

**INSTITUTO FEDERAL DE MINAS GERAIS
CURSO DE ENGENHARIA ELÉTRICA
LETÍCIA GABRIELA SOUSA DA SILVA**

**ANÁLISE DE SISTEMA HÍBRIDO DE GERAÇÃO DE ENERGIA NO IFMG
CAMPUS FORMIGA**

**FORMIGA – MG
2025**

LETÍCIA GABRIELA SOUSA DA SILVA

**ANÁLISE DE SISTEMA HÍBRIDO DE GERAÇÃO DE ENERGIA NO IFMG
CAMPUS FORMIGA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Elétrica do Instituto Federal de Minas Gerais como requisito para obtenção do título de bacharel em Engenharia Elétrica.

Orientador: Professor Dr. Renan Souza Moura

Coorientador: Professor Abrão Júnio de Oliveira

FORMIGA – MG

2025

Silva, Letícia Gabriela Sousa da
S621.312a Análise de Sistema Híbrido de Geração de Energia no IFMG Campus
Formiga. / Letícia Gabriela Sousa da Silva – Formiga : IFMG, 2025.
82 p. :il. color.

Orientador: Prof. Dr. Renan Souza Moura
Coorientador: Prof. Abrão Júnio de Oliveira
Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Elétrica) –
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais –
Campus Formiga.

1. Sistema híbrido. 2. Energia Solar 3. Armazenamento de energia. 4.
Carregador Veicular. I. Moura, Renan Souza. II. Oliveira, Abrão Júnio de.
III Título.

CDD 621.12

LETÍCIA GABRIELA SOUSA DA SILVA

ANÁLISE DE SISTEMA HÍBRIDO DE GERAÇÃO DE ENERGIA NO IFMG CAMPUS
FORMIGA

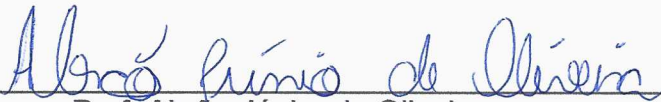
Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Curso de Engenharia Elétrica
do Instituto Federal de Minas Gerais como
requisito para obtenção do título de bacharel
em Engenharia Elétrica.

Nota: 100 pontos

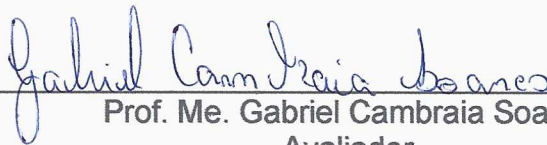
BANCA EXAMINADORA



Prof. Dr. Renan Souza Moura
Orientador



Prof. Abrão Júnior de Oliveira
Coorientador



Prof. Me. Gabriel Cambráia Soares
Avaliador



Prof. Me. Marcus Vinícius de Paiva
Avaliador



Prof. Dr. Patrick Santos de Oliveira
Avaliador

Formiga, dia 26 de novembro 2025

LETÍCIA GABRIELA SOUSA DA SILVA

ANÁLISE DE SISTEMA HÍBRIDO DE GERAÇÃO DE ENERGIA NO IFMG CAMPUS
FORMIGA

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
ao Curso de Engenharia Elétrica do Instituto
Federal de Minas Gerais como requisito para
obtenção do título de bacharel em Engenharia
Elétrica.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Renan Souza Moura
Orientador

Prof. Abrão Júnio de Oliveira
Coorientador

Prof. Me. Gabriel Cambraia Soares
Avaliador

Prof. Me. Marcus Vinícius de Paiva
Avaliador

Prof. Dr. Patrick Santos de Oliveira
Avaliador

Formiga, dia 26 de novembro 2025.

Dedico esta conquista à Deus e em especial ao meu irmão, Alberto, que incentivou e financiou essa grande conquista em minha vida.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a Deus por ter me dado forças e motivação para chegar até aqui. Nas dificuldades ao longo da jornada, Ele me fez prosseguir e nunca desistir dos meus objetivos.

Agradeço à principal pessoa que ajudou a tornar este sonho realidade: meu irmão Alberto, que financiou meus estudos e confiou a mim essa oportunidade. Obrigada por acreditar em mim.

Às minhas irmãs, Larissa e Lavínia, por serem a minha motivação para continuar nesta caminhada.

À minha avó Maria Aparecida e aos meus tios Kelly e Otávio, pelas orações, pelo carinho e por toda ajuda ao longo deste processo.

Ao meu namorado, Ibraim, por ter me apoiado desde sempre e por estar presente em todos os momentos, oferecendo amor, incentivo e compreensão.

Aos meus amigos de faculdade, que tornaram esta jornada mais leve e repleta de aprendizado. Em especial, ao nosso quarteto, por todos os momentos de parceria, companheirismo e risadas, mesmo nos dias mais desafiadores.

Aos meus professores, agradeço pelos conhecimentos técnicos e pelos ensinamentos de vida transmitidos ao longo do curso. Em especial, agradeço ao professor orientador Dr. Renan Souza Moura, pela oportunidade de aprendizado conjunto, pela orientação e pela dedicação. Agradeço também ao professor coorientador Abrão Júnior de Oliveira, pelos ensinamentos e colaborações durante a graduação.

Enfim, a todos que estiveram comigo e contribuíram, direta ou indiretamente, para a realização deste sonho, o meu muito obrigada!

“Confia ao Senhor as tuas obras, e teus
pensamentos serão estabelecidos”

Provérbios 16:3

RESUMO

Este trabalho de Conclusão de Curso analisou o desempenho de um sistema híbrido fotovoltaico conectado à rede, instalado no estacionamento do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais (IFMG) – Campus Formiga em uma estrutura do tipo *carport*. O sistema é composto por 15 módulos fotovoltaicos da fabricante SUNOVA modelo SS-585-72MDH(T), um inversor híbrido da Huawei modelo SUN2000-6KTL-L1, uma bateria Huawei modelo LUNA2000-5-S0 e um carregador veicular Terra AC W7-G5-R-0. Foi avaliado o comportamento energético do sistema em quatro modos de operação do inversor híbrido. Os quatro modos analisados foram: Autoconsumo Máximo, Totalmente Fornecida à Rede, Envio de Terceiros e Otimização de Tempo de Uso (ToU). Os resultados mostraram que, no modo de Autoconsumo Máximo, a energia gerada é utilizada para suprir as cargas locais, enquanto no modo Totalmente Fornecido à rede, observou-se maior exportação de energia injetado na rede elétrica. Já no modo Envio de Terceiros o controle do carregamento e da descarga da bateria é realizado por uma plataforma externa que o campus não dispõe, ficando sem o controle ativo de carga da bateria. No modo *ToU*, o sistema foi programado para carregar e descarregar a bateria em horários específicos, manhã e noite, respectivamente.

Além disso, foram propostas recomendações de uso para o carregador veicular, com ênfase no carregamento a partir da energia fotovoltaica ou da bateria, evitando o consumo da rede elétrica da instituição a fim de garantir operação compatível com as políticas de uso energético do campus.

O sistema híbrido analisado apresentou flexibilidade operacional com os seus quatro modos de operação, otimizando o uso da energia produzida pelo sistema. Dessa forma, a integração entre geração fotovoltaica e armazenamento de energia, evidencia o importante papel desse tipo de sistema como alternativa sustentável para instituições públicas e reforça o aprendizado para estudantes do campus.

Palavras-chave: Sistema híbrido. Energia solar. Armazenamento de energia.

ABSTRACT

This Course Conclusion Paper (TCC) analyzed the performance of a grid-connected hybrid photovoltaic system installed in the carport structure located at the Federal Institute of Education, Science and Technology of Minas Gerais (IFMG) – Formiga Campus. The system is composed of 15 SUNOVA SS-585-72MDH(T) photovoltaic modules, a Huawei SUN2000-6KTL-L1 hybrid inverter, a Huawei LUNA2000-5-S0 battery, and a Terra AC W7-G5-R-0 electric vehicle charger. The objective was to evaluate the energy behavior of the system in four inverter operating modes. The four analyzed modes were: Maximum Self-Consumption, Feed-in Priority, Third-Party Control, and Time of Use (ToU). In the Maximum Self-Consumption mode, the generated energy is primarily used to supply local loads. In the Feed-in Priority mode, greater export of electricity to the utility grid was observed. In the Third-Party Control mode, the charging and discharging of the battery are managed by an external control platform, which is not present at the campus, resulting in the battery operating without active charge management. In the ToU mode, the system was programmed to charge the battery in the morning and discharge it at night, demonstrating time-based energy management capability.

Additionally, operational recommendations were proposed for the electric vehicle charger, emphasizing charging through photovoltaic generation or stored battery energy, thus avoiding the use of electricity from the institutional grid and ensuring compliance with the campus's energy use policies.

The analyzed hybrid system demonstrated operational flexibility across its four modes, optimizing the use of the energy produced. Therefore, the integration between photovoltaic generation and energy storage highlights the relevance of this type of system as a sustainable alternative for public institutions and reinforces its educational value for students at the campus.

Keywords: Hybrid system. Solar energy. Energy storage.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Consumo Energético entre os anos 2004 a 2024	17
Figura 2 - Consumidores com micro e minigeração distribuída no Brasil.....	18
Figura 3 - Evolução das vendas globais de veículos elétricos	20
Figura 4 - Matriz Elétrica Brasileira	24
Figura 5 - Geração e Consumo de Energia Convencional	25
Figura 6 - Espectro das ondas eletromagnéticas	26
Figura 7 - Ilustração do Efeito Fotovoltaico	27
Figura 8 - Esquemático do Sistema Fotovoltaico Off-Grid	29
Figura 9 - Esquemático do Sistema Fotovoltaico On-Grid	30
Figura 10 - Esquemático do Sistema Fotovoltaico Híbrido.....	31
Figura 11 - Tela Inicial do aplicativo Fusion Solar	32
Figura 12 - Célula Fotovoltaica Monocristalina.....	33
Figura 13 - Célula Fotovoltaica Policristalina.....	34
Figura 14 - Célula Fotovoltaica Filmes Finos	35
Figura 15 - Meia Célula	36
Figura 16 - Célula Bifacial	37
Figura 17 - Inversor	37
Figura 18 - Tipos de Associações de Baterias	39
Figura 19 - Sistema Híbrido do IFMG.....	42
Figura 20 - Módulos fotovoltaicos Sunova SS-585-72MDH(T) de 585 W	46
Figura 21 - Inversor híbrido Huawei SUN2000-6KTL-L1 de 6 kW.....	46
Figura 22 - Bateria Huawei LUNA2000-5-S0 de 5 kWh	47
Figura 23 - Carregador veicular ABB Terra AC W7-G5-R-0 de 7,4 kW.....	48
Figura 24 - Tela da Definição para a escolha dos parâmetros	53
Figura 25 - Parâmetros de Funcionalidade	56
Figura 26 - Ajuste de Energia.....	57
Figura 27 - Tela do Fusion Solar para a escolha do modo de operação Autoconsumo Máximo.....	58
Figura 28 - Gráfico do comportamento diário no Modo Autoconsumo Remoto.....	58
Figura 29 - Gráfico da operação do sistema às 11h55 no Modo Autoconsumo Máximo.....	59

Figura 30 - Tela do Fusion Solar para a escolha do modo de operação Totalmente Fornecida à rede	60
Figura 31 - Gráfico do comportamento diário no Modo Totalmente Fornecida à rede	60
Figura 32 - Gráfico da operação do sistema às 12h20 no Modo Totalmente Fornecida à rede	61
Figura 33 - Tela do Fusion Solar para a escolha do modo de operação Envio de Terceiros	62
Figura 34 - Gráfico do comportamento diário no Modo Envio de Terceiros	62
Figura 35 - Gráfico da operação do sistema às 12h35 no Modo Envio de Terceiros	63
Figura 36 - Tela do Fusion Solar para a escolha do modo de operação ToU	64
Figura 37 - Gráfico do comportamento diário no Modo ToU	64
Figura 38 - Gráfico da operação do sistema às 08h00 no Modo ToU	65
Figura 39 - Gráfico da operação do sistema às 22h00 no Modo ToU	65

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Níveis de Potência de Carga.....	41
Tabela 2 - Dados Técnicos dos Módulos Fotovoltaicos	49
Tabela 3 - Dados Técnicos do Inversor.....	50
Tabela 4 - Dados Técnicos da Bateria	51
Tabela 5 - Dados Técnicos do Carregador Veicular.....	51
Tabela 6 - Parâmetros da Rede	53
Tabela 7 - Parâmetros de Proteção	54

ABREVIATURAS, SIGLAS OU CONVENÇÕES

GD	Geração Distribuída
ONS	Operador do Sistema Elétrico
MMGD	Micro e Minigeração Distribuída
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
UFV	Usinas Fotovoltaicas
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
SCEE	Sistema de Compensação de Energia Elétrica
IEA	<i>International Energy Agency</i>
SF	Sistema Fotovoltaicos
BESS	<i>Battery Energy Storage System</i>
TCC	Trabalho de Conclusão de Curso
SFVsCR	Sistemas Fotovoltaicos conectados à rede
CC	Corrente Contínua
CA	Corrente Alternada
PV	<i>Photovoltaic</i>
UV	Ultravioleta
MPPT	<i>Maximum Power Point Tracker</i>
PWM	Modulação por Largura de Pulso
SAE	Sistema de Armazenamento de Energia
VE	Veículos Elétricos
ToU	<i>Time of Use</i>
PV	<i>Photovoltaic</i>
SOC	<i>State of Charge</i>

LISTA DE SÍMBOLOS

V_{ac}	Tensão Alternada
V_{dc}	Tensão Contínua
P_{mp}	Potência Máxima
V_{mp}	Tensão de Potência Máxima
I_{mp}	Corrente de Potência Máxima
V_{oc}	Tensão de Circuito Aberto
I_{sc}	Corrente de Curto-Circuito
η	Eficiência

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	17
1.1 Justificativa.....	21
1.2 Hipótese	22
2. OBJETIVOS.....	23
2.1 Objetivo geral	23
2.2 Objetivos específicos	23
3. REFERENCIAL TEÓRICO.....	24
3.1 Contextualização	24
3.1.1 Fontes Renováveis.....	24
3.1.2 Geração Distribuída	25
3.2 Fundamentos Básicos sobre a Energia Solar Fotovoltaica	26
3.2.1 Energia Solar Fotovoltaica	26
3.2.2 Efeito Fotovoltaico	27
3.3 Sistemas Fotovoltaicos.....	27
3.3.1 Tipos de Sistemas Fotovoltaicos.....	28
3.3.1.1 Sistemas Fotovoltaicos Isolados (<i>Off-Grid</i>)	28
3.3.1.2 Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede (<i>On-Grid</i>).....	29
3.3.1.3 Sistemas Fotovoltaicos Híbridos	30
3.3.2 Componentes dos Sistemas Fotovoltaicos.....	32
3.3.2.1 Tipos de Células Fotovoltaicas.....	32
3.3.2.1.1 Silício Monocristalino.....	32
3.3.2.1.2 Silício Policristalino.....	33
3.3.2.1.3 Filmes Finos	34
3.3.2.1.4 Meia Célula (<i>Half-Cell</i>)	35
3.3.2.1.5 Célula Bifacial.....	36
3.3.2.2 Inversores.....	37
3.3.2.3 Baterias	38
3.4 Veículos Elétricos	40
3.4.1 Carregadores Elétricos.....	40
4. MATERIAL E MÉTODOS	42

4.1 Levantamento da característica do sistema	42
4.2 Medições e monitoramento de desempenho.....	43
4.3 Testes de operação e análise experimental	44
4.4 Análise de dados do SF	44
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	46
5.1 Caracterização do Sistema Híbrido Fotovoltaico.....	46
5.1.1 Módulos Fotovoltaicos.....	48
5.1.2 Inversor	49
5.1.3 Bateria.....	50
5.1.4 Carregador Elétrico	51
5.2 Modos de Operação do Inversor Híbrido.....	52
5.2.1 Modo de Autoconsumo Máximo	57
5.2.2 Modo Totalmente Fornecida à rede	59
5.2.3 Envio de Terceiros	61
5.2.4 Modo de Otimização de Tempo de Uso (Time of Use - <i>ToU</i>).....	63
5.3 Sugestão para utilização do Carregador Veicular no Campus	66
5.3.1 Regras de Operação do Carregador Veicular	66
6. CONCLUSÃO	68
REFERÊNCIAS.....	70
ANEXO A – FICHA TÉCNICA DOS MÓDULOS FOTOVOLTAICOS SUNOVA SOLAR SS-585-72MDH(T).....	73
ANEXO B – FICHA TÉCNICA DO INVERSOR HÍBRIDO HUAWEI SUN2000-2- 6KTL-L1	75
ANEXO C – FICHA TÉCNICA DA BATERIA HUAWEI LUNA2000-5-S0	77
ANEXO D – FICHA TÉCNICA DO CARREGADOR ELÉTRICO Terra AC W7-G5-R- 0	79

1 INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, tem-se observado o aumento significativo do consumo de energia elétrica em todo mundo, conforme pode ser visualizado pela Figura 1. A demanda global, por exemplo, aumentou 4,3% em 2024, sendo uma mudança significativa em relação ao crescimento de 2,5% observado em 2023 (IEA, 2025).

