

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE ENGENHARIA
CÂMPUS DE ILHA SOLTEIRA**

ÁLEX AUGUSTO ROCHA FORTUNATO

**ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÔMICA DE PROJETOS DE SISTEMAS
FOTOVOLTAICOS AUTÔNOMOS (*OFF-GRID*)**

**Ilha Solteira
2023**



ÁLEX AUGUSTO ROCHA FORTUNATO

**ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÔMICA DE PROJETOS DE SISTEMAS
FOTOVOLTAICOS AUTÔNOMOS (*OFF-GRID*)**

Trabalho de graduação apresentado à
Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira -
UNESP como parte dos requisitos para
obtenção do título de Engenheiro Eletricista.

Orientador: Prof. Dr. Carlos Antônio Alves

Ilha Solteira

2023

FICHA CATALOGRÁFICA

Desenvolvido pelo Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação

F745a Fortunato, Álex Augusto Rocha.
Análise de viabilidade econômica de projetos de sistemas fotovoltaicos autônomos (off-grid) / Álex Augusto Rocha Fortunato. -- Ilha Solteira: [s.n.], 2023
61 f. : il.

Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Elétrica - Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, 2023

Orientador: Carlos Antonio Alves

Inclui bibliografia

1. Estudo financeiro. 2. Banco de baterias. 3. Não conectado à rede. 4. Elaboração de projeto. 5. Zero-grid.

ATA DE DEFESA DE TRABALHO DE GRADUAÇÃO

Aos vinte e seis dias do mês de junho do ano de dois mil e vinte e três, o discente **Álex Augusto Rocha Fortunato**, matriculado sob o nº 161052533, tendo como banca examinadora o seu orientador, o Prof. Dr. Carlos Antonio Alves, o Prof. Dr. Jean Marcos de Souza Ribeiro e o Doutorando Rodrigo Serra Daltin, apresentou o Trabalho de Graduação intitulado "ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÔMICA DE PROJETOS DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS AUTÔNOMOS (OFF-GRID)", obtendo a nota NOVE E MEIO (9,5) e conceito APROVADO.



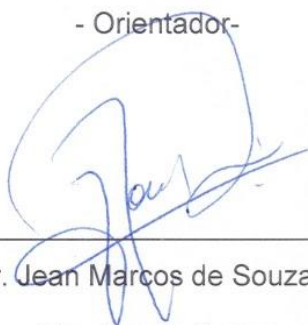
Prof. Dr. Carlos Antonio Alves

- Orientador -



Álex Augusto Rocha Fortunato

- Discente -



Prof. Dr. Jean Marcos de Souza Ribeiro

- Membro da Banca -



Doutorando Rodrigo Serra Daltin

- Membro da Banca -

AGRADECIMENTOS

Gostaria de expressar meus sinceros agradecimentos a minha família, por sempre estar ao meu lado me dando total apoio, suporte e compreendendo minhas ausências durante meu estudo.

Agradeço aos professores da Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira - FEIS, pelos ensinamentos a mim passados para a construção de meu conhecimento, e em especial ao meu orientador de estágio e de trabalho de graduação, Prof. Dr. Carlos Antônio Alves, por ter me acompanhado ao longo desta reta final do curso e na elaboração deste trabalho.

Agradeço também aos meus amigos da universidade e moradores de república, por terem caminhado comigo nesta jornada e terem me ajudado com conversas, momentos e ensinamentos, tanto técnicos como pessoais, neste período em que estivemos juntos. Espero um dia reencontrar todos eles novamente. A todos os mencionados ou a todos os outros que estiveram presentes ao longo dessa jornada, meu sincero agradecimento.

“O dia em que descobrirmos exatamente o que é a eletricidade,
isso irá marcar um evento provavelmente maior, mais importante
que qualquer outro na História da Humanidade.”

Tesla, Nikola.

RESUMO

Este trabalho tem como objetivo principal a análise financeira de um gerador fotovoltaico isolado com acúmulo de energia em uma localização hipotética sem acesso à rede de distribuição de energia elétrica. Por meio de uma abordagem técnica e analítica elucidou-se desafios e oportunidades associados ao projeto de um sistema fotovoltaico autônomo com baterias, desde seu projeto até a execução e instalação do mesmo, levando em consideração uma revisão detalhada das normas técnicas e regulamentações vigentes. Além disso, foram realizadas simulações computacionais, cálculos e verificações para o projeto considerando uma unidade consumidora residencial de potência e consumo médio estipulados, com uma detalhada análise financeira do custo de aquisição e instalação dos equipamentos gerador e armazenamento de energia. O projeto foi orçado e analisado financeiramente, referente ao ano de elaboração, revelando uma taxa de rendimento interna abaixo da taxa de referência, uma baixa expectativa de retorno financeiro e um *payback* de aproximadamente 15 anos.

Palavras-chave: estudo financeiro, banco de baterias, não conectado à rede, elaboração de projeto, *zero-grid*.

ABSTRACT

The main objective of this work is the financial analysis of an off-grid photovoltaic generator with energy accumulation in a hypothetical location without access to the electricity distribution network. Through a technical and analytical approach, challenges and opportunities associated with the design of an autonomous photovoltaic system with batteries were elucidated, from its design to its execution and installation, taking into account a detailed review of the technical standards and regulations in force. In addition, computer simulations, calculations and verifications were carried out for the project considering a residential consumer unit of stipulated power and average consumption, with a detailed financial analysis of the cost of acquisition and installation of generating and energy store equipment. The project was budgeted and financially analyzed, referring to the year of preparation, revealing an internal rate of return below the reference rate, a low expectation of financial return and a payback of approximately 15 years.

Keywords: financial study, battery bank, off-grid, project design, zero-grid.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	- Modelo de placa de advertência.....	21
Figura 2	- Meia célula monocristalina.....	22
Figura 3	- Diagrama elétrico de <i>String Box</i> 2E/2S.....	23
Figura 4	Componente <i>String Box</i> 2E/2S.....	24
Figura 5	- Conjunto fotovoltaico para instalação.....	25
Figura 6	- Diagrama elétrico de um inversor fotovoltaico CR.....	27
Figura 7	- Esquema Básico de um SFCR.....	28
Figura 8	- Esquema de um SFV zero exportação com medidor.....	29
Figura 9	- Esquema Básico de um SFV autônomo.....	31
Figura 10	- Tela inicial do programa <i>SOLergo</i>	37
Figura 11	- Localização e albedo do projeto.....	37
Figura 12	- Dados pessoais do cliente.....	38
Figura 13	- Dados pessoais do técnico responsável.....	39
Figura 14	- Consumo e perfil de carga.....	39
Figura 15	- Perfil de consumo de energia inserido.....	40
Figura 16	- Consumo e produção de energia.....	41
Figura 17	- <i>Layout</i> do projeto.....	41
Figura 18	- Importação de foto do local de instalação.....	42
Figura 19	- <i>Layout</i> 3D do local de instalação e orientação.....	42
Figura 20	- Dimensionamento do banco de baterias.....	43
Figura 21	- Componentes de geração do sistema.....	44
Figura 22	- Verificações elétricas do projeto.....	45
Figura 23	- Produção de energia em um ano.....	46
Figura 24	- Simulação energética do sistema.....	47

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Dados de HSP para cidade de Ribeirão Preto.....	33
Tabela 2 - Dados técnicos dos circuitos e condutores do SFV.....	48
Tabela 3 - SFV de 4,32 kWp e acúmulo de energia de 14 kWh.....	50
Tabela 4 - Valores considerados na análise financeira.....	51
Tabela 5 - Análise financeira do SFV 4,32 kWp ao longo de 20 anos.....	52
Tabela 6 - Valor Presente Líquido e Taxa e Interna de Retorno.....	53

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
CA	Corrente Alternada
CC	Corrente Contínua
CMA	Consumo Médio Anual
CMD	Consumo Médio Diário
CMM	Consumo Médio Mensal
CR	Conectado à Rede
CRESESB	Centro de Referência para Energias Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito
CPFL	Companhia Paulista de Força e Luz
DoD	Profundidade de Descarga (<i>Depth of Discharge</i>)
DPS	Dispositivo de Proteção Contra Surtos
EBANCO	Energia do Banco de Baterias
GD	Geração Distribuída
GED	Gerenciamento Eletrônico de Documentos
HSP	Horas de Sol Pleno
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IEC	Comissão Eletrotécnica Internacional (<i>International Electrotechnical Commission</i>)
INMETRO	Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia
IP	Proteção de Ingresso (<i>Ingress Protection</i>)
IPCA	Índice Nacional de Preços ao Consumidor Amplo
MC4	Conector padrão fotovoltaico
MPPT	Rastreamento de Ponto de Máximo de Potência (<i>Maximum Power Point Tracking</i>)
NBR	Norma Brasileira
NM	Número de Módulos
PMOD	Potência do Módulo
PP	Potência Pico
SFV	Sistema Fotovoltaico
SFCR	Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede

SPDA	Sistema de Proteção Contra Descargas Atmosféricas
STC	Teste em Condição Padrão (<i>Standard Test Condition</i>)
TMA	Taxa Mínima de Atratividade
TIR	Taxa Interna de Retorno
UC	Unidade Consumidora
Vca	Tensão alternada
Vcc	Tensão contínua
VPL	Valor Presente Líquido
Wp	<i>Watts</i> Pico
WWF	<i>World Wide Fund For Nature</i>

SUMÁRIO

1 - INTRODUÇÃO	13
1.1 - Objetivos e hipóteses deste estudo	14
2 - LEGISLAÇÃO E NORMAS TÉCNICAS PARA SISTEMAS FOTOVOLTAICOS	16
2.1 - Legislação Regulamentadora	16
3 - COMPOSIÇÃO DE UM SISTEMA FOTOVOLTAICO	21
3.1 - Módulos Fotovoltaicos	22
3.2 - Caixa de Junção CC (String-box)	23
3.3 - Outros Componentes	24
3.4 - Inversores de Frequência	26
3.5 - Tipos de Sistemas Fotovoltaicos	27
3.5.1 - Sistemas Fotovoltaicos Conectados à rede	27
3.5.2 - Sistemas Fotovoltaicos com Zero Exportação	29
3.5.3 - Sistemas Fotovoltaicos Autônomos e Baterias	29
4 - METODOLOGIA E SOFTWARE DE SIMULAÇÃO DO SFV AUTÔNOMO	32
4.1 - Metodologia	32
4.2 - Software SOLergo de Simulação Computacional	36
4.3 - Condutores e dispositivos de proteção para o SFV	48
5 - ESTIMATIVA DE CUSTO E ANÁLISE FINANCEIRA	50
5.1 - Valor Presente Líquido, Taxa Interna de Retorno e Payback	52
5.2 - Alternativas ao projeto apresentado	54
6 - CONCLUSÃO	55
REFERÊNCIAS	56
ANEXO A - Folha de dados do módulo BYD540MLK-36	59
ANEXO B - Folha de dados do inversor BYD-S-1P5K-2M-H	60
ANEXO C - Folha de dados BYD B-BOX LV	61

1 - INTRODUÇÃO

A proporção continental do Brasil provoca a presença de uma diversidade de climas, biomas e relevo, tais características acabam também acarretando grandes desafios no fornecimento de energia elétrica através de grandes fontes geradoras, como, por exemplo, hidrelétricas. Tais fontes têm sido e ainda são nossa principal fonte geradora por algumas décadas segundo a Empresa de Pesquisa Energética (2022), as quais necessitam de infraestrutura para que possam transmitir e distribuir toda sua energia, o que acarreta em maiores custos para o consumidor final (BOAS, 2022). Os custos de produção de energia podem aumentar durante grandes períodos de estiagem, nos quais as hidrelétricas não conseguem suprir toda a carga, recorrendo-se a outras fontes como termelétricas, que possuem custos de operação mais elevados de produção de energia.

O desafio do acesso à eletricidade, da população brasileira, tem sido superado com o passar do tempo, com altas taxas de acessibilidade na maioria das regiões do país, porém com menores índices presentes na região norte (IBGE Censo, 2019). Ao mesmo tempo, segundo o IBGE, o objetivo do Brasil é a geração de energia limpa e acessível, com a meta de até 2030 assegurar o acesso universal, confiável, moderno e a preços acessíveis aos serviços de energia. Considerando os ideais e premissas da engenharia, de melhorar processos e a vida do ser humano, surge a busca por meios de colaborar com o desenvolvimento e superar os desafios de geração e transmissão de energia.

A escolha por novas fontes de geração de energia elétrica, deve considerar as características naturais do nosso país e objetivando alternativas sustentáveis. Um fator importante a ser levado em consideração nesse tópico é que, de acordo com o centro de referência CRESESB, por meio do Atlas Solarimétrico do Brasil, a posição geográfica próxima à Linha do Equador e a vasta dimensão territorial, favorece o país a receber altas taxas de irradiação solar durante o ano (CRESESB, 2000). Outro fator que corrobora com a diversificação da matriz energética em paralelo com nossas grandes centrais hidrelétricas e linhas de transmissão, é a geração distribuída (GD) de energia elétrica, uma tendência que vem se consolidando nos últimos tempos (WWF BRASIL, 2020).

Segundo a WWF Brasil (2020), existiam 237 localidades isoladas no país, principalmente na região norte, que possuem um baixo consumo e representam menos de 1% da carga total do Brasil. O fornecimento elétrico nestas regiões acontece principalmente por térmicas a óleo diesel, sendo dependentes desta matéria prima e enfrentando diversas dificuldades em tarefas cotidianas. Com tal demanda, em parceria com a Fundação Mott, o WWF Brasil até realizou pesquisas com dez projetos recentemente desenvolvidos para fomentar iniciativas de energia renovável isolada nestas comunidades (WWF BRASIL, 2020).

Desse modo, a busca por geração de eletricidade tende a ser menos agressiva ao meio ambiente possível, e consequentemente evitem emissões de gás carbônico, um dos gases que mais contribui para o aumento do efeito estufa em nosso planeta. Este fato por si só diverge da proposta pela geração de eletricidade por motores a combustão, um dos métodos mais populares para suprir demandas, em regiões de difícil acesso à eletricidade. Outro fator importante é que esses geradores a combustão, utilizam combustíveis fósseis, ou seja, não são fontes renováveis a longo prazo, contribuindo para a busca por fontes alternativas.

Desta forma, a escolha pela geração própria de eletricidade através de sistemas fotovoltaicos (SFVs), se torna plausível, uma vez que se enquadra nas características desejáveis já mencionadas. Existe a possibilidade da geração fotovoltaica ser integrada ou não às redes de distribuição já presentes no sistema elétrico do país. No caso de não ser, o sistema de geração pode contar com a presença de acumuladores de energia, para que a demanda possa ser suprida em momentos de baixa ou nenhuma incidência solar.

1.1 - Objetivos e hipóteses deste estudo

Este trabalho tem como objetivo analisar a viabilidade econômica de projetos de sistemas fotovoltaicos autônomos, levando em consideração unidades consumidoras (UCs) onde o acesso à eletricidade ainda é de alto custo ou inexistente. Como um dos objetivos do país é o acesso universal à eletricidade, os SFVs autônomos devem estar preparados para serem conectados à uma possível futura rede de distribuição, sendo capazes de gerar energia nas duas situações e seguirem normas vigentes ao acesso de microgeração ou minigeração distribuída.

Para que seja possível este estudo, será considerado uma UC de tipo residencial hipotética no estado de São Paulo, que poderá futuramente ser atendida pela concessionária de energia CPFL Paulista, do grupo CPFL Energia, a qual tem como norma técnica regulamentadora para a geração distribuída em média ou baixa tensão, a GED 15303 (CPFL - GED 15303, 2022), levando também em consideração a atual legislação vigente em 2022, a ABNT NBR 16690 (ABNT - NBR 16690:2019, 2019) e por fim a ABNT NBR 16767:2019, que aborda a regulamentação sobre elementos e baterias estacionárias para Sistemas Fotovoltaicos Autônomos (ABNT NBR 16767:2019, 2019). Desta forma, pode-se iniciar os estudos considerando as normas citadas que determinam recomendações e obrigações neste tipo de projeto.

2 - LEGISLAÇÃO E NORMAS TÉCNICAS PARA SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

As legislações e normas desempenham um papel crucial na organização e regulamentação de diversas áreas da sociedade. Elas são estabelecidas para garantir a segurança, a qualidade e padronização de produtos ou serviços. Nos subtópicos a seguir, serão abordados os textos levados em consideração neste trabalho.

2.1 - Legislação Regulamentadora

A GD fotovoltaica tem como legislação vigente, no ano de 2023, a norma ABNT NBR 16690 (ABNT NBR 16690:2019) que discorre sobre os requisitos de projeto de arranjos fotovoltaicos, incluindo disposições sobre condutores, dispositivos de proteção elétrica e de manobra, aterramento, equipotencialização do arranjo e outros tópicos pertinentes.

Módulos fotovoltaicos são responsáveis pela conversão de radiação solar em eletricidade. Os de silício cristalino, mais disseminados no mercado, devem estar em conformidade com as IEC 61215-1, IEC 61215-2 e IEC 61215-1-1, e possuir certificação do INMETRO para serem comercializados no país.

