANDA, 2003). Esta crescente demanda trouxe uma nova busca, a geração de energia a partir de fonte solar. Esta tecnologia teve início em meados do século XIX. Em 1839, Edmond Becquerel, descobriu um fenômeno que ficou conhecido como o efeito fotovoltaico. O efeito fotovoltaico é a conversão da radiação solar em energia elétrica. A célula fotovoltaica é composta basicamente por uma junção p-n. Esta ao ser submetida à luz solar gera uma corrente elétrica (IMHOFF, 2007). Edmond Becquerel observou em um de seus experimentos uma diferença de potencial entre os terminais de um semicondutor mergulhado em uma solução de selênio, quando submetida a incidência de luz. Adams e Richard Day, em 1877, estudaram e desenvolveram uma estrutura semicondutora de selênio, o qual foi o primeiro dispositivo sólido a gerar eletricidade por exposição a luz, com uma eficiência de aproximadamente 0,5% (VALLÊRA, 2006).

Em 1883, Charles Fritts construiu a primeira bateria solar feita a partir de folhas de selênio. Embora a eficiência de conversão elétrica de seu dispositivo foi de apenas 1%, o mesmo teve muita repercussão, pois desenvolveu-se, a partir daí uma nova forma viável de gerar energia elétrica sem a queima de combustíveis fósseis (MACHADO; MIRANDA, 2015). Apenas 70 anos após o experimento dos americanos W. G. Adams e R. E. Day, a primeira célula solar foi criada. Em 1953 o químico Calvin Fuller da Bell Laboratories, localizado nos Estados Unidos, realizou um processo de dopagem de um

semicondutor, inserindo impurezas, tal como o gálio, em cristais de silício, tornando o material com cargas positivas, camada “tipo p”. Em seguida no mesmo laboratório, o físico Gerald Pearson, utilizou-se de uma solução quente de lítio, na qual o material de silício dopado foi mergulhado, observou-se uma cama de elétrons livres na superfície do semicondutor de silício, criando uma camada “tipo n”. Na junção desses dois tipos de camada, surge uma diferença de potencial, quando exposta a luz (VALLÊRA, 2006).

É importante mencionar que a célula fotovoltaica não armazena energia elétrica, ela apenas mantém um fluxo de elétrons num circuito elétrico enquanto houver incidência de luz sobre a sua superfície (NASCIMENTO, 2017).

A Terra recebe uma gigantesca radiação do sol com aproximadamente $1,5 \times 10^{18}$ kWh em um ano (PETRIN, 2015). Para aproveitar este vasto potencial, faz-se necessário conhecer a forma e intensidade com que incide a radiação solar nos diferentes locais do planeta. Este conhecimento definirá qual o equipamento mais adequado e definirá a viabilidade econômica no local escolhido.

Entre os equipamentos existentes, podemos citar basicamente três sistemas: 1) sistema isolado, que não depende de uma rede de apoio; 2) sistema conectado a rede, que depende de uma rede de apoio, que se supre dessa rede quando não há geração solar e devolve a rede o excesso de energia que não é consumida pelo sistema; 3) sistema híbrido, que se supre da energia da rede quando há energia da geração solar e, controla a geração em função da demanda, não devolvendo o excedente à rede.

2.2.1 Sistemas isolados

Vantagens:

1. Pode ser utilizado em regiões remotas por ser independente da rede de distribuição de energia pública.
2. Não há necessidade de pagar conta de energia.
3. Possui sistema de armazenamento de energia.

Desvantagens:

1. Necessita de baterias e controladores de carga.
2. Custo mais elevado do que o sistema On-grid.
3. Menos eficiente do que o sistema On-grid.

2.2.2 Sistemas conectados à rede

Vantagens:

1. Dispensa o uso de baterias e controladores de carga.
2. Possibilita ao consumidor receber crédito de energia da concessionária da rede pública.

3. Os créditos podem ser utilizados em outras unidades consumidoras do mesmo proprietário.
4. Sistema mais eficiente que o Off-grid.

Desvantagens:

1. Necessidade de acesso à rede de distribuição de energia.
2. Não há sistema independente para armazenar a energia.
3. Necessidade de pagar a energia quando o consumo for maior que a geração.
4. Por questões de segurança, desligamento automático do sistema quando houver interrupção da energia da rede.

Fonte: Adaptado de (VILLALVA; GAZOLI, 2012).

Segundo (SILVA, 2014), existem pontos positivos e negativos na implantação de sistemas fotovoltaicos em relação aos sistemas convencionais de geração de energia elétrica. Como pontos positivos temos:

1. Durabilidade, possui vida útil de aproximadamente 25 anos;
2. Confiabilidade na geração de energia, diminuindo as falhas por interrupções de energia;
3. Baixos níveis de poluição sonora;
4. Baixo custo operacional e de manutenção;
5. Possibilidade de autossuficiência de energia elétrica.
6. Zero emissão de gases poluentes.

Os pontos negativos a serem considerados são:

1. Valor de investimento alto;
2. Dependendo da região onde será instalada o sistema de geração de energia solar, pode-se encontrar a carência de técnicos especializados em implantação e manutenção do sistema fotovoltaico;
3. Geração de energia elétrica apenas durante o dia;
4. Tecnologia dos módulos fotovoltaicos ainda apresentam uma baixa eficiência de conversão da irradiação solar em energia elétrica;
5. Poluição ambiental devido ao descarte dos módulos fotovoltaicos e componentes.

Com relação ao sistema de distribuição, podemos citar a geração a partir de sistemas solares fotovoltaicos sendo dividida em três grupos: a) geração centralizada, b) geração isolada e c) geração distribuída. A geração centralizada é caracterizada pela produção de energia a partir de fonte solar em larga escala e é disponibilizada no sistema elétrico através de linhas de transmissão. A geração isolada é definida quando há uma geração local de energia e serve para abastecimento em locais remotos. Na geração distribuída, o sistema está conectado à rede pública de distribuição, junto à uma unidade consumidora, disponibilizando a energia gerada em excedente à rede. A geração distribuída ainda é dividida em micro e minigeração. Micro e minigeração

são definidos a partir dos seguintes critérios: até 75 kW é considerado microgeração e acima de 75kW até 5 MW será considerado minigeração, com uma observação para geração hídrica, que é considerada minigeração até 3 MW (CELESC, 2020).

2.3 Energia Solar no Brasil e no Mundo

Entre os líderes mundiais de capacidade instalada de energia solar, a China está em primeiro lugar com produção de 204 gigawatts (GW), em segundo lugar os Estados Unidos com 76 gigawatts (GW), terceiro lugar Japão 63 gigawatts (GW) e a quarto lugar Alemanha com 49 gigawatts (GW) (REN. . . , 2020). O Brasil ocupa a 16ª posição com 6 gigawatts (GW) de capacidade instalada de energia solar fotovoltaica, dividida em 2,9 gigawatts (GW) de geração centralizada e 3,1 gigawatts (GW) de geração distribuída (ABSOLAR, 2020).

Mesmo que muitos países estejam a frente do Brasil na produção de energia a partir de fonte solar, de forma geral, a geração de energia solar fotovoltaica ainda é muito pouco aproveitada no mundo, apenas 1,9% da eletricidade consumida mundialmente é advinda da geração solar. Contudo, a capacidade de geração de energia solar vem aumentando gradativamente nos últimos anos (REN. . . , 2020).

O Brasil possui um grande potencial para a geração de energia elétrica através da utilização da irradiação solar por estar localizado próximo a linha do Equador. A posição geográfica do país proporciona condições extremamente favoráveis para o aproveitamento de fontes renováveis de energia. No entanto, países como a Alemanha, onde a irradiação solar é menor que no Brasil, é recordista em investimentos direcionados a energia fotovoltaica, buscando uma dependência cada vez menor por fontes não renováveis de geração de energia (FOUQUET, 2013).

No Brasil, possuímos altos níveis de radiação, sendo que variam de 3500 kWh/m² a 6250 kWh/m². A Alemanha, um dos países que mais investe em energia solar na Europa, possui incidência 40% menor quando comparado com a maioria das regiões do Brasil (RÜTHER, 2010). O desenvolvimento expressivo em energia solar fotovoltaica na Alemanha foi uma decisão estratégica do país em inserir essa fonte de energia renovável em sua matriz energética, fazendo com que a dependência de energia elétrica de fontes como da energia nuclear fosse reduzida (NASCIMENTO, 2017). Portanto, devido ao grande potencial do Brasil, o sucesso do emprego da energia solar como fonte energética é um bom exemplo a ser seguido por nós.

2.3.1 Cenário Nacional do Uso de Sistemas Fotovoltaico

Em 2014, houve a primeira contratação de energia solar de geração pública centralizada, de 890 MW. Como apresentado na Tabela 1, em 2015, foram realizados dois leilões, totalizando 2.653 MW contratados, com início de suprimento em 2017 e

2018. Os leilões foram realizados com o objetivo de promover o uso e o desenvolvimento da indústria solar no Brasil (MME, 2017).

Tabela 1 – Leilões de geração solar no Brasil 2015

Mês/Ano	Projetos Contratados	Capacidade Instalada (MW)	Energia Contratada (MWe)	Início do Suprimento	Período contratado (Anos)
10/2014	31	890	202	2017	21
08/2015	30	834	232	2017	21
11/2015	33	929	245	2018	21
Total	94	2653	679		

Fonte: Adaptado de MME (2017)

De acordo com publicação do Ministério de Minas e Energia (MME, 2017), em 09/10/2017 o Brasil tinha 438,3 MW de potência instalada de geração solar, correspondente a 15,7 mil instalações. Comparando com a previsão da ABSOLAR, isso representa um crescimento 228% maior que a capacidade atual e colocaria o Brasil entre os 30 principais geradores de energia solar fotovoltaica do mundo e, provavelmente, entre os cinco primeiros em potência anual instalada até 2030. A Tabela 2 apresenta o número de instalações solares e a potência instalada ou outorgada na ANEEL até 09/10/2017.

