

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE SANTA
CATARINA – CÂMPUS FLORIANÓPOLIS
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ELETROTÉCNICA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA**

BRUNA HAMES COELHO

**SIMULAÇÃO DE SISTEMA HÍBRIDO SUSTENTÁVEL DE
ELETROPOSTO: implementação com sistemas fotovoltaicos e
BESS por meio de Dinâmica de Sistemas**

FLORIANÓPOLIS, 2025.

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE SANTA
CATARINA – CÂMPUS FLORIANÓPOLIS
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ELETROTÉCNICA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA**

BRUNA HAMES COELHO

**SIMULAÇÃO DE SISTEMA HÍBRIDO SUSTENTÁVEL DE
ELETROPOSTO: implementação com sistemas fotovoltaicos e
BESS por meio de Dinâmica de Sistemas**

Trabalho de Conclusão de Curso submetido ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina como parte dos requisitos para obtenção do título de Engenheiro(a) Eletricista.

Orientador:
Prof. Everthon Taghori Sica, Dr. Eng.

FLORIANÓPOLIS, 2025.

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor.

Coelho, Bruna Hames Coelho

SIMULAÇÃO DE SISTEMA HÍBRIDO SUSTENTÁVEL DE ELETROPOSTO: implementação com sistemas fotovoltaicos e BESS por meio de Dinâmica de Sistemas / Bruna Hames Coelho Coelho; orientação de Everthon Taghori Sica. - Florianópolis, SC, 2025.

71 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) - Instituto Federal de Santa Catarina, Câmpus Florianópolis. Bacharelado em Engenharia Elétrica. Departamento Acadêmico de Eletrotécnica.

Inclui Referências.

1. Eletroposto. 2. Dinâmica de Sistemas. 3. BESS.
4. Geração fotovoltaica. I. Taghori Sica, Everthon. II. Instituto Federal de Santa Catarina. III. SIMULAÇÃO DE SISTEMA HÍBRIDO SUSTENTÁVEL DE ELETROPOSTO.

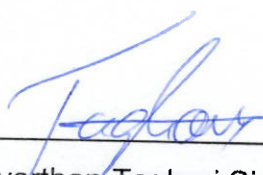
**SIMULAÇÃO DE SISTEMA HÍBRIDO SUSTENTÁVEL DE
ELETROPOSTO: implementação com sistemas fotovoltaicos e
BESS por meio de Dinâmica de Sistemas**

BRUNA HAMES COELHO

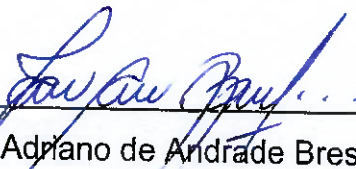
Este trabalho foi julgado adequado para obtenção do título de Engenheiro(a) Eletricista e aprovado na sua forma final pela banca examinadora do Curso de Graduação em Engenharia Elétrica do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina.

Florianópolis, 15 de dezembro, 2025.

Banca Examinadora:



Prof. Everthon Taghori Sica, Dr. Eng.



Prof. Adriano de Andrade Bresolin, Dr. Eng.



Prof. Daniel Tenfen, Dr. Eng.

RESUMO

A crescente adoção de veículos elétricos no Brasil impulsiona a necessidade de uma infraestrutura de recarga robusta e sustentável, capaz de atender ao aumento da demanda sem sobrecarregar a rede elétrica. Neste contexto, os eletropostos híbridos, que integram geração solar fotovoltaica e Sistemas de Armazenamento de Energia em Baterias, surgem como uma solução promissora para garantir autonomia e sustentabilidade através do uso de recurso energético primário renovável e não esgotável. O presente trabalho tem como objetivo principal modelar um sistema de eletroposto híbrido sustentável. O intuito é analisar o comportamento dinâmico deste eletroposto, verificando se o dimensionamento da instalação fotovoltaica e banco de baterias é suficiente para o atendimento da demanda ou se há a necessidade de complementar a fonte de energia proveniente do Sistemas de Armazenamento de Energia em Baterias com o uso da rede elétrica. Para isso, será empregada a metodologia de Dinâmica de Sistemas, esta abordagem permite a construção de um modelo computacional que representa as relações de causa e efeito e os laços de realimentação do sistema. O modelo utiliza conceitos de estoque, como o nível de energia armazenado no banco de baterias, controlado por variáveis de fluxo como a taxa de acúmulo de energia proveniente da geração fotovoltaica e a taxa de consumo de energia proveniente do Sistema de Armazenamento de Energia em Baterias para atendimento da demanda. Para isso, foram simulados cenários que alternam entre semanas de maior e menor irradiância solar, variando também a capacidade de armazenamento do banco de baterias. Os resultados das simulações, mostram que o sistema dimensionado foi capaz de atender à demanda de carregamento em todos os cenários propostos. Porém, somente o cenário com maior irradiância solar combinado à maior capacidade de armazenamento, apresentou autonomia total em relação à rede elétrica. As simulações evidenciam que ao reduzir a capacidade de armazenamento ou ao diminuir a irradiância solar, pode haver a necessidade de complementar a geração fotovoltaica com o uso da rede para atender a demanda. Portanto, para que o eletroposto seja totalmente independente da rede, deve ocorrer um equilíbrio entre o dimensionamento da infraestrutura de geração fotovoltaica com a capacidade de armazenamento das baterias.

Palavras-chave: Eletroposto. Dinâmica de Sistemas. BESS. Geração fotovoltaica.

ABSTRACT

The growing adoption of electric vehicles in Brazil drives the need for a robust and sustainable charging infrastructure capable of meeting increasing demand without overloading the electric grid. In this context, hybrid charging stations, which integrate photovoltaic solar generation and Battery Energy Storage Systems, emerge as a promising solution to ensure autonomy and sustainability through the use of renewable and inexhaustible primary energy resources. The main objective of this work is to model a sustainable hybrid charging station system. The aim is to analyze the dynamic behavior of this station, verifying whether the size of the photovoltaic installation and battery bank is sufficient to meet demand or if there is a need to supplement the energy source from the Battery Energy Storage Systems with the use of the electric grid. For this purpose, the System Dynamics methodology will be employed, this approach allows for the construction of a computational model that represents cause and effect relationships and feedback loops within the system. The model utilizes stock concepts, such as the level of energy stored in the battery bank, controlled by flow variables like the rate of energy accumulation from photovoltaic generation and the rate of energy consumption from the Battery Energy Storage System to meet demand. To this end, scenarios were simulated alternating between weeks of higher and lower solar irradiance, while also varying the storage capacity of the battery bank. The simulation results show that the sized system was able to meet the charging demand in all proposed scenarios. However, only the scenario with the highest solar irradiance combined with the largest storage capacity presented total autonomy from the electric grid. The simulations evidence that reducing storage capacity or decreasing solar irradiance may result in the need to supplement photovoltaic generation with the use of the grid to meet demand. Therefore, for the charging station to be totally independent of the grid, there must be a balance between the sizing of the photovoltaic generation infrastructure and the battery storage capacity.

Keywords: Charging station. System Dynamics. BESS. Photovoltaic generation.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Crescimento de vendas de veículos elétricos no Brasil	14
Figura 2 - Métodos de recarga de veículos elétricos	15
Figura 3 – Aplicação de diodo <i>by-pass</i> em módulo fotovoltaico	20
Figura 4 – Construção básica de um módulo fotovoltaico	20
Figura 5 – Estado de carga (SoC) recomendado	23
Figura 6 – Principais componentes de integrados ao BESS	24
Figura 7 – Exemplo de Diagrama de Laço Causal (DLC)	28
Figura 8 – Exemplo de Diagrama de Estoques e Fluxos (DEF)	28
Figura 9 – Diagrama de Laço Causal proposto	29
Figura 10 – Diagrama de Estoques e Fluxo proposto	31
Figura 11 – Teste do modelo para carregamento de 2 VEs	39
Figura 12 - Validação do modelo para carregamento de 2 VEs durante uma semana.....	40
Figura 13 – Balanço energético do sistema para 2 VEs.....	40
Figura 14 – Teste do modelo para carregamento de 4 VEs	41
Figura 15 – Balanço energético para 3 VEs e BESS com 100kWh de capacidade ..	41
Figura 16 – Potência demandada da rede elétrica	42
Figura 17 – Distribuição de módulos fotovoltaicos	43
Figura 18 – Atendimento da demanda para o Cenário 1	45
Figura 19 – Balanço energético para simulação no Cenário 1	46
Figura 20 – Complementaridade entre acúmulo de energia e geração excedente ...	46
Figura 21 - Atendimento da demanda para o Cenário 2	47
Figura 22 - Balanço energético para simulação no Cenário 2.....	47
Figura 23 - Atendimento da demanda para o Cenário 3	48
Figura 24 - Balanço energético para simulação no Cenário 3.....	48
Figura 25 - Atendimento da demanda para o Cenário 4	49
Figura 26 - Balanço energético para simulação no Cenário 4.....	49
Figura 27 – Percentual de fonte de energia utilizada para atendimento da demanda.....	50

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABVE	Associação Brasileira do Veículo Elétrico
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
ANP	Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis
BAPV	<i>Building Applied Photovoltaics</i> (Sistema Fotovoltaico Anexo à Edificação)
BESS	<i>Battery Energy Storage System</i> (Sistema de Armazenamento de Energia em Baterias)
BEV	<i>Battery Electric Vehicle</i> (Veículo Elétrico à Bateria)
BIPV	<i>Building Integrated Photovoltaics</i> (Sistema Fotovoltaico Integrado à Edificação)
BMS	<i>Battery Management System</i> (Sistema de Gerenciamento de Baterias)
CA	Corrente Alternada
CC	Corrente Contínua
DEF	Diagrama de Estoques e Fluxos
DLC	Diagrama de Laço Causal
DoD	<i>Depth of Discharge</i> (Profundidade de Descarga)
DS	Dinâmica de Sistemas
EMS	<i>Energy Management System</i> (Sistema de Gerenciamento de Energia)
VE	Veículo Elétrico
GEE	Gases de Efeito Estufa
HEV	<i>Hybrid Electric Vehicle</i> (Veículo Elétrico Híbrido)
ICE	<i>Internal Combustion Engine</i> (Motor de combustão interna)
MHEV	<i>Mild Hybrid Electric Vehicle</i> (Veículos Elétricos Micro-Híbridos)

MMA	Ministério do Meio Ambiente
MMGD	Microgeração e Minigeração Distribuída de Energia Elétrica
NoC	<i>Number of Cycles</i> (Número de Ciclos)
OBC	<i>On-Board Charger</i> (Carregador à bordo)
PCS	<i>Power Conversion System</i> (Sistema de Conversão de Energia)
PHEV	<i>Plug-in Hybrid Electric Vehicle</i> (Veículo Elétrico Híbrido Plug-in)
SoC	<i>State of Charge</i> (Estado de Carga)
SoH	<i>State of Health</i> (Estado de Saúde)

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	9
1.1	Definição do Problema	10
1.2	Justificativa	11
1.3	Objetivo Geral.....	12
1.4	Objetivos Específicos	12
1.5	Estrutura do trabalho.....	13
2	RECARGA DE VEÍCULOS ELÉTRICOS INTEGRADA A SISTEMAS FOTVOLTAICOS E BESS	14
2.1	Infraestrutura de recarga para veículos elétricos	14
2.2	Microgeração solar fotovoltaica integrada a edificações	18
2.3	Sistemas de armazenamento de energia por baterias.....	21
2.4	Considerações finais do capítulo	25
3	MODELAGEM POR DINÂMICA DE SISTEMAS	26
3.1	Proposta e modelagem de Diagrama de Laço Causal	29
3.2	Proposta e modelagem do Diagrama de Estoques e Fluxos	31
3.2.1	Variáveis de estoque.....	32
3.2.2	Variáveis de fluxo	33
3.2.3	Variáveis auxiliares	35
3.2.4	Parâmetros de entrada	38
3.3	Testes preliminares de comportamento do modelo	39
3.4	Conclusões.....	42
4	SIMULAÇÃO E RESULTADOS	43
4.1	Dados de entrada e premissas	43
4.2	Cenário 1 – Maior irradiância solar e BESS de 400kWh	45
4.3	Cenário 2 – Menor irradiância solar e BESS de 400kWh	46
4.4	Cenário 3 – Maior irradiância solar e BESS de 200kWh	47
4.5	Cenário 4 – Menor irradiância solar e BESS de 200kWh	48
4.6	Conclusão do capítulo.....	49
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	52
5.1	Sugestão de trabalhos futuros	53
	REFERÊNCIAS	54
	APÊNDICES	59
	APÊNDICE A – Semana com maior irradiância média	60
	APÊNDICE B – Semana com menor irradiância média	62
	APÊNDICE C – Valores normalizados ocupação eletroposto Itacorubi	64
	ANEXOS	65
	ANEXO A – Dados de datasheet módulo fotovoltaico Jinko Solar	66

1 INTRODUÇÃO

As mudanças climáticas e o aquecimento global são temas amplamente discutidos em conferências governamentais com intuito de reduzir a emissão de Gases do Efeito Estufa (GEE). Na Conferência de Clima das Partes (COP21), que ocorreu em 2015, foi aprovado o “Acordo de Paris”, que consiste em um tratado entre os países participantes com finalidade de reduzir a emissão de GEE, em que foi definido um percentual de redução desses poluentes e propostas práticas para alcançar este objetivo (MMA, 2024).

O incentivo ao uso de veículos elétricos, vem ao encontro dessa necessidade de reduzir a emissão de gases nocivos, visto que, durante o funcionamento, estes veículos não emitem Gases de Efeito Estufa. Isso os torna uma alternativa mais sustentável quando comparado com os veículos que utilizam combustíveis fósseis que emitem dióxido de carbono (CO₂), partículas de hidrocarbonetos (HC) e óxido nitroso (NOx), nocivos ao meio ambiente e a saúde humana (Abdelmoula *et al.*, 2017).

A evolução para a descarbonização do segmento de transporte impacta a atual estrutura da matriz elétrica. A integração de veículos elétricos na rede, geram impactos devido a alteração do perfil de carga, como instabilidade na tensão e corrente, injeção de harmônicas e aumento de perdas no sistema de distribuição, causando de forma geral comprometimento da estabilidade no sistema de potência, tornando-o mais vulnerável a distúrbios (Das *et al.*, 2020). Diante desses desafios, o estudo sobre o comportamento de eletropostos surge como uma alternativa para aprofundar o conhecimento sobre os impactos da rede com o crescimento do mercado de veículos elétricos.

Considerando a busca por uma matriz energética “mais limpa”, a transição entre veículos à combustão para Veículos Elétricos (VE) apresenta uma real vantagem ambiental quando a fonte geradora de eletricidade utilizada no carregamento desses VEs provém de recurso energético primário renovável e não esgotável, como a solar fotovoltaica, trazendo então um benefício mútuo para o meio ambiente e para a rede elétrica (Kermani *et al.*, 2024). Por sua vez, considerando a matriz elétrica, nota-se um crescimento Microgeração e Minigeração Distribuída de

Energia Elétrica (MMDG), composta essencialmente de geração fotovoltaica. Em 2024, houve um aumento de 8.845,5 MW em capacidade instalada em relação ao ano anterior, sendo que dos 782.897 sistemas de MMDG instalados, 782.864 utilizam painéis fotovoltaicos (ANEEL, 2025).

É notável que a evolução para eletromobilidade através de veículos elétricos carrega análise de diversos fatores. Ainda que os VEs apresentem uma vantagem no aspecto ambiental, existem alguns obstáculos significativos que dificultam a adesão dos consumidores a essa alternativa, como a limitação de infraestrutura de eletropostos no Brasil, a capilaridade e o longo tempo de carregamento do veículo em comparação com o tempo necessário para abastecer utilizando combustíveis fósseis convencionais, que gera insegurança nos consumidores em relação a autonomia dos veículos elétricos para trajetos mais longos.

1.1 Definição do Problema

A adoção de veículos elétricos em larga escala apresenta uma baixa taxa de aquisição devido ao alto custo na aquisição dos veículos, o longo tempo de recarga, a limitação da autonomia e a capilaridade da rede de carregamento nas cidades devido à falta de estrutura para o carregamento desses veículos (Sushmitha *et al.*, 2023). Assim, um dos principais entraves para a transição de veículos a combustão para veículos elétricos está relacionada a autonomia devido à falta de estrutura para carregamento dos VEs. Portanto, o aumento de investimento e expansão em infraestrutura de postos carregamento de veículos elétricos é primordial para o crescimento desse setor.

Para que essa expansão seja compatível com a demanda por práticas sustentáveis, é fundamental que as soluções para eletropostos estejam baseadas em fontes de energia primária renovável e não esgotável, a exemplo da geração fotovoltaica. Além disso, para mitigar impactos na rede elétrica, a integração de um Sistema de Armazenamento de Energia em Baterias (BESS) é uma questão estratégica no estudo de uma solução de eletroposto híbrido, em uma análise que pode ser realizada de forma detalhada através de Dinâmica de Sistemas.

Nesse sentido, o desafio desse trabalho é analisar a resposta do sistema as mudanças de parâmetros, em que se pode citar a variação da irradiância solar, capacidade de geração dos módulos fotovoltaicos, capacidade de armazenamento do BESS, dimensionamento do sistema fotovoltaico e o fluxo de veículos a serem atendidos de acordo com a demanda estimada em uma cidade. A análise de diferentes cenários, permitirá identificar padrões e determinar configurações de implementação de um posto de carregamento híbrido para veículos elétricos.

1.2 Justificativa

A transição de veículos movidos a combustíveis fósseis para veículos elétricos tem se mostrado crescente, no ano de 2023 foi registrado um aumento de 91% das vendas em comparação com o ano anterior (ABVE, 2024). No ano de 2024, no Brasil, 177.358 veículos elétricos foram emplacados, sendo que este valor representa um crescimento de 89% em relação a quantidade emplacada no ano anterior de 2023. O Estado de Santa Catarina entra como o 5º estado que mais emplacou veículos, com a quantidade de 11.500 automóveis representando 6,5% do total geral do país (ABVE, 2025a).

Existem algumas desvantagens que afetam diretamente na decisão do consumidor final na compra de um eletrificado, dentre elas a incerteza relacionada a autonomia do veículo em longos percursos. Considera-se ainda que a concentração dos eletropostos comumente estão nas grandes cidades ou capitais, com maior densidade populacional, o que afeta de forma mais crítica a aquisição de veículos elétricos na demais áreas, onde a adoção de VEs é aproximadamente 40% inferior do que nas capitais (Kermani *et al.*, 2024).

Fabricantes de automóveis têm investido em pesquisa e desenvolvimento de soluções para aprimorar, dentre outros aspectos, a infraestrutura de carregamento de veículos elétricos (Saklani; Saini, 2023). A baixa capilaridade de eletropostos em comparação a ampla oferta de postos de combustíveis fósseis é um entrave na tomada de decisão para compra de um veículo elétrico.

Dados de 2023 estimam a existência de 44.224 postos de combustíveis, sendo 2.010 postos no estado de Santa Catarina (ANP, 2024). Em comparação, o número de pontos de carregamento de veículos elétricos no Brasil, aproxima-se de

14.827, sendo 1.112 em Santa Catarina e 220 no município de Florianópolis, contabilizando apenas eletropostos de acesso público, excluindo carregadores do tipo *wallboxes* residenciais de uso privado (ABVE, 2025b). Nota-se então, uma disparidade entre a infraestrutura estabelecida para combustíveis fósseis e os pontos de recarga para veículos elétricos.