Esse aumento pode ser atribuído a diversos fatores, como o crescimento populacional, o avanço tecnológico, à ampliação da automação em ambientes domésticos, comerciais, industriais, entre outros.

Figura 1 - Consumo Energético entre os anos 2004 a 2024



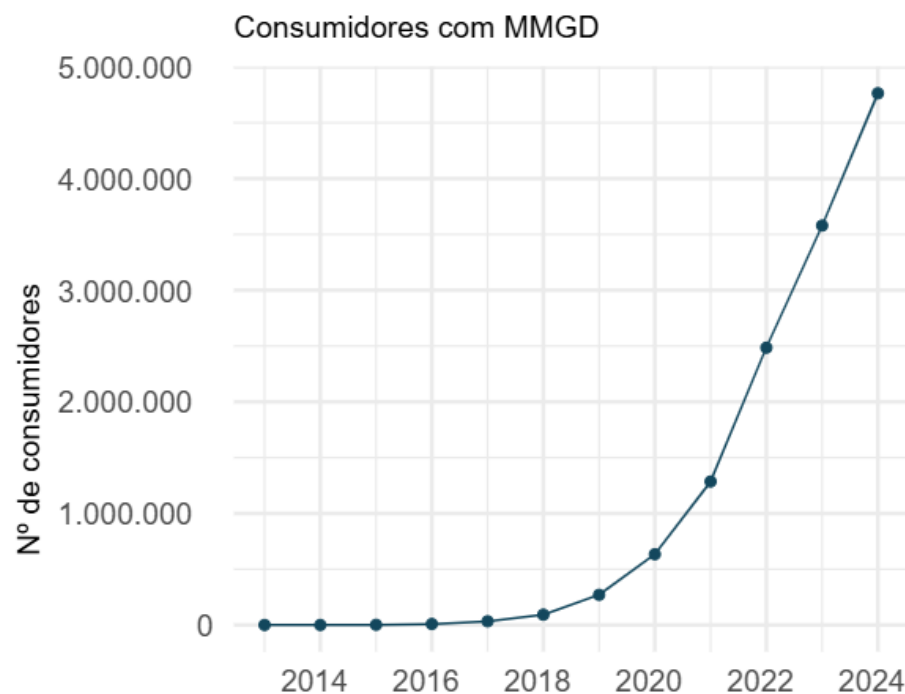
Fonte: EPE, 2025.

Diante dessa realidade, qualquer forma de geração de energia elétrica é necessária atualmente, incorporando alternativas que complementem o modelo de geração centralizada. Dentro deste contexto, a geração distribuída (GD) tem ganhado destaque como uma solução eficiente à geração de energia convencional.

Conforme descrito por Souza, Alvez e Moura (2024), esse tipo de geração consiste em unidades geradoras de energia elétrica, independentemente da potência, que se conectam diretamente à rede de distribuição elétrica ou às instalações de consumidores. Essas unidades podem funcionar de maneira integrada ao sistema ou de forma isolada, sendo ou não controladas pelo Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS). A geração distribuída, segundo os autores, é caracterizada por ser implantada por consumidores individuais ou coletivos, os quais passam a gerar sua própria energia por meio de sistemas conectados à rede.

Observa-se na Figura 2 que os números de consumidores com sistemas de mini e microgeração distribuída (MMGD) aumentaram, evidenciando a popularização das tecnologias solares fotovoltaicas no Brasil (EPE, 2025).

Figura 2 - Consumidores com micro e minigeração distribuída no Brasil



Fonte: EPE, 2025.

O número total acumulado de sistemas GD do tipo Usinas Fotovoltaicas (UFV) no Brasil, até o mês de junho de 2025, atingiu a marca de 3.598.226 unidades geradoras.

Esses sistemas estão instalados em mais de 5.559 municípios, tendo uma potência instalada superior a 40,4 GW (ANEEL, 2025).

Observando o panorama apenas em 2025, até a data 17 de junho, foram realizadas 369.961 novas conexões de UFV. Esse crescimento é impulsionado por fatores como a queda nos custos da tecnologia, políticas públicas de incentivo e o aumento da conscientização ambiental. Dessa forma, evidencia-se a consolidação da geração distribuída como uma solução viável, econômica e sustentável no setor elétrico brasileiro, ampliando o uso de fontes limpas de energia (ANEEL, 2025).

Essa prática proporciona uma maior autonomia no consumo energético e permite a geração de créditos quando a energia produzida excede o consumo mensal, sendo esses créditos utilizados para abater valores na fatura de energia (SOUZA; ALVEZ; MOURA, 2024).

Desde a entrada em vigor da Resolução Normativa nº 482/2012, da ANEEL, os consumidores brasileiros passaram a ter o direito de gerar sua própria energia elétrica por meio de fontes renováveis ou cogeração qualificada, podendo injetar o excedente na rede de distribuição e compensar posteriormente o consumo. Essa possibilidade configura o modelo de Microgeração e Minigeração Distribuídas (MMGD), regulamentado pelo Sistema de Compensação de Energia Elétrica (SCEE), promovendo benefícios econômicos e ambientais (ANEEL, 2025).

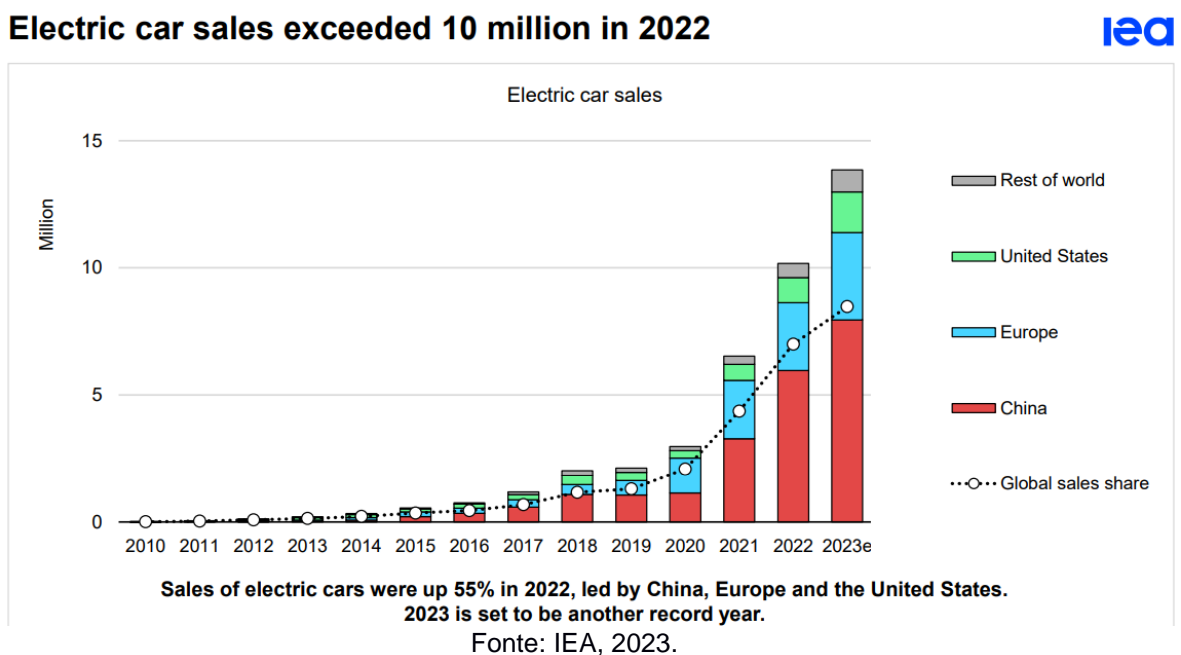
Ao longo dos anos, a regulamentação passou por diversas atualizações, como as Resoluções Normativas nº 687/2015 e nº 786/2017, que alteraram limites de potência e modalidades de participação no SCEE. A mais recente atualização ocorreu com a Resolução Normativa nº 1.059/2023, que ajustou a regulamentação à Lei nº 14.300/2022 e consolidou as diretrizes nas condições gerais de fornecimento de

energia estabelecidas pela Resolução Normativa nº 1.000/2021 (ANEEL, 2025). Essas mudanças refletem a crescente preocupação do setor elétrico com a sustentabilidade e o incentivo às fontes renováveis de energia, alinhando-se às metas globais de transição energética e redução de impactos ambientais.

Sistemas híbridos de pequeno e médio portes, que combinam múltiplas fontes de energia, representam uma outra solução para a geração descentralizada de eletricidade, especialmente por meio de mini redes que aproveitam fontes renováveis locais, como a solar/bateria, solar/eólica e outras que não são sustentáveis, como a solar/diesel, solar/eólico/diesel, por exemplo (BARBOSA, 2006).

Além disso, novas cargas no sistema de distribuição estão sendo implementadas, como os veículos elétricos, cuja demanda energética exige redes mais preparadas e eficientes. A comercialização de veículos elétricos ultrapassou 10 milhões de unidades em 2022, representando um aumento de 55% em relação a 2021, com destaque para China, Europa e Estados Unidos (IEA, 2023).

Figura 3 - Evolução das vendas globais de veículos elétricos



Dentro deste contexto, o programa *Huawei Power Generation* constituiu uma parceria estabelecida entre o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais – Campus Formiga (IFMG-Campus Formiga) e a empresa Huawei Brasil, com o objetivo de capacitar profissionais para atuarem nas áreas de projeto, instalação e manutenção de sistemas fotovoltaicos (SFs). Com um investimento aproximado de meio milhão de reais, foram adquiridos diversos equipamentos tecnológicos e executadas significativas melhorias de infraestrutura no campus. Entre essas melhorias, destaca-se a implementação de um sistema híbrido de geração de energia solar/bateria. Esse sistema, instalado em uma estrutura do tipo *carport*, é constituído por módulos fotovoltaicos, dispositivo de armazenamento de energia, carregador para veículos elétricos e um inversor híbrido.

Portanto, este trabalho tem como objetivo analisar as novas tecnologias e interações no contexto da geração fotovoltaica, por meio da realização de medições e testes, com o intuito de compreender o funcionamento do sistema híbrido instalado no IFMG – Campus Formiga.

1.1 Justificativa

O inversor híbrido facilita a integração entre diferentes fontes de energia (solar, rede elétrica e banco de baterias), otimizando o gerenciamento energético do sistema. O inversor híbrido permite também maior flexibilidade no controle do fluxo de energia (geração, consumo, injeção na rede e armazenamento). Assim, um bom entendimento do seu funcionamento pode agregar importantes conhecimentos para a comunidade acadêmica do IFMG-Campus Formiga.

De forma mais específica, um entendimento aprofundado das funcionalidades do sistema híbrido resultará no uso mais eficiente das suas fontes. Entender como o

aproveitamento instantâneo e/ou o armazenamento do excedente de energia para o uso posterior resulta em economia financeira a Instituição de Ensino é pretendido. Além disso, o melhor entendimento deste sistema permitirá a sua replicação em outros campi do IFMG.

1.2 Hipótese

Considerando os diferentes modos de operação do inversor híbrido, deve existir algum que permita o uso mais eficiente das fontes energéticas em função das cargas existentes.

Supõe-se ainda que o uso de um inversor híbrido, capaz de gerenciar simultaneamente a energia proveniente dos módulos fotovoltaicos e das baterias, permite uma gestão mais eficiente do fluxo de energia, otimizando o autoconsumo e o armazenamento.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

O objetivo deste Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) é entender o funcionamento do sistema híbrido instalado no Instituto Federal de Minas Gerais, Campus Formiga.

2.2 Objetivos específicos

São definidos os seguintes objetivos específicos para alcançar o objetivo geral.

- Medições da energia elétrica gerada pelo sistema híbrido em diferentes períodos do dia.
- Testes das funções presentes em cada equipamento. Por exemplo, existe a possibilidade de ajustar o melhor momento para acionar as baterias via o controlador de potência.
- Sugerir ao setor administrativo do IFMG-Campus regras em relação ao uso da infraestrutura de carregamento de veículos elétricos.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

Nesse capítulo serão apresentados os conceitos básicos para o melhor entendimento deste Trabalho de Conclusão de Curso (TCC). Temas como sistemas fotovoltaicos conectados à rede, sistemas híbridos de energia elétrica, inversores híbridos, carregador para veículos elétricos e sistemas de armazenamento de energia por baterias, *Battery Energy Storage System (BESS)*, serão abordados.

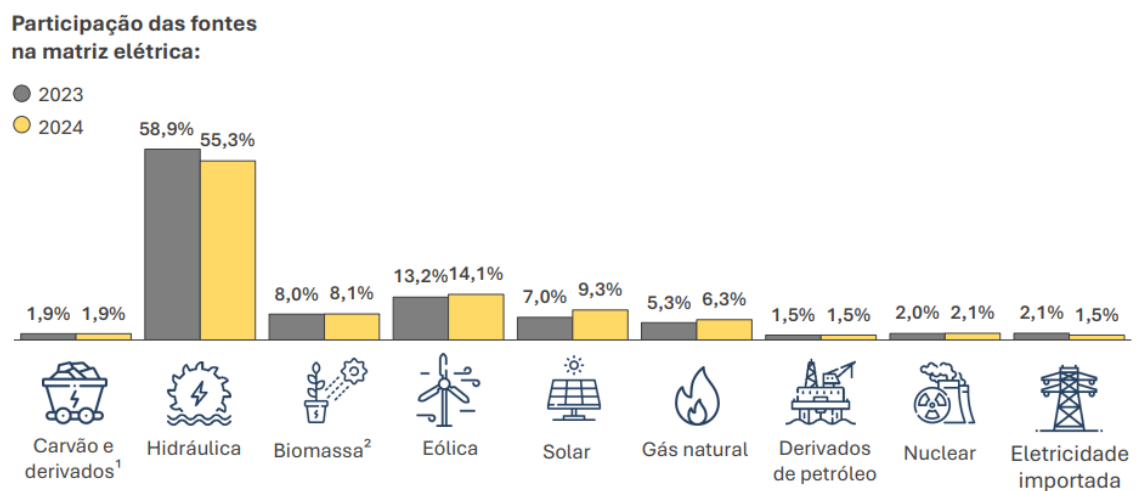
3.1 Contextualização

3.1.1 Fontes Renováveis

As fontes renováveis de energia são recursos naturais considerados inesgotáveis, uma vez que se regeneram continuamente. Podem ser citadas como pertencentes a este grupo de energias solar, eólica, hídrica, geotérmica e biomassa (VILLALVA, 2015).

Por meio da Figura 4, observa-se que houve uma redução na participação da fonte hidráulica, que passou de 58,9% em 2023 para 55,3% em 2024. Por outro lado, houve o crescimento de outras fontes renováveis, com destaque para a solar (EPE, 2024).

Figura 4 - Matriz Elétrica Brasileira

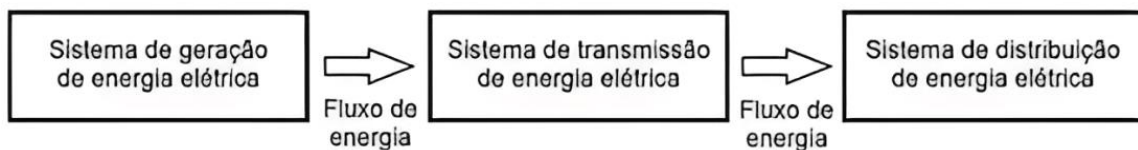


Fonte: EPE, 2024.

3.1.2 Geração Distribuída

A geração convencional de energia elétrica, ilustrada pela Figura 5, consiste na conversão de energia primária, como hidráulica, solar, eólica, entre outras, em eletricidade. A energia gerada passa por transformadores elevadores que permitem que o nível de tensão seja elevado para sua transmissão em longas distâncias. O sistema elétrico brasileiro utiliza altos níveis de tensão na transmissão, podendo incluir subtransmissão (rede secundária) conforme a estrutura da concessionária, até chegar à distribuição final. A energia é distribuída as cidades por meio dos alimentadores primários provenientes das subestações. Dessa forma, os transformadores instalados nos postes ao longo do sistema de distribuição adequam ao padrão de tensão dos consumidores (SOUZA; ALVEZ; MOURA, 2024).

Figura 5 - Geração e Consumo de Energia Convencional



Fonte: Souza, Alvez e Moura, 2024.

Como complemento a geração convencional, a geração distribuída de energia elétrica caracteriza-se pela utilização de geradores descentralizados, os quais são instalados próximos aos locais de consumo (VILLALVA, 2015).

Essa modalidade promove maior proximidade entre a geração e o consumo, proporcionando maior eficiência energética e redução de perdas. Além de favorecer a autossuficiência energética, a geração distribuída permite a compensação de créditos na fatura de energia elétrica, quando a produção mensal supera o consumo (SOUZA; ALVEZ; MOURA, 2024).