Tabela 2 – Instalações solares no Brasil 2017

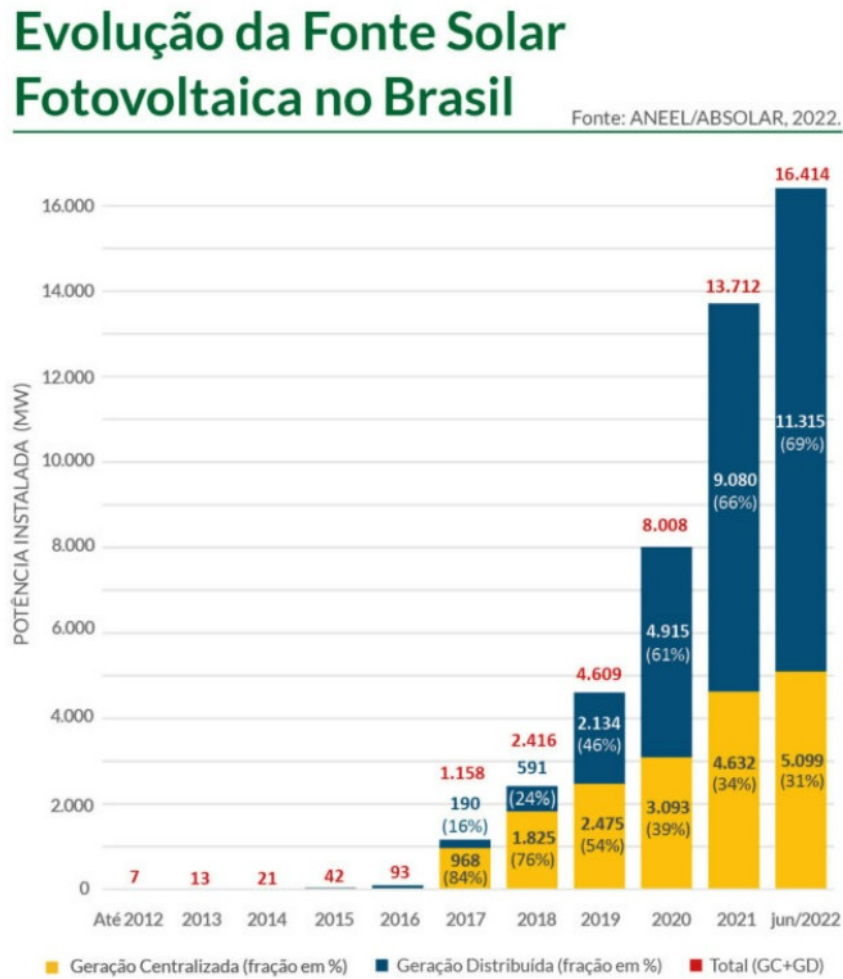
Tipo de Registro ANEEL	MW			Número de Instalações		
	2015	2016*	2017**	2015	2016*	2017**
Outorga e Registro na ANEEL	21,2	23	311,7	24	42	60
Distribuída (Telhado)***	10,8	61,7	126,6	1250	7811	15609
Total	32	84,7	438,3	1274	7853	15669
*Dados de 30/12/2016	**Dados de 09/10/2017		***Informações das Distribuidoras			

Fonte: Adaptado de MME (2017)

A Figura 4 apresenta a evolução da potência instalada desde 2012, mostrando o forte crescimento a partir de 2016, com aumento extremamente significativo em relação a 2015. O grande motivador desse crescimento foi a Resolução normativa 687/2015. Essa resolução trouxe diversas mudanças, entre as quais estão incluídas (ANEEL, 2015):

- Padronização dos formulários de solicitação,
- Prazo legal para a resposta à solicitação de acesso foi definido em 60 dias,
- Detalhamento da fatura de energia para acompanhar a compensação de créditos.
- Aumento do tempo de validade dos créditos de energia de 36 meses para 60 meses.

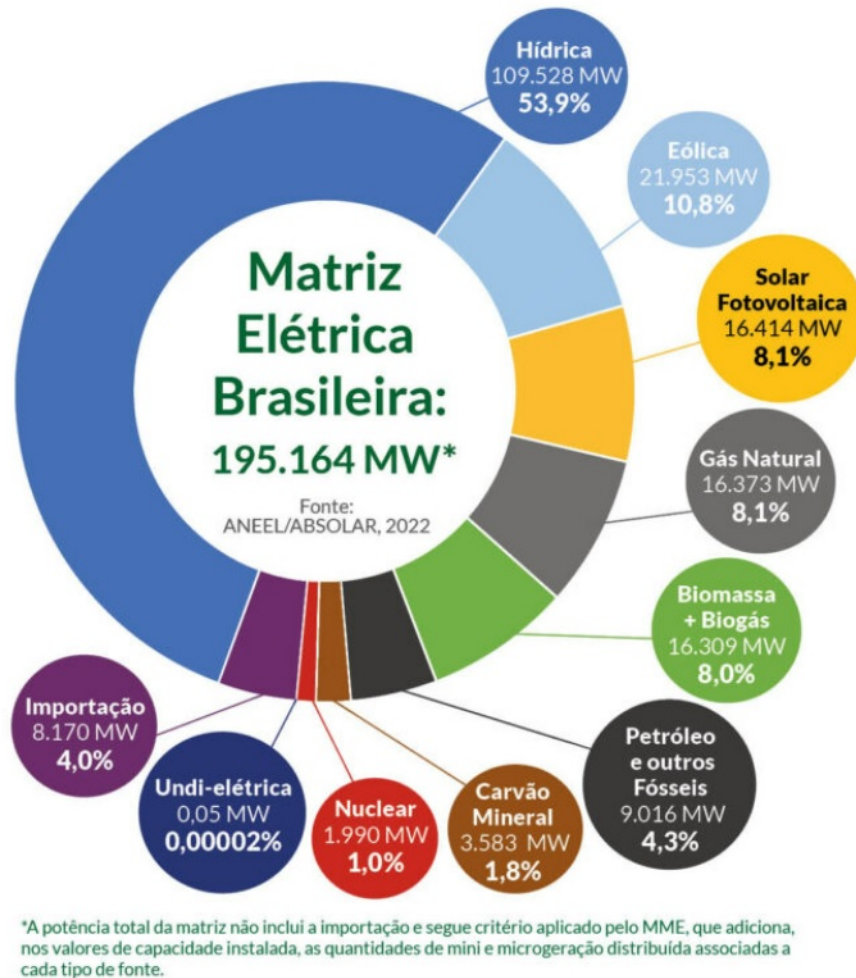
Figura 4 – Evolução da potência instalada (MW) até (31/07/2022)



Fonte: Infográfico Absolar (2022)

A geração de energia fotovoltaica tem ganhado muita força nos últimos anos, e atualmente corresponde a 8,1% da matriz energética nacional. Por essa razão é possível observar na Figura 5 que a energia produzida por sistemas fotovoltaicos já está em um nível comparável a outras fontes como a eólica e o gás natural (ABSOLAR, 2022).

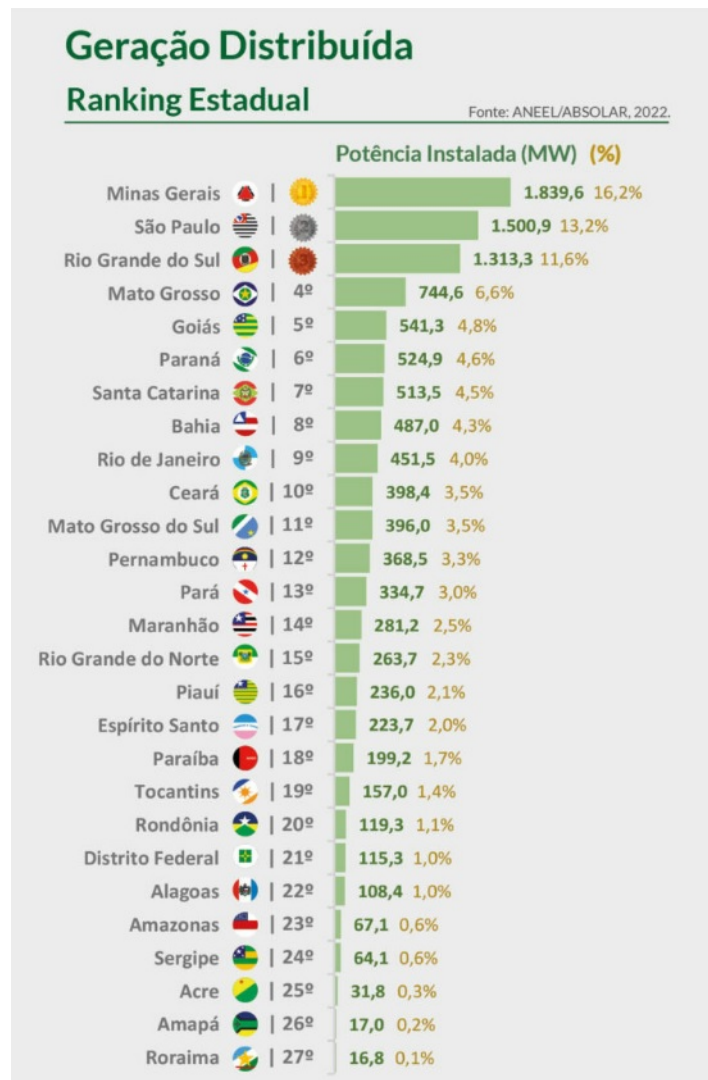
Figura 5 – Matriz elétrica brasileira atualizada até (31/07/2022)



Fonte: Infográfico Absolar (2022)

Conforme pode ser observado na Figura 6, o estado de Santa Catarina é o sétimo colocado no ranking de geração distribuída, mostrando que existe um forte interesse no mercado pelo uso da geração própria de energia solar mesmo que a região não possua os melhores níveis de insolação do país.

Figura 6 – Matriz elétrica brasileira atualizada até (31/07/2022)



Fonte: Infográfico Absolar (2022)

2.4 Normas e Recomendações para Sistemas Fotovoltaicos

Para instalação de sistemas fotovoltaicos, é importante seguir as normas e recomendações técnicas relacionadas ao processo de instalação (CRESESB; CEPEL, 2014b). Seguem abaixo algumas das principais normas e recomendações técnicas nacionais acerca dos sistemas de energia fotovoltaica.

2.4.1 Principais Normas Nacionais

1. NR-10: Segurança em Instalações e Serviços em Eletricidade.
2. RN 482/2012: Estabelece os procedimentos gerais para a conexão à rede de mini e microgeradores.
3. PRODIST Módulo-3: Acesso ao sistema de distribuição.
4. NR-35: Trabalho em altura.

