



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ**  
**CENTRO DE TECNOLOGIA**  
**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA**  
**CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE ENERGIAS RENOVÁVEIS**

**FRANCISCO CLAUDIO GOMES SAMPAIO**

**MODELO DE DIMENSIONAMENTO DE SISTEMAS ELÉTRICOS AUXILIARES**  
**PARA VEÍCULOS DE EXPEDIÇÃO**

**FORTALEZA**

**2022**

FRANCISCO CLAUDIO GOMES SAMPAIO

MODELO DE DIMENSIONAMENTO DE SISTEMAS ELÉTRICOS AUXILIARES PARA  
VEÍCULOS DE EXPEDIÇÃO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Graduação em Engenharia de Energias Renováveis do Centro de Tecnologia da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do grau de bacharel em Engenharia de Energias Renováveis.

Orientador: Prof. Dr. Romulo do Nascimento Rodrigues

FORTALEZA

2022

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação  
Universidade Federal do Ceará  
Sistema de Bibliotecas  
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

---

S183m Sampaio, Francisco Cláudio Gomes.

Modelo de dimensionamento de sistemas elétricos auxiliares para veículos de expedição / Francisco Cláudio Gomes Sampaio. – 2022.  
84 f. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Tecnologia, Curso de Engenharia de Energias Renováveis, Fortaleza, 2022.  
Orientação: Prof. Dr. Romulo do Nascimento Rodrigues.

1. Energias renováveis. 2. Eficiência energética. 3. Veículos de expedição. 4. Sistema elétrico. I. Título.  
CDD 621.042

---

FRANCISCO CLAUDIO GOMES SAMPAIO

MODELO DE DIMENSIONAMENTO DE SISTEMAS ELÉTRICOS AUXILIARES PARA  
VEÍCULOS DE EXPEDIÇÃO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Graduação em Engenharia de Energias Renováveis do Centro de Tecnologia da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do grau de bacharel em Engenharia de Energias Renováveis.

Aprovada em: 12 de julho de 2022

BANCA EXAMINADORA

---

Prof. Dr. Romulo do Nascimento  
Rodrigues (Orientador)  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Prof. Dr. Francisco Ilson da Silva Junior  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Maria Aleksandra de Sousa Rios  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Em memória de meu eterno e amado pai  
**Clóvis Arlindo Sampaio**, pelo exemplo e por  
me inspirar a viver todos os dias de minha vida  
intensamente e com paixão!

## AGRADECIMENTOS

A **Deus**, por me guiar e proteger nesta caminhada até aqui!

Aos meus **pais**, Maureni e Clóvis (*in memoriam*), pela vida, educação e valores morais que me forjaram!

À minha esposa **Thaís Eveline** e aos meus filhos **Lucas, Nicole e Bruno**, pelo amor, paciência e compreensão nos momentos de ausência dedicados ao trabalho, e pelo incentivo e suporte irrestritos, principalmente nas etapas mais desafiadoras!

À minha sogra **Nazaré** (*in memoriam*), por ter me acolhido com respeito, carinho e afeto em sua família, nesses 32 anos de convivência fraterna até o seu encontro com Deus e Nossa Senhora neste último mês de maio: siga bem nessa caminhada de luz, na certeza que nos reencontraremos...

Ao meu orientador, Prof. Dr. **Romulo Rodrigues**, pela dedicação; orientações oportunas e esclarecedoras; e pelas discussões profícuas.

A **todos os meus professores** e à Universidade Federal do Ceará - UFC, pelo planejamento efetivo e pela condução competente e profissional das atividades acadêmicas do *Curso de Engenharia de Energia Renováveis*.

Aos **amigos do Curso de Engenharia Renováveis**, pelo convívio harmonioso durante os longos e incontáveis dias no Campus do Pici.

“Faça por merecer...”

(O Resgate do Soldado Ryan)

## RESUMO

O emprego racional de recursos energéticos, em especial os oriundos de fontes renováveis, durante a realização de expedições empregando veículos automotores é objeto de significativa relevância para a sociedade, uma vez que possibilita reduzir o uso de combustíveis fósseis; otimizar a eficiência no emprego de energia elétrica; fortalecer a autossuficiência energética; e, em última instância, reduzir o impacto gerado ao meio ambiente. Nesse sentido, o presente trabalho pode ser caracterizado como uma abordagem investigativa sobre eficiência energética veicular, mais especificamente como um estudo sobre a gestão de energia elétrica em expedições com o emprego de automóveis movidos a combustíveis fósseis, tendo como objetivo principal desenvolver uma metodologia de dimensionamento de sistemas elétricos auxiliares para veículos de expedição. O modelo foi aplicado a dois cenários com características operacionais distintas, em termos de necessidades de energia elétrica adicional e ambiente de operação, demonstrando sua utilidade no dimensionamento de sistemas elétricos auxiliares para atender aos requisitos operacionais estabelecidos com base nas necessidades operacionais identificadas. Os resultados da pesquisa podem ser aplicados para dimensionar sistemas auxiliares para veículos que dão suporte à indústria do turismo, de forma a viabilizar passeios turísticos e de aventura, e apoiar a prática de esportes náuticos em locais remotos, sejam de caráter comercial ou simplesmente para o lazer dos proprietários desses tipos especiais de viaturas.