Microgeração distribuída é definida como sistemas geradores de energia elétrica provenientes de fontes renováveis ou cogeração qualificada, conectados à rede por

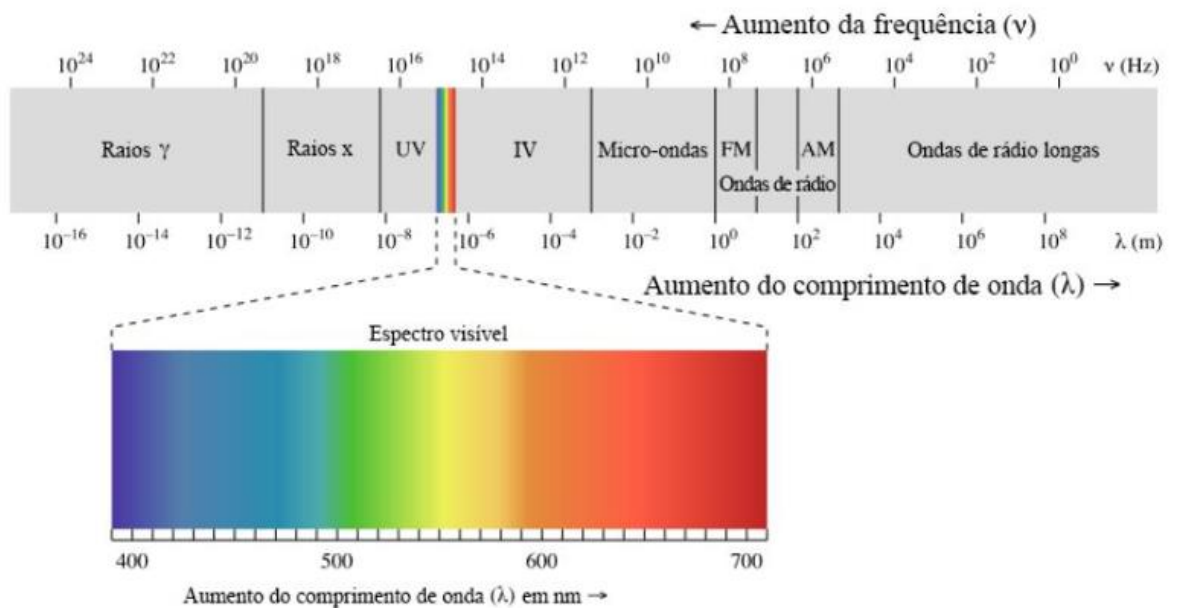
meio da unidade consumidora, com potência instalada em corrente alternada de até 75 kW. Já a minigeração distribuída apresenta as mesmas características, porém com potência instalada superior a 75 kW, respeitando um limite máximo estabelecido na regulamentação vigente (ANEEL, 2022).

3.2 Fundamentos Básicos sobre a Energia Solar Fotovoltaica

3.2.1 Energia Solar Fotovoltaica

A radiação solar é o conjunto de todas as frequências de ondas eletromagnéticas emitidas pelo Sol. Todo o espectro de radiação é responsável pelo transporte dessa energia, a qual pode ser captada na forma de luz ou calor, conforme ilustrado na Figura 6. O espectro eletromagnético é uma escala em que agrupam diferentes tipos de radiações eletromagnéticas, que se propagam à velocidade da luz. Ainda que possuam a mesma velocidade, diferem-se pela frequência e comprimento de onda. Ademais, grande parte dessas radiações são invisíveis ao olho humano com exceção do espectro visível (VILLALVA, 2012).

Figura 6 - Espectro das ondas eletromagnéticas

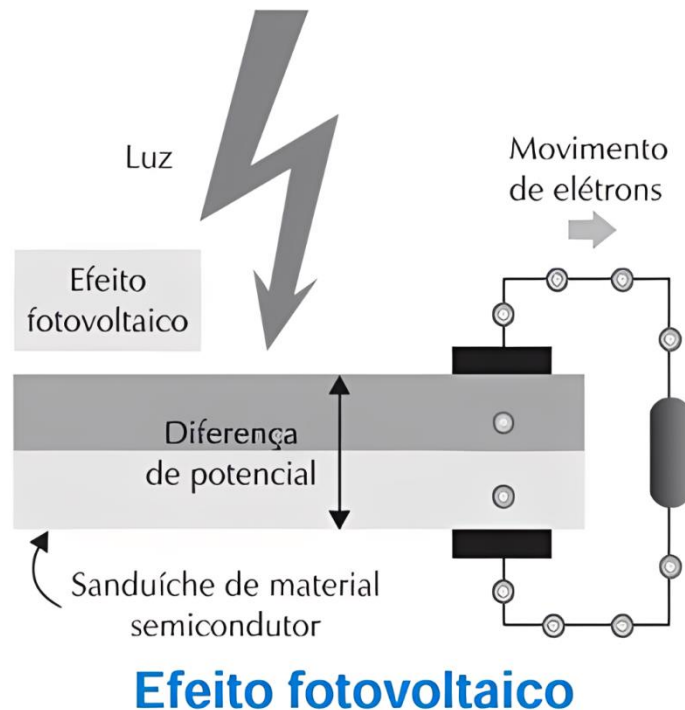


Fonte: Huawei, 2025.

3.2.2 Efeito Fotovoltaico

O efeito fotovoltaico é um processo físico que permite a transformação da radiação eletromagnética proveniente do sol em energia elétrica, Figura 7. Ocorre através da diferença de potencial, ou seja, tensão sobre uma célula formada por um “sanduíche” de materiais semicondutores. Ao conectar essa célula a dois eletrodos, estabelece-se uma tensão elétrica entre eles e, caso tenha um caminho fechado, permite-se o fluxo de corrente elétrica (PEREIRA et al., 2017).

Figura 7 - Ilustração do Efeito Fotovoltaico



Fonte: Huawei, 2025.

3.3 Sistemas Fotovoltaicos

O aproveitamento da energia solar para a geração direta de eletricidade teve início há mais de 160 anos, quando, em 1839, o cientista francês Edmond Becquerel descobriu o efeito fotovoltaico. Em seus experimentos com uma célula eletrolítica — composta por dois eletrodos metálicos imersos em uma solução condutora — Becquerel observou que a geração de eletricidade aumentava quando a célula era exposta à luz. A partir dessa descoberta, diversos materiais foram estudados sob a

incidência da luz até que, em 1954, Daryl Chapin, Calvin Fuller e Gerald Pearson desenvolveram a primeira célula fotovoltaica de silício, com eficiência de 6%, capaz de converter a energia solar em eletricidade suficiente para alimentar dispositivos elétricos. Em 1958, teve início a utilização das células fotovoltaicas em aplicações espaciais, área na qual essa tecnologia permanece como a mais indicada até os dias atuais (PINHO et al., 2008).

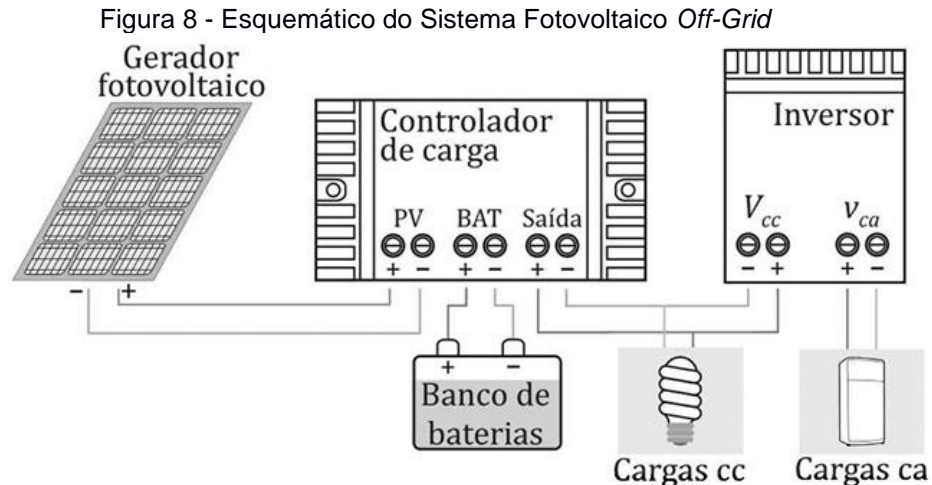
3.3.1 Tipos de Sistemas Fotovoltaicos

Podem ser classificados em três: Sistemas isolados (*off-grid*), Sistemas conectados à rede (*on-grid*) e Sistemas Híbridos. Neste trabalho, destacaremos o uso do sistema híbrido para geração de energia elétrica.

3.3.1.1 Sistemas Fotovoltaicos Isolados (*Off-Grid*)

Os SFs *off-grid* funcionam sem estarem conectados à rede elétrica. Os módulos fotovoltaicos fazem a captação da radiação solar e a convertem em energia elétrica do tipo corrente contínua (CC). Essa energia elétrica é enviada ao inversor que a converte em corrente alternada (CA), permitindo o uso em demais equipamentos.

Tais sistemas podem ter ou não armazenamento de energia por meio de baterias. Quando há baterias no sistema, o controlador de carga faz o gerenciamento do carregamento e do fornecimento da energia, proporcionando maior autonomia e segurança no abastecimento, Figura 8. São encontrados em áreas remotas onde não há acesso à eletricidade ou em sistemas solares de bombeamento para irrigação, por exemplo (MELONI; CAMBRAIA, 2025).



Fonte: COELHO, R.F, 2022.

3.3.1.2 Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede (*On-Grid*)

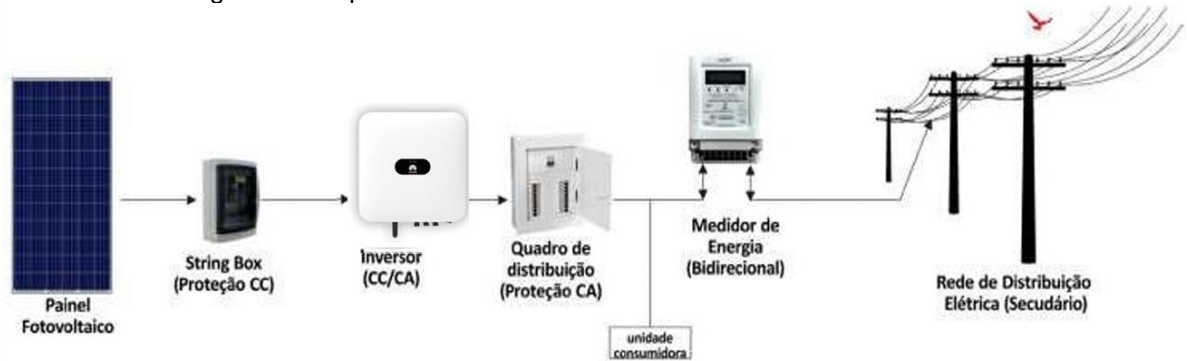
Os Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede (SFVsCR) são aqueles nos quais a energia gerada pelos painéis solares é injetada diretamente na rede elétrica. Esses sistemas se destacam pela eficiência, pois toda a energia produzida pode ser aproveitada imediatamente. Além disso, não necessitam de baterias, as quais possuem baixa vida útil quando comparada aos módulos fotovoltaicos e aos inversores (PINHO E GALDINO, 2014).

Durante o dia, os módulos fotovoltaicos fazem a captação da radiação solar e a convertem em energia elétrica CC. Essa energia elétrica em CC é enviada ao inversor para convertê-la em CA, com amplitude e frequência impostas pela rede elétrica pública, o que possibilita a interconexão à rede.

A Figura 9 ilustra o esquemático do sistema fotovoltaico *on-grid*. Nesse sistema, o inversor executa duas funções: a primeira é fazer a adequação dos níveis de corrente e tensão produzidos pelos módulos fotovoltaicos a fim de otimizar a conversão de CC para CA; e a segunda, é realizar a sincronização com a tensão alternada, ou seja, com a rede elétrica, permitindo a injeção de energia na rede

sempre que houver geração solar disponível. Complementando o sistema, o medidor de energia bidirecional tem a função de mensurar o quanto de energia foi consumida e o quanto de energia foi injetada na rede elétrica (MELONI; CAMBRAIA, 2025).

Figura 9 - Esquemático do Sistema Fotovoltaico *On-Grid*



Fonte: Imagem Retirada (LUTTERBACK, 2020).

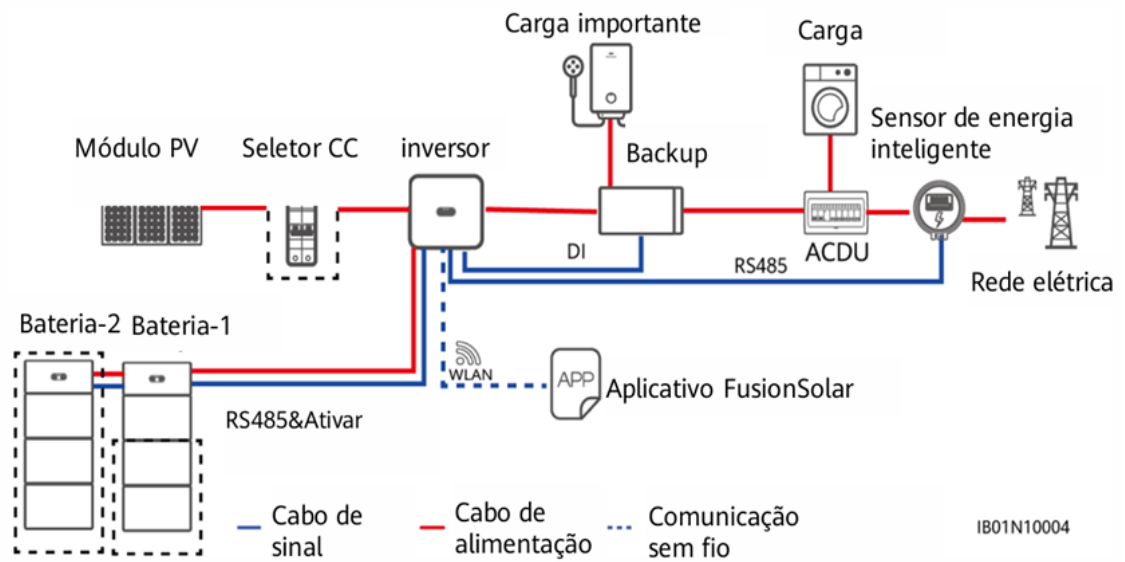
3.3.1.3 Sistemas Fotovoltaicos Híbridos

Os sistemas híbridos de geração de energia são compostos por diferentes fontes de energia, como solar/baterias, solar/eólico, entre outros, para otimizar a produção de energia elétrica. Neste trabalho, a combinação de geração de energia fotovoltaica (*Photovoltaic – PV*) e o abastecimento por um banco de baterias visa uma melhor autonomia e maior estabilidade energética (BARBOSA, 2006).

A Figura 10 mostra o esquema do sistema híbrido e seus equipamentos. É possível observar os módulos fotovoltaicos, baterias, dispositivos de proteção e chaveamento (seletor CC) e inversor. O inversor faz a conversão CC gerado pelos módulos para CA, sendo utilizado nas cargas ou injetado na rede elétrica. Ademais, ele também realiza o gerenciamento do fluxo de energia entre os módulos, as baterias, as cargas e a rede elétrica. O inversor também é capaz de fazer a sincronização com a rede elétrica, permitindo tanto o consumo quanto a injeção de energia na rede elétrica.

O banco de baterias é o responsável pelo armazenamento da energia elétrica excedente geradas pelos módulos fotovoltaicos, fornecendo energia quando não há geração solar suficiente. O sensor de energia inteligente é responsável por mensurar a energia consumida e injetada na rede e fazer o monitoramento do fluxo energético do sistema, atuando como interface de comunicação entre o sistema e a rede elétrica. A rede elétrica fornece e abastece o sistema com energia elétrica (MELONI; CAMBRAIA, 2025).

Figura 10 - Esquemático do Sistema Fotovoltaico Híbrido



Fonte: Huawei, 2025.

É possível, através de um aplicativo de celular, realizar o monitoramento em tempo real por meio de uma comunicação sem fio, proporcionando maior praticidade ao operador. É possível, por meio desse aplicativo, ilustrado na Figura 11, fazer o acompanhamento dos dados operacionais, da geração e do consumo de energia bem como o estado das baterias. De maneira adicional, pode-se configurar e fazer o diagnóstico do sistema remotamente, otimizando a gestão e a manutenção do sistema fotovoltaico (MELONI; CAMBRAIA, 2025).

Figura 11 - Tela Inicial do aplicativo Fusion Solar



Fonte: FusionSolar, 2025.