5. ABNT NBR 5410:2004: Instalações elétricas de baixa tensão.
6. ABNT NBR 5419-3: 2015: Proteção contra descargas atmosféricas.
7. ABNT NBR/ IEC60.529: 2005: Graus de proteção para invólucros de equipamentos elétricos (código IP).
8. ABNT NBR 16.149: 2013: Sistemas fotovoltaicos (FV) – Características da interface de conexão com a rede elétrica de distribuição.
9. ABNT NBR 16.150: 2013: Sistemas fotovoltaicos (FV) – Características da interface de conexão com a rede elétrica de distribuição – Procedimento de ensaio de conformidade.
10. NBR/IEC 62116: 2012: Procedimento de ensaio de anti-ilhamento para inversores de sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica.
11. NBR 16.274/ 2014: Sistemas fotovoltaicos conectados à rede – Requisitos mínimos para documentação, ensaios de comissionamento, inspeção e avaliação de desempenho.
12. ABNT Portaria 004/ 20122: Requisitos de avaliação de conformidade para sistemas e equipamentos para energia fotovoltaica (Módulo, Controlador de carga, Inversor e Bateria).
13. NBR 14565: Procedimento básico para elaboração de projetos de cabeamento de telecomunicações para rede interna estruturada.
14. Normas da Concessionária de Energia - CELESC9: Normativa-GD-Revisao-03-2016 e outras

Fonte: Adaptado de (CRESESB; CEPEL, 2014a).

2.4.2 Regulatório para a Conexão ao Sistema de Distribuição

Para a conexão do sistema fotovoltaico à rede de distribuição, existe algumas normas da distribuidora de energia elétrica da região onde se planeja realizar o projeto. Pode-se citar como exemplo algumas normas de referência, como:

1. Resolução Normativa n° 414 de 9 de setembro de 2010, elaborada pela ANEEL;
2. Resolução Normativa n° 482 de 17 de abril de 2012, elaborada pela ANEEL;
3. PRODIST – Procedimento de Distribuição de Energia Elétrica, elaborado pela ANEEL;
4. Normativa I-432.0004 da distribuidora Celesc.

É importante ressaltar que antes de qualquer implantação de um Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede - SFCR, é necessário obter a autorização da distribuidora, a qual irá emitir o parecer de acesso. O parecer de acesso descreverá se o sistema, ao qual a unidade consumidora deseja se conectar, terá que passar por obras, reforço na linha de distribuição local ou até mesmo a troca de algum transformador, ou não precisará passar por obras.

A Celesc exige uma solicitação de acesso realizada por responsável técnico habilitado. Este, deverá preencher os formulários de solicitação de acesso diretamente no sistema PEP da Celesc. No sistema PEP existem duas solicitações específicas para a potência instalada do sistema gerador.

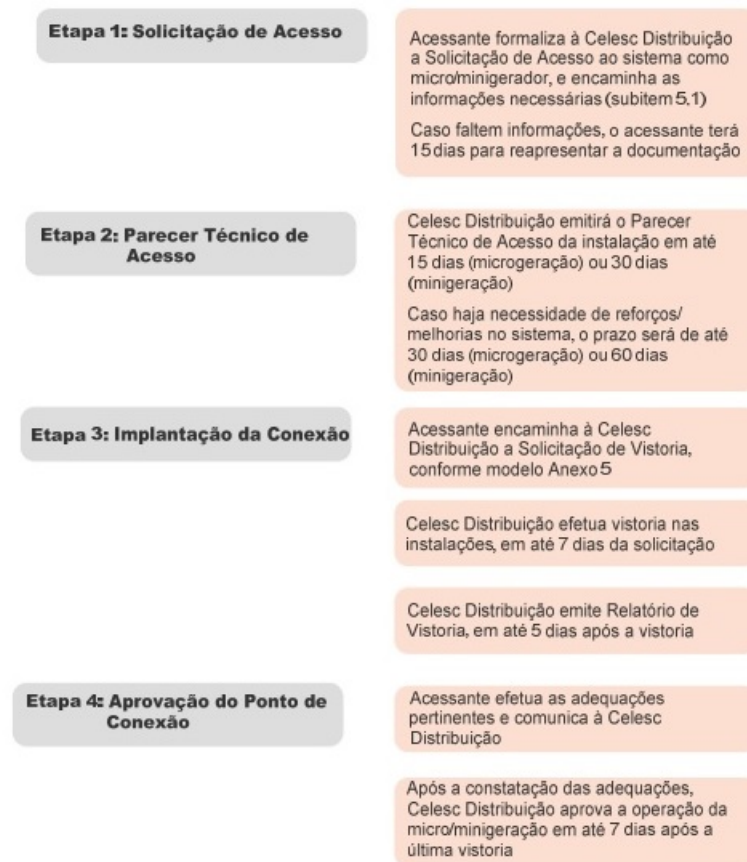
- Microgeração - GD Solicitação de Acesso Microgeração
- Minigeração - GD Solicitação de Acesso Minigeração

Os documentos necessários para a solicitação estão descritos na normativa I-432.0004. Eles incluem:

- Formulário de solicitação de acesso;
- Documento de responsabilidade técnica;
- Diagrama unifilar simplificado mostrando a conexão da central geradora e sistema de proteção;
- Documento memorial que descreva e justifique as soluções técnicas, decisões e metodologias de cálculo adotadas pelo projetista;
- Certificado de conformidade dos inversores.

Na Figura 7 estão descritas as etapas da solicitação de acesso.

Figura 7 – Processo de acesso da micro e minigeração distribuída



Fonte: REQUISITOS PARA A CONEXÃO DE MICRO OU MINIGERADORES DE ENERGIA AO SISTEMA ELÉTRICO DA CELESC DISTRIBUIÇÃO 2020

2.5 Componentes de um Sistema de Geração Distribuída

A geração distribuída não possui atualmente uma definição única e precisa. Isso pode ser explicado pelo pouco uso dessa modalidade de geração nos últimos anos. Uma forma de definir a geração distribuída é como uma forma oposta à geração centralizada, em que a energia é produzida em grandes usinas afastadas das unidades consumidoras (ZILLES et al., 2012).

2.5.1 Placa Fotovoltaica

Uma célula fotovoltaica é composta por uma camada de material semicondutor P, uma camada de material semicondutor N, uma grade de coletor metálico na parte superior e uma base metálica na parte inferior. A incidência da luz solar na célula força a migração dos elétrons da camada N para a camada P, resultando no surgimento de uma corrente elétrica. A grade e a base, são terminais elétricos que fazem a coleta da corrente elétrica produzida pela ação da luz (VILLALVA, 2015).

Agrupamentos de células conectadas eletricamente formarão os painéis ou módulos fotovoltaicos. Uma tensão de cerca de 0,6V pode ser produzida por uma célula fotovoltaica, sendo que para produção de tensões maiores, é necessário conectar várias células em série. Normalmente, uma placa fotovoltaica possui 36, 54, 60 ou mais células, dependendo da tensão ou potência que se quer atingir (VILLALVA, 2015).

Comumente encontramos no mercado tecnologias de células fotovoltaicas que são, a do silício monocristalino, a do silício policristalino e a do filme fino de silício (VILLALVA, 2015).

2.5.1.1 Silício Monocristalino

Células de silício monocristalino são produzidas a partir de lingotes com estrutura cristalina única e organização molecular homogênea. Esses lingotes são serrados e fatiados em *wafers*. As camadas de silício P e N são formadas pelos *wafers* após serem submetidos a processos químicos nos quais recebem impurezas em ambas as faces (VILLALVA, 2015).

As células de silício monocristalino são células rígidas e quebradiças, que precisam ser montadas em módulos para adquirir resistência mecânica para uso prático. Essa é a tecnologia com produção em larga escala com maior eficiência (VILLALVA, 2015). Um modelo presente no mercado é o EMSB-535M HC da Intelbras. Os seus módulos possuem eficiência de até 20,7%.

2.5.1.2 Silício Policristalino

As células solares policristalinas são feitas de cristais de silício, no entanto, o cristal de silício é proveniente de um único lingote que se esfria e se fragmenta por conta própria. Esse lingote é formado por um aglomerado de pequenos cristais com tamanho e orientações diferentes. O processo de produção do lingote descrito é menos exigente do que com as células monocristalinas, o que deixa a fabricação das células policristalinas com um custo mais acessível (BOTTEON, 2021). Um exemplo de painel policristalino é a empresa Globo Brasil, comercializadora do GBR 270p, que apresenta eficiência de 16,33%.

2.5.1.3 Filmes Finos

Células de filmes finos são fabricadas através da deposição de finas camadas de materiais (silício e outros) sobre uma base que pode ser rígida ou flexível. Estes dispositivos são formados pela deposição de pequenas quantidades de matérias primas através de, por exemplo, vaporização que evita desperdício e, conseqüentemente menor custo dessa tecnologia. No entanto, estes dispositivos têm eficiência menor que os dispositivos cristalinos e necessitam de maior área de módulos para produzir a mesma energia que produzem as tecnologias cristalinas (VILLALVA, 2015).

Mesmo estes dispositivos de filmes finos permitem melhor aproveitamento da luz solar para baixos níveis de radiação e para radiações do tipo difusa. A diminuição da produção de energia com o aumento da temperatura das células de filmes finos é menor do que a verificada com outras tecnologias, sendo, então, mais adequados para locais com temperaturas mais elevadas. Outra vantagem dos módulos de filmes finos é o fato de serem formadas células mais longas, menos sensíveis ao sombreamento parcial (quando parte da célula tem a luz obstruída por um obstáculo qualquer). Tem-se, contudo, observado a degradação muito acentuada quando os módulos de filmes finos quando não são corretamente aterrados (VILLALVA, 2015). Os painéis de filmes finos da linha First Solar Series 6 apresentam eficiência entre 17,4% e 18,6%.

2.5.1.4 Telha Solar

A Eternit iniciou em 2021 a comercialização de telhas solares com o nome *Tégula Solar*. O produto consiste em uma telha de concreto com células fotovoltaicas incorporadas. Cada telha possui potência de 9,16W e vida útil de 20 anos. O produto foi vendido apenas a clientes seletos nas proximidades do centro de produção em Atibaia, São Paulo (DANTAS,).

A empresa Telite do interior do Rio de Janeiro desenvolveu uma telha solar de grafeno. O produto apresenta vida útil de 80 anos e 4 telhas são capazes de produzir 30kW (MEDEIROS, b).

Figura 8 – Telha Solar Telite



Fonte: Medeiros

2.5.2 Inversor

O inversor solar é o equipamento que converte a energia gerada pelos painéis solares de corrente contínua (CC) em corrente alternada (CA), possibilitando o uso comercial da energia elétrica gerada pela energia solar fotovoltaica. O inversor solar grid-tie (ou inversor on-grid) é o sistema mais utilizado no mundo, sendo o inversor usado para conectar um sistema fotovoltaico on-grid à rede elétrica, o qual é projetado para se desligar rapidamente da rede caso ela venha a cair. Ele abastece os equipamentos a ele conectados e quando há excedente de energia ele a injeta na rede. O inversor trifásico SIW500H da empresa Weg é destinado a sistemas on-grid e possui potência nominal de 100kW.

