

Uso de sistema fotovoltaico na geração distribuída

Gustavo H. Neves¹, William O. Martins¹

gustavo.henrique.neves@hotmail.com, williamom85@gmail.com

Professora orientadora: Dra. Daniele da Silva Domingos
Msc. Márcio Senhorinha

Coordenação de curso de Engenharia Elétrica

Resumo

O objetivo deste artigo é utilizar os padrões que regulamentam e norteiam a instalação de sistemas fotovoltaicos conectados à rede e aplicar os conceitos pautados por especialistas da área, tendo como foco principal: aplicar os conhecimentos adquiridos na realização do presente artigo, medir e apresentar os resultados obtidos. Também resume os aspectos normativos, apresentando os principais parâmetros de um sistema fotovoltaico aplicado na geração distribuída, disponibiliza o memorial de cálculo, o dimensionamento e a simulação de um projeto com a utilização do *software* PVsyst, assim como o cálculo de retorno de investimento de um consumidor (*payback*) visto que os módulos fotovoltaicos tem um tempo de vida útil de aproximadamente três décadas.

Palavras-chave: Dimensionamento. Sistema Fotovoltaico. *Payback*. PVsyst

1. INTRODUÇÃO

Nos últimos anos os sistemas fotovoltaicos, a cada dia, estão sendo mais utilizados pela população. Na geração distribuída a instalação deste tipo de tecnologia tem apresentado um elevado crescimento.

De acordo com a ANEEL, 2022, o Brasil passou de 1.311 unidades instaladas com uma geração de 8.966,73 kW em 2015 para 468.983 unidades instaladas, passando para uma potência de 4.475.228,61 em 2022 em todo território nacional.

Segundo a ANEEL, 2022, nosso país ultrapassou a marca de 10 gigawatts (GW) de potência instalada em micro e minigeração distribuída de energia elétrica, a energia que é gerada pelos próprios consumidores. A potência descrita possibilita alimentar aproximadamente 5 milhões de unidades residenciais brasileiras, desta forma atender quase 20 milhões de pessoas.

Conforme indicador da ANEEL apontado anteriormente, nos últimos anos a instalação de unidades de sistemas fotovoltaicos na geração distribuída aumentou em elevadas proporções, de acordo com ALMEIDA (2012) isto pode estar relacionado aos seguintes fatores:

- a) Redução do custo dos módulos fotovoltaicos no mercado internacional;
- b) Maior divulgação das tecnologias, através de meios acadêmicos, empresariais e marketing digital;

¹ Graduação em Engenharia Elétrica – Unisociesc.

- c) Mobilização do governo no sentido de criar um marco regulatório no setor, tendo como exemplos as Resoluções Normativas;
- d) A produção de Normas técnicas nacionais para conexão à rede e instalação elétrica de sistemas fotovoltaicos;
- e) O interesse da indústria em nacionalizar a produção de equipamentos.

Em contrapartida, a Revista Potencia (2020) também atribui este crescimento a outros fatores, são eles:

- a) Redução da conta de energia em aproximadamente 90%;
- b) Retorno rápido do investimento, com um “payback” estimado entre 5 e 7 anos;
- c) Durabilidade do equipamento de aproximadamente 25 anos;
- d) Sustentabilidade, visto que é uma fonte de energia renovável;

De acordo com a Superintendência De Concessões E Autorizações De Geração (SCG, 2022), nossa matriz energética é dividida em Matriz Renovável e Não Renovável, conforme apresentando abaixo e com o percentual de produção de energia por tipo de produção de energia no país:

Renováveis: Biomassa (8,76%), Hídrica (58,32%), Solar (3,73%), Eólica (12,32%), Undi-elétrica (não informado);

Não renováveis: Petróleo e outros (4,77%), Gás natural (9,13%), Carvão mineral (1,91%), Nuclear (1,06%);

Analisando os dados acima, é perceptível que a matriz energética do Brasil ainda depende muito das hidrelétricas. Como nos últimos anos o país passou por períodos de escassez de chuvas, teve por consequência as secas dos rios e redução dos níveis dos reservatórios das hidrelétricas, logo elas perderam sua capacidade operacional, ocasionando uma crise energética. Segundo o Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS, 2021), o Brasil estava passando pela pior crise hidrológica dos últimos 91 anos e que nos últimos sete anos as hidrelétricas receberam um volume de água inferior à média histórica.

De acordo com jornal O GLOBO (G1, 2021), o Banco Central alertou sobre o impacto da seca e sua consequência na produção de energia elétrica, o que refletiu diretamente no aumento das tarifas de contas de energia de todos os consumidores brasileiros, sendo necessário o governo recorrer a fontes de energia não renováveis, como por exemplo as termelétricas, que utilizam a queima de carvão ou gás natural, tendo como característica um elevado custo de produção, os quais são repassadas para os consumidores, desta forma tornando o custo de energia ainda mais elevado, além de aumentar a emissão de gases do efeito estufa, que contribui diretamente para mudanças climáticas.

Diante dos argumentos e indicadores descritos acima, logo entende-se que se faz necessário a busca por novos estudos e fontes de energia. Sendo assim, o presente trabalho consiste no estudo, simulação, cálculo, medição e desenvolvimento de um projeto, que visa aplicar um sistema fotovoltaico que atenderá a uma empresa moveleira, um escritório de advocacia e a uma residência, ambos situados na cidade de Itapoá-SC, os quais tem um consumo médio de 1800 kWh mensal, validar os resultados através da simulação do projeto em software de projetos fotovoltaicos,

avaliar os cálculos de retorno de investimento (*payback*) e medir os resultados após o projeto instalado.

Os principais objetivos deste artigo são:

- a) Utilizar os padrões que regulamentam e norteiam a instalação de sistemas fotovoltaicos conectados à rede;
- b) Aplicar na prática os conhecimentos adquiridos no curso e utilizá-los para a realização do ATCC;
- c) Realizar simulação de projeto fotovoltaico no *Software PVSyst*;
- d) Calcular o retorno de investimento do consumidor (*payback*) do projeto a ser desenvolvido, assim, verificando a viabilidade do sistema fotovoltaico;
- e) Medir e apresentar os resultados obtidos;
- f) Apresentar os principais parâmetros de um sistema fotovoltaico aplicado na geração distribuída.

2. DESENVOLVIMENTO

2.1 Energia Fotovoltaica:

Nos últimos anos em função da elevada utilização de combustíveis fósseis alinhado com o crescente desmatamento, tem piorado os indicadores do efeito estufa, que traz várias consequências negativas para a população. Segundo PINTO (2018) atualmente os combustíveis fósseis são os mais utilizados para geração de energia em muitos países, os quais vem sendo esgotados em uma taxa acelerada, dificultando o atendimento da demanda de energia para os próximos anos.

Sendo assim, se faz necessário o desenvolvimento de novas fontes de energia limpas para solucionar este problema, logo a energia solar pode ser aplicada nesse conceito, visto que é abundante e livre de emissões de gases do efeito estufa.

A energia solar fotovoltaica é regulamentada pela Norma ABNT NBR 16690, a qual estabelece os requisitos de projeto das instalações elétricas de arranjos fotovoltaicos, incluindo disposições sobre os condutores, dispositivos de proteção elétrica, dispositivos de manobra, aterramento e equipotencialização do arranjo fotovoltaico (ABNT, 2020).

2.2 O potencial solar brasileiro:

De acordo com PINTO (2018) o Brasil por estar localizado em sua maior parte na região intertropical, possui um grande potencial para gerar energia solar o ano todo, mesmo tendo regiões com menores índices de radiação, existe grande possibilidade de aproveitamento energético.

PINTO (2018) entende que a utilização da energia solar proporciona muitos benefícios a longo prazo para o país, visto que ela viabiliza o desenvolvimento de regiões remotas, oferece outras soluções de energia em períodos de estiagem e ainda diminui a dependência do petróleo, reduzindo assim a emissão de gases poluentes na atmosfera.