3.3.2 Componentes dos Sistemas Fotovoltaicos

3.3.2.1 Tipos de Células Fotovoltaicas

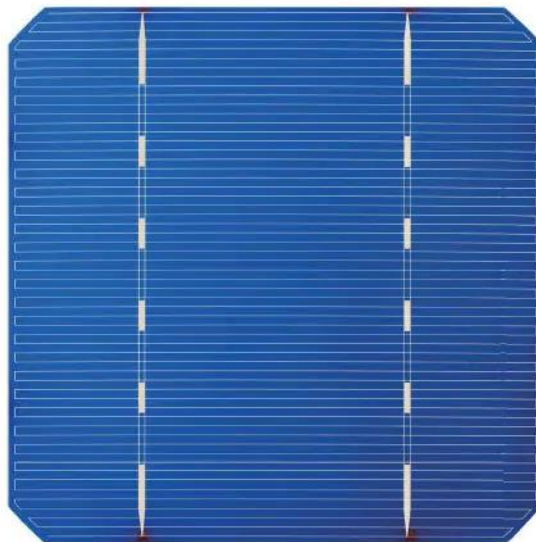
3.3.2.1.1 Silício Monocristalino

O silício monocristalino, Figura 12, amplamente utilizado na fabricação de células fotovoltaicas, é obtido pelo método Czochralski. Nesse processo, em que blocos de silício ultra puro são aquecidos em altas temperaturas até atingirem o estado líquido, permitindo a formação de um lingote. Esse lingote é serrado para a produção de *wafers*, que são finas bolachas de silício puro, que são submetidos a processos

químicos, formando as camadas P e N, responsáveis a base do funcionamento da célula fotovoltaica.

Em seguida, a célula recebe uma película metálica em uma das faces e a face oposta recebe uma grade metálica e uma camada de material antirreflexo na face que irá receber a luz solar. Dessa forma, o resultado final é a célula fotovoltaica monocristalina, caracterizada por sua alta eficiência de conversão energética (VILLALVA, 2015).

Figura 12 - Célula Fotovoltaica Monocristalina



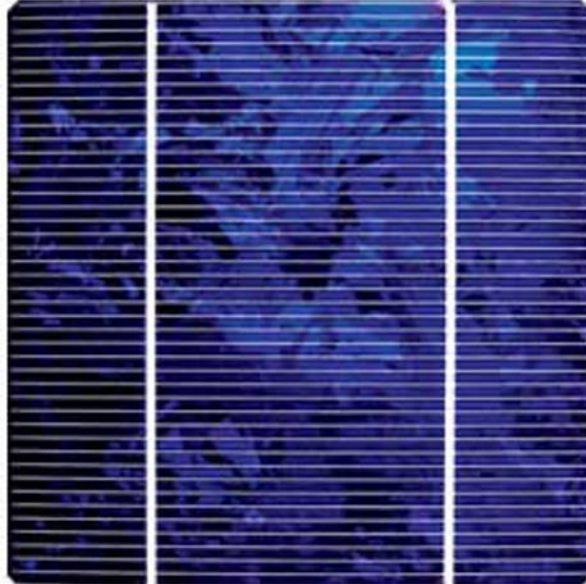
Fonte: JINKO SOLAR, 2024.

3.3.2.1.2 Silício Policristalino

O silício policristalino, Figura 13, é produzido por meio de um processo de fabricação mais econômico em comparação ao utilizado na produção do silício monocristalino. Nesse método, o lingote é formado por um conjunto de cristais de silício com diferentes tamanhos e orientações, resultando em uma estrutura menos uniforme. Assim como no processo dos monocristalinos, o lingote policristalino é serrado em lâminas finas chamadas *wafers*, que servirão como base para a fabricação das células fotovoltaicas. As células policristalinas apresentam uma aparência visual heterogênea, reflexo de sua estrutura cristalina. Em termos de desempenho, a

eficiência das células policristalinas é, geralmente, inferior à das células monocristalinas (VILLALVA, 2015).

Figura 13 - Célula Fotovoltaica Policristalina

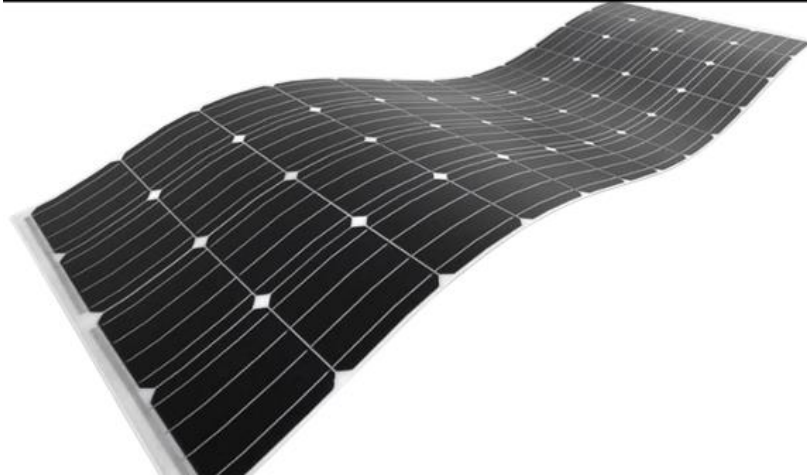


Fonte: Huawei, 2025.

3.3.2.1.3 Filmes Finos

Os filmes finos, Figura 14, surgiram após as tecnologias cristalinas já estarem bem desenvolvidas. Esses dispositivos são fabricados por meio da deposição de camadas extremamente finas de materiais semicondutores sobre uma base que pode ser rígida (como vidro) ou flexível (como polímeros). Esse processo de deposição, que podem ocorrer por vaporização ou outros métodos, permite que pequenas quantidades de matéria-prima sejam empregadas para fabricar os módulos. Além disso, o processo de fabricação dos filmes finos consome menos energia, contribuindo para o seu custo mais baixo. No entanto, os módulos de filmes finos apresentam, em geral, menor eficiência de conversão energética, exigindo uma área maior de instalação para gerar a mesma quantidade de energia produzida por células cristalinas (VILLALVA, 2015).

Figura 14 - Célula Fotovoltaica Filmes Finos



Fonte: Huawei, 2025.

3.3.2.1.4 Meia Célula (*Half-Cell*)

Os módulos fotovoltaicos do tipo meia-célula, também conhecidos como *Half-Cell*, são caracterizados pela divisão das células solares convencionais ao meio, Figura 15. Essa configuração resulta em um maior número de células por módulo; por exemplo, um módulo tradicional com 72 células passa a ter 144 células ao adotar a tecnologia *Half-Cell*. Essa alteração estrutural proporciona diversos benefícios, entre eles o aumento da eficiência do módulo em comparação aos modelos convencionais, a redução das perdas elétricas causadas pela resistência dos condutores e pela dissipação de calor, além da diminuição dos impactos do sombreamento parcial, uma vez que o módulo passa a operar com dois circuitos elétricos distintos conectados em paralelo. Entretanto, essa tecnologia também apresenta algumas desvantagens, como o aumento do custo de fabricação devido à necessidade de um número maior de soldas e à realização do processo de corte das células, além do incremento da probabilidade de ocorrência de defeitos durante a produção (MELONI; CAMBRAIA, 2025).

Figura 15 - Meia Célula

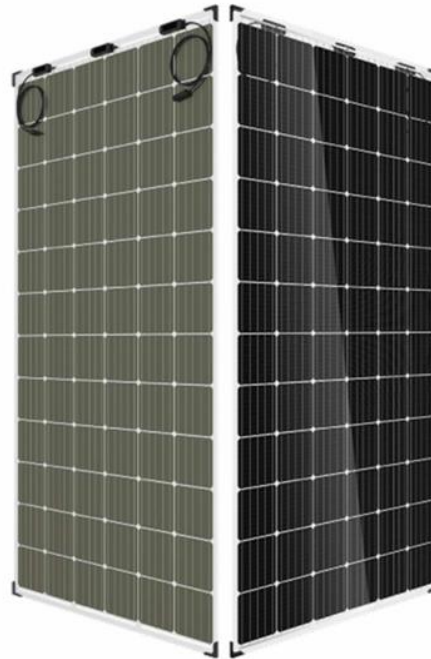


Fonte: Huawei, 2025.

3.3.2.1.5 Célula Bifacial

As células bifaciais, Figura 16, apresentam a capacidade de captar energia solar por meio de ambos os lados do módulo fotovoltaico, possibilitando a geração de energia tanto pela face frontal quanto pela traseira do equipamento. Essa característica proporciona uma maior geração energética em comparação aos módulos convencionais, além de contar com proteção contra radiação ultravioleta (UV) em ambas as faces, o que resulta em maior durabilidade do sistema. Entretanto, a utilização dessa tecnologia envolve custos mais elevados com manutenção e limpeza dos módulos. Além disso, ainda é difícil prever com precisão a geração energética do sistema, devido à limitada disponibilidade de portfólio no mercado para essa tecnologia (MELONI; CAMBRAIA, 2025).

Figura 16 - Célula Bifacial



Fonte: Huawei, 2025.

3.3.2.2 Inversores

Considerando que a produção energética de painéis fotovoltaicos ou baterias é em valores contínuos de tensão e corrente, a utilização do inversor, Figura 17, é essencial, pois possibilita o fornecimento de energia em corrente alternada aos consumidores (VILLALVA, 2015).

Figura 17 - Inversor



Fonte: Huawei, 2025.

Uma característica encontrada nos inversores é a técnica de *Maximum Power Point Tracker* (MPPT - Rastreamento do Ponto de Máxima Potência) dos geradores fotovoltaicos. Utilizando a modulação por largura de pulso (PWM), regulam a corrente e a tensão provenientes dos módulos fotovoltaicos, de modo a identificar e operar no ponto de máxima potência, independentemente das variações de temperatura ou da irradiância solar incidente (VILLALVA, 2015).

Os inversores híbridos são capazes de gerenciar, de forma inteligente, a fonte de energia mais adequada para o abastecimento do sistema, priorizando entre a energia solar, a rede elétrica e o armazenamento em baterias, de acordo com a demanda instantânea de consumo.

Além disso, esses dispositivos integram uma unidade de controle que permite decidir, de forma automatizada, se a energia gerada pelos módulos fotovoltaicos será consumida diretamente ou armazenada (KASSEM *et al.*, 2022).

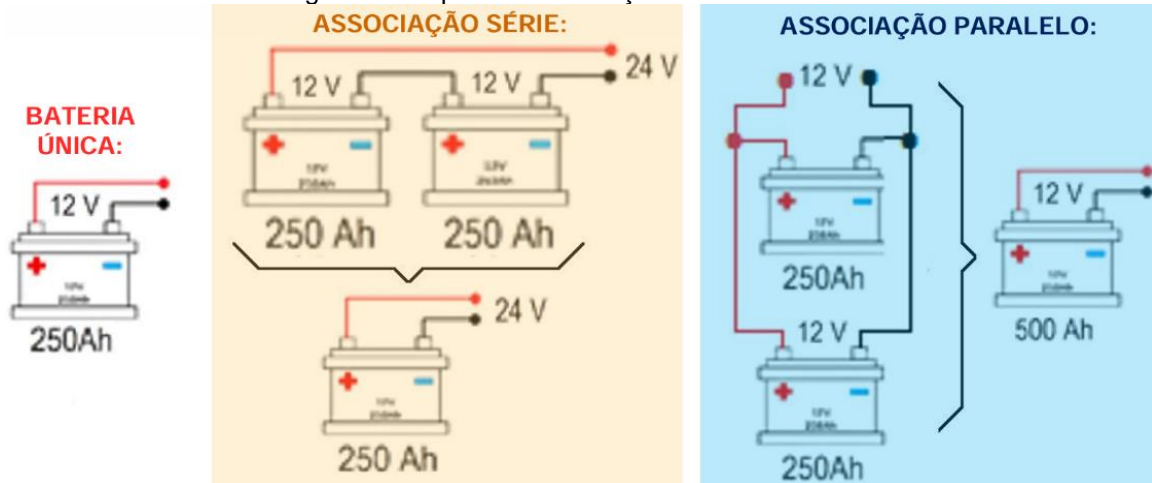
3.3.2.3 Baterias

A utilização de baterias em SF é fundamental para garantir o fornecimento contínuo de energia ao consumidor, especialmente em períodos de baixa ou nenhuma incidência solar. Além de evitar o desperdício da energia gerada quando o consumo é reduzido, as baterias permitem o armazenamento dessa energia para uso posterior (VILLALVA, 2015).

A Figura 18 apresenta as principais formas de conexão de baterias em sistemas de armazenamento de energia: bateria única, associação em série e associação em paralelo. Na ligação em série, as tensões das baterias se somam, mantendo a capacidade em ampère-hora (Ah) constante. Já na associação em paralelo, a tensão permanece inalterada, enquanto as capacidades são somadas. A escolha entre os

tipos de associação depende das exigências do sistema quanto à tensão e à autonomia de armazenamento.

Figura 18 - Tipos de Associações de Baterias



Fonte: Huawei, 2025.

O aumento das fontes renováveis na geração de energia tem impactado significativamente as dinâmicas e premissas tradicionais da operação e do planejamento dos sistemas de potência. Até então, os operadores precisavam limitar a injeção de energia renovável para evitar riscos de colapso no sistema. Em resposta, várias regiões passaram a incentivar marcos regulatórios para a inserção dos Sistemas de Armazenamento de Energia, embora sem indicar quais áreas seriam mais adequadas para esses investimentos. Dessa forma, a instalação de SAEs em sistemas de potência está fortemente associada à possibilidade de expansão segura das fontes renováveis, consolidando-se como elemento fundamental para sua integração (BOECK DAZA; SPERANDIO, 2021).

Baterias são células eletroquímicas capazes de converter energia elétrica em energia química para armazenamento e reconversão quando necessário. Para integração em sistemas de energia renovável, é fundamental que sejam recarregáveis, como as baterias de chumbo-ácido, níquel-cádmio e íon-lítio. A

capacidade energética das baterias é medida em quilowatt-hora (kWh), representando a energia disponível entre o estado totalmente carregado e um nível mínimo de tensão. As baterias de íon-lítio destacam-se no setor de sistemas de armazenamento de energia por bateria (BESS) devido à sua alta densidade de energia, possibilidade de descarga profunda sem comprometer o ciclo de vida, elevada eficiência e rápida resposta, apesar do custo ainda relativamente alto, que tende a diminuir nos próximos anos. Essas características tornam as baterias de íon-lítio particularmente adequadas para integração em sistemas híbridos fotovoltaicos com armazenamento de energia (CHATZIGEORGIOU et al., 2024).

3.4 Veículos Elétricos

Por definição, os veículos elétricos (VE) são automóveis que utilizam um ou mais motores elétricos para sua propulsão, sendo alimentados por baterias recarregáveis ou por células a combustível à base de hidrogênio (LEMES, 2018).

3.4.1 Carregadores Elétricos

Os carregadores veiculares desempenham um papel fundamental no desenvolvimento VE e necessitam apresentar características como elevada eficiência, alta potência, confiabilidade, baixo custo, além de dimensões e peso reduzidos. Dessa forma, é essencial que esses dispositivos operem de forma eficiente, de modo a minimizar eventuais impactos decorrentes da conexão do veículo à rede elétrica (LEMES, 2018).

De acordo com Barros (2013), os carregadores veiculares podem ser classificados em três níveis distintos, conforme a velocidade de recarga e as características da infraestrutura elétrica necessária. O Nível 1 refere-se ao carregamento mais lento, utilizando entrada monofásica de 127 Vca e 15 A com aterramento, sendo compatível

com tomadas residenciais convencionais. O Nível 2 representa uma modalidade intermediária de carregamento, com tensões de até 240 Vca e corrente de até 80 A, exigindo, no entanto, uma infraestrutura elétrica adequada, pois não é possível utilizar tomadas comuns, devido à maior potência demandada. Já o Nível 3 corresponde ao carregamento rápido, destinado principalmente a aplicações comerciais e estações de recarga. Esse nível opera com tensões típicas de 480 Vca em sistemas trifásicos, utilizando carregadores externos ao veículo com conversão de corrente alternada (CA) para corrente contínua (CC).

A Tabela 1 mostra o resumo dos níveis de carregamento com as suas devidas características.

Tabela 1 - Níveis de Potência de Carga

Níveis	Localização do carregador	Local de uso	Fonte de Energia	Nível de potência esperado	Tempo de carga	Tecnologia do veículo
Nível 1 (Oportunidade) 120 Vca 240 Vca	No veículo Monofásico	Carregamento em casa ou no trabalho	Tomada de uso comum	1,4 kW (12 A) 1,9 kW (32 A)	4-11h 11-36h	VEHP (5-15 kWh) VE (16-50 kWh)
Nível 2 (Primário) 240 Vca 400 Vca	No veículo Monofásico ou Trifásico	Carregamento em tomadas privadas ou postos públicos	Tomada de uso específico	4 kW (17 A) 8 kW (32 A) 19,2 kW (80 A)	1-4h 2-6h 2-3h	VEHP (5-15 kWh) VE (16-50 kWh) VE (3-50 kWh)
Nível 3 (Rápido) 208 – 600 Vca ou Vdc	Externo ao veículo Trifásico	Carregamento comercial, análogo a postos de combustíveis	Tomada de uso específico	50 kW 100 kW	0,4-1h 0,2-05h	VE (20-50 kWh)

Fonte: Barbosa, 2013.

4 MATERIAL E MÉTODOS

Este trabalho foi desenvolvido por meio de um estudo aplicado ao sistema híbrido de geração de energia instalado no Instituto Federal de Minas Gerais – IFMG Campus Formiga, Figura 19.

O estudo desse sistema deve-se ao seu caráter representativo para futuros estudos sobre a integração de diferentes fontes de energia com tecnologia de armazenamento com baterias.