O inversor solar off grid foi desenvolvido para sistemas fotovoltaicos desconectados da rede elétrica, ou seja, sistemas que usam baterias e estão, normalmente, em regiões onde não se tem acesso à rede elétrica. Ele carrega as baterias quando não há consumo pelos equipamentos ligados a ele para ser utilizada quando não há incidência solar.

Os inversores off grid convertem a corrente contínua (CC) a 12, 24 ou 48 Volts para a corrente alternada (CA) e, no Brasil, devem ter uma tensão de 110/220 V e 60 Hz para fornecer energia a eletrônicos e eletrodomésticos convencionais (SOLAR,).

2.6 Efeitos do Sombreamento nos Módulos em Usinas Solares

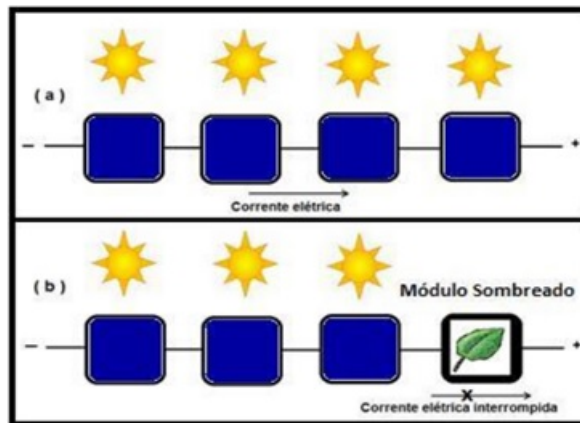
Existe um grande problema quando os módulos fotovoltaicos são submetidos a sombras no período de produção de energia, principalmente quando os painéis solares são conectados em série e são de silício que não possuem diodos em paralelo com as células, conforme é explicado no decorrer desse item. É por isso que, de acordo com Villalva e Gazoli (2012), a localização e instalação dos módulos fotovoltaicos devem ser

cuidadosamente observadas, de modo que, não haja sombra sobre a sua superfície, sob a pena da produção de energia ser seriamente comprometida.

O sombreamento pode ser causado por diversos obstáculos, como prédios, árvores, acúmulo de sujeira, até mesmo pelos outros módulos instalados na própria usina, ou qualquer outro meio que comprometa a passagem da luz às células fotovoltaicas. Vale ressaltar que, existem configurações onde apenas o painel comprometido pela sombra ou sujeira é afetado, e o restante do sistema continua operando normalmente.

A Figura 9 compara o efeito de um sistema em funcionamento normal (a) e outro afetado por uma sombra (b).

Figura 9 – Módulos solares em funcionamento normal (a) e outro afetado por uma sombra (b)

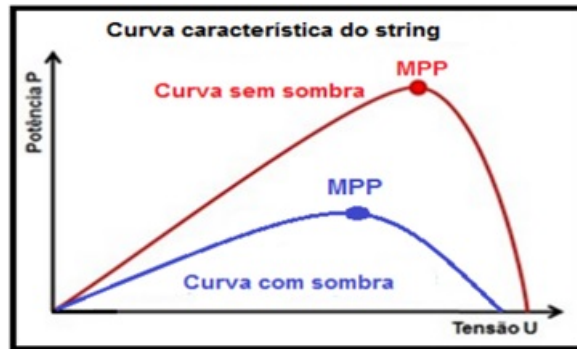


Fonte: Adaptado de Villalva e Gazoli (2012)

A Figura 9 (a) apresenta vários módulos conectados em série representando um string de um sistema fotovoltaico, que neste caso, recebem a mesma quantidade de luz, e a corrente elétrica flui normalmente pelos seus terminais. Já na Figura 9 (b) que também apresenta ligação em série, o módulo que está obstruído pela sombra, acaba limitando a circulação de corrente nos demais módulos, causando a interrupção total ou parcial da corrente elétrica no sistema (VILLALVA; GAZOLI, 2012). Para minimizar este problema, os fabricantes adicionam diodos de passagem ligados em paralelo com as células. Quando há problema de captação da luz na célula, a corrente é desviada pelo diodo em paralelo, isolando assim a célula que está obstruída, diminuindo os impactos na perda de produção de energia.

A curva em vermelho ilustrada na Figura 10, mostra, no caso de módulos não afetados pela sombra, que as tensões e as potências dos módulos individuais se somam, formando uma curva com ponto de potência máxima (MPP). Quando são misturados módulos com e sem sombreamento, obtém-se a curva azul, onde mostra os níveis de tensão e potência seriamente comprometidos (SOLARIZE, 2016).

Figura 10 – Curva característica do string



Fonte: Adaptado de Solarize (2016)

2.7 Casos de Sucesso de Implantação da Energia Solar

A utilização da energia fotovoltaica já vem trazendo benefícios em vários ramos de atividade, como é o caso do Tribunal Regional do trabalho do Paraná. Em 2020, o TRT teve uma redução de 44,85% da sua conta de energia graças à implantação de uma usina fotovoltaica em Paranaíba. A obra foi iniciada em janeiro de 2018 com um custo de 9,6 milhões de reais, contendo 6200 placas instaladas. A energia gerada resultou em um crédito de R\$1.194.205,99 no ano de 2020. Este crédito gerou compensação para todas as unidades do TRT do Paraná (TORTATO, 2021).

Atendendo à resolução TSE número 23.474/2016, que prevê a implantação do Plano de Logística Sustentável da Justiça Eleitoral, o Tribunal Superior Eleitoral instalou nove usinas fotovoltaicas instaladas em sua sede e em cartórios. A potência total instalada chega a 630kWp, resultando em uma produção anual de 930.000kWh e uma economia de aproximadamente R\$ 750 mil por ano. A parte da energia gerada que não é consumida é inserida na rede de distribuição, gerando um crédito para o tribunal, que pode ser abatido de faturas de outras das suas unidades consumidoras (PARQUE... , 2021).

O grupo Ser Educacional possui uma usina fotovoltaica instalada no complexo da Uninassau em Caruaru, agreste de Pernambuco. O sistema possui 2.212 módulos fotovoltaicos com placas bifaciais e nove inversores, tendo uma potência de 1,2MW de pico e estima-se que possa produzir 2,3GWh de energia por ano. A usina é dedicada ao abastecimento de todas as unidades de baixa tensão do grupo no estado e algumas unidades de alta tensão. Desde o dia 15 de fevereiro de 2022, a usina gerou mais de 318,6 MWh e espera-se uma economia de 88% na conta de energia. O investimento custou R\$ 4,5 milhões e acredita-se que será possível ter um retorno em menos de três anos (GUERRA, 2022).

No Centro de Treinamento do Trabalhador Cearense (CTTC/IFCE), foi inaugurada uma usina solar com potência de 400 kWp em 895 painéis solares, com os inversores elétricos e cabos distribuídos sobre os blocos C, D e E do Centro numa

área coberta de 1,8 mil m². Estes painéis solares produzirão energia para utilização nas dependências do CTTC e também para a Secretária da Ciência, Tecnologia e Educação Superior do Estado (Secitece), em Fortaleza. Esta usina servirá, também, na qualificação de muitos profissionais para o setor de energia sustentável. O recurso obtido para esse investimento foi através de um acordo entre o Governo do Ceará e o Ministério da Ciência Tecnologia e Inovações, no valor de R\$ 1,3 milhão, para a construção da usina. Estima-se que que essa usina solar gere uma economia anual de R\$ 360 mil nas despesas em eletricidade, além da redução na tarifa energética (MEDEIROS, a).

3 DESENVOLVIMENTO

Partindo dos conceitos introduzidos no capítulo anterior, será feito um estudo de caso para analisar a viabilidade econômica da instalação de geradores fotovoltaicos. Será dimensionado o sistema necessário para atender a demanda de energia do campus de Joinville da UFSC e servirá como base para a análise do retorno financeiro trazido pela economia de energia resultante.

3.1 Indicadores de Viabilidade Econômica

Para a análise da viabilidade econômica do sistema, foi utilizado o cálculo do Retorno descontado, VPL – Valor Presente Líquido e a TIR – Taxa Interna de Retorno. Através destes indicadores é possível estabelecer o tempo necessário para se obter o retorno do investimento (ROSS et al., 2013). Quanto maior o retorno do investimento e sua atratividade, maior será a sua aceitação pela empresa. Com isso, a probabilidade de ocorrer o investimento se torna mais interessante para o investidor.

O retorno descontado leva em consideração o conceito do valor do dinheiro no tempo, o período de investimento do capital e seu retorno, esses indicadores são capazes de demonstrar o tempo necessário para se obter o retorno do investimento (RIGO; CHEROBIM, 2002). Para o cálculo do retorno utiliza-se uma taxa de juros com uma rentabilidade mínima definida pelo investidor.

Após a análise do retorno do investimento, o investidor decidirá se efetua o desembolso para realização do projeto ou não. No entanto, deve-se observar que projetos que possuem retornos muito longos, é viável que o investidor observe as premissas do projeto averiguando se não são indevidamente otimistas com relação a capacidade de gerar fluxo de caixa em um futuro distante (BREALEY; MYERS; FRANKLIN, 2013).

O VPL é um método tradicional e eficiente na avaliação de projetos de investimento (SCHROEDER et al., 2005). Para um investimento, deve-se atualizar os valores do fluxo de caixa e confrontá-los com o valor do investimento (BLANK; TARQUIN, 2009).

Com isso, quando o valor do VPL > 0 (positivo), considera-se que o investimento será viável possuindo uma rentabilidade positiva, criando assim valor econômico. Quando o VPL = 0 (igual a zero), mostra que não há perda de capital nem o ganho de valor econômico e caso o VPL < 0 (negativo) o investimento não é compensativo,

podendo haver uma perda de capital. Considerado um método simples e muito utilizado, o VPL é calculado pela equação 1:

$$VPL = \sum_{t=1}^n \frac{Fc_t}{(1+i)^t} - I \quad (1)$$

Onde:

i - Taxa interna de retorno;

Fc_t - Fluxo de caixa previsto;

t - Horizonte de empreendimento;

I - Custo do investimento inicial.

A TIR – Taxa Interna de Retorno é um método que demonstra qual será o retorno do investimento, avaliando assim se o capital investido será remunerado. Esse método, TIR, indica qual será a taxa mínima de atratividade para o investimento (CLEMENTE; SOUZA, 2008).