Devem possuir resistência à corrosão, suportar ventos e neve, de alta intensidade, resistir a choques mecânicos, e também devem ser submetidos a um teste padrão em STC (*Standard Test Condition*). O STC é um controle de qualidade, onde o módulo é submetido às condições de irradiância de 1000 W/m^2 , temperatura de 25°C , velocidade do vento de 1 m/s e massa de ar de AM 1,5, para serem obtidas as especificações técnicas e parâmetros elétricos da peça. O valor de massa de ar é referente a uma razão de raios solares que atravessam a atmosfera terrestre em relação ao seu ângulo de incidência (PORTAL SOLAR, 2023).

Sistemas acima de $50,0 \text{ Vcc}$ devem possuir diodos de desvio (ou de *by-pass*), com o objetivo de evitar que os módulos sejam polarizados reversamente e consequente aparecimento de pontos quentes.

Os arranjos fotovoltaicos constituem a parte CC do gerador; são formados por módulos fotovoltaicos que podem ser dispostos em séries e/ou paralelos entre si, com objetivo de formar “*strings*” no sistema (o termo *string*, é entendido como uma associação de módulos em série, que devem possuir mesmo ângulo em relação a

base, mesma orientação e sentido em relação ao sol). Para efetuar o paralelo de *strings*, a mesma quantidade de módulos deve estar presente em cada uma das séries, garantindo ainda que todos os módulos fotovoltaicos possuem as mesmas especificações técnicas como tensão nominal e de circuito aberto, corrente nominal e de curto-circuito, potência nominal e coeficientes de temperatura da tensão, corrente e potência.

De forma geral, os módulos devem ser do mesmo fabricante e modelo, garantindo que as especificações técnicas sejam as mais similares possíveis, para que possam ser conectados na mesma entrada ou rastreador de um inversor.

Arranjos fotovoltaicos também devem conter dispositivos de proteção contra sobrecorrente, podem ser internos ao inversor, e opcionais para *strings* ou sub-arranjos, seguindo requisitos especificados na ABNT NBR 5410 (ABNT NBR 5410:2004), 5.3 e subtópicos. Dispositivos de seccionamento e comando, e dispositivos de proteção contra surtos (DPS) devem estar de acordo com a ABNT NBR 5410, 6.3 e subtópicos. Os DPS devem estar presentes tanto na parte CC do SFV, quanto presentes no padrão de entrada da instalação, além de serem devidamente aterrados.

Condutores do arranjo devem ser adequados para aplicação em CC e uso em SFV, suportando tensão nominal ou superior à máxima do sistema (cabos HEPR 0,6/1 kV são comumente utilizados quando permitidos), dimensionados para a temperatura de operação da aplicação, resistentes à água, resistentes à radiação UV e ambientes salinos caso expostos, e ser do tipo retardador de chama como definido na ABNT NBR NM IEC 60332-1. Os cabos devem possuir no mínimo 4 mm² de seção, para fase e neutro, com conectores próprios para alta tensão, geralmente são utilizados os conectores MC4 ou tipo MC4.

O aterramento do sistema deve estar em conformidade com a ABNT NBR 5410, 5.1.2.2, 6.4 e subtópicos. O aterramento e equipotencialização possuem as seguintes opções das partes de um arranjo fotovoltaico:

- Aterramento funcional de peças metálicas não energizadas;
- Aterramento para proteção contra descargas atmosféricas;
- Barramento de equipotencialização, evitando diferentes potenciais elétricos na instalação;
- Aterramento funcional de um polo do arranjo fotovoltaico.

É necessário um condutor para o aterramento feito de cobre ou equivalente, com seção mínima de 6 mm².

Também a ser abordada, tem-se a ABNT NBR 16767 (ABNT NBR 16767:2019), norma vigente que trata da regulamentação sobre elementos e baterias estacionárias para Sistemas Fotovoltaicos Autônomos, abordando em seu texto requisitos gerais e métodos de ensaio. A norma ABNT NBR 16767 tem princípios da ABNT NBR 5410 (ABNT NBR 5410:2004), recorrendo em quase todo seu texto dos capítulos (4, 5 e 6) e parágrafos a serem seguidos, especificando procedimentos a serem seguidos devido a particularidade, garantindo maior segurança.

Uma vez que o documento aborda a possibilidade de UCs produzirem sua própria energia para consumo, também explica como os sistemas devem possuir suas ligações, tanto em CC como em CA, dependendo do tipo de carga a ser alimentada. Caso a instalação conte com um banco de baterias, deve-se prever sobrecorrente e equipamentos de segurança para sua proteção, devido ao fato das baterias se tornarem fontes de corrente de falta. Considerações sobre o aterramento e esquemas de aterramento que podem ser utilizados, também são outros pontos que a norma aborda, imprescindíveis para a segurança da instalação. Da mesma maneira que a ABNT NBR 16690 (ABNT NBR 16690:2019), esta norma também trata de descargas atmosféricas assim como na ABNT NBR 5419 (ABNT NBR 5419:2005), e seu devido SPDA.

De grande importância, os aspectos térmicos que os componentes possuem, devem ser tratados com cuidado, bem como a possibilidade do uso de diodos de bloqueio. Baterias possuem risco de explosão e uma faixa estreita de temperatura a ser trabalhada, por isso é necessário toda a atenção no projeto e utilização destes componentes. O local de instalação, médias de temperatura da região e proteção a agentes naturais que causem desgastes devem ser considerados com o objetivo de proteção e prolongamento da vida útil do banco.

O equipamento de acúmulo de energia, também deve contar com diodos de bloqueio ou algum tipo de dispositivo que seja utilizado para evitar fuga de corrente reversa das baterias para o arranjo fotovoltaico durante a ausência de luz solar. Assim como os aspectos térmicos, a norma também faz considerações em relação ao desempenho dos sistemas, com a finalidade de priorizar equipamentos de alta eficiência, de modo a prolongar a vida útil dos componentes.

Por último, a instalação, que futuramente poderá ser alimentada pela concessionária de energia CPFL Energia, deverá seguir a norma GED 15303 (CPFL - GED 15303, 2022), que estabelece requisitos técnicos mínimos a serem implantados em UCs conectadas às redes de média e baixa tensão do grupo e desejam ligar seus sistemas próprios de geração de eletricidade. Sendo o atual documento regulamentado pela Resolução Normativa nº 482/2012, de 17/04/2012 da ANEEL, com revisões dadas pelas resoluções nº 517/2012, de 11/1/2012, nº 687/2015, de 24/11/2015, e nº 786/2017, de 17/10/2017, também da ANEEL. Da mesma maneira, esta GED também leva em consideração outras Normas, Orientações e Procedimentos Técnicos da própria CPFL Energia.

É caracterizado como Sistema de Compensação de Energia Elétrica, um sistema no qual a energia ativa gerada pela UC é cedida à distribuidora, por meio de empréstimo gratuito, e posteriormente compensada com o consumo de eletricidade. Neste sistema a UC pode ser enquadrada em quatro categorias, como sendo: “Empreendimento com múltiplas unidades consumidoras”, “Geração compartilhada”, “Autoconsumo remoto” e “Geração própria”, categorias estas que especificam modalidades de geração e compensação de mais de uma UC, ou então de somente uma, sendo válido exclusivamente para a mesma área de atuação da concessionária.

Para que o acesso à geração distribuída aconteça por meio desta concessionária citada, devem ser seguidos os procedimentos de cadastro e avaliação técnica da mesma. O pedido ocorre por meio de uma página na *Internet* intitulada “Projetos Particulares”, onde o responsável técnico efetua seu próprio cadastro e solicita a homologação de um projeto. No caso de geração própria, devem ser preenchidos e enviados assinados documentos como o “Formulário de Solicitação de Acesso” (Anexo E), “Documento de Responsabilidade Técnica” ou equivalente, “Certidão de Registro Profissional e Anotações do responsável técnico”, “Diagrama Unifilar do Projeto” até o padrão de entrada, “Planta de localização”, “Formulário com informações da UC e do gerador” (Anexo F) para envio à ANEEL, “Memorial Descritivo”, “Documento com foto do titular da UC”, “Registro Fotográfico do Padrão de Entrada e Dispositivo de Proteção Geral” e “Certificado de Conformidade ou Registro do INMETRO do(s) Inversor(es) de Frequência”.

Já na hipótese de “Empreendimento com múltiplas unidades consumidoras”, “Geração compartilhada” e “Autoconsumo remoto”, além dos documentos citados,

deve-se incluir os documentos que comprovem a categorização do projeto nas categorias citadas, e apresentar as respectivas UCs e seus percentuais de rateio do sistema de compensação.

Após análise e aprovação desses documentos pela distribuidora, o projeto pode ser iniciado e assim que finalizada a instalação, o responsável pode solicitar a troca do medidor de energia por um bidirecional e por fim ligar o sistema de geração. A troca do medidor é de responsabilidade da concessionária de energia e necessário para que possa ser aferida a quantidade de energia injetada, isto quando a potência do SFV supera o consumo da UC, e a quantidade de energia consumida da rede de distribuição, possibilitando a dedução no sistema de compensação.

Lembrando que, para os SFVs conectados à rede de distribuição, o inversor somente pode funcionar quando a UC for alimentada pela rede, em outras palavras, caso a UC não esteja sendo alimentada pela rede, o SFV deve permanecer desligado. Os inversores *On-Grid*, possuem auto desligamento para evitar tal hipótese, chamado de sistema de anti-ilhamento, em inversores híbridos (*On-Grid* e *Off-Grid*) capazes de trabalhar sem a alimentação da rede, por segurança o sistema pode contar com dispositivos de chaveamento, isolando o circuito da UC automaticamente.

Um ponto de grande atenção das concessionárias de energia são os inversores de frequência utilizados nos projetos. Tais inversores, que são conversores de CC para CA, devem estar em conformidade com a ABNT NBR IEC 62116 (ABNT NBR IEC 62116:2012), norma que diz respeito a ensaios de anti-ilhamento para inversores de sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica como garantia de segurança. Na eventualidade de ausência de energia da rede de distribuição, o inversor deve deixar de converter energia conforme regras da ABNT NBR 16149 (ABNT NBR 16149:2013). Estes equipamentos também devem contar com os próximos dispositivos de proteção: DPS, Disjuntores Termomagnéticos CC de curva tipo B, Fusível e Chave Seccionadora Visível, estes itens podem ser ou não integrados ao inversor de frequência. Também devem possuir um grau mínimo de proteção de ingresso (IP65 ou superior) e garantia de máxima eficiência entre 70% e 90% de sua potência nominal especificada.

Assim como a parte de CC possui suas proteções de segurança, o lado CA da instalação deve possuir: DPS em cada uma das fases e disjuntores termomagnéticos CA apropriados com a corrente de projeto de curva tipo C.

Devem ser instaladas no mínimo duas placas de advertência assim como no modelo da Figura 1, com os dizeres Cuidado, Risco de choque elétrico e Geração Própria. A placa deve ter medidas de 13cm x 13cm de comprimento e altura, deve ser fixada de maneira permanente na tampa da caixa do medidor de energia, e no ponto de entrega de eletricidade, seja ele aéreo ou subterrâneo, e composta de aço inoxidável ou alumínio anodizado.

Tal aviso de segurança é de grande importância para que as pessoas consigam realizar manutenções ou reparos futuros nas unidades consumidoras onde existam autoprodução de energia elétrica, pois nem sempre é possível identificar visualmente os componentes de geração e se estão energizados.

Figura 1 - Modelo de placa de advertência.



Fonte: (CPFL - GED 15303, 2022).

Para a situação hipotética criada de uma UC localizada na região de atuação do Grupo CPFL Energia, o padrão de entrada deve seguir a normativa da concessionária, segundo GED 14945 (CPFL - GED 14945, 2021). Esta GED especifica características mínimas exigidas para fabricação, montagem e aceitação de postes de concreto com caixa incorporada, para 1 ou 2 clientes.

3 - COMPOSIÇÃO DE UM SISTEMA FOTOVOLTAICO

Um SFV é composto dos seguintes itens: módulos fotovoltaicos, estruturas de suporte e fixação dos módulos, cabos para uso em SFVs CC, dispositivos de

proteção e seccionamento CC, inversores de frequência, cabos de uso CA e dispositivos de proteção CA.

3.1 - Módulos Fotovoltaicos

Os módulos são associações de ligações em séries e paralelos de células fotovoltaicas, unidades básicas responsáveis pela conversão de energia. As conexões em séries das células, garantem uma diferença de potencial elétrico compatível com a geração, em conjunto, as conexões em paralelo, garantem maiores correntes elétricas e evitam possíveis problemas de sombreamentos parciais nos módulos, limitando assim as perdas de potência. Atualmente no ano de 2023, os módulos mais comercializados ainda possuem um esquema de “Meia Célula”, comumente chamado de *Half-Cell*, onde a célula é dividida pela metade com o objetivo de diminuir a corrente elétrica e a dissipação de potência, melhorando sua eficiência. Neste caso, os módulos contam com o dobro de células, onde anteriormente havia, 60 ou 72 células, passam a ter com o *Half-Cell*, 120 ou 144 células. Na Figura 2 apresenta-se uma imagem de um módulo monocristalino *Half-cell*.

Figura 2 - Meia célula monocristalina.



Fonte: Elaboração do próprio autor.

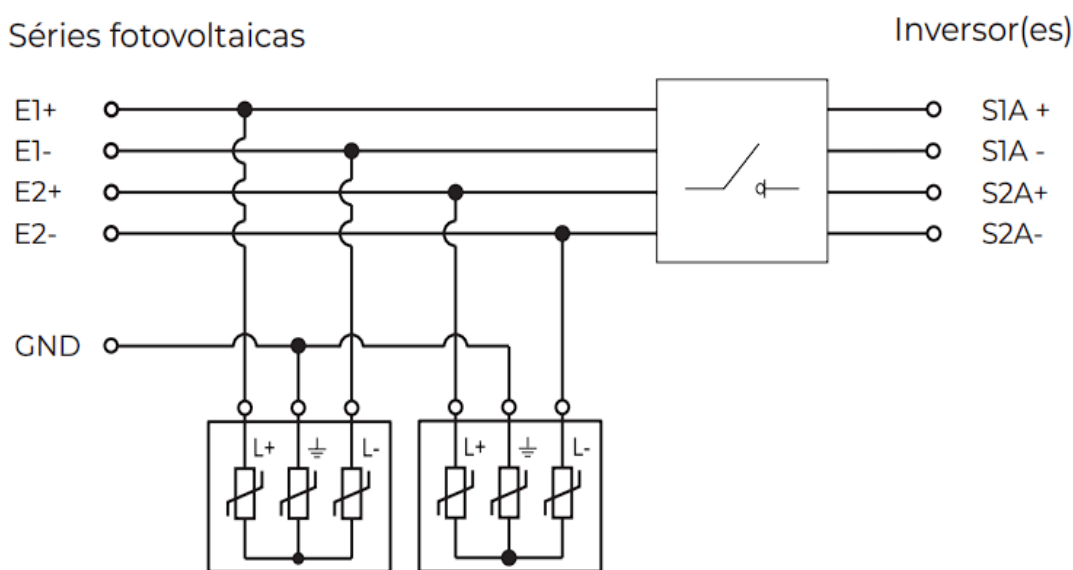
Uma composição de módulos fotovoltaicos recebe o nome de arranjo fotovoltaico, sendo associações em séries e/ou paralelos de módulos. As associações que são conectadas em um mesmo rastreador devem possuir mesma exposição solar, caso for em série, forma-se uma *string*, podendo efetuar o paralelo de *strings* com mesmas quantidades em série, sendo a segunda efetuada em uma *string box* ou internamente no inversor.

3.2 - Caixa de Junção CC (*String-box*)

A *string box* ou caixa de junção, é um dispositivo capaz de efetuar paralelos de *string* e possuir dispositivos de proteção como DPS, fusíveis ou disjuntores e chave seccionadora na parte em CC do sistema. Em alguns cenários, a caixa de junção pode vir integrada ao inversor, sendo opcional o uso deste componente no sistema, sendo redundante quando utilizado.

Nem sempre a caixa de junção é utilizada para paralelo de séries; pode ser usada para abrigar somente os dispositivos de proteção. Na Figura 3 indica-se uma representação de um diagrama elétrico de uma *string box* de duas entradas e duas saídas, isto significa que ela é para um sistema com duas *strings* independentes, sem a realização do paralelo das séries. Estão representados ainda os DPS para cada *string* conectados à terra, e há também presença de uma chave seccionadora.