2.3 Normas para autogeração de energia

De acordo com a Resolução Normativa 482 (ANEEL, 2012), tornou possível a autogeração de energia, a partir de definição de regras para a geração distribuída.

Sendo assim, foi permitido que ao consumidor brasileiro, seja ele pessoa física ou jurídica, tivesse a possibilidade de gerar sua própria energia para consumo, através da instalação de fontes renováveis ou cogeração qualificada e ainda fornecer o excedente da energia gerada para a rede distribuição de sua localidade.

2.4 Geração distribuída

Segundo Instituto Nacional de Eficiência Energética (INEE), é o termo utilizado para descrever o tipo de geração elétrica, seja ela próxima ou junto do consumidor, independente da tecnologia, fonte de energia e a potência gerada. As tecnologias da geração distribuída incluem:

Cogeradores, geradores que usam como fonte de energia resíduos combustíveis de processo, geradores de emergência, geradores para operação no horário de ponta, painéis fotovoltaicos e pequenas centrais hidrelétricas - PCH's.

Segundo o Portal Solar, o consumidor que deseja a autogeração de energia, precisa conhecer as regras da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), as quais possibilitaram que cerca de 449 mil pessoas no Brasil instalassem geradores solares fotovoltaicos para a produção energia para consumo próprio.

Ainda o Portal Solar, entende que as regras da ANEEL podem ser utilizadas por usuários residenciais e comerciais, que podem conectar o gerador à rede distribuidora local, assim injetando a energia produzida, a qual poderá ser transformado em créditos energéticos, que são compensados na conta de luz, caso a produção de energia seja maior do que a energia consumida.

2.5 Pontos importantes da resolução normativa n.º 482 da aneel

Destacam-se quatro pontos essenciais da geração de energia solar pelo consumidor, de acordo com a RESOLUÇÃO NORMATIVA 482 (ANEEL,2012) também revisados na RESOLUÇÃO NORMATIVA N.º 687 (ANEEL,2015) são eles:

- a) Micro e minigeração de energia;
- b) O Sistema de Compensação de Energia Elétrica;
- c) Dimensionamento dos sistemas entre os grupos de consumidores;
- d) Taxa mínima cobrada para cada grupo de consumidor.

2.5.1 - Microgeração e Minigeração de Energia

O termo micro e minigeradores é relacionado da potência na autogeração de energia solar, de acordo com a RESOLUÇÃO NORMATIVA N.º 687 (ANEEL, 2015), os ditos os geradores solares instalados hoje são classificados em:

- a) Microgeração** – central geradora de energia elétrica, com potência instalada menor ou igual a 75 kW (quilowatts);
- b) Minigeração** – central geradora de energia elétrica potência instalada maior a 75 kW e menor ou igual a 5 MW (megawatts).

2.5.2 - O Sistema de Compensação de Energia Elétrica

Segundo a RESOLUÇÃO NORMATIVA N.º 687 (ANEEL, 2015), é o sistema o qual a energia gerada por uma unidade consumidora, podendo ser do tipo microgeração ou minigeração, tem sua energia ativa injetada na rede do distribuidor local, a dita energia poderá ser compensada futuramente com o consumo de energia elétrica através de créditos de energia.

O consumidor que possuir créditos de energia, poderá utilizá-los durante um período de até 60 meses.

2.5.3 - Dimensionamento dos sistemas entre os grupos de consumidores

O dimensionamento da energia solar distribuída, segundo a RESOLUÇÃO NORMATIVA N.º 482, estão agrupados da seguinte forma:

Grupo A – Consumidores que utilizam alta tensão (grandes empresas e indústrias), logo a potência do gerador que será instalado é limitada à demanda contratada na conta de energia elétrica da unidade consumidora.

Grupo B – Consumidores que utilizam baixa tensão (casas e estabelecimentos comerciais de pequeno porte), tendo a potência das centrais limitadas à carga instalada por unidade.

2.5.4 - Taxa mínima cobrada para cada grupo de consumidor

De acordo com a RESOLUÇÃO NORMATIVA N.º 482 (ANEEL, 2012), mesmo que a energia gerada pelo consumidor atenda a demanda de sua residência ou comércio, ele terá que pagar uma taxa mínima de uso e disponibilidade da rede elétrica pública.

A dita taxa é aplicada em função de o sistema de autogeração precisar usar a rede da distribuidora. Logo, as taxas de manutenção e reparo das linhas devem ser pagas pelo cliente.

Essa taxa mínima é calculada de acordo com o grupo de consumidores.

Grupo A: é cobrado um valor mínimo que se refere à demanda contratada, uma vez que há a chance de a produção atender completamente o consumo de energia elétrica. Com isso, não haverá valores excedentes para serem cobrados (RESOLUÇÃO NORMATIVA 482, 2012).

Grupo B: os consumidores do grupo B recebem uma cobrança mínima que corresponde ao valor da disponibilidade de acesso à rede, nas situações em que não existir consumo ativo faturado (RESOLUÇÃO NORMATIVA 482, 2012).

2.5.5 - Revisão da Resolução Normativa 482 da ANEEL

É importante estar atento não só às particularidades da Resolução Normativa 482, como também da Resolução Normativa 687/2015, visto que ela foi responsável por alterar e melhorar alguns pontos da resolução 482/2012.

O processo de revisão da Resolução Normativa 482 foi realizado em função dos avanços da geração distribuída nos últimos anos, e suas respectivas melhorias

ao modelo do sistema de compensação de créditos, visando o crescimento do sistema de geração distribuída de uma maneira sustentável.

2.6 - Resolução 687 da ANEEL para geração distribuída - novas modalidades

A Resolução Normativa nº 687, publicada pela ANEEL, teve como objetivo revisar e melhorar a regulamentação do segmento de geração distribuída, tendo como destaque a criação de três modalidades, são eles:

Empreendimento com múltiplas unidades de consumo, geração compartilhada e autoconsumo remoto.

2.6.1 - Empreendimento Com Múltiplas Unidades Consumidoras

Esse modelo permite a instalação de um sistema autogerador de energia em um condomínio, o qual dispõe de um sistema central que pode gerar energia tanto para cada morador quanto para áreas de uso comum, desde que as unidades consumidoras estejam na mesma propriedade (RESOLUÇÃO NORMATIVA N.º 687, 2015).

2.6.2 - Geração Compartilhada

É caracterizada pela formação de um grupo de consumidores dentro da mesma área de concessão, que tem interesse comum na instalação de um sistema autogeração, sendo eles, pessoas físicas ou jurídicas, que possuam unidade de micro ou minigeração distribuída as quais a energia gerada em excedente será compensada. (RESOLUÇÃO NORMATIVA N.º 687, 2015).

2.6.3 - Autoconsumo remoto

Esta modalidade é caracterizada por unidades consumidoras de titularidade de pessoa física ou jurídica, que tenha um sistema de autogeração de micro ou minigeração em local diferente da sua unidade consumidora, logo a energia gerada poderá ser compensada para o imóvel em outro local que o consumidor desejar, desde que esteja dentro da mesma área de concessão da distribuidora (RESOLUÇÃO NORMATIVA N.º 687, 2015).

2.7 – Projetos Fotovoltaicos

De acordo com BALFOUR (2013) a energia solar pode ser utilizada para diversas finalidades, entre elas: Fornecer energia para empresas, residências e cidades, sistemas purificação de água, sistemas de irrigação e monitoramento ambiental.

Tendo como principais vantagens:

- a) Equipamentos mais confiáveis – Sistemas menos propensos a sofrerem com falhas elétricas;

- b) Baixo custo de operação e manutenção – O sistema tem como característica baixo custo de manutenção e operacionais, o que faz com que tenham uma boa relação custo benefício e retorno do investimento;

Principais desvantagens:

- a) Investimento inicial – custo inicial de aquisição e instalação elevados;
- b) Práticas de conservação de energia - Há necessidade adoção de um consumo de energia conservador com o intuito de gerar mais economia financeira.