1.3 Objetivo Geral

Modelar cenários de carregamento de veículos elétricos, utilizando geração fotovoltaica e armazenamento de energia em baterias estacionárias (BESS), através de simulação por meio de Dinâmica de Sistemas.

1.4 Objetivos Específicos

Para atingir o objetivo geral, foram estabelecidos os seguintes objetivos específicos:

- a) mapear o perfil de demanda energética de eletroposto localizado em Florianópolis;
- b) desenvolver um modelo de Dinâmica de Sistemas pelo *software Anylogic* representando as principais variáveis associadas ao eletroposto e suas relações;
- c) simular o comportamento do sistema de geração fotovoltaica para avaliar a capacidade de atendimento à demanda;
- d) simular o comportamento do sistema de armazenamento utilizando baterias (BESS), através de uma lógica que prioriza o autoconsumo;
- e) analisar por meio de simulações dinâmicas os impactos causados pelo dimensionamento da infraestrutura de instalação fotovoltaica e capacidade do BESS.

1.5 Estrutura do trabalho

O trabalho está estruturado em cinco capítulos. O primeiro capítulo consiste na contextualização do tema, trazendo a definição do problema da pesquisa, justificativa para o estudo e objetivos. O segundo capítulo, traz a fundamentação teórica necessária, compreendendo o estado da arte sobre a infraestrutura de recarga de veículos elétricos, geração fotovoltaica e sistemas de armazenamento de energia por baterias (BESS).

A metodologia utilizada é descrita no terceiro capítulo, que descreve a modelagem por Dinâmica de Sistemas, neste capítulo são apresentados o Diagrama de Laço Causal (DLC) e Diagrama de Estoques e Fluxos (DEF), bem como as variáveis utilizadas na simulação. Em seguida, o quarto capítulo, apresenta a aplicação prática do modelo através de simulações, em quatro cenários distintos variando as condições de irradiância solar e capacidade de armazenamento do BESS. Por fim, o quinto capítulo, sintetiza as principais conclusões obtidas com a pesquisa e apresenta sugestões para trabalhos futuros.

2 RECARGA DE VEÍCULOS ELÉTRICOS INTEGRADA A SISTEMAS FOTOVOLTAICOS E BESS

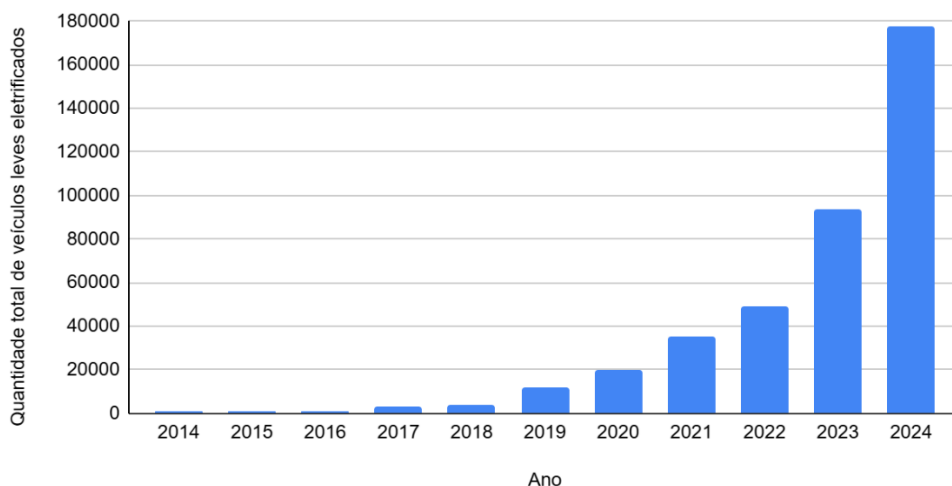
O crescimento da quantidade de veículos elétricos em circulação no Brasil, implica em um desafio para a atual disponibilidade de eletropostos. O termo “eletrofobia” (*range anxiety*), trata-se justamente da preocupação relacionada ao medo de que a capacidade carregada da bateria do veículo não seja o suficiente para completar o percurso até o destino ou a um ponto de carregamento (Acharige *et al.*, 2023).

Para atender essa tendência de crescimento de VEs torna-se necessária uma adequação da infraestrutura de eletropostos, exigindo um embasamento teórico para a modelagem desse sistema. Nesse sentido, este capítulo irá explorar as principais características de um eletroposto, seguido do estudo relacionado a microgeração solar fotovoltaica e sistemas de armazenamento de energia por baterias (BESS), além de incluir estudo teórico sobre a metodologia de análise de Dinâmica de Sistemas.

2.1 Infraestrutura de recarga para veículos elétricos

O Brasil tem apresentado uma tendência de crescimento na venda de veículos elétricos, conforme ilustrado na Figura 1, que evidencia a evolução da venda de eletrificados leves no período de 2014 à 2024.

Figura 1 - Crescimento de vendas de veículos elétricos no Brasil



Fonte: Adaptado de ABVE (2025a).

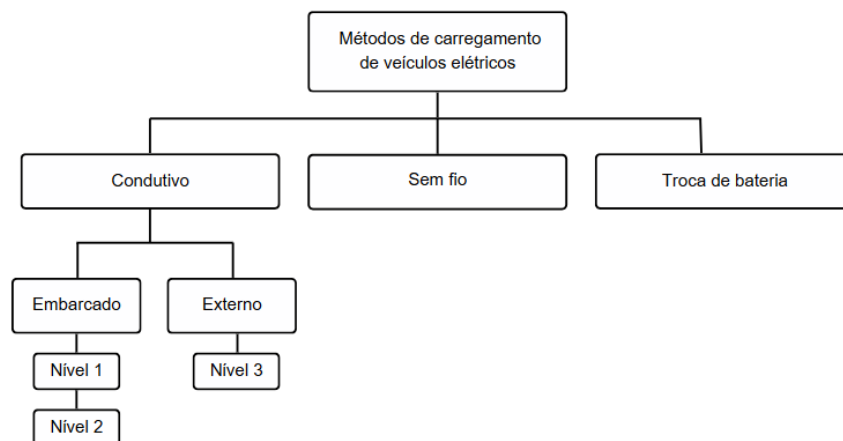
A participação de mercado (*marketshare*) dos eletrificados leves em 2024 traz predominância nos Veículos Elétricos Híbridos Plug-in (PHEV), que representam 36,09% do acumulado anual. Logo em seguida, estão os Veículos Elétricos à Bateria (BEV) com 34,74% de participação. As tecnologias híbridas convencionais (HEV) e suas variações somam 29,69%, sendo 11,43% de modelos HEV *flex*, 9,13% de Micro-Híbridos (MHEVs) e outros 9,13% de HEVs tradicionais (ABVE, 2025a).

Os VEs podem ser classificados conforme seu método de converter energia. Os HEVs, são veículos que combinam um motor de combustão interna (ICE) com um motor elétrico e uso de bateria, sendo esta bateria carregada através de frenagem regenerativa, sem a necessidade de utilização de fontes externas. Os PHEVs similares aos HEVs, combinam um ICE com um motor elétrico, porém este modelo apresenta maior autonomia elétrica e podem ser carregadas através de fontes externas. Já os BEVs, dependem exclusivamente de motores elétricos que são alimentados pela energia armazenada nas baterias (Yuvaraj, 2024).

Existem diferentes métodos de carregamento de veículos elétricos como o o carregamento condutivo que realiza a conexão através de um cabo, o carregamento sem fio e o carregamento por meio da troca da bateria descarregada por uma bateria previamente carregada. Desses métodos, o carregamento condutivo é o método que está melhor estabelecido e representa menor custo em relação aos demais (Kumar; Ansari; Agrawal, 2025).

A Figura 2 apresenta os métodos de recarga de VEs, com detalhes para a classificação do método condutivo.

Figura 2 - Métodos de recarga de veículos elétricos



Fonte: Adaptado de Kumar, Ansari e Agrawal (2025).

Para o carregamento do tipo condutivo, existem as subcategorias de carregamento embarcado, também conhecido como carregamento CA (Corrente Alternada) e o carregamento externo ou carregamento CC (Corrente Contínua). A principal diferença entre o carregamento embarcado (*on board*) e externo (*off-board*), está na localização do conversor de CA para CC. No carregamento em CA, o veículo possuirá um Carregador a Bordo (OBC), embarcado no veículo. Já no carregamento CC, a conversão é externa, sendo localizada no próprio eletroposto, possibilitando que a alimentação ocorra diretamente nas baterias em CC (Mohammed; Jung, 2021).

A classificação por níveis 1, 2 e 3, além de distinguir os carregamentos em CA e CC, ainda os classifica conforme o nível de potência em que operam. O nível 1, devido suas características, normalmente é instalado em residências ou estacionamentos de empresas, visto que necessita de um longo período para realizar o carregamento e apresenta o menor custo de instalação. Já, o nível 2, geralmente é instalado em locais públicos ou privados e requer maior investimento, oferece um tempo de carregamento menor do que o nível 1. Por sua vez, o nível 3, que opera em corrente contínua (CC) e em potências mais elevadas, permite velocidades de recarga significativamente maiores, sendo normalmente aplicado em eletropostos de recarga rápida (Rana *et al.*, 2025).

Dados comparativos de potência, tensão, corrente e duração do carregamento, podem ser visualizados no Quadro 1.

Quadro 1 – Tipos de carregamento conduzido

Tipo	Potência	Tensão	Corrente	Duração do carregamento
Nível 1	1,92kW	120V	16A	10-12h
Nível 2	19,20kW	208-240V	80A	4-6h
Nível 3	50-240kW	400V	32A	< 30min

Fonte: Adaptado de Rana *et al.* (2025).

A diversidade de padrões de conectores para veículos elétricos, com especificações e capacidades distintas de recarga em CA e CC, representa um desafio significativo para a compatibilidade entre os VEs e os eletropostos. A Comissão Eletrotécnica Internacional (IEC) padroniza quatro modos de carregamento, sendo que para as recargas em CA, o Modo 1 (M1) consiste na conexão direta e lenta

em tomada comum com segurança mínima, o Modo 2 (M2) adiciona um dispositivo de proteção ao cabo para um uso doméstico mais seguro e o Modo 3 (M3), que utiliza uma estação de recarga dedicada (*Wallbox*) para uma recarga semirrápida com alta segurança. Já, para a recarga em CC, o Modo 4 (M4) é aplicado em eletropostos com carregamento *off-board*, com alta velocidade de carregamento e elevada segurança (Acharige *et al.*, 2023).

O Quadro 2 apresenta os principais tipos de conectores para carregamento em CA, bem como especificações técnicas de potência, tensão e corrente para cada modelo.





Quadro 2 – Especificações de conectores CA de carregadores de VEs

Especificações	Japão	Estados Unidos	Europa	China	Outros mercados
Tipo de carregador	 SAE J1772-1	 SAE J1772-2	 Mennekes	 GB/T	 Tesla
Capacidade máxima	1,9kW	19,2kW	4kW (M1) 22kW (M2-3)	7kW (M2) 27,7kW (M3)	7,7kW (conexão móvel) 11,5kW (<i>wallbox</i>)
Tensão de entrada	120 V (monofásico)	240 V (bifásico)	250 V (M1, monofásico) 480 V (M2-3, trifásico)	250 V (M2, monofásico) 400 V (M3, trifásico)	120/240 V
Corrente nominal	16 A	80 A	16 A (M1) 32 A (M2-3)	16 A (M2) 32 A (M3)	16/32 A (conexão móvel) 48 A (<i>wallbox</i>)

Fonte: Adaptado de Acharige *et al.* (2023).

De forma análoga, os padrões de conectores para carregamentos em CC são apresentados no Quadro 3.

Quadro 3 – Especificações de conectores CC de carregadores de VEs

Especificações	Japão	Estados Unidos	Europa	China	Outros mercados
Tipo de carregador	  CHAdeMO	  CSS1	  CSS2	  GB/T	  Tesla
Capacidade	50-400kW	150-350kW	350kW	60-237kW	250-350kW
Tensão de entrada	50-1000 V	200-1000 V	200-1000 V	250-950 V	300-480 V
Corrente	400 A	500 A	500 A	250-400 A	800 A

Fonte: Adaptado de Acharige *et al.* (2023).

A análise da infraestrutura de eletropostos evidencia a heterogeneidade de tecnologias, desde os modos de carregamento, diferentes níveis de potência e padrões de conectores.

2.2 Microgeração solar fotovoltaica integrada a edificações

A energia solar pode ser convertida em energia elétrica através de uma célula fotovoltaica, a partir do princípio do efeito fotoelétrico. A célula solar é feita de duas camadas de semicondutores, sendo uma camada com carga negativa e o outro com carga positiva, quando os fótons são absorvidos pela camada negativa e elétrons são liberados da camada negativa cria-se uma diferença de potencial que pode ser utilizada por uma carga (Nguyen-Vihn *et al.*, 2024).

A tecnologia fotovoltaica é classificada em três gerações. A primeira geração baseada em células solares de silício, podendo ser monocristalino ou policristalino. A segunda geração é composta por células de filme fino (*thin-film*) podendo ser de silício, Cobre-Índio-Gálio-Selênio (CIGS) ou Telureto de Cádmio (CdTe). Já, a terceira geração inclui tecnologias mais recentes podendo estar ainda em desenvolvimento como as células de perovskita e materiais orgânicos (Rajath; Thanuja, 2025). No Quadro 4, podem ser visualizadas mais informações referentes

ao tipo de material, eficiência, aplicações e durabilidade para cada uma dessas gerações.

Quadro 4 – Análise comparativa das gerações de células solares

Característica	1ª Geração	2ª Geração	3ª Geração
Material	Silício	Silício, CIGS, CdTe	Materiais orgânicos, células multi-junção, perovskita
Eficiência	6-25%	10-15%	< 25%
Aplicação	Residencial e comercial	Módulos integrados à edificações e painéis solares	Aplicações off-grid, projetos de larga escala e eletrônicos de
Durabilidade	Boa	Moderada	Variável de acordo com o material

Fonte: Adaptado de Rajath e Thanuja (2025).

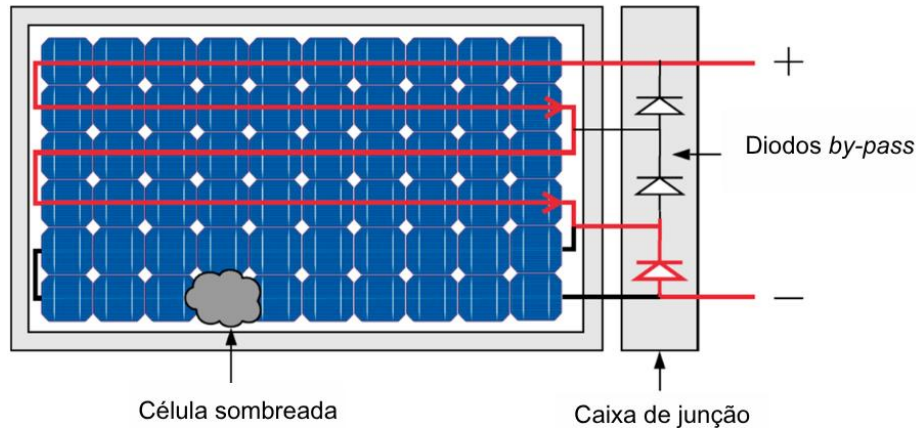
Para a fabricação de células que utilizam silício como material, há um processo de extração dessa matéria prima e purificação. Após a purificação, o silício é fundido e moldado e cortado em finas camadas que posteriormente passam por processo de dopagem em que são inseridas impurezas, podendo ser fósforo para a camada tipo-n e boro para camada tipo-p, formando uma junção p-n que separam as cargas e “lacunas” conforme a incidência solar, permitindo a geração de energia elétrica (Chen *et al.*, 2024).

Um módulo fotovoltaico é constituído de células conectadas em série, paralelo ou ambos, que são encapsuladas com materiais específicos para proteção contra agentes externos. Em sistemas fotovoltaicos, os módulos são conectados conforme a necessidade do nível de tensão e corrente do arranjo final. A conexão em série é responsável por elevar a tensão, formando fileiras (*strings*), a conexão dessas *strings* em paralelo, resulta no aumento da capacidade de corrente do sistema (Zilles *et al.*, 2012).

Na construção de módulos fotovoltaicos podem ser instalados diodos de *by-pass* na caixa de junção localizada na parte de trás do painel, para mitigar os efeitos do sombreamento parcial. Quando uma ou mais células estão sombreadas, a corrente dessas células é reduzida. Como as células sombreadas estão conectadas em série com às demais células, e todas devem conduzir a mesma corrente elétrica, ocorre uma polarização inversa da corrente na célula sombreada, agindo como uma carga que dissipa energia na forma de calor. Esse comportamento reduz a eficiência e pode causar danos permanentes ao painel conhecidos como pontos quentes (Vieira

et al., 2020). Para evitar isso, o diodo de by-pass oferece um caminho alternativo de baixa resistência, permitindo que a corrente do módulo desvie do conjunto de células em que está localizado o sombreamento, conforme ilustrado na Figura 3.

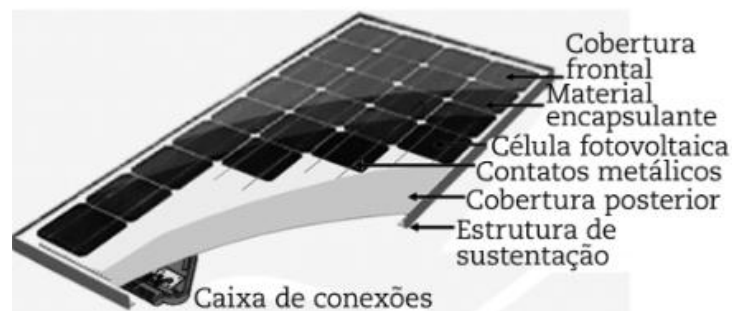
Figura 3 – Aplicação de diodo *by-pass* em módulo fotovoltaico



Fonte: Adaptado de Vieira *et al.* (2020).

A Figura 4, apresenta a construção básica de um módulo fotovoltaico, em que se pode observar a localização da caixa de junção também chamada de caixa de conexões, uma estrutura metálica para sustentação, vidro temperado antirreflexivo e outras partes.

Figura 4 – Construção básica de um módulo fotovoltaico



Fonte: Zilles *et al.* (2012).

Os sistemas fotovoltaicos se classificam em três tipos principais, o sistema conectado à rede (*on-grid*), o sistema isolado (*off-grid*) e o sistema interativo com a rede, que se trata de um modelo que é conectado à rede e possui baterias que apoiam no armazenamento da energia gerada. A composição mínima de um sistema fotovoltaico envolve o painel fotovoltaico, inversor, controlador de carga e baterias para as aplicações *off-grid* ou interativas (Benedetti *et al.*, 2020).

No contexto brasileiro, a regulação vigente permite que os consumidores gerem sua própria energia por fontes renováveis em centrais de microgeração com potência instalada em até 75kW, ou minigeração, entre 75kW e 3MW (ANEEL, 2022). Essa possibilidade de Micro e Mini Geração Distribuída (MMGD) de energia impulsiona a adoção de sistemas fotovoltaicos em diferentes tipos de edificações.