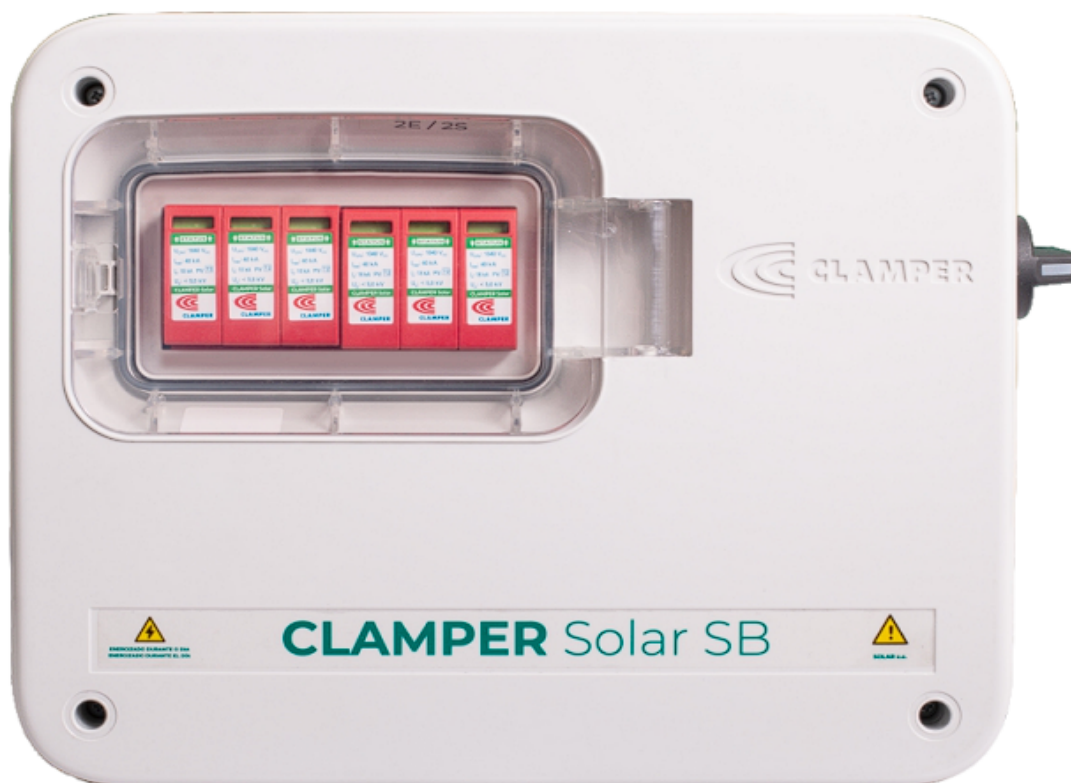
Figura 3 - Diagrama elétrico de *String Box* 2E/2S.



Fonte: (Clamper, 2023).

Na Figura 4 apresenta-se uma imagem de uma caixa de junção CC comercializada no mercado nacional, referente ao diagrama elétrico da Figura 3. O componente tem capacidade de duas entradas e duas saídas, ou seja, é possível utilizá-la em um sistema com duas *strings*.

Figura 4 - Componente *String Box* 2E/2S.



Fonte: (Clamper, 2023).

3.3 - Outros Componentes

As estruturas de suporte e fixação dos módulos são comumente de alumínio, material mais indicado neste tipo de aplicação por sua resistência e peso, uma vez que ficam expostas ao desgaste natural. Tais estruturas podem ser combinadas com vigas de aço, se necessário, e são compostas por ganchos, extensores, trilhos, terminais de fixação e parafusos.

Na Figura 5 são apresentadas as partes vitais na instalação de um conjunto fotovoltaico, com ênfase nas estruturas de fixação dos módulos em um telhado. O item (a) são cabos fotovoltaicos, onde a cor preta é utilizada para o negativo e a cor vermelha é o positivo do circuito em CC, e em (c) tem-se os conectores fotovoltaicos do tipo MC4.

As peças em (b) são ganchos de fixação dos trilhos para telhado em fibrocimento, em (d) são terminais, ou chamados de grampos, intermediários para fixação entre módulos, e já no item (e) tem-se terminais de aterramento, para conexão do condutor terra com a estrutura metálica. As peças em (f) são terminais finais de fixação de módulos ao final da *string* e em (g) tem-se emendas de trilhos, caso se faça necessário aumentar o comprimento dos trilhos.

Figura 5 - Conjunto fotovoltaico para instalação.



Fonte: Elaboração do próprio autor.

Na hipótese de instalação sobre um telhado são utilizados ganchos metálicos, estrutura responsável pela fixação dos trilhos ao telhado, podendo variar em formato e tamanho a depender do tipo de telhado onde será instalado. Se necessário, também, são utilizados extensores metálicos na possibilidade do espaçamento do telhado ser grande demais. Trilhos, ou também chamados de perfis, são vigas de sustentação onde os módulos são diretamente alojados e presos por meio dos terminais intermediários, finais e parafusos.

Na instalação dos módulos no solo, pode ser utilizado uma estrutura metálica composta por pilares e travessas para fixação dos trilhos, neste caso, a estrutura

substitui os ganchos e fornece algumas possibilidades de ângulos para promover a inclinação dos módulos. Estruturas solo podem ser fixas, com regulação de ângulos para inclinação, ou móveis, capazes de rastrear a posição do sol e mover em um eixo os módulos, garantindo uma incidência perpendicular dos raios solares.

As especificidades dos dispositivos de proteção e cabos de conexão, tanto para CC quanto para CA, foram mencionadas anteriormente com maiores detalhes no subtópico 2.1. Em resumo devem estar presentes: chaves seccionadoras, dispositivos DPS, fusíveis e disjuntores contra anormalidades CC ou CA com especificações compatíveis com o projeto. Os cabos também devem atender os níveis de tensão e corrente elétrica utilizados no projeto e conforme norma.

3.4 - Inversores de Frequência

Inversores de frequência são conversores CC/CA e frequentemente são classificados em dois tipos: microinversor ou inversor de *string*, onde possuem mesma função, mas com algumas características diferentes.

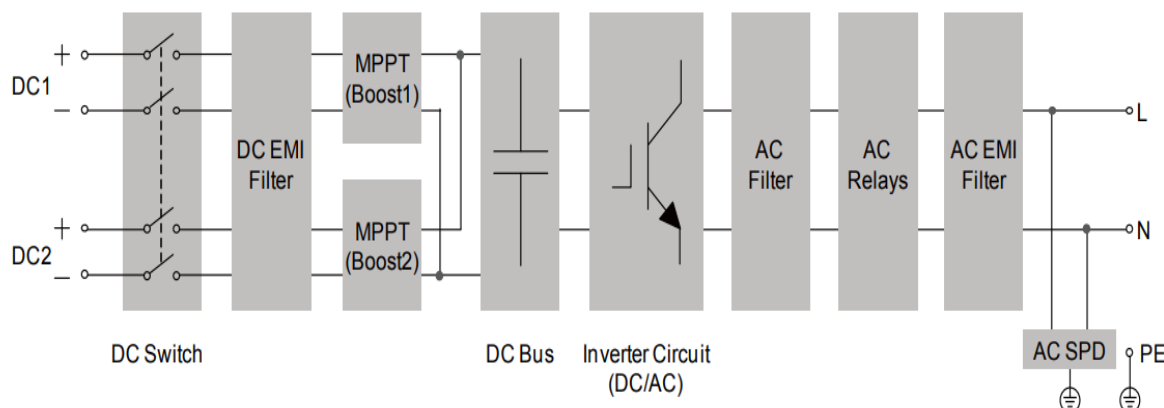
O microinversor é um conversor de menor potência, instalado sob os módulos e depende de ventilação natural para seu resfriamento. Ele possui vantagens de instalação com menos componentes visíveis e maior número de rastreadores de ponto máximo de potência, também chamados de MPPT, do inglês *Maximum Power Point Tracking*.

O inversor de *string* é um aparelho de maior variedade de potências disponíveis, majoritariamente possui ventilação forçada, e necessita de uma área coberta em seu local de instalação. Apesar de haver um número menor na quantidade de MPPT, ainda se destacam pelo seu menor custo de aquisição.

Na Figura 6 apresenta-se um diagrama elétrico de um inversor de frequência de *strings* conectado à rede (CR), em que seus componentes são separados por blocos.

À esquerda tem-se as entradas de duas *strings* (DC1 e DC2), que passam pela chave seccionadora e por um filtro CC de interferências eletromagnéticas, até chegar às entradas dos MPPTs individuais. Após a passagem do algoritmo MPPT, existe um conversor CC/CC e um barramento CC que alimenta os tiristores para a conversão CC/CA.

Figura 6 - Diagrama elétrico de um inversor fotovoltaico CR.



Fonte: (SUNGROW, 2023).

Na saída dos tiristores existem circuitos de proteção, com sensores e DPS CA, com a presença de filtros CA para melhorar a qualidade de energia e suprimir interferências eletromagnéticas. É possível notar a falta de dispositivos DPS na parte em CC do circuito deste modelo específico de inversor, fazendo com que seja necessário a utilização de uma *string box* com DPS, com no mínimo duas entradas e duas saídas. Idealmente é utilizado o equipamento *string box* com o mesmo número de *strings* que o inversor pode suportar.

Utilizando os componentes descritos neste tópico do trabalho, é possível a elaboração de um sistema fotovoltaico. O sistema também é dependente do tipo de ligação da UC que será instalado, neste caso, podendo ser conectado ou não à rede de distribuição da concessionária, no cenário dela existir.

3.5 - Tipos de Sistemas Fotovoltaicos

Os sistemas fotovoltaicos são geradores que convertem a radiação solar em eletricidade, por meio de um fenômeno físico chamado de efeito fotovoltaico. Com este princípio básico em mente serão descritas algumas classes de sistemas logo neste capítulo.

3.5.1 - Sistemas Fotovoltaicos Conectados à rede

Os sistemas fotovoltaicos conectados à rede (SFCR) de distribuição, também conhecidos de *On-Grid* ou ainda como *Grid-Tie*, são os sistemas mais disseminados

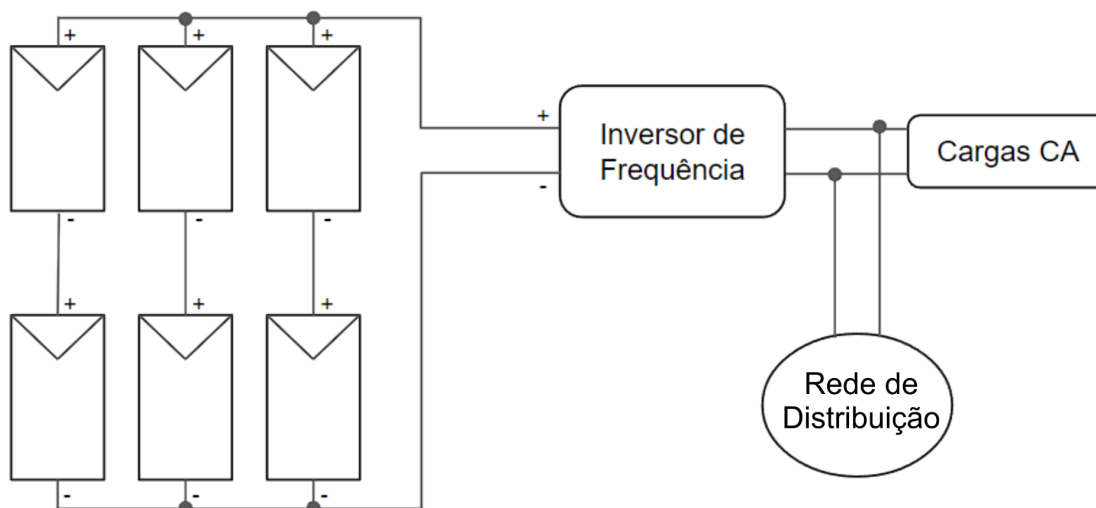
e conhecidos no Brasil (ANEEL, 2022) e tratam-se, assim como o nome sugere, de inversores que estão conectados à rede de energia elétrica de maneira permanente.

Na Figura 7 é apresentado um esquema básico de conexão para um SFCR, onde está presente um possível arranjo de módulos fotovoltaicos, um inversor de frequência conectado em paralelo à rede, um medidor bidirecional já presente na rede de distribuição e as cargas em CA. Os seccionadores e dispositivos de proteção previstos por normas e que garantem a segurança do sistema, estão omitidos para simplificar o esquema elétrico.

Devido a esta característica os inversores deste tipo de sistema, funcionam somente quando há irradiação solar suficiente e a rede elétrica está sendo alimentada por sua distribuidora de energia.

Inversores para SFCR possuem circuitos eletrônicos responsáveis por analisar e produzir eletricidade com as mesmas características da rede, ou seja, com mesma amplitude e frequência de onda, mesma defasagem entre fases e mesma sequência, com o permitido máximo de presença de harmônicas. Lembrando que toda a parte de legislação referente a este tipo de sistema, foi abordada no tópico 2.1, sobre leis e normas.

Figura 7 - Esquema Básico de um SFCR.



Fonte: adaptado de SENAI (2019).

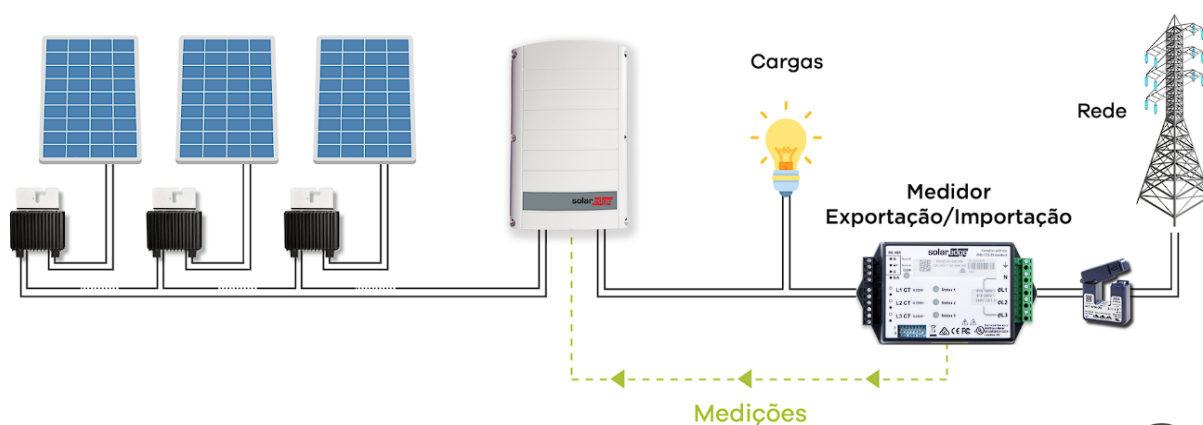
Os módulos fotovoltaicos presentes no arranjo são responsáveis pelo efeito fotovoltaico e geração de energia elétrica em CC, um ou mais inversores de frequência, são responsáveis pela conversão de corrente contínua (CC) em corrente alternada (CA), os dispositivos de seccionamento e proteção são responsáveis por

garantir a segurança, tanto para o sistema, quanto para pessoas que possam vir a interagir na rede elétrica. Neste tipo de sistema é o qual pode ocorrer a compensação de energia elétrica, onde a UC geradora fornece a título de empréstimo gratuito sua eletricidade produzida à concessionária, e posteriormente é devolvida à UC por meio de créditos a serem deduzidos em sua conta mensal.

3.5.2 - Sistemas Fotovoltaicos com Zero Exportação

Outro sistema proveniente de inversores *On-Grid*, trata-se do *Zero-Grid*, zero exportação ou ainda *Zero Export*, o qual possui o objetivo de não exportar energia à rede da concessionária (ECORI, 2022). Neste caso, o inversor deve ter uma função que permite o controle da produção, e um dispositivo capaz de mensurar a importação e exportação do sistema. Na Figura 8 é apresentado um sistema zero exportação com tais funções. O interesse na utilização destes componentes pode vir a surgir, visto uma rede onde não é possível ou permitida a injeção de potência proveniente de GD, por limitações de transformadores à jusante do SFV ou por outros motivos como redes reticuladas. Para sua homologação, deve-se verificar se a distribuidora de energia aceita este tipo de sistema na região.

Figura 8 - Esquema de um SFV zero exportação com medidor.



Fonte: (ECORI, 2022).

3.5.3 - Sistemas Fotovoltaicos Autônomos e Baterias

Também há a possibilidade de um SFV não conectado à rede de distribuição, que recebe o nome de SFV autônomo ou *Off-Grid*, sistema que é composto por

quase todos os componentes de um *On-Grid*, porém com diferenças significativas em seu inversor. Neste caso, não existe a possibilidade de compatibilidade de inversores entre os sistemas, devidos às características técnicas e sendo dispensável a troca do medidor de energia da UC para um bidirecional, já que não existe o sistema de compensação de energia elétrica para geradores fotovoltaicos autônomos.

Os SFV autônomos podem alimentar toda uma unidade ou parte dela, com circuitos para cargas específicas, sendo uma alternativa tanto para UC onde possuem o acesso à rede elétrica ou não. Também se diferenciam mais quando adicionam controladores de carga e bancos de baterias, tornando o sistema capaz de acumular energia excedente durante o dia e utilizá-la em momentos de pouca ou nenhuma radiação solar. A presença de baterias, de mesmo modo, acrescenta a possibilidade de alimentar outros tipos de cargas, sendo em CC ou em CA e eventualmente os dois tipos ao mesmo tempo, sem a intermitência do sol.

