

**UNIVERSIDADE DE CAXIAS DO SUL**

**FABIO MATEUS TODESCHINI**

**ANÁLISE DO CARREGAMENTO ELÉTRICO VEICULAR PELO SISTEMA  
FOTOVOLTAICO *OFF-GRID***

**BENTO GONÇALVES**

**2024**

**FABIO MATEUS TODESCHINI**

**ANÁLISE DO CARREGAMENTO ELÉTRICO VEICULAR PELO SISTEMA  
FOTOVOLTAICO *OFF-GRID***

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito parcial para aprovação na disciplina de TCC II, ao curso de graduação em Engenharia Elétrica no Campus Universitário de Bento Gonçalves da Universidade de Caxias do Sul.

Orientador: Prof. Me. Tiago Cassol Severo

**BENTO GONÇALVES**

**2024**

**FABIO MATEUS TODESCHINI**

**ANÁLISE DO CARREGAMENTO ELÉTRICO VEICULAR PELO SISTEMA  
FOTOVOLTAICO *OFF-GRID***

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito parcial para aprovação na disciplina de TCC II, ao curso de graduação em Engenharia Elétrica no Campus Universitário de Bento Gonçalves da Universidade de Caxias do Sul.

Orientador: Prof. Me. Tiago Cassol Severo

**Aprovado em** \_\_\_/\_\_\_/\_\_\_

**Banca examinadora**

---

Prof. Me. Tiago Cassol Severo

Orientador / Universidade de Caxias do Sul

---

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Marilda Machado Spindola

Professor convidado / Universidade de Caxias do Sul

---

Prof. Dr. Alexandre Mesquita

Professor convidado / Universidade de Caxias do Sul

## RESUMO

Este estudo apresenta uma análise de eletropostos baseados em sistemas solares *off-grid*. A integração de veículos elétricos com sistemas de energia fotovoltaica mostra potencial positivo, sendo capaz de carregar esses veículos de maneira eficiente. Nesse contexto, é essencial calcular a capacidade de sistemas fotovoltaicos *off-grid*, assegurando a infraestrutura adequada para a instalação de módulos solares e pontos de recarga. A análise considera a complementaridade desses sistemas em diferentes regiões do país, levando em conta o consumo de energia para recarga veicular, o dimensionamento correto sem acesso à rede elétrica, os modelos de veículos elétricos disponíveis, seu consumo e autonomia, além de uma comparação de custos em várias regiões do Brasil. A metodologia desenvolvida analisou a implementação de eletropostos *off-grid* nas cinco regiões do Brasil e seus resultados. Concluiu-se que a viabilidade dos eletropostos *off-grid* é desafiadora, com longos períodos de *payback* e baixos retornos sobre investimento (ROI), especialmente no curto e médio prazo. A região Nordeste mostrou-se mais favorável devido aos menores custos e maior eficiência energética, enquanto o Sul apresentou maiores desafios devido à necessidade de mais baterias e módulos. Para aumentar a viabilidade econômica, recomenda-se negociar melhores preços para equipamentos, buscar incentivos fiscais, diversificar serviços oferecidos nos eletropostos e formar parcerias estratégicas. A implementação adequada pode promover a sustentabilidade energética, embora as condições atuais ainda apresentem desafios significativos.

Palavras-chave: carros elétricos; energia fotovoltaica; armazenamento; equipamentos.

## **ABSTRACT**

This study presents an analysis of electric vehicle charging stations (eletropostos) based on off-grid solar systems. The integration of electric vehicles with photovoltaic energy systems shows positive potential, being able to efficiently charge these vehicles. In this context, it is essential to calculate the capacity of off-grid photovoltaic systems, ensuring adequate infrastructure for the installation of solar modules and charging points. The analysis considers the complementarity of these systems in different regions of the country, taking into account the energy consumption for vehicle recharging, the correct sizing without access to the electrical grid, the available electric vehicle models, their consumption and range, as well as a cost comparison across various regions of Brazil. The developed methodology analyzed the implementation of off-grid charging stations in the five regions of Brazil and their results. It was concluded that the viability of off-grid charging stations is challenging, with long payback periods and low returns on investment (ROI), especially in the short and medium term. The Northeast region proved to be more favorable due to lower costs and higher energy efficiency, while the South presented greater challenges due to the need for more batteries and modules. To increase economic viability, it is recommended to negotiate better equipment prices, seek tax incentives, diversify services offered at the charging stations, and form strategic partnerships. Proper implementation can promote energy sustainability, although current conditions still present significant challenges.

Keywords: electric cars; photovoltaic energy; storage; equipment.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1- Composição da matriz energética brasileira.....	15
Figura 2 - Energia de fontes renováveis e não renováveis no Brasil e no mundo ....	15
Figura 3 - Matriz Elétrica Brasileira 2022.....	16
Figura 4 - Curva característica I-V de um módulo fotovoltaico .....	21
Figura 5 - Curva característica P - V. ....	21
Figura 6 - Influência radiação solar na operação do módulo fotovoltaico .....	22
Figura 7 - Influência temperatura no módulo fotovoltaico .....	23
Figura 8 - Onda senoidal pura, modificada e quadrada.....	27
Figura 9 - Associação de baterias .....	29
Figura 10 - Estoque global de carros elétricos 2010-2022 .....	31
Figura 11 - Topologia/arquitetura de um sistema de veículo elétrico.....	33
Figura 12 - Motores elétricos veiculares.....	34
Figura 13 - Etapas do TCC. ....	39
Figura 14 - Tempo estimado de carregamento das baterias do veículo em relação a porcentagem de carregamento. ....	52
Figura 15 - Relação entre porcentagem carga bateria versus potência de recarga ..	53
Figura 16 - Relação diferença potência do SFV nas regiões brasileiras.....	55
Figura 17 - Área de Instalação dos Módulos Fotovoltaicos (m <sup>2</sup> ) .....	56
Figura 18 - Quantidade baterias em relação ciclos de descarga .....	57
Figura 19 - Potência do sistema fotovoltaico eletroposto avançado .....	58
Figura 20 - Área de instalação dos módulos fotovoltaicos nas regiões brasileiras ...	59
Figura 21 - Quantidade de baterias em relação % de descarga .....	60
Figura 22 - Potências ajustadas pelo fator de correção dos eletropostos modulares nas regiões brasileiras .....	62
Figura 23 - Potência dos eletropostos avançados nas regiões brasileiras ajustada pelo fator de correção .....	63
Figura 24 - Ajuste fator de correção energética.....	63
Figura 25 - Ajuste energia corrigida do eletroposto avançado.....	64
Figura 26 - Banco de baterias do eletroposto modular .....	65
Figura 27 - Banco de baterias eletroposto avançado .....	65
Figura 28 - Área do sistema fotovoltaico do eletroposto modular .....	66

Figura 29 - Área do sistema fotovoltaico do eletroposto avançado.....	67
Figura 30 - Custo do eletroposto modular com dois pontos recarga por região.....	69
Figura 31 - Relação entre custo total e receita nas regiões brasileiras.....	70
Figura 32 - Retorno sobre Investimento ROI.....	72
Figura 33 - Tempo de retorno do investimento (Payback) por região .....	72

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Eficiência módulos fotovoltaicos em função da sua construção.....	20
Tabela 2 - Características dos respectivos cabos nas normas.....	24
Tabela 3 - Análises das necessidades elétricas do eletroposto modular em cada região do Brasil.....	54
Tabela 4 - Eletroposto Avançado.....	57
Tabela 5 - Fator de correção para cada região e voltada ao dimensionamento do sistema <i>off-grid</i> .....	61
Tabela 6- Correção do Fator dos eletropostos modular em função das regiões.....	61
Tabela 7- Correção do Fator dos eletropostos avançado em função das regiões.....	62
Tabela 8- Custo dos eletropostos nas regiões brasileiras.....	71

## LISTAS DE SIGLAS

ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
ABSOLAR	Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica
BEV	Veículos elétricos 100% a bateria
CA	Corrente Alternada
CC	Corrente Contínua
CCS	Combo Charging System
CdTe	Telureto de cádmio
CIGS	Cobre-índio-gálio-Selênio
HEV	Veículos elétricos híbridos
IEA	Internacional Energy Agency
KERS	Kinetic Energy Recovery System
LFP	Lítio-Ferro-Fosfato
MPPT	Maximum Power Point Tracking
PEV	Plug-in Electric Vehicles
PHEV	Veículos elétricos híbridos plug-in
PMSM	Motor Síncrono de Imã Permanente
ROI	Retorno do Investimento
SP	Solar Pleno
SRM	Motor de Relutância Comutado
UV	Radiação Ultravioleta
VE	Veículo Elétrico

## SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO .....	12
1.1 JUSTIFICATIVA .....	13
1.2 OBJETIVO GERAL .....	13
1.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	13
<b>2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA .....</b>	<b>14</b>
2.1 ENERGIA SOLAR NO MUNDO E NO BRASIL .....	14
<b>2.2.2 Cabeamento .....</b>	<b>24</b>
<b>2.2.3 Inversor solar .....</b>	<b>25</b>
<b>2.2.4 Bateria .....</b>	<b>27</b>
2.3 HISTÓRICO E MERCADO DOS VEÍCULOS ELÉTRICOS .....	30
2.4 O VEÍCULO ELÉTRICO E O SISTEMA DE RECARGA VEICULAR .....	32
<b>2.4.1 Características Elétricas de Motores e Baterias de um VE .....</b>	<b>33</b>
<b>2.4.2 Sistemas de Recarga Veicular .....</b>	<b>34</b>
<b>2.4.3 Tomadas e Conectores .....</b>	<b>35</b>
<b>2.4.4 Fatores que afetam o desempenho de um carro elétrico .....</b>	<b>37</b>
<b>3 METODOLOGIA .....</b>	<b>39</b>
3.1 ESCOLHA DO VEÍCULO ELÉTRICO A SER UTILIZADO .....	39
3.2 CONSUMO E AUTONOMIA DE ENERGIA DOS VEÍCULOS ELÉTRICOS .....	40
3.3 ITENS PARA DEFINIÇÃO DO MODELO DO ELETROPOSTO .....	40
3.4 DIMENSIONAMENTO SISTEMA FOTOVOLTAICO <i>OFF-GRID</i> PARA RECARGA DA BATERIA VEICULAR .....	41
3.5 POPULAÇÃO/SITUAÇÃO DE ANÁLISE .....	45
3.6 CUSTOS COMPARATIVOS ENTRE AS REGIÕES DO BRASIL .....	45
3.7 VIABILIDADE ECONÔMICA DOS ELETROPOSTOS .....	45
3.8 MODELO E CARACTERÍSTICAS DO VEÍCULO UTILIZADO .....	47
3.9 DEFINIÇÃO DOS ELETROPOSTOS .....	47
3.10 DEFINIÇÃO DO SISTEMA <i>OFF-GRID</i> PARA O ELETROPOSTO .....	48
<b>4 RESULTADOS E ANÁLISES .....</b>	<b>50</b>
4.1 POTENCIAL SOLAR ENERGÉTICO DAS REGIÕES BRASILEIRAS .....	50
4.2 MODELO E CARACTERÍSTICAS DO VEÍCULO A SER UTILIZADO .....	50
4.3 ELETROPOSTOS MODULARES E AVANÇADOS .....	51
4.4 SISTEMA <i>OFF-GRID</i> PARA O ELETROPOSTO .....	53
4.5 ELETROPOSTO MODULAR .....	54

4.6 ELETROPOSTO AVANÇADO .....	57
4.7 ELETROPOSTOS <i>OFF-GRID</i> EM RELAÇÃO AS CONDIÇÕES CLIMÁTICAS .....	60
4.8 PRECIFICAÇÃO DOS ELETROPOSTOS POR REGIÃO .....	67
<b>4.8.1 Identificação dos componentes e custos unitários</b> .....	<b>67</b>
<b>4.8.2 Aplicação dos fatores de correções regionais</b> .....	<b>68</b>
<b>4.8.3 Receita diária</b> .....	<b>70</b>
<b>4.8.4 Receita anual</b> .....	<b>70</b>
<b>4.8.5 Comparação de receita anual e custo total</b> .....	<b>70</b>
<b>5 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES</b> .....	<b>73</b>
5.1 CONCLUSÕES .....	73
5.2 RECOMENDAÇÕES .....	75
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>77</b>
APÊNDICE A – MEMORIAL DE CÁLCULO .....	80
ANEXO A – <i>DATASHEET</i> DO MAPA SOLARIMÉTRICOS BRASILEIRO .....	89
ANEXO B – <i>DATASHEET</i> DO VEÍCULO .....	90
ANEXO C – <i>DATASHEET</i> DOS MÓDULOS FOTOVOLTAICOS .....	91
ANEXO D – <i>DATASHEET</i> DAS BATERIAS .....	92
ANEXO E – <i>DATASHEET</i> DO CARREGADOR VEÍCULAR .....	93
ANEXO F – <i>DATASHEET</i> DOS INVERSORES .....	94
ANEXO G – <i>DATASHEET</i> DO ORÇAMENTO INVERSORES, PAINÉIS, BATERIAS E ACESSÓRIOS .....	95
ANEXO H – <i>DATASHEET</i> ORÇAMENTO CARREGADOR VEICULAR .....	96

## 1 INTRODUÇÃO

Os veículos elétricos (VE) estão emergindo como uma alternativa viável aos veículos movidos a combustíveis fósseis, resultando em uma redução significativa nas emissões de poluentes. Simultaneamente, diante da busca por fontes renováveis, a energia fotovoltaica tem experimentado um crescimento exponencial na geração global de eletricidade. Sua característica fundamental é a capacidade de gerar energia limpa a partir do sol, com uma considerável diminuição nas emissões de gases de efeito estufa em comparação com as fontes convencionais de energia (Fernández, 2020).

Contudo, a eficiência e a autonomia dos veículos elétricos representam desafios críticos para uma adoção em massa. A integração de sistemas de energia fotovoltaica no processo de carregamento pode desempenhar um papel essencial nesse contexto. À medida que o armazenamento de energia avança e a infraestrutura de carregamento se expande, a convergência dessas duas tecnologias proporciona uma perspectiva para um transporte mais sustentável e acessível a todos. (Cano, 2018).

As baterias de íons de lítio são amplamente utilizadas devido à alta densidade de energia, baixa autodescarga e longa vida útil, tornando-as ideais para dispositivos portáteis e veículos elétricos. No entanto, apresentam desafios como custo elevado de produção, riscos de superaquecimento e incêndio, e complexidade na reciclagem, além de impactos ambientais significativos. (Rahimi, 2021).

Esses desafios demandam uma infraestrutura de recarga mais ampla e eficiente, além de soluções para a insuficiência na autonomia das baterias e a gestão dos custos de aquisição e manutenção.

Diante desse cenário, este trabalho propõe analisar a viabilidade de um sistema de carregamento veicular alimentado por um sistema fotovoltaico *off-grid* em diversas regiões do Brasil. Serão considerados o potencial solar e a viabilidade técnica e financeira dessa aplicação conjunta, visando contribuir para a expansão de soluções sustentáveis no contexto do transporte elétrico.

Para apresentar as análises e resultados deste Trabalho de Conclusão de Curso (TCC), ele foi dividido em cinco capítulos, mais apêndice, anexos e referências.

No primeiro capítulo, são apresentadas as justificativas e os objetivos do TCC. No segundo capítulo, são apresentados os conceitos mais relevantes sobre veículos elétricos e energia solar. No terceiro capítulo, é apresentada a metodologia utilizada para encontrar os resultados. No quarto capítulo, são abordados os resultados deste TCC com gráficos e tabelas obtidos, além da discussão desses resultados em relação aos objetivos e à literatura. No quinto capítulo, são apresentadas as conclusões. Posteriormente, nos anexos, são incluídos todos os *datasheets* utilizados neste TCC, e no apêndice há o memorial de cálculo para que possa ser compreendido em detalhes. Sugestões para futuras pesquisas e, ao final, as referências.

### 1.1 JUSTIFICATIVA

O objetivo deste trabalho é realizar uma análise da sinergia entre um sistema de carregamento elétrico veicular e um sistema fotovoltaico em diversas regiões do país. Nessa perspectiva, como uma alternativa para mitigar os impactos ambientais, o sistema fotovoltaico é reconhecido como uma fonte de energia renovável. Sua capacidade de gerar energia para recarregar veículos elétricos representa uma maneira sustentável e limpa de aproveitar o potencial natural dessa fonte, tornando-a acessível a todos.

### 1.2 OBJETIVO GERAL

O objetivo geral é analisar a viabilidade de implementação de um sistema de carregamento veicular abastecido por um sistema fotovoltaico *off-grid* em diferentes regiões do Brasil.

### 1.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Para alcançar o objetivo geral, são propostos os seguintes objetivos específicos:

- Analisar o consumo elétrico para o carregamento dos veículos elétricos;
- Analisar o potencial solar energético das regiões brasileiras;
- Dimensionar o sistema fotovoltaico *off-grid* para diversas regiões do Brasil;
- Analisar os custos envolvidos para a implementação de um sistema de recarga veicular solar *off-grid*.

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Esse capítulo tem a finalidade de apresentar o cenário atual de geração de energia fotovoltaica e os veículos elétricos, como funcionam basicamente, o consumo de energia elétrica fotovoltaica necessário para a recarga dos veículos elétricos, as características básicas desses sistemas e os detalhes pertinentes envolvidos no estudo de viabilidade em regiões do Brasil.

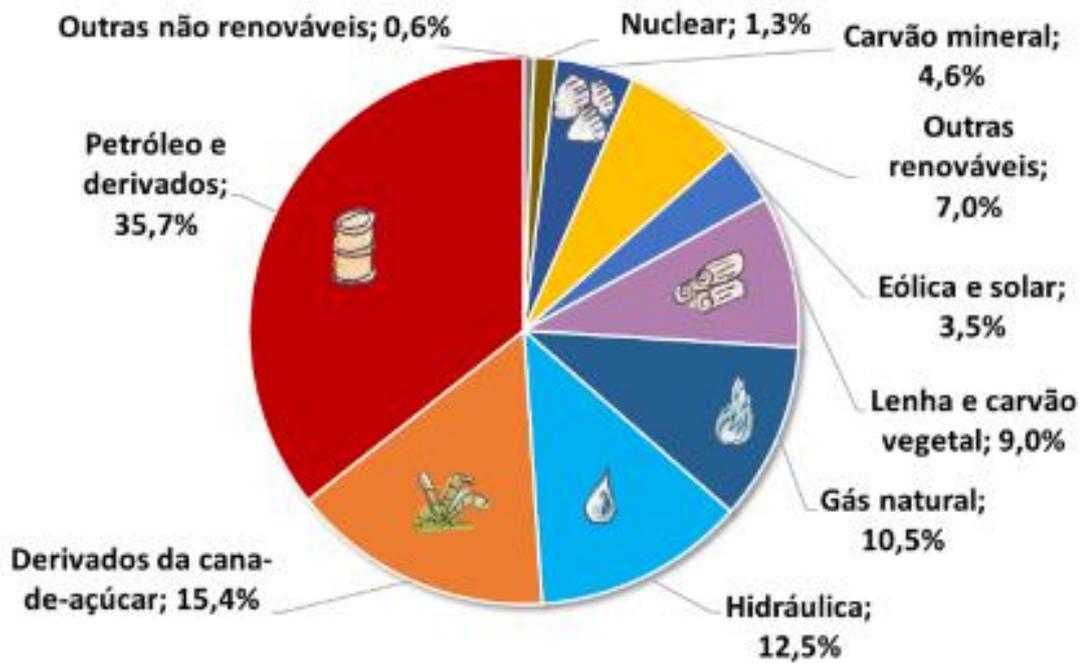
### 2.1 ENERGIA SOLAR NO MUNDO E NO BRASIL

A energia solar desempenha um papel essencial na sustentação da vida em nosso planeta e na alimentação de muitos processos naturais que ocorrem na Terra. O conceito científico de energia, derivado da interação entre dois sistemas físicos, pode ser definido como a capacidade de realizar trabalho, sendo complexo de compreender devido à sua natureza como uma grandeza física com várias formas, sujeita a transformações através dos processos de conversão de energia (Hernandez Neto, 2017).

Dentre as diversas formas de energia existentes, destaca-se a energia solar fotovoltaica, que resulta da conversão da luz do Sol em eletricidade ou calor. Os módulos solares têm ganhado crescente popularidade devido à sua sustentabilidade e baixo impacto ambiental (Fernández, 2020).

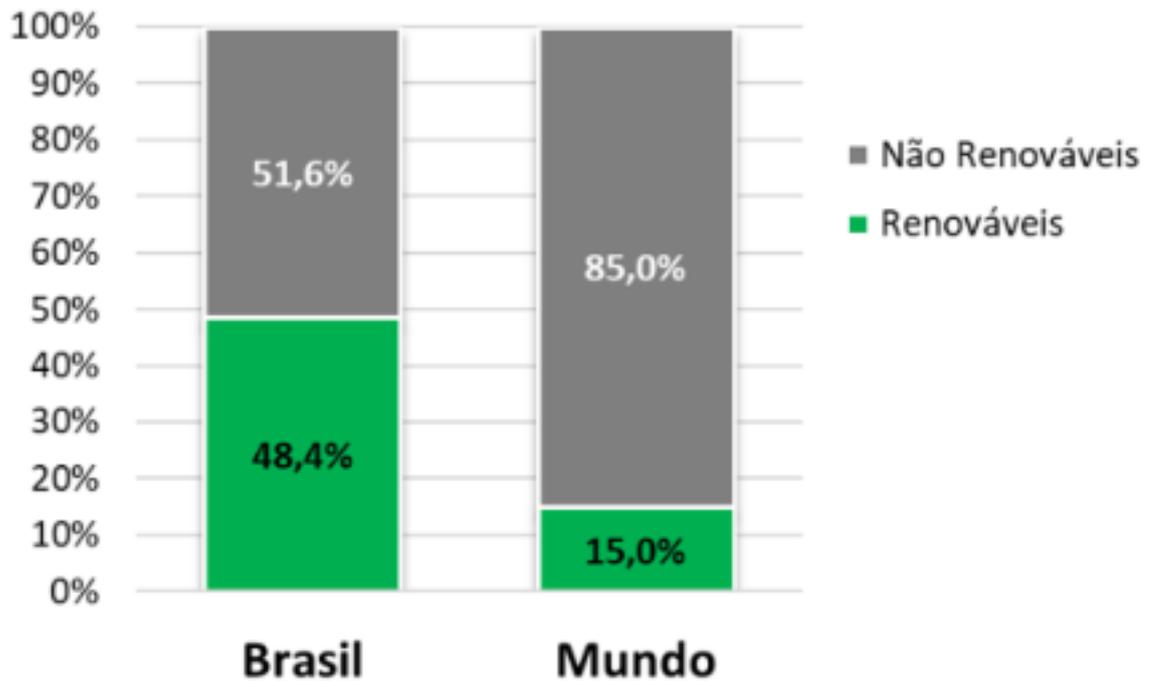
Na matriz energética brasileira, a energia solar fotovoltaica se destaca como uma das principais formas de energia, compartilhando espaço com a energia eólica. Atualmente, essa fonte representa 3,5% do total da matriz energética do Brasil (Figura 1). No que diz respeito às energias renováveis no país, essa categoria compreende 48,4%, enquanto 51,6% da matriz energética provêm de fontes não renováveis (Figura 2) (BNDES, 2022).

Figura 1- Composição da matriz energética brasileira



Fonte: BEN (2023).

Figura 2 - Energia de fontes renováveis e não renováveis no Brasil e no mundo

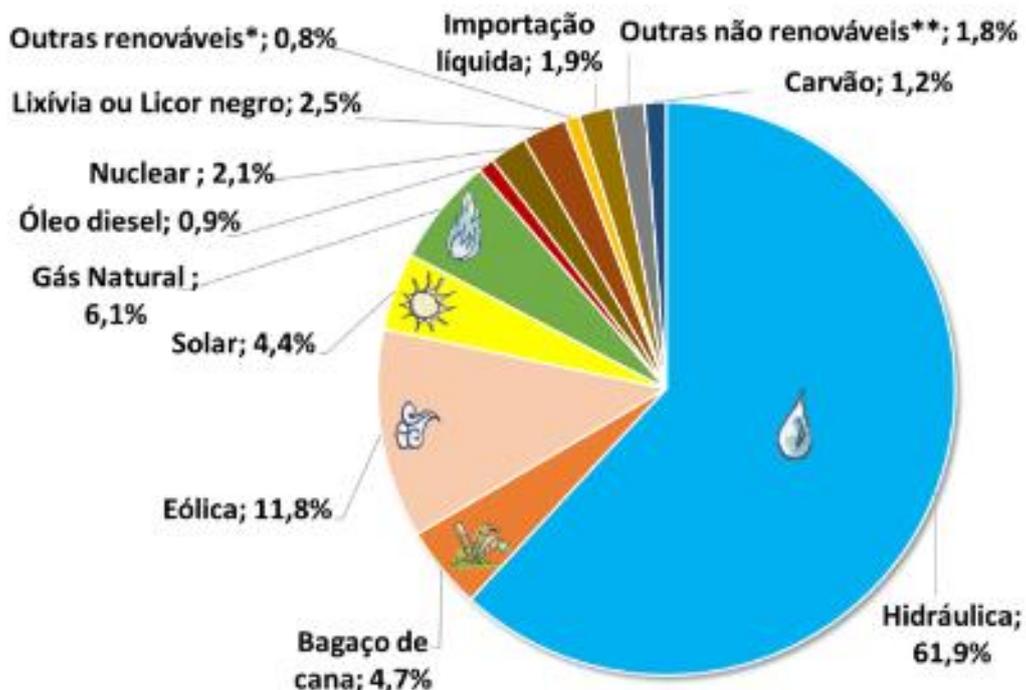


Fonte: BEN (2023).

A composição da matriz energética do Brasil difere significativamente da matriz energética global, pois refere-se à variedade de fontes de energia utilizadas por um país para suprir suas necessidades de eletricidade e combustíveis. No caso brasileiro, essa matriz é caracterizada por uma marcada dependência de fontes renováveis, com destaque para a energia hidrelétrica. Tal cenário é impulsionado pela abundância de recursos hídricos no país, que permite a geração de eletricidade por meio de usinas hidrelétricas, além do uso de fontes como biomassa e energia eólica.