Essas instalações podem ser classificadas conforme seu modelo de instalação dos painéis, podendo ser integrado à edificação (BIPV) ou anexo à edificação (BAPV). Os sistemas BAPV são instalados como um acréscimo na construção com único objetivo de geração de eletricidade (Batista; Guimarães; Palmero-Marrero, 2025). Já, os sistemas BIPV se destacam pela sua característica de substituir partes da construção como paredes, telhados e janelas em edifícios pré-existentes ou planejados, no entanto, para esta aplicação em construção civil, torna-se necessário que os módulos fotovoltaicos apresentem maior resistência mecânica e atender a requisitos estruturais (Šály *et al.*, 2022). A tecnologia de perovskita é particularmente interessante para aplicação BIPV, visto que se destaca por sua capacidade de absorção de radiação solar difusa, predominante em instalações verticais. Além disso, a tecnologia apresenta uma flexibilidade estética, já que podem ter módulos coloridos ou semi-transparentes (Rossi *et al.*, 2024).

Na aplicação para um eletroposto, os módulos fotovoltaicos podem ser instalados como telhados. Um modelo similar, são as coberturas para estacionamento, também conhecidas como *carports*, que podem ser equipadas com painéis fotovoltaicos. Essas estruturas apresentam diferentes tamanhos, podendo ter armações em metal ou madeira e diferentes tipos de inclinação e curvatura. Os *carports* oferecem uma alternativa simples e econômica para aproveitar áreas de estacionamentos existentes para gerar eletricidade. Além disso, demandam pouca manutenção e oferecem fácil acesso aos módulos fotovoltaicos para manutenção (Istók; Kádár; Reizer, 2021).

2.3 Sistemas de armazenamento de energia por baterias

Os sistemas tradicionais de baterias, apresentam limitações relacionadas ao controle da distribuição de energia, essa inconsistência entre as células causa um envelhecimento acelerado do sistema, que acaba sendo limitado pela célula mais

fraca. Para mitigar este problema, empregam-se Sistemas de Gerenciamento de Bateria (BMS), que podem utilizar um tipo de balanceamento passivo, não tão eficiente, que dissipa energia para equilibrar a distribuição entre as células, ou o balanceamento ativo, que é mais eficiente, redistribuindo a energia entre as células (Aizpurua *et al.*, 2024). Uma outra solução superior ao uso de BMS para o balanceamento de energia, é a arquitetura modular do BESS.

O BESS possui uma hierarquia em sua construção, sendo a célula eletroquímica a unidade fundamental, que agrupando formam módulos, que por sua vez são agrupados em racks, e estes racks podem ser instalados em containers que abrigam todos os componentes. Esse sistema é supervisionado por um BMS responsável por monitorar e balancear do Estado de Carga (SoC) de forma mais individualizada a um conjunto de módulos (Rana *et al.*, 2022).

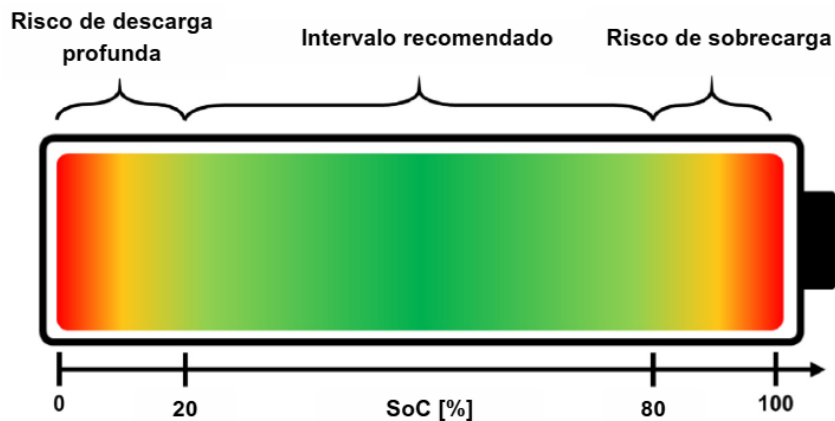
A arquitetura modular do BESS divide o sistema em submódulos menores, cada um composto por poucos racks em paralelo, ou até mesmo um único rack. Cada submódulo é controlado por um conversor de potência individual. Essa configuração facilita a expansão do sistema, simplifica a manutenção, e permite o controle individualizado para equalização do SoC maximização do Estado de Saúde (SoH) do sistema (Akeyo *et al.*, 2020). Com isso, o BESS se mostra uma solução robusta para integrar em sistemas de geração intermitente, como a geração fotovoltaica.

Existem alguns parâmetros utilizados para mensurar o estado e o desempenho das baterias do BESS, o SoC indica o nível de carga instantâneo, sendo representado como uma porcentagem de sua capacidade total disponível. A profundidade de descarga (DoD), refere-se a porcentagem da capacidade total de um BESS que foi utilizada, podendo ser calculada como a diferença entre a energia máxima disponível e o SoC atual. O SoH mede a condição e a saúde geral de uma bateria em relação ao seu estado original, sendo influenciado pelo DoD e número de ciclos (NoC), que representa a quantidade de ciclos completos de carga e descarga que um BESS pode suportar antes da degradação da sua capacidade (Octaviano; Araujo; Penido, 2025).

Os fabricantes de baterias recomendam operar dentro de uma faixa confiável de SoC, bem como a realização de recargas frequentes à medida que a carga diminui, evitando a descarga completa e mantendo um nível máximo

recomendado de SoC, conforme ilustrado na Figura 5, com intuito de aumentar a vida útil da bateria. As baterias de íon-lítio, por exemplo, são projetadas para operar entre 20% e 80% de SoC (Kim; Shin, 2023). Para isso, utiliza-se um BMS para realizar o controle de carga e descarga das baterias.

Figura 5 – Estado de carga (SoC) recomendado



Fonte: Adaptado de Kim e Shin (2023).

A densidade de energia das baterias refere-se à quantidade de energia que pode ser armazenada na bateria em relação ao seu volume ou massa, sendo essa uma das principais características das baterias (Song *et al.*, 2024). O Quadro 5 apresenta uma comparação entre diferentes tecnologias de baterias, destacando esta e outras características.

Quadro 5 – Comparativo entre diferentes tecnologias de baterias

Tecnologia	Eficiência (%)	Ciclo de vida (Considerando DoD de 80%)	Densidade de Energia (Wh/L)
Chumbo-Ácido	75-85	300-3000	50-90
Íon de Lítio	90-99	3000-10000	200-500
Sódio-Enxofre	75-90	4500	150-300
Níquel	15-400	500-3000	10-150

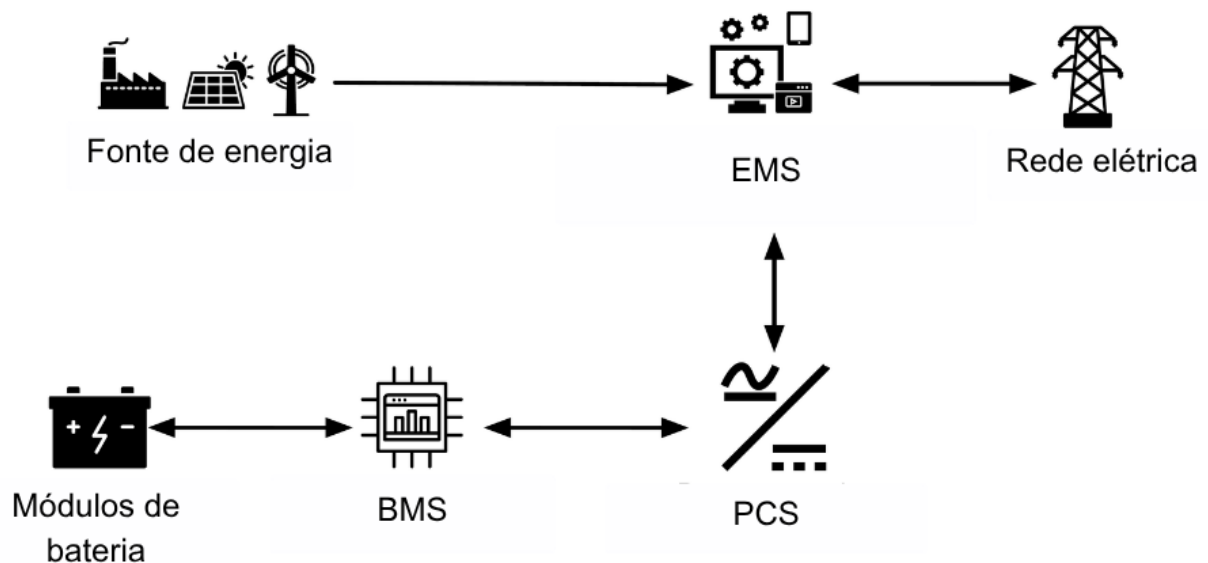
Fonte: Adaptado de Apribowo *et al.* (2022).

Cada tipo de bateria oferece vantagens e desvantagens, por exemplo, a bateria de chumbo-ácido é uma opção mais econômica, porém apresenta baixo desempenho e durabilidade. Em contrapartida, as baterias de íon de lítio são superiores em eficiência e densidade de energia, mas com ressalvas de segurança dependendo do tipo. A bateria de sódio-enxofre possui alta eficiência, longa

durabilidade, contudo exige manutenções constantes e operação em altas temperaturas e a bateria de níquel apresenta uma boa confiabilidade, porém possui como desvantagem riscos ambientais e diminuição da retenção de carga ao longo do tempo (Atribowo *et al.*, 2022).

A Figura 6 apresenta os principais componentes que integram um BESS, em que pode se citar o Sistema de Gerenciamento de Energia (EMS), que faz a interface entre a fonte de energia e a rede, definindo quando a energia deverá ser fornecida à rede ou armazenada nas baterias. O Sistema de Conversão de Energia (PCS) atua realizando a conversão bidirecional entre CA e CC dependendo da necessidade do sistema, e o Sistema de Monitoramento e controle de Bateria (BMS) que atua monitorando o estado do BESS gerenciando o carregamento e descarregamento das baterias.

Figura 6 – Principais componentes de integrados ao BESS



Fonte: Adaptado de Song *et al.* (2024).

A integração do BESS com módulos fotovoltaicos, traz maior confiabilidade ao sistema, considerando que a geração fotovoltaica é muito dependente do recurso solar. Problemas inerentes a geração fotovoltaica como desequilíbrio entre oferta e demanda, variações de tensão e desvios de frequência no sistema, podem ser mitigados com o uso de um sistema de armazenamento de energia que atua como intermediador entre a geração e o consumo (Rana *et al.*, 2022).

2.4 Considerações finais do capítulo

Este capítulo apresentou a fundamentação teórica e estado da arte para compreensão de assuntos que envolvem a modelagem de um eletroposto híbrido sustentável com soluções de geração fotovoltaica e armazenamento em baterias (BESS). Neste capítulo foi explorada a infraestrutura de um eletroposto, com os equipamentos que o compõem, padrões, tipos de carregamento e níveis de potência. Em relação a geração fotovoltaica, foi apresentada a evolução desta tecnologia, detalhes construtivos e aplicações. Além disso, considerando a natureza intermitente da geração solar, foram apresentados estudos sobre Sistemas de Armazenamento de Energia (BESS), suas tecnologias e integração com a geração fotovoltaica.

3 MODELAGEM POR DINÂMICA DE SISTEMAS

O conceito de Dinâmica de Sistemas foi concebido no MIT (Massachusetts Institute of Technology) e desenvolvido por Jay W. Forrester (MIT, 2025). Originalmente, tratava-se de uma maneira de estudar sistemas com retroalimentação e entender como diferentes partes do sistema interagem entre si resultando em crescimento ou estabilidade, em um contexto aplicado a indústrias e empresas (Forrester, 1961).

Com o passar do tempo, a DS (Dinâmica de Sistemas) passa a ser utilizada em diversas áreas, desde estratégias corporativas, até casos de estudo na área da saúde (Sterman, 2000). Essa metodologia permite realizar a análise dos mais variados sistemas, desde que envolvam laços de realimentação e variáveis de estoque e fluxo, permitindo compreender e representar seu comportamento dinâmico.

A construção de um modelo para estudo utilizando a Dinâmica de Sistemas envolve alguns conceitos fundamentais, que são os estoques, fluxos e laços de realimentação ou *feedback*. Os estoques são variáveis que acumulam quantidades e se modificam ao longo do tempo por influência dos fluxos, que são taxas que responsáveis por aumentar ou diminuir esses estoques (Sterman, 2000). Além disso, existem os laços de *feedback*, que analisam a responsividade entre os níveis de estoque e fluxo, evidenciando como o comportamento de um afeta ao outro, podendo ser um laço de reforço, que leva ao crescimento do estoque ou de equilíbrio, que se regulam ao longo do tempo (Meadows, 2008).

Os estoques são a base de qualquer sistema e são cruciais para a formulação de modelos dinâmicos, podem ser definidos como elementos de um sistema que podem ser vistos, sentidos, contados ou medidos a qualquer momento (Meadows, 2008). Para identificar se uma variável se trata de um estoque, Sterman (2000) propõe o teste de "congelar a cena", em que as variáveis que ainda possuem um valor mensurável nesse instante paralisado podem ser definidas como estoques.

De acordo com Meadows (2008), o propósito da DS não é ser um modelo de previsão, muito embora possa gerar padrões de comportamento ao longo do tempo. O objetivo do modelo é compreender a estrutura e o comportamento de um sistema, em que, através da manipulação dos conceitos de estoques, fluxos e

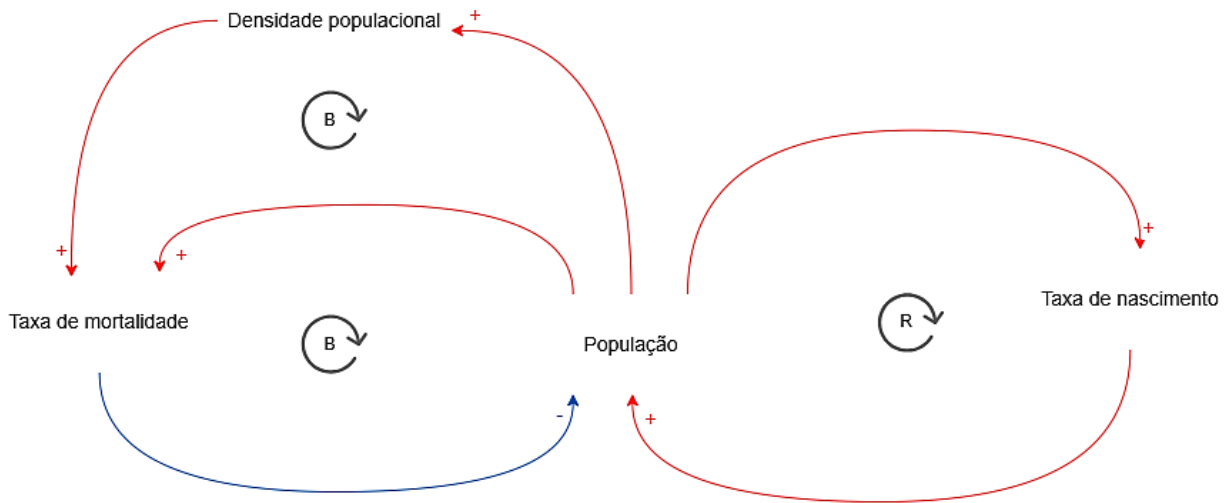
feedback, pode-se explorar o que poderia acontecer, caso determinados fatores se comportassem de maneira diferente.

O processo de modelagem para construção de um modelo de DS, envolve inicialmente representar de forma visual as variáveis do sistema e os laços de *feedback* através de um Diagrama de Laço Causal (DLC). Um diagrama de laço causal é composto por variáveis interligadas por setas que indicam a direção causal das influências no sistema. Junto com as setas, existem sinais positivos e negativos que definem a natureza da influência, um sinal de mais “+” indica que uma mudança na variável de origem causa uma mudança na variável na ponta da seta na mesma direção. Por outro lado, um sinal de menos “-” implica que uma mudança na variável na origem da seta causará uma mudança na variável na ponta da seta na direção oposta (Richardson, 1986).

A partir de uma sequência de variáveis e influências interligadas, é formado um laço de *feedback*, em que a mudança em uma variável eventualmente afeta a si mesma. Um laço positivo, também chamado de laço de reforço e identificado pela letra “R”, indica que um aumento em qualquer variável do laço reforça a mudança na direção original. Já, um laço negativo, também chamado de laço de balanceamento e identificado pela letra “B”, é definido como um laço onde a resposta a uma mudança em uma variável se opõe à perturbação original, buscando um equilíbrio (Richardson, 1986).

Na Figura 7, é exemplificado um Diagrama de Laço Causal (DLC) que ilustra a dinâmica de uma população. É possível identificar no exemplo algumas relações, como o aumento da população elevar a taxa de nascimento, que forma um laço de reforço realimentando positivamente a variável de população. Em contrapartida, tem-se dois laços de equilíbrio, o primeiro demonstra que o aumento da população eleva a taxa de mortalidade, que por sua vez, reduz a população. O segundo laço de equilíbrio, mostra que o aumento da população também eleva a densidade populacional, que tem como consequência um aumento da taxa de mortalidade, representando os limites do ambiente e atuando como um mecanismo de controle.

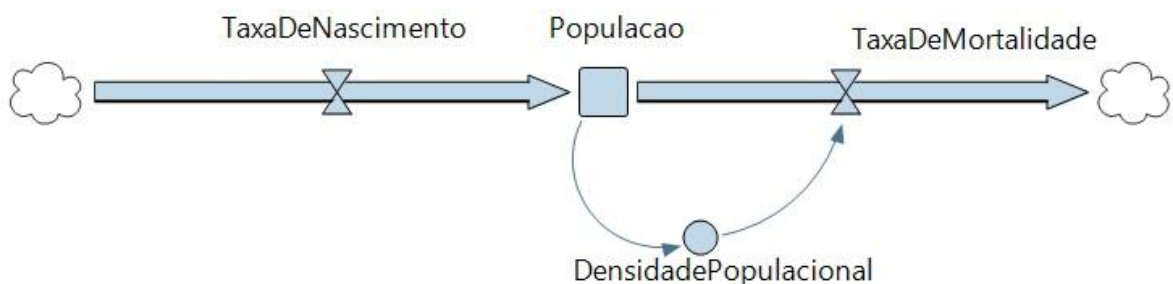
Figura 7 – Exemplo de Diagrama de Laço Causal (DLC)



Fonte: Adaptado de isee systems (2025).

Além do DLC, para que seja possível interagir com o modelo através de simulações, deve-se definir o equacionamento que relacione as variáveis, através da construção do Diagrama de Estoques e Fluxo (DEF). A estrutura, assim como no DLC, apresenta variáveis de estoque, representados pelo símbolo quadrado, fluxos representados pelas setas com válvulas, variáveis auxiliares representadas por círculos que ajudam a detalhar especificidades do modelo e relacionar estoques e fluxos, além dos símbolos de nuvens que se tratam de fontes ou sumidouros delimitando o modelo e simbolizando estoques externos (Forrester, 1961). A Figura 8, representa o DEF do exemplo de dinâmica de população.