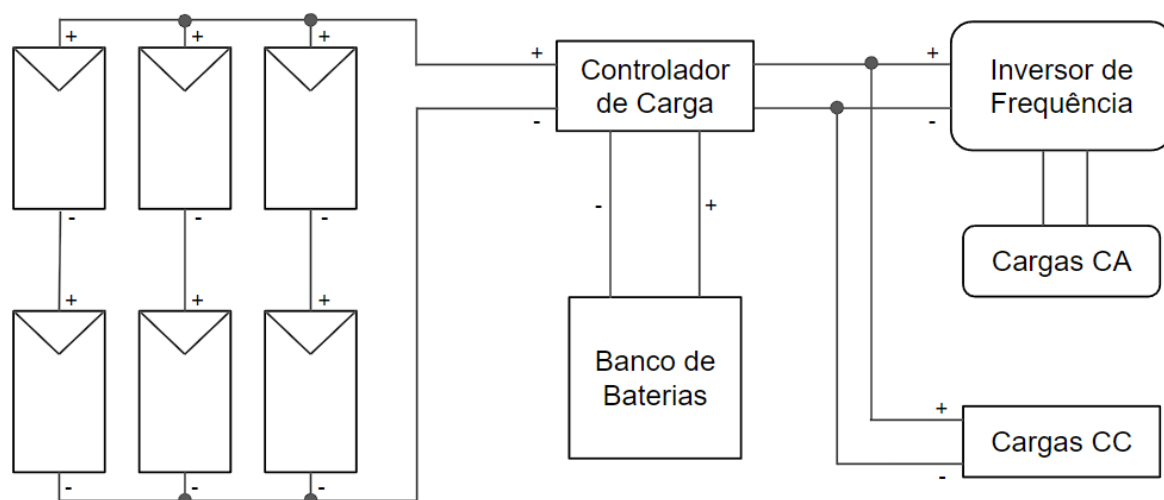
O conjunto capaz de acumular energia recebe o nome de banco de baterias, caso a energia elétrica seja armazenada por meio de energia química, possui células ligadas em série e em paralelo, semelhante às células fotovoltaicas, para que possam atingir níveis de tensão e corrente elétrica desejados no sistema.

Como se fosse uma junção dos sistemas *On-Grid* e *Off-Grid* com acúmulo de energia, nasce uma variação da geração solar; um sistema capaz de alimentar cargas com a presença ou não da rede de distribuição de energia e exportar eletricidade quando possível. O referido sistema vem recebendo a nomenclatura de SFV Híbrido, por possuir funções de ambos sistemas citados anteriormente, e será o objeto principal do estudo apresentado neste trabalho.

O interesse particular neste sistema deve-se ao fato de possíveis UCs que não tenham acesso à rede elétrica de uma concessionária possam aproveitar da geração solar e futuramente quando receber o acesso à rede, ainda consigam aproveitar do mesmo sistema instalado, considerando o alto custo de aquisição.

Na Figura 9 está representado o esquema elétrico básico de um sistema *Off-Grid* e uma possível conexão tanto para cargas CC, conectadas a partir do controlador de cargas, quanto em CA, que são conectadas a partir do inversor de frequência. Os seccionadores e dispositivos de proteção previstos por normas estão omitidos para simplificar o esquema elétrico.

Figura 9 - Esquema Básico de um SFV autônomo.



Fonte: adaptado de SENAI (2019).

Os SFVs Híbridos podem ser de grande importância para cargas vitais que não podem perder a alimentação; quando a energia da rede passar por alguma falta, o inversor híbrido pode alimentar a carga com energia oriunda dos módulos ou do banco de baterias. Comutadores podem fazer o chaveamento e isolar determinado circuito a fim de evitar a exportação de energia. A principal diferença na composição deste sistema é o inversor, que deve ser capaz de trabalhar de forma isolado e conectado à rede, capaz de detectar possíveis faltas da rede elétrica.

4 - METODOLOGIA E SOFTWARE DE SIMULAÇÃO DO SFV AUTÔNOMO

Inicia-se um orçamento de um projeto fotovoltaico coletando-se dados da UC em questão, como, por exemplo: local de instalação dos módulos, espaço disponível para o arranjo e inversor, tipo de ligação (monofásico, bifásico ou trifásico), tensão de alimentação, tipos de cargas (em CC ou CA), potência instalada e média de consumo de eletricidade. Com tais informações parte-se para o dimensionamento do projeto, dimensionando a quantidade de módulos e o(s) inversor(es) do SFV necessários para atender a UC; desse modo estima-se o custo do sistema.

4.1 - Metodologia

A análise deste trabalho leva em consideração uma UC, que futuramente será atendida pela rede distribuição com ligação bifásica (220 V), com potência instalada de 5 kW e consumo mensal médio (C_{mm}) próximo de 300 kWh, levando-se a um consumo médio anual (C_{ma}) de 3600 kWh.

A demanda de 5 kW foi escolhida principalmente por conta de eletrodomésticos de alta potência, como por exemplo um chuveiro elétrico, equipamento este que por si só consome toda esta potência instantânea. Além disso, esta potência garante ao consumidor poder instalar em sua unidade eletrodomésticos de uso geral sem grandes restrições, tais como geladeiras, iluminação e televisores, desde de que as cargas ligadas simultaneamente não ultrapassem a potência máxima de saída do inversor.

A unidade consumidora atende uma família com três pessoas, na região da cidade de Ribeirão Preto, e que ainda não possui acesso à rede de distribuição de energia elétrica. A localização é um dado importante para a análise, porém foi escolhida de forma a ilustrar o local de instalação do sistema, podendo ser alterada para outro lugar desde que considerado na avaliação do projeto esta alteração.

A média de consumo mensal de eletricidade é um importante parâmetro, devido aos fatos de o consumo mensal variar ao decorrer do ano, do perfil dos usuários e conjuntamente, a irradiação solar variar com as estações do ano. O estudo de somente um determinado mês do ano, pode ocasionar uma estimativa de consumo e geração de energia equivocada.

A próxima etapa será uma estimativa da potência de pico (P_p) mínima que o SFV deve possuir para suprir a demanda da residência, a partir do dado de consumo médio mensal. A Equação (1) apresenta o valor médio diário de consumo da UC; divide-se o consumo mensal por trinta dias, para saber o diário (C_{md}), com isso, obteve-se o valor de 10 kWh.

$$C_{md} = \frac{C_{mm}}{30} \text{ [kWh]} \quad (1)$$

Pode-se determinar a potência de pico do sistema dividindo-se o consumo diário pela quantidade de horas de sol pleno (HSP) de um dia do local de instalação do arranjo fotovoltaico. As HSP do local foram coletadas a partir de uma conversão direta do banco de dados do CRESESB, como apresentado na Tabela 1. Tal conversão é realizada dividindo-se a irradiação média mensal por 1000 W/m², valor este considerado em condições STC.

Tabela 1 - Dados de HSP para cidade de Ribeirão Preto.

Ângulo	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Média
0° N	5,64	5,93	5,17	4,80	4,11	3,92	4,12	4,93	5,00	5,52	5,74	6,08	5,08
21° N	5,13	5,66	5,29	5,38	5,00	5,01	5,17	5,78	5,29	5,39	5,28	5,44	5,32
20° N	5,17	5,69	5,29	5,37	4,97	4,97	5,14	5,75	5,29	5,40	5,31	5,48	5,32
23° N	5,06	5,61	5,27	5,41	5,06	5,08	5,25	5,93	5,30	5,35	5,21	5,35	5,31

Fonte: (CRESESB, 2000).

É escolhida a média anual para o plano horizontal de 0° N, com valor de 5,08 HSP, pois é considerado um pior cenário, apesar de o local de instalação dos módulos ser no telhado, composto de telhas cerâmicas, com inclinação próxima de 19°, onde não possui nenhum tipo de sombreamento e voltado para a orientação nordeste em relação ao norte geográfico. A escolha por este valor médio de HSP deve-se ao fato do local não possuir exatamente uma orientação norte e para garantir uma certa margem de segurança no dimensionamento. Partindo de (2) encontra-se o valor de potência de pico de 1968,5 Wp para o SFV.

$$P_p = \frac{C_{md}}{HSP} \text{ [Wp]} \quad (2)$$

Ao final determina-se o número mínimo de módulos fotovoltaicos (N_m) com auxílio de (3), onde é dividido a (P_p) do sistema pela potência pico do módulo corrigida pela temperatura (P_{mod}).

A média de temperaturas do local é de aproximadamente 28°C, valor este referente à média de temperaturas máximas (CLIMATE DATA, 2021) para considerar uma das piores condições do local. O módulo escolhido foi da fabricante BYD do modelo BYD540MLK-36, onde é possível determinar uma potência de 534 Wp, segundo sua potência pico em STC (540 Wp a 25°C) e seu coeficiente de temperatura (-0,39%/°C) provindos de sua folha de dados, apresentada no Anexo A. Com o auxílio de (3), necessita-se de 3,69 módulos, e como se trata de módulos, arredonda-se para o próximo número inteiro (4 módulos), garantindo uma geração mínima para o projeto segundo o consumo.

$$N_m = \frac{P_p}{P_{módulo}} \text{ [módulos]} \quad (3)$$

Depois desta etapa é necessário escolher um inversor *Off-Grid* compatível com a potência do SFV e que suporte os parâmetros técnicos dos módulos, como corrente e tensão, tanto máximas quanto de curto-circuito. Nesta hipótese um inversor de potência nominal de 2 kW, muito provavelmente seria o suficiente para o consumo desta UC, porém, neste dimensionamento anteriormente realizado, alguns fatores, como perdas por exemplo, e principalmente a potência instalada da residência, foram desconsiderados.

Somente este dado é muito utilizado em dimensionamentos de SFCR, porém em SFV autônomos é muito importante ser levado em consideração a potência das cargas instaladas. O resultado obtido em (3) é uma importante validação para o projeto estar de acordo com o consumo do cliente.

Neste sentido, onde tem-se uma UC com 5 kW referentes às cargas, o correto dimensionamento passa a ser um ou mais inversores com potência nominal mínima sendo a potência instalada da casa e para seu correto funcionamento, recomenda-se que a potência total dos módulos seja no mínimo 80% de sua potência nominal.

Considerando os parâmetros do sistema, como tensão da futura rede de distribuição, potência nominal CC e CA, foi escolhido um inversor BYD do modelo

BYD-S-1P5K-2M-H. O inversor possui potência nominal de 5 kW, requeridos pelo projeto, e a saída CA será conectada em paralelo com o circuito da UC.

Utilizando o mesmo modelo de módulo anteriormente citado, serão necessários 8 módulos de 540 Wp, somando 4,32 kWp ao todo, o suficiente para que o inversor possa funcionar adequadamente e mais que o mínimo necessário para alimentar todo o consumo estipulado desta UC.

No Anexo B é apresentado a folha de dados técnicos do inversor escolhido, a partir dessas informações é possível concluir que o mesmo é hábil de receber os arranjos de módulos estipulado sem ultrapassar limites de tensão de circuito aberto ou de corrente de curto-circuito. Existe a capacidade de ampliação de potência deste arranjo fotovoltaico caso seja de interesse futuro ou exista necessidade, já que o inversor suporta até 7,5 kWp de potência de entrada caso sejam respeitados os limites de tensão e corrente.

Também são informados dados da parte de acúmulo de energia, que serão utilizados no dimensionamento do banco de baterias, e da parte CA do inversor que está em conformidade com uma futura rede de distribuição com tensão nominal de 220 V e frequência de 60 Hz. O modelo escolhido possui requisitos mínimos para uso conectado na rede de distribuição com certificação do INMETRO 001731/2023 (BYD ENERGY, 2023).

O armazenamento de energia será realizado através de um banco de baterias e para seu dimensionamento é imprescindível a escolha de alguns parâmetros como autonomia do banco e a profundidade de descarga (*DoD*) das baterias. Este sistema será projetado com uma autonomia de 1 dia ou 24 horas, com profundidade de descarga de 80% visto que as baterias de Li-ion (íons de lítio) possuem funcionamento ideal com carga entre 100% e 20% garantindo assim maior vida útil ao equipamento (BRASIL, 2018).

Com o consumo C_{md} da UC sendo 10 kWh e a *DoD* estipulada, chega-se a uma energia do banco (E_{banco}) de 12,5 kWh mínimos necessários para o sistema, valor este obtido por (4), que considera um dia de consumo médio da casa.

$$E_{banco} = \frac{1 \times C_{md}}{DoD} \text{ [kWh]} \quad (4)$$

Desta maneira pode-se utilizar a solução de armazenamento de energia do mesmo fabricante deste SFV; uma unidade de baterias do modelo BYD B-BOX LV

com 4 módulos de bateria. A unidade soma 14 kWh ao todo e conectada ao inversor do sistema, com sua eficiência energética de 95,3% nas condições especificadas, garantem 13,342 kWh e suprimindo assim o mínimo de 12,5 kWh requisitados para o projeto. No Anexo C encontra-se a folha de dados técnicos deste equipamento, onde os parâmetros de tensão, potência e paralelismo de baterias estão em conformidade com o projeto. Caso o aumento de consumo da unidade venha a acontecer, é permitido também uma futura expansão do banco de baterias, visto que é permitido a conexão de até três sistemas de 4 módulos de baterias em paralelo no mesmo inversor, podendo chegar em até 42 kWh nominais no total.

Com tal dimensionamento executado neste tópico do trabalho, pode-se passar para o dimensionamento e simulação computacional do projeto, tema abordado a seguir no próximo tópico.

4.2 - Software SOLergo de Simulação Computacional

O dimensionamento do projeto em ambiente computacional ocorreu em um programa próprio de simulações fotovoltaicas chamado *SOLergo* da empresa *Electro Graphics*, em sua versão do ano de 2023. Este programa possui diversas telas para a entrada de dados específicos, cada uma separada por tipo de informação a ser inserida para que possa gerar requerimentos do projeto desejado em cada uma das etapas, garantindo uma forma mais didática e intuitiva na construção de um projeto. A navegação da mesma se dá por meio das seções localizadas no canto esquerdo da tela.

Na Figura 10 é mostrada a tela inicial do programa utilizado na simulação computacional. Nesta tela é selecionado a opção de Novo Projeto: Sistema Ilha, no canto superior esquerdo, referente a um SFV autônomo. Pode-se inserir o título do projeto a ser desenvolvido, uma descrição e dados do endereço do local de instalação, onde o programa utiliza um banco de dados do *Google Maps* para facilitar a seleção do local e agilizar o processo.

Nesta análise foi inserido uma localização na zona rural ao norte da cidade de Ribeirão Preto como base para as análises de irradiação solar, todavia este parâmetro pode ser alterado caso o local de estudo definido for outro. A barra superior do programa também fornece opções para configurar outros parâmetros

das simulações, como por exemplo fatores de dimensionamento ou desgaste anual do sistema, bem como abrir e salvar os projetos.

Figura 10 - Tela inicial do programa *SOLergo*.

Fonte: Elaboração do próprio autor.

Com isso, na Figura 11 é apresentada a segunda tela com detalhes da localização inserida na tela inicial onde é possível observar as coordenadas geográficas e a altitude do local.

Figura 11 - Localização e albedo do projeto.

Mês	Albedo	Descrição
Janeiro	0,0%	
Fevereiro	0,0%	
Março	0,0%	
Abril	0,0%	
Maio	0,0%	

Fonte: Elaboração do próprio autor.

Igualmente pode-se inserir e configurar o albedo, uma medida da proporção da radiação solar recebida que é refletida de volta à atmosfera, parâmetro de grande importância caso seja utilizado módulos fotovoltaicos bifaciais. No projeto não foi utilizado albedo, pois os módulos utilizados são monofaciais e o local de instalação, próximo às telhas, não proporciona grandes reflexões de radiação solar. O albedo pode ser considerado em um projeto com módulos bifaciais instalado em estrutura no solo. Diante disso os ganhos na geração podem ser expressivos a ponto de considerar este método de instalação.

Na terceira e quarta tela do programa, Figura 12 e Figura 13, são inseridos dados pessoais do cliente, responsável pela UC, que será realizado o projeto e do técnico responsável pelo projeto, respectivamente. Nestas telas são inseridos nomes completos, CPF ou CNPJ, cidade, endereço, formas de contato e naturalidade das pessoas envolvidas.

Figura 12 - Dados pessoais do cliente.

Fonte: Elaboração do próprio autor.

Na Figura 14 apresenta-se a tela onde é possível inserir dados do consumo e perfil de carga da UC, ou seja, configurar cargas bem como são utilizadas por hora, dia ou mês. Também é possível importar arquivos de texto ou planilhas já contendo os dados de consumo.

Figura 13 - Dados pessoais do técnico responsável.

SOLergo 2023 - [C:\...\SOLergo\00 Sistema Off-Grid.sol]

Novo | Abrir | Salvar | Salvar como | Ferramentas | Informações

Dados gerais do sistema

- Localização
- Cliente
- Técnico responsável**
- Consumo
- Exposições
- Sistema Ilha
 - Gerador
 - Componentes
 - Verificações
 - Layout
 - Cabos
 - Diagrama elétrico
 - Simulação
 - Custos
 - Resultado econômico
 - Documentação

Técnico responsável

Dados pessoais do técnico responsável pelo projeto.