2.7.1 – Tipos de instalações fotovoltaicas

As instalações fotovoltaicas podem ser divididas em duas grandes famílias, instalações isoladas e instalações conectadas a rede. (VIAN A, et al., 2021)

Instalações isoladas (Off-grid) – Instalações que não são conectadas a rede de distribuição, logo a energia produzida é consumida no local. Este tipo de sistema por não estar conectado à rede, atua no acumulo de energia a qual poderá ser utilizada no período da noite, em dias de chuva ou de irradiação insuficiente. (VIAN A, et al., 2021).

Instalações conectadas a rede (On-grid) – Instalações que são conectadas a rede de distribuição, tendo a energia gerada para consumo próprio e o excedente pode ser injetado na rede de distribuição. (VIAN A, et al., 2021).

2.7.2 – Componentes de um projeto fotovoltaico (on-grid)

Os projetos de sistemas fotovoltaicos são personalizados de acordo com as condições ambientais e localidade as quais serão instalados, segundo BALFOUR (2013) estes fatores influenciam diretamente no tipo de sistema necessário e desempenho. Os principais componentes de um sistema fotovoltaico do tipo on-grid são:

- a) Células fotovoltaicas – São finas secções de material semicondutor, as quais reagem que a incidência solar, gerando tensão e corrente elétrica.
- b) Módulos ou painéis fotovoltaicos – Agrupamento de células fotovoltaica interligadas em série ou em paralelo, que tem como objetivo fornecer tensão e corrente elétrica.
- c) Inversor – Tem como principal função, converter a energia gerada em corrente contínua (CC) gerada pelos módulos e converter em energia em corrente alternada (CA).
- d) Cabeamento – São os cabos elétricos ou condutores, que tem como principal função interligar o sistema elétrico.
- e) Protetor contra surtos – Dispositivo que atua com o objetivo de proteção do circuito elétrico contra curto circuitos e fugas de energia.

3. METODOLOGIA

3.1 – Dimensionamento de Projetos Fotovoltaicos

3.1.1 – Como proceder com o dimensionamento.

De acordo com WEG SOLAR TECH-NEWS (WEG,2022), para iniciar o dimensionamento, é necessário realizar o somatório do consumo de energia em um período de 12 meses e calcular a média conforme Figura 1, apresentada abaixo.

Figura 1 – Cálculo de consumo médio kWh

$$\frac{\sum_{jan}^{dez} \left(\text{Consumo em } \frac{kWh}{\text{Mês}} \right)}{12}$$

Fonte: (Weg Solar Tech-News, 2022)

3.1.2 – Analisar as coordenadas do local de instalação

A pesquisa das coordenadas deve ser realizada para que os dados solarimétricos, tais como: irradiação global inclinada e irradiação global horizontal sejam levantados, os quais serão utilizados no dimensionamento das placas fotovoltaicas, conforme exemplo da Figura 2. (Weg Solar Tech-News,2022)

Figura 2 – Irradiação Solar do local de instalação

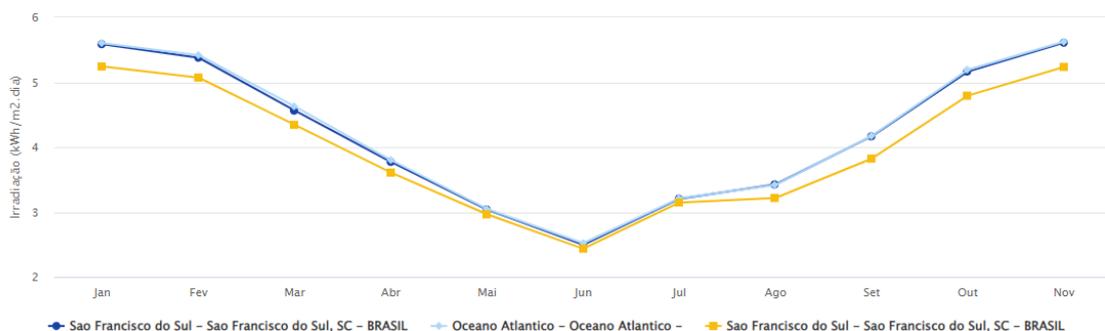
Localidades próximas

Latitude: 26,152075° S
Longitude: 48,592347° O

#	Estação	Município	UF	País	Irradiação solar diária média [kWh/m ² .dia]													Média	Delta			
					Latitude [°]	Longitude [°]	Distância [km]	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out			Nov	Dez	
<input checked="" type="checkbox"/>	Sao Francisco do Sul	Sao Francisco do Sul	SC	BRASIL	26,201° S	48,549° O		7,0	5,59	5,38	4,56	3,77	3,04	2,50	2,55	3,21	3,43	4,17	5,16	5,61	4,08	3,11
<input checked="" type="checkbox"/>	Oceano Atlantico	Oceano Atlantico			26,101° S	48,549° O		7,1	5,60	5,42	4,63	3,80	3,05	2,52	2,54	3,21	3,42	4,17	5,19	5,63	4,10	3,11
<input checked="" type="checkbox"/>	Sao Francisco do Sul	Sao Francisco do Sul	SC	BRASIL	26,201° S	48,649° O		7,9	5,24	5,07	4,34	3,61	2,97	2,44	2,50	3,15	3,22	3,82	4,79	5,24	3,86	2,81

Irradiação Solar no Plano Horizontal para Localidades próximas

26,152075° S; 48,592347° O



Fonte:(CRESESB, 2022)

3.1.3 – Analisar a área de instalação dos módulos:

Pontos importantes a serem analisados são: o tipo de estrutura onde o projeto será instalado, posicionamento do telhado e sua face em relação ao sol, se tem obstáculos que possam causar sombras e a área total disponível para a instalação dos módulos. (Weg Solar Tech-News,2022)

3.1.4 – Dimensionamento Fotovoltaico:

Para o dimensionamento da potência fotovoltaica, deve ser utilizado a seguinte fórmula apresentada abaixo na Figura 3. (Weg Solar Tech-News,2022).

Figura 3 – Dimensionamento da potência fotovoltaica desejada

Cálculo

$$P_{fv} = \frac{E \times G_{STC}}{H_{TOT} \times TD}$$

Diagrama explicativo da fórmula:

- E : Energia média desejada (kWh/mês)
- G_{STC} : Constante (1 kW/m²)
- H_{TOT} : Irradiação (kWh/m²/dia x 30 dias)
- TD : Taxa de Desempenho (%)

Potência Fotovoltaica Real (kWp) → P_{fv}

Fonte: (Weg Solar Tech-News, 2022)

3.1.5 – Cálculo para o número de módulos utilizados:

Para o cálculo do número de módulos, deve ser utilizado a seguinte fórmula apresentada abaixo através da Figura 4.

Figura 4 – Cálculo do n.º de módulos

$$n_{mod} = \frac{P_{fv}}{P_{mod}}$$

Diagrama explicativo da fórmula:

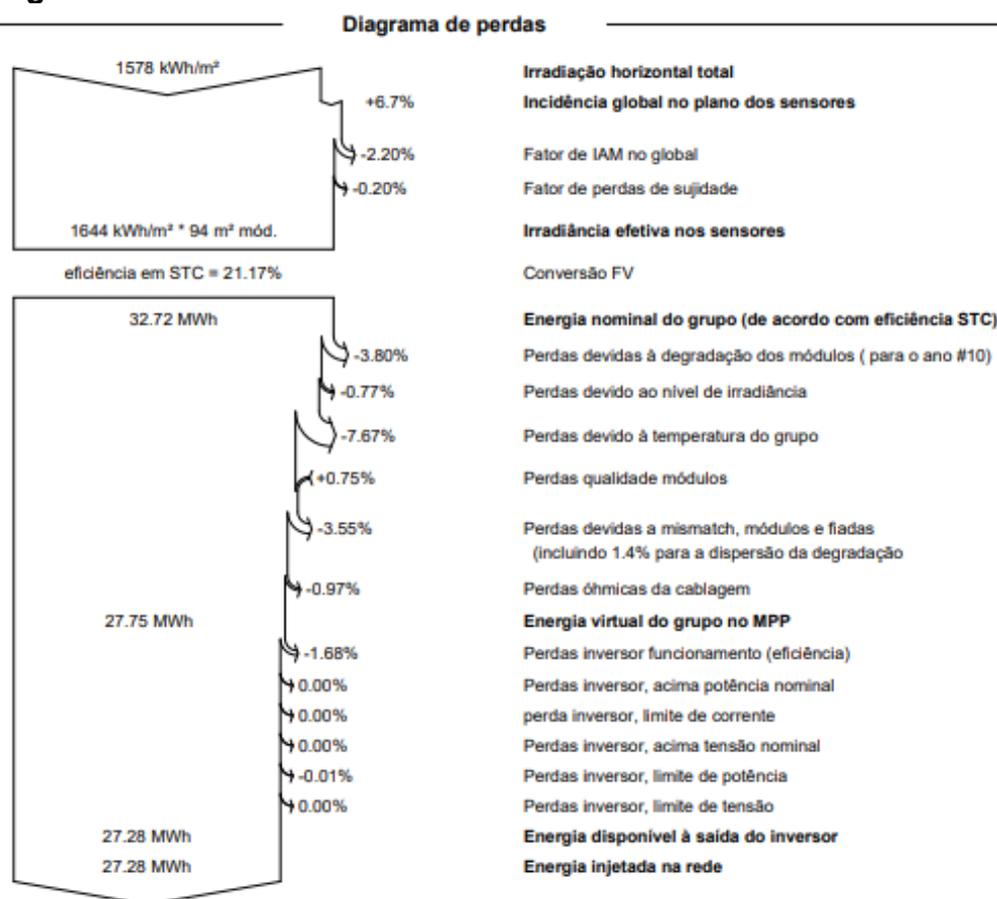
- P_{fv} : Potência FV calculada (kWp)
- P_{mod} : Potência de 1 módulo (Wp)

Fonte: (Weg Solar Tech-News, 2022)

3.1.6 – Cálculo de perdas no sistema fotovoltaico

De acordo com a Figura 5, é utilizado uma perda de aproximadamente 20% nos sistemas fotovoltaicos, logo os cálculos que utilizam o rendimento do sistema, são calculados com um fator de rendimento de 80%. (PVSYST,2022)

Figura 5 – Perdas nos sistemas fotovoltaicos



Fonte: (Elaborado pelos Autores, 2022)

3.1.7 – Escolha e validação do inversor:

A escolha do inversor deve ser de acordo com as grandezas e características do sistema fotovoltaico definido, para que isso ocorra, deve-se fazer uma análise do datasheet do inversor para identificar a sua potência máxima, a corrente máxima e as faixas de tensões de operação do sistema fotovoltaico projetado, as quais serão suportados pelo dito inversor. (Weg Solar Tech-News,2022)

3.1.8 – Software PVsyst:

De acordo com a própria PVSYST (2022), o software foi desenvolvido para a elaboração de projetos fotovoltaicos, e pode ser utilizado por engenheiros, arquitetos e pesquisadores. Tem como característica ser um software educativo, autoexplicativo através de menus de auto ajuda, se tornando uma plataforma amigável a qual dispõe de dados meteorológicos muito importantes para a elaboração ou simulação de um projeto fotovoltaico.

3.2 – Dimensionamento do sistema fotovoltaico

O projeto iniciou após a avaliação do perfil de consumo do cliente, sendo realizado uma análise de três faturas de energia, a de uma indústria moveleira (onde foram instalados os painéis), a de um escritório de advocacia e a de uma residência.

A análise mencionada foi feita referente ao período dos doze meses anteriores de cada fatura e em seguida realizado a média do kilowatt de consumo mensal das três faturas.

Sendo assim, o consumo médio mensal utilizado para a análise do projeto da indústria moveleira foi de 900 kWh, do escritório de advocacia 273,2 kWh e o da residência 321,5 kWh, tendo o consumo acumulado dos três imóveis um total de 1494,7 kWh mensal.

Logo foi realizado um acréscimo de 20% na potência por causa das perdas nos sistemas fotovoltaicos e também em função da diferença entre tarifa da energia de consumo aplicada e a tarifa de energia injetada na rede, portanto tivemos um consumo gerado de aproximadamente 1800 kWh/mês.

Em seguida foi realizado a consulta da irradiação solar média através do site da CRESESB, a qual a Figura 6 apresentou os dados médios de irradiação de acordo com as coordenadas do local, sendo assim foi escolhido a média de 3,86 (kWh/m²/dia), a média mais baixa das possibilidades, visando identificar os piores cenários de irradiação, para que o cálculo fosse o mais assertivo possível.

Figura 6 – Irradiação solar média

Localidades próximas																						
Latitude: 26,15316° S																						
Longitude: 48,592226° O																						
#	Estação	Município	UF	País	Irradiação solar diária média [kWh/m ² .dia]													Média	Delta			
					Latitude [°]	Longitude [°]	Distância [km]	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out			Nov	Dez	
✓	Sao Francisco do Sul	Sao Francisco do Sul	SC	BRASIL	26,201° S	48,549° O		6,9	5,59	5,38	4,56	3,77	3,04	2,50	2,55	3,21	3,43	4,17	5,16	5,61	4,08	3,11
✓	Oceano Atlantico	Oceano Atlantico			26,101° S	48,549° O		7,2	5,60	5,42	4,63	3,80	3,05	2,52	2,54	3,21	3,42	4,17	5,19	5,63	4,10	3,11
✓	Sao Francisco do Sul	Sao Francisco do Sul	SC	BRASIL	26,201° S	48,649° O		7,8	5,24	5,07	4,34	3,61	2,97	2,44	2,50	3,15	3,22	3,82	4,79	5,24	3,86	2,81

Fonte: (CRESESB, 2022)

Logo após iniciado o dimensionamento, primeiramente foi realizado o cálculo da potência total dos painéis conforme Figura 3, o qual foi dividido a geração média por dia e a constante 1kW pelo tempo de médio de exposição (horas/dia x 30) x o rendimento, tendo os resultados apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 – Cálculo de quantidade de potência dos painéis

Geração por mês (kWh)	Irradiação kWh/m ² /dia x 30 dias	Rendimento	Potência total dos painéis
1800	3,86 x 30 = 115,8	0,80	19,4

Fonte: (Elaborado pelos Autores, 2022)

Logo foi calculado o número de painéis, através do cálculo conforme Figura 4, tendo os resultados apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 – Cálculo de quantidade de painéis

Potência total dos painéis	Potência do painel	Quantidade de painéis
19,4	510	39

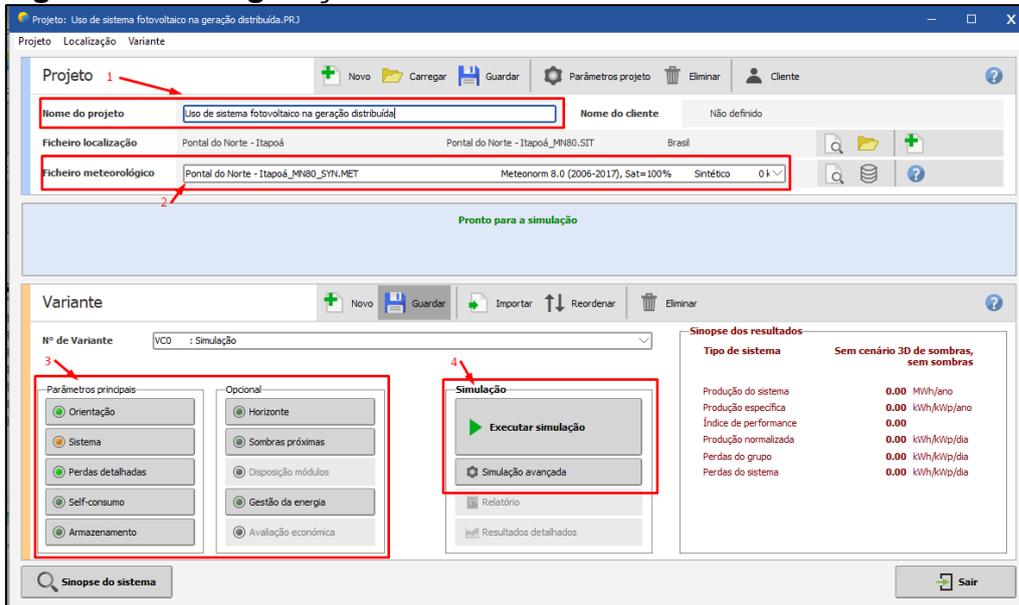
Fonte: (Elaborado pelos Autores, 2022)

3.2 – Dimensionamento do sistema fotovoltaico com a utilização do software PVsyst

Inicialmente, de acordo com a Figura 7, foi criado um novo projeto e nomeado (1) de acordo com sua finalidade, em seguida foi inserido a localização onde foi executado o projeto e importado os arquivos meteorológicos (2) que o software

dispõe. Feito isso foram inseridos os parâmetros principais do projeto (3), posteriormente foi executado a simulação (4).