Figura 8 – Exemplo de Diagrama de Estoques e Fluxos (DEF)



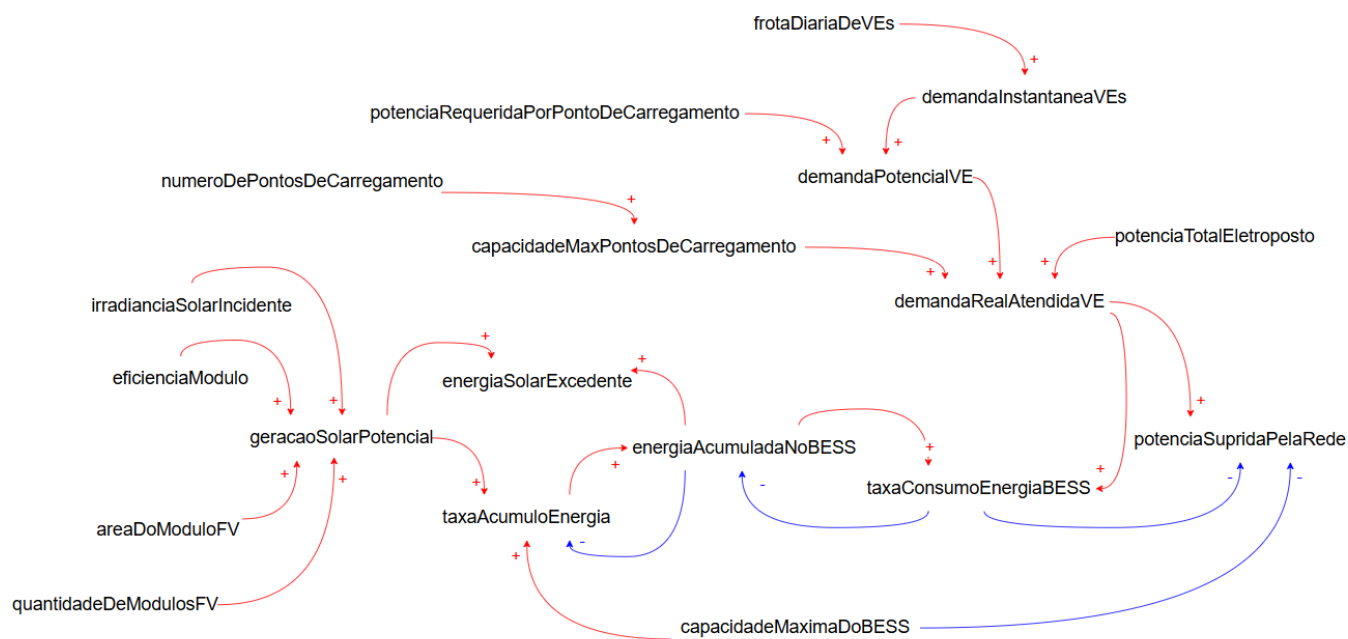
Fonte: Elaboração própria (2025).

A partir disso, para trazer robustez ao modelo, são realizados testes de confiabilidade para verificação de falhas lógicas (Sterman, 2000).

3.1 Proposta e modelagem de Diagrama de Laço Causal

O Diagrama de Laço Causal (DLC) é uma forma de representação qualitativa utilizada na Dinâmica de Sistemas para representar a estrutura de *feedback* de um sistema. A Figura 9 apresenta o DLC desenvolvido para este estudo que ilustra as relações entre as variáveis de estoque e fluxo que compõem o sistema.

Figura 9 – Diagrama de Laço Causal proposto



Fonte: Elaboração própria (2025).

Na Figura 9 são representadas as seguintes variáveis:

potenciaRequeridaPorPontoDeCarregamento é a potência de recarga [kW] consumida por um veículo ao se conectar a um ponto de carregamento;

frotaDiariaDeVEs é a quantidade de veículos que utilizam o eletroposto ao longo de um dia;

demandaPotencialVE é a potência total [kW] que seria necessária para atender simultaneamente todos os veículos que desejam carregar sem considerar as limitações da infraestrutura;

demandaInstantaneaVEs é a quantidade de veículos que está demandando carga no instante da simulação;

irradianciaSolarIncidente é a irradiância solar horária [W/m^2] que incide sobre os módulos fotovoltaicos;

quantidadeDeModulosFV é a quantidade de módulos instalados;

areaDoModuloFV é a área [m^2] de um único módulo fotovoltaico;

eficienciaModulo é a porcentagem da irradiância solar que pode ser convertida em eletricidade;

geracaoSolarPotencial é a potência elétrica total [kW] gerada pelo sistema fotovoltaico, resultado da combinação da irradiância, considerando os parâmetros de *datasheet* do módulo fotovoltaico;

taxaAcumuloEnergia é a taxa de energia proveniente da geração fotovoltaica para armazenamento no BESS, permitindo o carregamento do BESS apenas se houver geração fotovoltaica disponível e SoC no BESS inferior à 100%;

energiaAcumuladaNoBESS é o estoque de energia [kWh] do BESS;

capacidadeMaximaDoBESS é a variável que define o tamanho físico da bateria [kWh], limitando a quantidade de energia que pode ser armazenada;

taxaConsumoEnergiaBESS é a taxa de energia proveniente do BESS para atendimento da demanda;

energiaSolarExcedente é a variável que contabiliza a eletricidade que foi gerada, mas não pode ser consumida devido a capacidade do BESS;

potenciaSupridaPelaRede é a potência [kW] que precisou ser utilizada da concessionária de energia elétrica quando não há mais energia armazenada no BESS;

numeroDePontosDeCarregamento é a quantidade física de carregadores do eletroposto;

capacidadeMaxPontosDeCarregamento é a soma das potências de todos os plugues disponíveis no eletroposto;

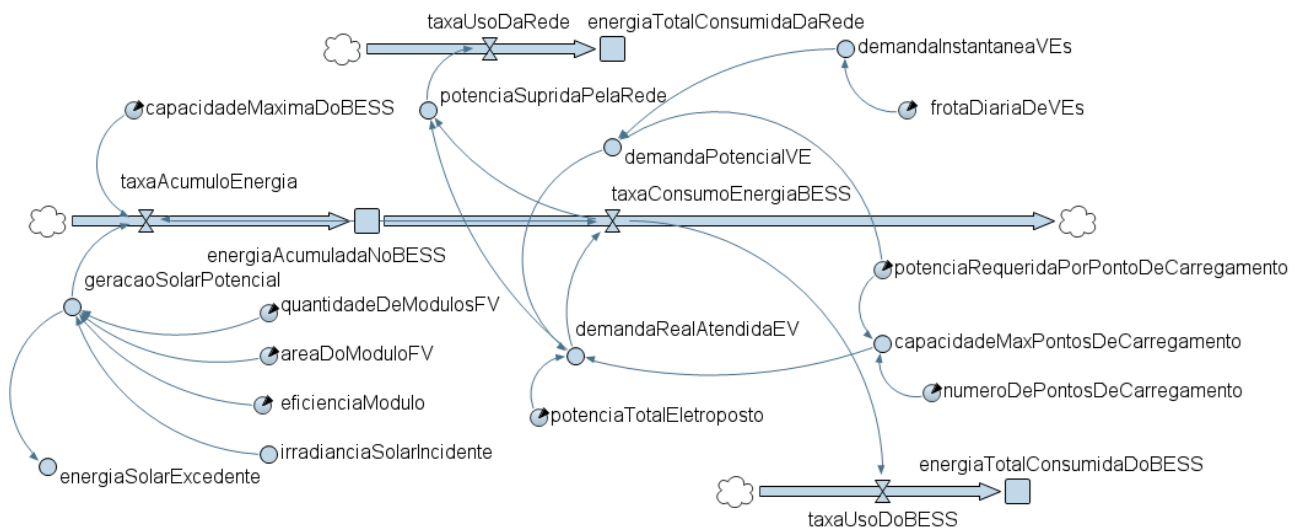
potenciaTotalEletroposto é o valor máximo absoluto de potência que o eletroposto pode utilizar; e

demandaRealAtendidaVE é a potência [kW] que efetivamente está sendo utilizada por veículos elétricos em carregamento.

3.2 Proposta e modelagem do Diagrama de Estoques e Fluxos

O Diagrama de Estoques e Fluxos (DEF) é a forma de representação quantitativa da Dinâmica de Sistemas. A Figura 10 apresenta o DEF desenvolvido para o estudo de um eletroposto utilizando geração fotovoltaica e BESS.

Figura 10 – Diagrama de Estoques e Fluxo proposto



Fonte: Elaboração própria (2025).

O DEF desenvolvido utiliza a geração fotovoltaica, baseada em dados de irradiância horária e parâmetros físicos de módulos fotovoltaicos, além disso o modelo apresenta a demanda de carregamento de veículos com base em uma frota diária distribuída de forma horária, considerando também o número de pontos de carregamento e a potência máxima do ponto de conexão. O fluxo de energia consiste em armazenar toda a geração fotovoltaica até o limite de capacidade do BESS.

A energia utilizada para o carregamento de veículos elétricos deverá vir prioritariamente do BESS, sendo a energia elétrica da rede utilizada como um último recurso, caso a energia armazenada no BESS não supra a demanda dos VEs. O modelo permite quantificar a dependência da rede, o excedente de geração

fotovoltaica que não pode ser armazenada devido a limitação do BESS e a parcela de demanda não atendida de carregamento de veículos elétricos.

3.2.1 Variáveis de estoque

As variáveis de estoque, também referida como variáveis de estado, são acumulações do sistema, representadas pelo ícone quadrado, em que a quantidade acumulada do estoque só pode ser alterada pelos fluxos. A variável *energiaAcumuladaNoBESS* é o estoque de energia [kWh] do BESS, somando a carga inicial do BESS a todas as variações de carga e descarga, podendo ser expressada pela Equação 1.

$$E_{BESS}(t) = \int_0^T (\phi_{carga}(t) - \phi_{descarga}(t)) dt + E_{BESS}(0) \quad (1)$$

Em que,

$E_{BESS}(t)$ é a energia do BESS no período de tempo $T = 0, \dots, t$ [kWh];

$\phi_{carga}(t)$ é o fluxo de carga do BESS no tempo t [kW];

$\phi_{descarga}(t)$ é o fluxo de descarga do BESS no tempo t [kW]; e

$E_{BESS}(0)$ é a energia inicial armazenada no BESS no tempo $t = 0$ [kWh].

A variável *energiaTotalConsumidaDaRede*, está representada como estoque, embora não seja de fato uma variável de estoque. Esta abordagem, permite tratar essa variável como uma memória, contabilizando a energia total consumida da rede ao longo do tempo da simulação, ou seja, funcionando como uma variável de folga de estoque infinito, matematicamente representada conforme a Equação 2.

$$E_{rede}^{total}(t) = \int_0^T P_{rede}(t) dt \quad (2)$$

Em que,

$E_{rede}^{total}(t)$ é a energia total consumida da rede no período de tempo $T = 0, \dots, t$ [kWh];

e

$P_{rede}(t)$ é a potência instantânea demandada da rede no tempo t [kW].

De forma similar, a variável *energiaTotalConsumidaDoBESS*, também se trata de uma variável de folga de estoque infinito, que contabiliza a energia total consumida do BESS ao longo do tempo da simulação, sendo representada pela Equação 3.

$$E_{BESS}^{total}(t) = \int_0^T \phi_{uso_BESS}(t) dt \quad (3)$$

Em que,

$E_{BESS}^{total}(t)$ é a energia total fornecida pelo BESS no período de tempo $T = 0, \dots, t$ [kWh];

e

$\phi_{uso_BESS}(t)$ é a taxa de uso do BESS no tempo t [kW].

3.2.2 Variáveis de fluxo

Representam as taxas de variação que alteram os estoques. A variável *taxaAcumuloEnergia* apresentada na Equação 4, define a taxa de energia gerada que irá acumular no BESS. Nesta simulação, o BESS receberá toda a energia gerada, até atingir sua capacidade máxima de armazenamento.

$$\phi_{carga}(t) = \begin{cases} G_{solar}(t), & \text{se } E_{BESS}(t) < E_{m\acute{a}x} \\ 0, & \text{caso contr\acute{a}rio} \end{cases} \quad (4)$$

Em que,

$\phi_{carga}(t)$ é o fluxo de carga do BESS no tempo t [kW];

$E_{BESS}(t)$ é a energia do BESS no tempo t [kWh];

$E_{m\acute{a}x}$ é a capacidade máxima física do BESS [kWh]; e

$G_{solar}(t)$ é a potência fotovoltaica gerada no tempo t [kW].

Para representar a taxa da energia fornecida pelo BESS para atender a demanda, utiliza-se a variável *taxaDeConsumoEnergiaBESS*, e sua representação matemática é apresentada na Equação 5.

$$\Phi_{descarga}(t) = \min(D_{real}(t), E_{BESS}(t)) \quad (5)$$

Em que,

$\Phi_{descarga}(t)$ é o fluxo de descarga do BESS no tempo t [kW];

$E_{BESS}(t)$ é a energia do BESS no tempo t [kWh]; e

$D_{real}(t)$ é a demanda de energia real atendida no tempo t [kWh].

A variável *taxaUsoDaRede* representa o fluxo de energia proveniente da rede elétrica conforme mostra a Equação 6.

$$P_{rede}(t) = \frac{D_{real}(t) - \Phi_{descarga}(t)}{\eta_{sistema}} \quad (6)$$

Em que,

$P_{rede}(t)$ é a potência demandada da rede no tempo t [kW];

$D_{real}(t)$ é a demanda real atendida no tempo t [kW];

$\Phi_{descarga}(t)$ é o fluxo de descarga do BESS no tempo t [kW]; e

$\eta_{sistema}$ é o valor de 0,85 que considera parte da demanda requisitada da rede para operação e controle do próprio eletroposto, ou seja, a operação de carregamento e o controle, tanto no eletroposto como no VE representam perdas aproximadas de 15%.

A variável *taxaUsoDoBESS* representa a potência instantânea que está sendo fornecida pelas baterias, sendo representada pela Equação 7.

$$\phi_{uso_BESS}(t) = \phi_{descarga}(t) \quad (7)$$

Em que,

$\phi_{uso_BESS}(t)$ é a taxa de uso do BESS no tempo t [kW]; e

$\phi_{descarga}(t)$ é a potência de descarga do BESS no tempo t [kW].

3.2.3 Variáveis auxiliares

As variáveis auxiliares são responsáveis por cálculos intermediários para construir a lógica do sistema. A variável *geracaoSolarPotencial* calcula a potência elétrica total que o sistema fotovoltaico gera no instante t , conforme apresenta na Equação 8.

$$G_{solar}(t) = \frac{Q_{módulos} \times A_{módulo} \times I_{solar}(t) \times \eta_{módulo}}{1000} \quad (8)$$

Em que,

$G_{solar}(t)$ é a potência gerada pela instalação fotovoltaica no tempo t [kW];

$Q_{módulos}$ é a quantidade de módulos fotovoltaicos;

$A_{módulo}$ é a área de um módulo fotovoltaico [m²];

$I_{solar}(t)$ é a irradiância solar no tempo t [W/m²]; e

$\eta_{módulo}$ é a eficiência do módulo.

A variável *demandInstantaneaVEs* se trata do número de veículos ativos no sistema de forma instantânea, representada pela Equação 9.

$$V_{inst}(t) = F_{diária} \times f_{perfil}(t) \quad (9)$$

Em que,

$V_{inst}(t)$ é a quantidade de veículos demandando carga no tempo t ;

$F_{diária}$ é a frota diária de veículos elétricos no eletroposto; e

$f_{perfil}(t)$ é a frota percentual ativa no tempo t .

Com intuito de quantificar a demanda bruta de veículos elétricos no modelo, isto é, sem considerar restrições da infraestrutura, utiliza-se a variável *demandaPotencialVE* representada pela Equação 10.

$$D_{potencial}(t) = V_{inst}(t) \times P_{ponto} \quad (10)$$

Em que,

$D_{potencial}(t)$ é a demanda potencial de VEs no tempo t [kW];

$V_{inst}(t)$ é a quantidade de veículos demandando carga no tempo t ; e

P_{ponto} é a potência média de recarga por veículo [kW].

A variável *capacidadeMaxPontosDeCarregamento* define o limite máximo de potência imposto pelo número de pontos de carregamento, conforme mostra a Equação 11.

$$Cap_{pontos} = N_{pontos} \times P_{ponto} \quad (11)$$

Em que,

Cap_{pontos} é a potência dos pontos de carregamento [kW];

N_{pontos} é o número de plugues de carregamento; e

P_{ponto} é a potência média de recarga por veículo [kW].

A *demandaRealAtendidaVE* trata-se da potência que é efetivamente entregue, considerando os gargalos do sistema, conforme apresenta a Equação 12.

$$D_{real}(t) = \min (D_{potencial}(t), P_{rede}^{max}, Cap_{pontos}) \quad (12)$$

Em que:

$D_{real}(t)$ é a demanda real atendida no tempo t [kW];

$D_{potencial}(t)$ é a demanda potencial de VEs no tempo t [kW];

P_{rede}^{max} é o limite de potência da rede [kW]; e

Cap_{pontos} é a potência dos pontos de carregamento [kW].

A variável *potenciaSupridaPelaRede*, trata-se da potência bruta fornecida pela rede elétrica quando a capacidade do BESS não pode mais atender a demanda de EVs, sendo representada matematicamente pela Equação 13.

$$P_{rede_bruta}(t) = D_{real}(t) - \emptyset_{descarga}(t) \quad (13)$$

Em que,

$P_{rede_bruta}(t)$ é a potência bruta utilizada da rede elétrica no tempo t [kW];

$D_{real}(t)$ é a demanda real atendida no tempo t [kW]; e

$\emptyset_{descarga}(t)$ é o fluxo de descarga do BESS no tempo t [kW];

Para verificar a potência fotovoltaica gerada que é frustrada devido as limitações físicas do eletroposto, como o BESS estar completamente carregado, utiliza-se a variável *energiaSolarExcendente*, conforme mostra a Equação 14. Para o

modelo proposto, não foi considerada a injeção dessa potência na rede, embora seja uma adaptação possível.

$$P_{frustrada}(t) = \begin{cases} G_{solar}(t), & \text{se } E_{BESS}(t) \geq E_{m\acute{a}x} \\ 0, & \text{caso contr\acute{a}rio} \end{cases} \quad (14)$$

Onde:

$P_{frustrada}(t)$ = potência de geração solar frustrada no tempo t [kW];

$G_{solar}(t)$ é a potência gerada pela instalação fotovoltaica no tempo t [kW];

$E_{BESS}(t)$ é a energia do BESS no tempo t [kWh]; e

$E_{m\acute{a}x}$ é a capacidade máxima do BESS [kWh].

3.2.4 Parâmetros de entrada

Tratam-se de valores constantes que são definidos conforme a configuração da simulação, em que podem se citar as variáveis:

- a) *areaDoModuloFV*;
- b) *capacidadeMaximaDoBESS*;
- c) *eficienciaModulo*;
- d) *frotaDiariaDeVEs*;
- e) *irradianciaSolarIncidente*;
- f) *numeroDePontosDeCarregamento*;
- g) *potenciaRequeridaPorPontoDeCarregamento*;
- h) *potenciaTotalEletroposto*;
- i) *quantidadeDeModulosFV*.