Em contraste, a matriz energética global é mais diversificada, com muitos países dependendo predominantemente de fontes não renováveis, como petróleo, carvão e gás natural, para a produção de energia. Essa dependência pode contribuir para problemas ambientais e mudanças climáticas. Conseqüentemente, como evidenciado na Figura 3, a discrepância entre a matriz energética do Brasil e a matriz energética mundial é notável, destacando a ênfase brasileira em fontes renováveis. Este enfoque é resultado de anos de investimentos em energia hidrelétrica e, mais recentemente, de incentivos para a energia solar fotovoltaica (BNDES, 2022).

Figura 3 - Matriz Elétrica Brasileira 2022



Fonte: BEN (2023).

### 2.1.1 Potencial Solar Energético das Regiões Brasileiras

Os níveis de radiação solar em um plano horizontal na superfície da Terra variam ao longo das estações do ano, principalmente devido à inclinação do eixo de rotação terrestre em relação ao plano da órbita ao redor do Sol. Esses níveis também variam de acordo com a região, sendo influenciados principalmente pelas diferenças de latitude, condições meteorológicas e altitudes (Villalva, 2012).

Uma maneira conveniente de expressar o valor acumulado de energia solar ao longo de um dia é através do número de horas de Sol pleno. O parâmetro da insolação, expresso em watt-hora por metro quadrado por dia ( $\text{Wh/m}^2/\text{dia}$ ) e apresentado no Anexo A, é utilizado no cálculo da energia produzida pelo módulo fotovoltaico quando se dispõe de informações sobre a insolação do local de instalação do sistema. Esses dados podem ser obtidos em mapas solarimétricos que utilizam a média de insolação anual ou por meio de ferramentas computacionais (Villalva, 2012).

**Nordeste:** A região Nordeste apresenta o maior potencial solar do país, com níveis de radiação variando entre 5,5 e 6,5  $\text{kWh/m}^2/\text{dia}$ . A alta incidência de radiação solar durante todo o ano, combinada com pouca variação sazonal, torna a região ideal para a instalação de sistemas fotovoltaicos (INPE, 2020).

**Centro-Oeste:** O Centro-Oeste também possui um excelente potencial para a geração de energia solar, com níveis de radiação solar entre 5,5 e 6,0  $\text{kWh/m}^2/\text{dia}$ . O clima predominantemente seco favorece a eficiência dos sistemas fotovoltaicos (INPE, 2020).

**Sudeste:** A região Sudeste tem um potencial solar moderado, com níveis de radiação entre 4,5 e 5,5  $\text{kWh/m}^2/\text{dia}$ . Apesar da maior nebulosidade e variabilidade climática, a região ainda oferece boas condições para a geração de energia solar (INPE, 2020).

**Sul:** A região Sul possui o menor potencial solar do país, com níveis de radiação variando entre 4,0 e 5,0  $\text{kWh/m}^2/\text{dia}$ . A maior nebulosidade e as frequentes frentes frias reduzem a eficiência dos sistemas fotovoltaicos, mas ainda é possível explorar a energia solar em algumas áreas (INPE, 2020).

**Norte:** A região Norte apresenta um potencial solar razoável, com níveis de radiação entre 4,5 e 5,5  $\text{kWh/m}^2/\text{dia}$ . Apesar da alta umidade e densidade florestal,

áreas desmatadas e urbanas podem ser aproveitadas para a instalação de sistemas fotovoltaicos (INPE, 2020).

## 2.2 Sistema Fotovoltaico

Um sistema de energia solar fotovoltaica desempenha a função de captar a incidência de luz solar e convertê-la em energia elétrica. Esse processo ocorre devido à presença de células solares no sistema, que, ao serem expostas à luz solar, têm seus elétrons separados e movimentados, resultando na geração de uma tensão e corrente elétrica. As partes essenciais de um sistema fotovoltaico são descritas a seguir.

### 2.2.1 Módulos Solares

Os painéis ou módulos fotovoltaicos representam elementos essenciais no sistema de geração de energia, sendo responsáveis por definir a eficiência do sistema como um todo. A maioria dos módulos solares é fabricada a partir de silício, e sua eficiência é determinada pela pureza do material e pelo método de fabricação aplicado à placa. No entanto, também existem módulos fotovoltaicos feitos com outros materiais, como índio, gálio, elementos orgânicos, telureto de cádmio, entre outros. A durabilidade de um painel fotovoltaico pode ultrapassar os 30 anos, dependendo da matéria-prima utilizada e da qualidade do processo de fabricação (Villalva, 2012).

O método da insolação é válido ao considerar o uso de controladores de carga com a função do Ponto de Máxima Potência (MPP), visando extrair o máximo rendimento possível. Entretanto, a energia gerada é limitada pela eficiência dos módulos fotovoltaicos, e o valor fornecido pelos mapas solarimétricos representa a soma das insolações diárias dividida pelo número de dias. Esse método leva em conta a insolação média anual, podendo causar erros ao gerar falta de energia nos meses de inverno e excesso no verão. Para garantir maior precisão, é recomendado utilizar o cálculo com base na insolação do pior mês do ano para sustentar o abastecimento de energia nesses períodos (Villalva, 2012).

A taxa de insolação média diária por metro quadrado na maioria das localidades brasileiras é de 5000 Wh/m<sup>2</sup>/dia, enquanto em algumas regiões do sul do país a média fica em 4500 Wh/m<sup>2</sup>/dia e no Nordeste pode ultrapassar 6000 Wh/m<sup>2</sup>/dia. Considerando as características do módulo fotovoltaico para calcular a energia

produzida com base na insolação, é necessário levar em conta suas dimensões físicas (para calcular a área) e eficiência.

No método por corrente máxima do módulo, presume-se que não há possibilidade de máximo aproveitamento da energia solar devido à ausência de um controlador com MPPT. Nesse caso, o módulo fica impossibilitado de operar no ponto de máxima potência, e a produção de eletricidade é limitada ao ponto de operação determinado pela tensão do banco de baterias. Para o cálculo por esse método, são necessárias informações presentes nas folhas de dados dos módulos, sendo possível usar as características em STC (condições padrão de teste do módulo) ou NOCT (condições normais de operação do módulo). As condições NOCT são mais apropriadas para esse cálculo, pois estão mais próximas das características reais de operação (Villalva, 2012).

O primeiro passo é buscar informações necessárias na folha de dados dos módulos fotovoltaicos. Em seguida, o valor da corrente de curto-circuito do módulo ( $I_{sc}$ , NOCT) é de grande interesse. Esse valor é quase a corrente fornecida pelo módulo dentro da faixa de operação, entre 10V e 15V, a faixa de tensão que uma bateria pode apresentar em seus terminais. Quando conectado à bateria através de um controlador simples sem o recurso de MPPT, a tensão do módulo é idêntica à da bateria (Villalva, 2012).

A Equação 1 ilustra um exemplo de cálculo do número de horas de sol pleno (SP) para um caso em que a energia diária acumulada é de 6 kWh/m<sup>2</sup>.

$$SP = \frac{6[\text{kWh/m}^2]}{1[\text{kWh/m}^2]} = 6[\text{horas/dia}] \quad (1)$$

A corrente elétrica gerada por um módulo fotovoltaico de silício é diretamente dependente de sua área, pois decorre da quantidade de luz que incide sobre ele. Quanto maior a capacidade de captação de luz, maior a corrente absorvida pelo módulo fotovoltaico. Os módulos de silício monocristalino destacam-se atualmente por apresentar uma eficiência expressiva, fornecendo em média 8 A de corrente, enquanto os demais modelos registram correntes na faixa média de 2 A (Villalva, 2012).

A Tabela 1 compara as tecnologias fotovoltaicas disponíveis, evidenciando que células e módulos de silício monocristalino e policristalino, exceto os híbridos,

apresentam as maiores eficiências de conversão, tanto em laboratório quanto em produtos comercialmente disponíveis.

Tabela 1 - Eficiência módulos fotovoltaicos em função da sua construção

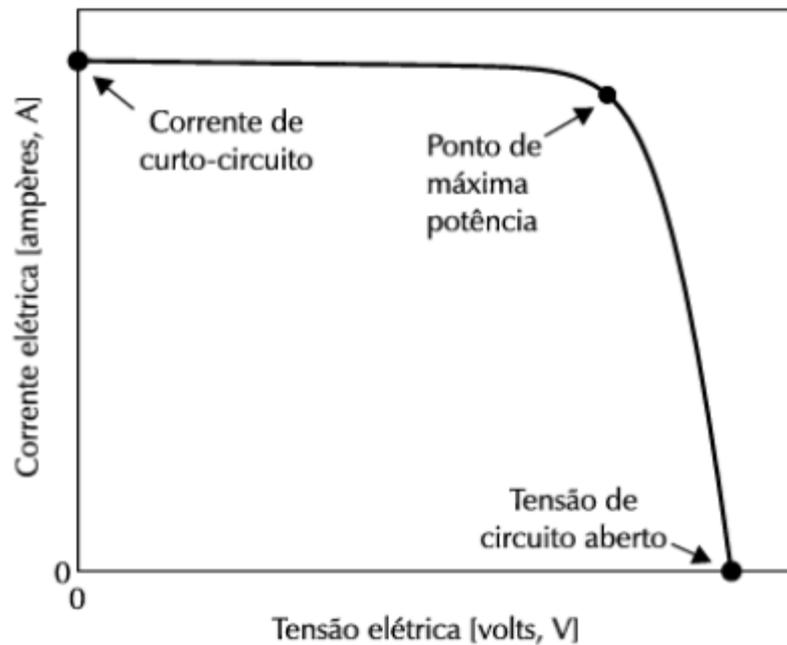
Material da célula fotovoltaica	Eficiência da célula em laboratório	Eficiência da célula comercial	Eficiência dos módulos comerciais
Silício monocristalino	24,7%	17% a 23%	15% a 22%
Silício policristalino	19,8%	15%	14% a 20%
Silício cristalino de filme fino	19,2%	9,5%	7,9%
Silício amorfo	18%	15%	14,5%
Silício micromorfo	12%	10,7%	10%
Célula solar híbrida	30%	28%	26%
CIS, CIGS	18,8%	16%	14%
Telureto de cádmio	24%	22%	18%

Fonte: (Adaptado de Villalva, 2012).

Os módulos fotovoltaicos de silício cristalino disponíveis atualmente apresentam, em média, uma potência de 400W e 8 A. No entanto, eles não se comportam como fontes elétricas convencionais, pois não exibem uma tensão de saída constante em seus terminais; a tensão depende da corrente e vice-versa.

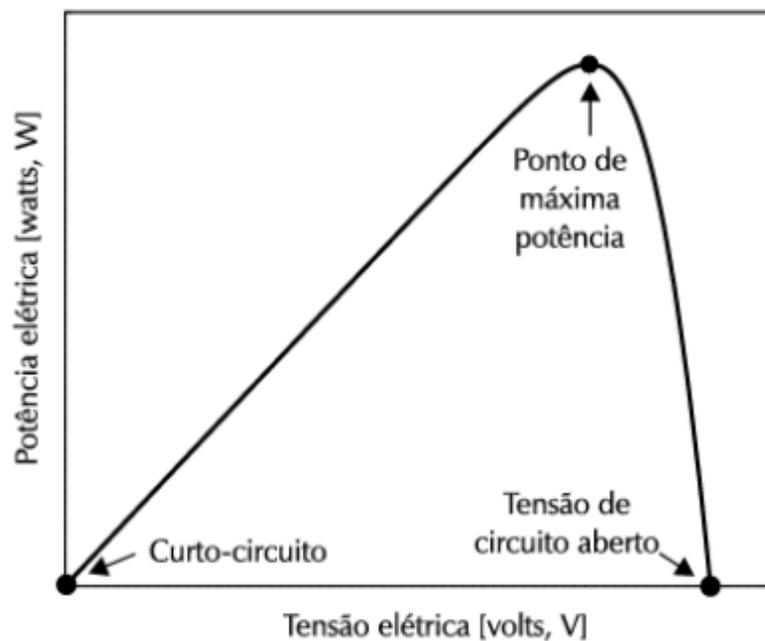
A relação entre a tensão e a corrente de saída é representada na curva  $I - V$ , conforme ilustrado na Figura 4. Todos os módulos fotovoltaicos possuem características semelhantes nessa curva. Para cada curva  $I - V$  existe uma curva  $P - V$ , como evidenciado na Figura 5, que demonstra como a potência varia em função da tensão. Ao observar essa figura, destacam-se três pontos significativos na curva  $I - V$ : ponto de corrente de curto-circuito, ponto de máxima potência e ponto de tensão de circuito aberto.

Figura 4 - Curva característica I-V de um módulo fotovoltaico



Fonte: Villalva (2012).

Figura 5 - Curva característica P - V.



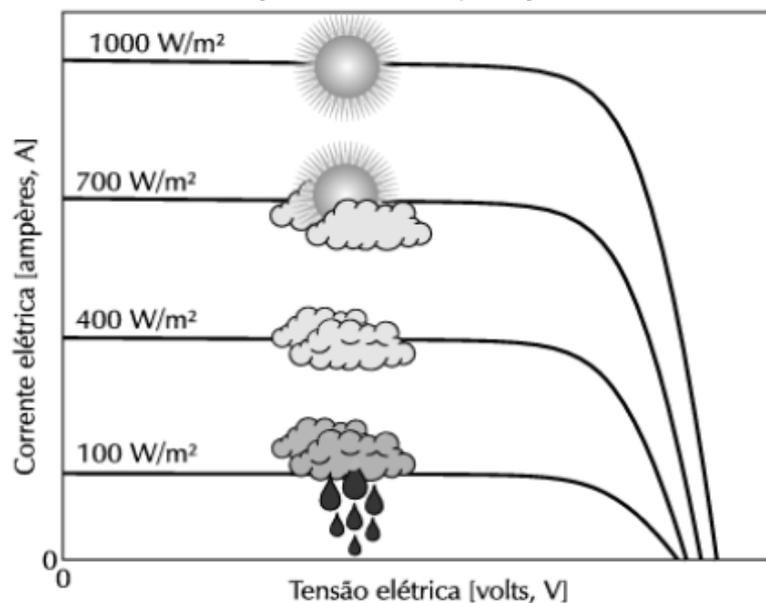
Fonte: Villalva (2012).

Há um ponto único nas curvas  $I - V$  e  $P - V$  que corresponde à situação em que o módulo fornece potência máxima. Idealmente, operar nesse ponto é desejável, pois resulta em uma produção de energia mais eficiente. Para compreender como a tensão e a corrente variam de acordo com as condições de operação em um módulo fotovoltaico, é essencial analisar essa relação. A corrente de curto-circuito ( $I_{sc}$ ), sendo

a corrente máxima de um módulo, não resulta na produção de energia, pois não há diferença de voltagem; os fios positivo e negativo estão em contato direto. Por outro lado, a tensão de circuito aberto ( $V_{oc}$ ), sendo a tensão máxima de uma célula, também não gera energia, pois o circuito está aberto. O ponto em que o módulo produz a máxima potência é conhecido como o ponto de potência máxima (MPP) (Villalva, 2012).

A Figura 6 ilustra como a intensidade da luz solar impacta a curva  $I - V$  de um módulo fotovoltaico.

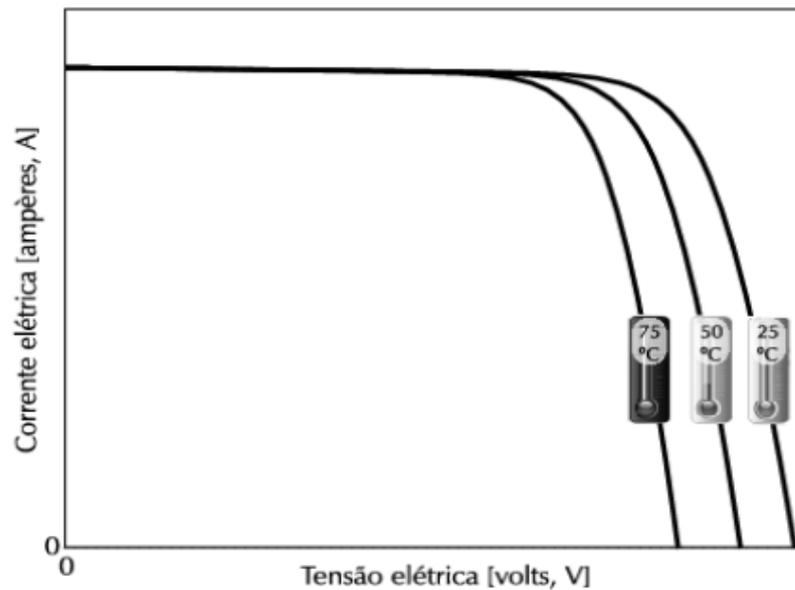
Figura 6 - Influência radiação solar na operação do módulo fotovoltaico



Fonte: Villalva (2012).

A temperatura exerce influência na tensão fornecida pelos terminais de um módulo fotovoltaico, impactando diretamente na potência disponibilizada. Em temperaturas mais baixas, as tensões tendem a ser mais elevadas, enquanto em temperaturas mais altas, elas são reduzidas, conforme ilustrado na Figura 7. Contudo, a corrente fornecida pelo módulo não se altera com a temperatura. Uma implicação dessa variação é que, ao aumentar a temperatura, a potência do módulo diminui, uma vez que a potência é o produto entre  $I - V$  do módulo (Villalva, 2012).

Figura 7 - Influência temperatura no módulo fotovoltaico



Fonte: Villalva (2012).

A realização do cálculo de eficiência requer dados como largura e altura da placa solar e sua potência, conforme as Equações 2 e 3

Exemplo: Painel solar de 580W, modelo TS580S8B-144NT, medindo 2,278m de altura x 1,134m de largura.

Calcular a área do painel:

$$A = \text{altura} \times \text{largura} \quad (2)$$

$$A = 2,278 \times 1,134$$

$$A = 2,58 \text{ m}^2$$

Dividir a potência do painel pela sua área

$$EF = \frac{\text{Pot}_{\text{painel}}}{\text{área}} \quad (3)$$

$$EF = \frac{580}{2,58} = 224,80 \text{ W/m}^2$$

Cálculo da eficiência em porcentagem

$$\%EF = \frac{EF}{10} \quad (4)$$

$$\%EF = \frac{224,80}{10} = 22,48\%$$

Portanto, o módulo fotovoltaico apresenta uma eficiência de 22,48% nas condições padrão de teste.

## 2.2.2 Cabeamento

Os cabos disponíveis no mercado apresentam, predominantemente, três tipos de isolamento: PVC, EPR e XLPE, cada um com normas específicas e características adequadas para diferentes faixas de tensão de operação. O material isolante e a cobertura exercem influência direta na capacidade de um cabo operar em condições de calor, na resistência de isolamento e em outras propriedades mecânicas, como elasticidade, durabilidade e proteção contra radiação ultravioleta (UV). As normas que regem os sistemas fotovoltaicos, como a NBR 16690 e a NBR 16612, detalham as características elétricas e mecânicas dos cabos utilizados em cada trecho de uma instalação, conforme apresentado na Tabela 2.

Tabela 2 - Características dos respectivos cabos nas normas

Propriedade	Característica dos cabos				
	Cabo Solar NBR 16612	Cabo EPR ou XLPE "1 ~ 35kV" – NBR 7286/7287	Cabos de PVC "1kV" – NBR 7288	Cabo EPR "750V" – NBR 9114	Cabo PVC "750V" – NBR NM237-3
Condutor de cobre estanhado	Sim	Opcional	Opcional	Opcional	Opcional
Classe de isolamento	Min. 1,5kVcc Máx. 1,8kVcc	1kVca até 35kVca	1kVca até 6kVca	Até 750V	Até 750V
Proteção UV	Sim	Opcional	Opcional	Opcional	Opcional
Dupla isolamento	Sim	Sim	Sim	Opcional	Não
Presença de material halogenado	Não	Não	Sim	Não	Sim
Compostos termofixos	Sim	Opcional	Não	Opcional	Não
Temperatura máxima em regime permanente – 90°C	Sim	Sim	Não	Sim	Não
Têmpera mole - flexível	Sim	Opcional	Opcional	Opcional	Opcional
Podem ser usados em série	Sim	Não	Não	Não	Não
Podem ser usados em sub-arranjo	Sim	Sim, se não exposto a UV e atender requisitos da NBR 16612	Não	Não	Não
Podem ser usados em arranjo	Sim	Sim, se não exposto a UV e atender requisitos da NBR 16612	Não	Não	Não

Fonte: Canal Solar (2023).

Os cabos dos circuitos de CC que compõem um sistema fotovoltaico devem seguir as especificações descritas na norma NBR 16690:

- Serem próprios para corrente contínua;
- Tensão de isolamento maior ou igual à tensão de aplicação daquele circuito;
- Proteção contra radiação UV, se expostos ao tempo;
- Não gerador de chamas;
- Ter dupla isolamento;

- Se expostos a ambiente salino, serem de cobre estanhado;
- Todos os condutores devem obrigatoriamente seguir a norma NBR 16612;
- Não permite isolamento e cobertura halogenados;
- Isolamento e cobertura devem ser de material termofixo;
- Tensão mínima de isolação de 1,5 kVcc e máxima de 1,8 kVcc (equivale a 0,6/1 kVca);
- Temperatura do condutor em regime permanente de até 90°C, permitindo operação a 120°C desde que não se ultrapasse 20.000 h de uso em temperatura ambiente de até 90°C;
- Condutor de cobre estanhado;
- Ter identificação “USO EM SISTEMA FOTOVOLTAICO” e “NBR 16612”;
- Ser de têmpera mole, isto é, flexível;
- Atender requisitos construtivos especiais como espessura das camadas e critérios de resistência mecânica, térmica e de envelhecimento (Canal Solar, 2023).

### 2.2.3 Inversor solar

Existem dois principais tipos de sistemas de geração de energia solar fotovoltaica: *on-grid* e *off-grid*. O sistema *on-grid* está conectado à rede elétrica da distribuidora de energia, possibilitando a injeção do excesso de energia gerada na rede. Já o sistema *off-grid* é utilizado em ambientes isolados da rede elétrica, sendo o foco deste trabalho.

O inversor desempenha um papel importante nesse contexto. Este equipamento converte eletricidade de tensão e corrente contínua (CC) gerada pelos módulos fotovoltaicos em tensão e corrente alternada (CA), essenciais para alimentar os consumidores que operam com corrente alternada. Os inversores são encontrados em potências e tensões de entrada padronizadas, como 12V, 24V, 48V, entre outros. Sistemas de maior potência, que possuem um maior número de módulos, necessitam de níveis elevados de tensão para evitar correntes elétricas elevadas (Villalva, 2012).

### 2.2.3.1 Principais características elétricas dos inversores

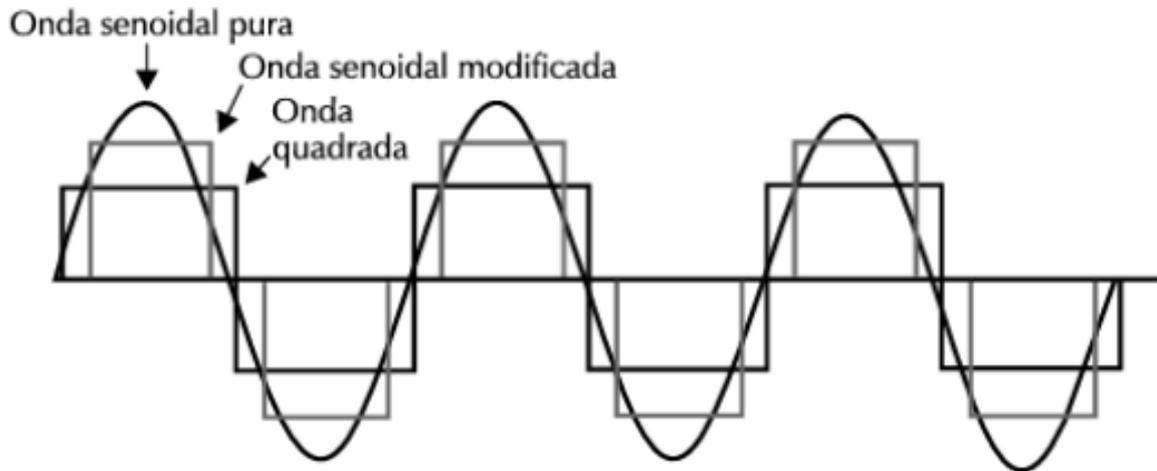
As características de um inversor solar abrangem diversos parâmetros essenciais, tais como potência nominal, potência máxima, tensão de entrada CC, tensão de saída CA, frequência de saída, regulagem de tensão, eficiência, forma de onda de saída, distorção harmônica, proteção de curto-circuito e proteção na reversão de polaridade.

A potência nominal é a capacidade que o inversor possui de fornecer em condições normais de operação e deve ser ajustada conforme a demanda dos equipamentos a serem alimentados pelo sistema. Já a potência máxima representa o limite de potência que o inversor pode fornecer em situações extremas de sobrecarga, conforme indicado nos dados do equipamento (Villalva, 2012).

A tensão de entrada CC refere-se à tensão nominal que ingressa no inversor e é especificada e padronizada pelo fabricante, podendo variar entre 12V, 24V, 48V e 72V. A tensão de saída CA é a tensão fornecida pelo inversor na saída de corrente alternada, podendo ser valores fixos ou ajustáveis, sendo comuns atualmente 110V, 220V e 380V. A frequência de saída representa a frequência da tensão na saída em corrente alternada, sendo padrão no Brasil 60Hz, enquanto alguns países adotam 50Hz. A regulagem de tensão corresponde à variação da tensão de saída quando o inversor está operando sob carga ou em vazio. A eficiência do inversor, medida pela relação entre a potência de saída e a potência de entrada, é um indicador fundamental de sua qualidade, sendo considerados eficientes aqueles com valores superiores a 90% (Villalva, 2012).

A forma de onda de saída, ilustrada na Figura 8, destaca três tipos de ondas produzidas pelos inversores: onda senoidal pura, que reproduz com fidelidade a tensão da rede elétrica; onda senoidal modificada; e onda quadrada, que geram interferências eletromagnéticas, não sendo ideais para equipamentos sensíveis. A distorção harmônica mede a pureza da tensão de saída, com 0% de distorção sendo ideal, indicando uma onda senoidal pura (Villalva, 2012).

Figura 8 - Onda senoidal pura, modificada e quadrada.



Fonte: Villalva (2012).

A proteção de curto-circuito indica a capacidade do inversor de suportar curtos-circuitos nos terminais de saída sem danos, com fusíveis de proteção adicionais. Inversores avançados possuem proteção eletrônica que limita a corrente de saída em casos de curto-circuito, evitando danos ao equipamento. A proteção na reversão de polaridade é essencial, pois respeitar as polaridades na entrada CC do inversor é fundamental. Inversores de qualidade incluem essa proteção, prevenindo danos em caso de inversão de polaridade e garantindo o funcionamento adequado do equipamento (Villalva, 2012).