O objetivo da TIR é encontrar uma taxa de juros, que ao ser utilizado no fluxo de caixa futuro, torna o VPL nulo ou positivo. Para um investimento ser considerado viável, de acordo com o TIR, a taxa interna de retorno obtida precisa ser superior ao retorno exigido (NETO; LIMA, 2014).

A equação 2 apresenta como é calculado a TIR.

$$VPL \geq 0 = \sum_{t=1}^n \frac{Fc_t}{(1+i)^t} - I \quad (2)$$

Onde:

i - Taxa interna de retorno;

Fc_t - Fluxo de caixa previsto;

t - Horizonte de empreendimento;

I - Custo do investimento inicial.

3.2 Análise do terreno

O campus de Joinville da Universidade Federal de Santa Catarina é localizado nas coordenadas 26°14'05" sul e 48°53'02" oeste. O bloco principal, que contém as salas de aula, apresenta um telhado com área total de aproximadamente 3600m², com inclinação horizontal. A foto 11 foi tirada com o uso de drone e mostra as condições do telhado.

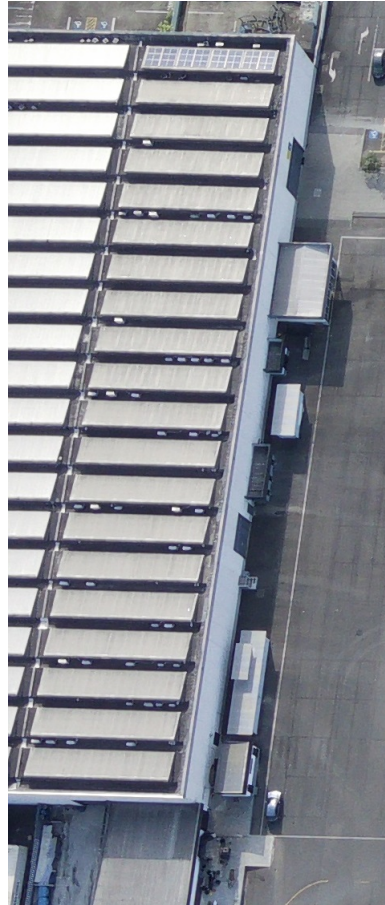
Figura 11 – Bloco das salas de aula



Fonte: Elaboração própria

O telhado do bloco contendo os laboratórios possui um espaço disponível para a instalação de 1026m² com inclinação de aproximadamente 20° voltada para o norte, como pode ser observado na foto 12, que foi tirada com o uso de drone.

Figura 12 – Bloco do laboratório



Fonte: Elaboração própria

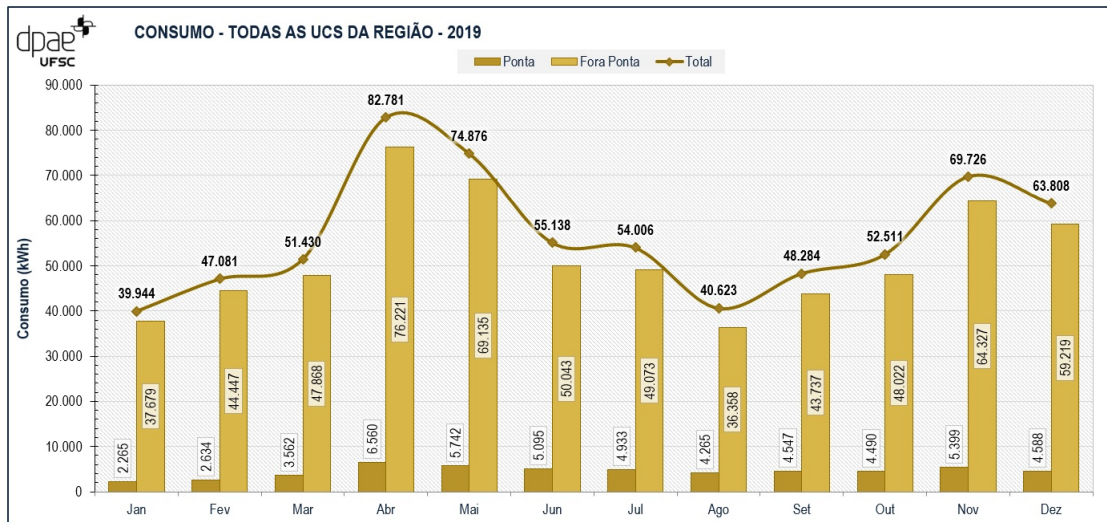
3.3 Análise da demanda de energia

A demanda de energia da UFSC tem comportamento sazonal, isso implica que nos meses mais quentes do ano a demanda é maior do que nos frios. Durante as férias a demanda cai drasticamente, resultando em uma grande variação de consumo ao longo do ano.

Esta pesquisa foi realizada com base no consumo de 2019, devido a pandemia da COVID19, os dados de 2020 e 2021 não são representativos do consumo normal da universidade. Optou-se, então, por utilizar os dados do ano anterior à pandemia.

Na figura 13 é mostrado o consumo de 2019, onde é possível observar que há uma oscilação no consumo entre 37.679kWh e 82.781kWh demonstrando que o consumo máximo é o dobro do consumo mínimo. Essa variação não acompanha totalmente a variação das estações do ano, pois o verão é o período de máxima insolação e, é neste período que acontece o menor consumo de energia na instituição.

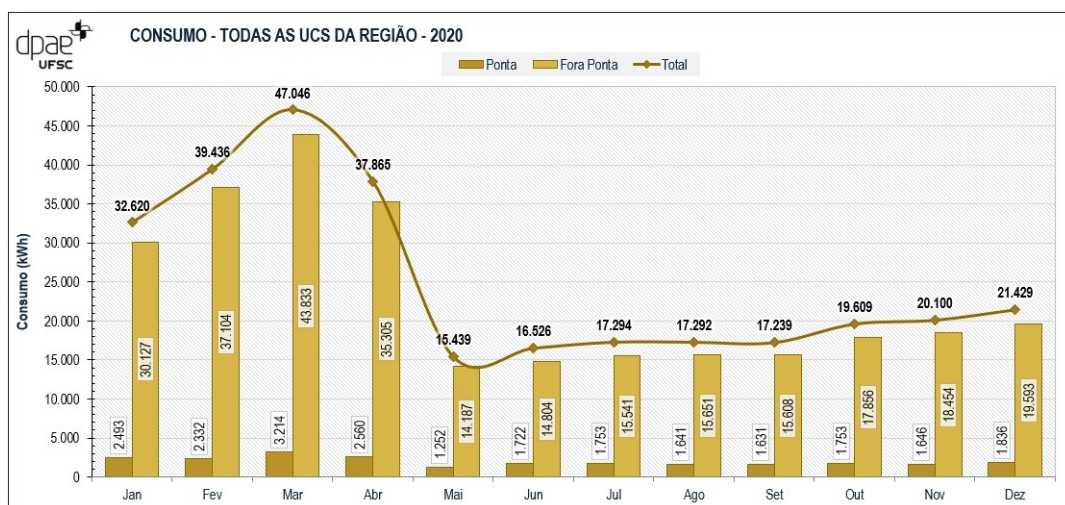
Figura 13 – Consumo de energia em 2019



Fonte: UFSC

Na figura 14 observa-se que durante o período de pandemia, houve uma queda drástica no consumo de energia, pois a instituição esteve fechada. Por conta disso, estes valores não foram levados em consideração, por se tratar de uma condição atípica.

Figura 14 – Consumo de energia em 2020



Fonte: UFSC

Considerando-se que a UFSC pertence ao subgrupo A4 tarifa verde, onde o custo sem impostos do Kw é R\$0,35847, no horário fora da ponta, e R\$1,22373, no horário de ponta, verificamos que o consumo no horário de ponta é baixo. Segundo a ANEEL o horário de ponta é entre 18:00 e 21:00.

A grande maioria das atividades realizadas na UFSC é ocorre durante a semana entre 7:30 e 18:00, que é o horário das aulas. Supõe-se, então, que o consumo de energia diário nos finais de semana é 30% do consumo diário durante a semana. Essa suposição não pode ser confirmada, pois os dados do consumo apresentam apenas o consumo total mensal.

3.4 Análise da irradiação solar

A irradiação foi obtida com a ferramenta SunData v 3.0 do site da CRESESB, que informa os dados utilizando as coordenadas geográficas da universidade. A tabela 3 informa os dados de irradiação diária média para cada mês do ano. É possível observar que a irradiação é máxima nos meses de janeiro e dezembro. Isso é um problema pois coincide com um período de baixa demanda, resultando em uma grande quantidade de energia que não é aproveitada e acaba sendo convertida em créditos de energia, sobre os quais é cobrado imposto.

Tabela 3 – Irradiação Solar ao Longo do Ano

	Irradiação kWh/m ² .dia
Jan	4,96
Fev	4,70
Mar	4,17
Abr	3,50
Mai	2,92
Jun	2,46
Jul	2,51
Ago	3,18
Set	3,13
Out	3,62
Nov	4,64
Dez	4,96
Média	3,73

Fonte: Adaptado de CRESESB (2022)

Para simplificar a análise, considera-se que durante o horário de ponta não há irradiação solar significativa, e portanto, não há produção de energia fotovoltaica.

3.5 Dimensionamento do sistema para a produção de 100% da demanda

A energia gerada anualmente por um sistema fotovoltaico pode ser calculada com base na eficiência dos módulos solares, da área total dos módulos e a insolação média anual do local. Tendo como base o consumo anual da UFSC Joinville e a folha de dados do módulo fotovoltaico a ser utilizado, é possível calcular a área total do sistema para suprir totalmente a demanda anual de energia utilizando a equação 3.

$$E_p = E_s A_m \eta_M \quad (3)$$

Onde:

E_p - Energia produzida diariamente [kWh];

E_s - Insolação diária [kWh/m².dia];

A_m - Área da superfície total dos módulos [m²];

η_M - Eficiência dos módulos.

Esse método, contudo, não leva em consideração as perdas dos demais componentes do sistema e o imposto cobrado sobre a energia injetada na rede de distribuição.

Substituindo-se os valores na equação 3 com uma eficiência de 21,3% (Apêndice A), irradiância média de 3,73kWh/m²dia e um consumo total de 626129kWh, resulta em uma área de 2159,149m². Considerando que cada painel tem uma área de 2,2m², estima-se que cerca de 981 painéis seriam necessários para atender totalmente a demanda de energia da universidade.