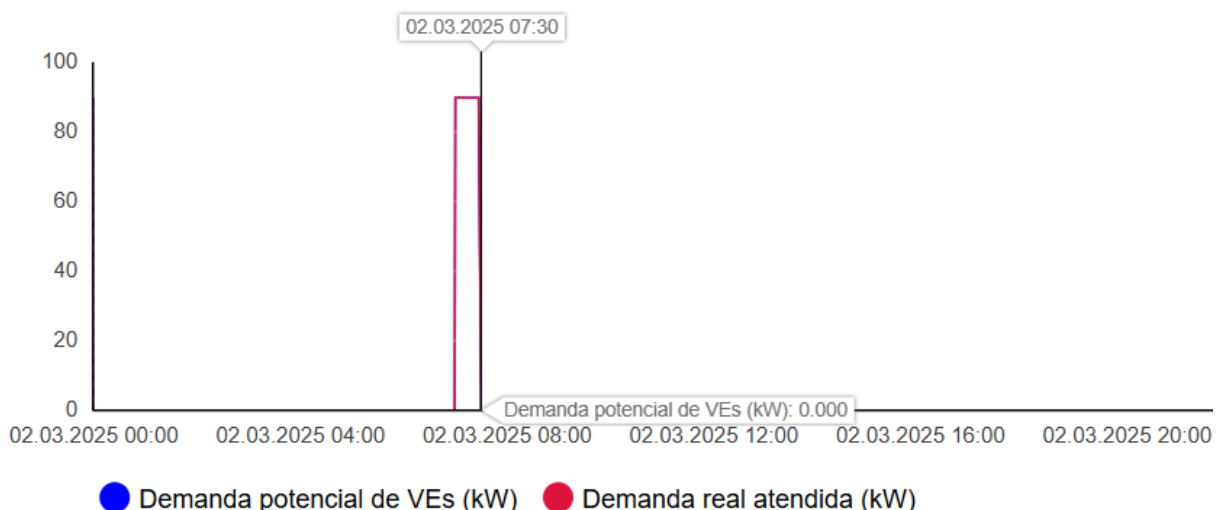
3.3 Testes preliminares de comportamento do modelo

Os testes preliminares de comportamento do modelo serão realizados por meio de uma simulação controlada utilizando o *software Anylogic* na versão PLE (*Personal Learning Edition*). Para simular, serão utilizadas as especificações do veículo elétrico da marca BYD e modelo *Dolphin Active*, que possui uma capacidade de bateria de 44,9kWh, e tempo estimado de carregamento de 28 minutos, utilizando um carregador DC de 150kW para carregar de um SoC de 30% à 80% (BYD DOLPHIN, 2025).

Neste primeiro teste, foram utilizados os dados de irradiância do dia 2 de março de 2025, com dados capturados por 86 módulos fotovoltaicos localizados no município de Florianópolis. Considera-se que o eletroposto possui três pontos de carregamento e uma potência de 150kW, o BESS com capacidade de armazenamento de 400kWh e SoC inicial de 200kWh e uma demanda de 2 veículos elétricos as 7h da manhã.

Conforme apresentado na Figura 11, nota-se que toda a demanda requerida pelos dois veículos foi atendida, com o tempo de carregamento esperado.

Figura 11 – Teste do modelo para carregamento de 2 VEs

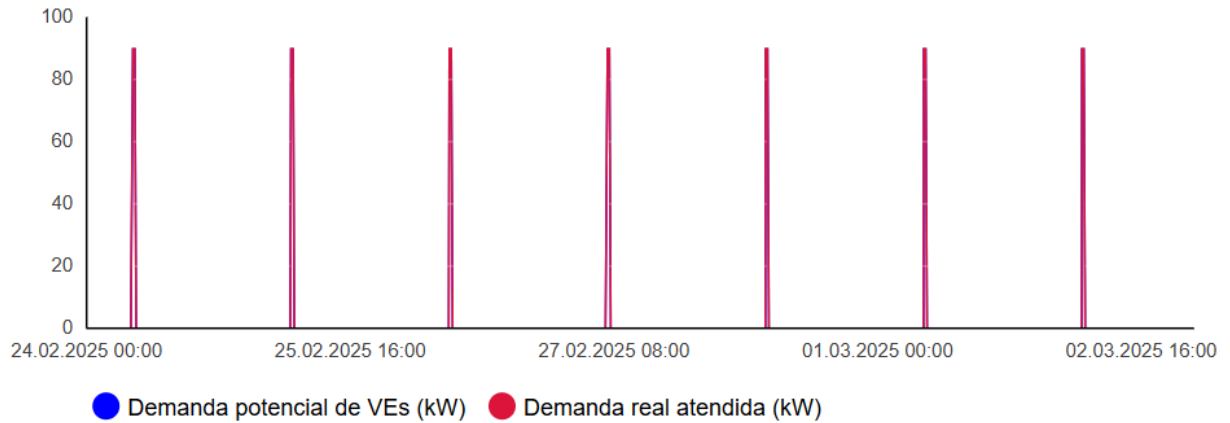


Fonte: Elaboração própria (2025).

De forma similar, foi simulado um cenário semanal, com dados de irradiância solar obtidos entre os dias 24 de fevereiro até 2 de março de 2025. Este intervalo representa a maior irradiância solar no período de setembro de 2024 à

setembro de 2025. Para esta simulação, a demanda diária de 2 veículos elétricos às 7h da manhã permanecem em todos os dias da semana conforme apresentado na Figura 12.

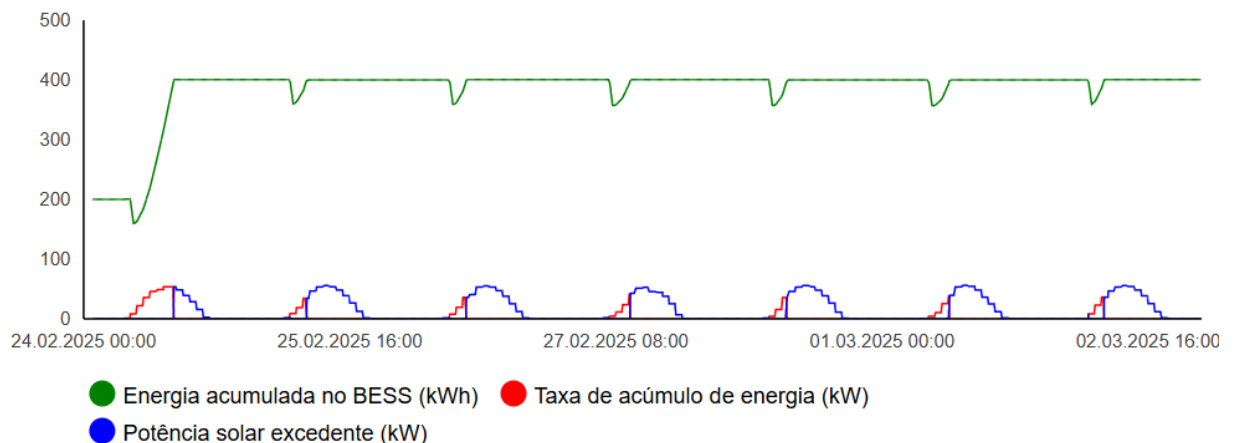
Figura 12 - Validação do modelo para carregamento de 2 VEs durante uma semana



Fonte: Elaboração própria (2025).

Observa-se na simulação semanal que a demanda diária de 2 VEs foi suprida pela energia gerada e armazenada no BESS, não havendo necessidade de consumo da rede elétrica. A Figura 13 apresenta, o balanço energético do sistema, considerando a limitação do BESS de 400kWh, a energia solar fotovoltaica excedente é a parte da geração fotovoltaica que não é armazenada, sendo frustrada.

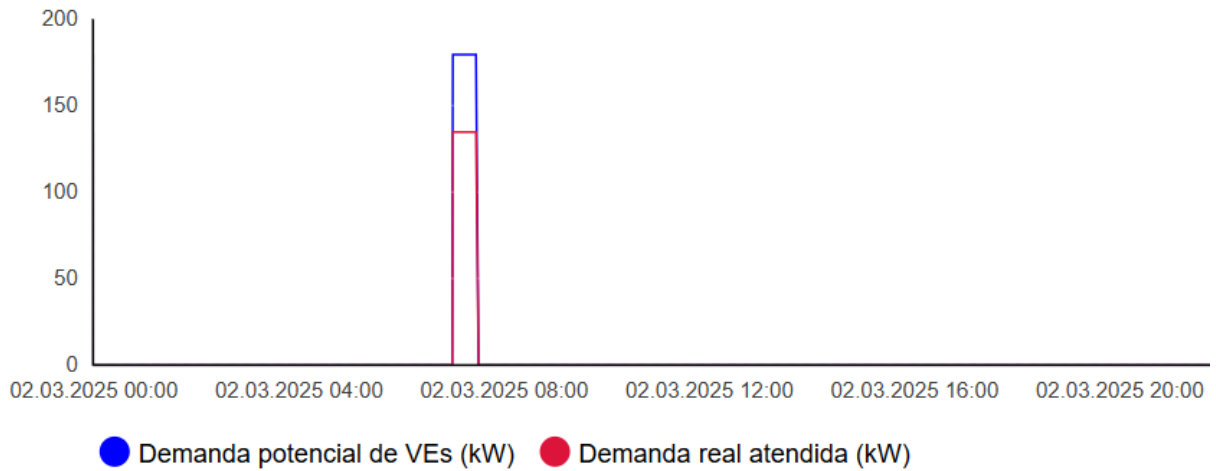
Figura 13 – Balanço energético do sistema para 2 VEs



Fonte: Elaboração própria (2025).

Caso a demanda de veículos elétricos for para 4 veículos às 7h da manhã, considerando que o eletroposto possui 3 pontos de carregamento, teremos uma demanda não atendida para um veículo elétrico, conforme mostra a Figura 14.

Figura 14 – Teste do modelo para carregamento de 4 VEs

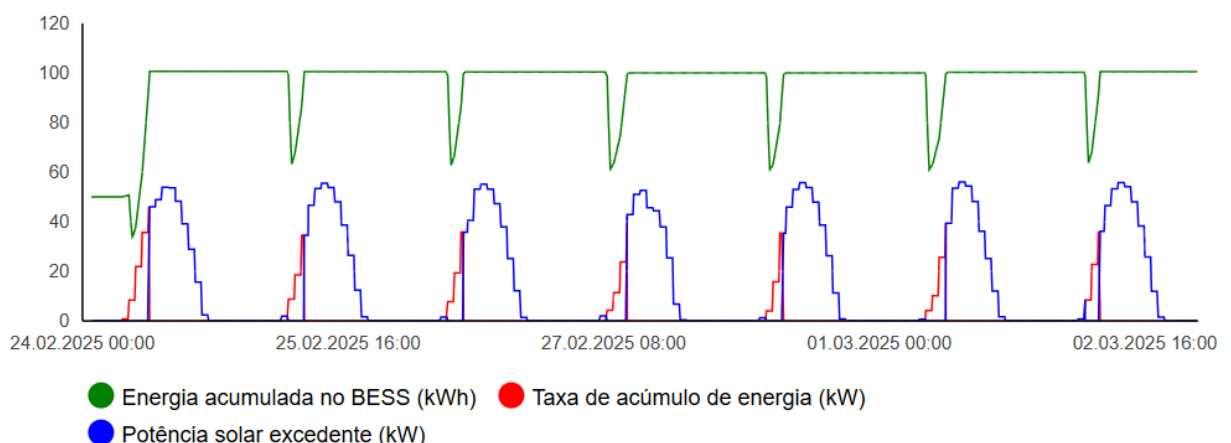


Fonte: Elaboração própria (2025).

Nas simulações apresentadas, o BESS conseguiu suprir toda a demanda de energia requerida pelos VEs.

Com o intuito de verificar a utilização da rede elétrica como segunda possibilidade de fornecimento de energia, reduziu-se a capacidade do BESS para 100kWh, com uma energia acumulada inicial de 50kWh para o atendimento de 3 veículos elétricos, simulando que os três cheguem diariamente juntos às 7h da manhã. Para este caso, considerando que as limitações são maiores, a energia solar excedente se torna maior, conforme mostra a Figura 15.

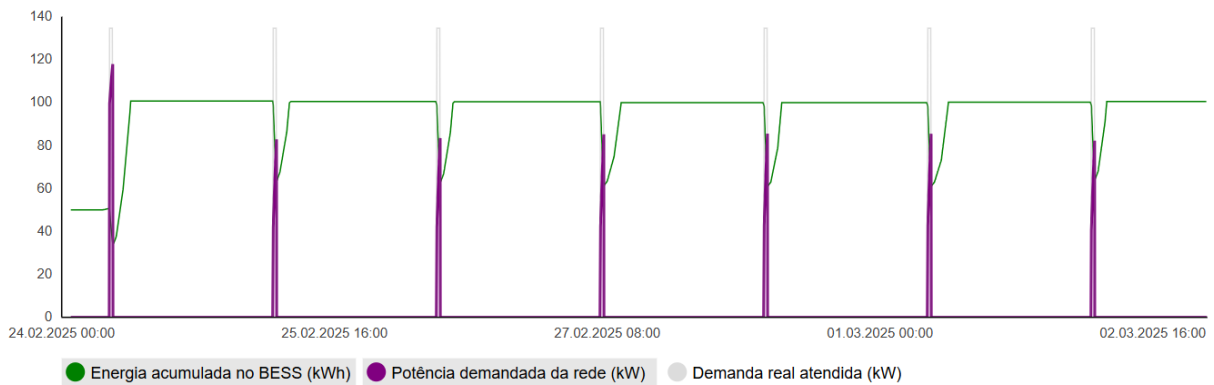
Figura 15 – Balanço energético para 3 VEs e BESS com 100kWh de capacidade



Fonte: Elaboração própria (2025).

Dessa forma, para suprir a potência demandada de veículos elétricos houve a necessidade de uso da rede elétrica, conforme apresentado pela Figura 16.

Figura 16 – Potência demandada da rede elétrica



Fonte: Elaboração própria (2025).

3.4 Conclusões

Os testes preliminares de comportamento do modelo, permitiram avaliar, através de simulações considerando um sistema reduzido, o comportamento do modelo proposto para o eletroposto híbrido sustentável com sistema fotovoltaico e BESS.

Foi possível analisar através das simulações, em quais condições que o BESS está adequadamente dimensionado, como no teste que considera a capacidade de 400kWh e carga inicial de 200kWh, o sistema é capaz de atender integralmente a demanda. Além disso, foi possível evidenciar, que devido a limitação da capacidade do BESS, resulta em uma energia solar excedente, que é desperdiçada, visto que não pode ser armazenada.

Outro ponto verificado na simulação, está relacionado a demanda não atendida de veículos elétricos, que foi evidenciada quando todos os três pontos de carregamento do eletroposto estavam ocupados e foi considerada uma demanda de 4 veículos elétricos para a simulação.

Ao reduzir a capacidade do BESS para 100kWh e carga inicial para 50kWh, notou-se um aumento na energia solar excedente, bem como a necessidade de utilização da rede elétrica para suprir a potência requerida pelos veículos elétricos.

Dessa forma, as simulações demonstram o comportamento consistente do sistema com as expectativas teóricas, dando base para análises futuras mais complexas, nas quais serão adicionados um perfil de demanda horário.

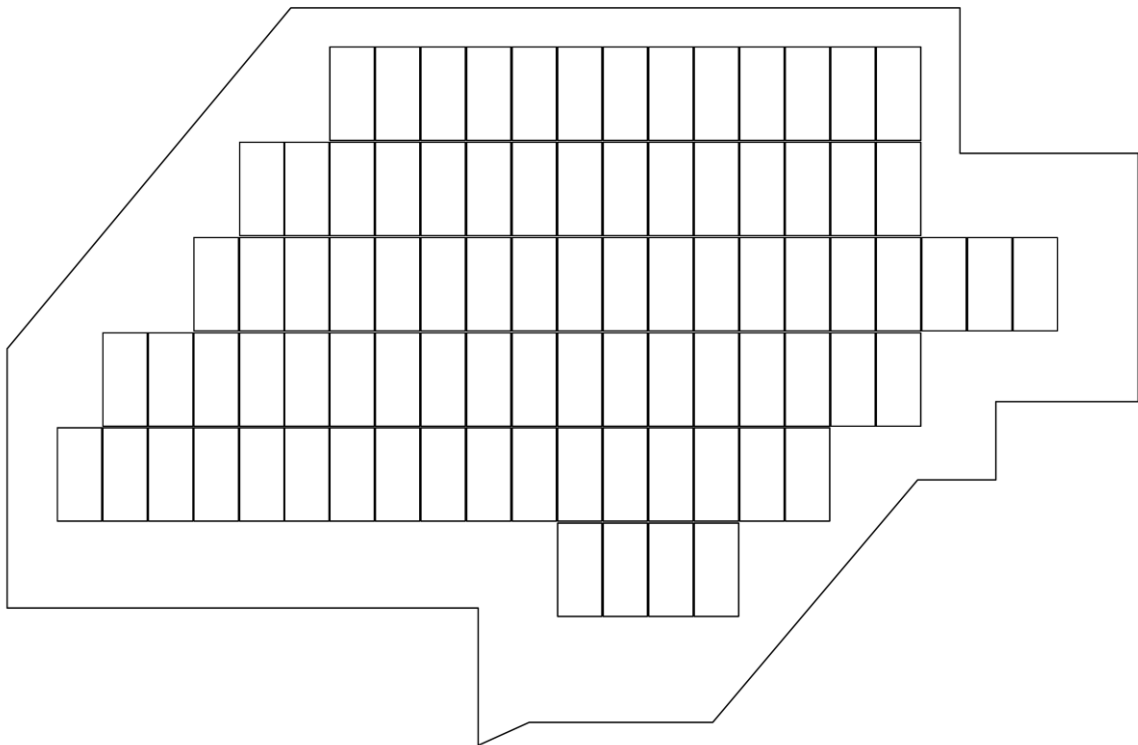
4 SIMULAÇÃO E RESULTADOS

Este capítulo detalha a metodologia utilizada para a modelagem do sistema de híbrido sustentável de um eletroposto. Serão apresentados os dados de entrada e premissas do modelo e os cenários de simulação analisados a partir da variação de parâmetros do sistema como a capacidade total do BESS e a irradiância fotovoltaica.

4.1 Dados de entrada e premissas

Para o desenvolvimento deste estudo e modelagem do sistema, foram estabelecidas algumas premissas que definem os parâmetros de geração, demanda e armazenamento. O dimensionamento do sistema de geração fotovoltaica foi baseado na capacidade de instalação de um telhado com área útil de 385,832m² de um posto de gasolina localizado no município de Florianópolis. Foram distribuídos 86 módulos fotovoltaicos, conforme mostra a Figura 17.

Figura 17 – Distribuição de módulos fotovoltaicos



Fonte: Elaboração própria (2025).

As especificações técnicas dos módulos fotovoltaicos foram baseadas nos dados do modelo 66QL6-BDV 650Wp da fabricante Jinko Solar, que possui dimensões 2382x1134x30mm e eficiência do módulo de 24,06%, conforme apresentado no Anexo A (JINKO SOLAR, 2025).

A simulação de geração de energia, utiliza dados de irradiância solar coletados no município de Florianópolis em intervalos de 5 minutos. Para a modelagem, foram calculadas médias horárias desses dados para utilizar na simulação. O período dos dados de irradiância coletados abrange de 08 de setembro de 2024 até 08 de setembro de 2025. Para a simulação, foram selecionadas duas semanas, a semana com maior irradiância média, conforme Apêndice A e a semana com menor irradiância média, conforme Apêndice B.