Função: Representante legal

Nome: Álex Augusto Sobrenome: Rocha Fortunato

C.P.F.: C.N.P.J.: Empresas

Sociedade:

Estado / Região: SP

Cidade: Ribeirão Preto

Endereço: Av. Wladimir Meirelles Ferreira CEP: 14021-630

Números de telefone: Fax:

E-mail:

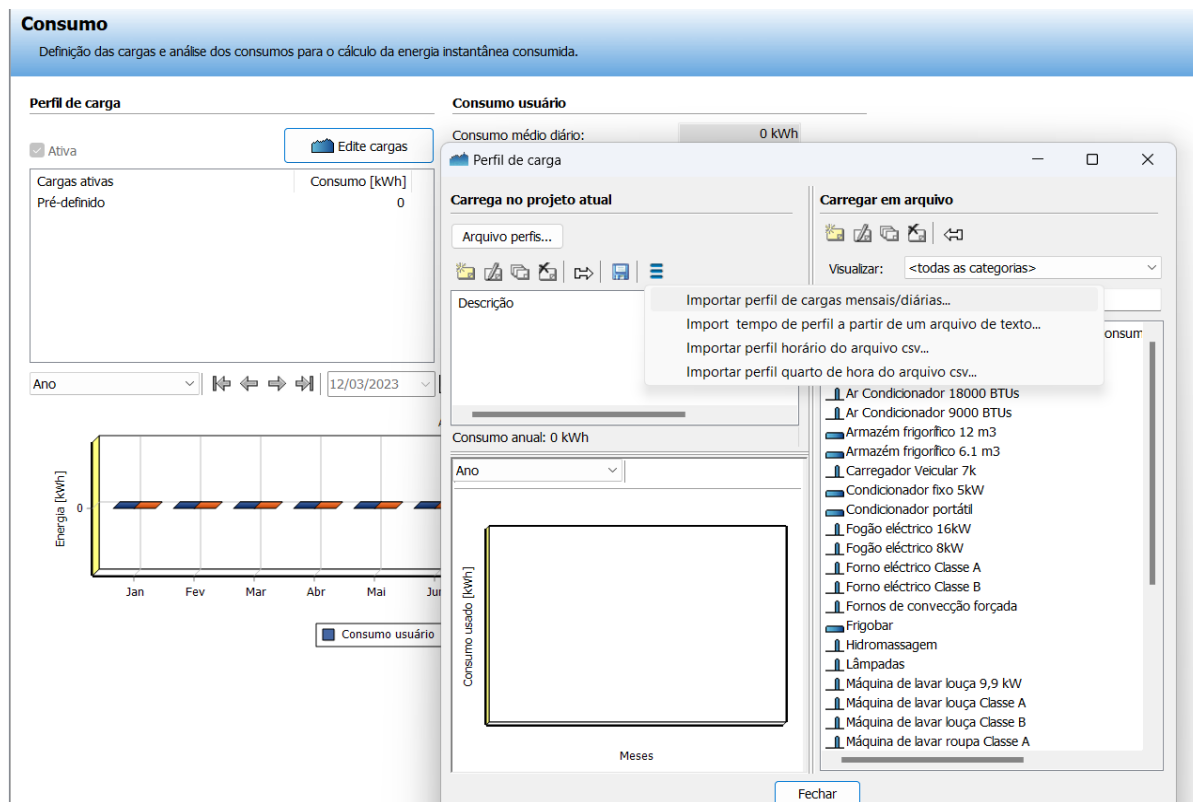
Inscrição estadual:

Naturalidade: Ipuã - SP Data de nascimento: 09/04/1997

CREA/CFT: ART de projeto:

Fonte: Elaboração do próprio autor.

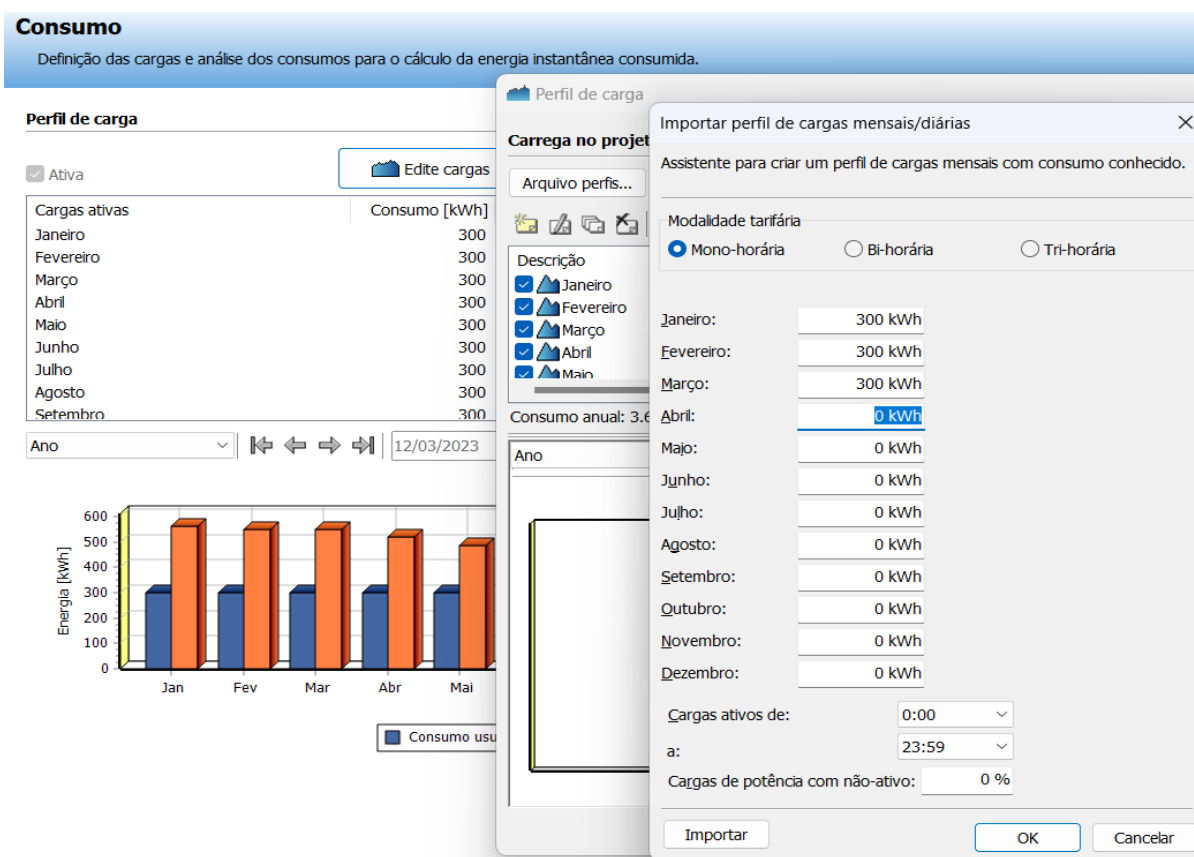
Figura 14 - Consumo e perfil de carga.



Fonte: Elaboração do próprio autor.

Neste caso, como mostra a Figura 15, foi inserido um consumo fixo de 300 kWh por mês para o dimensionamento. Significa que as cargas da instalação se mantiveram com consumo constante durante o passar do tempo durante os dias e noites. Para o dimensionamento do sistema isto pode ser considerado, já que o projeto considera o consumo total e para as potências instantâneas o projeto será considerando a carga total da UC, como mencionado 5 kW de carga instalada.

Figura 15 - Perfil de consumo de energia inserido.

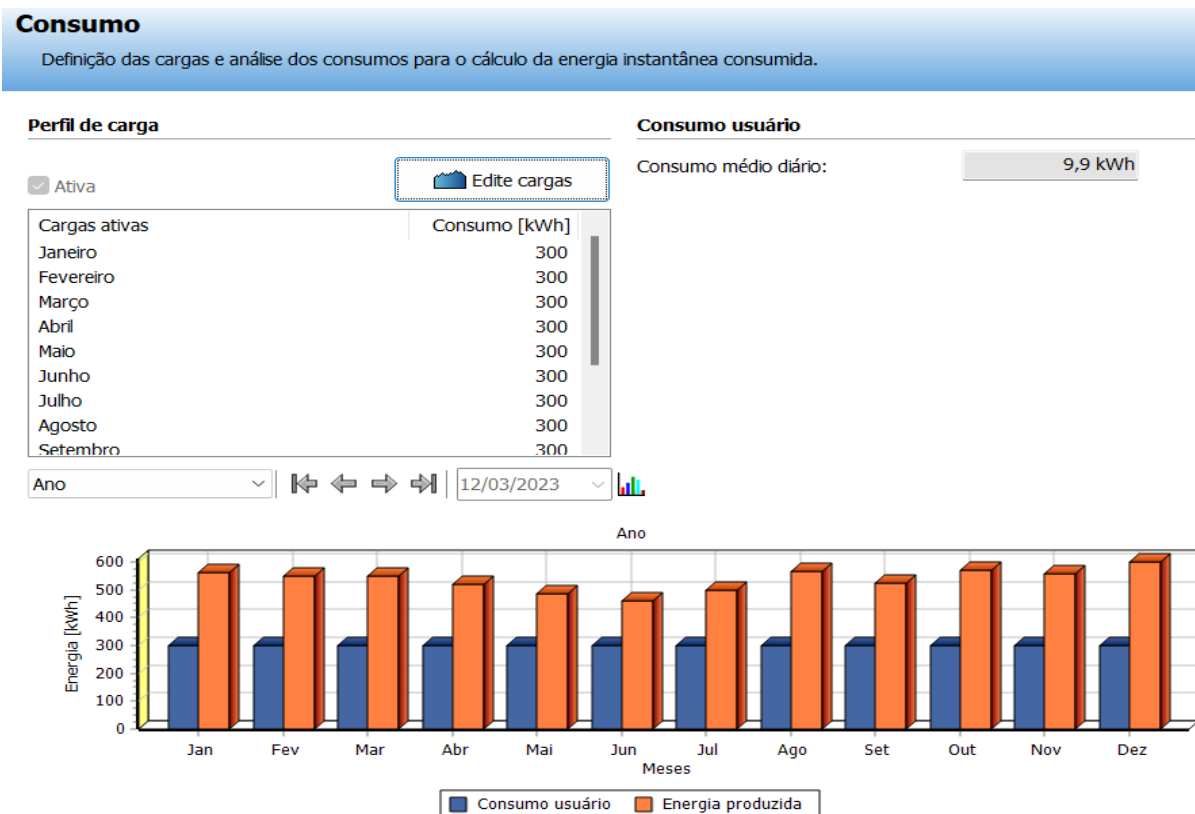


Fonte: Elaboração do próprio autor.

Na Figura 16 são apresentados os dados inseridos no programa, bem como seu respectivo gráfico em barras ao longo do ano, com o consumo do usuário e a energia produzida pelo SFV.

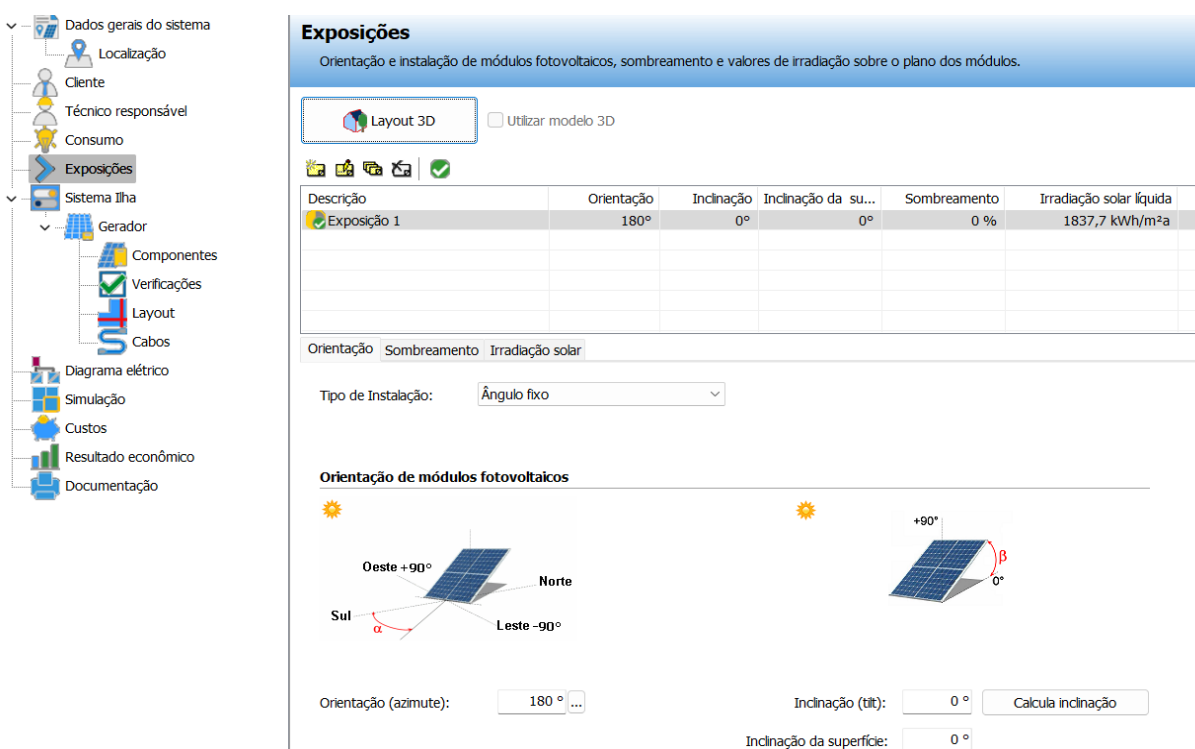
Na Figura 17 é mostrado onde localiza-se as exposições da simulação, criando-as a partir de ângulos de orientação com relação ao sul. Também é possível editar a inclinação dos módulos e da superfície. Pode-se escolher se o arranjo fotovoltaico será com estrutura fixa, com um eixo ou dois eixos de mobilidade, criar um modelo em três dimensões do local de instalação do SFV e inserir possíveis objetos ou árvores que possam causar sombreamento nos módulos.

Figura 16 - Consumo e produção de energia.



Fonte: Elaboração do próprio autor.

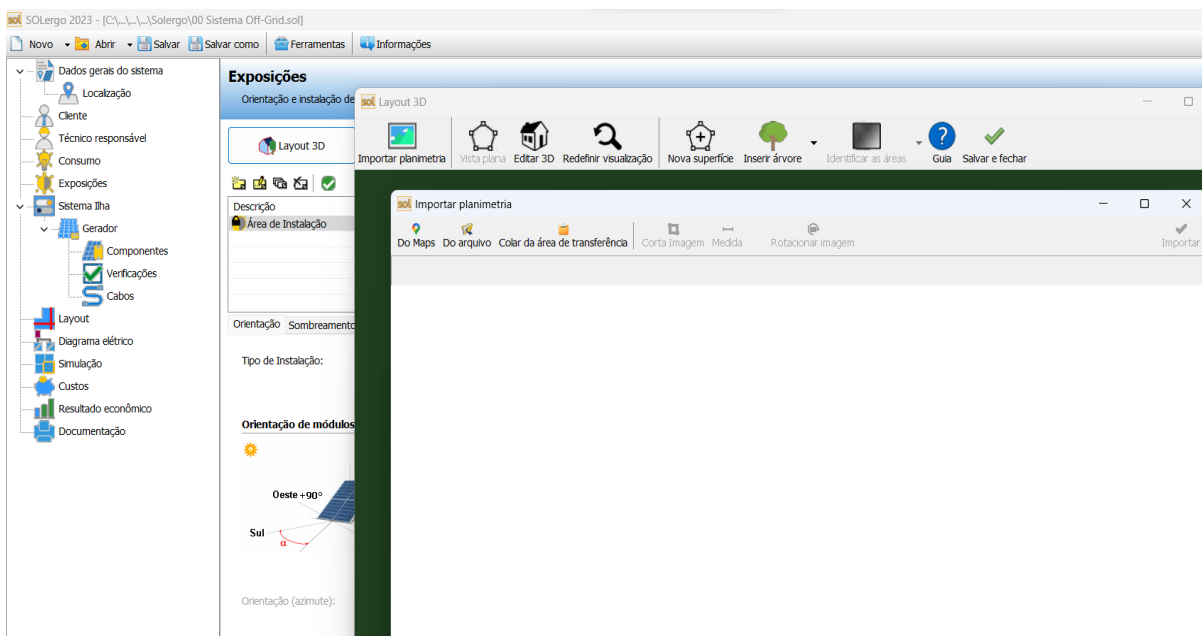
Figura 17 - Layout do projeto.



Fonte: Elaboração do próprio autor.

Quando selecionada a opção *Layout 3D*, abre-se a tela que é apresentada na Figura 18, pode-se importar uma foto aérea do local ou buscar no banco de dados via satélite do *Google Maps*.

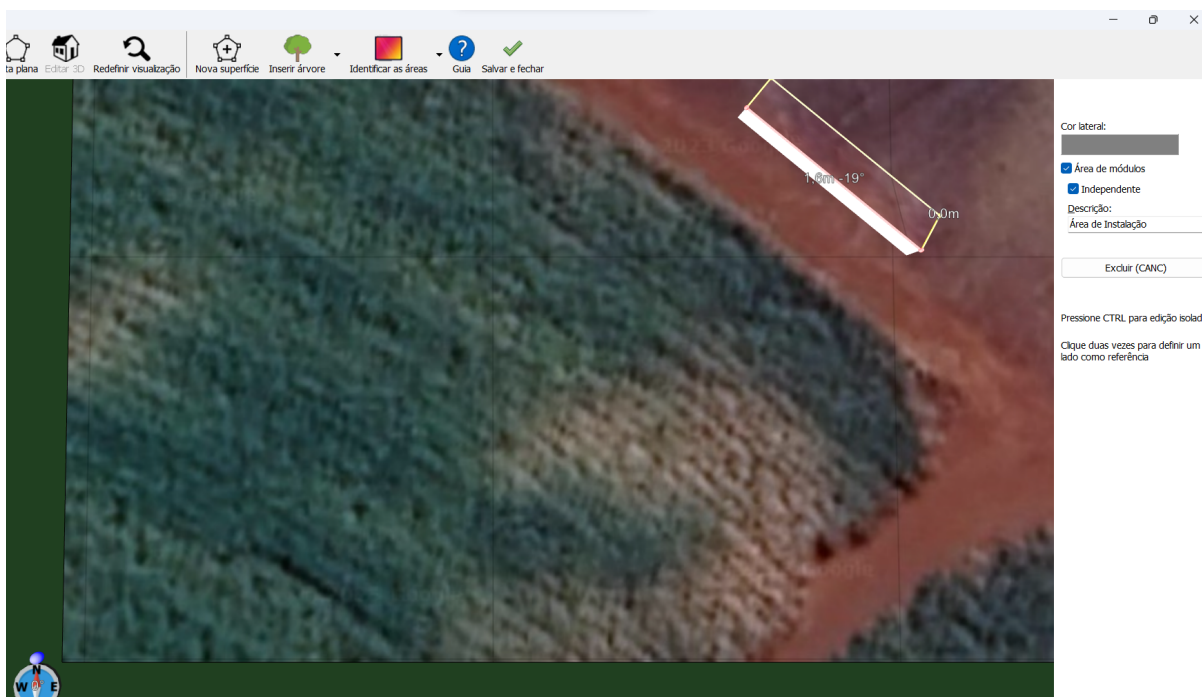
Figura 18 - Importação de foto do local de instalação.