Figura 7 – Configurações iniciais

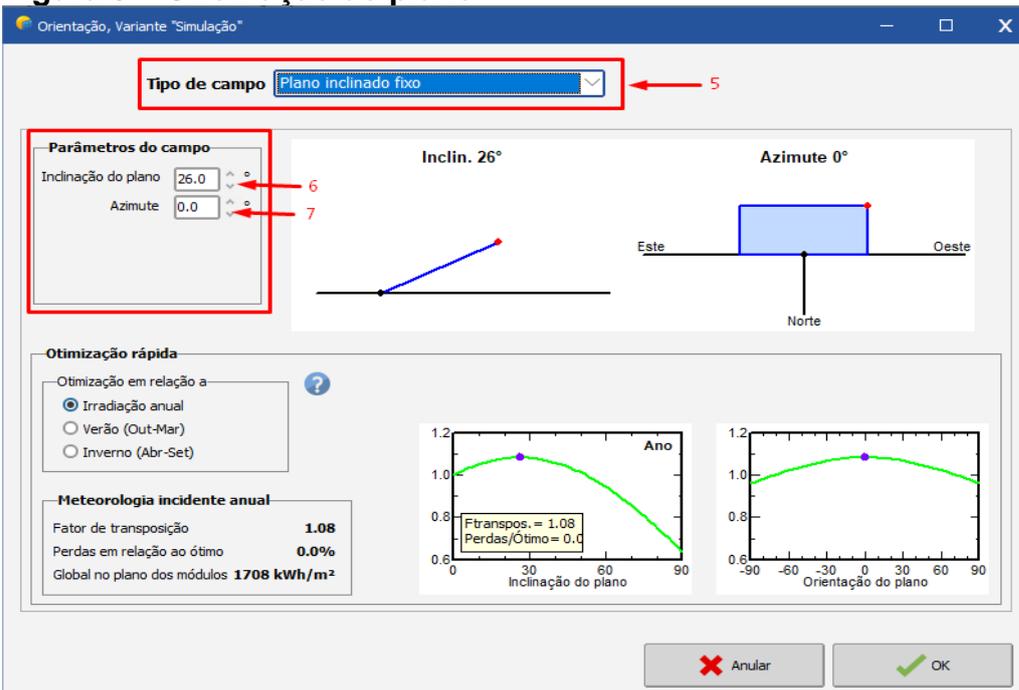


Fonte: (Elaborado pelos Autores, 2022)

3.2.1 – Parâmetros principais

Primeiramente foi configurado a orientação do plano (3), em seguida foi selecionado o tipo de plano (5) 'plano inclinado fixo', utilizado a inclinação do plano (6) de 26° de acordo com a latitude da localização utilizada e azimute (7) 0° de acordo com a face do telhado conforme a Figura 8.

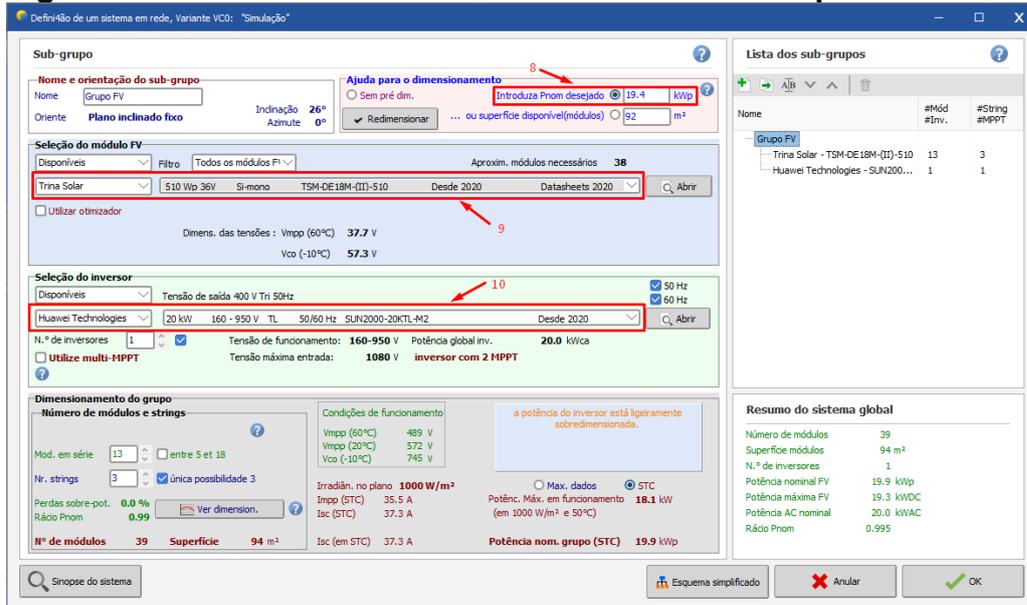
Figura 8 – Orientação do plano



Fonte: (Elaborado pelos Autores, 2022)

Seguindo o dimensionamento, foi utilizado a potência estimada calculada anteriormente de acordo com a eq.1, a qual foi inserido o valor no campo 'Introduza Pnom desejado (kWp)' (8) conforme Figura 9. Após a definição da potência desejada, o software dimensiona o sistema automaticamente, dando o modelo de painel, inversor e suas respectivas quantidades, porém foram escolhidos os painéis TRINA SOLAR TSM-DE18M(II)-510 (9) disponível no mercado nacional e com maior eficiência possível, em seguida foi escolhido o inversor compatível com a potência fotovoltaica estimada (10).

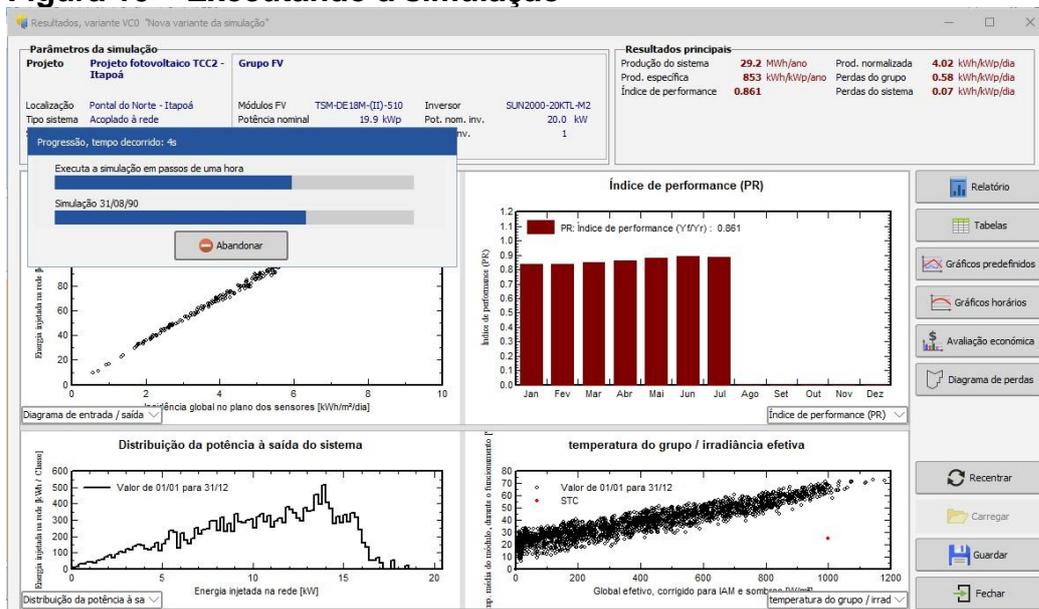
Figura 9 – Dimensionamento do sistema conforme a potência estimada



Fonte: (Elaborado pelos Autores, 2022)

Finalizado a configuração dos parâmetros principais, foi executado a simulação afim de se obter os resultados, os relatórios e os gráficos do dimensionamento do sistema, de acordo com a Figura 10.