Em relação a demanda de energia do eletroposto, será adotado como modelo de referência para simulação o veículo elétrico da marca BYD e modelo *Dolphin Active*, que possui uma capacidade de bateria de 44,9kWh, e tempo estimado de carregamento de 28 minutos, utilizando um carregador DC de 150kW para carregar de um SoC de 30% à 80% conforme apresentado no Anexo B (BYD DOLPHIN, 2025).

A definição da distribuição de recargas ao longo do dia, foi extraída de dados disponibilizados no Google Maps na apresentação de “Horários de pico” do eletroposto Ilha Bela situado no bairro Itacorubi em Florianópolis, conforme Anexo C. Os dados foram normalizados com o intuito de gerar um perfil percentual de demanda diária, conforme apresentado no Apêndice C.

Para quantificar o número de veículos atendidos, será utilizado como referência dados obtidos na ABVE, que indicam uma relação de 43,76 veículos elétricos por eletroposto para o município de Florianópolis (ABVE, 2025b). Será adotada como premissa uma distribuição homogênea desses veículos ao longo de uma semana, que resulta em uma média diária de 6,28 veículos, que na simulação será arredondado para 6 VEs.

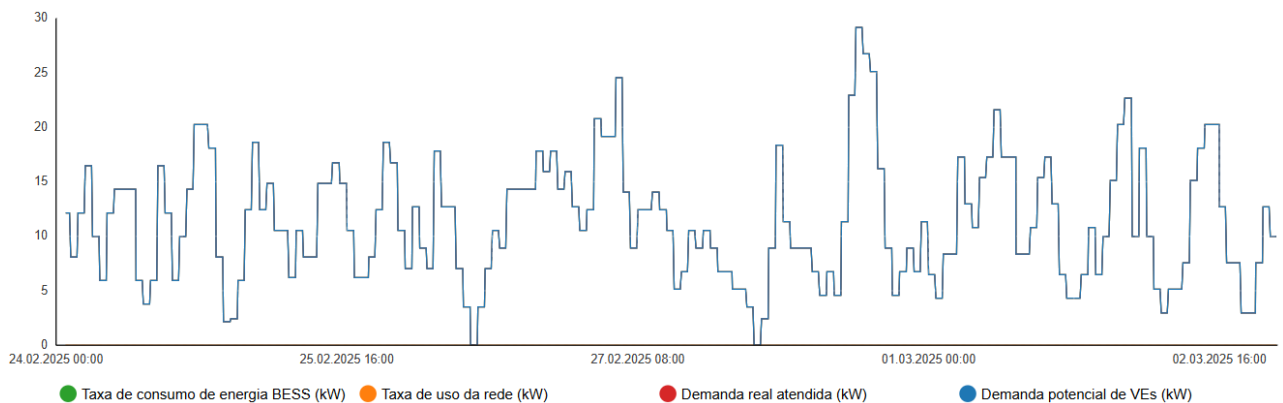
A capacidade total do BESS será um parâmetro variável nas simulações sendo diferente para cada cenário, e sempre será considerado o estado de carga (SoC) inicial do BESS como 50% da sua capacidade total. No modelo, a energia total consumida da rede está representada como uma variável de estoque, embora não seja uma variável de estoque efetivamente. Esta abordagem permite tratar essa

variável como uma memória, apresentando a energia total consumida da rede, ou seja, como uma variável de folga de estoque infinito. Além disso, foi adotada como uma premissa, uma perda de 15% na energia demandada da rede, devido à utilização de energia no eletroposto para operação e monitoramento do sistema de controle, bem como arrefecimento e ventilação no VE durante o carregamento.

4.2 Cenário 1 – Maior irradiância solar e BESS de 400kWh

Para esta simulação foram considerados os maiores valores médios de irradiância solar, que ocorre entre os dias 24/02/2025 até 02/03/2025, conforme apresentado no Apêndice A, considerando um BESS de 400kWh de capacidade e SoC de 200kWh. A Figura 18, mostra que para essa configuração, toda a demanda potencial é atendida o eletroposto conseguiria atender a toda a demanda de forma *off-grid*, isto é, sem a necessidade de uso da rede elétrica.

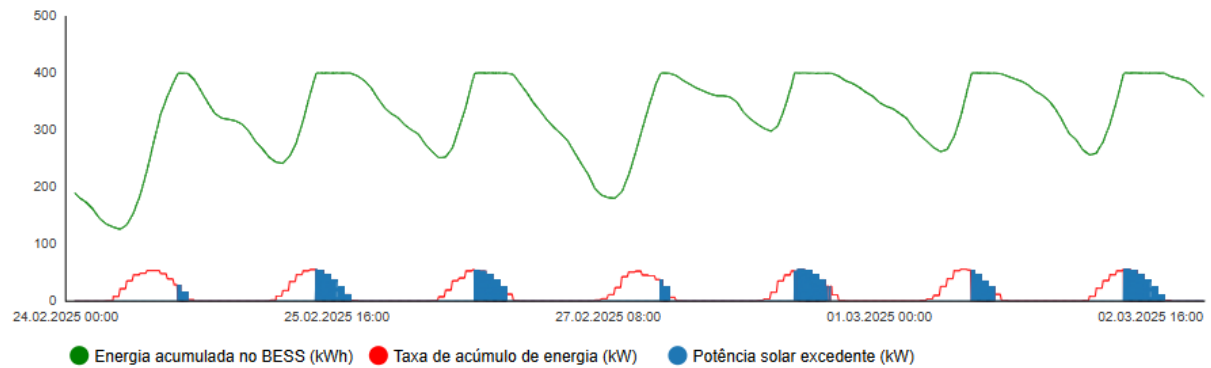
Figura 18 – Atendimento da demanda para o Cenário 1



Fonte: Elaboração própria (2025).

A Figura 19, apresenta o comportamento de carga e descarga do BESS durante o período de simulação, bem como a taxa de acúmulo de energia e a potência solar excedente que deixou de ser utilizada devido a limitação de capacidade do BESS.

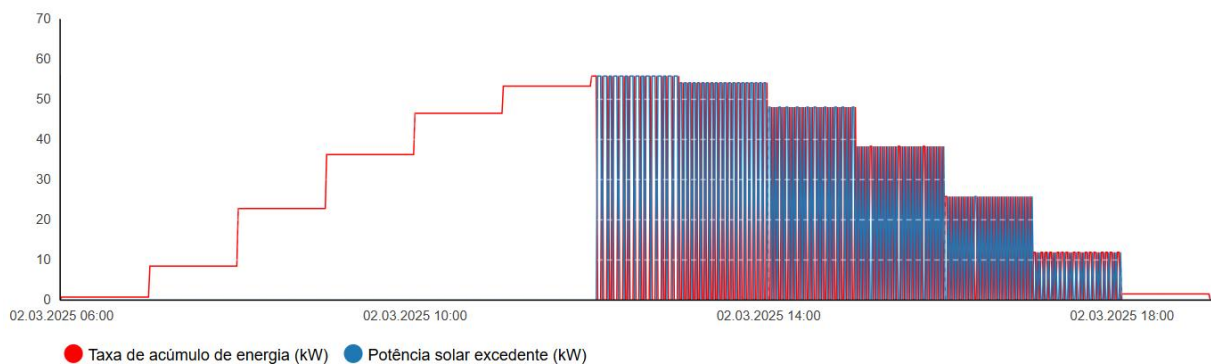
Figura 19 – Balanço energético para simulação no Cenário 1



Fonte: Elaboração própria (2025).

Verifica-se que a taxa de acúmulo de energia e a potência solar excedente, são complementares, que se torna mais evidente ao analisar um menor período de tempo conforme mostra a Figura 20.

Figura 20 – Complementaridade entre acúmulo de energia e geração excedente

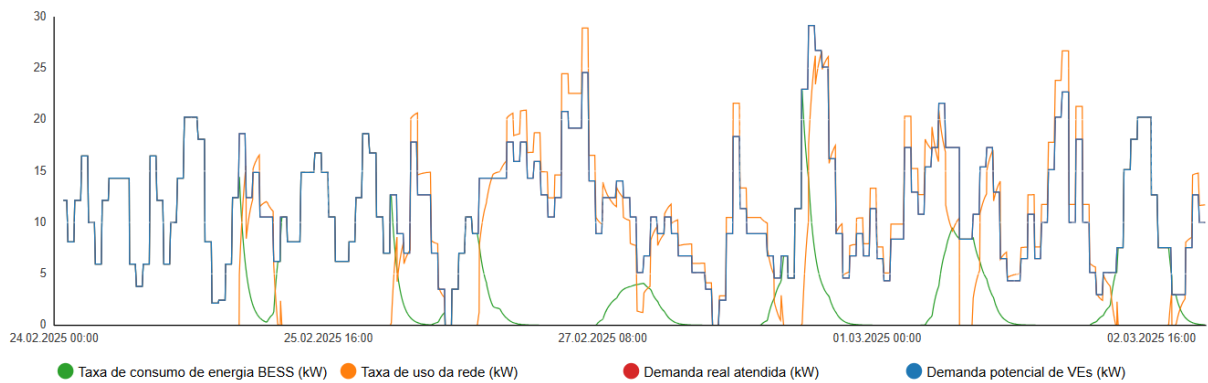


Fonte: Elaboração própria (2025).

4.3 Cenário 2 – Menor irradiância solar e BESS de 400kWh

Esta simulação se diferencia do Cenário 1, pela escolha da semana com menor irradiância solar média do período de dados analisado, que ocorreu entre os dias 19/05/2025 até 25/05/2025 conforme apresentado no Apêndice B. O atendimento a demanda para o Cenário 2 é apresentado na Figura 21.

Figura 21 - Atendimento da demanda para o Cenário 2

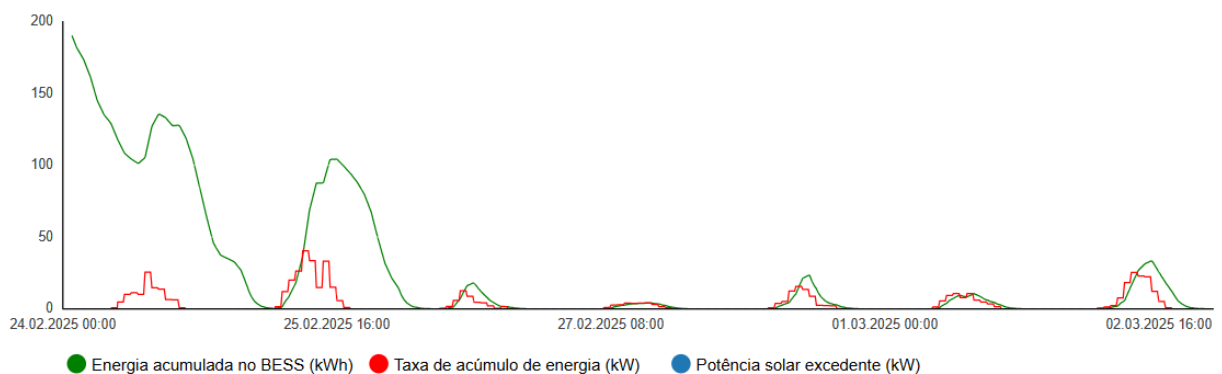


Fonte: Elaboração própria (2025).

Nota-se que toda a demanda de veículos foi atendida, sendo verificada pela total sobreposição entre as variáveis de demanda real atendida e demanda potencial de VEs. Porém, para a menor geração do ano, houve a necessidade de uso da rede elétrica para suprir parte da potência necessária para o atendimento da demanda.

A Figura 22, apresenta o comportamento de carga e descarga do BESS durante o período de simulação, bem como a taxa de acúmulo de energia. Para este período não houve energia solar excedente, e a baixa irradiância solar acarretou diminuição da carga do BESS, que tem sua capacidade mais baixa no dia 27/02/2025.

Figura 22 - Balanço energético para simulação no Cenário 2

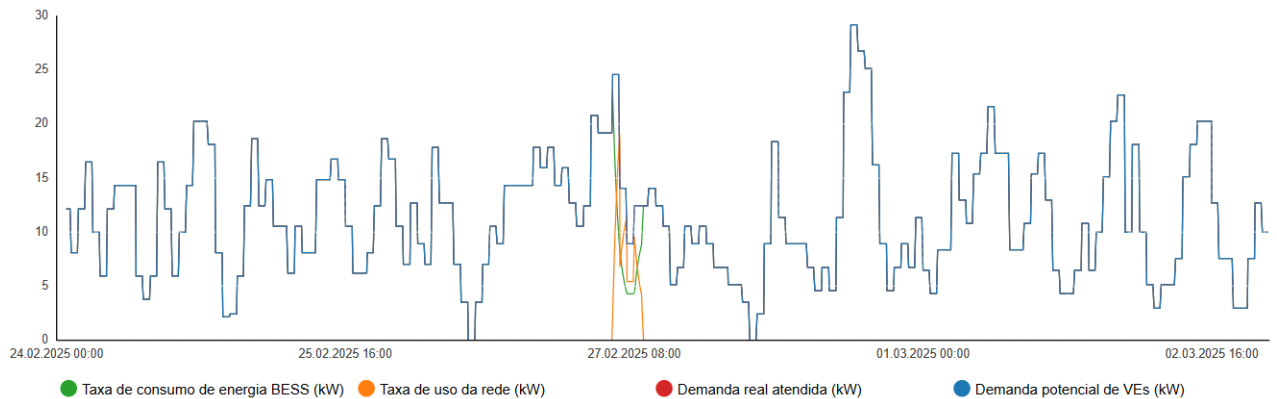


Fonte: Elaboração própria (2025).

4.4 Cenário 3 – Maior irradiância solar e BESS de 200kWh

Para esta simulação, utilizou-se a semana com maior irradiância solar média, porém, a capacidade do BESS foi reduzida pela metade do valor praticado no Cenário 1. O atendimento a demanda para o Cenário 3 é apresentado na Figura 23.

Figura 23 - Atendimento da demanda para o Cenário 3

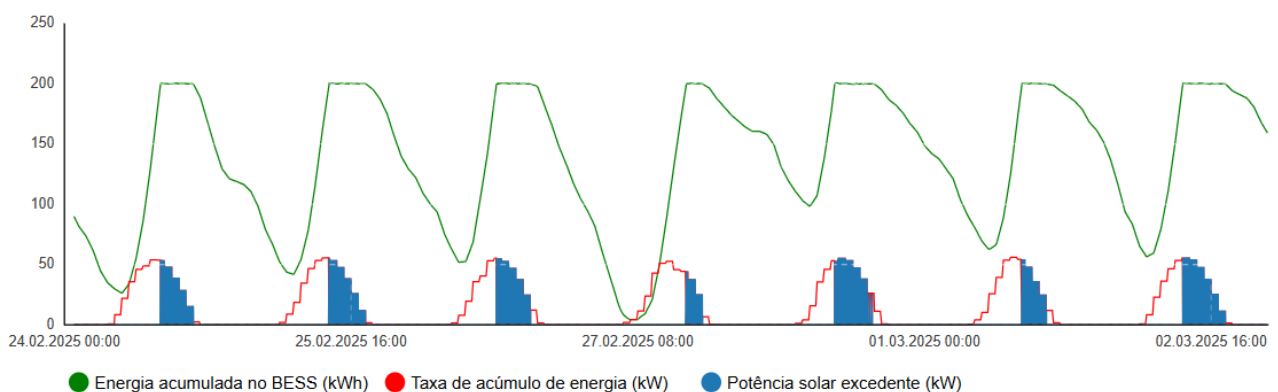


Fonte: Elaboração própria (2025).

Mesmo com a maior irradiância solar média, houve a necessidade de complementar com o uso da rede para atendimento da demanda no dia 27/02/2025, após isso, a situação se normaliza e não há mais a necessidade de uso da rede.

A Figura 24, apresenta o comportamento de carga e descarga do BESS durante o período de simulação, nota-se que há uma energia solar excedente, indicando que caso o BESS tenha maior capacidade, mais energia poderia ser acumulada, tornando o sistema independente do suprimento pela rede elétrica.

Figura 24 - Balanço energético para simulação no Cenário 3

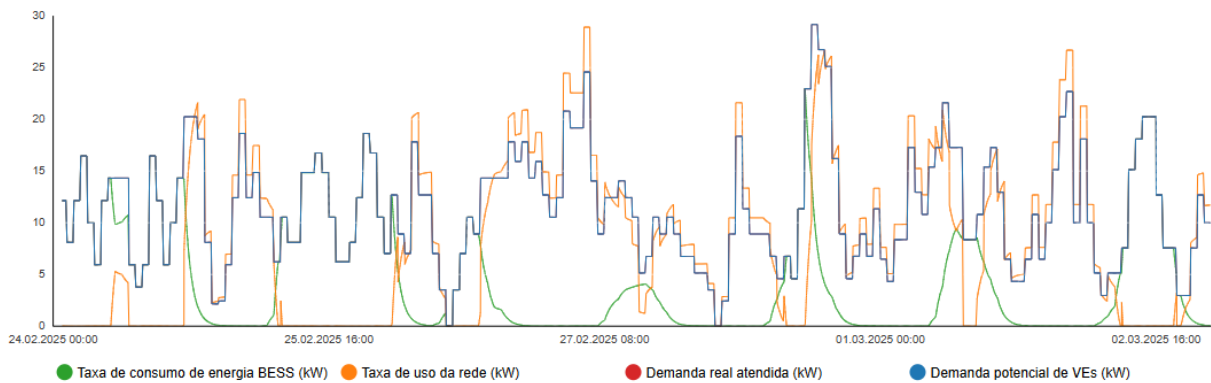


Fonte: Elaboração própria (2025).

4.5 Cenário 4 – Menor irradiância solar e BESS de 200kWh

Para esta simulação o cenário é ainda mais restritivo, utilizou-se da menor irradiância solar média, considerando a capacidade do BESS de 200kWh. O atendimento a demanda para o Cenário 4 é apresentado na Figura 25.

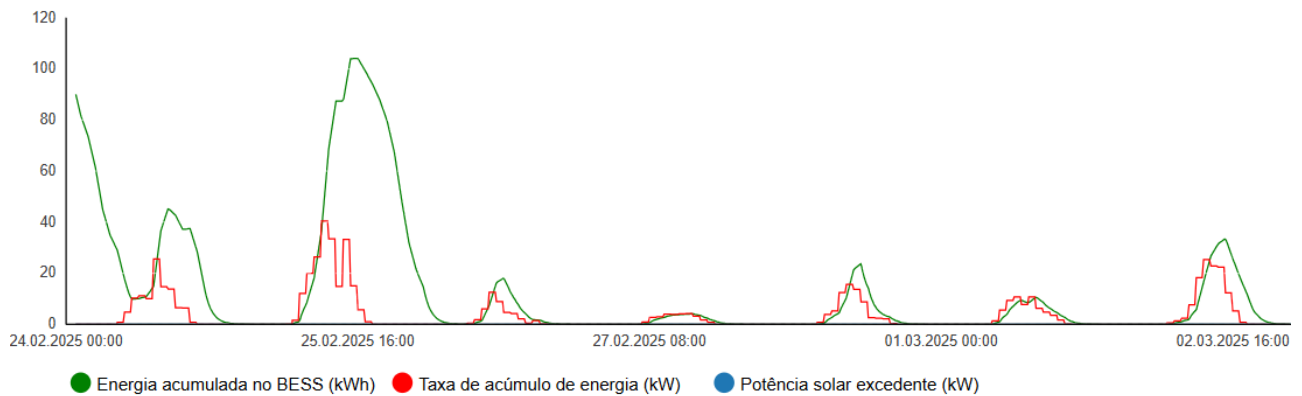
Figura 25 - Atendimento da demanda para o Cenário 4



Fonte: Elaboração própria (2025).