#### 2.2.4 Bateria

Em um sistema *off-grid*, a necessidade de armazenar a energia elétrica gerada para uso posterior é fundamental. Dessa forma, um sistema fotovoltaico requer uma ou mais baterias estacionárias para o armazenamento de energia, uma vez que o consumo e a oscilação da radiação solar não ocorrem simultaneamente ao longo do tempo. Nas configurações autônomas desses sistemas fotovoltaicos, a presença de baterias é importante para estabilizar a tensão fornecida aos equipamentos, agindo como um acoplador entre o módulo fotovoltaico e o sistema, proporcionando uma tensão de trabalho constante (Villalva, 2012).

Existem diversas tecnologias de baterias utilizadas em sistemas *off-grid* ou híbridos, cada uma com características específicas que atendem a diferentes necessidades de durabilidade e desempenho. Entre essas, destacam-se as baterias

de chumbo-ácido, gel, seladas e AGM. Essas baterias foram desenvolvidas para aplicações que exigem longa durabilidade e a capacidade de serem descarregadas até uma porcentagem menor de sua carga máxima sem prejudicar o desempenho. Comparadas às baterias automotivas de chumbo-ácido, elas apresentam uma menor taxa de descarga, resultando em uma preservação mais eficaz da carga elétrica ao longo do tempo, mesmo durante períodos de inatividade. Nos sistemas fotovoltaicos, a carga das baterias é mantida pelo controlador de carga mesmo quando não estão em uso (Villalva, 2012).

As baterias estacionárias possuem maior capacidade de reserva em comparação às baterias automotivas tradicionais e suportam dezenas de ciclos de carga e descarga. Baterias automotivas, por outro lado, não foram projetadas para serem totalmente esgotadas de energia. Modelos específicos, como as baterias de NiCd, NiMH e VRLA, podem ser descarregadas até 90% sem comprometer sua vida útil e suportam um maior número de ciclos em comparação com as de eletrólito líquido (Villalva, 2012).

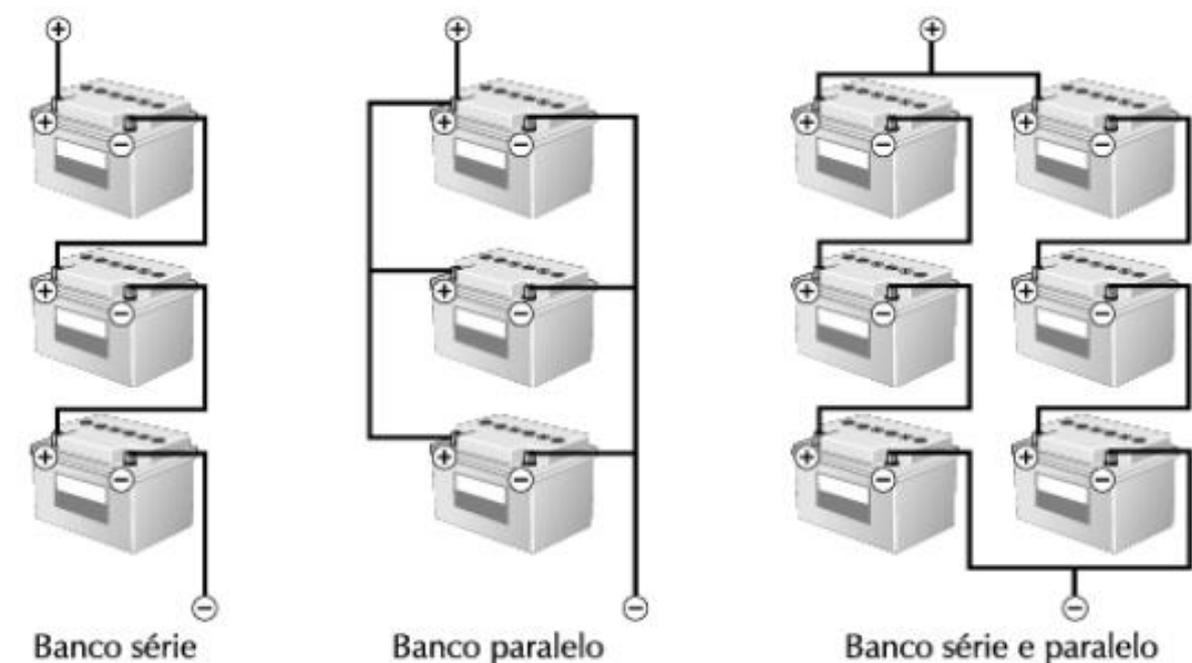
As baterias de íons de lítio são amplamente utilizadas devido à sua alta densidade de energia, baixa taxa de autodescarga e longa vida útil, tornando-se essenciais para dispositivos eletrônicos portáteis e veículos elétricos. Além disso, são fundamentais para a integração de energias renováveis e mitigação das mudanças climáticas, graças à sua eficiência e capacidade de armazenamento em larga escala. Essas baterias são conhecidas por suportarem centenas de ciclos de carga e descarga antes de perderem uma quantidade significativa de capacidade (Rahimi, 2021).

A tecnologia de íons de lítio também oferece vantagens significativas em termos de peso e densidade de energia, tornando-as uma escolha popular para aplicações onde o espaço e o peso são considerações críticas, como em veículos elétricos e dispositivos portáteis. Além disso, as baterias de íons de lítio possuem uma taxa de autodescarga muito baixa, permitindo que mantenham a carga por longos períodos sem uso (Rahimi, 2021).

A vida útil das baterias está vinculada ao número de ciclos de carga e descarga, à corrente máxima de descarga, à tensão de carga e descarga, à autodescarga e à temperatura de operação ideal. Essas baterias possuem uma faixa recomendada de tensão de carga e descarga para otimização, desempenho e durabilidade. No caso das baterias de chumbo-ácido estacionárias, considera-se que o fim de sua vida útil ocorre quando, estando totalmente carregadas, elas só conseguem armazenar 80% de sua capacidade original. Essa perda de 20% está diretamente relacionada ao número de ciclos realizados durante a vida útil da bateria (Villalva, 2012).

As baterias podem ser associadas em paralelo ou em série para formar bancos de baterias. Associações em paralelo possibilitam acumular ou fornecer mais corrente elétrica ao sistema, enquanto associações em série permitem atingir tensões mais elevadas, conforme observado na Figura 9 (Villalva, 2012).

Figura 9 - Associação de baterias



Fonte: Villalva (2012).

## 2.3 HISTÓRICO E MERCADO DOS VEÍCULOS ELÉTRICOS

Os primeiros estudos e desenvolvimentos de veículos elétricos remontam ao início do século XIX, quando as pesquisas sobre eletricidade começaram a se desenvolver e os cientistas realizaram experimentos com motores elétricos. Robert Anderson, um inventor escocês, é considerado o criador do primeiro carro elétrico prático em 1832. Entre 1832 e 1839, o inventor americano Thomas Davenport trabalhou no desenvolvimento de um veículo elétrico, tendo criado um carro elétrico em 1834. O interesse por veículos elétricos aumentou significativamente na década de 1880. Em 1883, Charles Fritts, um inventor americano, construiu uma célula solar eficiente, marcando um avanço na tecnologia (Cano, 2018).

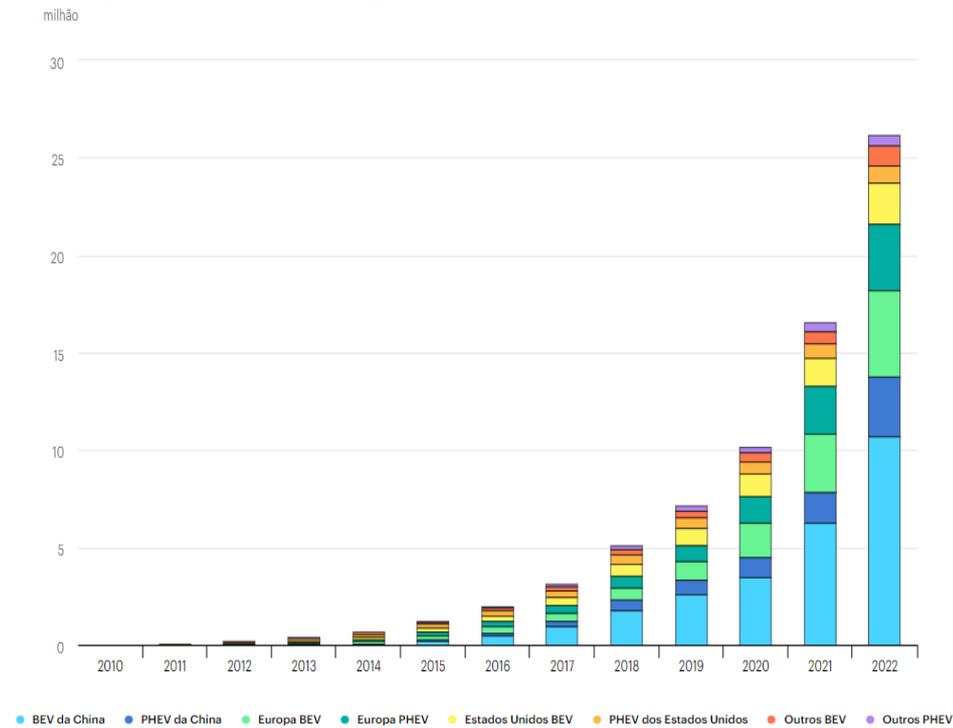
No final do século XIX e início do século XX, empresas como a *Detroit Electric Car Company* produziram carros elétricos nos Estados Unidos. Esses veículos tornaram-se populares entre as elites urbanas devido à sua confiabilidade e ausência de ruído. No início do século XX, a produção em massa de automóveis movidos a gasolina, liderada por empresas como a Ford, temporariamente reduziu a popularidade dos veículos elétricos (Cano, 2018).

Na década de 1970, com a crescente preocupação com o meio ambiente e a dependência do petróleo, houve um ressurgimento no interesse por veículos elétricos. Empresas começaram a desenvolver protótipos e veículos elétricos modernos. No século XXI, a eletrificação dos veículos ganhou mais impulso, com várias montadoras lançando modelos elétricos e híbridos. Avanços tecnológicos e preocupações com as mudanças climáticas impulsionaram a adoção global de veículos elétricos. De acordo com dados da *International Energy Agency* (IEA), o crescimento nas vendas de carros elétricos ocorreu globalmente nos mercados automotivos.

As vendas de veículos elétricos a bateria (BEVs) e veículos elétricos híbridos plug-in (PHEVs) ultrapassaram 10 milhões no último ano, registrando um aumento de 55% em relação a 2021. Esse número, 10 milhões de vendas de VE em todo o mundo, supera o total de automóveis vendidos em toda a União Europeia (cerca de 9,5 milhões de veículos) e representa quase metade das vendas totais de automóveis na China em 2022. Em apenas cinco anos, de 2017 a 2022, as vendas de VE aumentaram de cerca de 1 milhão para mais de 10 milhões. Anteriormente, foram necessários cinco anos, de 2012 a 2017, para que as vendas de VE crescessem de

100.000 para 1 milhão, destacando a natureza exponencial do crescimento das vendas de VE. A participação dos carros elétricos nas vendas totais de automóveis saltou de 9% em 2021 para 14% em 2022, mais de 10 vezes a participação em 2017, conforme Figura 10 (IEA, 2022).

Figura 10 - Estoque global de carros elétricos 2010-2022



O Brasil registrou 32.239 veículos leves eletrificados (HEV+PHEV+BEV) de janeiro a junho de 2023, abrangendo automóveis, comerciais leves e utilitários (SUV). Este número representa um crescimento significativo de 58% em comparação com o primeiro semestre de 2022 (20.427) e está próximo das vendas totais de 2021 (34.990). Somente em junho de 2023, foram emplacados 6.225 veículos, um aumento de 53% em relação a junho de 2022 (4.073). Esses indicadores sugerem que o mercado tem potencial para superar a previsão da ABVE de 70 mil emplacamentos até o final do ano (ABVE, 2023).

A frota total de veículos leves eletrificados no Brasil atingiu 158.678 unidades de janeiro de 2012 a junho de 2023. Os veículos 100% elétricos (BEV) ganharam terreno no primeiro semestre de 2023, com 3.777 emplacamentos, um aumento de 11% em relação ao primeiro semestre de 2022 (3.397). Apesar de seu crescimento mais moderado em comparação com os PHEV, esse avanço pode ser considerado

significativo, dada a provável barreira representada pelo valor de aquisição mais elevado dos BEV. Os híbridos convencionais (HEV a gasolina + HEV flex a etanol) também apresentaram crescimento de 28% em 2023, comparado ao primeiro semestre de 2022 (16.987 contra 13.279), mantendo a maior participação no mercado de veículos eletrificados no Brasil (ABVE, 2023).

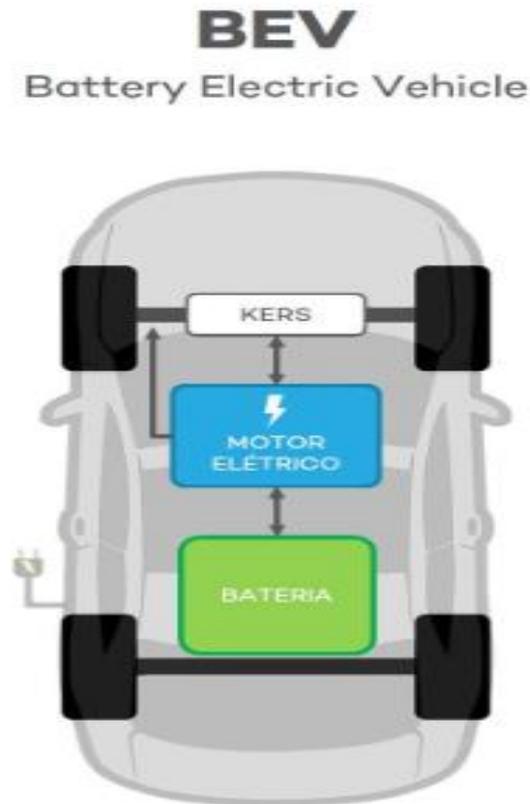
No contexto dos veículos que requerem recarga externa da bateria por meio de eletropostos (PHEV+BEV), houve um notável crescimento nos últimos 12 meses. Os PEV (*Plug-in Electric Vehicles*) atingiram a expressiva marca de 15.252 emplacamentos no primeiro semestre de 2023, em comparação com os 7.148 registrados no mesmo período de 2022 - um aumento de 113%. Estes números indicam que o mercado plug-in tem se expandido nos últimos 12 meses no Brasil, seguindo a tendência observada nos mercados europeu e asiático, onde os PEV são predominantes. O aumento do uso de veículos elétricos em frotas tem sido um impulsionador dinâmico desse mercado (ABVE, 2023).

## 2.4 O VEÍCULO ELÉTRICO E O SISTEMA DE RECARGA VEICULAR

Os veículos 100% elétricos são compostos por diversos componentes essenciais. O motor elétrico utiliza a energia armazenada nas baterias para a propulsão, enquanto o conversor desempenha a função de elevar ou reduzir a tensão utilizada. Os inversores têm a responsabilidade de transformar a corrente contínua em alternada, posicionando-se entre o motor elétrico e as baterias. Destaca-se o sistema de freio regenerativo (KERS), que recupera parte da energia cinética durante a desaceleração ou frenagem do veículo. Esse sistema inteligente reaproveita a energia que normalmente seria dissipada durante a frenagem, convertendo-a em energia elétrica para recarregar a bateria. Além disso, um módulo de gerenciamento coordena a interação eficiente entre todos esses componentes.

A Figura 11, conforme apresentada pelo CESVI BRASIL em 2023, ilustra de maneira visual a disposição e interconexão desses elementos nos veículos 100% elétricos. Essa complexa integração de sistemas contribui para o desempenho eficaz e sustentável desses veículos (CESVI BRASIL, 2023).

Figura 11-Topologia/arquitetura de um sistema de veículo elétrico.



Fonte: NEOCHARGE (2023).

#### 2.4.1 Características Elétricas de Motores e Baterias de um VE

Os veículos elétricos são compostos por elementos essenciais, destacando-se a presença de uma bateria e um motor elétrico. Esses veículos utilizam baterias tracionárias, geralmente de íons de lítio, para acumular a eletricidade necessária ao motor, que por sua vez traciona as rodas do veículo. Ao pressionar o pedal do acelerador, o carro fornece instantaneamente energia ao motor, gradativamente consumindo a carga armazenada na bateria (NEOCHARGE, 2022).

Um recurso significativo presente nos veículos elétricos é a frenagem regenerativa, conhecida como KERS (*Kinetic Energy Recovery System*). Durante situações de desaceleração, o motor elétrico atua como um gerador, recuperando a energia cinética do veículo. Essa energia é, então, armazenada na bateria, contribuindo para a melhoria da autonomia do veículo. Quando a bateria está descarregada, o processo de recarga ocorre por meio da energia da rede elétrica e um carregador dedicado. Em estações de carga rápida ou eletropostos, os plugues

utilizados podem variar, dependendo se a recarga ocorre em corrente contínua. Cada montadora e veículo podem apresentar plugues específicos para esse propósito (NEOCHARGE, 2022).

Os motores utilizados em veículos elétricos incluem o Motor Síncrono de Ímã Permanente (PMSM), que é o tipo mais comum, possuindo ímãs permanentes no rotor e sendo reconhecido por sua alta densidade de potência e eficiência. O motor de indução trifásico AC, também conhecido como motor assíncrono, não requer ímãs permanentes, gerando o campo magnético pela corrente elétrica nas bobinas do estator. O motor de relutância comutado (SRM) é outra opção, apesar de apresentar desafios em termos de controle, ruído em altas velocidades e complexidade de fabricação (NEOCHARGE, 2022). A Figura 12 ilustra esses modelos atuais.

Figura 12 - Motores elétricos veiculares.



Fonte: Adaptado de CANALTECH (2023).

#### 2.4.2 Sistemas de Recarga Veicular

Os sistemas de recarga de veículos elétricos abrangem diversas categorias, cada uma oferecendo opções específicas para atender às necessidades dos usuários.

- **Recarga Residencial:** Realizada em casa, utilizando um carregador doméstico, essa opção é conveniente para recarregar durante a noite, quando o veículo está estacionado em sua residência (NEOCHARGE, 2022).
- **Recarga Pública:** Disponível em postos de carregamento públicos, shoppings, estacionamentos e outros locais, a recarga pública utiliza diferentes tipos de

conectores, como o Tipo 2 e o CCS (Combo). Essa escolha varia conforme o fabricante do veículo e o modelo do carregador (NEOCHARGE, 2022).

- **Recarga Rápida:** Oferecendo uma recarga mais veloz em comparação com a recarga pública convencional, os carregadores de recarga rápida geralmente utilizam alta potência para reduzir o tempo necessário para carregar os veículos (NEOCHARGE, 2022).
- **Recarga Semirrápida:** Posicionada como um meio-termo entre a recarga pública comum e a rápida, a recarga semirrápida busca equilibrar a velocidade de recarga com a conveniência para os usuários (NEOCHARGE, 2022).
- **Recarga por Indução:** Essa tecnologia inovadora permite a recarga sem fios, utilizando um sistema de bobinas magnéticas. Embora ainda não seja tão comum quanto outras opções, representa uma abordagem futurista para a recarga de veículos elétricos (NEOCHARGE, 2022).
- **Recarga em Casa por Energia Solar:** Alguns proprietários de veículos elétricos optam por instalar módulos solares em suas residências para gerar eletricidade limpa. Essa energia é então utilizada para recarregar os veículos, proporcionando uma abordagem sustentável e autossuficiente (NEOCHARGE, 2022).

### 2.4.3 Tomadas e Conectores

Existem diferentes tipos de tomadas e conectores para recarregar veículos elétricos, como: conector tipo 1 (J1772); conector tipo 2 (Mennekes); conector CCS (*Combo Charging System*); e CHAdeMO, entre outros. A escolha depende do veículo e da infraestrutura disponível. (NEOCHARGE, 2022)

#### 2.4.3.1 Conector Tipo 1 (SAE J1772)

Este conector foi especificamente desenvolvido para carregamento em redes monofásicas com corrente alternada, oferecendo a capacidade de carregamento com potência de até 7,4 kW. A eficiência desse carregamento depende do tipo de carregador utilizado e da capacidade da rede elétrica.

No contexto do carregamento rápido em corrente contínua (CC), a tomada Tipo 1 pode ser adaptada para se tornar um sistema de carregamento combinado,

conhecido como CCS (*Combo Charging System*). Nesse caso, a tomada Tipo 1 é aprimorada com dois pinos adicionais de maior tamanho para suportar o carregamento rápido em corrente contínua, proporcionando maior flexibilidade na utilização do veículo elétrico. Essa adaptação é um avanço significativo para otimizar o processo de carregamento e atender às demandas de eficiência e conveniência (NEOCHARGE, 2022).

#### 2.4.3.2 Conector Tipo 2 (IEC 62196)

Este conector foi especificamente desenvolvido para carregamento em redes trifásicas com corrente alternada, sendo comumente referido como conector 'Mennekes'. A utilização da rede trifásica em conjunto com o conector Tipo 2 oferece uma capacidade de energia mais robusta, resultando em recargas mais rápidas quando comparadas ao conector Tipo 1.

Destaca-se que esse conector é versátil, podendo ser considerado tanto um conector de carga lenta em corrente alternada (CA), suportando até 3,7 kW, quanto um conector de carga rápida em corrente alternada, alcançando até 22 kW. Essa versatilidade proporciona maior flexibilidade aos usuários, atendendo a diferentes necessidades de recarga (NEOCHARGE, 2022).

#### 2.4.3.3 Conector Tipo GB/T 20234

Similar ao conector Tipo 2, este conector foi desenvolvido para atender às normas de carregamento em corrente alternada na China, com uma potência que pode atingir até 22 kW proveniente de uma rede trifásica. Embora seu formato seja bastante semelhante ao do conector Tipo 2, é importante ressaltar que eles não são fisicamente compatíveis.

Por outro lado, o conector GB/T 20234 DC representa o padrão chinês para carga rápida em corrente contínua, suportando uma potência significativamente mais elevada, alcançando até 250 kW. Uma característica importante desse conector é sua capacidade de carregar tanto a bateria auxiliar de baixa tensão quanto a bateria de alta tensão utilizada para a tração do veículo elétrico, proporcionando uma funcionalidade adicional e interessante aos usuários (NEOCHARGE, 2022).

#### 2.4.3.4 Conector CHAdeMO

A abreviação "CHAdeMO" representa "*Charge de Move*", sendo um sistema de carregamento rápido em corrente contínua desenvolvido no Japão. Tipicamente, esse conector disponibiliza energia a uma potência de até 100 kW, no entanto, especificações revisadas permitem agora um fornecimento de até 400 kW.

O CHAdeMO destaca-se por ser o único conector com um protocolo de carregamento padronizado que viabiliza a tecnologia V2X. Essa tecnologia possibilita a comunicação do veículo via WLAN com outros veículos, infraestrutura, rede elétrica, dispositivos, rede de comunicação e até mesmo pedestres, proporcionando uma abordagem abrangente de conectividade (NEOCHARGE, 2022).

#### 2.4.3.5 Conector Tipo TESLA

A Tesla utiliza um carregador com padrão próprio, além de fornecer um adaptador que possibilita o uso do conector em estações de carregamento CHAdeMO e CCS. O conector Tesla apresenta dois pinos para sinal e três pinos para alimentação, suportando cargas de até 150 kW. Vale ressaltar que, exclusivamente nos "*Tesla Superchargers*", apenas veículos da marca conseguem realizar o processo de recarga (NEOCHARGE, 2022).

### 2.4.4 Fatores que afetam o desempenho de um carro elétrico

A autonomia dos veículos elétricos pode ser influenciada por diversos fatores, tanto internos quanto externos. Algumas montadoras oferecem aulas para os proprietários aprenderem a otimizar o desempenho de seus veículos. Abaixo, destacam-se alguns desses fatores que podem impactar negativamente na autonomia do VE:

- **Peso Extra:** O acréscimo de peso sobre os pneus resulta em maior resistência ao solo, demandando mais energia para a locomoção do veículo.
- **Direção Ofensiva:** Velocidades elevadas e manobras de aceleração rápida ou frenagem brusca aumentam o consumo de energia.
- **Subidas Íngremes:** Independente da velocidade, subidas consomem mais energia do que percursos planos, enquanto descidas minimizam a perda de energia, aproveitando-a pelo freio regenerativo.

- **Correntes de Vento Contrário:** Veículos aerodinâmicos experimentam menos resistência ao vento, resultando em menor consumo de energia.
- **Temperaturas Frias:** Em condições de baixas temperaturas, todos os veículos tornam-se menos eficientes. Motores elétricos, no entanto, são mais eficientes que motores a combustão interna. Parte da energia da bateria pode ser direcionada para manter o interior do veículo confortável.

Esses fatores devem ser considerados para otimizar a eficiência e a autonomia dos veículos elétricos (NEOCHARGE, 2022)

### 3 METODOLOGIA

Neste tópico, destaca-se a metodologia adotada para o Trabalho de Conclusão de Curso (TCC). Um fluxograma ilustrativo, representado na Figura 13, esboça os passos a serem seguidos. Esta metodologia delinea as etapas essenciais para a obtenção de dados válidos, visando atingir os objetivos propostos neste trabalho. A estruturação clara desse processo metodológico é fundamental para assegurar a qualidade e a relevância dos resultados obtidos.

Figura 13 – Etapas do TCC.



Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

#### 3.1 ESCOLHA DO VEÍCULO ELÉTRICO A SER UTILIZADO

No contexto brasileiro, a oferta de veículos elétricos e híbridos automotivos, já abrange cerca de 119 modelos distintos. Esses veículos variam em termos de preço, autonomia da bateria, potência, tempo de recarga e outros atributos significativos. A seleção do veículo mais adequado será pautada, considerando elementos como o consumo, autonomia de energia e custo-benefício da tecnologia. Vale ressaltar que o foco deste estudo de caso está exclusivamente nos veículos elétricos automotivos leves, com baterias de até 80 kW e autonomia de até 300 km. Esse enfoque permitirá uma análise mais aprofundada no contexto do mercado nacional.