Figura 10 – Executando a simulação



Fonte: (Elaborado pelos Autores, 2022)

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

O projeto visou atender o consumo dos dois empreendimentos e a residência, ambos citados anteriormente, que de acordo com as contas de energia elétrica fornecidas, foi estimado a média de consumo mensal de aproximadamente 1500 kWh/mês mais os 20% de perdas e diferenças entre tarifas, preço de energia consumida x a injetada, assim o consumo médio estimado ficou com 1800 kWh/mês.

O período de análise compreendeu os meses de abril de 2021 a março de 2022, junto a estes, foram apresentados os dados de irradiação solar da cidade de Itapoá exibidos na Figura 11, os quais foram extraídos a partir do site da CRESESB.

Ainda, a irradiação indicada foi a ideal, visto que o telhado onde as placas foram instaladas tinha orientação Norte ($Az=0^\circ$) e a inclinação igual a latitude da cidade de Itapoá, que é 26° .

Figura 11: Irradiação mensal da cidade de Itapoá

Localidades próximas																					
Latitude: 26,15316° S Longitude: 48,592226° O																					
#	Estação	Município	UF	País	Irradiação solar diária média [kWh/m ² .dia]																
					Latitude [°]	Longitude [°]	Distância [km]	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Média	Delta
<input checked="" type="checkbox"/>	Sao Francisco do Sul	Sao Francisco do Sul	SC	BRASIL	26,201° S	48,549° O	6,9	5,59	5,38	4,56	3,77	3,04	2,50	2,55	3,21	3,43	4,17	5,16	5,61	4,08	3,11
<input checked="" type="checkbox"/>	Oceano Atlantico	Oceano Atlantico			26,101° S	48,549° O	7,2	5,60	5,42	4,63	3,80	3,05	2,52	2,54	3,21	3,42	4,17	5,19	5,63	4,10	3,11
<input checked="" type="checkbox"/>	Sao Francisco do Sul	Sao Francisco do Sul	SC	BRASIL	26,201° S	48,649° O	7,8	5,24	5,07	4,34	3,61	2,97	2,44	2,50	3,15	3,22	3,82	4,79	5,24	3,86	2,81

Fonte: (Elaborado pelos Autores, 2022)

A Figura 12 apresentou um breve resumo da simulação, onde foi possível observar o resumo do projeto, o resumo do sistema e o resumo dos resultados, os quais foram apresentados os valores de energia produzida no decorrer de um ano, a produção específica e o índice de performance do sistema.

Figura 12 – Resumo do projeto

Projeto: Uso de sistema fotovoltaico na geração distribuída			
Variante: Simulação			
Resumo do projeto			
Localização geográfica Pontal do Norte - Itapoá Brasil	Localização Latitude -26.15 °S Longitude -48.59 °W Altitude 16 m Fuso horário UTC-3	Parâmetros projeto Albedo 0.20	
Dados meteorológicos Pontal do Norte - Itapoá Meteonorm 8.0 (2006-2017), Sat=100% - Sintético			
Resumo do sistema			
Sistema acoplado à rede Simulação para o ano n° 10	Sem cenário 3D de sombras, sem sombras		
Orientação do plano dos módulos Plano fixo Inclinação/Azimute 26 / 0 °	Sombras próximas Sem sombras	Exigências do consumidor Carga ilimitada (rede)	
Informação do sistema Grupo FV Número de módulos 39 unidades Pnom total 19.89 kWp	Inversores Número de unidades 1 Unidade Pnom total 20.00 kWca Rácio Pnom 0.995		
Resumo dos resultados			
Energia produzida 27.26 MWh/ano	Produção específica 1371 kWh/kWp/ano	Índice de perf. PR 81.36 %	

Fonte: (Elaborado pelos Autores, 2022)

Enquanto que Figura 13, mostrou com detalhes as características do sistema fotovoltaico, descrevendo detalhadamente o modelo, fabricante, potência estimada, quantidade, arranjo e área ocupada pelos painéis fotovoltaicos.

Figura 13 – Características do sistema fotovoltaico

Características do grupo FV			
Módulo FV		Inversor	
Fabricante	Trina Solar	Fabricante	Huawei Technologies
Modelo	TSM-DE18M-(II)-510	Modelo	SUN2000-20KTL-M2
(Parâmetros definidos pelo utilizador)		(Base de dados original do PVsyst)	
Potência unitária	510 Wp	Potência unitária	20.0 kWca
Número de módulos FV	39 unidades	Número de inversores	2 * MPPT 50% 1 units
Nominal (STC)	19.89 kWp	Potência total	20.0 kWca
Módulos	3 Strings x 13 Em série	Tensão de funcionamento	160-950 V
Em condições de func. (50°C)		Rácio Pnom (DC:AC)	
Pmpp	18.10 kWp	0.99	
Umpp	511 V		
I mpp	35 A		
Potência FV total		Potência total inversor	
Nominal (STC)	20 kWp	Potência total	20 kWca
Total	39 módulos	N.º de inversores	1 Unidade
Superfície módulos	94.0 m²	Rácio Pnom	0.99

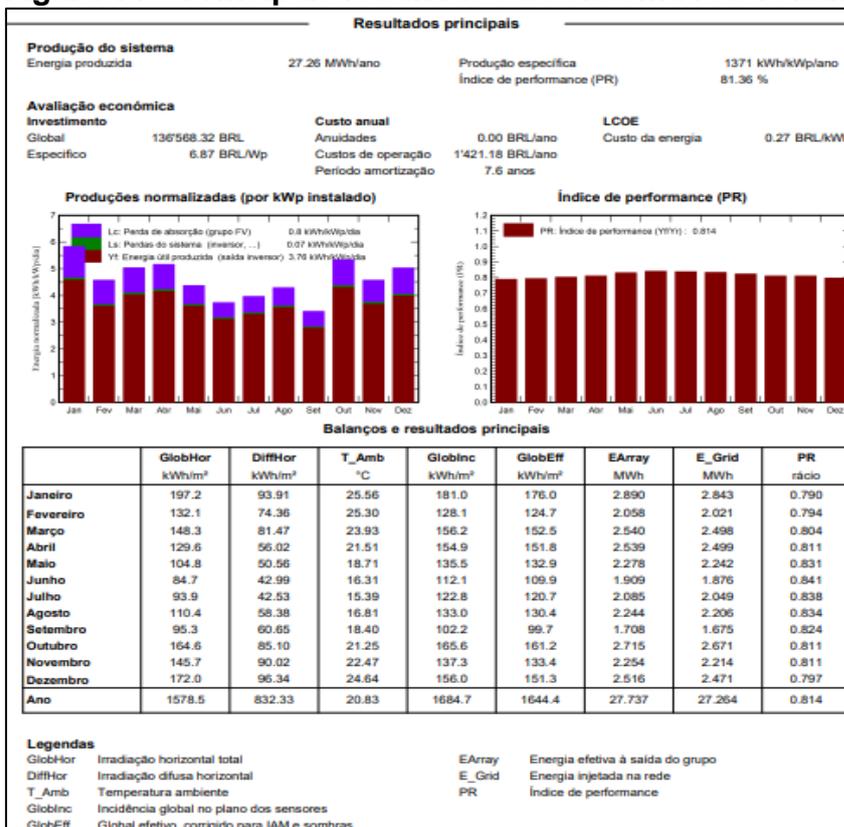
Fonte: (Elaborado pelos Autores, 2022)

Já a Figura 14, apresentou os dois principais indicadores do sistema dimensionado, sendo eles:

Energia incidente de referência: que apresentou uma média da irradiação mensal que incide sobre os painéis de acordo com sua a localização.