3.6 Dimensionamento dos componentes

Determinou-se anteriormente que 981 placas seriam capazes de produzir em um ano uma quantidade de energia equivalente ao consumo da universidade no mesmo período. É importante observar que um sistema com capacidade maior que 100% da demanda anual não é interessante, pois acumularia créditos que nunca seriam utilizados, resultando em parte da produção de energia que não gera retorno.

Em parceria com a empresa IG Energia Renovável de Jaraguá do Sul, foi desenvolvida uma proposta para o orçamento dos componentes e instalação da planta de energia fotovoltaica. O sistema proposto tem capacidade de 511,5kWp utilizando os componentes da tabela 4. O custo total de componentes e instalação é de R\$ 1.954.948,76.

Tabela 4 – Componentes da Proposta da IG

	Quantidade
Módulo 550Wp - Talesun	930
Inversores SIW500H STI100 M1	4
Conector CC MC4	40
Cabo CC preto 6mm ²	3600m
Cabo CC vermelho 6mm ²	3600m
Cabeamento e conexão CA (QGBT)	2m
Proteção CA e sistema SPDA	1
Monitoramento Solarview	2

Fonte: Adaptado orçamento IG

O inversor definido é descrito na sua folha de dados com uma potência nominal de 100kW (Apêndice B), contudo segundo a WEG, o fabricante do equipamento, a capacidade máxima é de 140kW. Isso mostra que o conjunto de 4 inversores é capaz de funcionar para uma potência de pico de 560kW e, portanto, é suficiente para a quantidade definida de painéis.

Cada painel possui área de 2,58m² e no total, o sistema ocuparia uma área de aproximadamente 2400m², o que pode ser dividido entre os blocos da universidade. Cada inversor teria conectada em si uma quantidade igual de painéis. Seriam, então, montados 2 inversores com os seus painéis instalados no bloco universitário e os outros

2, instalados no laboratório. Todos os inversores ficam instalados em paralelo com a rede interna da universidade e posicionados de tal forma que o relógio medidor de energia fique entre os equipamentos e a rede elétrica pública.

3.7 Economia anual gerada

A economia de energia proporcionada pelo sistema fotovoltaico é calculada como a quantidade total produzida em um ano menos o desconto dos créditos de energia. No estado de Santa Catarina, uma taxa equivalente ao ICMS é descontada da energia inserida na rede de distribuição. Até junho de 2022, o ICMS era de 25%. Há, contudo, uma isenção de 4 anos do ICMS para instalações solares. O retorno anual da planta é equivalente à economia de energia multiplicada pela tarifa de energia aplicada pela CELESC, que em junho era R\$ 0,493505 por kWh. Com relação à perda de eficiência, a informação fornecida pelo fabricante é que as placas perderão 15,2% da sua eficiência em 25 anos. Isso significa dizer, de uma maneira simplificada, que a cada ano ocorrerá uma perda de 0,608% na produção de energia. Esta taxa é descontada diretamente do retorno anual da planta. O retorno anual é corrigido com base na média da taxa de correção dos últimos 4 anos, conforme a tabela 5. A economia anual de energia é, então, corrigida com base na equação 4.

Tabela 5 – Correções da Tarifa de Energia

	2018	2019	2020	2021	Média
Gupo A	15,05%	-5,53%	7,67%	5,34%	5,63%

Fonte: Adaptado CELESC

$$E_c = E_i(1 - i_d t)(1 + i_c)^t \quad (4)$$

Onde:

E_c - Economia corrigida [R\$];

E_i - Economia inicial [kWh];

i_d - Perda de eficiência;

i_c - Taxa de correção (ICMS);

t - Tempo após a instalação [anos].

O consumo ao longo da semana não é constante, pois nos finais de semana não há aulas nem outras atividades acadêmicas, o que resulta em uma queda drástica na demanda de energia. Não há dados que confirmem o tamanho dessa redução, contudo é suposto que a energia utilizada diariamente nos finais de semana é 30% da média diária entre segunda-feira e sexta-feira.

Considerando que a irradiação diária ao longo do mês é constante e por extensão a produção diária, também é constante. É possível observar que durante os finais de semana, devido ao baixo consumo, haverá um grande aumento na quantidade

de energia injetada na rede de distribuição. A tabela 6 mostra a quantidade estimada de energia inserida na rede por mês.

Tabela 6 – Energia Injetada na Rede de Distribuição

	Energia injetada [kWh]
Jan	28525,0
Fev	12216,0
Mar	10774,0
Abr	4750,5
Mai	3728,4
Jun	3717,1
Jul	4314,3
Ago	8231,8
Set	6856,4
Out	8660,0
Nov	11304,0
Dez	12571,0

Fonte: Elaboração própria

A economia resultante desconsiderando impostos é calculada com a equação 5, resultando em R\$288.859,99. Descontando a cobrança do ICMS sobre a energia injetada na rede resulta em uma economia de R\$274.591,71, que pode ser calculada pela equação 6.

$$E_c = E_p t_e \quad (5)$$

Onde:

E_c - Economia Resultante [R\$];

E_p - Energia produzida [kWh];

t_e - Tarifa de energia [R\$/kWh].

$$E_c = (E_p - E_i i_e) t_e \quad (6)$$

Onde:

E_c - Economia Resultante [R\$];

E_p - Energia produzida [kWh];

E_i - Energia injetada na rede [kWh];

i_e - Taxa de imposto (ICMS);

t_e - Tarifa de energia [R\$/kWh].

O custo de manutenção do sistema é inicialmente definido em R\$6510,00, conforme o orçamento da IG, e corrigido anualmente com base no limite máximo da meta do banco central para o IPCA de 2023 (BRASIL, 2022). A correção do custo da manutenção é calculada pela equação 7.

$$V_c = V_i (1 + i_c)^t \quad (7)$$

Onde:

V_c - Valor corrigido [R\$];

V_i - Valor inicial [R\$];

i_c - Taxa de correção;

t - Tempo após a instalação [anos].

O fluxo de caixa anual após a compra de todos os equipamentos é igual ao retorno anual menos o custo de manutenção. O fluxo descontado aplica a equação 1 para determinar o VPL do investimento anualmente dentro do limite de vida útil dos painéis solares. A taxa média de atratividade foi escolhida como 6,75%, o CDI previsto para 2023.

A tabela 7 foi construída com base no método descrito anteriormente e nela é possível observar que no oitavo ano após a instalação da planta fotovoltaica o VPL se torna positivo, representando um tempo de payback de 8 anos para o investimento proposto. É possível obter, também, uma TIR de 19%. A TIR encontrada é superior ao TMA definido para o projeto, mostrando que este é economicamente viável.

Tabela 7 – Retorno do Investimento

Ano	Manutenção	Economia de energia	Fluxo de caixa	Fluxo descontado	Retorno financeiro
0			-R\$ 1.954.948,76	-R\$ 1.954.948,76	-R\$ 1.954.948,76
1	R\$ 6.819,23	R\$ 303.267,66	R\$ 296.448,43	R\$ 277.703,45	-R\$ 1.677.245,31
2	R\$ 7.143,14	R\$ 318.382,04	R\$ 311.238,90	R\$ 273.122,89	-R\$ 1.404.122,42
3	R\$ 7.482,44	R\$ 334.237,03	R\$ 326.754,59	R\$ 268.607,45	-R\$ 1.135.514,97
4	R\$ 7.837,85	R\$ 350.868,12	R\$ 343.030,27	R\$ 264.156,26	-R\$ 871.358,71
5	R\$ 8.210,15	R\$ 350.119,60	R\$ 341.909,45	R\$ 246.644,64	-R\$ 624.714,07
6	R\$ 8.600,13	R\$ 367.512,26	R\$ 358.912,13	R\$ 242.538,58	-R\$ 382.175,48
7	R\$ 9.008,64	R\$ 385.753,56	R\$ 376.744,93	R\$ 238.491,13	-R\$ 143.684,36
8	R\$ 9.436,55	R\$ 404.883,94	R\$ 395.447,39	R\$ 234.501,51	R\$ 90.817,15
9	R\$ 9.884,79	R\$ 424.945,67	R\$ 415.060,88	R\$ 230.568,97	R\$ 321.386,12
10	R\$ 10.354,31	R\$ 445.983,00	R\$ 435.628,69	R\$ 226.692,75	R\$ 548.078,87
11	R\$ 10.846,14	R\$ 468.042,18	R\$ 457.196,04	R\$ 222.872,12	R\$ 770.950,99
12	R\$ 11.361,34	R\$ 491.171,61	R\$ 479.810,27	R\$ 219.106,34	R\$ 990.057,32
13	R\$ 11.901,00	R\$ 515.421,85	R\$ 503.520,85	R\$ 215.394,68	R\$ 1.205.452,00
14	R\$ 12.466,30	R\$ 540.845,81	R\$ 528.379,52	R\$ 211.736,44	R\$ 1.417.188,44
15	R\$ 13.058,44	R\$ 567.498,79	R\$ 554.440,34	R\$ 208.130,90	R\$ 1.625.319,34
16	R\$ 13.678,72	R\$ 595.438,57	R\$ 581.759,85	R\$ 204.577,38	R\$ 1.829.896,72
17	R\$ 14.328,46	R\$ 624.725,58	R\$ 610.397,12	R\$ 201.075,17	R\$ 2.030.971,89
18	R\$ 15.009,06	R\$ 655.422,95	R\$ 640.413,89	R\$ 197.623,61	R\$ 2.228.595,51
19	R\$ 15.721,99	R\$ 687.596,65	R\$ 671.874,66	R\$ 194.222,02	R\$ 2.422.817,53
20	R\$ 16.468,79	R\$ 721.315,63	R\$ 704.846,85	R\$ 190.869,74	R\$ 2.613.687,27
21	R\$ 17.251,05	R\$ 756.651,90	R\$ 739.400,85	R\$ 187.566,12	R\$ 2.801.253,39
22	R\$ 18.070,48	R\$ 793.680,68	R\$ 775.610,21	R\$ 184.310,50	R\$ 2.985.563,89
23	R\$ 18.928,83	R\$ 832.480,56	R\$ 813.551,73	R\$ 181.102,25	R\$ 3.166.666,14
24	R\$ 19.827,95	R\$ 873.133,58	R\$ 853.305,63	R\$ 177.940,74	R\$ 3.344.606,88
25	R\$ 20.769,77	R\$ 915.725,42	R\$ 894.955,64	R\$ 174.825,35	R\$ 3.519.432,24

Fonte: Elaboração própria

4 CONCLUSÕES

A implementação do sistema fotovoltaico na UFSC de Joinville se provou viável e o tempo de payback é aceitável, se considerar que a planta tem perspectiva de continuar produzindo, depois de se pagar, por mais 17 anos.