Fonte: Elaboração do próprio autor.

Na Figura 19 representa-se uma foto via satélite da região escolhida para a instalação do SFV.

Figura 19 - *Layout 3D* do local de instalação e orientação.



Fonte: Elaboração do próprio autor.

Criou-se uma estrutura fictícia para representar um telhado de uma residência, com orientação nordeste de ângulo fixo e inclinação de 19°. Também nesta tela é possível mover a orientação do norte, conforme bússola no canto inferior esquerdo, que neste caso permaneceu sem alteração, devido à foto ter sido retirada via satélite e já apresentar correta orientação do referencial norte geográfico.

Com a exposição pronta e o desejado modelo em três dimensões (3D) do local finalizados pode-se iniciar a parte mais técnica do dimensionamento do projeto a partir da tela Sistema Ilha, Gerador e Componentes. A próxima etapa da simulação é o dimensionamento do banco de baterias conforme apresentado na Figura 20.

Figura 20 - Dimensionamento do banco de baterias.

Sistema Ilha
Definição da bateria equivalente

Sistema

Tensão do sistema: 48 V
☒ Cargas AC
☐ Gerador auxiliar

Dimensionamento

Mês para o dimensionamento: Janeiro

Consumo médio diário: 9,98 kWh (Janeiro)

Autonomia da bateria: 1 dias e 0 horas

Estado mínimo de carga da bateria (SOC): 20 %

A capacidade da bateria equivalente: 259,8 Ah

Energia da bateria equivalente: 12,5 kWh

Bateria

Tipo de bateria: BYD B-Box LV

Bateria

Capacidade nominal: 292 Ah

Propriedades

Baterias em série: 1

Baterias em paralelo: 1

Capacidade geral: 292 Ah

Energia total nominal: 14 kWh

Inversor DC/AC

Desempenho DC/AC: 0,97
Tipo: BYD BYD-S-1P5K-2M-H

Inversor DC/AC

Elementos em paralelo: 1

Fonte: Elaboração do próprio autor.

Primeiro determinou-se a tensão de 48 V para o barramento do banco de baterias, depois foi inserido o mês de referência para o consumo, autonomia da bateria e o estado mínimo de carga do banco (SoC) de 20%. Com isso foi entregue pelo programa a capacidade da bateria equivalente de 259,8 Ah ou então 12,5 kWh, que são os mesmo valores dos que foram calculados manualmente neste projeto. A seguir serão selecionados os mesmos componentes do fabricante BYD para projeto do SFV, os modelos precisos deles se encontram nas imagens das simulações e foram mencionados anteriormente na seção anterior.

Na Figura 21 foram selecionados um banco de baterias, um inversor como seus respectivos reguladores de cargas que são integrados ao equipamento e 8 módulos fotovoltaicos, com a ligação de quatro módulos em série por rastreador do arranjo.

Figura 21 - Componentes de geração do sistema.

Componentes

Tipo de módulos fotovoltaicos e regulador de carga. Dados de dimensionamento.

Módulo fotovoltaico

Módulo fotovoltaico: Selecionar... ▼

Potência nominal: Área: Propriedades

☐ Usar otimizador de potência Configuração de módulos

Propriedades

Regulador de carga

Temperatura de operação Mínimo: Máximo:

 Dimensionamento assistido

Regulador de carga: Seleção manual

Número de reguladores: Propriedades

Rastreadores simétricos:

Verificações elétricas

Tensão: ✓

Corrente: ✓

Potência: ✓

Número de rastreadores	MPPT 1	MPPT 2
Módulos em série	4	4
Séries fotovoltaicas em paralelo	1	1
Exposição	Área de Instalação ...	Área de Instalação ...
Tensão de MPP (STC)	168,2 V	168,2 V
Número de módulos	4	4

Mesma configuração para todos os reguladores ☐

Dimensionamento

Número total de módulos: Potência nominal:  Dispersões

Peso total dos módulos: Potência de pico:

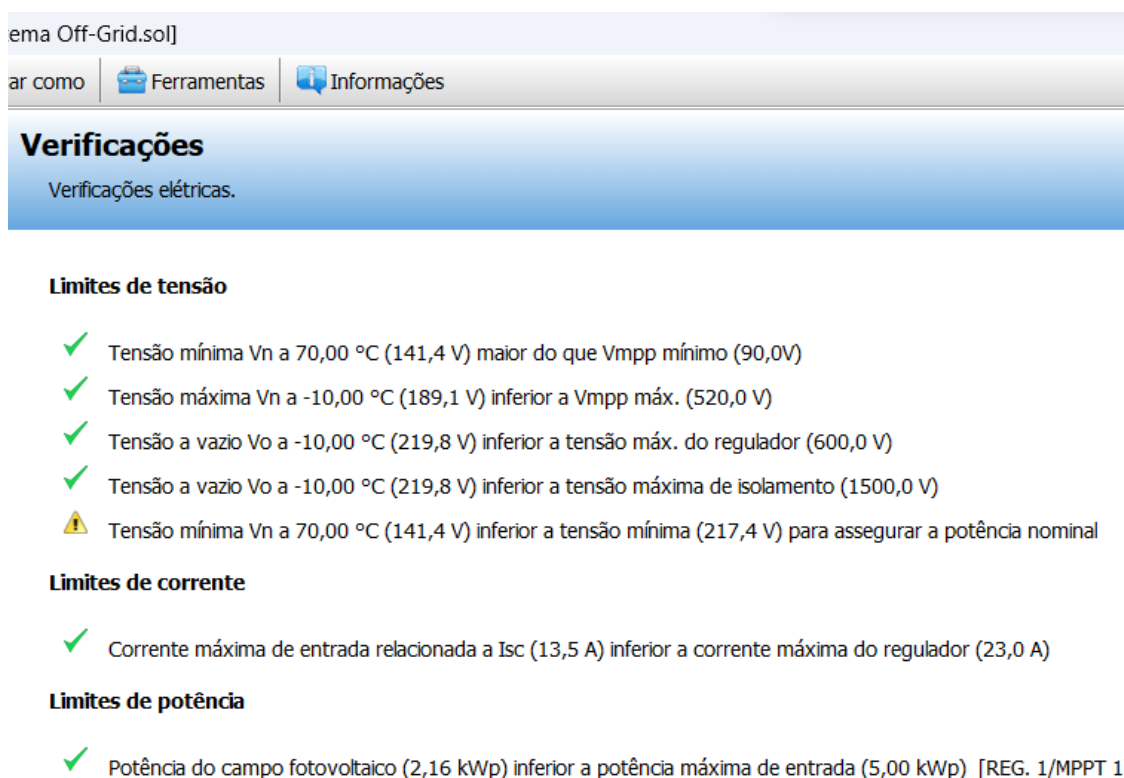
Fonte: Elaboração do próprio autor.

Na Figura 21 também foram selecionados os modelos dos módulos e reguladores de carga utilizados, também foram configurados como o arranjo é constituído e conectado aos reguladores, em termos de módulos em série e paralelo, bem como a exposição pertencente a cada rastreador MPPT dos inversores. Nesta tela pode-se determinar a quantidade de reguladores desejados e apresentados dados como área ocupada, peso e potência do arranjo fotovoltaico dimensionado.

Na Figura 22 apresenta-se a subdivisão de verificações elétricas do programa, onde é possível conferir se todos os limites de projeto estão de acordo. Nesta simulação todos os requisitos de segurança e correto funcionamento foram atendidos.

Somente um alerta foi emitido pelo programa de que as séries do arranjo talvez não atinjam a tensão nominal de funcionamento a 70° C, o que pode limitar um pouco a produção de energia. Porém não compromete todo o projeto visto que é garantido o funcionamento nesta temperatura dos módulos e normalmente em temperaturas mais baixas. Também são realizadas as verificações de tensões em condições extremas de baixa temperatura que mostram não existir problemas de funcionamento.

Figura 22 - Verificações elétricas do projeto.



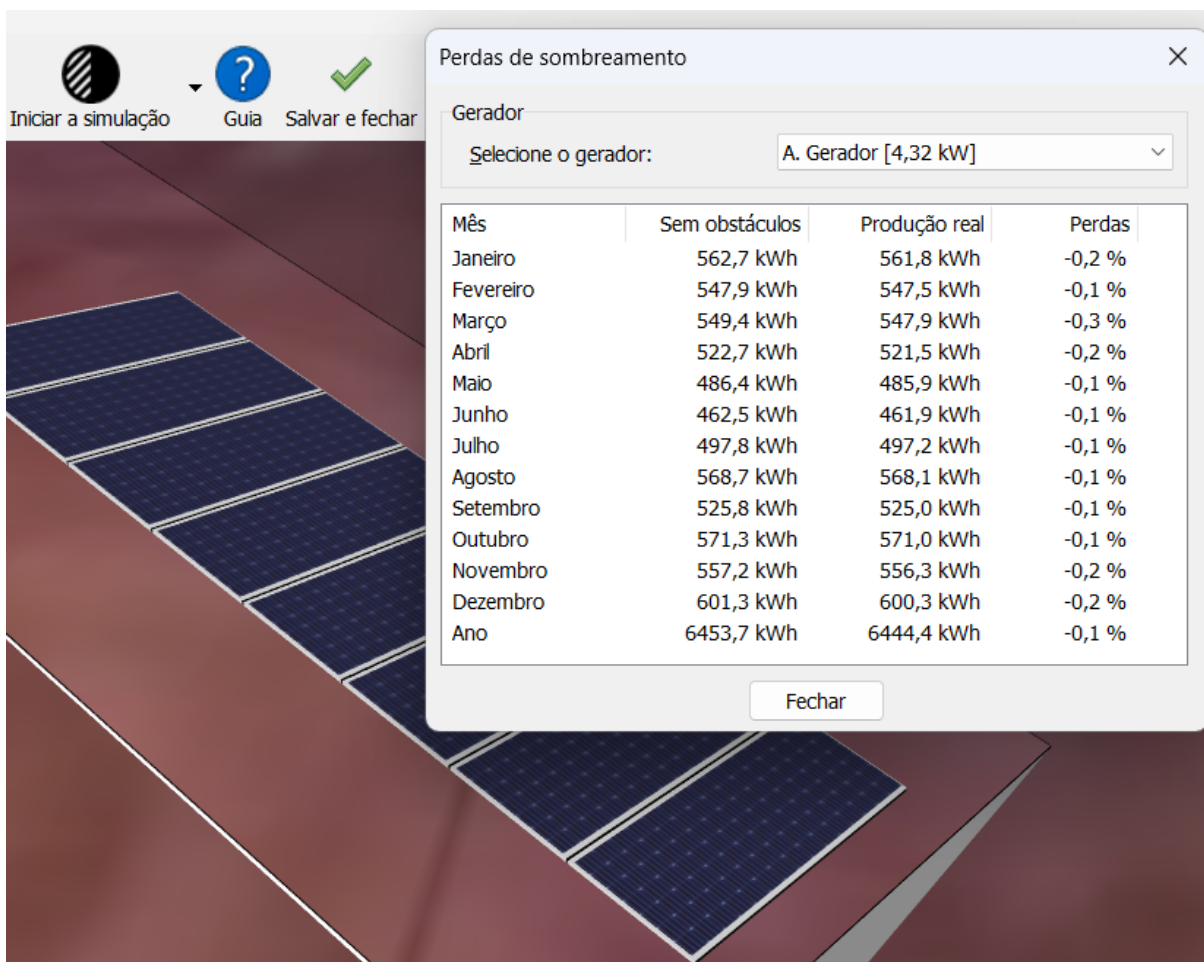
Fonte: Elaboração do próprio autor.

Com a confirmação das verificações observadas na Figura 22, pode-se prosseguir com a simulação do SFV. Na Figura 23 apresenta-se o arranjo com uma fileira de 8 módulos no modelo em três dimensões que foi simulado em um ano.

Da figura 23 observa-se a quantidade de energia produzida em kWh em cada mês e ao final de todo o ano em duas situações: uma sem obstáculos na coluna à esquerda, outra considerando possíveis sombreamentos nos módulos na coluna central. Na coluna da direita tem-se as perdas expressas em porcentagem.

Tal produção real e as baixas porcentagem de perdas é devido a consideração de que não existem obstáculos próximos capazes de produzir sombreamento. Também é possível observar os módulos instalados em seu local escolhido, neste caso é ilustrado um telhado cerâmico de uma residência com inclinação próxima a 18° . Esta ilustração de telhado possui estrutura e dimensões aceitáveis para instalação desta quantidade de módulos, assim como deve ser o possível local final escolhido.

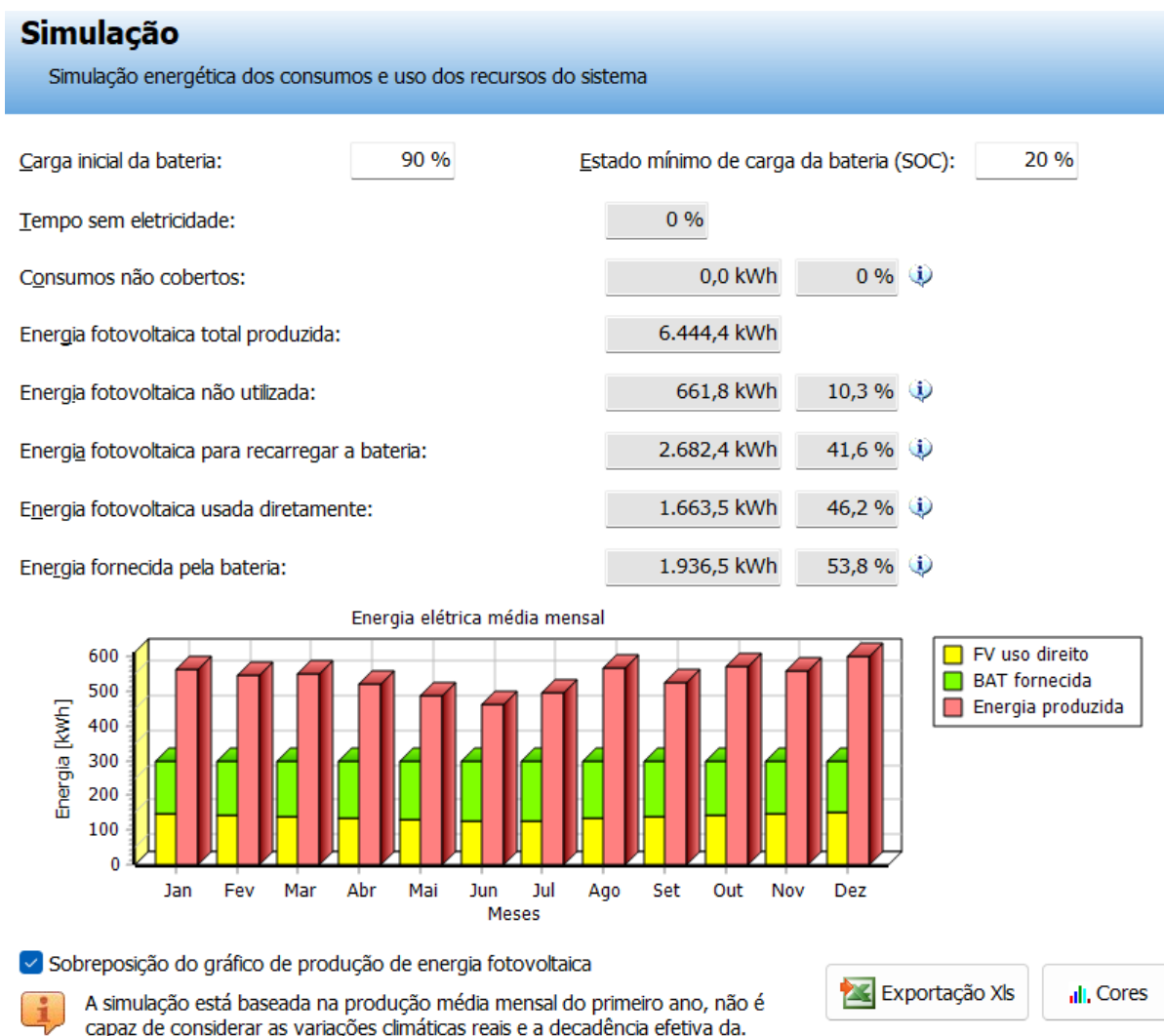
Figura 23 - Produção de energia em um ano.