Índice de performance: que indicou uma média do rendimento mensal do sistema, que seria o quanto o sistema está gerando em relação a potência total instalada.

Figura 14 – Principais resultados do sistema fotovoltaico



Fonte: (Elaborado pelos Autores, 2022)

4.1 – Retorno do Investimento (*Payback*)

A Figura 15 exibiu os demonstrativos dos custos estimados do projeto, que tinha como objetivo mensurar o investimento frente ao retorno do capital investido.

Figura 15 – Custo do sistema

Custo do sistema			
Custos da instalação			
Item	Quantidade unidades	Custo BRL	Total BRL
Módulos FV			
TSM-DE18M-(II)-510	39	2'297.60	89'606.40
Inversores			
SUN2000-20KTL-M2	1	23'632.81	23'632.81
Outros componentes			
Acessórios, fixações	10	1'193.54	11'935.38
Cabos	200	12.14	2'428.00
Sistema de monitorização, ecrã de visualização	1	895.73	895.73
Sistema de proteção (Disjuntor, DPS)	1	655.20	655.20
Conectores	5	12.96	64.80
Instalação			
Custo da instalação completa, por módulo	39	150.00	5'850.00
Custo total da instalação por inversor	1	1'500.00	1'500.00
Total			136'568.32
Bem amortizável			125'174.59
Custos de operação			
Item			Total BRL/ano
Manutenção			
Limpeza			486.00
Total (OPEX)			486.00
Incluindo inflação (8.00%)			1'421.18
Resumo do sistema			
Custo total de instalação		136'568.32 BRL	
Custos de operação (incluindo inflação 8.00%/ano)		1'421.18 BRL/ano	
Energia produzida		27.3 MWh/ano	
Custo da energia produzida (LCOE)		0.274 BRL/kWh	

Fonte: (Elaborado pelos Autores, 2022)

Para a elaboração do projeto, foi considerado que os painéis tem uma garantia de 12 anos de defeito de fabricação e 25 anos de garantia de eficiência de geração acima de 84%, e o inversor tem garantia de defeito de fabricação de 10 anos, de acordo com o datasheet. Sendo assim o sistema teve uma amortização relativamente rápida e lucrativa, visto que ele se paga após um período aproximado de 7 anos e 7 meses, conforme indicado na Figura 16 de análise financeira.

Figura 16 – Análise Financeira (amortização)

Análise financeira								
Resultados económicos pormenorizados (BRL)								
	Venda de eletricidade	Custos de operação	Subsídio de amortização	Rendimento taxável	Impostos	Lucro depois do imposto	Lucro acumulado	% amortec.
2022	14'995	486	0	14'509	0	14'509	-122'059	10.6%
2023	16'098	525	0	15'573	0	15'573	-106'486	22.0%
2024	17'186	567	0	16'619	0	16'619	-89'867	34.2%
2025	18'259	612	0	17'647	0	17'647	-72'220	47.1%
2026	19'319	661	0	18'658	0	18'658	-53'562	60.8%
2027	20'364	714	0	19'650	0	19'650	-33'913	75.2%
2028	21'394	771	0	20'623	0	20'623	-13'290	90.3%
2029	22'410	833	0	21'577	0	21'577	8'287	106.1%

Fonte: (Elaborado pelos Autores, 2022)

A Figura 17 apresenta a análise financeira completa, a qual pode ser observado uma projeção de lucro de R\$ 500.843,00, dentro do período de vida útil dos módulos fotovoltaicos.

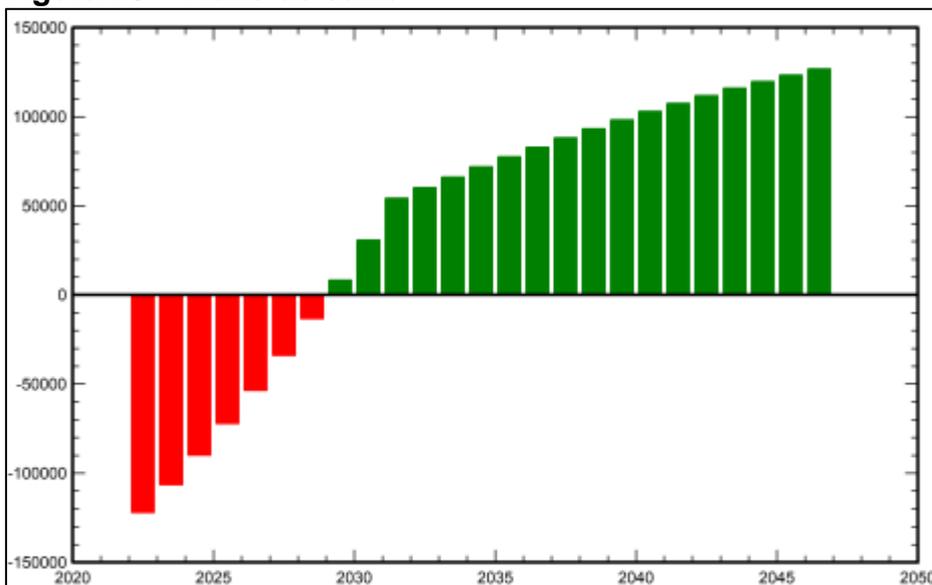
Figura 17 - Análise Financeira (completa)

Análise financeira								
Resultados econômicos pormenorizados (BRL)								
	Venda de eletricidade	Custos de operação	Subsídio de amortização	Rendimento taxável	Impostos	Lucro depois do imposto	Lucro acumulado	% amortec.
2022	15'005	486	0	14'519	0	14'519	-122'048	10.6%
2023	16'108	525	0	15'583	0	15'583	-106'466	22.0%
2024	17'197	567	0	16'630	0	16'630	-89'836	34.2%
2025	18'271	612	0	17'659	0	17'659	-72'177	47.1%
2026	19'331	661	0	18'670	0	18'670	-53'507	60.8%
2027	20'377	714	0	19'663	0	19'663	-33'845	75.2%
2028	21'408	771	0	20'637	0	20'637	-13'208	90.3%
2029	22'425	833	0	21'592	0	21'592	8'384	106.1%
2030	23'427	900	0	22'527	0	22'527	30'911	122.6%
2031	24'415	972	0	23'443	0	23'443	54'354	139.8%
2032	25'388	1'049	0	24'339	0	24'339	78'693	157.6%
2033	26'347	1'133	0	25'214	0	25'214	103'908	176.1%
2034	27'292	1'224	0	26'068	0	26'068	129'976	195.2%
2035	28'222	1'322	0	26'901	0	26'901	156'877	214.9%
2036	29'138	1'427	0	27'711	0	27'711	184'588	235.2%
2037	30'040	1'542	0	28'498	0	28'498	213'086	256.0%
2038	30'927	1'665	0	29'262	0	29'262	242'348	277.5%
2039	31'800	1'798	0	30'001	0	30'001	272'349	299.4%
2040	32'658	1'942	0	30'716	0	30'716	303'065	321.9%
2041	33'502	2'097	0	31'404	0	31'404	334'469	344.9%
2042	34'331	2'265	0	32'066	0	32'066	366'535	368.4%
2043	35'146	2'446	0	32'700	0	32'700	399'235	392.3%
2044	35'947	2'642	0	33'305	0	33'305	432'540	416.7%
2045	36'733	2'854	0	33'880	0	33'880	466'420	441.5%
2046	37'505	3'082	0	34'423	0	34'423	500'843	466.7%
Total	672'941	35'529	0	637'412	0	637'412	500'843	466.7%

Fonte: (Elaborado pelos Autores, 2022)

Um gráfico de fluxo de caixa (*cashflow*), pode ser analisado na Figura 18 abaixo, evidenciando que o investimento começa a se pagar a partir dos sete anos e sete meses.