O referido sistema foi implementado em uma estrutura do tipo *carpot* e é constituído por módulos, inversor híbrido, banco de baterias do tipo *BESS* e ponto de recarga para veículos elétricos.

Figura 19 - Sistema Híbrido do IFMG



Fonte: Autora, 2025.

4.1 Levantamento da característica do sistema

A infraestrutura do sistema híbrido foi caracterizada por meio de um mapeamento detalhado dos equipamentos instalados no IFMG – Campus Formiga. A etapa inicial consistiu no levantamento pormenorizado da infraestrutura referente ao sistema

híbrido do campus, incluindo a identificação dos dispositivos instalados e a coleta de suas especificações técnicas.

- Identificação dos componentes do sistema, tais como módulos fotovoltaicos, inversor híbrido, banco de baterias, controlador de potência e ponto de recarga de veículos elétricos;
- Especificações técnicas dos equipamentos como o *datasheet* do inversor e a folha de dados dos módulos fotovoltaicos;
- Diagramas esquemáticos para a representação do sistema;
- Inclusão da potência nominal, tensão de operação, capacidade de armazenamento das baterias, injeção de energia na rede elétrica e utilização no carregamento veicular.

4.2 Medições e monitoramento de desempenho

As medições de parâmetros elétricos foram realizadas em diferentes condições de operação do sistema. Foram utilizados instrumentos de medição integrados ao próprio inversor híbrido e ao controlador de potência, bem como *softwares* de monitoramento disponibilizados pelo fabricante Huawei. As variáveis observadas foram:

- Energia elétrica gerada pelos módulos fotovoltaicos em distintos períodos do dia (manhã, tarde e noite);
- Quantidade de energia elétrica consumida diretamente pelas cargas do campus;
- Energia excedente injetada na rede elétrica;

4.3 Testes de operação e análise experimental

Entre os procedimentos realizados, destacam-se:

- Avaliação do comportamento do inversor híbrido em diferentes cenários de operação, verificando sua capacidade de priorização entre geração solar, armazenamento e rede;
- Análise do sistema em condições de baixa irradiância solar, de modo a observar a confiabilidade no suprimento de energia.

4.4 Análise de dados do SF

Os dados coletados foram organizados em planilhas e representados em gráficos e tabelas, permitindo comparações quantitativas entre os diferentes períodos de operação listados abaixo.

- Comparação entre a energia gerada e a energia consumida no IFMG;
- Avaliação do desempenho do inversor híbrido no gerenciamento do fluxo de energia, considerando a priorização entre geração fotovoltaica, consumo direto, armazenamento em baterias e injeção na rede;
- Configuração de parâmetros na função controlador de potência existente no inversor híbrido, de modo a identificar o melhor momento para o acionamento das baterias e otimizar o aproveitamento energético;
- Identificação de estratégias de operação que otimizem o uso do sistema, com sugestões para o setor administrativo do IFMG-Campus Formiga em relação ao uso do carregador veicular.

A aplicação dessa metodologia permitiu uma compreensão abrangente do funcionamento do sistema híbrido instalado no IFMG – Campus Formiga, fornecendo

subsídios para investigações futuras e para a proposição de estratégias que visem ampliar a eficiência e a aplicabilidade dessa tecnologia em contextos análogos.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Caracterização do Sistema Híbrido Fotovoltaico

A infraestrutura do tipo *carport* que abriga o sistema híbrido de geração de energia foi instalada no estacionamento do IFMG – Campus Formiga. O sistema fotovoltaico é composto por 15 módulos de 585W da fabricante SUNOVA SOLAR, modelo SS-585-72MDH(T), totalizando 8,78 kWp de potência instalada, conforme a Figura 20.

Figura 20 - Módulos fotovoltaicos Sunova SS-585-72MDH(T) de 585 W



Fonte: Autora, 2025.

O inversor híbrido, utilizado no sistema é da fabricante HUAWEI, modelo SUN2000-6KTL-L1, com potência nominal de 6 kW, Figura 21. Além disso, ele faz o gerenciamento da produção de energia solar, o armazenamento de energia e das cargas do local.

Figura 21 - Inversor híbrido Huawei SUN2000-6KTL-L1 de 6 kW



Fonte: Autora, 2025.

O sistema conta ainda com uma bateria da fabricante HUAWEI LUNA2000-5-S0, Figura 22, com capacidade útil de 5 kWh. O módulo é responsável por armazenar o excedente de geração fotovoltaica, fornecendo energia às cargas durante os períodos noturnos ou de baixa irradiância solar.

Figura 22 - Bateria Huawei LUNA2000-5-S0 de 5 kWh



Fonte: Autora, 2025.

A Figura 23 mostra o carregador veicular, modelo ABB Terra AC W7-G5-R-0, destinado ao carregamento de veículos elétricos. Ele possui uma potência nominal de 7,4 kW.

Figura 23 - Carregador veicular ABB Terra AC W7-G5-R-0 de 7,4 kW



Fonte: Autora, 2025.

5.1.1 Módulos Fotovoltaicos

O arranjo fotovoltaico é composto por 15 módulos fotovoltaicos da fabricante SUNOVA SOLAR SS-585-72MDH(T) com tecnologia *N-Type* Monocristalino e com potência nominal de $585W_p$, totalizando $8,775kW_p$ de potência instalada. Os módulos estão distribuídos em duas *strings* com 07 e 08 módulos em série. A área total ocupada é de aproximadamente $30m^2$.

A tabela 2 mostra as informações principais do *datasheet* dos módulos fotovoltaicos.

Tabela 2 - Dados Técnicos dos Módulos Fotovoltaicos

Parâmetros	Valores
Potência Máxima (P_{mp})	585 W
Tensão de Circuito Aberto (V_{oc})	52,25 V
Corrente de Curto-Circuito (I_{sc})	14,00 A
Tensão de Máxima Energia (V_{mp})	44,11 V
Corrente de Potência Máxima (I_{mp})	13,26 A
Eficiência do Módulo (η)	22,10%
Temperatura de Operação Atual	-40~+85°C
Dimensões do Módulo (L x W x H)	2335 x 1134 x 30 mm
Peso	28,10 kg
Número de Células	144 células
Célula	N-types Monocristalino 182 x 93 mm

Fonte: Datasheet da SUNOVA SOLAR SS-585-72MDH(T), 2025.

A tensão de operação em máxima potência (V_{mp}) dos arranjos com 07 e 08 módulos em série é de aproximadamente 308,70 V e 352,80 V, respectivamente. A corrente máxima de operação (I_{mp}) é de 13,26 A por *string*. A tensão de circuito aberto (V_{oc}) atinge aproximadamente 365,75 V e 418,00 V para 07 e 08 módulos em série, respectivamente. A corrente de curto-circuito por *string* (I_{sc}) é de 14,00 A.

5.1.2 Inversor

O inversor híbrido utilizado é o modelo Huawei SUN2000-6KTL-L1, que possui potência nominal de 6,00 kW, eficiência máxima de 98,4%, dois rastreadores MPPT independentes e compatibilidade com sistemas de armazenamento Huawei LUNA2000. O equipamento é responsável pela conversão de energia e pelo gerenciamento inteligente do fluxo de energia entre a geração solar, o banco de baterias, as cargas e a rede elétrica. A tabela 3 mostra as informações principais do *datasheet* do inversor.

Tabela 3 - Dados Técnicos do Inversor

Parâmetros	Valores
Potência Máxima de Entrada	9.000 W _p
Tensão Máxima de Entrada	600 V
Tensão Mínima de Entrada	100 V
Faixa de Tensão de Operação do MPPT	90 – 560 V
Corrente Máxima de Entrada por MPPT	12,50 A
Corrente Máxima de Curto-Circuito	18,00 A
Número de Rastreadores MPPT	2
Número Máximo de Entradas	2
Bateria Compatível	HUAWEI <i>Smart ESS Battery</i> 5 kWh–30 kWh
Tensão de Operação para Baterias	350 – 560 V _{dc}
Conexão à rede	Monofásico
Potência Nominal de Saída	6.000 W
Tensão Nominal de Saída	220 V _{ac} / 230 V _{ac} / 240 V _{ac}
Frequência Nominal da Rede	50 Hz ou 60 Hz
Corrente Máxima de Saída	27,30 A
Fator de Potência Ajustável	0,8 adiantado e 0,8 atrasado
Faixa de Temperatura de Operação	-25~+60°C
Grau de Proteção	IP65
Peso com o Suporte de Montagem	12,00 kg
Dimensões (L x W x H)	365 x 365 x 156 mm

Fonte: Datasheet da HUAWEI SUN2000-6KTL-L1, 2025.

5.1.3 Bateria

O sistema de armazenamento de energia é composto por uma bateria da fabricante Huawei, formada por um módulo de bateria de modelo LUNA2000-5-S0 e um módulo de potência LUNA2000-5KW-C0, responsáveis, respectivamente, pelo armazenamento e gerenciamento da energia. A capacidade útil total da bateria é de 5 kWh, com profundidade de descarga de 100% e tecnologia de íons de lítio LiFePO₄ (lítio-ferro-fosfato), que oferece maior estabilidade térmica, segurança e durabilidade

em comparação com as tecnologias convencionais de íon-lítio. A tabela 4 mostra as informações principais do *datasheet* da bateria.

Tabela 4 - Dados Técnicos da Bateria

Parâmetros	Valores
Módulo de Potência	LUNA2000-5KW-C0
Número de Módulos de Potência	1
Capacidade útil	5 kWh
Faixa de Tensão Operacional	350 – 560 V
Máxima Potência de Saída	2,5 kW
Potência de Saída de Pico	3,5 kW, 10 segundos
Temperatura de Operação	-20~+55°C
Grau de Proteção	IP66
Peso	63,80 kg

Fonte: Datasheet da HUAWEI LUNA2000-5-S0, 2025.

5.1.4 Carregador Elétrico

O sistema híbrido possui um carregador veicular ABB Terra AC W7-G5-R-0 destinado ao abastecimento de veículos elétricos a partir da energia gerada pelo sistema fotovoltaico, pelo armazenamento da energia ou pela rede elétrica. O equipamento possui potência nominal de 7,4 kW e corrente máxima de 32 A, operando em tensão monofásica de 230 V e frequência de 50/60 Hz. A tabela 5 mostra as informações principais do *datasheet* da bateria.

Tabela 5 - Dados Técnicos do Carregador Veicular

Parâmetros	Valores
Potência Nominal	7 kW
Corrente Máxima	32 A
Tensão de Operação	230 V
Frequência	50 Hz / 60 Hz
Temperatura de Operação	-30~+50°C
Grau de Proteção	IP54
Peso	5,50 kg

Fonte: Datasheet do Carregador Elétrico ABB - Terra AC W7-G5-R-0, 2025.

5.2 Modos de Operação do Inversor Híbrido

O inversor Huawei SUN2000-6KTL-L1 apresenta quatro modos de operação, que podem ser configurados conforme o perfil de consumo pelo aplicativo de monitoramento Fusion Solar. Esses modos definem a prioridade de uso da energia gerada, a interação com a bateria e a troca de energia com a rede elétrica.

A configuração é realizada na aba “Configurações do Inversor”, dentro do menu “Ajustes de Energia” (*Energy Parameters*). Nessa interface, o usuário ou instalador pode ajustar parâmetros de acordo com a necessidade das cargas que serão atendidas.

Dessa forma, o sistema pode operar de acordo com quatro modos principais de gerenciamento energético: Autoconsumo Máximo, Totalmente Fornecida à rede, Envio de Terceiros e Tempo de Uso (*Time of Use – ToU*).

Para efeito comparativo, foi selecionada uma sexta-feira representativa, garantindo condições semelhantes de perfil de consumo para os quatro modos. Os gráficos apresentados foram obtidos por meio da plataforma de monitoramento *FusionSolar* e, cada subseção a seguir apresenta o comportamento do sistema dos modos de operação.

A Figura 24 mostra a tela da definição dos parâmetros dos modos de operação do inversor híbrido.

Figura 24 - Tela da Definição para a escolha dos parâmetros



Fonte: Fusion Solar, 2025.

A Tabela 6 mostra a tela dos parâmetros da rede de todos os modos de operação do inversor híbrido. Os parâmetros de rede exibem as definições relacionadas à conexão elétrica com a concessionária, incluindo limites de tensão, frequência e padrões de sincronização exigidos para garantir uma operação segura e estável do inversor híbrido.

Tabela 6 - Parâmetros da Rede

Parâmetros	Dados
Código da rede elétrica	ABNT NBR 16149
Nível de tensão	220 V
Nível de frequência	60 Hz
Modo de saída	L/N
Início automático após recuperação da rede	ON
Atraso de ligação à rede após recuperação da rede	60 s
Limite superior da tensão de restabelecimento da rede	242,0 V

Limite inferior da tensão de restabelecimento da rede	176,0 V
Limite superior da frequência de restabelecimento da rede	60,10 Hz
Limite inferior da frequência de restabelecimento da rede	59,90 Hz
Tensão de acionamento de compensação de energia reativa	104%
Tensão de saída de compensação de energia reativa	100%

Fonte: Fusion Solar, 2025.

A Tabela 7 mostra a tela dos parâmetros de proteção de todos os modos de operação do inversor híbrido. Nessa interface, os parâmetros de proteção do inversor são exibidos e, englobam funções de segurança destinadas a preservar o sistema e os equipamentos conectados. Entre essas proteções, destacam-se os limites de sobretensão, subtensão, sobrefrequência, sobrecorrente e mecanismos automáticos de desligamento em condições anormais de operação. Também é possível visualizar o recurso de proteção ativa de alimentação, que impede a energização indevida da rede em caso de falta de energia da concessionária. Essas funções preservam a integridade do inversor quanto a rede elétrica de condições adversas.

Tabela 7 - Parâmetros de Proteção

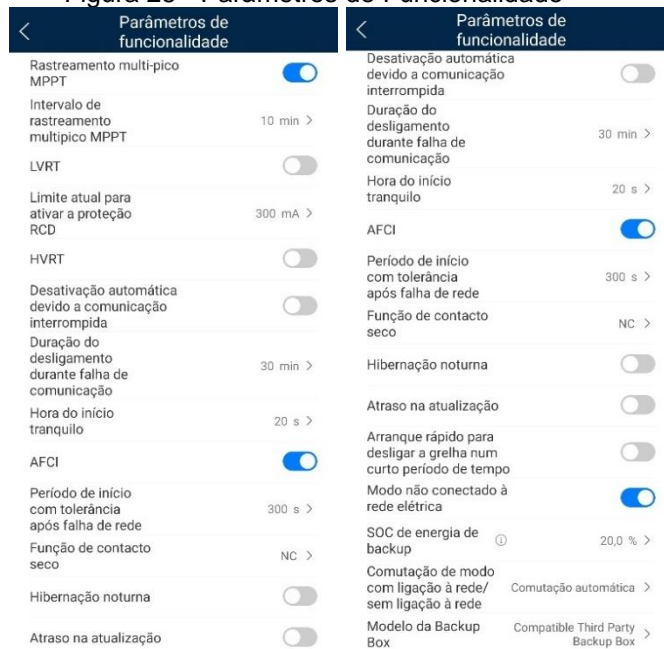
Parâmetros	Dados
Limite de proteção de isolamento R	0,050 Ω
Limiar de tensão para proteção contra sobretensão de 10 minutos	275,0 V
Limiar de tensão para duração contra sobretensão de 10 minutos	200 ms
Limiar de proteção de sobretensão de nível 1	242,0 V

Limiar de duração de sobretensão de nível 1	200 ms
Limiar de proteção de subtensão nível 1	176,0 V
Limiar de duração de subtensão nível 1	400 ms
Limiar de proteção de sobrefrequência nível 1	62,00 Hz
Limiar de duração de sobrefrequência nível 1	200 ms
Limiar de proteção de subfrequência nível 1	57,50 Hz
Limiar de duração de subfrequência nível 1	200 ms
Proteção ativa de ilhamento	ON

Fonte: Fusion Solar, 2025.

A Figura 25 mostra a tela dos parâmetros de funcionalidade de todos os modos de operação do inversor híbrido. Os parâmetros de funcionalidade do inversor híbrido, reúnem configurações relacionadas ao comportamento operacional e às funções inteligentes do equipamento. Nessa tela encontram-se ajustes como o rastreamento multi-pico do MPPT, limites de atuação da proteção, funções de tolerância de falha de comunicação, controle AFCI, hibernação noturna, modo não conectado à rede e outros recursos que afetam diretamente a forma como o inversor interpreta e reage às condições da rede elétrica e da geração fotovoltaica.

Figura 25 - Parâmetros de Funcionalidade



Fonte: Fusion Solar, 2025.

A Figura 26 mostra a tela de ajuste de energia de todos os modos de operação do inversor híbrido. Os ajustes de energia do inversor incluem as configurações de potência aparente máxima, limites e gradientes de redução de potência, resposta a eventos de sobrefrequência, controle de fator de potência, composição de energia reativa, curvas características. Além disso, contém ajustes de recuperação e saída de proteção. Esses parâmetros determinam como o inversor interage energeticamente com a rede elétrica, permitindo controlar exportação, comportamento dinâmico da potência e suporte de tensão, adequando o sistema às normas da concessionária.