Fonte: Elaboração do próprio autor.

Por fim, na Figura 24 foi simulado o consumo e uso dos recursos energéticos deste SFV projetado ao longo de um ano. É apresentado o total real de energia produzida pelos módulos, a utilizada para recarregar o banco de baterias, a utilizada diretamente dos módulos e a fornecida pelas baterias à UC. Como esperado tal sistema de produção solar foi superdimensionado devido à potência instalada da residência, porém assegurada nenhuma interrupção no fornecimento de energia e até um aumento inesperado do consumo mensal.

Figura 24 - Simulação energética do sistema.



Fonte: Elaboração do próprio autor.

Desta maneira é encerrada este tópico de projeto e simulações do SFV com banco de baterias, partindo-se para a próxima etapa, que será realizada o dimensionamento dos condutores e dispositivos de proteção para os circuitos desta instalação.

4.3 - Condutores e dispositivos de proteção para o SFV

Na Tabela 2 apresentam-se os dados dos circuitos do sistema e suas conexões; nela é descrita a seção transversal do condutor utilizado, corrente de curto circuito em CC ou nominal em CA, tensão de circuito aberto CC ou tensão máxima alcançada em CA, correntes e tensões máximas dos condutores utilizados, bem como o condutor terra da instalação.

Neste caso são considerados cabos com isolante HEPR para os circuitos em CC e isolante PVC para os circuitos em CA e condutor de aterramento. É considerado ainda cada um desses circuitos individuais, ou seja, a parte CC possui dois circuitos (*strings*) para as entradas individuais do inversor e conexão com o banco de baterias, e a parte CA tem um circuito do inversor do SFV para alimentar a UC.

Tabela 2 - Dados técnicos dos circuitos e condutores do SFV.

Origem do Circuito	Fim do Circuito	Seção Transversal do Condutor (mm ²)	Corrente de Projeto (A)	Corrente Máxima Suportada (A) Método B1	Tensão de Circuito Aberto (V)	Tensão Máxima Suportada (V)
Série Fotovoltaica	<i>String Box</i> CC	6	13,53	54	200,08	1800
<i>String Box</i> CC	Inversor de Frequência	6	13,53	54	200,08	1800
Banco de Baterias	Inversor de Frequência	35	97,66	164	59,2	1800
Inversor de Frequência	Quadro de Proteção CA	6	22,73	41	230	750
Quadro de Proteção CA	Quadro Geral da UC	6	22,73	41	230	750
Arranjo Fotovoltaico e Inversor	Aterramento da UC	6	Condutor Terra	41	Condutor Terra	750

Fonte: Elaboração do próprio autor.

As proteções de tais circuitos foram realizadas na parte em CC com a presença de uma *string box* de duas entradas e duas saídas, com chave seccionadora CC e DPS CC classe 2 para cada *string*. Pela corrente dos ramos dos módulos fotovoltaicos, pode ser dispensável o uso de fusíveis para tais circuitos.

O banco de baterias é conectado com um cabo de seção de 35 mm² em cada um dos polos. Considerando a potência do inversor de 5 kW e a tensão nominal das baterias de 51,2 V, é dimensionado uma proteção com fusíveis de 120 A e chaves seccionadoras. Na parte em CA é utilizado um disjuntor bipolar de 32 A com curva C e dois DPS classe 2 para a saída do inversor, sendo o próprio disjuntor a chave seccionadora do circuito.

Por fim, comparando com a Figura 21, onde o programa de simulação estipula alguns limites de temperatura de operação para verificar capacidades técnicas dos equipamentos, os condutores ainda suportam as especificações exigidas. Com isso, pode-se prosseguir para análise de custos dos equipamentos necessários para o SFV e instalação do mesmo.

5 - ESTIMATIVA DE CUSTO E ANÁLISE FINANCEIRA

Após a escolha e dimensionamento dos equipamentos necessários para o projeto pode-se iniciar a etapa financeira deste estudo. A proposta deste conjunto fotovoltaico com baterias foi a sua construção com um mesmo fornecedor com estoque de módulos, inversores e baterias. A estimativa de custo oferecida foi em parceria com a empresa GP3 Energia LTDA da cidade de Ribeirão Preto - SP é de R\$ 74.500,00 incluindo todos os materiais das partes em CC e CA, bem como a instalação dos equipamentos.

Na Tabela 3 apresenta-se a lista de materiais e equipamentos pedidos ao fornecedor escolhido, pode-se dizer que tais componentes representam a parte em CC do sistema. A parte de conexão e materiais citados no tópico 4.3 é fornecida segundo a lista apresentada anteriormente e de responsabilidade da empresa contratada. Neste fornecedor do SFV autônomo não há discriminação dos valores de custo de cada item da lista, portanto não foi possível analisar e identificar qual equipamento exige maior ou menor investimento.

Tabela 3 - SFV de 4,32 kWp e acúmulo de energia de 14 kWh.

Item	Descrição	Quantidade
1	PAINEL SOLAR BYD 540 IMPORTADO	8
2	INVERSOR BYD PRO HÍBRIDO 5 kW MONO	1
3	BYD CERAMICO 4 MOD IBRAP	2
4	PERFIL ALUMÍNIO 2.400 MM I	8
5	CABO SOLAR 6 MM ² PRETO 1,8 kV 25 M	1
6	CABO SOLAR 6 MM ² VERM. 1,8 kV 25 M	1
7	PAR DE CONECTORES MC4	8
8	B-BOX LV 3.5	4
9	B-BOX LV BCU + BASE	1
10	STRING BOX 2E-2S 32 A C 1.040 VCC	1
11	PLUG WIFI PRO	1

Fonte: Elaboração do próprio autor.

Na Tabela 4 apresentam-se os dados de entrada, ou seja, valores e taxas consideradas nesta análise. A Taxa Mínima de Atratividade (TMA) representa um indicador de rendimento mínimo que o investimento deve remunerar para ser

considerado viável. Neste caso foi considerado uma média anual de valores do Índice Nacional de Preços ao Consumidor Amplo (IPCA) no período de 10 anos de amostragem para a comparação do estudo (IBGE, 2023), bem como um valor médio e aproximado do custo de 1 kWh fornecido pela concessionária de energia para o primeiro ano de análise.

Após o primeiro ano, foi considerada uma taxa média de reajuste anual no valor da eletricidade até o fim do estudo, com base em média de 10 anos de anos anteriores (INSTITUTO ACENDE BRASIL, 2020) e movimentações da agência ANEEL, que sempre ocorrem com o decorrer do tempo (ANEEL, 2023). Todavia não foi considerado neste período de 20 anos de análise, bandeiras tarifárias de escassez hídrica por serem imprevisíveis, o que poderiam influenciar os preços fornecidos pelas distribuidoras. Por fim, o custo final do projeto, em pagamento à vista, que o cliente deve aplicar para receber o SFV instalado.

Tabela 4 - Valores considerados análise financeira.

TMA (IPCA)	Custo da Energia (R\$/kWh)	Taxa de Reajuste da Energia Elétrica	Custo do Projeto
6,07%	0,87	6,72%	R\$ 74.500,00

Fonte: Elaboração do próprio autor.

Com isso, é possível determinar os valores apresentados na Tabela 5 onde estão contidos os dados da análise financeira deste projeto considerando os próximos 20 anos.

É iniciado o estudo a partir do momento de investimento no projeto, feito o balanço de valores em todos os anos de estudo. Na coluna de custos e retorno contém o valor de custo do projeto, e nos anos seguintes, valores estimados de quanto seria gasto com energia elétrica fornecida pela concessionária. Os custos com eletricidade foram estimados com base no consumo anual de 3600 kWh e com um reajuste anual de 6,72% no valor da tarifa.

Na coluna referente ao fluxo de caixa estão os valores do custo descontando ano a ano, a receita da energia que não foi comprada da distribuidora, somada com o valor do ano anterior do custo de aquisição do SFV. O valor presente mostra os valores do fluxo de caixa corrigidos pelo IPCA considerados na análise (TMA), representando de certa forma a inflação que os valores poderiam sofrer ao longo de cada ano. Esta correção é um importante parâmetro a ser levado em consideração, visto o longo período considerado na análise financeira do projeto.

Tabela 5 - Análise financeira do SFV 4,32 kWp ao longo de 20 anos.

Ano de Análise	Entrada e Saída de Caixa	Fluxo de Caixa	Valor Presente
0	-R\$ 74.500,00	-R\$ 74.500,00	-R\$ 74.500,00
1	R\$ 3.132,00	-R\$ 71.368,00	-R\$ 68.415,23
2	R\$ 3.342,47	-R\$ 68.025,53	-R\$ 65.054,67
3	R\$ 3.567,08	-R\$ 64.458,45	-R\$ 61.469,38
4	R\$ 3.806,79	-R\$ 60.651,65	-R\$ 57.644,27
5	R\$ 4.062,61	-R\$ 56.589,04	-R\$ 53.563,23
6	R\$ 4.335,62	-R\$ 52.253,43	-R\$ 49.209,07
7	R\$ 4.626,97	-R\$ 47.626,46	-R\$ 44.563,45
8	R\$ 4.937,90	-R\$ 42.688,56	-R\$ 39.606,77
9	R\$ 5.269,73	-R\$ 37.418,83	-R\$ 34.318,16
10	R\$ 5.623,85	-R\$ 31.794,97	-R\$ 28.675,30
11	R\$ 6.001,78	-R\$ 25.793,19	-R\$ 22.654,41
12	R\$ 6.405,10	-R\$ 19.388,10	-R\$ 16.230,08
13	R\$ 6.835,52	-R\$ 12.552,58	-R\$ 9.375,20
14	R\$ 7.294,87	-R\$ 5.257,71	-R\$ 2.060,87
15	R\$ 7.785,08	R\$ 2.527,37	R\$ 5.743,81
16	R\$ 8.308,24	R\$ 10.835,61	R\$ 14.071,76
17	R\$ 8.866,55	R\$ 19.702,16	R\$ 22.958,14
18	R\$ 9.462,39	R\$ 29.164,55	R\$ 32.440,48
19	R\$ 10.098,26	R\$ 39.262,81	R\$ 42.558,81
20	R\$ 10.776,86	R\$ 50.039,67	R\$ 53.355,87

Fonte: Elaboração do próprio autor.

5.1 - Valor Presente Líquido, Taxa Interna de Retorno e *Payback*

Analisando os dados obtidos chega-se aos resultados apresentados na Tabela 6, onde tem-se o Valor Presente Líquido (VPL) e a Taxa Interna de Retorno (TIR), dois simples indicadores porém bem úteis. O VPL se trata do valor presente do último ano de análise, ou seja, quanto de receita o investimento gerou no período analisado. A taxa TIR, também conhecida como Taxa Interna de Rentabilidade, é uma taxa de desconto hipotética que representa quanto este investimento rendeu ao longo do período em termos percentuais.

O termo *payback* significa retorno de pagamento e é levado em consideração quantos anos, ou quanto tempo, precisa-se para obter o valor do investimento inicial de volta. Este conceito pode ser chamado de tempo de retorno de pagamento. Será analisado o *payback* simples e descontado do projeto, onde a coluna de fluxo de caixa representa os valores simples. A coluna de valor presente representa os valores descontados da taxa levada em consideração.

Tabela 6 - Valor Presente Líquido e Taxa Interna de Retorno.

VPL	TIR
R\$ 53.355,87	4,40%

Fonte: Elaboração do próprio autor.

O valor presente líquido alcançado neste projeto ao longo do período foi de R\$ 53.355,87 em 20 anos e com uma taxa de rendimento aproximadamente de 4,40%, sendo inferior a TMA de 6,07%. A desvantagem da taxa TIR sobre a TMA foi de 1,67 pontos percentuais abaixo.

Nota-se da Tabela 5 que aos anos 13 e 14 alcançou o mínimo dos valores presentes acumulados e após este período, os valores do fluxo de caixa se tornam positivos. Isto mostra quando o projeto foi se tornando mais atrativo financeiramente, retornando gradualmente o investimento inicial e marcando no ano 15 onde ocorreu o *payback* simples e descontado do projeto.

Ainda nas condições apresentadas, não foi levado em conta a troca de qualquer componente do sistema de geração ou acúmulo de energia, cenário este que pode acarretar um maior custo ao final do estudo.

Por fim é importante destacar que este projeto se trata para uma UC onde possui condições atípicas para o fornecimento de energia, gerando dificuldades que acarretam em um custo maior. O consumo constante médio considerado gera uma dependência na disponibilidade de energia a qualquer momento, desta forma, o banco de bateria necessita possuir um armazenamento maior e garantir tal condição.

Na prática este fator poderia ser contornado caso os usuários programem suas atividades e maior consumo no período diurno, onde há disponibilidade de energia dos excedentes na produção solar. Como resultado o banco de baterias poderia possuir uma capacidade em kWh menor que este projeto, acarretando em um custo menor dos componentes.

5.2 - Alternativas ao projeto apresentado

Alternativamente ao projeto realizado, pode-se buscar por outros fornecedores, visto que os apresentados são de único fabricante o que pode encarecer o custo.

Um SFV composto por equipamentos de fabricantes diferentes, com preços competitivos e com a possibilidade de uso em conjunto, seria uma alternativa a ser estudada. O banco de bateria utilizado neste estudo pode ser utilizado com outros fabricantes de inversores, como: SMA, GOODWE, VICTRON, SUNGROW e outros, segundo a folha de dados do Anexo C.

Atualmente, no ano de 2023, o Brasil conta com uma enorme gama de fornecedores de módulos fotovoltaicos, majoritariamente com células monocristalinas, com diversas marcas e potências pico. É possível até mesmo encontrar no mercado telhas cerâmicas com pequenas células acopladas, chamadas de telhas solares, porém com algumas desvantagens e custos mais elevados.

Em se tratando de inversores de frequência e acumuladores de energia ou bancos de bateria, também possui-se um bom número de opções disponíveis para compra. Pode-se citar marcas como *Goodwe* (GOODWE, 2023), *Growatt* (GROWATT, 2023), *Kehua Tech* (KEHUA, 2023) e *Livolttec* (LIVOLTEC, 2023) que trazem soluções bem parecidas com as propostas neste estudo.

Tais marcas citadas possuem em seu portfólio, na data em que foi realizada a pesquisa, inversores híbridos e acumuladores de energia que podem trabalhar em conjunto com módulos fotovoltaicos de diferentes marcas, possibilitando assim preços mais acessíveis.

6 - CONCLUSÃO

O projeto foi elaborado tendo em mente uma UC residencial localizada próxima a cidade de Ribeirão Preto/SP, com gasto médio de 300 kWh por mês, bifásica 220 V e potência instalada de 5 kW referentes às cargas. Neste sentido, foi feito todo o projeto de um SFV autônomo com acumulador, apresentando cálculos e simulações computacionais para posteriormente realizar-se o orçamento do projeto e análise financeira.

No estudo financeiro do projeto foram consideradas estimativas de valores atuais para obter fluxos de caixas, valores presentes líquidos, uma taxa interna de retorno e um tempo de retorno do investimento. O valor de investimento requerido é de R\$ 74.500,00 acompanhado das análises obtidas pelo estudo com um *payback* em 15 anos. O valor presente líquido no ano 20 é de R\$ 53.355,87 e com uma taxa TIR de 4,40%. A taxa TIR ficou abaixo da taxa TMA em 1,67 pontos percentuais.

Tais indicativos sinalizam que o investimento necessário nas condições apresentadas gerou expectativas positivas, apesar de que o projeto rendeu uma taxa de receita menor que a taxa de referência. Conclui-se que o projeto é viável com algumas ressalvas aplicadas aos usuários finais da residência e um longo retorno financeiro.

Contudo, o inversor utilizado no projeto pode ser conectado em paralelo com uma futura rede de distribuição que venha atender a UC. Desta forma, o sistema poderá ser utilizado para gerar economias no consumo de eletricidade e participar do sistema de compensação de créditos. Este fato é garantido devido ao inversor utilizado possuir avaliação de conformidade e o registro INMETRO (001731/2023).

No ano de elaboração deste projeto, um sistema fotovoltaico ainda possui um elevado valor agregado, principalmente no seu sistema de acúmulo, cenário este que pode melhorar em um futuro próximo. A hipótese com menores custos ou menor banco de baterias, pode ser estudada ao longo dos anos e apresentar indicativos financeiros mais competitivos que os obtidos neste projeto.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 16149:** Sistemas Fotovoltaicos (FV) - Características da Interface de conexão com a rede elétrica de distribuição. Brasil, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 16690:** Instalações elétricas de arranjos fotovoltaicos - Requisitos de projeto. Brasil, 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 16767:** Elementos e baterias estacionárias para aplicação em sistemas fotovoltaicos não conectados à rede elétrica de energia (*off-grid*) - Requisitos gerais e métodos de ensaio. Brasil, 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 5410:** Instalações elétricas de baixa tensão. Brasil, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 5419:** Proteção de estruturas contra descargas atmosféricas. Brasil, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR IEC 62116:** Procedimento de ensaio de anti-ilhamento para inversores de sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica. Brasil, 2012.