Figura 18 – Fluxo de caixa



Fonte: (Elaborado pelos Autores, 2022)

A Figura 19 apresenta o inversor instalado no sistema fotovoltaico, conforme dimensionamento simulado no software PVsyst.

Figura 19 – Inversor de frequência



Fonte: (Elaborado pelos Autores, 2022)

A Figura 20 apresenta a medição de tensão uma *string* com treze módulos ligados em série, a qual estava gerando 635 volts no momento da medição.

Figura 20 – Medição de tensão de uma *string*



Fonte: (Elaborado pelos Autores, 2022)

A Figura 21 apresenta a medição de tensão de um módulo fotovoltaico, o qual estava gerando 48,08 volts no momento da medição.

Figura 21 – Medição de tensão de um módulo



Fonte: (Elaborado pelos Autores, 2022)

A Figura 22 apresenta a instalação dos módulos do projeto.

Figura 22 – Instalação dos módulos fotovoltaicos



Fonte: (Elaborado pelos Autores, 2022)

CONCLUSÕES

De acordo com o contexto atual de altas taxas aplicadas nas contas de energia, isto em função das bandeiras tarifárias, ocasionadas pela crise hídrica dos últimos anos. Entende-se que é viável a implantação do sistema fotovoltaico, uma vez que o retorno de investimento (*payback*) foi estimado em sete anos e sete meses, e que a validade do sistema é de 25 anos para os módulos fotovoltaicos, logo o projeto além de se pagar em um período relativamente baixo, gera uma economia estimada de aproximadamente R\$ 500.843,00, a Tabela 3 a seguir mostra o resumo da análise financeira.

Tabela 3 – Resumo da análise financeira

Investimento estimado	Payback (período de amortização)	Economia acumulada estimada dentro de 25 anos
R\$ 136.568,32	7 anos e 7 meses	R\$ 500.843,00

Fonte: (Elaborado pelos Autores, 2022)

Outra vantagem dos projetos fotovoltaicos, é que os mesmos apresentam características de baixo custo operacional e de manutenção segundo especialistas da área, devido a altas taxas de confiabilidade do sistema, sendo assim não geram muitos custos adicionais após o sistema implantado e para se manter operando.

Outro ponto é importante que, além do conhecimento teórico para o cálculo e dimensionamento de um sistema fotovoltaico, é necessário a utilização de um software, pois o mesmo possibilita o dimensionamento, validação, simulação, viabilidade, gráficos e os relatórios de um projeto, sem que haja necessidade de testes práticos e inibe custos adicionais em função de erros imprevistos.

Como sugestão de estudo futuro, fica aqui o incentivo de estudos de métodos de geração de energia através de sistemas fotovoltaicos híbridos, de forma que os sistemas consigam se manter em pleno funcionamento, mesmo com a falta de energia da rede da concessionária, o que o objeto de estudo deste artigo não atendeu.

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar queremos agradecer a Deus, pelos nossos objetivos alcançados, durante todos os nossos anos de estudos.

As nossas famílias, que nos incentivaram nos momentos difíceis e compreenderam a nossa ausência enquanto nos dedicávamos à realização deste trabalho.

Aos nossos professores da graduação por transmitirem os seus conhecimentos de nossa profissão.

À instituição de ensino Unisociesc, essencial em nosso processo de formação profissional ao longo dos anos do curso.

Às pessoas com quem convivemos ao longo desses anos de curso, que nos incentivaram e que certamente tiveram impacto na nossa formação acadêmica.

Ao Archimedes Lima Neto pela disponibilidade e troca de conhecimentos técnicos na execução deste artigo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA – ANEEL. **Brasil ultrapassa marca de 10 GW em micro e minigeração distribuída** <encurtador.com.br/emn23> Acesso 28 de set. 2022

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA – ANEEL. **RESOLUÇÃO NORMATIVA Nº 482**. 17 de abril de 2012.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA – ANEEL. **RESOLUÇÃO NORMATIVA Nº 687**. 4 de novembro de 2015.

ALMEIDA, Marcelo Pinho. **QUALIFICAÇÃO DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS CONECTADOS À REDE**. 2012. Universidade de São Paulo USP, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 16274**: Sistemas fotovoltaicos conectados à rede – Requisitos mínimos para a documentação, ensaios de comissionamento, inspeção e avaliação de desempenho. São Paulo: ABNT, 2014.

Balfour, John - **Introdução ao projeto de sistemas fotovoltaicos** / John Balfour, Michael Shaw, Nicole Bremer Nash ; Tradução Luiz Claudio de Queiroz Faria ; Revisão técnica Marco Aurélio dos Santos. – 1. ed. – [Reimpr.]. – Rio de Janeiro : LTC, 2019.

CRESESB Centro de Referência para as Energias Solar e Eólica Sérgio de S. Brito - **Potencial Solar - SunData v 3.0**. Disponível em <<http://www.cresesb.cepel.br/index.php?section=sundata>> Acesso 25 de nov. 2022.

G1 – O Globo - **Como seca histórica no Brasil traz risco de inflação e racionamento de energia**. Disponível em <<https://g1.globo.com/economia/noticia/2021/05/31/como-seca-historica-no-brasil-traz-risco-de-inflacao-e-acionamento-de-energia.ghtml>> Acesso 12 de nov. 2022.

INEE – INSTITUTO NACIONAL DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA – **O que é a geração distribuída**. Disponível em: <http://www.inee.org.br/forum_ger_distrib.asp> Acesso 16 de nov. 2022.

ONS – OPERADOR NACIONAL DO SISTEMA ELÉTRICO. **Nota à imprensa - esclarecimentos em relação à nota técnica sobre avaliação das condições de atendimento eletroenergético do sistema interligado nacional - estudo prospectivo junho a novembro de 2021**. Disponível em: <<http://www.ons.org.br/Paginas/Noticias/Nota-a-imprensa-Esclarecimentos-em-relacao-a-nota-tecnica-Avaliacao-das-Condicoes-de-Atendimento-Eletoenergetico-do-SIN.aspx>> Acesso 15 de nov. 2022.

Pinto, Milton de Oliveira - **Energia elétrica: geração, transmissão e sistemas interligados** / Milton de Oliveira - Pinto. - 1. ed. - [Reimpr.]. - Rio de Janeiro: LTC, 2018.

PORTAL SOLAR – ANEEL / **Energia Solar**. Disponível em <<https://www.portalsolar.com.br/aneel-energia-solar>> Acesso 16 de nov. 2022.

PVSYST PHOTOVOLTAIC SOFTWARE – **A powerful software for your photovoltaic systems.** Disponível em <<https://www.pvsyst.com/>> Acesso 25 de nov. 2022.

REVISTA POTÊNCIA. **Fatores que impulsionam a energia fotovoltaica.** Disponível em: <<https://revistapotencia.com.br/portal-potencia/energia/fatores-que-impulsionam-a-energia-fotovoltaica/>> Acesso 28 de set. 2022.

SCG – SUPERINTENDÊNCIA DE CONCESSÕES E AUTORIZAÇÕES DE GERAÇÃO. **Matriz Renováveis / Não Renováveis.** Disponível em: <<https://app.powerbi.com/view?r=eyJrIjoibjI4OGYyYjQtYWM2ZC00YjllLWJlYmEtYzdkNTQ1MTc1NjM2liwidCI6IjQwZDZmOWI4LWVjYTctNDZhMi05MmQ0LWVhNGU5YzAxNzBIMSIsImMiOiR9>> Acesso 13 de nov. 2022.

Vian A, Tahan CV, Robba EJ, Gouvêa MR, Gemignani MF, Moretti A, Coppa P - **A Energia Solar - Tecnologia e Regulação** editado em 2014, pela Editora Ofício das Palavras (2014 - ISBN-978-85).