Figura 26 - Ajuste de Energia



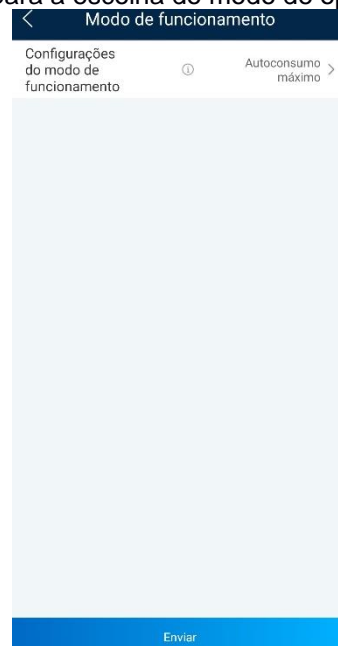
Fonte: Fusion Solar, 2025.

5.2.1 Modo de Autoconsumo Máximo

O Autoconsumo máximo é o padrão do sistema em que a energia solar gerada pelos módulos é utilizada prioritariamente para atender as cargas locais do campus. O excedente de geração é direcionado para o carregamento das baterias, e o eventual excesso é injetado na rede elétrica da concessionária. Caso a geração não consiga suprir à carga, o sistema utiliza a energia armazenada pela bateria e, por último, complementa a demanda de energia elétrica pela rede da concessionária.

A Figura 27 mostra a tela de modo de funcionamento que permite a escolha do modo de operação do inversor.

Figura 27 - Tela do Fusion Solar para a escolha do modo de operação Autoconsumo Máximo



Fonte: Fusion Solar, 2025.

A Figura 28 apresenta o sistema operando no modo de autoconsumo máximo no dia 10 de outubro de 2025. Observou-se que a curva em verde do gráfico mostra a produção de energia fotovoltaica, enquanto o excedente é injetado na rede elétrica da concessionária e a bateria realiza pequenas cargas durante o período de irradiação solar. Nesse período, observa-se queda significativa no uso da rede, evidenciando uso da energia solar para consumo local e armazenamento.

Figura 28 - Gráfico do comportamento diário no Modo Autoconsumo Remoto



Fonte: Fusion Solar, 2025.

A Figura 29 mostra o comportamento do sistema às 11h55 da manhã, quando a geração fotovoltaica produziu 4,572 kW, sendo 3,965 kW destinados ao consumo local e 2,526 kW ao carregamento da bateria. Nessa condição, não houve importação

de energia da rede elétrica. Dessa forma, o modo de autoconsumo remoto tende a reduzir a dependência da rede elétrica, priorizando a geração solar fotovoltaica e o armazenamento da bateria para suprirem as cargas.

Figura 29 - Gráfico da operação do sistema às 11h55 no Modo Autoconsumo Máximo



Fonte: Fusion Solar, 2025.

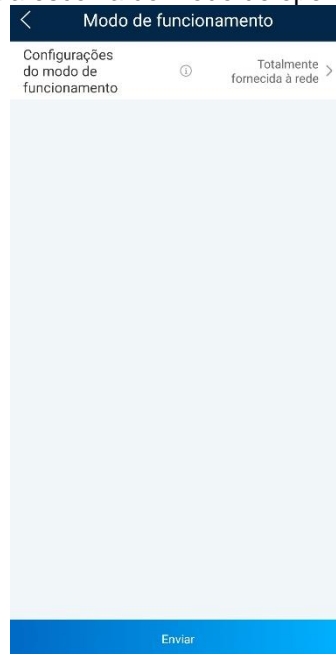
5.2.2 Modo Totalmente Fornecida à rede

O modo totalmente fornecida à rede tem a função principal de injetar o excedente na rede elétrica. Esse modo maximiza os rendimentos de energia PV para a ligação à rede. Quando os rendimentos de energia PV no período diurno são superiores à capacidade máxima de saída do inversor, as baterias são carregadas para armazenarem energia. Quando os rendimentos de energia PV são inferiores à capacidade máxima de saída do inversor, as baterias descarregam para maximizar a energia de saída do inversor para a rede. Durante os períodos de elevada geração solar, quando a potência fotovoltaica ultrapassa o limite de saída do inversor, a bateria é carregada com o excedente.

Este modo é aplicável a cenários que são inferiores à capacidade máxima de saída do inversor onde as baterias descarregam para maximizar a energia de saída do inversor para a rede. Além disso, esse modo é indicado para situações em que se deseja avaliar o desempenho de exportação do sistema ou quando há interesse em maximizar os créditos de energia junto à concessionária.

A Figura 30 mostra a tela de modo de funcionamento que permite a escolha do modo de operação do inversor para totalmente fornecida à rede.

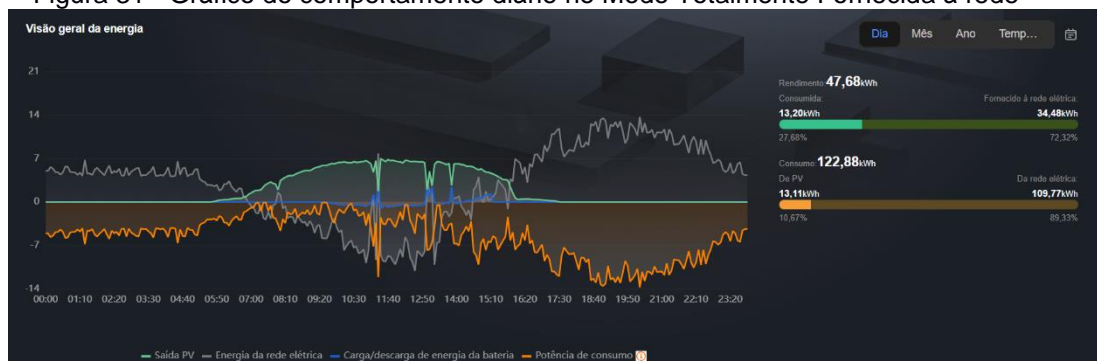
Figura 30 - Tela do Fusion Solar para a escolha do modo de operação Totalmente Fornecida à rede



Fonte: Fusion Solar, 2025.

A Figura 31 apresenta o comportamento do sistema no dia 17 de outubro 2025, em que foi observado a injeção do excedente na rede elétrica, sendo fornecido a concessionária 34,48 kWh. O consumo local total foi de 122,88 kWh, dos quais 109,77 kWh foram supridos pela rede elétrica e 13,11 kWh pelo sistema fotovoltaico.

Figura 31 - Gráfico do comportamento diário no Modo Totalmente Fornecida à rede



Fonte: Fusion Solar, 2025.

A Figura 32 demonstra o comportamento desse modo às 12h20, apresentando uma geração fotovoltaica de 6,708 kW. Nessa condição, observou-se que a energia produzida pelo sistema fotovoltaico foi direcionada para à rede da concessionária e

para a bateria (0,708 kW), visto que a potência de consumo local (0,462 kW) estava baixa. A bateria permanece praticamente estável, realizando apenas pequenos ajustes de carga ou descarga para manter o equilíbrio do sistema, uma vez que não há necessidade de suprimento adicional às cargas locais.

Figura 32 - Gráfico da operação do sistema às 12h20 no Modo Totalmente Fornecida à rede



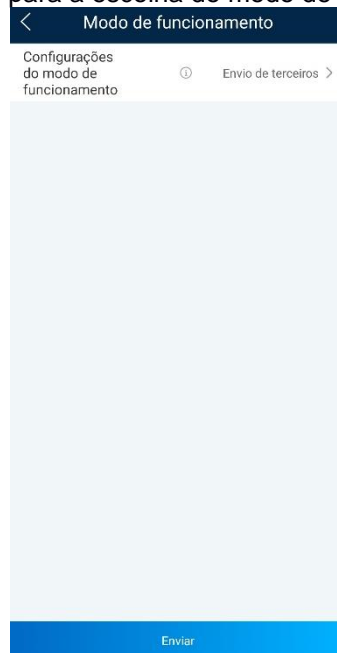
Fonte: Fusion Solar, 2025.

5.2.3 Envio de Terceiros

No modo Envio de Terceiros, o controle do carregamento e descarga da bateria é realizado por uma plataforma externa ao inversor Huawei. Nesse modo, o inversor segue comandos recebidos de um sistema de gerenciamento de energia que coordena a operação de múltiplos inversores conectados ao mesmo ponto de rede. Para que esse modo funcione, é necessário um *Smart Dongle* e a instalação de medidores de energia adicionais, responsáveis por monitorar os fluxos de energia dos inversores, por exemplo.

A Figura 33 mostra a tela de modo de funcionamento que permite a escolha do modo de operação do inversor para envio de terceiros.

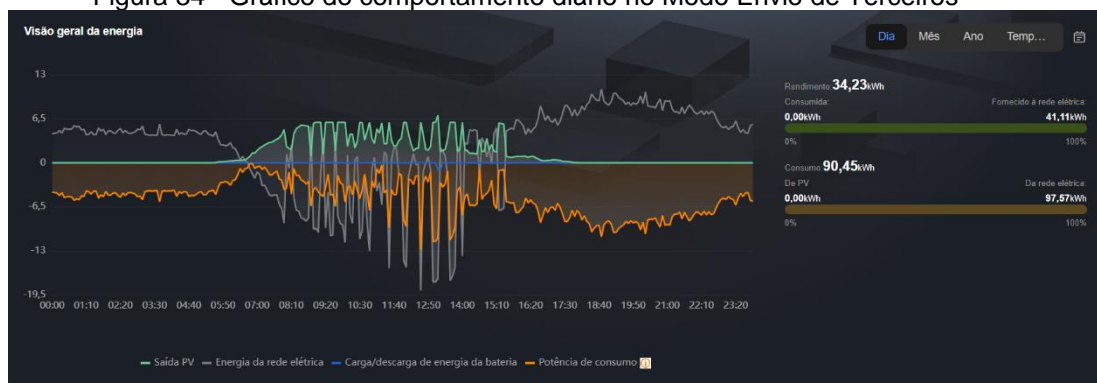
Figura 33 - Tela do Fusion Solar para a escolha do modo de operação Envio de Terceiros



Fonte: Fusion Solar, 2025.

A Figura 34 apresenta o comportamento do sistema no dia 24 de outubro 2025. Como o Campus não possui uma plataforma externa para controlar o carregamento e a descarga da bateria, o inversor fica aguardando instruções para direcionar a energia. Dessa forma, observou-se que a injeção de energia na rede elétrica da concessionária foi de 41,11 kWh.

Figura 34 - Gráfico do comportamento diário no Modo Envio de Terceiros



Fonte: Fusion Solar, 2025.

A Figura 35 indica o comportamento desse modo às 12h35, apresentando uma geração fotovoltaica de 6,00 kW. Nessa condição, observou-se que a energia produzida pelo sistema fotovoltaico juntamente com energia proveniente da rede foi

de 18,852 kW. Dessa forma, a linha azul está próxima de zero e sem os dados detalhados, correspondendo a carga/descarga da bateria.

Figura 35 - Gráfico da operação do sistema às 12h35 no Modo Envio de Terceiros



Fonte: Fusion Solar, 2025.

5.2.4 Modo de Otimização de Tempo de Uso (*Time of Use - ToU*)

O modo de otimização de tempo de uso permite fazer a programação de horários específicos para carregar ou descarregar a bateria, de acordo com o critério estabelecido pelo usuário. Dessa forma, a configuração pode ser realizada por critérios como o perfil de consumo do local, tarifas de energia elétrica (horário de ponta e fora de ponta) entre outros, contribuindo para o gerenciamento inteligente do sistema.

A Figura 36 mostra a tela de modo de funcionamento que permite a escolha do modo de operação do inversor para o modo de operação *ToU*. Foi configurado para a bateria ser carregada das 08h00 até às 22h00 e descarregar das 22h00 até 06h00.

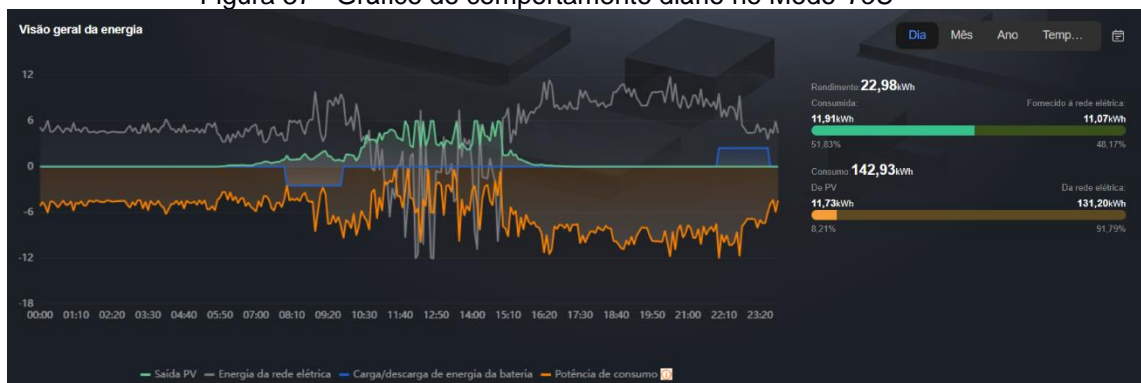
Figura 36 - Tela do Fusion Solar para a escolha do modo de operação ToU



Fonte: Fusion Solar, 2025.

A Figura 37 apresenta o comportamento do sistema operando no modo *ToU* no dia 31 de outubro de 2025. Observou-se que a bateria começou a carregar no período da manhã e permaneceu com carga até no início da noite. Já no final da noite, a bateria começa a ser descarregada, conforme o horário programado, suprimindo as cargas locais no período em que não há produção fotovoltaica. Dessa forma, o sistema foi otimizado para o seu uso de acordo com a necessidade da carga, demonstrando uma boa resposta à programação que foi definida no inversor.

Figura 37 - Gráfico do comportamento diário no Modo *ToU*

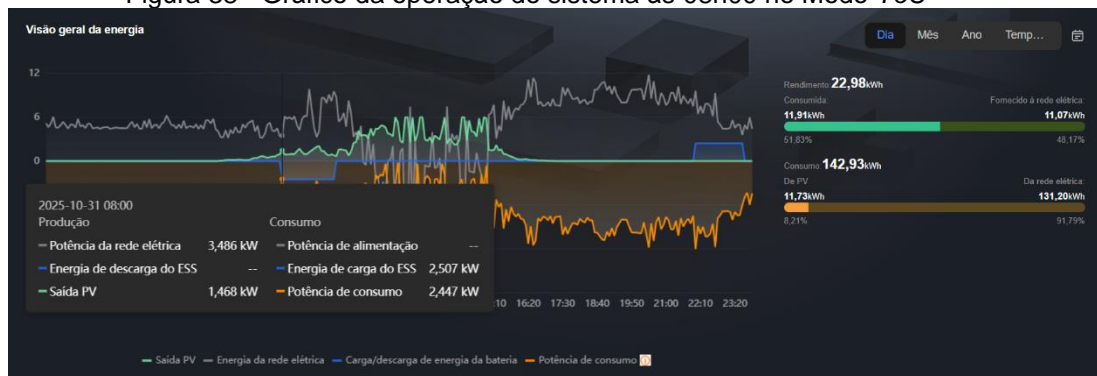


Fonte: Fusion Solar, 2025.

A Figura 38 apresenta o comportamento do sistema às 08h00, momento em que se inicia o carregamento da bateria. Observou-se que o processo de carga se estende

até aproximadamente 09h50, indicando que a programação do modo de operação foi configurada para utilizar o excedente de geração fotovoltaica no carregamento da bateria e o restante do excedente atendeu as cargas locais. Nesse intervalo, a energia armazenada não é destinada ao consumo local, permanecendo em reserva para ser utilizada posteriormente, conforme o processo de operação definido.

Figura 38 - Gráfico da operação do sistema às 08h00 no Modo *ToU*



Fonte: Fusion Solar, 2025.

A Figura 39 apresenta o comportamento desse sistema às 22h00, momento em que se inicia a descarga da bateria. Observou-se que a descarga se estende até aproximadamente 22h40, atendendo à demanda das cargas durante o período noturno, quando não há incidência de radiação solar. Nesse intervalo, a energia que foi armazenada pela manhã, é destinada ao suprimento das cargas, garantindo o fornecimento de energia durante esse período, conforme programado no sistema.

Figura 39 - Gráfico da operação do sistema às 22h00 no Modo *ToU*



Fonte: Fusion Solar, 2025.

Dessa forma, o modo *ToU* se mostrou eficaz na gestão programada do armazenamento de energia, permitindo ao sistema híbrido fotovoltaico operar de forma inteligente e estratégica.

5.3 Sugestão para utilização do Carregador Veicular no Campus

O carregador veicular instalado no *carport* deve operar de forma a não utilizar energia da rede elétrica, de modo que as normas do uso de energia em instituições públicas sejam respeitadas. Dessa forma, o VE deve ser carregado a partir da energia fotovoltaica gerada no sistema e/ou da energia armazenada na bateria.