### 3.2 CONSUMO E AUTONOMIA DE ENERGIA DOS VEÍCULOS ELÉTRICOS

Diversos fatores desempenham um papel fundamental no consumo de energia de veículos elétricos automotivos. A eficiência do motor, o peso do veículo, a resistência do ar, as condições de condução e as variáveis climáticas são alguns dos principais elementos a serem considerados. O cálculo da energia requer uma compreensão da capacidade da bateria do veículo e da potência do carregador, conforme indicado pela Equação 5:

$$E = \frac{CAPBAT}{EFCAR} \quad (5)$$

Onde:

$E$  = Energia em (kWh),

$CAPBAT$  = Capacidade da bateria em (kWh)

$EFCAR$  = Eficiência do carregador %

Esse cálculo é essencial para determinar a demanda energética específica de um veículo elétrico, possibilitando uma análise mais precisa e informada sobre seu desempenho. A avaliação do consumo de energia de um Veículo Elétrico (VE) considerará vários elementos, incluindo os índices de eficiência energética do veículo para o estudo de caso, a capacidade de armazenamento da bateria, o método de carregamento e o padrão de utilização do usuário. A eficiência energética será derivada dos dados fornecidos pelo fabricante e encontrados nos manuais do usuário do veículo.

### 3.3 ITENS PARA DEFINIÇÃO DO MODELO DO ELETROPOSTO

Serão analisados eletropostos com 2 e 8 pontos de recarga de veículos elétricos, com potência suficiente para atender à demanda oferecida, e baterias para armazenar energia suficiente em caso de falta de luz durante o horário de funcionamento do eletroposto, que seria de 8 horas. A viabilidade de instalação foi verificada em áreas já construídas, que fossem capazes de suportar a implantação de módulos fotovoltaicos, bancos de baterias, inversores e estações de recarga veicular em suas estruturas existentes, aproveitando seus espaços.

Isso permitirá otimizar custos, aproveitando a estrutura atual da edificação, gerando vantagens para a empresa e seus usuários, podendo ser utilizado por

shoppings, grandes centros de compras e grandes empresas com propósito comercial.

### 3.4 DIMENSIONAMENTO SISTEMA FOTOVOLTAICO *OFF-GRID* PARA RECARGA DA BATERIA VEICULAR

Para entender a necessidade de cálculo de dimensionamento em sistemas fotovoltaicos, é importante determinar a quantidade de energia a ser gerada pelo sistema. Dois métodos compreensíveis podem ser empregados para realizar esse cálculo, sendo necessário conhecer as condições de insolação e as características dos módulos fotovoltaicos a serem utilizados.

Caso a eficiência não seja fornecida pelo fabricante, pode ser calculada pelo profissional com base no valor de potência de pico (máxima potência nas condições STC, 1000 W/m<sup>2</sup> e 25°C). A energia produzida foi então calculada pela Equação 6.

$$Ep = ES \times AM \times \eta M \quad (6)$$

Onde:

$Ep$  = Energia produzida pelo módulo diariamente [Wh-dia];

$ES$  = Insolação diária [Wh/m<sup>2</sup>/dia];

$AM$  = Área da superfície do módulo [m<sup>2</sup>];

$\eta M$  = Eficiência do módulo.

Com base nesses dados, aplicou-se a Equação 7, para calcular a energia diária produzida. Esse cálculo considera a instalação do módulo visando a otimização e o melhor aproveitamento da energia solar, sendo conjuntamente utilizado com um controlador com recurso MPPT.

O cálculo em condições STC, conforme a Equação 7, pode resultar em valores elevados, acima do que realmente se obtém na prática.

$$Ep = PM \times HS \quad (7)$$

Onde:

$Ep$  = Energia produzida pelo módulo diariamente [Wh];

$PM$  = Potência do módulo [W];

$HS$  = Horas diárias de insolação [h],

E a potência do módulo calculada pela Equação 8:

$$PM = I_{sc} \times V_{Bat} \quad (8)$$

Onde

$PM$  = Potência do módulo[W];

$I_{sc}$  = Corrente de curto-circuito do módulo [A];

$V_{Bat}$  = Tensão do banco de baterias[V].

O número de horas diárias de insolação local varia ao longo do ano e difere para cada região geográfica. Valores viáveis para bons resultados desse cálculo estão compreendidos entre quatro e seis horas. O dimensionamento de sistemas fotovoltaicos nesse método é extremamente prático.

O dimensionamento do banco de baterias consiste em estabelecer a quantidade, os tipos e a forma de organização das baterias em série/paralelo. O dimensionamento começa pela quantia de energia a ser armazenada, dependendo da energia demandada pelos consumidores (energia consumida) e da profundidade da descarga permitida para as baterias. Além disso, é necessário conhecer a tensão de operação do banco de baterias, que pode ser disposto em série ou paralelo. A tensão das baterias empregadas e a tensão do banco de baterias especificam o número de baterias a serem ligadas em série. Uma vez determinada e conhecida a tensão de operação, a capacidade de carga (Ah) do banco de baterias é determinada, especificando a quantidade de peças em série/paralelo.

A quantidade de baterias em série foi determinada pela Equação 9.

$$NBS = \frac{VBANCO}{VBAT} \quad (9)$$

Onde:

$NBS$  = Número de baterias ligadas em série;

$VBANCO$  = Tensão do banco de baterias [V];

$VBAT$  = Tensão da bateria utilizada [V].

A Capacidade do banco de baterias foi calculada pela Equação 10:

$$CBANCO = \frac{EA}{VBANCO} \quad (10)$$

Onde:

$CBANCO$  = Capacidade de carga do banco de baterias em ampère/hora [Ah];

$EA$  = Energia armazenada no banco de baterias [Wh];

$VBANCO$  = Tensão do banco de baterias[V].

E a energia armazenada calculou-se pela Equação 11

$$EA = \frac{EC}{PD} \quad (11)$$

Onde:

$EA$  = Energia armazenada no banco de baterias [Wh]

$EC$  = Energia consumida [Wh];

$PD$  = Profundidade de descarga permitida (20%, 50%, 80% etc.).

Para determinar o número de baterias em paralelo, geralmente são escolhidas baterias com capacidade em ampère-hora (Ah) aproximadamente igual à capacidade total do banco de baterias, a qual foi determinada pela Equação 12:

$$NBP = \frac{CBANCO}{CBAT} \quad (12)$$

Onde:

$NBP$  = Número de conjuntos baterias conectadas em paralelo;

$CBANCO$  = Capacidade de carga do banco de baterias em ampère-hora [Ah];

$CBAT$  = Capacidade de carga do banco de baterias.

Para um dimensionamento adequado, é essencial realizar um levantamento do consumo de energia elétrica, compreendendo as cargas elétricas que serão utilizadas e o tempo durante o qual estarão em funcionamento, em horas. No contexto de sistemas *off-grid*, é essencial saber a energia consumida ao longo de um dia, visto que o objetivo é dimensionar os módulos fotovoltaicos e as baterias.

A determinação da energia elétrica consumida por um equipamento foi calculada por meio da Equação 13.

$$EC = P \times T \quad (13)$$

Onde:

$EC$  = Energia consumida em watt-hora [Wh];

$P$  = Potência em Watts[W];

$T$  = Tempo de uso em horas[h].

A potência do sistema fotovoltaico pode ser determinada multiplicando-se a potência total de energia necessária pelas horas úteis de insolação sobre as placas solares. O resultado representará a quantidade ideal que precisa ser produzida para suprir as necessidades, conforme a Equação 14.

$$\text{Potência FV} = \frac{Ed}{(Hsp+Pr)} \quad (14)$$

Onde:

*Potência FV* = Potência do sistema fotovoltaico [Wh];

*Ed* = Energia diária utilizada;

*Hsp* = Horas de sol a pico;

*Pr* = Perdas do sistema, (usualmente utilizado fator de 0,8).

Após determinar o controlador de carga a ser empregado, considerando dois parâmetros para análise – a tensão de operação e a corrente elétrica máxima fornecida pelos módulos fotovoltaicos. A corrente máxima fornecida está nas especificações do fabricante, sendo a corrente de curto-circuito na condição STC. Essa corrente máxima pode ser corrigida com um fator de segurança na faixa de 30%, garantindo que a corrente máxima especificada do controlador não seja excedida em hipótese alguma, conforme a Equação 15.

$$I_{\text{controlador}} = 1,30 \times N_{\text{modulos}} \times I_{\text{sc}} \quad (15)$$

Onde:

*I<sub>controlador</sub>* = Corrente mínima do controlador;

*N<sub>modulos</sub>* = Número de módulos;

*I<sub>controlador</sub>* = Corrente de curto do módulo.

O inversor é um equipamento eletrônico que converte eletricidade de tensão e corrente contínua (CC) em tensão e corrente alternada (CA), sendo necessário para alimentar os equipamentos com corrente e tensão alternada produzida pelos módulos fotovoltaicos. A potência do inversor deve ser igual ou superior à potência máxima da curva de carga, garantindo sempre a compatibilidade entre o inversor, controlador e bateria, conforme a Equação 16.

$$P_{\text{inversor}} = P_{\text{equip}} \times F_{\text{seg}} \quad (16)$$

Onde:

$P_{inversor}$  = Potência mínima do inversor [kWh];

$P_{inversor}$  = Potência dos equipamentos no sistema [kWh];

$P_{inversor}$  = Fator de segurança (normalmente utilizado 30%).

### 3.5 POPULAÇÃO/SITUAÇÃO DE ANÁLISE

Este trabalho realizará uma análise com o propósito de viabilizar o uso comercial, projetando pontos de recarga capazes de atender até quatro veículos simultaneamente em ciclos de 30 minutos de utilização. Esse número foi definido para garantir que o sistema tenha capacidade de armazenamento de energia suficiente para ser confiável e viável economicamente. O foco do projeto incluiu estações de recarga rápida em corrente contínua (CC), utilizando um sistema fotovoltaico e um banco de baterias que possam operar durante o período diurno.

### 3.6 CUSTOS COMPARATIVOS ENTRE AS REGIÕES DO BRASIL

O dimensionamento de um sistema fotovoltaico é influenciado por diversos fatores, incluindo o consumo de energia, a localização geográfica, a inclinação dos módulos, entre outros. Nesse contexto, será feito o cálculo do consumo diário, da potência necessária, da energia gerada e da radiação solar na localidade de instalação. O potencial energético nas capitais das cinco principais regiões do Brasil será analisado, considerando a irradiação local por meio de mapas de irradiação oficiais. O dimensionamento do sistema fotovoltaico *off-grid* será elaborado para atender às especificações da estação de recarga, do banco de baterias, dos inversores, dos controladores e dos insumos necessários para o projeto. Posteriormente, serão solicitados orçamentos dos materiais a empresas especializadas.

### 3.7 VIABILIDADE ECONÔMICA DOS ELETROPOSTOS

Para determinar a viabilidade econômica dos eletropostos modulares, serão calculadas a receita anual gerada pela venda de energia e o custo total de instalação em cada região. A análise será baseada no valor final de cada eletroposto, considerando a média dos custos nas cinco regiões brasileiras. Isso permite uma

comparação justa entre as regiões, levando em conta as variações nos custos de instalação e na eficiência do sistema fotovoltaico. Os valores foram considerados na média das cinco regiões.

Para uma avaliação completa da viabilidade econômica, serão analisados dois indicadores principais: o Retorno sobre Investimento (ROI) e o Tempo de Retorno do Investimento (PAYBACK).

- Retorno sobre Investimento (ROI): O ROI é um indicador de rentabilidade que mede a eficiência do investimento, expressa como uma porcentagem do retorno sobre o custo total do investimento. Um ROI positivo indica que o investimento é rentável, enquanto um ROI negativo indica uma perda.
- Tempo de Retorno do Investimento (*Payback*): O *Payback* é o período de tempo necessário para que o fluxo de caixa gerado pelo investimento iguale o valor do investimento inicial. Um período de *Payback* mais curto indica que o investimento será recuperado mais rapidamente.

A análise de ROI nos permitirá entender a rentabilidade do investimento em termos percentuais, enquanto a análise de *Payback* nos mostrará o tempo necessário para recuperar o investimento inicial (Beatti, 2024).

Com base nas métricas de *Payback* e ROI obtidas para os eletropostos *off-grid*, os resultados para cada região são os seguintes:

No Sul, o período de *Payback* é de 63,82 anos e o ROI é de -98,43%. Isso indica que os investimentos em eletropostos modulares são altamente desvantajosos devido aos altos custos de instalação e à menor irradiância solar. O Sudeste apresenta um período de *Payback* de 51,72 anos e um ROI de -98,07%, também mostrando desafios econômicos significativos. A Região Norte tem um período de *Payback* de 37,72 anos e um ROI de -97,35%, um desempenho melhor em comparação com o Sul e Sudeste, mas ainda com um longo período de retorno e ROI negativo.

O Centro-Oeste apresentou um período de *Payback* de 36,01 anos e um ROI de -97,22%, mostrando um dos melhores resultados entre as regiões analisadas, com um período de *Payback* relativamente menor e um ROI menos negativo. O Nordeste se destaca como a região mais promissora para a implementação de eletropostos modulares, com um período de *Payback* de 30,47 anos e um ROI de -96,72%. Apesar de ainda não atender aos prazos geralmente considerados atrativos pelo mercado,

esses valores refletem os menores custos de instalação e a maior eficiência energética.

Mesmo a região Nordeste, com o menor período de *Payback* (30,47 anos), não atende aos prazos geralmente considerados atrativos pelo mercado. Os valores de ROI também são relativamente baixos, reforçando a percepção de que os investimentos em eletropostos *off-grid*, conforme os cálculos atuais, não são economicamente atraentes no curto ou médio prazo.

### 3.8 MODELO E CARACTERÍSTICAS DO VEÍCULO UTILIZADO

Para as análises apresentadas neste estudo, escolheremos o veículo BYD Dolphin Mini 2024, conforme as informações fornecidas pelo fabricante (Anexo B). Este modelo possui um motor elétrico de 75 cv, alimentado por uma bateria LFP de 38 kWh. O sistema de recarga lenta em AC utiliza conector tipo 2, enquanto o sistema de carga rápida DC tipo CCS2 suporta também carregamento em AC.

Um ponto importante informado pelo fabricante é que este veículo limita a potência de recarga a 40 kWh, mesmo que a alimentação elétrica disponível seja de maior potência. A escolha deste veículo é justificada pelas informações de fontes oficiais e canais especializados em veículos, que indicam que este modelo tem sido um dos mais vendidos em 2024, tornando-se o carro elétrico mais popular no Brasil até a conclusão deste trabalho (ABVE, 2024; Enoshita, 2024).

Para este estudo, uma característica do veículo a ser analisada é o tempo de recarga. No modo de carga rápida, o tempo médio de recarga é de 30 minutos, permitindo atingir de 30% a 80% da capacidade de carga do veículo.

### 3.9 DEFINIÇÃO DOS ELETROPOSTOS

Os eletropostos são estações de carregamento de veículos elétricos que oferecem opções de carga rápida, lenta ou super-rápida. Eles podem ser alimentados pela rede elétrica ou por sistemas não conectados à rede elétrica tradicional, conhecidos como *off-grid*.

Com o surgimento dos veículos elétricos no Brasil, um mercado que oferece novas alternativas para mobilidade e estratégias energéticas, decidimos que o sistema de alimentação elétrica do eletroposto para a análise de viabilidade será baseado no sistema off-grid. Este sistema destina-se a alimentar o sistema de carregamento veicular no modo de carga rápida. Cada ponto de recarga suporta até 60 kW; no entanto, devido à limitação do veículo elétrico escolhido para o estudo, que permite recarga máxima de 40 kW em modo de carga rápida, cada ponto foi projetado e analisado para essa mesma potência.

Para ter um parâmetro de comparação, serão dois tamanhos de eletroposto com configurações de 2 e 8 pontos de recarga, possibilitando a análise de diferentes cenários:

**Eletroposto Modular:** Com 2 pontos de recarga de 40 kW, operando durante 8 horas diárias. A energia necessária para o eletroposto modular será de 640 kWh.

**Eletroposto Avançado:** Com 8 pontos de recarga de 40 kW, operando durante 8 horas diárias. A energia necessária para o eletroposto avançado será de 2560 kWh.

### 3.10 DEFINIÇÃO DO SISTEMA OFF-GRID PARA O ELETROPOSTO

Os eletropostos deste trabalho serão alimentados por um sistema solar off-grid, que opera de forma autônoma com baterias, módulos fotovoltaicos e inversores. Considerando as características solarimétricas das cinco regiões brasileiras (Sul, Sudeste, Centro-Oeste, Norte e Nordeste), realizamos uma extensa análise do perfil de irradiação e do consumo do eletroposto.

Para a definição dos eletropostos, calcula-se:

- A energia elétrica necessária para atender à demanda oferecida;
- A quantidade e a área dos módulos fotovoltaicos;
- A quantidade total e a capacidade das baterias;
- A quantidade de inversores necessários para operar o sistema.

Utilizamos módulos fotovoltaicos de 560 Wp (Anexo C), baterias de 12V e 220 Ah (Anexo D), carregadores de 60 kW (Anexo E) e inversores de 120 kVA (Anexo F), uniformizando os valores para a análise.

## 4 RESULTADOS E ANÁLISES

### 4.1 POTENCIAL SOLAR ENERGÉTICO DAS REGIÕES BRASILEIRAS

A análise dos dados de radiação solar revela que o Nordeste possui o maior potencial solar do país, com níveis de radiação entre 5,5 e 6,5 kWh/m<sup>2</sup>/dia (INPE, 2020). A alta incidência de radiação solar e a baixa variação sazonal tornam a região ideal para sistemas fotovoltaicos. O Centro-Oeste também apresenta excelente potencial, com níveis de radiação entre 5,5 e 6,0 kWh/m<sup>2</sup>/dia, favorecidos pelo clima predominantemente seco. A região Sudeste tem potencial solar moderado, variando entre 4,5 e 5,5 kWh/m<sup>2</sup>/dia. Apesar da maior nebulosidade, ainda oferece boas condições para geração de energia solar, especialmente em áreas afastadas dos grandes centros urbanos. A região Sul enfrenta desafios devido à maior nebulosidade e frequentes frentes frias, com níveis de radiação entre 4,0 e 5,0 kWh/m<sup>2</sup>/dia. No entanto, durante o verão, algumas áreas podem ser aproveitadas. Por fim, a região Norte apresenta um potencial solar razoável, com níveis de radiação entre 4,5 e 5,5 kWh/m<sup>2</sup>/dia.

A variabilidade entre as regiões exige estratégias específicas para maximizar a eficiência dos sistemas fotovoltaicos, ressaltando a importância de incentivos governamentais, parcerias estratégicas e avanços tecnológicos para o desenvolvimento sustentável da energia solar no Brasil.

### 4.2 MODELO E CARACTERÍSTICAS DO VEÍCULO A SER UTILIZADO

O veículo escolhido para as análises apresentadas neste estudo é o BYD Dolphin Mini 2024. Este modelo, conforme as informações do fabricante disponíveis no Anexo B, possui um motor elétrico de 75 cv, alimentado por uma bateria elétrica LFP de 38 kWh. O sistema de recarga lenta em AC utiliza conector tipo 2, enquanto o sistema de carga rápida DC tipo CCS2 também suporta carregamento em AC.

Um ponto de atenção informado pelo fabricante é que este veículo limita a potência de recarga a 40 kW, mesmo que a alimentação elétrica disponível seja de maior potência. A escolha deste veículo é justificada com base em informações de sites oficiais e canais especializados em veículos, indicando que este modelo tem sido

um dos mais vendidos em 2024, tornando-se o carro elétrico mais popular no Brasil até a conclusão deste trabalho (ABVE, 2024; Enoshita, 2024).

### 4.3 ELETROPOSTOS MODULARES E AVANÇADOS

Os eletropostos aqui analisados, são estações de carregamento de veículos elétricos, oferecendo opções de carga rápida, e alimentados por sistemas fotovoltaicos, conhecidos como off-grid. Serão analisados dois modelos de eletropostos. O eletroposto modular com 2 pontos de recarga e 640kWh-dia e o eletroposto avançado com 8 pontos de recarga e 2560kWh-dia.

Com essas definições e após extensa pesquisa de mercado, o carregador veicular utilizado para o estudo é o WEG de uma saída de 60 kW-ccs2 WEMOB-S-060-W-E-4G-R-H-1CS2, que possui potência de recarga de até 60 kW em CC, corrente máxima de 112A, com conector tipo CCS2, conforme dados do datasheet do equipamento no Anexo B. A escolha deste modelo de carregador considerou a potência necessária para a recarga, o número de saídas de potência do equipamento, sua robustez e a compatibilidade com o veículo. Um sistema de carga rápida DC permite que a quantidade necessária de energia seja entregue em pouco tempo, proporcionando um tempo reduzido de recarga.

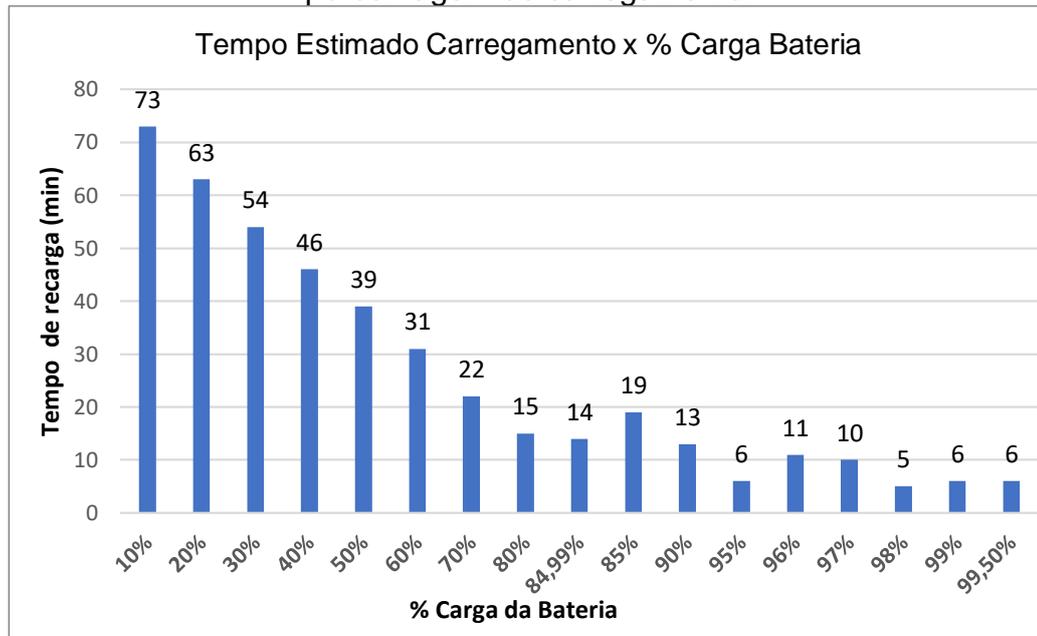
O gráfico da Figura 14 demonstra que o tempo de recarga diminui à medida que a carga inicial da bateria aumenta. Isso significa que, quanto maior o percentual de carga inicial, menor será o tempo necessário para completar a recarga até 100%.

Por exemplo:

- **Com 10% de carga:** Leva cerca de 73 minutos para carregar completamente.
- **Com 50% de carga:** O tempo de recarga é reduzido para 39 minutos.

Esta informação é importante para a otimização do processo de recarga, especialmente em sistemas que exigem carregamento rápido e eficiente, como os eletropostos. Monitorar e gerenciar os níveis de carga das baterias ajuda a otimizar o tempo de recarga e a qualidade de energia entregue.

Figura 14 - Tempo estimado de carregamento das baterias do veículo em relação a porcentagem de carregamento.

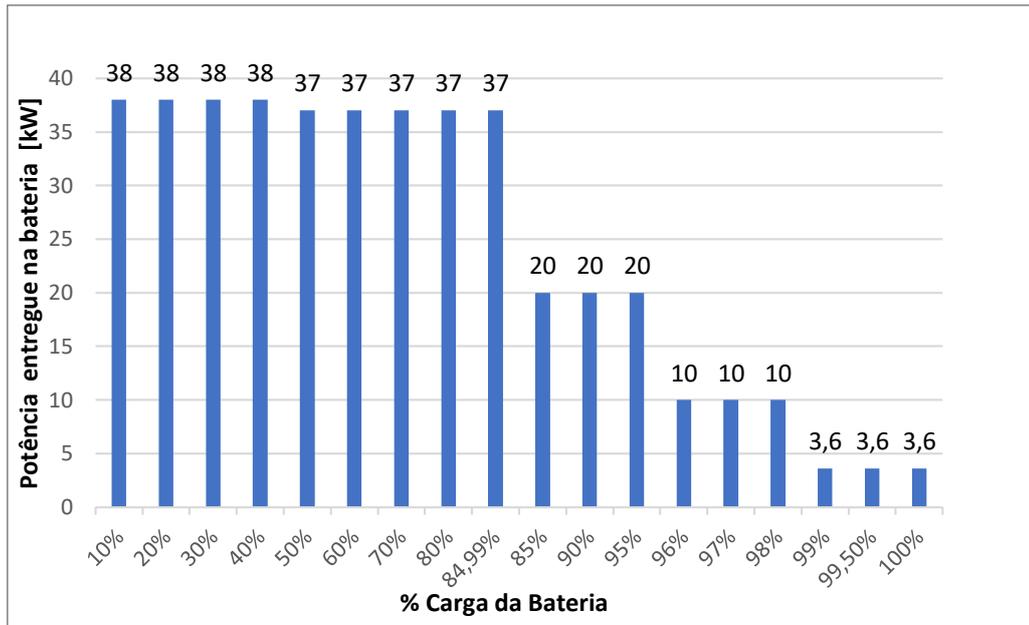


Fonte: Elaborado pelo Autor (2024).

No intervalo de 10% a 84,99% de carga, o carregamento opera com potência máxima e constante. Nos intervalos de 85% a 100%, a potência de recarga diminui conforme a necessidade do veículo. Durante o carregamento de 10% a 85% da capacidade da bateria, o processo é linear, o que significa que o veículo aceita a máxima potência de recarga.

A Figura 15 ilustra como o veículo ajusta a potência de recarga após atingir 85% da capacidade da bateria. Com base nessas informações, definiu-se que o eletroposto será de carga rápida, com tempo de recarga de 30 minutos para cada ciclo, equivalente a aproximadamente metade da capacidade da bateria do veículo escolhido. Desta forma, o cliente adquire o tempo de utilização do carregador por um ciclo de 30 minutos e, caso necessário, poderá adquirir ciclos adicionais tantas vezes quanto necessário para alcançar a totalidade do carregamento do veículo, sendo cobrado sempre por um ciclo completo, mesmo que utilize menos de 30 minutos. Isso é justificado para manter maior uniformidade na análise dos dados do eletroposto, considerando que outras condições de operação, como o tempo de uso diário, serão analisadas posteriormente.