A análise, ainda, não considerou as bandeiras tarifárias que podem ser implementadas ao longo do ano, visto que essa ocorrência não é garantida, mas diante do quadro que se apresenta, é muito provável que ocorra, devido as crises hídricas recorrentes vivenciadas nos últimos anos. A geração própria de energia oferece uma proteção contra os aumentos dos custos da tarifa da energia elétrica proveniente da distribuidora.

A crise hídrica atual gerou a necessidade de racionamento de energia, embora em Santa Catarina não houve esse racionamento, porém o agravamento da crise pode levar o estado a adotar medidas mais rigorosas de economia de energia. Essa situação levou a buscas por novas fontes de energia e a fonte fotovoltaica se mostrou como um meio economicamente viável de energia em escala menor.

No Brasil, apesar da principal fonte de energia ser a hídrica, quando há escassez de água, o governo recorre ao uso de termoelétricas, que são extremamente caras e poluentes. O uso de energia solar é uma das formas de produção de eletricidade com menor impacto ambiental. Essa alternativa vem minimizar os impactos ambientais gerados pela demanda de energia do nosso país. A UFSC, como entidade de ensino, visa fomentar o desenvolvimento de novas tecnologias e o desenvolvimento sustentável. A implementação desse sistema está de acordo com os valores da instituição, servindo como exemplo para a comunidade.

Colocar energia na rede não é vantajoso economicamente devido às taxas cobradas pela distribuidora. Uma alternativa para melhorar a eficiência do sistema seria a utilização de um dispositivo para o armazenamento do excedente da produção de energia dos painéis fotovoltaicos, tornando o sistema mais econômico e menos dependente da rede elétrica. Seria interessante buscar novas alternativas para o armazenamento da eletricidade com menor custo e potencial de instalação em escala industrial.

A utilização de energia fotovoltaica irá auxiliar a diversificação da matriz energética brasileira, que hoje é predominantemente hídrica e extremamente suscetível a mudanças climáticas. A diversificação das formas de geração e produção descentralizada da energia cria uma robustez maior no quadro energético nacional

reduzindo a dependência da principal fonte, que hoje é o hidrelétrico. Essa alternativa apresenta ainda a vantagem de poder ser implementada aproveitando espaços já urbanizados sem mais agressão ao ambiente ou ocasionando mudanças no terreno ou investimentos extensos em estrutura adicional.

Considera-se fundamental aprofundar a pesquisa sobre o impacto das bandeiras na tarifa de energia e como isso afeta o tempo de payback do investimento. O retorno do projeto é medido pelo custo da fatura da energia e quando se tem um aumento tarifário, a mesma quantidade de energia gerada antes, agora resulta num retorno financeiro maior.

REFERÊNCIAS

- ABSOLAR. **Notícias e Artigos**. São Paulo: Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica, 2020. Acessado em 12 de Outubro de 2020. Disponível em: <<http://www.absolar.org.br/noticia>>.
- ABSOLAR. **Energia Solar Fotovoltaica no Brasil Infográfico**. 2022. Acessado em 31 de Julho de 2022. Disponível em: <<https://www.absolar.org.br/mercado/infografico/>>.
- ANEEL. **A Resolução Normativa nº 687/2015**. 2015. Acessado em 07 de Março de 2022. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2015687.pdf>>.
- BLANK, L.; TARQUIN, A. **Engenharia Econômica**. 6. ed. Porto Alegre: AMGH, 2009.
- BOTTEON, A. M. **Painéis solares monocristalinos vs policristalinos: qual é a diferença?** 2021. Acessado em 20 de Julho de 2022. Disponível em: <https://www.linkedin.com/pulse/pain%C3%A9is-solares-monocristalinos-vs-policristalinos-qual-botteon?trk=public_post-content_share-article>.
- BRASIL, B. C. do. **Metas para a inflação**. 2022. Acessado em 20 de Julho de 2022. Disponível em: <<https://www.bcb.gov.br/controleinflacao/metainflacao>>.
- BREALEY, R.; MYERS, S. C.; FRANKLIN, A. **Princípios de finanças corporativas**. 10. ed. Porto Alegre: AMGH, 2013.
- CELESC. **Requisitos para a Conexão de Micro ou Minigeradores de Energia ao Sistema Elétrico da CELESC Distribuição**. 2020.
- CLEMENTE, A.; SOUZA, A. **Decisões financeiras e análise de investimentos**. 6. ed. São Paulo: Atlas, 2008.
- CRESESB; CEPEL. **Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos**. Rio de Janeiro: [s.n.], 2014. (Organizadores: João Tavares Pinho e Marco Antônio Galdino).
- CRESESB; CEPEL. **Radiação Solar: Radiação Solar a Nível do Solo**. 2014. Acessado em 07 de Março de 2022. Disponível em: <http://cresesb.cepel.br/index.php?section=com_content&cid=301>.
- DANTAS, R. **Eternit inicia venda de primeira telha solar em concreto do mercado brasileiro**. Money Times. Acessado em 25 de Maio de 2022. Disponível em: <<https://www.moneytimes.com.br/eternit-inicia-venda-de-primeira-telha-solar-em-concreto-do-mercado-brasileiro/>>.
- FOUQUET, D. Policy instruments for renewable energy—from a european perspective. **Renewable Energy**, Elsevier, v. 49, p. 15–18, 2013. Acesso em 10 out. 2020. Disponível em: <<https://pdf.sciencedirectassets.com/27>>.

GALVANI, E. **Climatologia I: Relações Astronômicas Terra - Sol**. 2014. Acessado em 07 de Março de 2022. Disponível em: <http://www.geografia.fflch.usp.br/graduacao/apoio/Apoio/Apoio_Emerson/flg0253/2014/aula3/Radiacao_solar_estacoes_do_ano.pdf>.

GUERRA, A. **Ser Educacional estima economia de 88% na conta de energia com usina solar em Pernambuco**. epbr, 2022. Acessado em 10 de Maio de 2022. Disponível em: <<https://epbr.com.br/ser-educacional-estima-economia-de-88-na-conta-de-energia-com-usina-solar-em-pernambuco/>>.

IMHOFF, J. **Desenvolvimento de Conversores Estáticos para Sistemas Fotovoltaicos Autônomos**. Monografia (Dissertação de Mestrado) — Escola de Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2007.

MACHADO, C. T.; MIRANDA, F. S. Energia solar fotovoltaica: Uma breve revisão. **Departamento de Química Inorgânica**, Universidade Federal Fluminense, Niterói, v. 17, n. 1, 2015. ISN 1984-6835.

MEDEIROS, V. **Com 895 painéis solares, Ceará inaugura a maior usina solar pública do estado**. Click Petróleo e Gás. Acessado em 10 de Maio de 2022. Disponível em: <<https://clickpetroleoegas.com.br/com-895-paineis-solares-ceara-inaugura-a-maior-usina-solar-publica-do-estado/>>.

MEDEIROS, V. **Novas telhas solares a base de grafeno possuem vida útil de 80 anos e geram economia de até 40% na conta de luz**. Click Petróleo e Gás. Acessado em 25 de Maio de 2022. Disponível em: <<https://clickpetroleoegas.com.br/novas-telhas-solares-a-base-de-grafeno-possuem-vida-util-de-80-anos-e-geram-economia-de-ate-40-na-conta-de-luz/>>.

MIRANDA, G. J. Be prepared. **IEEE Industry Applications Magazine**, p. 12–20, 2003.

MME. **Energia Solar no Brasil e Mundo**. 2017. Acessado em 07 de Março de 2022. Disponível em: <<http://www.mme.gov.br/documents/10584/3580498/17+-+Energia+Solar+-+Brasil+e+Mundo+-+ano+ref.+2015+%28PDF%29/4b03ff2d-1452-4476-907d-d9301226d26c;jsessionid=41E8065CA95D1FABA7C8B26BB66878C9.srv154>>.

NASCIMENTO, R. L. **Energia solar no Brasil: situação e perspectiva**. Estudo técnico. Brasília: Câmara dos Deputados do Brasil, 2017.

NETO, A. A.; LIMA, F. G. **Fundamentos da administração financeira**. 2. ed. São Paulo: Atlas, 2014.

PARQUE fotovoltaico do TRE-MS já conta com nove usinas. TSE, 2021. Acessado em 10 de Maio de 2022. Disponível em: <<https://www.tse.jus.br/imprensa/noticias-tse/2021/Fevereiro/parque-fotovoltaico-do-tre-ms-ja-conta-com-nove-usinas>>.

PETRIN, N. **Radiação solar**. 2015. Acessado em 07 de Março de 2022. Disponível em: <<https://www.estudopratico.com.br/radiacao-solar-insolacao-comprimento-de-onda-e-composicao-espectral/>>.

REN 21. Renewable Energy Policy Network for the 21st Century. Paris: Renewables 2020 Global Status Report, 2020. ISBN 978-3-948393-00-7.

ROSS, S. A. et al. **Fundamentos de Administração Financeira**. 9. ed. Porto Alegre: AMGH, 2013.

RÜTHER, R. Potencial da energia solar fotovoltaica no Brasil e projetos vitrine estádios solares e aeroportos solares. **IDEAL – Instituto para o Desenvolvimento das Energias Alternativas na América Latina**, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2010.

SCHROEDER, J. T. et al. O custo de capital como taxa mínima de atratividade na avaliação de projetos de investimento. **Revista Gestão Industrial**, v. 1, n. 2, 2005. D.O.I.10.3895/S1808-04482005000200003.

SILVA, E. P. **Fontes Renováveis de Energia**. 1. ed. São Paulo: Livraria da Física, 2014.

SOLAR, P. **O Inversor Solar**. Portal Solar. Acessado em 08 de Março de 2022. Disponível em: <<https://www.portalsolar.com.br/o-inversor-solar.html>>.

SOLARIZE. **sombreamento parcial em arranjos fotovoltaicos**. 2016. Acessado em 25 de Maio de 2022. Disponível em: <http://www.solarize.com.br/site_content/11-blog/114-sombreamento-parcial-em-arranjos-fotovoltaicos>.

TORTATO, C. **Com usina fotovoltaica, despesa do TRE-PR com energia elétrica foi reduzida em 45% em 2020**. TRE, 2021. Acessado em 09 de Maio de 2022. Disponível em: <<https://www.tre-pr.jus.br/imprensa/noticias-tre-pr/2021/Janeiro/com-usina-fotovoltaica-despesa-do-tre-pr-com-energia-eletrica-foi-reduzida-em-45-em-2020>>.