Neste cenário, a dependência da rede elétrica é ainda maior, havendo demanda da rede elétrica em todos os dias da simulação. A Figura 26 mostra que para a semana com menor irradiância solar média, não há energia solar excedente, de forma que não solucionaria aumentar a capacidade do BESS, apenas aumentar a quantidade de módulos fotovoltaicos.

Figura 26 - Balanço energético para simulação no Cenário 4



Fonte: Elaboração própria (2025).

4.6 Conclusão do capítulo

A análise comparativa dos quatro cenários demonstra a influência da irradiância solar e capacidade de armazenamento do BESS para a operação *off-grid* do eletroposto. Para todos os cenários de simulação, toda a demanda de veículos elétricos foi atendida, precisando ou não do recurso da rede elétrica.

O Quadro 6, apresenta a energia consumida da rede elétrica e a energia consumida do BESS em cada um dos cenários.

Quadro 6 - Comparativo entre cenários da energia consumida pelo BESS e rede elétrica

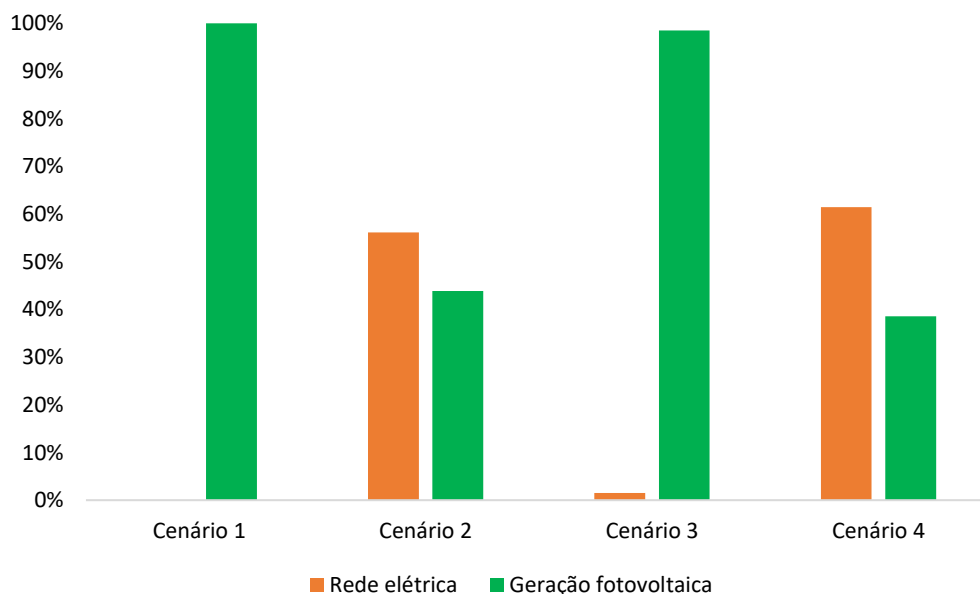
Cenário	Energia consumida da rede elétrica para carregamento dos VEs (kWh)	Energia total consumida do BESS (kWh)	Demanda de energia para o carregamento (kWh)
1	0,00	1889,14	1889,14
2	1061,08	828,06	
3	28,82	1860,31	
4	1161,08	728,06	

Fonte: Elaboração própria (2025).

As perdas devido ao consumo de energia para operação do eletroposto, fazem parte da energia demandada da rede. Em todos os cenários a energia total demandada será a mesma, variando a composição do atendimento entre a geração fotovoltaica armazenada no BESS e o uso da rede elétrica.

Na Figura 27 é representado de forma percentual a fonte de energia utilizada para atendimento da demanda em cada um dos cenários.

Figura 27 – Percentual de fonte de energia utilizada para atendimento da demanda



Fonte: Elaboração própria (2025).

Os cenários 1 e 3, que foram simulados com a maior irradiância solar média apresentaram maior atendimento à demanda por meio da geração fotovoltaica, porém

apenas o cenário 1 apresentou autonomia em relação a rede. Foi demonstrado através das simulações que a redução da capacidade do BESS, mesmo em melhores condições de geração fotovoltaica, resultou em períodos de necessidade de suprimento da rede elétrica. Nos cenários 2 e 4, não houve energia solar excedente, evidenciando que para estas aplicações, o aumento da capacidade do BESS por si só, não resultaria em uma autonomia do eletroposto. As simulações evidenciam que a autonomia do eletroposto depende do dimensionamento do BESS e da irradiância solar, e a definição de qual dessas duas variáveis deverá ser aumentada para um funcionamento totalmente *off-grid* deve ser analisada individualmente conforme o cenário em estudo.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho teve como objetivo modelar cenários de carregamento de veículos elétricos utilizando geração fotovoltaica e armazenamento de energia pelo BESS, utilizando Dinâmica de Sistemas como ferramenta. O desenvolvimento do modelo através do *software Anylogic*, transformou as relações causais do DLC em um sistema de simulação quantitativo através do DEF.

Foram realizados testes preliminares considerando que toda a demanda de veículos ocorre as 7h da manhã, com intuito de avaliar o comportamento do modelo proposto, variando a capacidade do BESS e verificando a energia solar frustrada, isto é, a energia produzida que não pôde ser armazenada, bem como a avaliação de como o sistema se comporta quando a demanda de veículos é maior do que a capacidade de atendimento do eletroposto.

Após a validação em um sistema de simulação reduzido, análises mais complexas foram empregadas, em que as simulações foram realizadas considerando as semanas de maior e menor irradiância solar, acrescentando uma distribuição percentual de recargas ao longo do dia e variando a capacidade do BESS.

Os cenários 1 e 3, foram simulados com a maior média de irradiância solar, e como consequência apresentaram maior atendimento à demanda, contudo, apenas o cenário 1 teve total autonomia em relação a rede elétrica. O cenário 3 comprova que, mesmo sob melhor condição de geração, a redução da capacidade do BESS resulta por períodos de dependência da rede elétrica, indicando que o correto dimensionamento do BESS é tão crucial quanto a própria geração. Os cenários 2 e 4, que foram simulados com a menor média de irradiância solar, mostra que não houve em nenhum momento energia solar excedente, portanto, aumentar a capacidade do BESS não é suficiente, sendo necessário um redimensionamento da infraestrutura de módulos fotovoltaicos para aumento da capacidade de geração.

Os resultados obtidos com as simulações, evidenciaram que para que o funcionamento do eletroposto fosse totalmente independente da rede elétrica, isto é, *off-grid*, é necessário haver um equilíbrio entre a infraestrutura de geração fotovoltaica e capacidade do BESS. Nisso, a metodologia de Dinâmica de Sistemas, mostrou-se fundamental para compreender essa interação, evidenciando o comportamento

dinâmico entre carregamentos de VEs e o uso de eletricidade produzida por recursos energéticos primários renováveis e não esgotáveis. As simulações evidenciam que diante do cenário de crescimento de vendas de veículos elétricos no Brasil, torna-se latente a necessidade de expansão da infraestrutura atual de carregamento e aumento da capilaridade dos eletropostos para suporte à demanda crescente.

Pode-se afirmar que com a finalização do trabalho, os objetivos propostos foram alcançados. O mapeamento da demanda foi realizado através da relação entre quantidade de veículos e eletropostos no município de Florianópolis em conjunto com obtenção de um perfil percentual de demanda diária do eletroposto de Ilha Bela no Itacorubi. O modelo de DS foi implementado no *AnyLogic*, e as simulações validaram o comportamento da geração fotovoltaica, bem como o comportamento do BESS, permitindo analisar os impactos do dimensionamento da infraestrutura de instalação fotovoltaica e capacidade do BESS.

5.1 Sugestão de trabalhos futuros

O modelo desenvolvido focou na análise semanal, considerando uma frota fixa, como sugestão para estudos futuros visando maior robustez do modelo, recomenda-se a implementação de uma taxa dinâmica de emplacamento ao longo dos anos, permitindo simular cenários de longo prazo. Além disso, neste trabalho, foi considerado um único modelo de VE para caracterizar a demanda, como sugestão, poderia ser adicionado ao modelo uma demanda de frota veículos elétricos que represente a heterogeneidade dos modelos de VEs e especificações de bateria e carregamento, proporcionando uma representação mais próxima à demanda energética real.

REFERÊNCIAS

ABDELMOULA, R.; BEN HADJ, N.; CHAIEB, M.; NEJI, R. Comparison of fuel consumption and emissions of two hybrid electric vehicle configurations. IEEE, Tunisia dez. 2017. **18th International Conference on Sciences and Techniques of Automatic Control & Computer Engineering**. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8314883>. Acesso em: 24 abr. 2024.

ABVE. **Elétricos crescem em todas as regiões do Brasil**. 11 jan. 2024. Disponível em: <https://abve.org.br/veiculos-eletricos-crescem-em-todo-o-pais/>. Acesso em: 08 abr. 2024.

ABVE. **Eletrificados superam previsões, passam de 170 mil e batem todos os recordes em 2024**. 6 jan. 2025a. Disponível em: <https://abve.org.br/eletrificados-superam-previsoes-passam-de-170-mil-e-batem-todos-os-recordes-em-2024/>. Acesso em: 18 maio 2025.

ABVE. **Eletropostos**. Disponível em: <https://abve.org.br/abve-data/bi-eletropostos/>. Acesso em: 18 maio 2025b.

ACHARIGE, S. S. G.; HAQUE, M. E.; ARIF, M. T.; HOSSEINZADEH, N.; HASAN, K. N.; OO, A. M. T. Review of Electric Vehicle Charging Technologies, Standards, Architectures, and Converter Configurations. IEEE, abr. 2023. **IEEE Access**, v. 11, p. 41218-41255. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/10102467>. Acesso em: 28 jun. 2025.

AIZPURUA, M.; GARAYALDE, E.; YEREGUI, J.; DORRONSORO, X.; LOPETEGI, I.; IRAOLA, U. Modular BESS Architecture for Enhanced Performance and Extended Lifetime. IEEE, Darmstadt 2024. **2024 Energy Conversion Congress & Expo Europe (ECCE Europe)**. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/10751995>. Acesso em: 26 jun. 2025.

AKEYO, O. M.; RALLABANDI, V.; JEWELL, N.; PATRICK, A.; IONEL, D. M. Parameter Identification for Cells, Modules, Racks, and Battery for Utility-Scale Energy Storage Systems. IEEE, nov. 2020. **IEEE Access**, v. 8, p. 215817-215826. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/9262921>. Acesso em: 28 jun. 2025.

ANEEL. **Micro e minigeração distribuída de energia elétrica cresceu 8,84 GW em 2024**. 17 jan. 2025. Disponível em: <https://www.gov.br/aneel/pt-br/assuntos/noticias/2025/micro-e-minigeracao-distribuida-de-energia-eletrica-cresceu-8-84-gw-em-2024>. Acesso em: 19 maio 2025.

ANEEL. **Micro e Minigeração Distribuída**. 10 fev. 2022. Disponível em: <https://www.gov.br/aneel/pt-br/assuntos/geracao-distribuida>. Acesso em: 4 jul. 2025.

ANP. **Quantidade de postos revendedores de combustíveis automotivos, por bandeira, segundo grandes regiões e unidades da Federação – 2023**. 28 jun. 2024. Disponível em: <https://www.gov.br/anp/pt-br/centrais-de-conteudo/publicacoes/anuario-estatistico/anuario-estatistico-brasileiro-do-petroleo->

gas-natural-e-biocombustiveis-2024#Se%C3%A7%C3%A3o%203. Acesso em: 18 maio 2025.

APRIBOWO, C. H. B.; SARJIYA, S.; HADI, S. P.; WIJAYA, F. D. Optimal Planning of Battery Energy Storage Systems by Considering Battery Degradation due to Ambient Temperature: A Review, Challenges, and New Perspective. Basel, dez. 2022. **Batteries**. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2313-0105/8/12/290>. Acesso em: 4 jul. 2025.

BATISTA, F.; GUIMARÃES, A. S.; PALMERO-MARRERO, A. I. Building Integrated Photovoltaics: a multi-level design review for optimized implementation. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 220, 2025. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032125005106>. Acesso em: 28 jun. 2025.

BENEDETTI, D.; AGNELLI, J.; GAGLIARDI, A.; DINI, P.; SAPONARA, S. Design of an off-grid photovoltaic carport for a full electric vehicle recharging. IEEE, Madrid, jun. 2020. **2020 IEEE International Conference on Environment and Electrical Engineering and 2020 IEEE Industrial and Commercial Power Systems Europe (EEEIC / I&CPS Europe)**. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/9160655>. Acesso em: 4 jul. 2025.

BYD DOLPHIN. **0623-BPS**. 2025. Disponível em: <https://www.byd.com/content/dam/byd-site/ie/product/dolphin/BYD%20DOLPHIN.pdf>. Acesso em 30 nov. 2025.

CHEN, L.; BAGHOOLIZADEH, M.; BASEM, A.; ALI, S. H.; RUHANI, B.; SULTAN, A. J.; SALAHSHOUR, S.; ALIZADEH, A. A comprehensive review of a building-integrated photovoltaic system (BIPV). Elsevier, dec. 2024. **International Communications in Heat and Mass Transfer**, v. 159. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0735193324008182?casa_token=P7eQmiyLuhYAAAAA:e9p01wRdyniuoZP0H7EAEIz-sxEd6ADgx2M99wGmXRT_o2StBz1UrKzjZ9Yv6v4cw5LdQPIB0DI. Acesso em: 28 jun. 2025.

DAS, H. S.; RAHMAN, M. M.; LI, S.; TAN, C. W. Electric vehicles standards, charging infrastructure, and impact on grid integration: A technological review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, Amsterdam, v. 120, art. 109618, mar. 2020. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1364032119308251>. Acesso em: 18 maio 2025.

FORRESTER, J. W. **Industrial Dynamics**. Massachusetts: The M.I.T. Press, 1961.

ISEE SYSTEMS. **CLD Documentation Viewer**. Disponível em: <https://www.iseesystems.com/resources/help/v3/default.htm#08-Reference/04-Dialog%20boxes/CLDDocumentationViewer.htm?Highlight=cld>. Acesso em: 7 jul. 2025.

ISTÓK, R.; KÁDÁR, P.; REIZER, L. Solar Carport with Energy Storage Capabilities.

IEEE, Budapeste, nov. 2021. **2021 IEEE 4th International Conference and Workshop in Óbuda on Electrical and Power Engineering (CANDO-EPE)**. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/9667901>. Acesso em: 4 jul. 2025.

KERMANI, M.; LOGGIA, R.; MASSACCESI, A.; MOSCATIELLO, C.; CALCARA, L.; MARTIRANO, L. EV Charging Station Implementation in Urban and Non-Urban Areas: Policies, Challenges, and Opportunities. IEEE, Las Vegas maio 2024. **60th IEEE/IAS Industrial and Commercial Power Systems Technical Conference**. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/10563703>. Acesso em: 20 maio 2025.

JINKO SOLAR. **66QL6-BDV**. 2025. Disponível em: [https://jinkosolarcdn.shwebspace.com/themes/basicen/skin/pdf/JKM650-670N-66QL6-BDV-D1\(P8\)%20CC-EN.pdf](https://jinkosolarcdn.shwebspace.com/themes/basicen/skin/pdf/JKM650-670N-66QL6-BDV-D1(P8)%20CC-EN.pdf). Acesso em: 30 nov. 2025.

KIM, S. H.; SHIN, Y.J. Optimize the operating range for improving the cycle life of battery energy storage systems under uncertainty by managing the depth of discharge. Elsevier, out. 2023. **Journal of Energy Storage**. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352152X23025422>. Acesso em: 4 jul. 2025.

KUMAR, P.; ANSARI, M. A.; AGRAWAL, R. Recent Trends in EV Technologies, Charging Process and Standards: A Comprehensive Review. IEEE, 2025. **2025 International Conference on Cognitive Computing in Engineering, Communications, Sciences and Biomedical Health Informatics (IC3ECSBHI)**. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/10991122>. Acesso em: 28 jun. 2025.

MA, Z.; JIA, M.; KOLTERMANN, L.; BLÖMEKE, A.; DE DONCKER, R. W.; LI, W.; SAUER, D. U. Review on grid-tied modular battery energy storage systems: Configuration classifications, control advances, and performance evaluations. Elsevier, dec. 2023. **Journal of Energy Storage**, v. 74, p. 109272. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2352152X23026701>. Acesso em: 28 jun. 2025.

MARCONI, Marina de A.; LAKATOS, Eva M. **Fundamentos de Metodologia Científica**. São Paulo: São Paulo, 2017.

MEADOWS, D. H. **Thinking in Systems: A Primer**. Londres: Earthscan, 2008.

MIT. **System Dynamics**. Disponível em: <https://mitsloan.mit.edu/faculty/academic-groups/system-dynamics/about-us>. Acesso em: 20 jun. 2025.

MMA. **Acordo de Paris**. Disponível em: <https://antigo.mma.gov.br/clima/convencao-das-nacoes-unidas/acordo-de-paris.html#:~:text=O%20Acordo%20de%20Paris%20foi,no%20contexto%20do%20desenvolvimento%20sustent%C3%A1vel>. Acesso em: 08 abr. 2024.

MOHAMMED, S. A. Q.; JUNG, J. W. A Comprehensive State-of-the-Art Review of

Wired/Wireless Charging Technologies for Battery Electric Vehicles: Classification/Common Topologies/Future Research Issues. IEEE, jan. 2021. **IEEE Access**, v. 9, p. 19572-19585. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/9336630>. Acesso em: 28 jun. 2025.

NGUYEN-VINH, K.; GONAPALADENIYA, S.; NGUYEN-QUANG, N.; LEONOWICZ, Z. A Review of Photovoltaic Technology. IEEE, Czech Republic, maio 2024. **2024 24th International Scientific Conference on Electric Power Engineering (EPE)**. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/10559575>. Acesso em: 26 jun. 2025.

OCTAVIANO, M. E. F.; ARAUJO, L. R. D.; PENIDO, D. R. R. Allocation of BESS and state of charge management in unbalanced distribution networks considering the State of Health. Elsevier, fev. 2025. **Electric Power Systems Research**. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0378779625000604>. Acesso em: 4 jul. 2025.

RAJATH, H. G.; THANUJA, K. Evolution of Photovoltaic Cells: A Comprehensive Review of Material Innovations, Technological Progress, and Efficiency Improvements. IEEE, Bangalore, jan. 2025. **2025 International Conference on Intelligent and Innovative Technologies in Computing, Electrical and Electronics (IITCEE)**. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/10915402>. Acesso em: 26 jun. 2025.

RANA, M. M.; ALAM, S. M. M.; RAFI, F. A.; DEB, S. B.; AGILI, B.; HE, M.; ALI, M. H. Comprehensive Review on the Charging Technologies of Electric Vehicles (EV) and Their Impact on Power Grid. IEEE, mar. 2025. **IEEE Access**, v. 13, p. 35124-35156. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/10870236>. Acesso em: 28 jun. 2025.