Figura 15 - Relação entre porcentagem carga bateria versus potência de recarga



Fonte: Elaborado pelo Autor (2024).

#### 4.4 SISTEMA *OFF-GRID* PARA O ELETROPOSTO

Os eletropostos analisados neste trabalho são alimentados fora da rede elétrica convencional por um sistema solar off-grid. Este sistema opera de forma autônoma com baterias, módulos fotovoltaicos e inversores. Considerando as características solarimétricas das cinco regiões brasileiras (Sul, Sudeste, Centro-Oeste, Norte e Nordeste), realizamos uma extensa análise do perfil de irradiação e do consumo do eletroposto.

Para a definição dos eletropostos modular e avançado, calculamos e analisamos:

- A energia elétrica necessária para atender à demanda oferecida;
- A quantidade e a área dos módulos fotovoltaicos;
- A quantidade total e a capacidade das baterias;
- A quantidade de inversores necessários para operar o sistema.

Utilizamos módulos fotovoltaicos de 560 Wp (Anexo C), baterias de 12V e 220 Ah (Anexo D), carregadores de 60 kW (Anexo E) e inversores de 120 kVA (Anexo F), uniformizando os valores para a análise.

#### 4.5 ELETROPOSTO MODULAR

Na análise do eletroposto modular, que possui 2 pontos de recarga de 40 kW cada e opera durante 8 horas diárias, a energia necessária para o funcionamento é de 640 kWh. Este cálculo considera o cenário em qualquer região do Brasil. Os itens foram avaliados e analisados com base na média das cinco regiões brasileiras, e os resultados estão apresentados na Tabela 3.

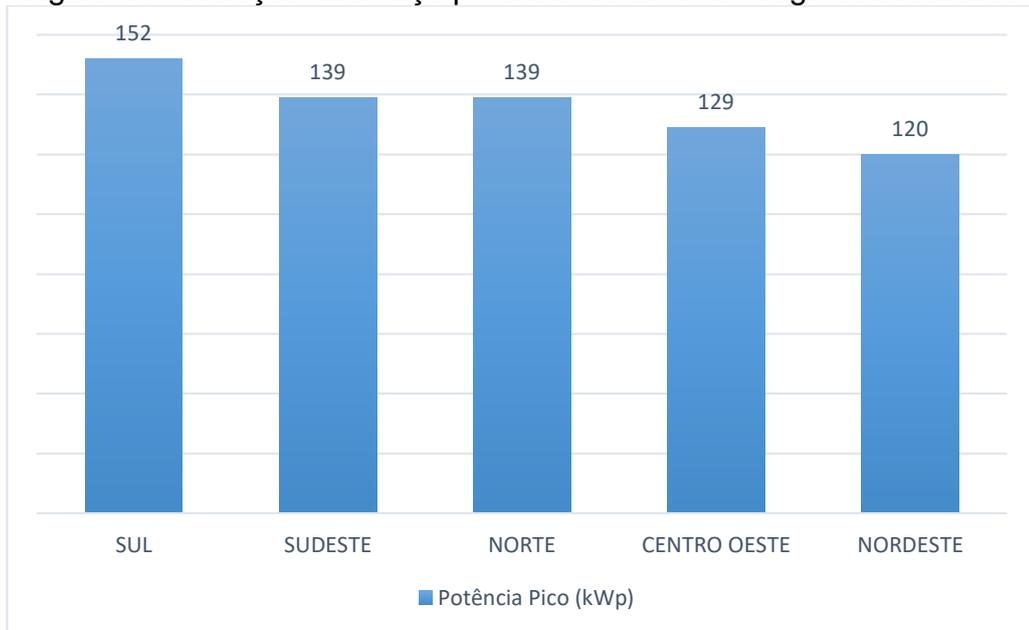
Tabela 3 - Análises das necessidades elétricas do eletroposto modular em cada região do Brasil

Regiões	Potência SFV (kWp)	Energia gerada [kWh-dia]	Nº módulos fotovoltaicos	Área módulos fotovoltaicos (m <sup>2</sup> )	Nº de baterias em C10
Sul	152	650	271	700	2667
Sudeste	136	644	248	640	2667
Norte	139	644	248	640	2667
Centro-Oeste	129	644	230	593	2667
Nordeste	120	642	214	552	2667

Fonte: Elaborado pelo Autor (2024).

Como pode ser observado na Figura 16, na região Sul, o sistema fotovoltaico precisa ser mais potente do que na região Nordeste devido às diferenças climáticas e geográficas. O Nordeste recebe maior irradiação solar ao longo do ano, o que permite que os módulos fotovoltaicos gerem mais energia com a mesma quantidade de luz solar. Além disso, a região Nordeste tem menos dias nublados em comparação com o Sul, resultando em maior geração de energia solar. O ângulo de incidência solar no Nordeste é mais favorável, maximizando a geração dos módulos fotovoltaicos. Dessa forma, para compensar essas diferenças e gerar a mesma quantidade de energia, os sistemas fotovoltaicos na região Sul precisam ter uma potência maior em relação aos sistemas no Nordeste.

Figura 16 - Relação diferença potência do SFV nas regiões brasileiras

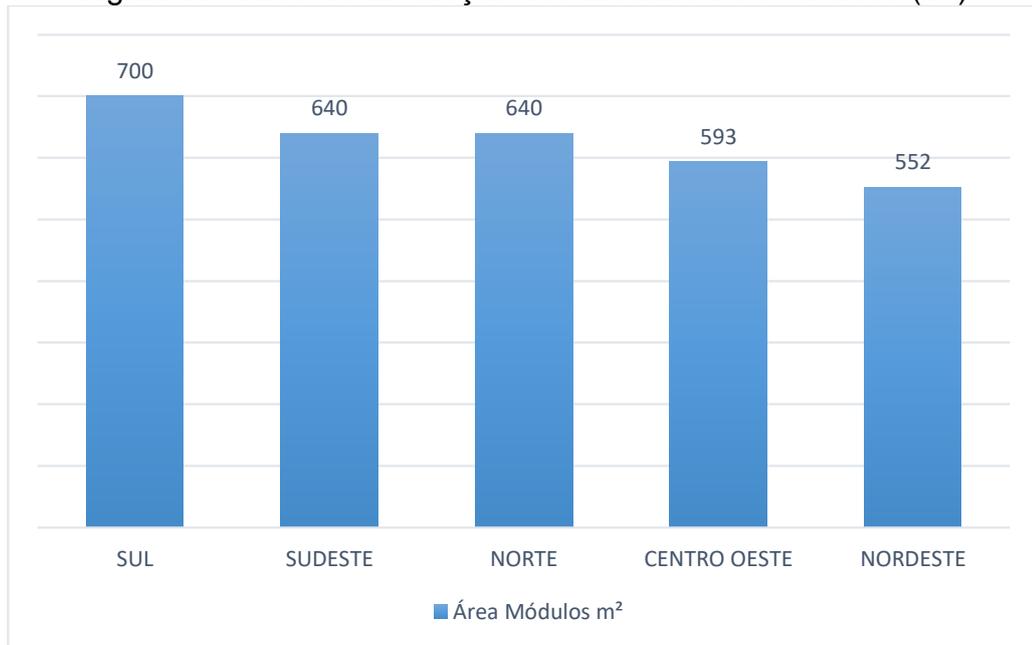


Fonte: Elaborado pelo Autor (2024).

Além da irradiação, que varia pouco no Nordeste em comparação com o Sul, a densidade de nuvens é uma desvantagem significativa para o Sul. A eficiência dos módulos fotovoltaicos também é influenciada pela temperatura; módulos operando em temperaturas mais amenas, como as encontradas no Sul, tendem a ser mais eficientes. A inclinação e a orientação dos painéis em relação ao Sol são outros fatores críticos que podem maximizar a captação de luz solar. A poluição local também pode afetar negativamente a eficiência dos módulos, reduzindo a quantidade de luz solar disponível para a geração de energia.

A Figura 17 mostra que a potência do sistema fotovoltaico varia entre as regiões. Regiões com maior potência instalada necessitam de mais módulos fotovoltaicos e, conseqüentemente, de uma área maior para instalação. Em contrapartida, regiões com menor potência instalada requerem menos módulos e ocupam menos espaço. Essas discrepâncias são devido às condições específicas de cada região, como irradiação solar, horas de sol e condições climáticas. Portanto, a área necessária para a instalação dos módulos fotovoltaicos varia de acordo com a potência do sistema em cada região, conforme ilustrado na Figura 17.

Figura 17 - Área de Instalação dos Módulos Fotovoltaicos (m<sup>2</sup>)

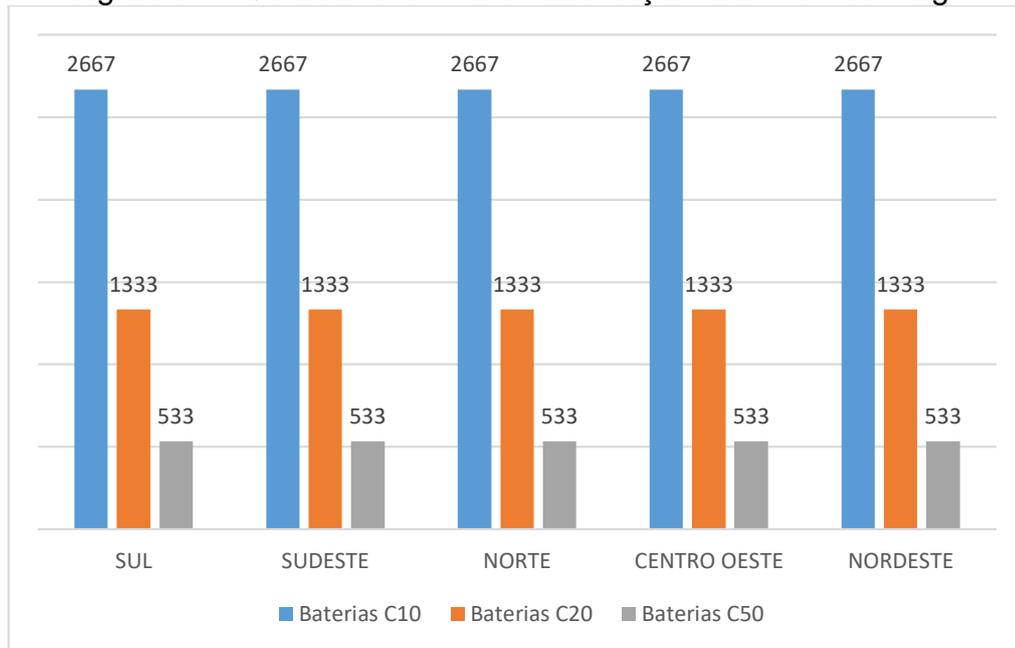


Fonte: Elaborado pelo Autor (2024).

A energia armazenada no eletroposto depende diretamente da quantidade de baterias necessárias para garantir seu bom funcionamento. No entanto, o número de baterias pode variar de acordo com os dias de *backup* necessários e os ciclos de descarga das baterias, denominados C10, C20 e C50, que correspondem a 10%, 20% e 50% do ciclo de profundidade de descarga, respectivamente. Utilizamos 10% da capacidade nominal da bateria ao longo de 10 horas. Isso significa que, se a capacidade nominal da bateria é de 220 Ah, estamos retirando 22 Ah (10% de 220 Ah) durante esse período. Em termos de taxa de descarga, isso equivale a 2,2 A (22 Ah/10 horas). Essas variações nos ciclos de descarga resultam em mudanças significativas na quantidade de baterias necessárias, o que influencia os custos de implementação do eletroposto. A aplicação do ciclo C10 descarrega a bateria mais lentamente, aumentando sua vida útil e requerendo mais baterias para fornecer a mesma quantidade de energia. Por outro lado, a aplicação do ciclo C50 descarrega a bateria mais rapidamente, permitindo fornecer uma corrente maior em menos tempo e reduzindo a quantidade de baterias necessárias, mas resultando em maior desgaste e menor durabilidade das baterias.

A Figura 18 ilustra como a quantidade de baterias varia de acordo com os diferentes ciclos de profundidade de descarga.

Figura 18 - Quantidade baterias em relação ciclos de descarga



Fonte: Elaborado pelo Autor (2024).

#### 4.6 ELETROPOSTO AVANÇADO

O eletroposto avançado analisado possui 8 pontos de recarga de 40 kW cada, operando durante 8 horas diárias. Com base nesse cenário, em qualquer região do Brasil, a energia necessária para o funcionamento do eletroposto avançado será de 2560 kWh. Os cálculos foram realizados considerando a média das cinco regiões brasileiras, com os resultados apresentados na Tabela 4.

Tabela 4 - Eletroposto Avançado

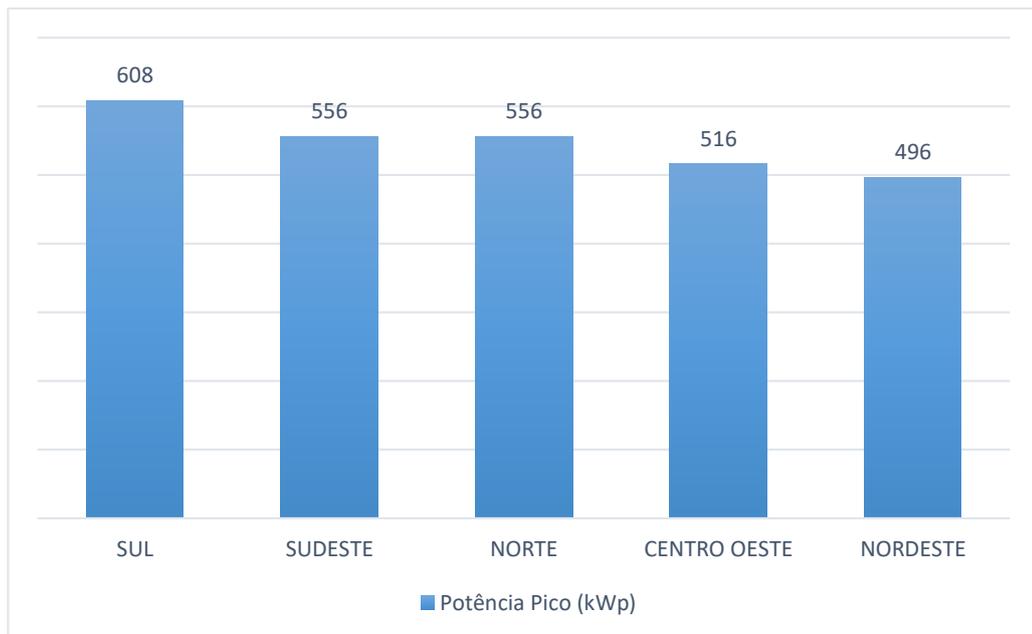
Regiões	Potência SFV (kWp)	Energia gerada [kWh-dia]	Nº módulos fotovoltaicos	Área módulos fotovoltaicos (m²)	Nº de baterias C10
Sul	608	2616	1084	2800	10667
Sudeste	556	2580	992	2556	10667
Norte	556	2580	992	2556	10667
Centro-Oeste	516	2576	920	2372	10667
Nordeste	516	2568	856	2208	10667

Fonte: Elaborado pelo Autor (2024).

Um eletroposto com oito pontos de recarga requer, em média, 960 módulos fotovoltaicos. A análise dos dados da Tabela 4, que considera a média das cinco regiões brasileiras, revela uma diferença de aproximadamente 15% na potência do sistema fotovoltaico entre as regiões Sul e Nordeste. Na região Sul, conforme mostra

a Figura 19, o sistema precisa ser mais potente do que no Nordeste devido a diferenças climáticas e geográficas. O Nordeste beneficia-se de maior irradiação solar anual, resultando em maior geração de energia por módulo fotovoltaico. Além disso, a região Nordeste tem menos dias nublados e um ângulo de incidência solar mais favorável, ambos fatores que aumentam a eficiência e a geração de energia dos módulos.

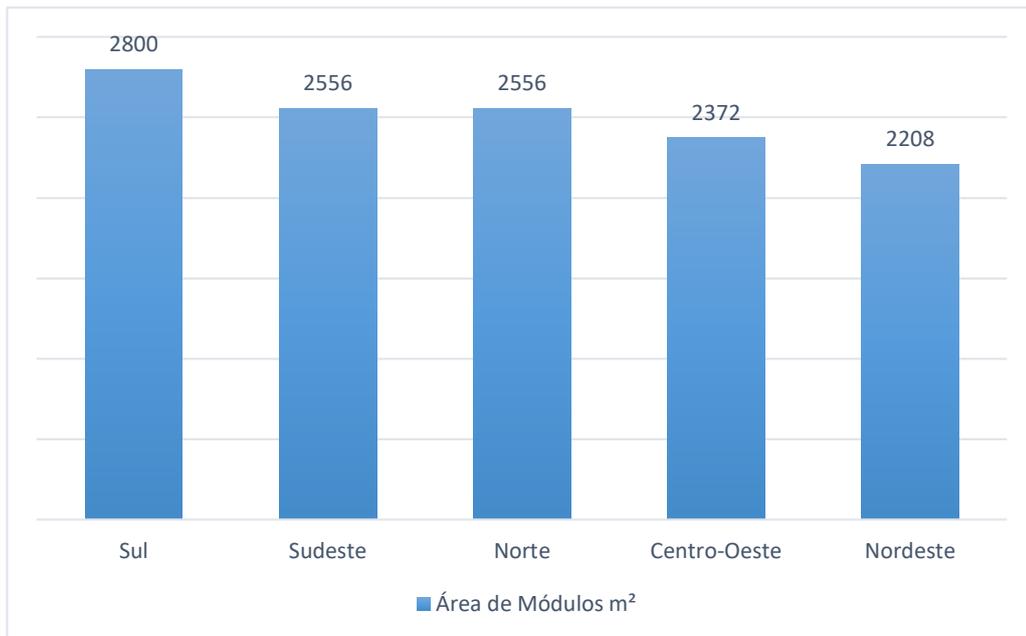
Figura 19 - Potência do sistema fotovoltaico eletroposto avançado



Fonte: Elaborado pelo Autor (2024).

Regiões com maior potência instalada necessitam de mais módulos fotovoltaicos e, conseqüentemente, de uma área maior para instalação. Por outro lado, regiões com menor potência instalada demandam menos módulos e ocupam menos espaço. Essas diferenças decorrem das condições específicas de cada região, como irradiação solar, horas de sol e condições climáticas. Assim, a área necessária para a instalação dos módulos fotovoltaicos varia conforme a potência do sistema em cada região, conforme observado na Figura 20.

Figura 20 - Área de instalação dos módulos fotovoltaicos nas regiões brasileiras



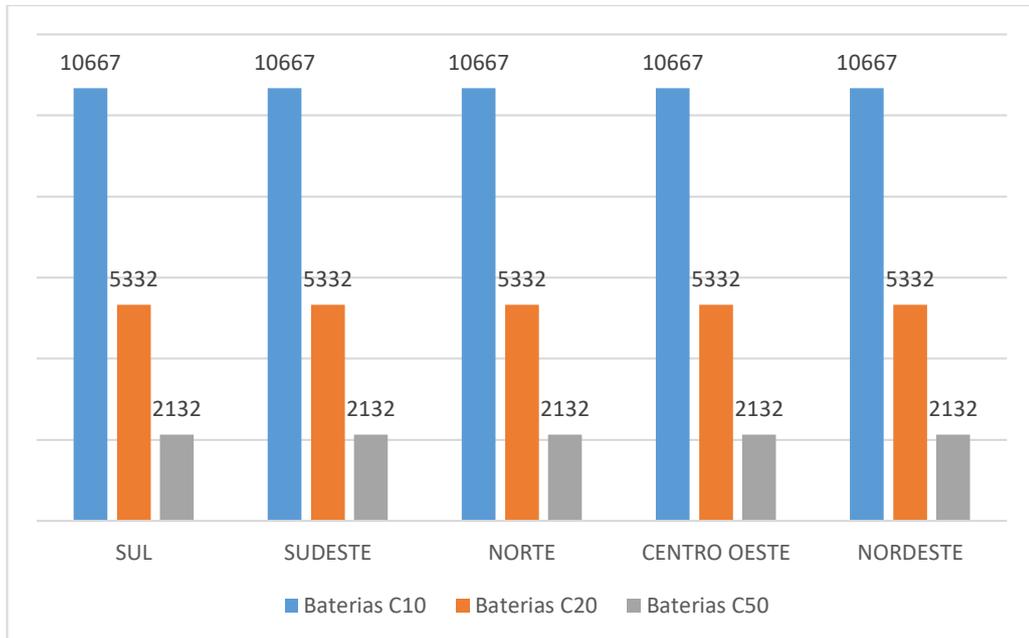
Fonte: Elaborado pelo Autor (2024).

Além disso, devido às condições climáticas distintas, no Sul é necessário armazenar uma quantidade maior de energia para atender ao eletroposto. Para isso, pode-se utilizar um banco de baterias adequado às necessidades do eletroposto. Para definir a quantidade de baterias e o tempo de *backup* do sistema, considerou-se a energia necessária para o sistema ser armazenada em *backup* e o fator de descarga das baterias, com C10 representando 10% de descarga, C20 representando 20% de descarga e C50 representando 50% de descarga da bateria. Utilizamos 10% da capacidade nominal da bateria ao longo de 10 horas. Isso significa que, se a capacidade nominal da bateria é de 220 Ah, estamos retirando 22 Ah (10% de 220 Ah) durante esse período. Em termos de taxa de descarga, isso equivale a 2,2 A (22 Ah/10 horas). Dessa forma, é possível ajustar a quantidade de baterias conforme a necessidade do projeto regional.

Conforme demonstram os dados da Figura 21, com C50 temos a menor quantidade de baterias necessárias. No entanto, a vida útil de uma bateria está relacionada à profundidade da descarga. O fabricante recomenda evitar ciclos profundos de descarga, pois isso leva à deterioração precoce e reduz a vida útil da bateria. Em situações de descarga profunda, ocorre aumento da resistência interna dos elementos da bateria, e a tensão de descarga diminui rapidamente com o aumento

da corrente. Por outro lado, com C10 temos a maior quantidade de baterias necessárias, o que resulta em uma vida útil significativamente maior para as baterias.

Figura 21 - Quantidade de baterias em relação % de descarga



Fonte: Elaborado pelo Autor (2024).

Dessa forma, é possível definir o tamanho do banco de baterias para atender cada região, considerando diferentes porcentagens de descarga, sem prejudicar a recarga dos veículos elétricos. As regiões podem ter bancos de baterias com porcentagens de descarga diferentes, conforme suas necessidades específicas.

#### 4.7 ELETROPOSTOS *OFF-GRID* EM RELAÇÃO AS CONDIÇÕES CLIMÁTICAS

Como já mencionado anteriormente, o consumo dos eletropostos é uniforme em todas as regiões, dentro das condições de uso estabelecidas. No entanto, a irradiação solar e as condições climáticas variam entre as regiões. Para aumentar a precisão no dimensionamento tanto do sistema fotovoltaico quanto do banco de baterias, foram estabelecidas algumas condições para melhor alinhar os valores com as características específicas de cada região.

Inicialmente, foi realizada uma análise e cálculo da irradiação solar média no Brasil. A partir da média da irradiação solar por estado, foi determinada a Variação da Irradiação. Este fator de correção considera a variação da irradiação entre o mês de maior média diária de irradiação solar local e o mês de menor média diária de

irradiação solar local, conforme apresentado na Equação 17, todos os valores expressos em dias.

$$\text{Fator de correção} = \text{Dia de Reserva} + \text{Variação da Irradiação} \quad (17)$$

Assim, o banco de baterias terá um tamanho proporcional para alimentar qualquer um dos eletropostos por um dia inteiro sem alimentação pelo sistema fotovoltaico, além do tempo necessário para compensar a variação da irradiação ao longo dos meses em cada região específica. O fator de correção para cada região está apresentado na Tabela 5.

Tabela 5 - Fator de correção para cada região e voltada ao dimensionamento do sistema *off-grid*

Região	Fator de Correção (Dias)
Sul	3,24
Sudeste	2,67
Centro-Oeste	1,85
Norte	1,94
Nordeste	1,55

Fonte: Elaborado pelo Autor (2024).

O fator de correção foi utilizado para multiplicar as necessidades energéticas dos eletropostos, aumentando a segurança e diminuindo as possíveis quedas de energia. Os novos fatores dos eletropostos modular são mostrados na Tabela 6 e o eletroposto avançado na Tabela 7.

Tabela 6 - Correção do Fator dos eletropostos modular em função das regiões

Regiões	Potência SFV (kWp)	Energia gerada (kwh-dia)	N° módulos fotovoltaicos	Área módulos fotovoltaicos (m <sup>2</sup> )	N° de baterias
Sul	493	2106	878	2268	8640
Sudeste	371	1722	662	1709	7120
Norte	270	1251	481	1242	5173
Centro-Oeste	239	1191	426	1097	4933
Nordeste	186	995	332	856	4133

Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Tabela 7 - Correção do Fator dos eletropostos avançado em função das regiões

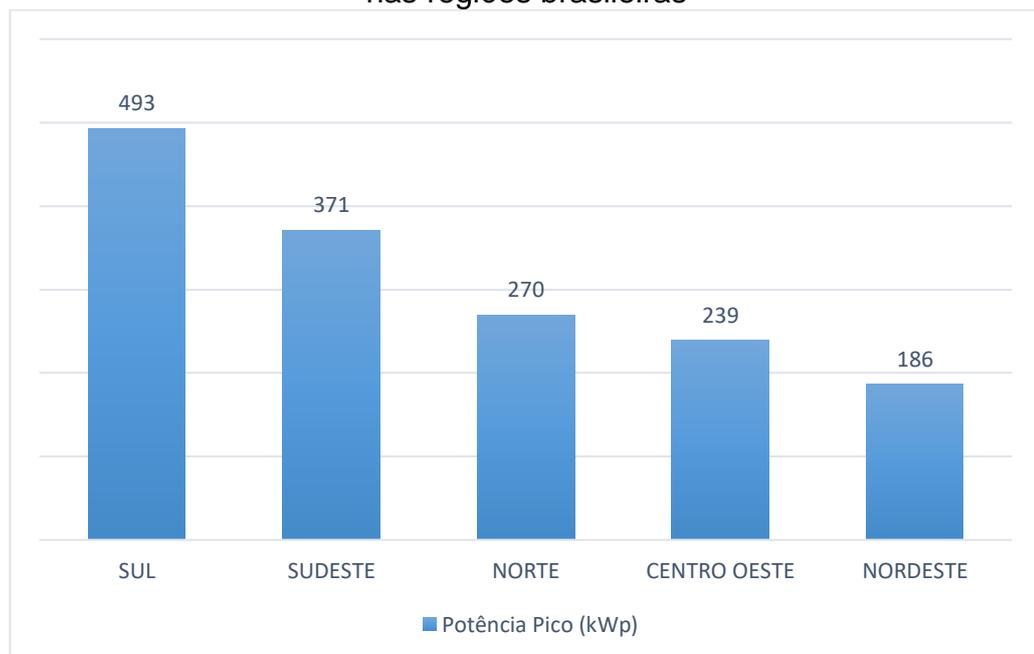
Regiões	Potência SFV (kWp)	Energia gerada (kwh-dia)	Nº módulos fotovoltaicos	Área módulos fotovoltaicos (m²)	Nº de baterias
Sul	1972	8424	3512	9072	34560
Sudeste	1484	6888	2648	6836	28840
Norte	1080	5004	1924	4968	20692
Centro-Oeste	956	4764	1704	4388	19732
Nordeste	744	3980	1328	3424	16532

Fonte (Elaborado pelo AUTOR, 2024)

Com base no consumo de cada eletroposto, ajustou-se a potência do sistema solar e a capacidade das baterias, mantendo o parâmetro C10 de descarga. O fator de correção foi utilizado para multiplicar as necessidades energéticas dos eletropostos, aumentando a segurança e reduzindo as possíveis quedas de energia.