VALLÊRA, A. M. Meio século de história fotovoltaica. **Revista Gazeta de Física**, v. 29, p. 10–15, 2006.

VILLALVA, M. G. **Energia Solar Fotovoltaica: Conceitos e Aplicações**. São Paulo: Érica, 2015.

VILLALVA, M. G.; GAZOLI, J. R. **Energia Solar Fotovoltaica: Conceitos e Aplicações**. São Paulo: Érica, 2012.

ZILLES, R. et al. **Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede Elétrica**. São Paulo: Oficina de Textos, 2012.

APÊNDICE A - DATASHEET DO MÓDULO FOTOVOLTAICO



BISTAR

TP7F72M
TP7F72M(H) **144-cell**

530 - 550W

10BB Half-cut Mono Perc



SYSTEM & PRODUCT CERTIFICATES

- IEC 61215 / IEC 61730 / UL 61703
- ISO 9001: 2015 Quality Management System
- ISO 14001: 2015 Environment Management System
- ISO 45001: 2018 Occupational Health and Safety Management Systems





PERFORMANCE WARRANTY

12 Years
Quality Guarantee

25 Years
Power Output Guarantee

■ Linear Performance Warranty
■ Standard Performance Warranty



The graph shows Guaranteed Power (%) on the y-axis (84.8% to 100%) and Years on the x-axis (0 to 25). A gray line represents the Standard Performance Warranty, which starts at 100% and drops to approximately 84.8% at 25 years. An orange line represents the Talesun Solar linear warranty, which starts at 100% and drops to approximately 98% at 25 years.

KEY FEATURES

- 
10BB Half-cut Cell Technology
 New circuit design, lower internal current, lower Rs loss
 Ga doped wafer, attenuation <2% (1st year) / ≤0.55% (Linear)
- 
Significantly Lower the Risk of Hot Spot
 Special circuit design with much lower hot spot temperature
- 
Lower LCOE
 2% more power generation, lower LCOE
- 
Excellent Anti-PID Performance
 2 times of industry standard Anti-PID test
- 
IP68 Junction Box
 High waterproof level

www.talesun.com

marketing.hq@talesun.com

* GL-EN-Version 2022.03.01

ELECTRICAL CHARACTERISTICS

Testing Condition	STC	NMOT	STC	NMOT	STC	NMOT	STC	NMOT	STC	NMOT
Maximum Power (Pmax/W)	530	395	535	398	540	402	545	406	550	410
Operating Voltage (Vmpp/V)	41.32	38.6	41.48	38.7	41.64	38.8	41.80	39.0	41.96	39.1
Operating Current (Impp/A)	12.83	10.24	12.90	10.30	12.97	10.36	13.04	10.41	13.11	10.47
Open-Circuit Voltage (Voc/V)	49.32	46.4	49.46	46.5	49.60	46.7	49.76	46.8	49.92	47.0
Short-Circuit Current (Isc/A)	13.72	11.06	13.79	11.12	13.86	11.17	13.93	11.23	14.00	11.28
Module Efficiency (%)	20.50		20.70		20.90		21.10		21.30	

STC: Irradiance 1000W/m², Spectra at AM1.5, Module Temperature 25°C, Power output tolerance: 0~+5W, Test uncertainty for Pmax: ±3%
 NMOT: Irradiance 800W/m², Spectra at AM1.5, Ambient Temperature 20°C, Wind speed 1m/s

MECHANICAL CHARACTERISTICS

Solar Cell	Monocrystalline 182*182mm
No. of Cells	144 (6*24)
Module Dimensions	2278*1134*35mm (89.69*44.65*1.38inches)
Weight	28kg (61.73lbs.)
Front Glass	3.2mm AR Coating Tempered Glass
Frame	Anodized Aluminium Alloy
Junction Box	IP68, 3 Bypass Diodes
Output Cables	4mm ² (IEC), 12AWG (UL) 300mm in Length or Customized Length
Connectors	T01/LJQ-3-CSY/MC4/MC4-EV02

APPLICATION CONDITIONS

Maximum System Voltage	1000V/1500V/DC
Operating Temperature	-40°C~+85°C
Maximum Series Fuse	25A
Safety Protection Class	Class II
Mechanical Load (Front side)	5400Pa
Mechanical Load (Back side)	2400Pa

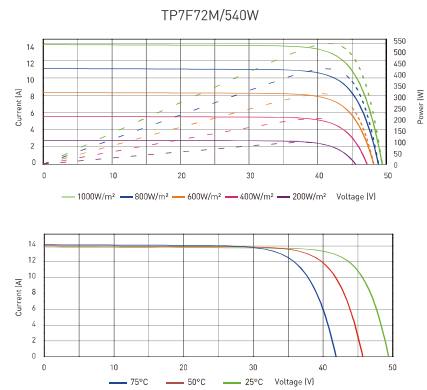
TEMPERATURE CHARACTERISTICS

Temperature Coefficient of Pmax	-0.35%/°C
Temperature Coefficient of Voc	-0.26%/°C
Temperature Coefficient of Isc	+0.048%/°C
Nominal Module Operating Temperature(NMOT)	43±2°C

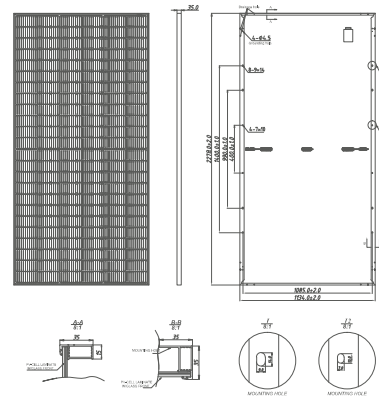
PACKING CONFIGURATION

Pieces Per Pallet	31	31(USA)
Pieces Per Container(40'HQ)	620	620

I-V CURVE



TECHNICAL DRAWINGS



The specification and key features described in this datasheet may deviate slightly and are not guaranteed. Due to ongoing innovation, R&D enhancement, Suzhou Talesun Solar Technologies Co., Ltd. reserves the right to make any adjustment to the information described herein at any time without notice. Please always obtain the most recent version of the datasheet which shall be duly incorporated into the binding contract made by the parties governing all transactions related to the purchase and sale of the products described herein.

APÊNDICE B - DATASHEET DO INVERSOR



Inversor String Trifásico SIW500H

Os inversores da linha SIW500H são ideais para aplicações comerciais e industriais. Esses equipamentos possuem tecnologia de monitoramento inteligente de *strings*, arrefecimento por convecção natural, possibilidade de instalação ao tempo (IP65), além de seccionadora CC, supressores de surto tipo II para CC e CA e proteções contra falta a terra e corrente de fuga (DR).



Especificações técnicas	SIW500H ST030 M3	SIW500H ST036 M3	SIW500H ST040 M3	SIW500H ST060	SIW500H ST100
Eficiência					
Eficiência máxima	98,70%	98,70%	98,70%	98,70%	98,80%
Entrada					
Tensão de entrada máxima	1.100 V	1.100 V	1.100 V	1.100 V	1.100 V
Corrente de entrada máxima / MPPT	26 A	26 A	26 A	22 A	26 A
Corrente máxima de curto-circuito/MPPT	40 A	40 A	40 A	30 A	40 A
Faixa de tensão MPPT em máxima potência	200 V ~ 1.000 V	200 V ~ 1.000 V	200 V ~ 1.000 V	200 V ~ 1.000 V	200 V ~ 1.000 V
Número máximo de entradas	8	8	8	12	20
Número de rastreadores MPPT	4	4	4	6	10
Saída					
Potência ativa CA nominal	30.000 W	36.000 W	40.000 W	60.000 W	100.000 W
Potência Aparente Máxima	33.000 VA	40.000 VA	40.000 VA	66.000 VA	110.000 VA
Tensão de saída nominal (FN/FF)	380 V (F-F), 3F+N+T; 3F+T opcional nas configurações	380 V (F-F), 3F+N+T; 3F+T opcional nas configurações	380 V (F-F), 3F+N+T; 3F+T opcional nas configurações	220 V (F-N) / 380 V (F-F), 3F+N+T; 3F+T opcional nas configurações	220 V (F-N) / 380 V (F-F), 3F+N+T; 3F+T opcional nas configurações
Frequência de rede CA nominal	50 Hz / 60 Hz	50 Hz / 60 Hz	50 Hz / 60 Hz	50 Hz / 60 Hz	50 Hz / 60 Hz
Corrente de saída máxima	50,4 A	61,1 A	67,2 A	100 A	168,8 A
Fator de potência ajustável	0,8 adiantado/0,8 atrasado	0,8 adiantado/0,8 atrasado	0,8 adiantado/0,8 atrasado	0,8 adiantado/0,8 atrasado	0,8 adiantado/0,8 atrasado
Distorção harmônica total máxima	<3%	<3%	<3%	≤3%	≤3%
Proteção					
Proteção contra AFCI	Sim	Sim	Sim	Não	Não
Seccionadora lado CC	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
Proteção anti-ilhamento	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
Proteção contra polaridade CC invertida	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
Monitoramento de falha de <i>string</i> no arranjo PV	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
Supressor de surto CC	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
Supressor de surto CA	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
Monitoramento da isolamento	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
Deteção de corrente de fuga	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
Comunicação					
RS485	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
USB	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
Bluetooth +APP	Sim - Opcional	Sim - Opcional	Sim - Opcional	Sim	Sim
Power Line Communication (PLC)	Sim - Opcional	Sim - Opcional	Sim - Opcional	Sim	Sim
Geral					
Otimizador de potência	Compatível	Compatível	Compatível	Não compatível	Não compatível
Dimensões (L x A x P)	640 x 530 x 270 mm	640 x 530 x 270 mm	640 x 530 x 270 mm	1.075 x 555 x 300 mm	1.035 x 700 x 365 mm
Peso	43 kg	43 kg	43 kg	73 kg	90 kg
Faixa de temperatura de operação	-25 ~ 60 °C	-25 ~ 60 °C	-25 ~ 60 °C	-25 ~ 60 °C	-25 ~ 60 °C
Grau de proteção	IP66	IP66	IP66	IP65	IP66
Consumo interno noturno	<5,5 W	<5,5 W	<5,5 W	<2 W	<3,5 W
Topologia	Sem transformador	Sem transformador	Sem transformador	Sem transformador	Sem transformador

Nota: garantia de 5 anos.