RANA, M. M.; UDDIN, M.; SARKAR, M. R.; SHAFIULLAH, G. M.; MO, H.; ATEF, M. A review on hybrid photovoltaic – Battery energy storage system: Current status, challenges, and future directions. Elsevier, abr. 2022. **Journal of Energy Storage**, v. 51, 104597. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2352152X22006132>. Acesso em: 28 jun. 2025.

RICHARDSON, G. P. Problems with causal-loop diagrams. Summer 1986. **System Dynamics Review**. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/sdr.4260020207>. Acesso em: 4 jul. 2025.

ROSSI, F.; KIPYATOR, M. J.; AERNOUTS, T.; PETTERSSON, H.; BASOSI, R.; PARISI, M. L.; SINICROPI, A. Unveiling the potential of perovskite solar systems in building integrated installations: a consequential and prospective life cycle assessment and economic analysis. Elsevier, Siena, abr. 2024. **Energy & Buildings**. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S037877882400330X>. Acesso em: 4 jul. 2025.

SAKLANI, Mayank; SAINI, Devender Kumar. Spatial Analysis and Clustering of

Electric Vehicle Density for Charging Infrastructure Planning. IEEE, Roorkee, out. 2023. **International Conference On Computer Applications In Electrical Engineering-Recent Advances (CERA)**. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1109/cera59325.2023.10455660>. Acesso em: 15 nov. 2024.

ŠÁLY, V.; PACKA, J.; PERNÝ, M.; HUDEC, B.; ANDRÁŠ, M. Some Aspects of Building Integrated Photovoltaics Operation. IEEE, Kouty nad Desnou, jun. 2022. **22nd International Scientific Conference on Electric Power Engineering (EPE)**. Disponível em: https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/9814139?casa_token=BV0cKkkd1WMAAAAA:NrDGh8_nn7lrKjRSSf3bEVEPB5M4jMJAN3c2SZQE3HAgzrqf18tf8aA11eylPSeHOMnxNQcwBtIAFg. Acesso em: 26 jun. 2025.

SONG, H.; LIU, C.; AMANI, A. M.; GU, M.; JALILI, M.; MEEGAHAPOLA, L.; YU, X.; DICKESON, G. Smart optimization in battery energy storage systems: An overview. Elsevier, maio 2024. **Energy and AI**. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2666546824000442>. Acesso em: 4 jul. 2025.

SUSHMITHA, R.; ASHA, K.; TEJASWINI, J.; HEMANTHAKUMARI, V.; HARSHITHA, K.; SURYANARAYANA, N K. Implementation of Electric Vehicles Charging Station and Battery Management System. IEEE, Bangalore, mar. 2023. **International Conference For Innovation In Technology (Inocon)**. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1109/inocon57975.2023.10101213>. Acesso em: 15 nov. 2024.

STERMAN, J. D. **Business Dynamics: Systems Thinking and Modeling for a Complex World**. Boston: Irwin/McGraw-Hill, 2000.

VIEIRA, R. G.; ARAÚJO, F. M. U. de; DHIMISH, M.; GUERRA, M. I. S. A comprehensive review on bypass diode application on photovoltaic modules. **Energies**, Basel, mai. 2020. Disponível em: <https://www.mdpi.com/1996-1073/13/10/2472>. Acesso em: 7 jul. 2025.

YUVARAJ, T.; DEVABALAJI, K. R.; KUMAR, J. ANISH; THANIKANTI, SUDHAKAR BABU; NWULU, NNAMDI I. A Comprehensive Review and Analysis of the Allocation of Electric Vehicle Charging Stations in Distribution Networks. **IEEE Access**, v. 12, p. 5404-5461, 2024. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/10380227/authors#authors>. Acesso em: 28 jun. 2025.

ZILLES, R.; MACÊDO, W. N.; GALHARDO, M. A. B.; OLIVEIRA, S. H. F. de. **Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede Elétrica**. São Paulo: Oficina de Textos, 2012.

APÊNDICES

APÊNDICE A – Semana com maior irradiância média

Semana com maior irradiância média 24/02/2025 até 02/03/2025					
Dia	Hora	Irradiância [W/m ²]	Dia	Hora	Irradiância [W/m ²]
0	0	0,00	3	12	945,07
0	1	0,00	3	13	818,56
0	2	0,00	3	14	796,86
0	3	0,00	3	15	680,68
0	4	0,00	3	16	455,81
0	5	0,00	3	17	120,88
0	6	14,26	3	18	7,91
0	7	150,88	3	19	0,00
0	8	394,54	3	20	0,00
0	9	639,96	3	21	0,00
0	10	826,49	3	22	0,00
0	11	878,10	3	23	0,00
0	12	966,56	4	0	0,00
0	13	963,31	4	1	0,00
0	14	866,05	4	2	0,00
0	15	701,86	4	3	0,00
0	16	517,65	4	4	0,00
0	17	281,61	4	5	0,00
0	18	42,69	4	6	24,08
0	19	0,00	4	7	73,16
0	20	0,00	4	8	281,97
0	21	0,00	4	9	636,65
0	22	0,00	4	10	823,60
0	23	0,00	4	11	952,35
1	0	0,00	4	12	999,79
1	1	0,00	4	13	964,77
1	2	0,00	4	14	858,71
1	3	0,00	4	15	692,22
1	4	0,00	4	16	470,43
1	5	0,00	4	17	202,60
1	6	34,15	4	18	14,32
1	7	158,40	4	19	0,00
1	8	333,95	4	20	0,00
1	9	618,58	4	21	0,00
1	10	836,55	4	22	0,00
1	11	957,76	4	23	0,00
1	12	996,83	5	0	0,00
1	13	964,89	5	1	0,00
1	14	862,50	5	2	0,00
1	15	693,54	5	3	0,00

1	16	473,89	5	4	0,00
1	17	221,96	5	5	0,00
1	18	29,75	5	6	11,64
1	19	0,00	5	7	74,50
1	20	0,00	5	8	182,74
1	21	0,00	5	9	460,92
1	22	0,00	5	10	706,64
1	23	0,00	5	11	960,23
2	0	0,00	5	12	1005,59
2	1	0,00	5	13	976,40
2	2	0,00	5	14	864,16
2	3	0,00	5	15	650,34
2	4	0,00	5	16	450,57
2	5	0,00	5	17	215,44
2	6	27,59	5	18	29,88
2	7	140,35	5	19	0,00
2	8	349,04	5	20	0,00
2	9	641,80	5	21	0,00
2	10	728,16	5	22	0,00
2	11	953,19	5	23	0,00
2	12	989,79	6	0	0,00
2	13	952,89	6	1	0,00
2	14	849,16	6	2	0,00
2	15	680,91	6	3	0,00
2	16	451,75	6	4	0,00
2	17	218,73	6	5	0,00
2	18	25,99	6	6	13,72
2	19	0,00	6	7	152,35
2	20	0,00	6	8	408,74
2	21	0,00	6	9	649,62
2	22	0,00	6	10	834,21
2	23	0,00	6	11	955,60
3	0	0,00	6	12	1000,42
3	1	0,00	6	13	970,86
3	2	0,00	6	14	861,73
3	3	0,00	6	15	686,65
3	4	0,00	6	16	462,30
3	5	0,00	6	17	213,31
3	6	36,23	6	18	27,58
3	7	76,85	6	19	0,00
3	8	205,36	6	20	0,00
3	9	426,53	6	21	0,00
3	10	769,24	6	22	0,00
3	11	916,48	6	23	0,00

APÊNDICE B – Semana com menor irradiância média

Semana com menor irradiância média 19/05/2025 até 25/05/2025					
Dia	Hora	Irradiância [W/m ²]	Dia	Hora	Irradiância [W/m ²]
0	0	0,00	3	12	72,75
0	1	0,00	3	13	74,54
0	2	0,00	3	14	56,57
0	3	0,00	3	15	29,50
0	4	0,00	3	16	13,46
0	5	0,00	3	17	0,38
0	6	0,00	3	18	0,00
0	7	13,93	3	19	0,00
0	8	84,81	3	20	0,00
0	9	183,18	3	21	0,00
0	10	200,64	3	22	0,00
0	11	180,40	3	23	0,00
0	12	457,90	4	0	0,00
0	13	263,50	4	1	0,00
0	14	246,83	4	2	0,00
0	15	117,12	4	3	0,00
0	16	113,53	4	4	0,00
0	17	13,32	4	5	0,00
0	18	0,00	4	6	0,00
0	19	0,00	4	7	13,17
0	20	0,00	4	8	69,25
0	21	0,00	4	9	93,49
0	22	0,00	4	10	223,72
0	23	0,00	4	11	279,76
1	0	0,00	4	12	244,36
1	1	0,00	4	13	156,68
1	2	0,00	4	14	45,70
1	3	0,00	4	15	41,59
1	4	0,00	4	16	38,83
1	5	0,00	4	17	5,96
1	6	0,88	4	18	0,00
1	7	29,18	4	19	0,00
1	8	217,52	4	20	0,00
1	9	358,35	4	21	0,00
1	10	473,23	4	22	0,00
1	11	725,20	4	23	0,00
1	12	600,47	5	0	0,00
1	13	266,52	5	1	0,00
1	14	596,64	5	2	0,00
1	15	269,37	5	3	0,00

1	16	101,76	5	4	0,00
1	17	16,99	5	5	0,00
1	18	0,00	5	6	0,29
1	19	0,00	5	7	24,56
1	20	0,00	5	8	99,18
1	21	0,00	5	9	167,76
1	22	0,00	5	10	191,86
1	23	0,00	5	11	139,64
2	0	0,00	5	12	191,21
2	1	0,00	5	13	111,57
2	2	0,00	5	14	86,32
2	3	0,00	5	15	62,86
2	4	0,00	5	16	29,44
2	5	0,00	5	17	1,29
2	6	0,00	5	18	0,00
2	7	8,01	5	19	0,00
2	8	33,08	5	20	0,00
2	9	107,45	5	21	0,00
2	10	225,01	5	22	0,00
2	11	158,66	5	23	0,00
2	12	82,51	6	0	0,00
2	13	75,97	6	1	0,00
2	14	39,38	6	2	0,00
2	15	7,75	6	3	0,00
2	16	26,70	6	4	0,00
2	17	2,83	6	5	0,00
2	18	0,00	6	6	0,00
2	19	0,00	6	7	9,96
2	20	0,00	6	8	23,33
2	21	0,00	6	9	43,23
2	22	0,00	6	10	137,78
2	23	0,00	6	11	328,00
3	0	0,00	6	12	454,63
3	1	0,00	6	13	409,20
3	2	0,00	6	14	401,84
3	3	0,00	6	15	221,04
3	4	0,00	6	16	93,74
3	5	0,00	6	17	14,82
3	6	0,00	6	18	0,00
3	7	16,59	6	19	0,00
3	8	49,55	6	20	0,00
3	9	53,75	6	21	0,00
3	10	71,72	6	22	0,00
3	11	70,16	6	23	0,00

APÊNDICE C – Valores normalizados ocupação eletroposto Itacorubi

Valores normalizados ocupação eletroposto Itacorubi							
Horário	Segunda	Terça	Quarta	Quinta	Sexta	Sábado	Domingo
0	0,022	0,009	0,026	0,039	0,000	0,024	0,037
1	0,045	0,022	0,047	0,046	0,009	0,016	0,056
2	0,030	0,046	0,033	0,077	0,033	0,031	0,075
3	0,045	0,069	0,026	0,071	0,068	0,031	0,084
4	0,061	0,046	0,066	0,071	0,042	0,064	0,037
5	0,037	0,055	0,047	0,091	0,033	0,048	0,067
6	0,022	0,039	0,047	0,052	0,033	0,040	0,037
7	0,045	0,039	0,026	0,033	0,033	0,057	0,019
8	0,053	0,023	0,013	0,046	0,025	0,064	0,011
9	0,053	0,039	0,000	0,046	0,017	0,080	0,019
10	0,053	0,030	0,013	0,052	0,025	0,064	0,019
11	0,022	0,030	0,026	0,046	0,017	0,064	0,028
12	0,014	0,055	0,039	0,039	0,042	0,031	0,056
13	0,022	0,055	0,033	0,019	0,085	0,031	0,067
14	0,061	0,062	0,053	0,025	0,108	0,040	0,075
15	0,045	0,055	0,053	0,039	0,099	0,057	0,075
16	0,022	0,039	0,053	0,033	0,093	0,064	0,047
17	0,037	0,023	0,053	0,039	0,060	0,048	0,028
18	0,053	0,023	0,066	0,033	0,033	0,024	0,028
19	0,075	0,030	0,059	0,025	0,017	0,016	0,011
20	0,075	0,046	0,066	0,025	0,025	0,016	0,011
21	0,067	0,069	0,053	0,019	0,033	0,024	0,028
22	0,030	0,062	0,059	0,019	0,025	0,040	0,047
23	0,008	0,039	0,047	0,013	0,042	0,024	0,037

ANEXOS

ANEXO A – Dados de datasheet módulo fotovoltaico Jinko Solar

66QL6-BDV 650-670 Watt**Mechanical Characteristics**

Cell Type	N- type Mono-crystalline
No. of Cells	264 (66×4)
Dimensions	2382×1134×30 mm
Weight	32.5 kg
Front Glass	2.0 mm, Anti-reflection Coating
Back Glass	2.0 mm, Heat Strengthened Glass
Frame	Anodized Aluminium Alloy
Junction Box	IP68 Rated
Protection Class	Class II
IEC Fire Type	Class C
Connector Type	JK03M / JK03M2 / Others*
Output Cables (Including Connector)	4.0 mm ² (+): 600 mm , (-): 400 mm or Customized Length

Specifications (STC)

Maximum Power - Pmax [Wp]	650	655	660	665	670
Maximum Power Voltage - Vmp [V]	42.57	42.70	42.83	42.96	43.09
Maximum Power Current - Imp [A]	15.27	15.34	15.41	15.48	15.55
Open-circuit Voltage - Voc [V]	50.26	50.44	50.62	50.80	50.98
Short-circuit Current - Isc [A]	15.98	16.04	16.10	16.16	16.22
Module Efficiency STC [%]	24.06	24.25	24.43	24.62	24.80
Bifacial Factor	85 ± 5%				
Power Tolerance	0 ~ +3 %				
Temperature Coefficient of Pmax	-0.26 %/°C				
Temperature Coefficient of Voc	-0.24 %/°C				
Temperature Coefficient of Isc	0.046 %/°C				

STC: Irradiance 1000W/m², Cell Temperature 25°C, AM=1.5

ANEXO B – Dados de datasheet BYD Dolphin Active

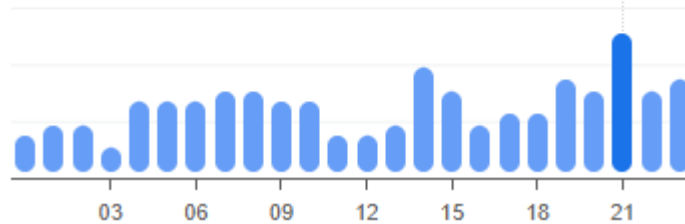
Battery	Active	
Battery type		
Battery capacity (kWh)	44.9	
Battery position		
Nominal voltage (V)	332.8	
Capacity (Ah)	135	
Battery weight (kg)	331 (±3%)	
Charging Time²	Active	Boost
AC charge (7kW 1-phase charger) 0-100%	7 h 18 min	
AC charge (11kW 3-phase charger) 0-100%	-	
DC charge (150kW charger) SOC 0-80%	42 min	
DC charge (150kW charger) SOC 10%-80%	38 min	
DC charge (150kW charger) SOC 30%-80%	28 min	

ANEXO C - Horários de pico do eletroposto Ilha Bela Itacorubi

Horários de pico ?

SEG. TER. QUA. QUI. SEX. SÁB. DOM.

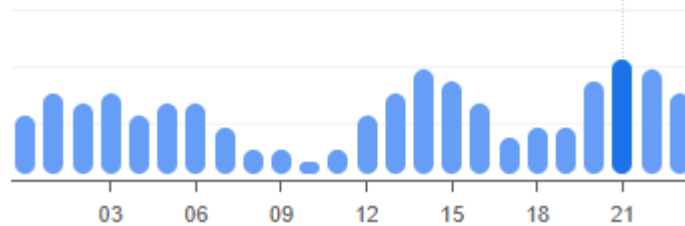
21:00: Geralmente é o horário mais movimentado



Horários de pico ?

SEG. TER. QUA. QUI. SEX. SÁB. DOM.

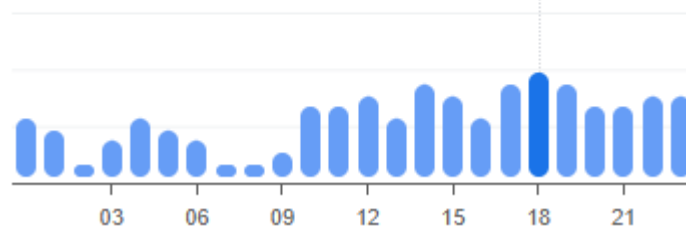
21:00: Geralmente um pouco movimentado



Horários de pico ?

SEG. TER. QUA. QUI. SEX. SÁB. DOM.

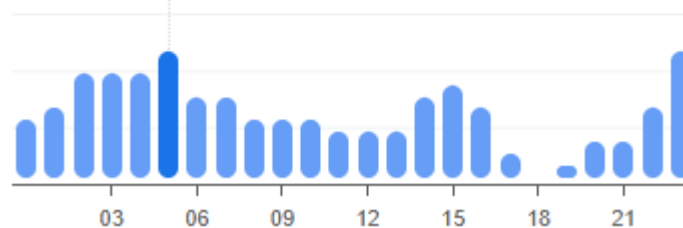
18:00: Geralmente um pouco movimentado



Horários de pico ?

SEG. TER. QUA. QUI. SEX. SÁB. DOM.

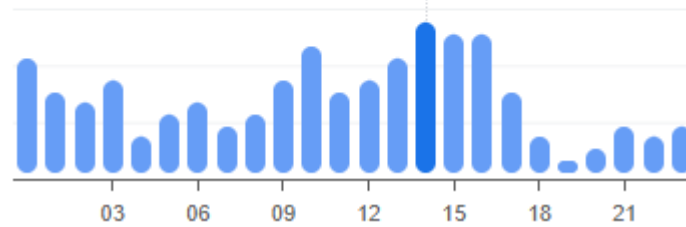
05:00: Geralmente é o horário mais movimentado



Horários de pico ?

SEG. TER. QUA. QUI. SEX. SÁB. DOM.

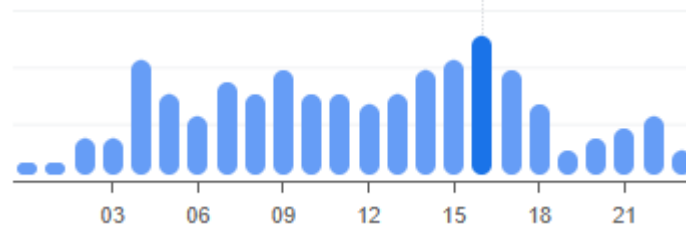
14:00: Geralmente é o horário mais movimentado



Horários de pico ?

SEG. TER. QUA. QUI. SEX. SÁB. DOM.

16:00: Geralmente é o horário mais movimentado



Horários de pico ?

SEG. TER. QUA. QUI. SEX. SÁB. DOM.

22:00: Geralmente um pouco movimentado