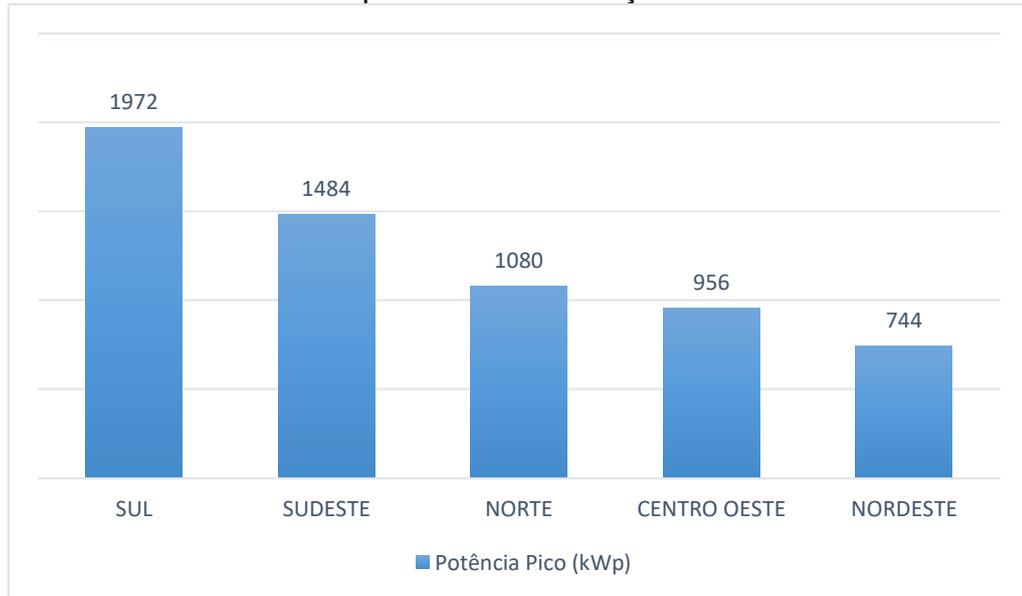
A Figura 22 ilustra o eletroposto modular, enquanto a Figura 23 representa o eletroposto avançado. Em ambos os casos, aplicou-se o fator de correção para ajustar as necessidades energéticas conforme as diferentes regiões brasileiras.

Figura 22 - Potências ajustadas pelo fator de correção dos eletropostos modulares nas regiões brasileiras



Fonte: Elaborado pelo Autor (2024).

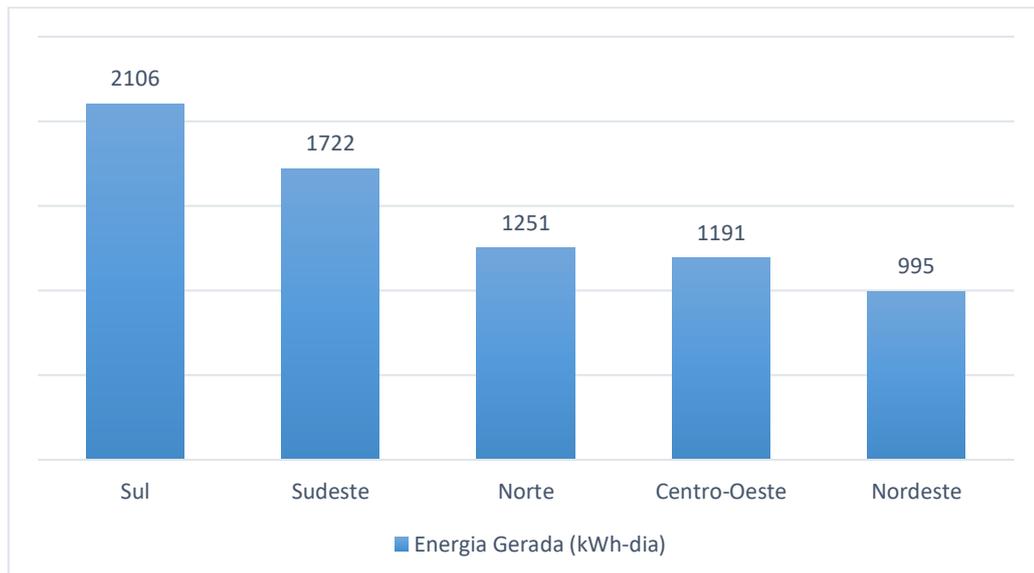
Figura 23 - Potência dos eletropostos avançados nas regiões brasileiras ajustada pelo fator de correção



Fonte: Elaborado pelo Autor (2024).

Regiões como o Sul, com condições climáticas menos favoráveis, requerem ajustes maiores de potência 1972 kWp em comparação com o Nordeste, que possui condições mais favoráveis 744 kWp. A energia gerada diariamente pelos sistemas fotovoltaicos em diferentes regiões brasileiras apresenta variações significativas. A Figura 24 ilustra a energia gerada pelo eletroposto modular. No Sudeste, a energia gerada é de 1722 kWh/dia, enquanto no Sul é de 2106 kWh/dia, no Norte é de 1251 kWh/dia, no Centro-Oeste é de 1191 kWh/dia e no Nordeste é de 995 kWh/dia.

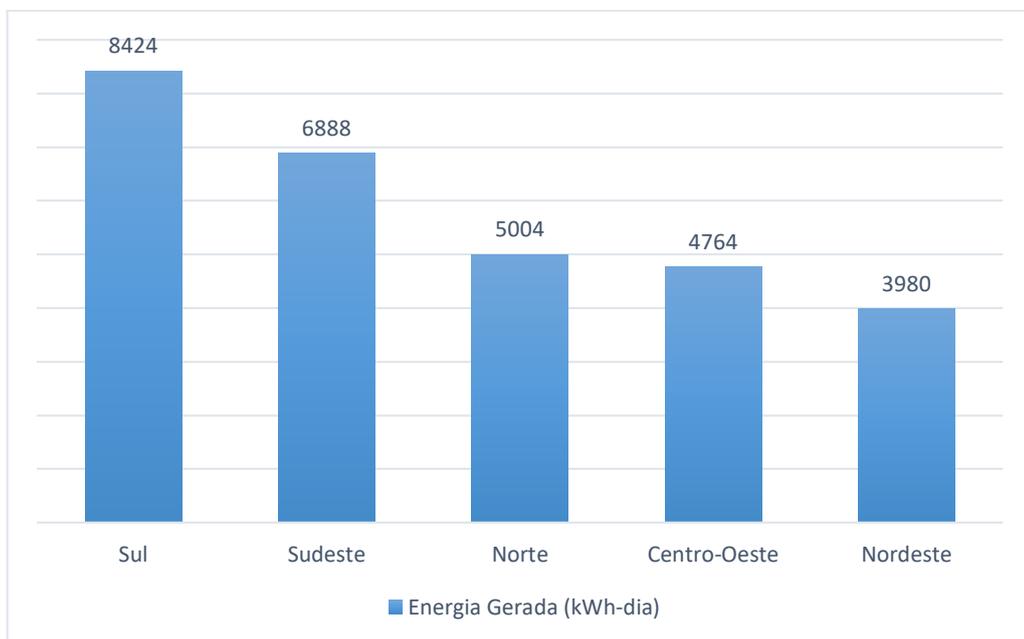
Figura 24 - Ajuste fator de correção energética eletroposto modular



Fonte: Elaborado pelo Autor (2024).

Além do sistema para o eletroposto modular, o estudo também analisou o sistema para o eletroposto avançado, conforme ilustrado na Figura 25. No Sul, a energia gerada pelo sistema avançado é de 8424 kWh/dia, enquanto no Nordeste é de 3980 kWh/dia. As maiores gerações de energia no Sul (2106 kWh/dia pelo sistema modular e 8424 kWh/dia pelo sistema avançado) indicam a necessidade de um sistema mais robusto para compensar as condições locais. No Nordeste, as menores gerações de energia (995 kWh/dia pelo sistema modular e 3980 kWh/dia pelo sistema avançado) demonstram que a região possui condições mais favoráveis para a eficiência do sistema. Essas variações refletem a importância de ajustar os sistemas fotovoltaicos aos fatores de correção regionais para otimizar a geração de energia e garantir a eficiência do sistema em cada localidade.

Figura 25 - Ajuste energia corrigida do eletroposto avançado

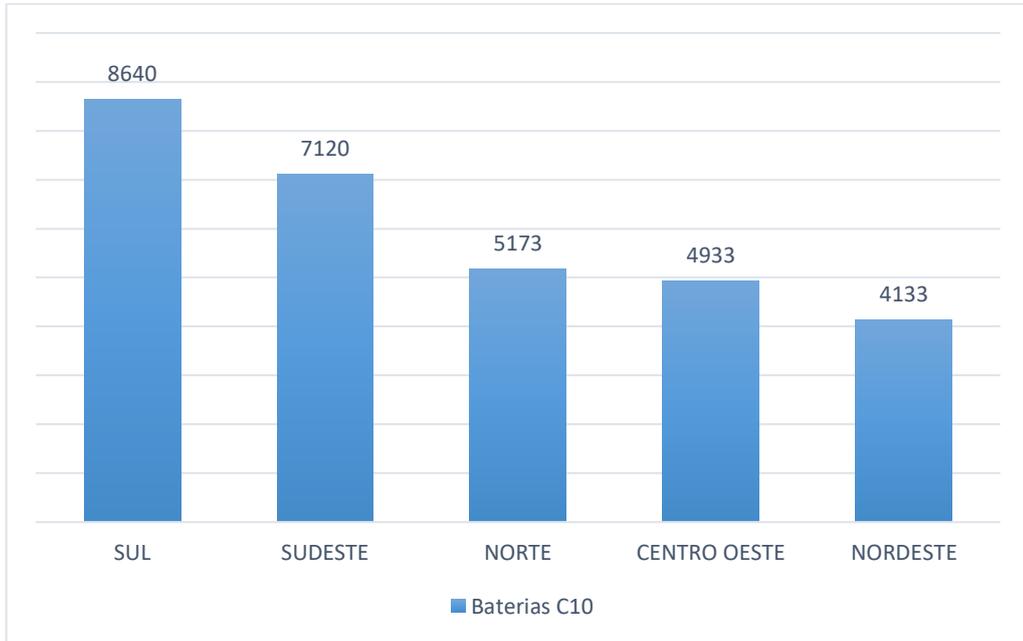


Fonte: Elaborado pelo Autor (2024).

O banco de baterias também teve sua quantidade alterada para atender às novas necessidades dos eletropostos. A Figura 26 ilustra o eletroposto modular, enquanto a Figura 27 mostra o eletroposto avançado. Embora sejam de tamanhos diferentes, ambos apresentam a mesma tendência de aumento na potência dos bancos de baterias conforme as regiões. O estudo dos eletropostos analisou o ciclo de descarga C10, visando a durabilidade das baterias e garantindo um fornecimento

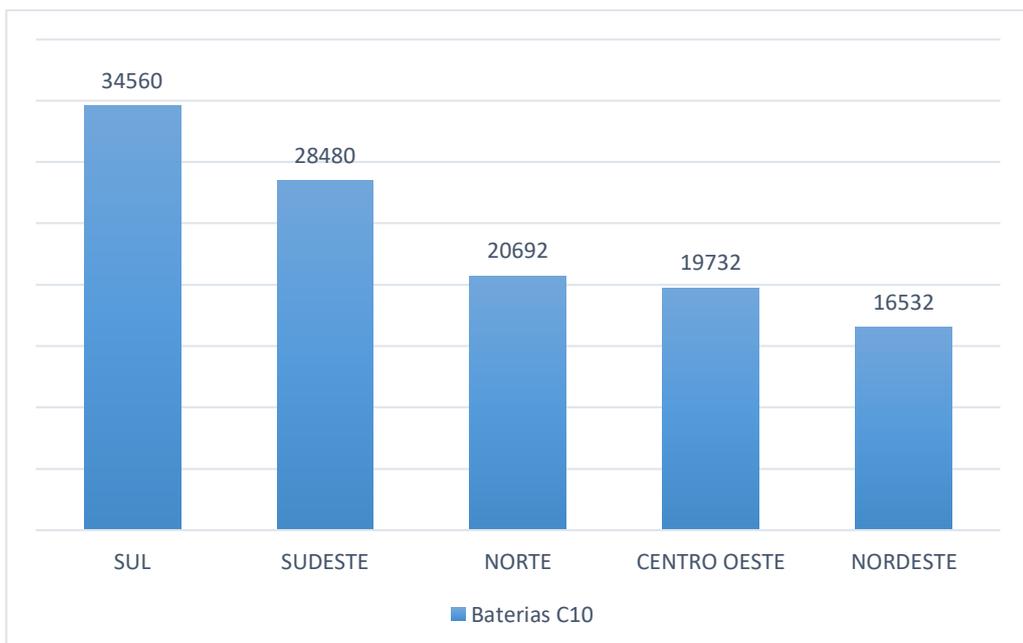
de energia constante e eficiente. No entanto, isso resulta em um aumento na quantidade de baterias, o que pode elevar os custos dos eletropostos.

Figura 26 - Banco de baterias do eletroposto modular



Fonte: Elaborado pelo Autor (2024).

Figura 27 - Banco de baterias eletroposto avançado



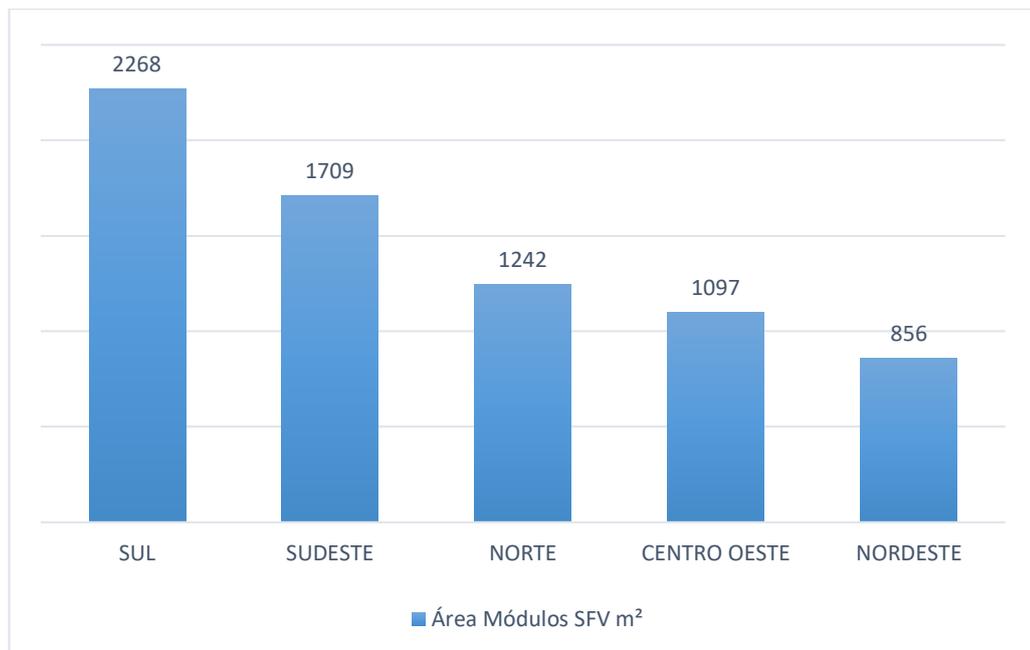
Fonte: Elaborado pelo Autor (2024).

A região Sul apresenta a maior capacidade de armazenamento de energia, com 91.238 kWh, seguida pelo Sudeste, que também possui uma capacidade substancial

de 75.235 kWh. As regiões Norte e Centro-Oeste têm capacidades moderadas, de 54.630 kWh e 52.098 kWh, respectivamente, enquanto o Nordeste apresenta a menor capacidade de armazenamento, com 43.653 kWh. Esta análise destaca a importância de adaptar as estratégias de gestão de energia às capacidades de armazenamento específicas de cada região para garantir um fornecimento de energia eficiente e confiável.

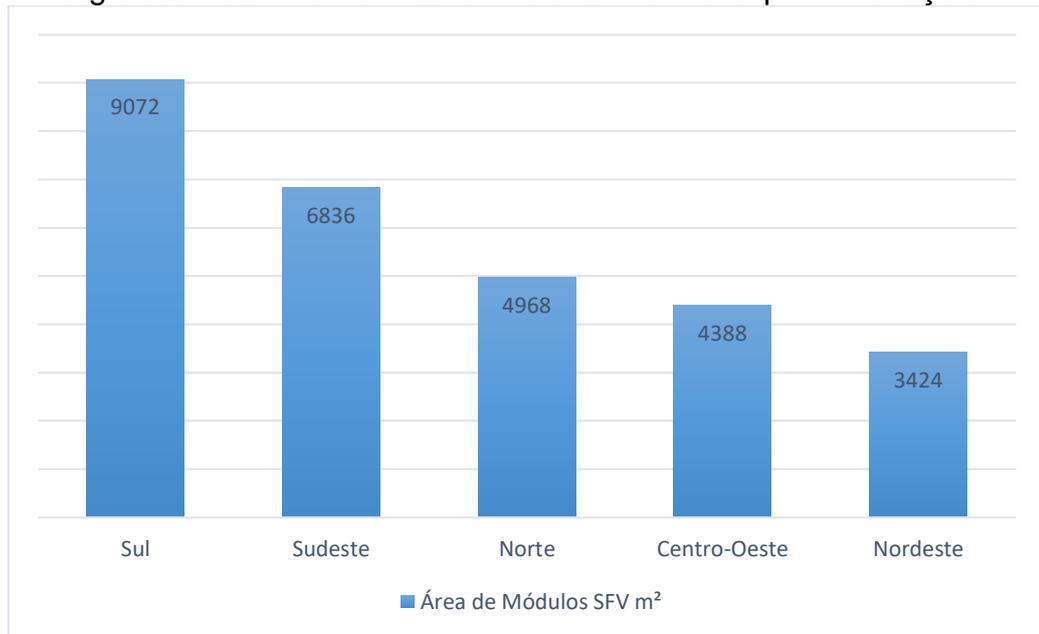
Os gráficos apresentados nas Figuras 28 e 29 mostram como as mudanças na área dos módulos fotovoltaicos, após a aplicação do fator de correção, afetam diretamente a metragem quadrada necessária para a instalação dos sistemas nos eletropostos. Tanto no sistema modular quanto no sistema avançado, há uma correlação direta entre o número de pontos de recarga e a área necessária para os módulos fotovoltaicos. À medida que a capacidade de recarga aumenta, a área quadrada dos módulos cresce proporcionalmente, garantindo que cada sistema atenda suas respectivas demandas energéticas de maneira eficiente.

Figura 28 - Área do sistema fotovoltaico do eletroposto modular



Fonte: Elaborado pelo Autor (2024).

Figura 29 - Área do sistema fotovoltaico do eletroposto avançado



Fonte: Elaborado pelo Autor (2024).

Inicialmente, determinou-se o tamanho dos eletropostos, optando-se pelo eletroposto modular com 2 pontos de recarga e pelo eletroposto avançado com 8 pontos de recarga, cada ponto com potência de 40 kW. Em seguida, calculou-se a quantidade necessária de módulos fotovoltaicos e inversores para atender ao sistema. Para garantir a eficiência dos eletropostos, incluiu-se o fator de correção, que considera as características climáticas e de irradiação das cinco regiões brasileiras. Dessa forma, ajustaram-se as quantidades de baterias, inversores, módulos fotovoltaicos e acessórios conforme as necessidades de cada região.

#### 4.8 PRECIFICAÇÃO DOS ELETROPOSTOS POR REGIÃO

##### 4.8.1 Identificação dos componentes e custos unitários

Para efeitos de comparação, foi realizado um orçamento dos custos estimados para os eletropostos modular e avançado nas cinco regiões do Brasil. É importante destacar que não foram considerados os valores de transporte de materiais para as regiões, nem os custos de aquisição de terreno. Além disso, a análise não inclui custos de manutenção, necessidade de pessoal para operação e gestão dos eletropostos, ou outros custos operacionais adicionais. O foco desta análise é exclusivamente nos custos de instalação e construção dos eletropostos, baseando-se

nos custos dos equipamentos básicos informados, acrescidos de um valor adicional de 15% para instalação.

Devido à proporcionalidade entre os eletropostos modulares e avançados, os custos e capacidades dos eletropostos avançados podem ser determinados com base nos eletropostos modulares. Assim, os dados são apresentados em relação ao eletroposto modular, facilitando a aplicação das mesmas análises para eletropostos de diferentes tamanhos.

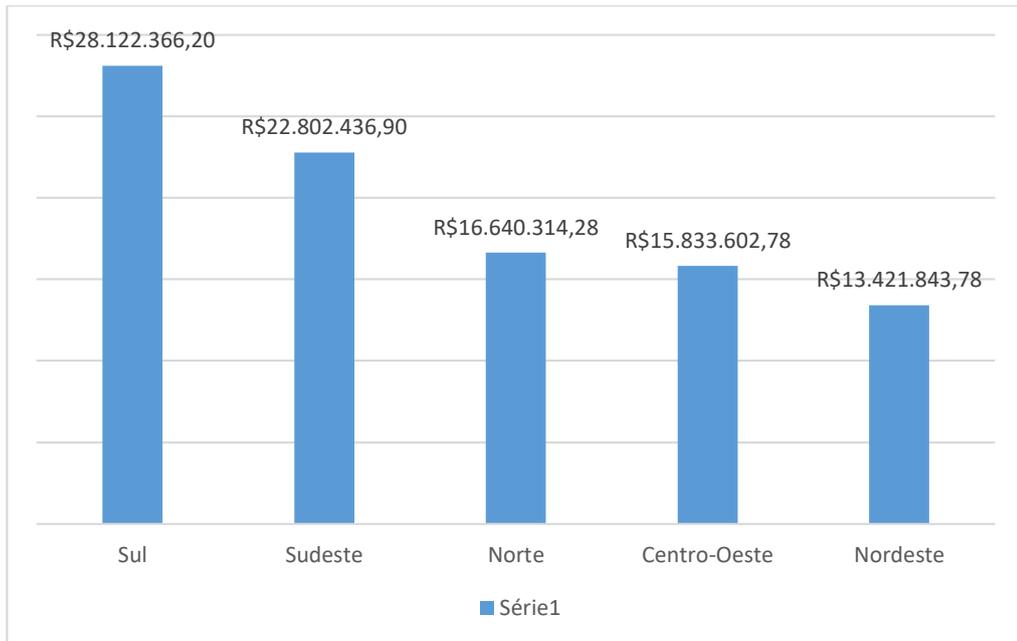
Os valores dos componentes foram obtidos a partir dos *datasheets* dos orçamentos fornecidos nos Anexos G e H. Para os inversores, apesar de orçado unidades de 40 kVA, utilizou-se uma proporcionalidade para calcular os valores dos inversores de 120 kVA, garantindo uma estimativa precisa e ajustada à realidade dos sistemas de maior capacidade. Os custos unitários considerados são:

- Módulos Fotovoltaicos: R\$ 590,00 por módulo;
- Baterias: R\$ 2.606,50 por bateria;
- Inversor de 120 kVA: R\$ 176.922,00 por unidade;
- Carregador veicular: R\$ 174.590,00 por unidade;
- Custo de instalação: 15% da soma dos custos de módulos, baterias, inversores e carregadores veiculares.

#### **4.8.2 Aplicação dos fatores de correções regionais**

Conforme analisado na seção 4.4, os fatores de correção regionais constantes na Tabela 5 foram determinados com base em variáveis como irradiância solar e eficiência dos módulos fotovoltaicos. Esses fatores são essenciais para ajustar os custos de acordo com as condições locais específicas de cada região. Os valores totais calculados para os eletropostos por região estão na Figura 30. O processo para chegar a esses dados está descrito no memorial de cálculo apresentado na Equação 12.

Figura 30 - Custo do eletroposto modular com dois pontos recarga por região



Fonte: Elaborado pelo Autor (2024).

Após os estudos e equações apresentados no item 3.6 da metodologia, foi calculado o retorno do investimento. Assim, para calcular a energia vendida por ciclo de recarga, consideramos que a bateria do BYD Dolphin Mini possui uma capacidade total de 38 kWh. No modo de carga rápida, o veículo pode ser recarregado de 30% a 80% da capacidade total em aproximadamente 30 minutos. Isso equivale a uma carga de 50% da capacidade da bateria. Foi estimado o valor de R\$2,00 por kWh em função do custo do kWh na rede elétrica da região Sul, que é em torno de R\$1,00.