ANEEL. Brasil ultrapassa marca de 10GW em micro e minigeração distribuída, 2022. Disponível em: <https://www.gov.br/aneel/pt-br/assuntos/noticias/2022/brasil-ultrapassa-marca-de-10-gw-em-micro-e-minigeracao-distribuida>>. Acesso em 12 de agosto de 2022.

ANEEL. ANEEL Aprova Reajuste Tarifário Anual das Permissionárias de Distribuição de Energia Disponível em: <https://www.gov.br/aneel/pt-br/assuntos/noticias/2023/aneel-aprova-reajuste-tarifario-anual-das-permissionarias-de-distribuicao-de-energia>>. Acesso em 11 de maio de 2023.

BOAS. Brasil é o 2º país com energia mais cara e pode virar o 1º, diz estudo. **Economia UOL**, 2022. Disponível em: <https://economia.uol.com.br/noticias/redacao/2022/01/11/brasil-e-o-2-pais-com-energia-mais-cara-e-pode- virar-o-1-diz-instituto.htm#:~:text=Brasil%20%C3%A9%20o%202%C2%BA%20pa%C3%Ads.virar%20o%201%C2%BA%2C%20diz%20instituto&text=O%20Brasil%20%C3%A9%20o%20segundo,baseada%20em%20n%C3%Bamer os%20de%202018%E2%80%9D>>. Acesso em 14 de novembro de 2022.

BRASIL, Cristiane Figueira. **Análise Técnico-Econômica e de Eficiência dos Principais Tipos de Baterias Utilizados em Sistemas Fotovoltaicos Isolados**. 2018. 100 f. Trabalho de Graduação - Engenharia Elétrica, Escola Superior de Tecnologia da Universidade do Estado do Amazonas, Manaus. 2018. Disponível em: <http://repositorioinstitucional.uea.edu.br/bitstream/riuea/1095/1/An%C3%A1lise%20t%C3%A9cnico-econ%C3%B4mica%20e%20de%20efici%C3%Aancia%20dos%20p>

[rincipais%20tipos%20de%20baterias%20utilizadas%20em%20sistemas%20fotovoltaicos%20isolados.pdf](#)>. Acesso em 18 de junho de 2023.

BYD BRASIL. Armazenamento de Energia - BYD Brasil Energia Limpa e mobilidade elétrica. Disponível em:

<<https://www.byd.com.br/produtos/armazenamento-energia/>>. Acesso em 26 de março de 2023.

BYD BRASIL. Módulos Fotovoltaicos - BYD Brasil Energia Limpa e mobilidade elétrica. Disponível em: <<https://www.byd.com.br/produtos/solar/>>. Acesso em 12 de fevereiro de 2023.

BYD ENERGY. Linktree, 2023. Página inicial de BYD Energy do Brasil. Disponível em: <<https://linktr.ee/bydenenergy.br>>. Acesso em 26 de março de 2023.

CLAMPER, Ficha técnica da Clamper Solar SB 1040V 32A 2E/2S PC, 2023.

Disponível em:

<<https://www.lojaclamper.com.br/clamper-solar-string-box-1040v-32a-1-2e-2s/p>>.

Acesso em: 7 de janeiro de 2023.

CLIMATE DATA, Clima Ribeirão Preto: Temperatura, Tempo e Dados Climatológicos, 2021. Disponível em:

<<https://pt.climate-data.org/america-do-sul/brasil/sao-paulo/ribeirao-preto-3193/#climate-graph>>. Acesso em 12 de fevereiro de 2023.

CRESESB - CENTRO DE REFERÊNCIA PARA ENERGIA SOLAR E EÓLICA SÉRGIO DE S. BRITO. Atlas Solarimétrico do Brasil, 2000. Disponível em:

<<http://www.cresesb.cepel.br/index.php?section=publicacoes&task=livro&cid=2>>.

Acesso em: 10 de agosto de 2022.

ECORI, Grid Zero - Como funciona - suas aplicações e homologação na distribuidora de energia elétrica, 2022. Disponível em:

<<https://www.ecorienergiasolar.com.br/artigo/grid-zero---como-funciona---suas-aplicacoes-e-homologacao-na-distribuidora-de-energia-eletrica#:~:text=O%20que%20%C3%A9%20e%20como%20funciona%20o%20Zero%20Grid%3F,sim%20conectado%20%C3%A0%20rede%20el%C3%A9trica>>. Acesso em 18 de janeiro de 2023.

Empresa de Pesquisas Energética - EPE. Expansão da Geração - Fontes. Brasil, 2022. Disponível em:

<<https://www.epe.gov.br/pt/areas-de-atuacao/energia-eletrica/expansao-da-geracao/fontes#:~:text=Hidrel%C3%A9tricas,recursos%20energ%C3%A9ticos%20a%20n%C3%ADvel%20nacional>>. Acesso em: 14 de novembro de 2022.

CPFL ENERGIA. **GED 14945 - Padrões de Entrada com Caixas de Medição e Proteção Incorporadas ao Poste de Concreto.** Brasil, 2021.

CPFL ENERGIA. **GED 15303 -Conexão de Micro e Minigeração Distribuída sob Sistema de compensação de Energia Elétrica.** Brasil, 2022.

GOODWE. Produtos - Armazenamento de energia. Disponível em: <<https://br.goodwe.com/products?tp=4>>. Acesso em 04 de maio de 2023.

GROWAAT. Solução de armazenamento residencial. Disponível em: <https://br.growatt.com/solutions/residential-storage-system?gclid=Cj0KCQjw7PCjBhDwARIsANo7CgmGW4B4MKx4Dlgmjfb71D0hsSs8MaiinNaUF4BXLc5N2fnFxlQwIGMaApMkEALw_wcB>. Acesso em 04 de maio de 2023.

IBGE Censo 2019, Indicador 7.1.1 - Percentagem da população com acesso à eletricidade, 2019. Disponível em: <<https://odsbrasil.gov.br/objetivo7/indicador711>>. Acesso em: 10 de agosto de 2022.

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. IPCA - Índice Nacional de Preços ao Consumidor Amplo. Séries históricas. Brasil, 2023. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/precos-e-custos/9256-indice-nacional-de-precos-ao-consumidoramplo.html?edicao=20932&t=series-historicas>>. Acesso em 27 de junho de 2023.

INSTITUTO ACENDE BRASIL. Evolução das Tarifas de Energia Elétrica e a Formulação de Políticas Públicas. *White Paper* 22, São Paulo, 2020. 28 p.

KEHUA. Série *iStoragE1* - Kehua Tech, Série de armazenamento de energia residencial. Disponível em: <<https://www.kehua.com/Pt/EnergyStorage/51.html>>. Acesso em 04 de maio de 2023.

LIVOLTEC. Centro de *downloads* - Catálogo mais recente da Livoltec. Disponível em: <<https://livoltek.com.br/centro-de-downloads/>>. Acesso em 04 de maio de 2023.

PORTAL SOLAR. Tudo sobre a eficiência de um painel solar. Disponível em: <<https://www.portalsolar.com.br/tudo-sobre-a-eficiencia-do-painel-solar.html>> Acesso em 28 de junho de 2023.

SENAI. Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial. **Instalação de Sistema de Microgeração Solar Fotovoltaica**. São Paulo: SENAI-SP Editora, 2019. 216p.: il.

SUNGROW, Folha de dados inversor string SG3K-D SG4K-D SG5K-D SG6K-D, 2023. Disponível em: <<https://br.sungrowpower.com/productDetail/621>>. Acesso em 7 de janeiro de 2023.

WWF BRASIL, Acesso à energia com fontes renováveis em regiões remotas do Brasil, 2020. Disponível em: <<https://www.wwf.org.br/?76422/Acesso-a-energia-com-fontes-renovaveis-em-regioes-remotas-no-brasil>>. Acesso em: 19 de junho de 2022.

ANEXO A - Folha de dados do módulo BYD540MLK-36

BYD MLK-36 MONOFACIAL 520W-545W

PROPRIEDADES MECÂNICAS

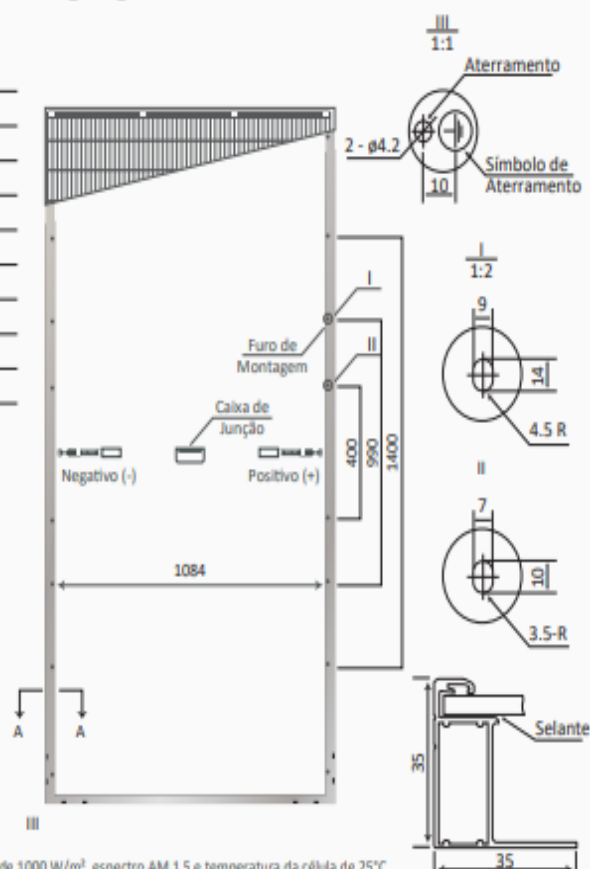
Tipo de Célula	182mm*91mm
Número de Células	144
Dimensão do Módulo	2256*1133*35mm
Peso	29kg ± 5%
Vidro Frontal	3.2mm Vidro Temp. A.R
Estrutura de Frame	Alumínio Anodizado
Caixa de Junção	IP68 (3 Diodos)
Tamanho do Cabo	450mm (4.0mm ²)
Conector	Compatível Conector MC4

COEFICIENTE DE TEMPERATURA

Potência Pico	-0.390%/°C
Tensão de Circuito Aberto	-0.300%/°C
Corrente de Curto Circuito	+0.060%/°C

INFORMAÇÕES DE TRANSPORTE

Tipo de Veículo	Carreta 13.5m
Peças por Pallet	30
Pallet por Carreta	22
Peças por Carreta	660



DADOS ELÉTRICOS (STC*)

Condições de teste padrão (STC): irradiação de 1000 W/m², espectro AM 1.5 e temperatura da célula de 25°C

Tipo do Módulo	BYD520MLK-36	BYD525MLK-36	BYD530MLK-36	BYD535MLK-36	BYD540MLK-36	BYD545MLK-36
Taxa de Máx. Potência (Pmax) [W]	520Wp	525Wp	530Wp	535Wp	540Wp	545Wp
Tensão de Circuito Aberto (Voc) [V]	48.52V	48.82V	49.12V	49.42V	49.72V	50.02V
Corrente de Curto Circuito (Isc) [A]	13.37A	13.41A	13.45A	13.49A	13.53A	13.57A
Tensão de Máx. Potência (Vmp) [V]	41.17V	41.39V	41.61V	41.83V	42.05V	42.27V
Corrente de Máx. Potência (Imp) [A]	12.64A	12.69A	12.74A	12.79A	12.84A	12.89A
Eficiência do Módulo [%]	20.13%	20.32%	20.52%	20.71%	20.90%	21.10%

Fonte: BYD BRASIL (2023).

ANEXO B - Folha de dados do inversor BYD-S-1P5K-2M-H

PROPRIEDADES TÉCNICAS

BYD-S 3kW & 5kW MONOFÁSICO 220V

MODELO	BYD-S-1P3K-HIB:		BYD-S-1P5K-2M-H	
ENTRADA CC				
Máx. Potência PV	4500Wp		7500Wp	
Máx. Tensão de Entrada PV			600 Vcc	
Tensão Nominal de Entrada			330 Vcc	
Máx. Corrente por MPPT			11 A	
Máx. Corrente de curto por MPPT			17,2 A	
Nº de MPPT / Strings PV por MPPT			2 / 1	
Faixa de tensão MPPT			90 Vcc ~ 520 Vcc	
Tensão Inicial			120 Vcc	
BATERIA				
Tipo de Bateria	Li-ion / chumbo-ácido			
Intervalo de tensão de bateria	42 - 58 V			
Capacidade da bateria	50 - 2000 Ah			
Máx. Potência de Carga/Descarga	3 kW		5kW	
Corrente Máx. de Carga/Descarga	62,5 A		100 A	
Frequência Nominal da Rede	CAN			
SAÍDA CA (BACKUP)				
Potência Nominal de Saida CA	3 kW		5kW	
Potência Máx. de Saida	4kVA		6kVA	
Tempo de Chaveamentodo	<20 ms			
Tensão de saída nominal	220 V / 230 V			
Frequência nominal	50 Hz / 60 Hz			
Corrente nominal de saída	13,6 A / 13 A		22,7 A / 22 A	
Harmônicas (THDv) (carga lineal)	<2%			
ENTRADA CA (REDE)				
Faixa de tensão de entrada	184-264 V			
Corrente máx de entrada	26,1 A			
Intervalo de frequência	45-55 Hz / 55-65 Hz			
SAÍDA CA (REDE)				
Potência Nominal de Saida CA	3 kW		5kW	
Potência Máx. de Saida aparente	3,3kVA		5,5kVA	
Fase de operação	1/N/PE			
Tensão de saída nominal	220 V / 230 V			
Frequência nominal	50 Hz / 60 Hz			
Corrente nominal de saída	13,6 A / 13 A		22,7 A / 21,7 A	
Fator de potência	>0,99 (0,8 inicial – 0,8 atrasado)			
Harmônicas (THDv)	<2%			
EFICIÊNCIA				
Eficiência Máxima	>97,5%			
Eficiência Europeia	>96,8%			
PROTEÇÃO				
Proteção con. Inver. de polari. CC	Sim			
Proteção Contra Curto-Circuito	Sim			
Proteção de sobrecor. de saída	Sim			
Proteção contra sobretensão	Sim			
Monitorização de falhas à terra	Sim			
AFCI	Sim			
INFORMAÇÕES GERAIS				
Topologia	Isolação de alta frequência (para bateria)			
Dimensões (AxLxP)	333x505x249 mm			
Peso	18,3 kg			
Grau IP	IP65			
Tipo de Resfriamento	Convecção Natural			
Altitude	2000 m			
Temperatura de Operação	-25° ~ 60°C			
Display	7.0" LCD tela colorida			
Comunicação	RS485, Wi-Fi			
Terminal CC	Conectores MC4			
Terminal CA	Ficha de ligação rápida			
Método de Instalação	Fixado na Parede			
Padrão de segurança / EMC	IEC 62109-1/-2, IEC 61000-6-2/-3			
Certi. de Padrão de conex. da rede	IEC 62116, IEC 61727, IEC 60068, IEC 61683			

Fonte: BYD ENERGY (2023).

ANEXO C - Folha de dados BYD B-BOX LV

BYD B-BOX LV

PARA ARMAZENAMENTO DE ENERGIA SOLAR



FICHA TÉCNICA

	1 módulo	2 módulos	3 módulos	4 módulos
MÓDULO DA BATERIA	1 módulo	2 módulos	3 módulos	4 módulos
ENERGIA UTILIZÁVEL (1)	3.5kWh	7kWh	10.5kWh	14kWh
POTÊNCIA MÁXIMA DE SAÍDA	3kWh	6kWh	9kWh	10kWh
POTÊNCIA DE PICO DE SAÍDA	5.0kWh - 10s	10.0kWh - 10s	15.0kWh - 10s	15.0kWh - 10s
EFICIÊNCIA ENERGÉTICA	≥ 95,3% (1)	≥ 95,3% (1)	≥ 95,3% (1)	≥ 95,3% (1)
TENSÃO NOMINAL (V)	51,2V	51,2V	51,2V	51,2V
FAIXA DE OPERAÇÃO (V)	40 ~ 59,2V	40 ~ 59,2V	40 ~ 59,2V	40 ~ 59,2V
COMUNICAÇÃO	RS485 / CAN	RS485 / CAN	RS485 / CAN	RS485 / CAN
DIMENSÕES (LxAxP) (mm)	620x475x380mm	620x711x380mm	620x947x380mm	620x1183x380mm
PESO LÍQUIDO (kg)	65kg	108kg	151kg	194kg
GRAU DE PROTEÇÃO IP	IP55	IP55	IP55	IP55
TEMPERATURA DE OPERAÇÃO (2)	-10°C a +50°C	-10°C a +50°C	-10°C a +50°C	-10°C a +50°C
CERTIFICAÇÃO DE SEGURANÇA	TUV (IEC62619 / CE / RCM / UN 38,3 / Sicherheitsleitfaden Li-Ionen-Haushaltspeicher			
DIMENSIONAMENTO	Máximo 3 sistemas em paralelo / 42kWh			
INVERSORES COMPATÍVEIS	SMA / GOODWE / Victron / Sungrow / Outros			
APLICAÇÕES	ON Grid / ON Grid + Backup			

(1) Condições de teste: 100% DOD, carga e descarga de 0,2°C a + 25°C

(2) Performance reduzida entre -10°C a + 12°C

Fonte: BYD BRASIL (2023).