Dessa forma, nem todos os modos de operação podem ser utilizados para o carregamento do VE, visto que cada um deles têm suas peculiaridades. Em análise dos modos de operação, o autoconsumo máximo seria o ideal para a utilização do carregador elétrico, afim de garantir que não utilize a rede.

Esse modo de operação utiliza a energia fotovoltaica para atender as cargas locais, deixando o excedente para carregar a bateria. Dessa forma, após o armazenamento de energia na bateria, essa energia é disponibilizada ao carregador veicular. No caso de necessidade de carregamento no período noturno, a bateria deve possuir carga suficiente para suprir o carregamento, sem demandar energia da rede elétrica. Assim, o carregador só deve ser acionado quando o nível de carga (*State of Charge – SOC*) estiver igual ou superior a 60%, evitando a demanda da rede e preservando a vida útil da bateria.

5.3.1 Regras de Operação do Carregador Veicular

Algumas sugestões de regras para o setor administrativo do IFMG-Campus Formiga em relação ao uso do carregador veicular estão listadas abaixo:

- O carregamento deve ocorrer apenas quando a bateria possuir SOC adequado, sendo recomendado iniciar o carregamento com SOC igual ou superior a 60%.
- Não é permitido a realizar carregamento com energia proveniente da rede elétrica, devendo o operador garantir que o modo de operação selecionado não autorize o suporte da rede durante o carregamento.
- No caso de carregamento no período noturno, deve-se verificar previamente o nível de carga da bateria. Se o SOC estiver inferior ao limite programado, o carregamento deve ser adiado.
- Alterações nos modos de operação do inversor para fins de carregamento devem ser realizadas apenas por responsáveis autorizados, assegurando a segurança do sistema.

A adoção dessas regras garante que o uso do carregador elétrico no campus seja compatível com a finalidade institucional do sistema híbrido, que é de caráter educativo e demonstrativo para a comunidade acadêmica.

6 CONCLUSÃO

Este trabalho teve o objetivo de analisar um sistema híbrido fotovoltaico conectado à rede elétrica, instalado no estacionamento do IFMG campus Formiga, mostrando equipamentos de alta tecnologia. O sistema, composto por 15 módulos, um inversor híbrido, uma bateria e um carregador veicular integra a geração solar fotovoltaica, o armazenamento de energia e a mobilidade elétrica.

A partir da caracterização técnica dos equipamentos e da plataforma de monitoramento da *FusionSolar*, foi realizada a avaliação com os quatro modos de operação do inversor híbrido, buscando compreender a interação da energia do sistema fotovoltaico, da bateria e da rede elétrica. Os modos Autoconsumo Máximo, Totalmente Fornecida à rede, Envio de Terceiros e *ToU*, foram analisados em dias de sexta-feira, com o intuito de manter as mesmas condições de consumo entre os períodos analisados.

No modo de Autoconsumo Máximo, observou-se que as cargas locais foram priorizadas, utilizando o excedente para carregar a bateria e em eventual injeção de energia elétrica na rede da concessionária. No modo Totalmente Fornecida à rede, a exportação de energia para a concessionária foi significativa, totalizando 34,48 kWh no dia analisado. Já no modo de Envio de Terceiros, constatou-se que, na ausência de uma plataforma externa de controle, a bateria permaneceu em estado de espera, não realizando armazenamento de energia, resultando no suprimento das cargas pela rede da concessionária. Por fim, no modo *ToU*, o sistema foi programado para carregar a bateria em um certo horário da manhã para aproveitar essa energia à noite, horário na qual ela foi descarregada, demonstrando o controle inteligente do armazenamento de energia conforme os horários definidos.

Com base nas análises, o sistema híbrido apresentou um bom desempenho, destacando-se pela flexibilidade operacional, proporcionando uma melhor gestão energética. A integração entre a geração de energia, o armazenamento pela bateria e a programação dos modos, que permite um consumo inteligente, proporciona um melhor aproveitamento da geração solar, contribuindo para a sustentabilidade da instituição.

Além disso, foi proposta uma estratégia de utilização do carregador veicular considerando as restrições de uso de energia em instituições públicas, nas quais não é permitido o carregamento a partir da rede elétrica. Assim, recomenda-se que o carregamento do veículo elétrico seja realizado no modo Autoconsumo Máximo, utilizando energia solar direta ou armazenada pela bateria. Essa proposta estabelece um procedimento operacional seguro, alinhando à finalidade educacional do sistema.

Por fim, este estudo reforça a importância de projetos com energias renováveis e sistemas híbridos como alternativa viável para melhorar o suprimento energético e otimizar o uso de fontes renováveis. Ademais, o sistema também se consolida com uma ferramenta de estudo para estudantes e pesquisadores do campus, contribuindo para o conhecimento técnico e forma inteligentes de gestão energética.

REFERÊNCIAS

- [1] ANEEL – AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Geração Distribuída**. Brasília, 2025. Disponível em: <https://www.gov.br/aneel/pt-br/assuntos/geracao-distribuida>. Acesso em: 27 jun. 2025.
- [2] ANEEL – AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Painel de Geração Distribuída [Power Bi]**. Brasília: ANEEL, 2025. Disponível em: <https://app.powerbi.com/view?r=eyJrljoiY2VmMmUwN2QtYWFiOS00ZDE3LWI3NDMtZDk0NGI4MGU2NTkxliwidCI6IjQwZDZmOWI4LWVjYTctNDZhMi05MmQ0LWVhNGU5YzAxNzBIMSIsImMiOiR9>. Acesso em: 27 jun. 2025.
- [3] AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA – ANEEL. *PRODIST – Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica: Módulo 1* - Glossário de Termos Técnicos. Brasília, 2022. Disponível em: https://www2.aneel.gov.br/cedoc/aren2021956_2.pdf. Acesso em: 11 jul. 2025.
- [4] BARBOSA, Claudomiro Fábio de Oliveira. **Avaliação tecnológica, operacional e de gestão de sistemas híbridos para geração de eletricidade na Região Amazônica**. Orientador: João Tavares Pinho. 2006. 186 f. (Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) - Centro Tecnológico, Universidade Federal do Pará, Belém, 2006. Disponível em: <http://repositorio.ufpa.br/jspui/handle/2011/3340>. Acesso em: 27 jun. 2025.
- [5] BARROS, Leonardo Lehmann. **Requisitos para fornecimento de energia elétrica para recarga de veículo elétrico em Curitiba através de sistemas fotovoltaicos e concessionária de energia**. 113 f. Monografia (Graduação em Engenharia Elétrica – Ênfase em Eletrotécnica) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2013. Disponível em: https://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/9870/2/CT_COELE_2013_2_07.pdf. Acesso em: 12 jul. 2025.
- [6] CHATZIGEORGIOU, Nikolas G.; THEOCHARIDES, Spyros; MAKRIDES, George; GEORGHIU, George E. **A review on battery energy storage systems: Applications, developments, and research trends**. Journal of Energy Storage, v. 35, p. 102234, 2024. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352152X2400776X>. Acesso em: 13 jul. 2025.
- [7] COELHO, R.F.; SCHMITZ, L.; MARTINS, D. C. **Energia Solar Fotovoltaica: Geração, Conversão e Aplicações**. Florianópolis: Edição dos Autores, 2022.
- [8] DAZA, Eric Fernando Boeck; SPERANDIO, Maurício. **Sistemas de Armazenamento de Energia: Desafios Regulatórios e Econômicos para sua inserção em Sistemas de Potência**. Editora Simplíssimo, 1a edição, ISBN-13: 978-6580461189, 13 de dezembro de 2021.
- [9] EPE – EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Painel de Consumo Anual – série histórica 2004 a 2024**. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/anuario-estatistico-de-energia-eletrica>. Acesso em: 27 jun. 2025.

- [10] EPE - EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Balço Energético Nacional – Síntese 2025**. Brasília, DF: EPE, 2025. Disponível em: https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-885/topico-767/BEN_S%C3%ADntese_2025_PT.pdf. Acesso em: 11 jul. 2025.
- [11] EPE – EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Painel Dinâmico da Geração Distribuída**: Gráfico “Consumidores com MMD”. Brasília: EPE, 2025. Disponível em: <https://dashboard.epe.gov.br/apps/pdgd/>. Acesso em: 27 jun. 2025.
- [12] HUAWEI. **Huawei Solar Brasil**. Disponível em: <https://solar.huawei.com/br>. Acesso em: 11 jul. 2025.
- [13] INTERNATIONAL ENERGY AGENCY – IEA. **Global EV Outlook 2023: Catching up with climate ambitions**. Paris: IEA, 2023. Disponível em: <https://www.iea.org/reports/global-ev-outlook-2023>. Acesso em: 27 jun. 2025.
- [14] INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. **Global Energy Review 2025 – Electricity**. Paris: IEA, 2025. Disponível em: https://www.iea.org/reports/global-energy-review-2025/electricity?utm_source. Acesso em: 25 jun. 2025.
- [15] JINKO SOLAR. **Módulo fotovoltaico Tiger Neo N-type 54HL4R-B**. [Figura 11]. ArchiExpo, 2024. Disponível em: <https://www.archiexpo.com/pt/prod/jinko-solar/product-68245-567537.html>. Acesso em: 11 jul. 2025.
- [16] KASSEM, A. M. *et al.* **A Review Of Hybrid Converter Topologies For Photovoltaic systems**. Energies, Basel, v. 15, n. 24, p. 9341, 2022. Disponível em: <https://www.mdpi.com/1996-1073/15/24/9341>. Acesso em: 11 jul. 2025.
- [17] LEMES, Jussilaine Fernandes. **Análise de viabilidade de implantação de posto de recarga de veículos elétricos com abastecimento fotovoltaico**. 65 f. Monografia (Graduação em Engenharia de Energia) – Faculdade de Engenharia, Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados, 2018. Disponível em: <https://repositorio.ufgd.edu.br/jspui/bitstream/prefix/2834/1/JussilaineFernandesLemes.pdf>. Acesso em: 12 jul. 2025.
- [18] LUTTERBACK, R. Meu sistema de energia solar funciona mesmo sem luz?, 2020. Disponível em: <https://www.evolar.com.br/post/meu-sistema-de-energia-solar-funciona-mesmo-sem-luz>. Acesso em: 28 de jun. de 2025.
- [19] MELONI, Lucas Frederico Jardim; CAMBRAIA, Gabriel Soares. **Tecnologia fotovoltaica: módulos, arranjos, célula**. Módulo 3 do curso de Formação Continuada em Tecnologias para Geração Distribuída Fotovoltaica. IFMG – Campus Formiga, 2025. Material didático estruturado com base na UFPB.
- [20] MELONI, Lucas Frederico Jardim; CAMBRAIA, Gabriel Soares. **Sistemas fotovoltaicos: isolados, conectados à rede, híbridos**. Módulo 4 do curso de Formação Continuada em Tecnologias para Geração Distribuída Fotovoltaica. IFMG – Campus Formiga, 2025. Material didático estruturado com base na UFPB.
- [21] PEREIRA, E. B.; MARTINS, F. R.; GONÇALVES, A. R.; COSTA, R. S.; LIMA, F. L.; RÜTHER, R.; ABREU, S. L.; TIEPOLO, G. M.; PEREIRA, S. V.; SOUZA, J.

G. **Atlas brasileiro de energia solar**. 2ed. São José dos Campos: INPE, 2017. 80p. Disponível em: https://labren.ccst.inpe.br/atlas_2017.html. Acesso em: 25 jun. 2025.


[22] PINHO, J. T.; GALDINO, M. A. **Manual de engenharia para sistemas fotovoltaicos**. 1 ed. Rio de Janeiro: CEPEL/CRESESB, 2014. Disponível em: https://cresebs.cepel.br/publicacoes/download/Manual_de_Engenharia_FV_2014.pdf. Acesso em: 25 jun. 2025.

[23] SOUZA, Antônio Carlos Zambroni de; ALVEZ, Cristian Adolfo; MOURA, Renan Souza. **Sistemas de distribuição de energia elétrica: conceitos básicos e modelagem**. 1. ed. Rio de Janeiro: Editora Interciência, 2024.

[24] VILLALVA, Marcelo Gradella. **Energia Solar Fotovoltaica: Conceitos e Aplicações: Sistemas Isolados: e Conectados à Rede**. 2. ed. rev. e atual. São Paulo: Editora Erica, 2012. 225 p.

[25] VILLALVA, M. G. **Energia Solar Fotovoltaica: conceitos e aplicações**. 2^a ed. São Paulo: Editora: Érica / Saraiva, 2015. 224 p.

ANEXO A – FICHA TÉCNICA DOS MÓDULOS FOTOVOLTAICOS SUNOVA SOLAR SS-585-72MDH(T)

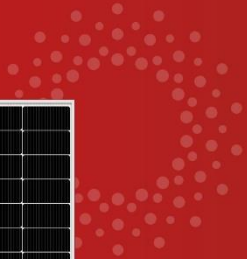


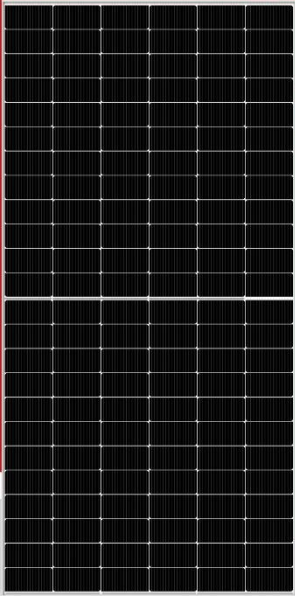
SUNOVA SOLAR


Pv Tech Expert.


SS-585-72MDH(T)


MONO N-TYPE








- 


30 anos de vida útil traz 10-30% de geração de energia adicional em comparação com o módulo convencional P-type
- 


A célula solar N-type não possui LID naturalmente, o que pode aumentar a geração de energia
- 

Excelente desempenho de baixa irradiância
- 

Melhor retenção de luz e coleta de corrente para melhorar a potência e a confiabilidade do módulo
- 

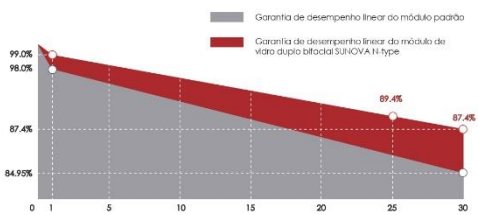
O menor coeficiente térmico de energia líder da indústria
- 

Projeto elétrico otimizado e menor corrente de operação para redução da perda de pontos quentes e melhor coeficiente de temperatura
- 

Certificado para suportar: carga de vento (2400 Pa) e carga de neve (5400 Pa)
- 

Teste EL triplo de 100%, permitindo uma redução notável da taxa de rachaduras ocultas dos módulos

GARANTIA DE DESEMPENHO LINEAR



Anos	Garantia de desempenho linear do módulo padrão (%)	Garantia de desempenho linear do módulo de vidro duplo bifacial SUNOVA H-type (%)
1	99.02%	99.02%
15	94.95%	94.95%
25	91.4%	91.4%
30	87.4%	87.4%

15 anos

Qualidade do produto e garantia do processo


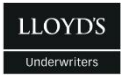

30 anos

Garantia de potência linear

0.40 %




Degradação anual

SEGURO DE DESEMPENHO

Ariel Re - Entre em contato com nossa equipe de vendas para mais informações

CERTIFICADOS ABRANGENTES

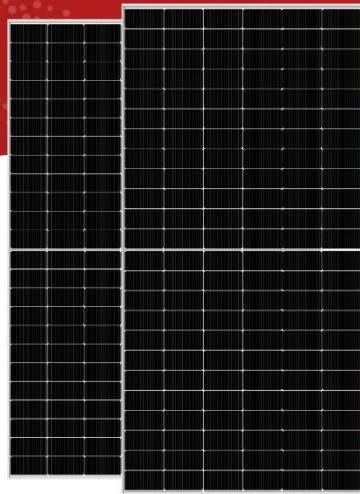




- ISO 9001: Sistema de Gestão da Qualidade
- ISO 14001: Sistema de Gestão Ambiental Padrão
- ISO 45001: Sistema Internacional de Avaliação de Saúde e Segurança Ocupacional Padrão
- SA 8000: Sistema de Gestão de Responsabilidade Social de de versão 2014

* Diferentes mercados têm diferentes requisitos de certificação. Além disso, os produtos estão em constante inovação. Confirme o status da certificação com os representantes de vendas regionais

Make it happen

www.sunova-solar.com



CARACTERÍSTICAS ELÉTRICAS

Modelo de módulos	SS-585-72MDH(T)	
	STC	NOCT
Potência máxima – P _{mp} (W)	585	436
Tensão de circuito aberto – V _{oc} (V)	52.25	49.32
Corrente de curto-circuito – I _{sc} (A)	14.00	11.31
Tensão máxima de energia – V _{mp} (V)	44.11	41.30
Corrente de potência máxima – I _{mp} (A)	13.26	10.55
Eficiência do módulo – η _m (%)	22.1	
Tolerância de potência (W)	(0,+5)	
Tensão máxima do sistema (V)	1500	
Corrente nominal máxima do fusível(A)	25	
Temperatura de operação atual (°C)	-40~+85 °C	