Portanto, a energia vendida em cada ciclo de recarga de 30 minutos é:

$$38kWh \times 0,50 = 19kWh$$

O custo de venda da energia é de R\$ 2,00 por kWh. Assim, a receita gerada por ciclo de recarga é:

$$19kWh \times 2,00 = R\$38,00$$

### 4.8.3 Receita diária

O eletroposto modular opera 8 horas por dia, e cada ciclo de recarga dura 30 minutos. Dessa forma, o número total de ciclos de recarga realizados por ponto de recarga em um dia é:

$$\frac{\frac{8 \text{ horas diárias}}{0,5 \text{ hora}}}{\text{ciclo}} = 16 \text{ ciclos/dia}$$

Considerando dois pontos de recarga no eletroposto modular, a receita diária total é calculada da seguinte forma:

$$16 \text{ ciclos dia} \times R\$38,00 \text{ cada ciclo} = R\$608,00 \text{ por ponto de recarga por dia}$$

Para dois pontos de recarga, a receita diária total é:

$$2 \times R\$608,00 \text{ cada ciclo} = R\$1216,00 \text{ por dia}$$

### 4.8.4 Receita anual

Para calcular a receita anual, considerou-se a operação contínua dos eletropostos todos os dias do ano. Portanto, a receita anual é:

$$365 \text{ dias por ano} \times 1216,00 \text{ por dia} = R\$443.840,00$$

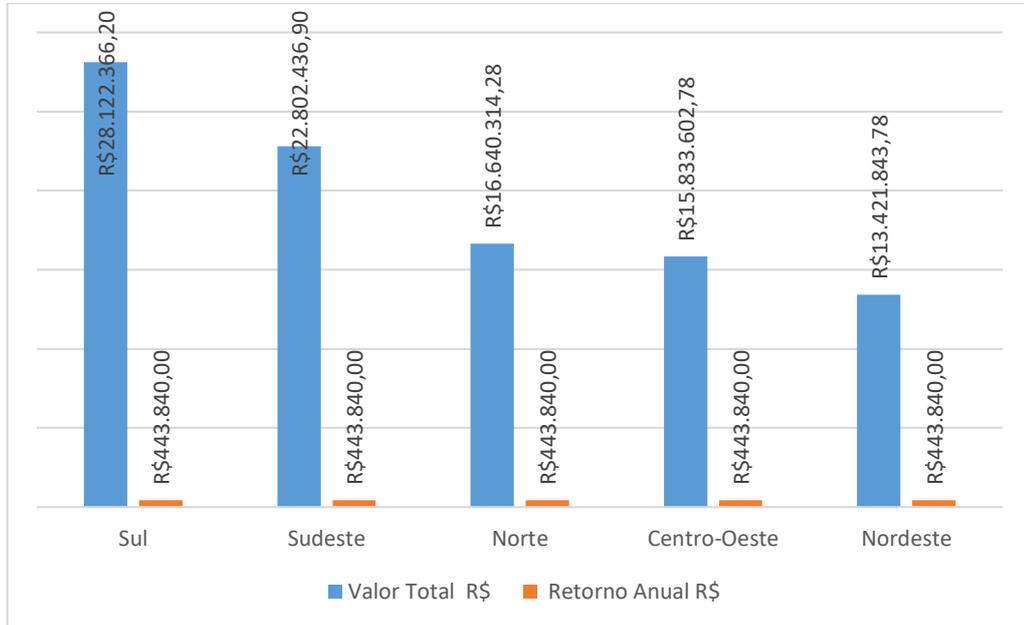
Este valor representa a receita anual gerada pela venda de energia nos eletropostos modulares para o veículo BYD Dolphin Mini. A análise é baseada na premissa de que os eletropostos operam continuamente, sem considerar possíveis manutenções ou indisponibilidades, e como mencionado, sem custos com operadores.

### 4.8.5 Comparação de receita anual e custo total

Os custos totais de instalação dos eletropostos modulares foram calculados considerando a receita anual, conforme a Figura 31. Não foram calculados os custos de instalação dos eletropostos avançados, pois eles possuem uma quantidade quadruplicada dos modulares. Assim, os custos seriam quatro vezes maiores,

tornando o cálculo desnecessário. A simplificação assume que a escala é linear, portanto, multiplicar os custos dos modulares por quatro fornece uma estimativa suficientemente precisa para os eletropostos avançados.

Figura 31 - Relação entre custo total e receita nas regiões brasileiras



Fonte: Elaborado pelo Autor (2024).

O gráfico mostra que, para gerar a mesma receita anual de R\$ 443.840,00, o Nordeste requer a menor potência instalada 185 kWp e tem o menor custo total (R\$ 14.388.835,99). Isso evidencia a eficiência econômica do Nordeste em comparação com outras regiões.

Para esta análise de viabilidade, serão utilizados os cálculos de ROI e *Payback*, apresentados anteriormente, que garantem duas formas de avaliar o investimento. Para isso, considerou-se o custo total dos eletropostos em relação ao custo médio dos eletropostos nas cinco regiões brasileiras e a receita gerada em cada uma, conforme mostrado na Tabela 8

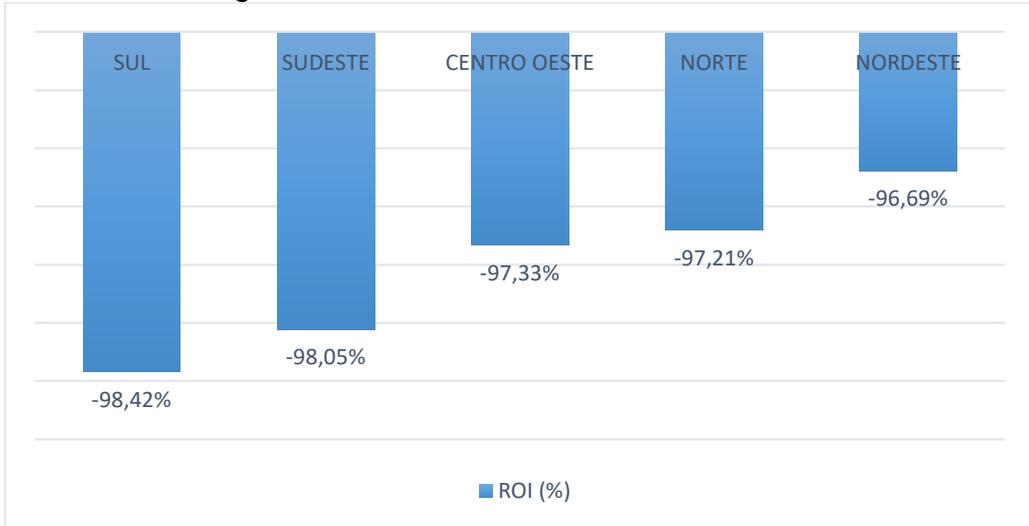
Tabela 8 - Custo dos eletropostos nas regiões brasileiras

Região	Receita do Eletroposto	Custo do Eletroposto
Sul	R\$ 443.840,00	R\$ 28.122.366,20
Sudeste	R\$ 443.840,00	R\$ 22.802.436,90
Norte	R\$ 443.840,00	R\$ 16.640.314,28
Centro-Oeste	R\$ 443.840,00	R\$ 15.833.602,78
Nordeste	R\$ 443.840,00	R\$ 13.421.843,78

Fonte: Elaborado pelo Autor (2024).

Agora, para ampliar as análises, foram obtidos os valores de ROI apresentados na Figura 32, com os cálculos detalhados no memorial de cálculo (Apêndice A), para cada região do Brasil conforme mostrado na Equação 15.

Figura 32 - Retorno sobre Investimento ROI

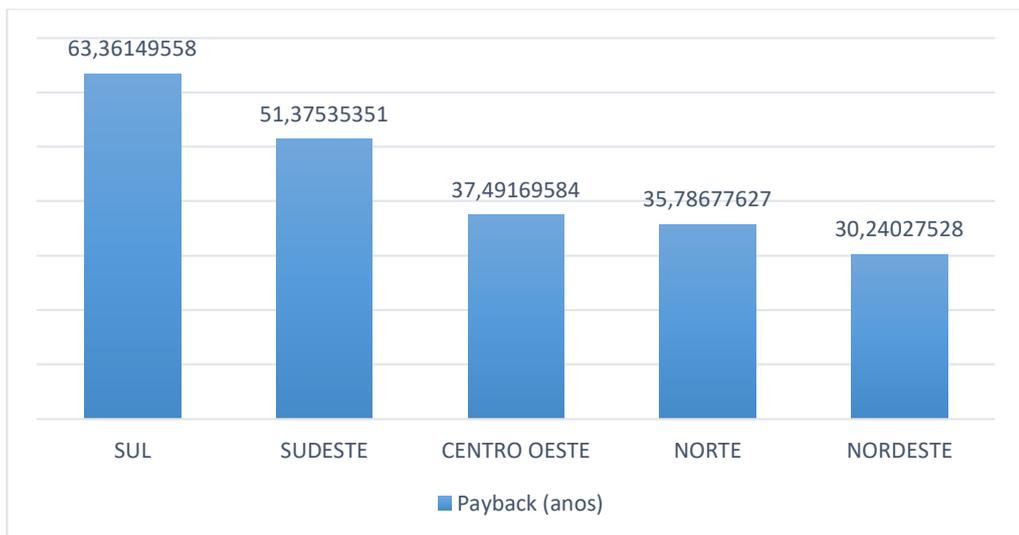


Fonte: Elaborado pelo Autor (2024).

Além do Retorno sobre Investimento (ROI), outra métrica importante para avaliar a viabilidade econômica de um projeto é o período de *Payback*.

O período de *Payback* indica quanto tempo levará para recuperar o investimento inicial com base na receita anual gerada. A Figura 33 mostra o gráfico do período de *Payback* para cada região, e os cálculos estão detalhados no memorial de cálculo na Equação 16.

Figura 33 - Tempo de retorno do investimento (Payback) por região



Fonte: Elaborado pelo Autor (2024).

## 5 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

### 5.1 CONCLUSÕES

Este trabalho dimensionou a viabilidade de implementação de eletropostos para recarga veicular, analisando dois modelos distintos: o eletroposto modular com 640 kWh-dia e o eletroposto avançado com 2560 kWh-dia. Foram calculadas as quantidades necessárias de módulos fotovoltaicos, baterias e inversores, buscando proporções adequadas à potência requerida por cada modelo. Não foram calculados os custos de instalação dos eletropostos avançados, pois eles possuem uma capacidade quadruplicada em relação aos modulares. Portanto, basta multiplicar o custo dos modulares por quatro, tornando desnecessário o cálculo detalhado para os avançados.

A aplicação do fator de correção, devido à variação climática, mostrou-se essencial para garantir a operação contínua dos eletropostos mesmo em condições de baixa geração de energia solar. A escolha do ciclo de descarga C10 para as baterias visou proporcionar maior durabilidade e eficiência energética em função das condições climáticas variáveis. No entanto, isso resultou em um aumento significativo no número de baterias e, conseqüentemente, nos custos de implementação.

Análises financeiras, utilizando os métodos de ROI e Payback, indicaram que os custos elevados tornam os eletropostos, na configuração estudada, pouco atrativos economicamente. A viabilidade técnica e financeira dos sistemas de carregamento veicular off-grid varia consideravelmente entre as diferentes regiões do Brasil. O Nordeste, com seu maior potencial solar, destaca-se como a região com melhores condições para a implementação de eletropostos. A alta incidência de radiação solar permite uma maior eficiência dos sistemas fotovoltaicos, resultando em menores custos de instalação, um ROI mais favorável e um período de payback mais curto. Em contrapartida, o Sul enfrenta desafios significativos devido ao menor potencial solar, o que exige um maior número de módulos fotovoltaicos e baterias para compensar a menor eficiência, elevando os custos de instalação e prolongando o período de payback.

A análise regional revelou que, enquanto o Nordeste apresenta condições relativamente mais favoráveis para a implementação de eletropostos, outras regiões como o Sul e Sudeste necessitam de abordagens específicas para melhorar a viabilidade econômica. No Nordeste, os altos níveis de radiação solar resultam em uma maior geração de energia, o que reduz a quantidade de módulos e baterias necessários. Isso, por sua vez, diminui os custos iniciais e operacionais, tornando os investimentos mais atrativos. No Sul, a menor incidência solar aumenta a necessidade de equipamentos adicionais, o que eleva os custos e impacta negativamente o retorno sobre o investimento.

A infraestrutura também desempenha um papel crucial na viabilidade dos eletropostos. No Nordeste e Centro-Oeste, a menor necessidade de infraestrutura adicional se deve à alta eficiência dos painéis solares. Já no Sul e Sudeste, a maior demanda por infraestrutura para suportar a carga energética necessária resulta em custos mais elevados. Portanto, a viabilidade dos eletropostos não depende apenas do potencial solar, mas também da infraestrutura disponível e dos custos associados à sua implementação e manutenção.

Financeiramente, os custos de instalação são relativamente mais baixos no Nordeste devido à menor quantidade de equipamentos necessários. Além disso, o retorno sobre investimento (ROI) é mais favorável nesta região devido aos menores custos de instalação e maior eficiência energética. Em contraste, no Sul, os custos de instalação são significativamente mais altos devido à necessidade de mais baterias e módulos fotovoltaicos. Isso resulta em um ROI desfavorável e um período de payback mais longo, dificultando a viabilidade econômica no curto e médio prazo.

Para aumentar a viabilidade econômica em regiões menos favoráveis, recomenda-se negociar melhores preços para equipamentos, buscar incentivos fiscais, diversificar os serviços oferecidos nos eletropostos e formar parcerias estratégicas com empresas e governos locais para reduzir custos e aumentar a eficiência operacional. Essas medidas são cruciais para tornar a implantação de eletropostos uma opção viável em todas as regiões do país.

A implementação adequada de sistemas de carregamento veicular off-grid pode promover a sustentabilidade energética e contribuir significativamente para a expansão da mobilidade elétrica no Brasil. No entanto, é imperativo abordar os desafios regionais específicos e adotar estratégias que mitiguem os custos e maximizem a eficiência dos sistemas. Investir em pesquisa e desenvolvimento de novas tecnologias que aumentem a eficiência dos módulos fotovoltaicos e das baterias também é essencial para melhorar a viabilidade econômica dos eletropostos.

Em conclusão, enquanto o Nordeste apresenta as melhores condições para a implementação de eletropostos off-grid, outras regiões exigem abordagens adaptativas e estratégias específicas para superar os desafios técnicos e financeiros. A promoção de incentivos governamentais e a busca por parcerias estratégicas são passos fundamentais para viabilizar a expansão sustentável e eficiente dos eletropostos em todo o Brasil. Portanto, a viabilidade da implementação de sistemas de carregamento veicular off-grid depende de uma abordagem integrada que considere as particularidades regionais, as necessidades de consumo energético, e a aplicação de tecnologias avançadas para maximizar a eficiência e reduzir os custos.

## 5.2 RECOMENDAÇÕES

Para futuros estudos e implementações, recomenda-se explorar diversas áreas que podem aprimorar a viabilidade e eficiência dos eletropostos. Um ponto crucial seria investigar novas tecnologias destinadas a reduzir os custos dos sistemas fotovoltaicos e de armazenamento, essenciais para tornar os eletropostos mais acessíveis economicamente. Além disso, é fundamental analisar a integração dos eletropostos com a rede elétrica convencional, buscando reduzir a dependência de sistemas off-grid. Essa abordagem poderia otimizar o uso de energia e diminuir os custos operacionais associados.

Outra recomendação importante seria avaliar estratégias para aumentar a venda de kWh, o que poderia significativamente aumentar a viabilidade financeira dos eletropostos. Isso inclui considerar políticas tarifárias favoráveis e explorar incentivos que incentivem a utilização dos eletropostos. Além disso, investigar diferentes ciclos de descarga das baterias também seria uma alternativa, visando reduzir a quantidade necessária de baterias sem comprometer a eficiência operacional e a durabilidade do

sistema. Considerando que as baterias são atualmente um dos componentes mais caros dos eletropostos, explorar ciclos de descarga mais eficientes pode ajudar a reduzir significativamente os custos de instalação e aumentar a viabilidade econômica. Essas iniciativas são fundamentais para promover uma expansão sustentável e eficiente dos eletropostos, alinhando-se com as demandas crescentes por soluções energéticas limpas e eficazes.

## REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 16612:** Cabos de potência para sistemas fotovoltaicos, não halogenados, isolados, com cobertura, para tensão de até 1,8 kV C.C. entre condutores - Requisitos de desempenho. ABNT, 2020.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DO VEÍCULO ELÉTRICO (ABVE). **Eletrificados:** novo recorde no semestre. ABVE, São Paulo, 2023. Disponível em: <http://www.abve.org.br/eletrificados-novo-recorde-no-semester/>. Acesso em: 01 out. 2023.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DO VEÍCULO ELÉTRICO (ABVE). **Eletrificados iniciam 2024 com recorde de vendas.** ABVE, 6 de fevereiro de 2024. Disponível em: <http://www.abve.org.br/eletrificados-novo-recorde-no-semester/>. Acesso em: 01 out. 2023

BANCO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO (BNDES). **Veículos elétricos:** história e perspectivas no Brasil. BNDES, Brasília, 2022. Disponível em: [https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/bitstream/1408/1489/3/A%20BS%2033%20Ve%C3%ADculos%20el%C3%A9tricos%20-%20hist%C3%B3ria%20e%20perspectivas%20no%20Brasil\\_P.pdf](https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/bitstream/1408/1489/3/A%20BS%2033%20Ve%C3%ADculos%20el%C3%A9tricos%20-%20hist%C3%B3ria%20e%20perspectivas%20no%20Brasil_P.pdf). Acesso em: 01 out. 2023.

BEATTI, A. ROI: **Return on Investment Meaning and Calculation Formulas.** Investopedia, 14 de junho de 2024. Disponível em: <https://www.investopedia.com/articles/basics/10/guide-to-calculating-roi.asp#:~:text=Key%20Takeaways,finally%2C%20multiplying%20it%20by%20100>>. Acesso em: 17 jun. 2024.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (INPE). (2020). **Atlas Brasileiro de Energia Solar.** Disponível em: Atlas Brasileiro de Energia Solar. Acesso em 14 abr. 2024

CANAL SOLAR. **Especificações dos cabos elétricos nos sistemas fotovoltaicos.** Canal Solar, 2020. Disponível em: <https://canal.solar.com.br/especificacoes-dos-cabos-eletricos-nos-sistemas-fotovoltaicos/>. Acesso em: 05 nov. 2023.

CANALTECH. **Carros elétricos e tipos de motores.** CanalTech Online, 2023. Disponível em: <https://canaltech.com.br/carros/carros-eletricos-tipos-de-motores-209190/>. Acesso em: 17 nov. 2023.

RAHIMI, M. (2021). **Lithium-Ion Batteries: Latest Advances and Prospects.** Batteries, 7(1), 8. MDPI. Acesso em 17 nov. 2023.

CANO, Márcio. **Veículos elétricos e híbridos**. 1. ed. São Paulo: Blucher, 2018. E-book. Disponível em: <https://plataforma.bvirtual.com.br>. Acesso em: 06 set. 2023.

CESAR, J. **BYD Dolphin Mini conquista o topo das vendas de carros elétricos no Brasil**. Insideevs, 2 de abril de 2024. Disponível em: <https://insideevs.uol.com.br/news/714564/byd-dolphin-mini-vendas-brasil/>. Acesso em: 15 jun. 2024.

CESAR, J. **Quanto custa recarregar um carro elétrico em um carregador público em SP?** Insideevs, 08 de março de 2023. <https://insideevs.uol.com.br/news/655999/preco-carregamento-carro-eletrico-saopaulo/>. Acesso em: 17 jun. 2024.

CESVI BRASIL. **Vecomponentes**. CERSVI Brasil, São Paulo, 2023. Disponível em: <https://www.cesvibrasil.com.br/Portal/Principal/Arquivos/Download/Upload/vecomponentes.pdf>. Acesso em: 15 out. 2023.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE). Matriz energética e elétrica. EPE, 2023. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/abcdenergia/matriz-energetica-e-eletrica>. Acesso em: 10 out. 2023.

ENOSHITA, E. **Dolphin Mini: Cinco pontos que explicam o sucesso**. Webmotors, 13 de maio de 2024. Disponível em: <https://www.webmotors.com.br/wm1/dinheiro-e-economia/cinco-motivos-do-sucesso-do-dolphin-mini>. Acesso em: 15 jun. 2024.

FERNÁNDEZ, Eloi Fernández y. **O sol vai voltar amanhã: um espectro de análises sobre a energia fotovoltaica**. 1. ed. Rio de Janeiro: Lexikon, 2020. E-book. Disponível em: <https://plataforma.bvirtual.com.br>. Acesso em: 09 set. 2023.

HERNANDEZ NETO, A. **Introdução às Ciências Térmicas**. USP, 2017. <http://sites.poli.usp.br/d/pme2378/Documentos/Aula%2020%20-%20Calor%20e%20trabalho%20PME%202378.pdf>. Acesso em: 17 jun. 2023.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (IEA). **Global EV 2023**. IEA, Paris, 2023. Disponível em: <https://www.iea.org/reports/global-ev-outlook-2023/trends-in-electric-light-duty-vehicles>. Acesso em: 15 set. 2023.

KAGAN, J. **Payback Period: Definition, Formula, and Calculation**. Investopedia, 14 de junho de 2024. <https://www.investopedia.com/terms/p/paybackperiod.asp>. Acesso em: 17 jun. 2024.

NEOCHARGE. **Tudo sobre carregador carro elétrico tipo conector veículo elétrico**. Neocharge, São Paulo, 2023. Disponível em: <https://www.neocharge.com.br/tudo-sobre/carregador-carro-eletrico/tipo-conector-veiculo-eletrico#tipo-1>. Acesso em: 15 out. 2023.

NEOCHARGE. **Tudo sobre carro elétrico bateria veículo elétrico**. Neocharge, São Paulo, 2023. Disponível em: <https://www.neocharge.com.br/tudo-sobre/carro-eletrico/bateria-veiculo-eletrico>. Acesso em: 17 nov. 2023.

NEOSOLAR. **Bateria Moura estacionária**. Neosolar, s/d. Disponível em: <<https://www.neosolar.com.br/loja/bateria-estacionaria-moura-solar-12ms234-220ah.html>>. Acesso em: 17 jun. 2024.

PEREIRA, E.B.; MARTINS, F.R.; GONÇALVES, A.R.; COSTA, R.S. et al. **Atlas brasileiro de energia solar**. 2. ed. São José dos Campos: INPE, 2017. 80 p. DOI: 10.34024/978851700089.

WEG. **WeMob Estações de Recarga para Veículos Elétricos**. WEG, 2024. Disponível em: <<https://static.weg.net/medias/downloadcenter/hd1/h5e/WEG-WEMOB-50105757-pt.pdf>>. Acesso em: 15 jun. 2024.

VILLALVA, M.G. **Energia solar fotovoltaica: conceitos e aplicações**. 1 ed. São Paulo: Érica, 2012.

## APÊNDICE A – MEMORIAL DE CÁLCULO

Para o dimensionamento do eletroposto, foram feitos cálculos avaliando a quantidade de pontos de recarga, o horário e os dias de funcionamento, a quantidade e potência de energia, o número de baterias, e a irradiação do local de instalação.

Definiu-se para os eletropostos modular 2 pontos e eletroposto avançado 8 pontos de recarga de 40kW, com horário de funcionamento de 8 horas diurnas, 30 dias por mês, usando os valores de irradiação de cada uma das capitais. Foi calculada a quantidade de veículos atendidos, em ciclos de recarga de 30 minutos, considerando uma média de 6 horas de irradiação solar diária, determinando a quantidade de energia e potência necessária. Esses valores serviram para determinar a quantidade de inversores e baterias, Nas baterias se avaliou a quantidade de descarga permitida para o dimensionamento do banco de baterias. Para chegar aos valores corretos da quantidade de painéis fotovoltaicos, foi necessário, através de cálculos, determinar os valores de energia disponível pela área do módulo fotovoltaico e considerar sua eficiência.

Para isso, foram definidos módulos fotovoltaicos de 560Wp e baterias de 12v e 220Ah. Foram desenvolvidos os cálculos. Para validar as equações, foi escolhida a capital brasileira de Rondônia, com irradiação de valor 4,48, dado obtido dos mapas solarimétricos oficiais, desenvolvendo as seguintes equações:

Pontos de recarga	8
Potência fornecida nos pontos de recarga (kW/h)	40
Média de horas com irradiação solar	6
Montante final de horas trabalhadas	64
Fator de perdas	0,95
Potência painel em Watts	560
Número dias de trabalho escolhido	30
Irradiação no estado desejado	4,48
Horário de funcionamento do eletroposto	8
Pontos de recarga	8

### 1. Cálculo da potência necessária do eletroposto

$$Demanda\ necessária = n^{\circ}pontosrecarga . potfornecida . hrs\ trabalho$$

$$Demanda\ necessária = 8 . 40kW . 8$$

$$Demanda\ necessária = 2560kWh/dia$$

## 2. Cálculo da energia gerada por placa por dia

*Energia gerada placa dia = potência nominal da placa . irradiação solar região*

$$\text{gerada placa dia} = 0,56\text{kW} \cdot 4,48$$

$$\text{gerada placa dia} = 2,51\text{kW/dia}$$

## 3. Cálculo da Energia placa solar por área

*Energia placa solar = Área modulo . irradiação*

$$\text{Energia placa solar por área} = 2,50 * 4,48$$

$$\text{Energia placa solar por área} = 11,20$$

## 4. Cálculo da Energia gerada placa solar dia

*Energia gerada placa solar dia = Energia placa solar \* Eficiência placa*

$$\text{Energia gerada placa solar dia} = 11,20 * 22\%$$

$$\text{Energia gerada placa solar dia} = 2,46\text{kW/dia}$$

## 5. Cálculo do número de módulos fotovoltaicos

*Número módulos FV = Demanda necessária/Energia gerada placa por dia*

$$\text{Número módulos FV} = 2560/2,46$$

$$\text{Número módulos FV} = 1040 \text{ placas}$$

## 6. Cálculo da Potência do sistema fotovoltaico

*Potência SFV = Número placas . potência placa*

$$\text{Potência SFV} = 1040 \cdot 0,56\text{kW}$$

$$\text{Potência SFV} = 582\text{kWp}$$

## 7. Cálculo da Metragem quadrada SFV

*M<sup>2</sup>SFV = Número placas . área da placa*

$$M^2SFV = 1040 \cdot 2,58$$

$$M^2SFV = 2684 \text{ m}^2$$

## 8. Cálculo do Número de inversores necessários

$$N^{\circ} \text{ inversores} = \frac{\text{potência sistema}}{\text{potência inversor}}$$

$$N^{\circ} \text{ inversores} = \frac{582 \text{ kW}}{150 \text{ kW}} = 3,88 \text{ inversores}$$

$$N^{\circ} \text{ inversores} = 4 \text{ inversores}$$

## 9. Cálculo da descarga de baterias utilizando fatores de C10 que utilizam 10% da capacidade nominal da bateria em 10 horas.

$$\text{Capacidade total C10} = \frac{\text{Demanda Energia Diária} * \text{fator envelhecimento}}{\text{Fator descarga 0,1}}$$

$$\text{potência C10} = \frac{2560 \text{ kW} * 1,1}{0,1}$$

$$\text{potência C10} = 28160 \text{ kWh}$$

$$\text{Capacidade em Ah para C10} = \frac{\text{potência C10 (Ah)}}{\text{Tensão Bateria (V)}} * 1000$$

$$\text{potência C10} = \frac{28160 \text{ kWh}}{12 \text{ V}}$$

$$\text{potência C10} = 2.346.666,67 \text{ Ah}$$

$$\text{Número baterias para C10} = \frac{\text{potência C10 (Ah)}}{\text{Corrente nominal Bateria (Ah)}}$$

$$\text{Número baterias para C10} = \frac{2.346.666,67}{220 \text{ (Ah)}}$$

$$\text{Número baterias para C10} = 10667 \text{ baterias}$$

## 10. Cálculo da descarga de baterias utilizando fatores de C20 que utilizam 20% da capacidade nominal da bateria em 10 horas.

$$\text{Capacidade total c20} = \frac{\text{Demanda Energia Diária} * \text{fator envelhecimento}}{\text{Fator descarga 0,2}}$$

$$\text{potência C20} = \frac{2560 \text{ kW} * 1,1}{0,2}$$

$$\text{potência C20} = 14080 \text{ kWh}$$

$$\text{Capacidade em Ah para C20} = \frac{\text{potência c20 (Ah)}}{\text{Tensão Bateria (V)}} * 1000$$

$$potenciaC20 = \frac{14080kWh}{12V} * 1000$$

$$potenciaC20 = 1.173.333,33Ah$$

$$Número baterias para C20 = \frac{potência C20 (Ah)}{Corrente nominal Bateria (Ah)}$$

$$Número baterias para C20 = \frac{1.173.333,33}{220(Ah)}$$

$$Número baterias para C20 = 5333 baterias$$

11. Cálculo da descarga de baterias utilizando fatores de C50 que utilizam 50% da capacidade nominal da bateria em 10 horas.

$$Capacidade total C50 = \frac{Demanda Energia Diária * fator envelhecimento}{Fator descarga 0,1}$$

$$potenciaC50 = \frac{2560kW * 1,1}{0,5}$$

$$potenciaC50 = 5632kWh$$

$$Capacidade em Ah para C50 = \frac{potência C50 Ah}{Tensão Bateria (V)} * 1000$$

$$potenciaC50 = \frac{kWh}{12V} * 1000$$

$$potenciaC50 = 4.693.333,33Ah$$

$$Número baterias para C50 = \frac{potência C50 (Ah)}{Corrente nominal Bateria (Ah)}$$

$$Número baterias para C50 = \frac{4.693.333,33}{220(Ah)}$$

$$Número baterias para C50 = 2133 baterias$$

Após ser aplicado o fator de correção nas regiões:

12. Cálculo dos custos dos eletropostos para validar as equações, foi escolhida a região Norte do Brasil, desenvolvendo as seguintes equações:7

## Região Norte

### 12.1 Quantidade de Módulos Fotovoltaicos:

$$\text{Módulos Fotovoltaicos} = \text{quantidade módulos} * \text{valor unitário módulo}$$

$$\text{Módulos Fotovoltaicos} = 481 * 590,00$$

$$\text{Módulos Fotovoltaicos} = 283.790,00$$

### 12.2 Quantidade de Baterias:

$$\text{Baterias} = \text{quantidade Baterias} * \text{valor unitário Bateria}$$

$$\text{Baterias} = 5173 * 2606,50$$

$$\text{Baterias} = 13.483.424,50$$

### 12.3 Quantidade de Inversores de 120kVA:

O número de inversores necessários para cada região, considerando a potência nominal de cada inversor de 120 kVA (150 kW), é:

$$\text{Inversores Necessários} = \frac{\text{Potência do sistema}(kWp)}{\text{Potência do Inversor}(kW)}$$

$$\text{Inversores Necessários} = \frac{269(kwp)}{150kW}$$

$$\text{Inversores Necessários} = 1.79 \text{ inversores}$$

Arredondando para cima

$$\text{Inversores Necessários} = 2$$

Para encontrar o valor dos inversores, como o orçamento foi baseado em inversores de 40kVA que suportam 50kW, utilizamos uma regra de três para transformar o custo por potência de cada inversor, considerando que o inversor de 120kVA suporta 150kW.

$$50 * x = 150 * 58.974,00$$

$$50 * x = 8.846.100,00$$

$$X = \frac{8.846.100,00}{50}$$

$$\text{Valor do inversor } 120\text{kVA} = 176.922,00$$

$$\text{Inversores} = \text{Quantidade de Inversores} \times \text{Valor unitário inversor}$$

$$\text{Valor de Inversores} = 2 \times 176.922,00$$

$$\text{Valor de Inversores} = 353.844,00$$

#### 12.4 Quantidade de carregadores veiculares

$$\text{Carregador veicular} = \text{Quantidade de carregadores} \times \text{Valor unitario carregador}$$

$$\text{Valor carregadores veiculares} = 2 \times 174.590,00$$

$$\text{Valor carregadores veiculares} = 349.180,00$$

#### 12.5 Soma dos valores para achar os 15% relativo aos acessórios e mão de obra de instalação

$$\text{Soma componentes} = \text{modulos} + \text{baterias} + \text{inversores}$$

$$\text{Soma componentes} = 283.790,00 + 13.483.424,50 + 353.844,00 + 349.180,00$$

$$\text{Soma componentes} = 14.470.238,00$$

$$\text{Valor Acessórios} = \text{Soma dos componentes} \times 15\%$$

$$\text{Valor Acessórios} = 14.470.238,00 \times 15\%$$

$$\text{Valor Acessórios} = 2.170.535,00$$

#### Cálculo do Custo Total do Projeto (Norte):

$$\text{Custo total projeto Norte} = \text{Soma componentes} + \text{soma acessórios}$$

$$\text{Custo total projeto Norte} = 14.470.238,00 + 2.170.535,00$$

$$\text{Custo total projeto Norte} = 16.640.773,68$$

$$\text{Custo eletroposto por kWp} = \frac{\text{Custo total projeto}}{\text{Potência pico sistema (kWp)}}$$

$$\text{Custo eletroposto por kWp} = \frac{32.162.923,43}{269}$$

$$\text{Custo eletroposto por kWp} = 119.569,20$$

## 13. Cálculo para análise do retorno por ROI e por PAYBACK

$$ROI = \left( \frac{Receita\ Anual - Custo\ Total}{Custo\ Total} \right) \times 100\%$$

## 14. Cálculo do ROI das Regiões Brasileiras

$$ROI = \left( \frac{Receita\ Anual - Custo\ Total}{Custo\ Total} \right) \times 100\%$$

Sul

$$ROI = \left( \frac{443.840,00 - 28.122.366,20}{28.122.366,20} \right) \times 100\%$$

$$ROI = -98,43\%$$

Sudeste

$$ROI = \left( \frac{443.840,00 - 22.802.436,90}{22.802.436,90} \right) \times 100\%$$

$$ROI = -98,07\%$$

Centro Oeste

$$ROI = \left( \frac{443.840,00 - 15.833.602,78}{15.833.602,78} \right) \times 100\%$$

$$ROI = -97,22\%$$

Norte

$$ROI = \left( \frac{443.840,00 - 16.640.314,28}{16.640.314,28} \right) \times 100\%$$

$$ROI = -97,35\%$$

Nordeste

$$ROI = \left( \frac{443.840,00 - 13.421.843,78}{13.421.843,78} \right) \times 100\%$$

$$ROI = -96,72\%$$

#### 16. Cálculo do *Payback* da média das Regiões Brasileiras

$$Payback = \frac{Custo\ Total}{Receita\ Anual}$$

Sul

$$Payback = \frac{28.212.362,20}{443.840,00}$$

$$Payback \approx 63,82\ Anos$$

Sudeste

$$Payback = \frac{22.802.436,90}{443.840,00}$$

$$Payback \approx 51,72\ Anos$$

Norte

$$Payback = \frac{16.640.314,28}{443.840,00}$$

$$Payback \approx 37,72\ Anos$$

Centro-Oeste

$$Payback = \frac{15.883.602,78}{443.840,00}$$

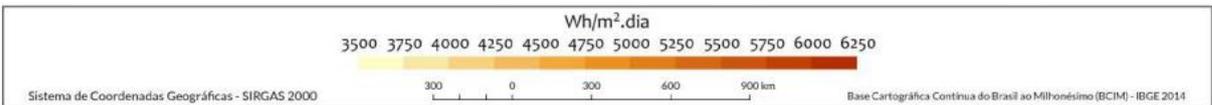
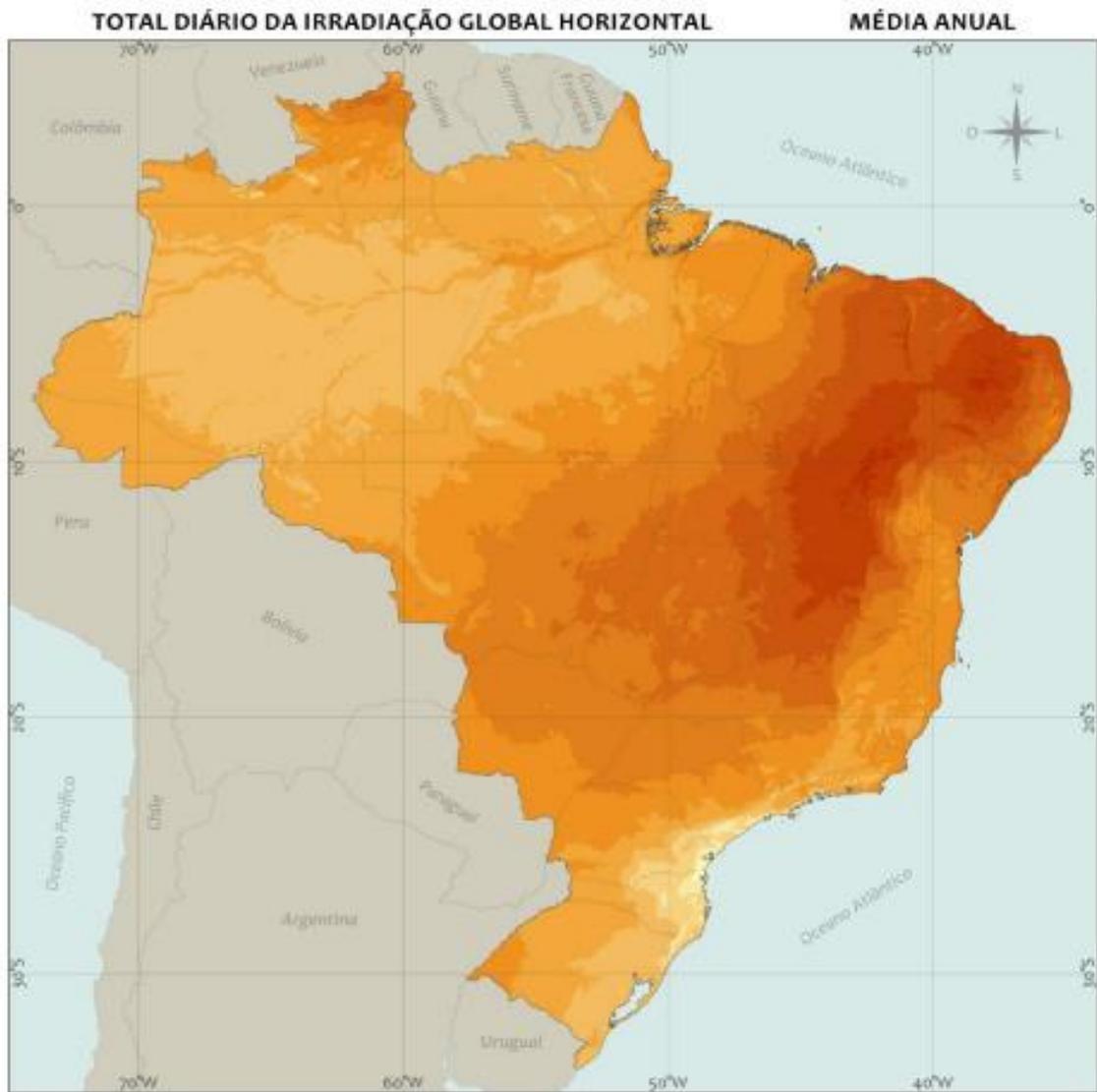
$$Payback \approx 36,01\ Anos$$

Nordeste

$$\textit{Payback} = \frac{13.421.843,78}{443.840,00}$$

$$\textit{Payback} \approx 30,47 \textit{ Anos}$$

### ANEXO A – DATASHEET DO MAPA SOLARIMÉTRICOS BRASILEIRO



## ANEXO B – DATASHEET DO VEÍCULO

# BYD DOLPHIN MINI

ESPECIFICAÇÕES E CONFIGURAÇÕES



**Performance**

Tração	FWD
Potência	75 cv
Torque máximo (Nm)	135
Aceleração de 0 a 100 km/h (s)	14,9
Velocidade máxima (km/h)	130
Autonomia (PBEV)	280 km

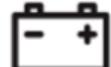


**New Energy**

DC Charging Port - CCS2 - 40 kw	●
AC Charging Port - Tipo 2 - 6,6 kw	●
Sistema de reserva de carregamento	●
Função de descarga AC padrão (veículo para carga/V2L)	●

# BYD DOLPHIN MINI

ESPECIFICAÇÕES E CONFIGURAÇÕES



**Bateria**

Tipo de bateria	Blade (LFP)
Capacidade da bateria (kWh)	38
Tempo de recarga (30% a 80%) DC	30 minutos

## ANEXO C – DATASHEET DOS MÓDULOS FOTOVOLTAICOS

### PAINEL SOLAR FOTOVOLTAICO



# ReneSola



560 W • 585 W • 665 W



560 W P-Type

GARANTIA  
MATERIAL  
**12**  
ANOS

GARANTIA  
**25**  
ANOS  
85% POTÊNCIA

EFICIÊNCIA  
ENERGÉTICA  
**21,7**  
%

585 W N-Type

GARANTIA  
MATERIAL  
**15**  
ANOS

GARANTIA  
**30**  
ANOS  
87% POTÊNCIA

EFICIÊNCIA  
ENERGÉTICA  
**22,65**  
%



		RS6-560M-E3	RS6-585NG-E3	RS9-665MBG-E1
<b>CARACTERÍSTICAS ELÉTRICAS - STC</b>				
Potência	P [W]	560,00	585,00	665,00
Corrente de Curto-Circuito	Isc [A]	14,10	14,07	18,50
Tensão de Circuito Aberto	Voc [V]	50,10	52,47	46,10
Potência de Pico ou Máxima Potência	Pmax [W]	576,80	602,55	684,95
Tensão em Potência de Pico ou Máxima Potência	Vmp [V]	42,25	43,53	38,30
Corrente em Potência de Pico ou Máxima Potência	Imp [A]	13,25	13,44	17,39
Eficiência Energética (PROCEL)	%	21,70	22,65	21,41
Classe de Eficiência (PROCEL)	Cat	A	A	A
<b>CARACTERÍSTICAS ELÉTRICAS - NMDT</b>				
Potência	P [W]	418,60	444,00	504,00
Corrente de Curto-Circuito	Isc [A]	11,41	11,43	14,91
Tensão de Circuito Aberto	Voc [V]	47,11	49,99	43,40
Tensão em Potência de Pico ou Máxima Potência	Vmp [V]	39,25	41,11	35,60
Corrente em Potência de Pico ou Máxima Potência	Imp [A]	10,68	10,80	14,16
<b>COEFICIENTE DE TEMPERATURA</b>				
Potência Máxima	Pmax	- 0,35 [%/°C]	- 0,29 [%/°C]	- 0,35 [%/°C]
Corrente Curto-Circuito	Isc	+ 0,048 [%/°C]	+ 0,045 [%/°C]	+ 0,040 [%/°C]
Tensão Circuito Aberto	Voc	- 0,27 [%/°C]	- 0,25 [%/°C]	- 0,27 [%/°C]
<b>CARACTERÍSTICAS DE OPERAÇÃO</b>				
Tensão Máxima do Sistema		1500 (IEC) VDC		1500 (IEC) VDC
Corrente de Limite Reversa		25 A		35 A
Temperatura de Operação		- 40 °C a 85 °C		- 40°C - 85°C
Máximo Impacto de Granizo (diâmetro · velocidade)		25 mm · 82,8 km/h		25mm · 82,8 km/h
Carga Mecânica à Superfície		5400 Pa		5400 Pa
Carga Mecânica ao Vento		2400 Pa		2400 Pa
<b>CARACTERÍSTICAS MECÂNICAS</b>				
Tecnologia da Célula		Half Cell Monocristalino P-Type	Half Cell Monocristalino N-Type	Half Cell Monocristalino P-Type Bifacial
Quantidade de Células		144 (6 x 24)		132 (6 x 22)
Proteção Frontal ( material · espessura)		Vidro Temperado · 3,2 mm		Vidro Temperado · 2 mm
Painel Traseiro · Proteção		Branco · IP 68		Vidro Temperado 2 mm · IP 68
Moldura: Material · Cor		Liga de Alumínio Anodizado · Prata		Liga de Alumínio Anodizado · Prata
Cabo Fotovoltaico (comprimento · bitola)		300 mm · 4 mm <sup>2</sup>	1200 mm · 4 mm <sup>2</sup>	300 mm · 4 mm <sup>2</sup>
Conector Fotovoltaico (padrão · proteção)		MC4 · IP 68		MC4 · IP68
Dimensão (A x L x P)		2278 x 1134 x 30 mm		2384 x 1303 x 35 mm
Área		2,58 m <sup>2</sup>		3,10 m <sup>2</sup>
Peso		27 kg	31,7 kg	38,7 kg
<b>CERTIFICAÇÕES</b>				
INMETRO		010998/2023	003353/2024	011002/2023

## ANEXO D – DATASHEET DAS BATERIAS



Acumuladores Moura S/A CNPJ 09.811.654/0001-70  
Rua Diário de Pernambuco, 195 - Belo Jardim-PE

TIPO(Tecnologia da bateria)		<b>Chumbo-Ácida Ventilada Sem Reposição de Água</b>	
MODELO(Código comercial)	<b>12MS234</b>	CAPACIDADE NOMINAL (120h até 1,80Vpe* @25°C)	<b>234 Ah</b>
TENSÃO NOMINAL	<b>12 V</b>	NÚMERO DE CICLOS (Conforme Portaria nº 004/11)	<b>150</b>

Requisitos de Avaliação da Conformidade para Sistemas e Equipamentos  
para Energia Fotovoltaica - Portaria Inmetro no 004/2011



**PROCEL**

PROGRAMA NACIONAL DE CONSERVAÇÃO  
DE ENERGIA ELÉTRICA

**ESTE PRODUTO TEM SEU DESEMPENHO APROVADO PELO INMETRO  
E ESTÁ EM CONFORMIDADE COM O PROGRAMA BRASILEIRO DE ETIQUETAGEM**

\*1,00Vpe para bateria Ni-Cd

Modelo (C120)	Tensão nominal (V)	Capacidade a 25°C (Ah) / 1,75Vpe			Dimensões (mm)				Peso (Kg)
		(C10)	(C20)	(C120)	Comp.	Larg.	Alt.		
							com polo	sem polo	
12MS32	12	27	30	33,6	197	130	184	159	9,9
12MS38	12	33	36	40	212	175	175	175	11,36
12MS48A	12	41	45	50,4	212	175	190	190	12,8
12MS58	12	50	55	61,2	242	175	175	175	14,4
12MS64A	12	52	60	67,1	242	175	190	190	15,5
12MS68	12	55	63	70,8	282	175	175	175	17,8
12MS74	12	63	70	77,4	282	175	190	190	19,3
12MS85	12	74	80	88,8	306	172	227	202	22,4
12MS111	12	95	105	116,4	330	172	244	219	26,5
12MS162	12	135	150	169,2	509	211	246	221	42,5
12MS186	12	160	175	194,4	517	272	246	221	52,15
12MS234	12	200	220	244,8	517	272	246	221	57,35

## ANEXO E – DATASHEET DO CARREGADOR VEÍCULAR

			
Modelo	WEMOB-S-060-W-E-4G-R-H-1CS2 WEMOB-S-120-W-E-4G-R-H-1CS2 WEMOB-S-150-W-E-4G-R-H-1CS2	WEMOB-S-060-W-E-4G-R-H-2CS2 WEMOB-S-120-W-E-4G-R-H-2CS2 WEMOB-S-180-W-E-4G-R-H-2CS2	V V
Código	17517914 17561996 17628294	17542725 17478325 17257325	
Tensão de alimentação	380-480 V <sub>CA</sub> ± 10% 3F+T		
Frequência	50/60 Hz ± 5%		
Corrente máxima de entrada	WEMOB-S-060: 103 A WEMOB-S-120: 202 A WEMOB-S-150: 252 A WEMOB-S-180: 301 A		
Fator de potência	0,9 de 25 a 50% de carga 0,98 de 50 a 100% de carga		
Eficiência	95% <sup>(1)</sup>		
Potência máxima de saída	WEMOB-S-060: 60 kW CC ou 30+30 kW CC <sup>(1)</sup> WEMOB-S-120: 120 kW CC ou 60+60 kW CC <sup>(1)</sup> WEMOB-S-150: 150 kW CC <sup>(1)</sup> WEMOB-S-180: 180 kW CC ou 90+90 kW CC <sup>(1)</sup>		
Tensão de saída CC	150-920 V <sub>CC</sub>		
Corrente máxima de saída CC	WEMOB-S-060: 150 A WEMOB-S-120: 300 A WEMOB-S-150: 300 A WEMOB-S-180: 500 A		
Grau de proteção	IP54		
Proteção contra impactos mecânicos externos	IK10		
Temperatura de operação	-25 °C a 40 °C – Até 50 °C com derating		
Dimensões aproximadas (A x L x P)	2.082 x 900 x 650 mm		
Peso aproximado	WEMOB-S-060: ≤500 kg   WEMOB-S-120: ≤550 kg   WEMOB-S-180: ≤600 kg		WEM
Quantidade de conectores (1 ou 2 conectores)	1 ou 2 conectores com cabo fixo		
Tipo de conector	CCS-1 ou CCS-2		
Comprimento útil do cabo	5,60 metros (modelo 180 kW) 4,35 metros (demais modelos)		

## ANEXO F – DATASHEET DOS INVERSORES



120 kVA

### INVERSOR SOLAR OFF GRID HÍBRIDO TRIFÁSICO NIÁGARA

	10 kVA	20 kVA	30 kVA	40 kVA	60 kVA	120 kVA
<b>ENTRADA PAINEL FOTOVOLTAICO (DC)</b>						
Potência Máxima		25 kW		50 kW	75 kW	150 kW
Quantidade Máxima Painel 560W / 585W		42		84	128	256
Tensão Máxima				750 VDC		
Tensão Mínima				440 VDC		
Tensão de Operação MPPT				450 a 550 VDC		
Corrente Máxima		60 A		120 A	180 A	360 A
Quantidade de MPPT		1 x 25 kW		2 x 25 kW	3 x 25 kW	6 x 25 kW
Número de Conexão para cada MPPT				1		
Eficiência MPPT				≥ 98%		
Padrão de Conector para Conexão				Borneira		
<b>CONFIGURAÇÃO BATERIAS (DC)</b>						
Número de Baterias (mínimo)				30 (externa)		
Tipo de Bateria				Solar, Estacionária, VRLA ou Lítio (sob encomenda)		
Tensão Nominal				360 VDC		
Tensão de Corte (Configurável via Display LCD)				285 VDC		
<b>ENTRADA (AC)</b>						
Tensão				380 (FF) / 220 (FN) VAC		
Configuração				Trifásico (F+F+F+N+T)		
Padrão de Conector para Conexão				Borneira		
Variação				304 - 425 VAC ± 5 VAC		
Frequência				50 / 60 Hz ± 5Hz (detector automático)		
Corrente do Carregador	12 A	25 A	38 A	50 A	75 A	250 A
Proteção de Corrente				Disjuntor		
Eficiência				≥ 96%		
ByPass				Manual ou Automático		
<b>SAÍDA (AC)</b>						
Potência	9000 W	18000 W	27000 W	36000 W	54000 W	108000 W
Pico de Potência				3 x Potência		
Tensão - Variação				380 (FF) / 220 (FN) VAC · ± 5%		
Configuração				Trifásico (F+F+F+N+T)		
Padrão de Conector para Conexão				Borneira		
Frequência (rede) · Frequência (bateria)				50 / 60 Hz ± 5 Hz (idem entrada) · 50 / 60 Hz ± 0,3 Hz (idem entrada)		
Forma de Onda				Senoidal Pura		
THD (carga linear) · Tempo de Transferência				3% · ≤ 0,08ms		
Eficiência	≥ 90%	≥ 91%		≥ 92%		≥ 93%

## ANEXO G – DATASHEET DO ORÇAMENTO INVERSORES, PAINÉIS, BATERIAS E ACESSÓRIOS



(54) 98417.5903  
 @ljrenergiasolar  
 ljrenergiasolar@gmail.com

### ORÇAMENTO

#### Material

- 01 Inversor Solar Off Grid Trifásico, modelo Niagara 40000 20 W = R\$58.974,00
- 84 Painel Solar modelo Renesola Half-Cell Mono 560W = R\$49.560,00
- Estrutura 100% em Alumínio para 84 Painéis Solar para Telhado = R\$10.862,00
- 84 Chicote Aterramento 700 x 4 mm = R\$714,00
- 60 Bateria específica Solar Moura 220 Ah = R\$156.390,00
- 2 String Box Avulso CC, modelo SB 1040V 4E/2S(4D) = R\$3.500,00

Valor: R\$280.000,00

#### Instalação

- Placas;
- Baterias
- Corrente CA;
- Proteções.

Valor: R\$32.000,00



Valor total unitário: R\$312.000,00

Valor total: R\$624.000,00



## ANEXO H – DATASHEET ORÇAMENTO CARREGADOR VEICULAR



### 4 - Carregador Veicular Rápido em CC de 60 kW

Nome	Qtde	Preço
<p>Estação de recarga WEG 1 saída de 60kW - CCS2 Comunicação Wifi, Eth. e 4G Tela de 10,1"</p> <p>WEMOB-S-060-W-E-4G-R-H-1CS2</p> <p>NCM: 8504.40.10</p>	 1	R\$ 174.590,00
<b>Total:</b>		<b>R\$ 174.590,00</b>

### 5.2. Condições de pagamento

- 100% na assinatura da proposta;