STC (Condições de Teste Padrão): Irradiância 1000 W/m², Temperatura da Célula 25 °C, Espectro em AM1,5

NOCT (Temperatura Nominal da Célula de Operação): Irradiância 800W/m², Temperatura Ambiente 20°C, Espectro em AM1,5, Vento em 1m/s

CARACTERÍSTICAS ESTRUTURAIS

Tamanho do módulo (L*W*H)	2335 x 1134 x 30 mm
Peso	28.1 kg
Número de células	144 células
Célula	N-type Monocristalino 182 x 93 mm
Vidro	Temperado, 3,2 mm AR, alta transmitância, baixo ferro
Quadro/Armação	Liga de alumínio anodizado
Caixa de junção	IP68, 3 bypass diodos
Fio de saída	4.0 mm ² , comprimento do fio: 300mm/1200mm ou comprimento personalizado
Conector	Compatível com MC4
Carga mecânica	Carga de neve: 5400 Pa / Carga de vento: 2400 Pa

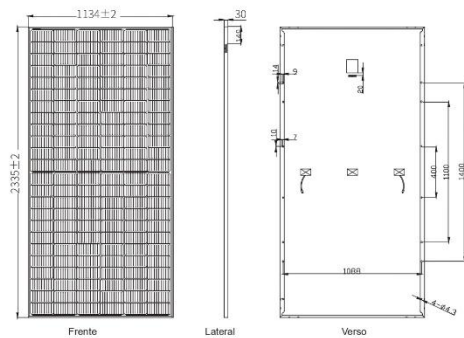
CLASSIFICAÇÕES DE TEMPERFORMANCE

Coefficiente de temperatura (P _{max})	-0.30%/°C
Coefficiente de temperatura (V _{oc})	-0.26%/°C
Coefficiente de temperatura (I _{sc})	+0.046%/°C
Temperatura nominal da célula de operação	43±2 °C

CONFIGURAÇÃO DA EMBALAGEM

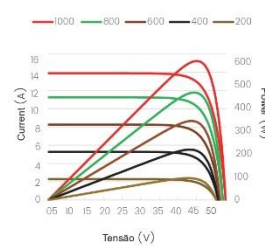
Recipiente	40HQ
Quantidade/paleta	36
Paletes/contêiner	20
Quantidade/recipiente	720

DIMENSÕES DO MÓDULO (MM)

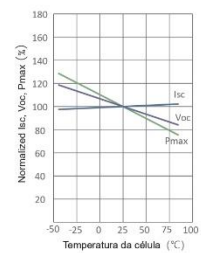


* A tolerância não marcada é de ±1 mm
Comprimento mostrado em mm

Curvas de corrente-tensão e potência-tensão (600W)



Dependência de temperatura de I_{sc}, V_{oc}, P_{max}



SUNOVA SOLAR
Pv Tech Expert

Web: www.sunova-solar.com

E-mail: info@sunova-solar.com

* Os parâmetros técnicos contidos nesta ficha técnica podem apresentar pequenas diferenças e a Sunova Solar não garante que sejam totalmente precisos. Devido à contínua inovação, pesquisa e desenvolvimento e melhoria do produto, a Sunova Solar reserva-se o direito de ajustar as informações desta ficha técnica a qualquer momento sem aviso prévio. O cliente deve obter a versão mais recente da ficha técnica ao assinar o contrato e torná-la parte integrante do contrato vinculativo assinado por ambas as partes. Os arquivos de tradução para chinês (ou outro idioma) desta folha de dados são apenas para referência. Se houver alguma inconsistência entre a versão em inglês e a versão em chinês (ou outras versões de idioma), a versão em inglês prevalecerá.

Make it happen

SD202307001PT

ANEXO B – FICHA TÉCNICA DO INVERSOR HÍBRIDO HUAWEI SUN2000-2-6KTL-L1



SMART ENERGY CONTROLLER

SUN2000-2/3/3.68/4/4.6/5/6KTL-L1
(High Current Version)



*Only launched in UK & Latin America & Middle East & Africa & APAC



Active Safety
Active Arcing Protection



Higher Yields
Up to 30% More Energy
with Optimizer



Battery Ready
Plug & Play, Whole-house
power backup

Version No.: 03-202312

SUN2000-2/3/3.68/4/4.6/5/6KTL-L1(High Current Version) Technical Specification

Technical Specification	SUN2000 -2KTL-L1	SUN2000 -3KTL-L1	SUN2000 -3.68KTL-L1	SUN2000 -4KTL-L1	SUN2000 -4.6KTL-L1	SUN2000 -5KTL-L1	SUN2000 -6KTL-L1
Efficiency							
Max. efficiency	98.2%	98.3%	98.4%	98.4%	98.4%	98.4%	98.4%
European weighted efficiency	96.7%	97.3%	97.3%	97.5%	97.7%	97.8%	97.8%
Input (PV)							
Recommended max. PV power ¹	3,000 Wp	4,500 Wp	5,520 Wp	6,000 Wp	6,900 Wp	7,500 Wp	9,000 Wp
Max. input voltage ²	600 V						
Startup voltage	100 V						
MPPT operating voltage range	90 ~ 530 V						
Rated input voltage	360 V						
Max. input current per MPPT	13.5 A						
Max. short-circuit current	20 A						
Number of MPP trackers	2						
Max. inputs per MPP tracker	1						
Input (DC Battery)							
Compatible battery	LUNA2000-5/10/15-S0						
Operating voltage range	350 ~ 560 Vdc						
Max. operating current	15 A						
Max. charge power	5,000 W						
Max. discharge power	2,200 W	3,300 W	3,680 W	4,400 W	4,600 W	5,000 W	5,000 W
Output (On Grid)							
Grid connection	Single phase						
Rated output power	2,000 W	3,000 W	3,680 W	4,000 W	4,600 W	5,000 W	6,000 W
Max. apparent power	2,200 VA	3,300 VA	3,680 W	4,400 VA	5,000 VA	5,500 W	6,000 VA
Rated output voltage	220 Vac / 230 Vac / 240 Vac						
Rated AC grid frequency	50 Hz/60 Hz						
Max. output current	10 A	15 A	16 A	20 A	23 A	25 A	27.3 A
Adjustable power factor	0.8 leading ... 0.8 lagging						
Max. total harmonic distortion	≤ 3%						
Backup power output	Yes (via Backup Box - B0, SmartGuard 63A S0)						
Protection Feature							
Anti-islanding protection	Yes						
DC reverse polarity protection	Yes						
Insulation monitoring	Yes						
DC surge protection	Yes, compatible with TYPE II protection class according to EN/IEC 61643-11						
AC surge protection	Yes, compatible with TYPE II protection class according to EN/IEC 61643-11						
Residual current monitoring	Yes						
AC overcurrent protection	Yes						
AC short-circuit protection	Yes						
AC overvoltage protection	Yes						
Over-heat protection	Yes						
Arc fault protection	Yes						
Battery charging from grid	Yes						
General Specification							
Operating temperature range	- 25 ~ +60 °C						
Relative operating humidity	0%-100% RH						
Operating altitude	0-4,000 m (Derating above 2,000 m)						
Cooling	Natural convection						
Display	LED indicators; integrated WLAN + FusionSolar app						
Communication	RS485, WLAN via inverter built in WLAN module Ethernet via Smart Dongle-WLAN FE (Optional); 4G / 3G / 2G via Smart Dongle-4G (Optional); EMMA						
Weight (incl. mounting brackets)	12.0 kg (26.5 lb)						
Dimensions (incl. mounting brackets)	365 mm x 375 mm x 156 mm						
IP rating	IP65						
Nighttime power	< 2.5 W						
Optimizer Compatibility							
DC MBUS compatible optimizer	SUN2000-450W-P2, SUN2000-600W-P						
Standards Compliance (More Available Upon Request)							
Safety	EN/IEC 62109-1, EN/IEC 62109-2						
Grid connection standards	G98, G99, G100, EN 50549-1, CEI 0-21, VDE-AR-N-4105, AS 4777.2, C10/11, ABNT, UTE C15-712, RD 1699, TOR D4, IEC61727, IEC62116						

*1 Inverter single MPPT max. input power is 6,000 Wp when long strings are designed and fully connected with SUN2000-450W-P2, SUN2000-600W-P optimizers.

*2 The maximum input voltage is the upper limit of the DC voltage. Any higher input DC voltage would probably damage inverter.

Disclaimer: the preceding values are measured by an internal laboratory of Huawei in a specific environment. The actual values may vary with products, software versions, usage conditions, and environmental factors.

ANEXO C – FICHA TÉCNICA DA BATERIA HUAWEI LUNA2000-5-S0

Smart String Energy Storage System



More Usable Energy

100% Depth of Discharge
Pack Level Energy Optimization



Flexible Investment

5kWh Modular Design,
Scalable from 5 to 30 kWh



Safe & Reliable

LFP Cell
4-layer Safety Protection



Easy Installation

12 kg Power Module
50 kg Battery Module



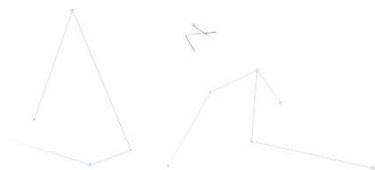
Quick Commissioning

Automatically Detected in App






Perfect Compatibility

Compatible to Both Residential
Single & Three Phase Inverter



LUNA2000-5/10/15-S0 Technical Specification

	LUNA2000-5-S0	LUNA2000-10-S0	LUNA2000-15-S0
Technical Specification			

Performance

Power module	LUNA2000-5KW-C0		
Number of power modules	1		
Battery module	LUNA2000-5-E0		
Battery module energy	5 kWh		
Number of battery Modules	1	2	3
Battery usable energy ¹	5 kWh	10 kWh	15 kWh
Max. output power	2.5 kW	5 kW	5 kW
Peak output power	3.5 kW, 10s	7 kW, 10s	7 kW, 10s
Nominal voltage (single phase system)	450 V		
Operating voltage range (single phase system)	350 – 560 V		
Nominal voltage (three phase system)	600 V		
Operating voltage range (three phase system)	600 – 980 V		

Communication

Display	SOC status indicator, LED indicator
Communication	RS485 / CAN (only for parallel operation)

General Specification

Dimension (W*D*H)	670 * 150 * 600 mm (26.4 * 5.9 * 23.6 inch)	670 * 150 * 960 mm (26.4 * 5.9 * 37.8 inch)	670 * 150 * 1320 mm (26.4 * 5.9 * 60.0 inch)
Weight (Floor stand toolkit included)	63.8 kg (140.7lb)	113.8 kg (250.9lb)	163.8 kg (361.1lb)
Power module dimension (W*D*H)	670 * 150 * 240 mm (26.4 * 5.9 * 9.4 inch)		
Power module weight	12 kg (26.5 lb)		
Battery module dimension (W*D*H)	670 * 150 * 360 mm (26.4 * 5.9 * 14.0 inch)		
Battery module weight	50 kg (110.2 lb) ²		
Installation	Floor stand (standard), Wall mount (optional)		
Operating temperature	-20°C ~ + 55°C (-4°F ~ 131°F) ³		
Max. operating altitude	4,000 m (13,123 ft.) (Derating above 2,000 m)		
Environment	Outdoor ⁴ (*Please refer to the user manual for installation condition)		
Relative humidity	5% – 95%		
Cooling	Natural convection		
Protection rating	IP 66		
Noise emission	<29 dB		
Cell technology	Lithium-iron phosphate (LiFePO4)		
Scalability	Max. 2 systems in parallel operation		
Compatible inverters	SUN2000-2/3/3.68/4/4.6/5/6KTL-L1, SUN2000-3/4/5/6/8/10KTL-M0 ⁵ , SUN2000-3/4/5/6/8/10KTL-M1		

Standard Compliance (more available upon request)

Certificates	CE, RCM, CEC, VDE2510-50, IEC62619, IEC 60730, UN38.3
--------------	---

Ordering and Deliverable Part

Product ordering model ⁶	LUNA2000-5KW-C0, LUNA2000-5-E0, LUNA2000 Wall Mounting Bracket
-------------------------------------	--

- Test conditions: 100% depth of discharge (DoD), 0.2C rate charge & discharge at 25°C, at the beginning of life. If no PV modules are installed or the system has not detected sunlight for at least 24 hours, the minimum end of discharge SOC is 15%.
- The weight of the battery module is subject to the actual product, with a tolerance of ±3%.
- Refer to battery warranty letter for conditional application.
- Improper storage system installation may compromise product warranty and operation safety. Please follow the user manual during the installation, use, and maintenance of the storage system.
- Please contact local engineer for the compatibility between the SUN2000-3/4/5/6/8/10KTL-M0 with the LUNA2000.
- Storage system is ordered and delivered in the form of power module and battery module separately with corresponding quantity.

SOLAR.HUAWEI.COM/EU/

ANEXO D – FICHA TÉCNICA DO CARREGADOR ELÉTRICO Terra AC W7-G5-R-0

TAC-W7-G5-R-0

1/4



PRODUCT-DETAILS

TAC-W7-G5-R-0

TAC-W7-G5-R-0 Terra AC wallbox type 2, cable 5m, 1-phase/32 A, with RFID



General Information

Extended Product Type	TAC-W7-G5-R-0
Product ID	6AGC082155
EAN	8719874450935
Alternative Product Reference	3Q510001800A
Catalog Description	TAC-W7-G5-R-0 Terra AC wallbox type 2, cable 5m, 1-phase/32 A, with RFID
Long Description	Terra AC wallbox type 2, cable 5m, 1-phase/32 A, with RFID

Technical

EV Connectors	(AC Type 2) 1 piece
Number of Socket Outlets	Cable only
Cable Length	5 m
Output Power	Nominal 7 kW
Output Voltage (U _{out})	AC 1-phase 184 ... 276 V
Output Current Maximum (I _{out})	AC 1-phase 32 A
Connection Power	Nominal 7 kW

© 2025 ABB. All rights reserved.

2025/07/24

Subject to change without notice

TAC-W7-G5-R-0

2/4

Input Voltage (U _{in})	AC 1-phase 184 ... 276 V
Input Current	1-phase 32 A
Frequency (f)	50 ... 60 Hz
Number of Phases	1-phase
Connection Configuration	TT, TN
Number of RCDs Electric Vehicle Supply Equipment	Resid. Curr. Monitor
Number of Miniature Circuit Breakers (MCBs)	Integrated breaker
Surge Suppression	Included
Overvoltage Category	III
Overload Protection	Overcurrent protection at 40 A
Cross-Section	6 ... 6 mm ²
Ambient Air Temperature	Operation -30 ... +50 °C Storage -50 ... +80 °C
Maximum Operating Altitude Permissible	2000 m
Communication Interface	Wi-Fi Ethernet Bluetooth Modbus
Communication Protocol	OCPP 1.6
Load Management Method	OCPP - Based
Authentication Method	RFID App Free Vending
Energy Meter Type	AC
Enclosure Type	indoor, outdoor
Mounting Type	Wall mounting
Housing Material	Plastic
Degree of Protection	acc. to IEC 60529 IP54
Impact Resistance Rating	IK08
Technical Information	Features: DC residual current detection Contactor welding detection Networkable via LAN Networkable via Wi-Fi Long-Term Evolution (LTE) Static load management integrated Suitable for dynamic load management With Display Operation and configuration by app Export of charging logs Backend included in delivery

Dimensions

Product Net Width	195 mm
Product Net Depth / Length	320 mm
Product Net Height	110 mm
Product Net Weight	4.1 kg
Package Level 1 Units	carton 1 piece
Package Level 1 Width	350 mm
Package Level 1 Height	350 mm
Package Level 1 Depth /	450 mm

TAC-W7-G5-R-0

3/4

Length	
Package Level 1 Gross Weight	5.6 kg
Package Level 1 EAN	8719874450935
Package Level 2 Units	pallet (lift) 18 piece
Package Level 2 Width	830 mm
Package Level 2 Height	1150 mm
Package Level 2 Depth / Length	1130 mm
Package Level 2 Gross Weight	119.7 kg

Ordering

Country or Territory of Origin	China
Customs Tariff Number	85371091
Selling Unit of Measure	piece
Minimum Order Quantity	6 piece
Order Multiple	6 piece
EAN	8719874450935
ETIM 9	EC002883 - Charging device E-Mobility
UNSPSC	25175002
IDEA Granular Category Code (IGCC)	1311 >> Electric vehicle charging station

Additional Information

Declaration of Conformity - CE	9AKK108467A2511
RoHS Information	Following EU Directive 2011/65/EU and Amendment 2015/863 July 22, 2019
WEEE Category	5. Small Equipment (No External Dimension More Than 50 cm)
Standards	EN 61851-1 EN 61851-23 EN 61000-6-2 EN 61000-6-3 EN 301 908-2 IEC 60721-3-2:1E23 RoHS

Categories

Electric Vehicle Charging → Home Charging Products, AC and DC Wallboxes and Chargers → Global AC Chargers

TAC-W7-G5-R-0

4/4