**Palavras-chave:** Energias Renováveis. Eficiência energética. Veículos de expedição. Sistema elétrico.



## ABSTRACT

The rational use of energy resources, especially those from renewable sources, during expeditions using auto-vehicles is an object of significant relevance to society, since it makes it possible to reduce the use of fossil fuels; optimize efficiency in the use of electric energy; strengthen energy self-sufficiency; and, ultimately, reduce the impact generated on the environment. In this sense, the present work can be characterized as an investigative approach on vehicle energy efficiency, more specifically as a study on the management of electric energy in expeditions with the use of vehicles powered by fossil fuels, having as main objective to develop a methodology for dimensioning auxiliary electrical systems for expedition vehicles. The model was applied to two scenarios with different operational characteristics, in terms of additional electrical energy needs and operating environment, demonstrating its usefulness in dimensioning auxiliary electrical systems to meet established operational requirements based on identified needs. The research results can be applied to dimension auxiliary systems for vehicles that support the tourism industry, in order to make tourist and adventure tours viable, and to support the practice of sea water sports in remote locations, whether commercial or simply for the leisure of the owners of these special types of vehicles.

**Keywords:** Renewable energy. Energy efficiency. Expedition vehicles. Electrical system.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Dados climatológicos de Fortaleza/CE, Brasil. . . . .	22
Figura 2 – Distribuição anual da radiação solar diária horizontal [ $kWh/(m^2 dia)$ ] e velocidade do vento [ $m/s$ ] em Fortaleza/CE, Brasil. . . . .	24
Figura 3 – Tipos comuns de veículos de recreação. . . . .	28
Figura 4 – Veículos de expedição <i>Hungry Wheels</i> . . . . .	29
Figura 5 – Sistema elétrico auxiliar: concepção e equipamentos. . . . .	31
Figura 6 – Relé sensível à tensão - VSR. . . . .	34
Figura 7 – Controlador de carga CC-CC: a) MPPT e b) PWM. . . . .	34
Figura 8 – Carregador CA-CC: detalhamento das etapas de carga. . . . .	36
Figura 9 – Fluxograma representativo do Modelo de Dimensionamento de Sistemas Elétricos Auxiliares para Veículos de Expedição. . . . .	40
Figura 10 – Sistema elétrico auxiliar: diagrama esquemático. . . . .	54
Figura 11 – Cabeamento de um sistema elétrico auxiliar instalado externamente ao veículo. . . . .	55
Figura 12 – Bateria Moura 12MS111. . . . .	56
Figura 13 – Carregador solar modelo PWM-FT4024. . . . .	57
Figura 14 – Módulo solar Resun RS6E-155M. . . . .	57
Figura 15 – Carregador CA-CC modelo CIB210. . . . .	58
Figura 16 – Inversor Jinsi de onda senoidal pura 800W. . . . .	59
Figura 17 – SEAS: diagrama esquemático. . . . .	64
Figura 18 – SEAS: instalação. . . . .	65
Figura 19 – SEAF: diagrama esquemático. . . . .	74
Figura 20 – SEAF: instalação. . . . .	75

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Baterias: características técnicas e de operação. . . . .	33
Tabela 2 – Capacidade de condução de corrente para cabos instalados em temperatura ambiente de 30 °C e temperatura no condutor em regime permanente de 90 °C. . . . .	51
Tabela 3 – Capacidade de condução de corrente para cabos instalados em temperatura ambiente de 40 °C e temperatura no condutor em regime permanente de 90 °C. . . . .	52
Tabela 4 – Capacidades de condução de corrente [A], para o método de referência F. . . . .	53
Tabela 5 – Fatores de correção para temperaturas ambientes diferentes de 30°C para linhas não-subterrâneas. . . . .	53
Tabela 6 – Baterias estacionárias de chumbo-ácido seladas: profundidade de descarga <i>versus</i> durabilidade. . . . .	56
Tabela 7 – SEAS: requisitos operacionais. . . . .	61
Tabela 8 – SEAS: necessidades de energia elétrica adicional. . . . .	62
Tabela 9 – SEAS: resumo dos componentes dimensionados. . . . .	64
Tabela 10 – SEAF: requisitos operacionais. . . . .	66
Tabela 11 – SEAF: necessidades de energia elétrica adicional. . . . .	68
Tabela 12 – SEAF: resumo dos componentes dimensionados. . . . .	75

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

$AE$ [h]	autonomia elétrica auxiliar de operação sem recarga em horas
$CN$ [Ah]	capacidade nominal da bateria em amperes-hora
$C_i$ [Ah]	consumos individuais em amperes-hora
$Carga_{CA}$ [s/n]	carregamento da bateria auxiliar por fonte CA externa
$Carga_{alternador}$ [s/n]	carregamento da bateria auxiliar pelo alternador do veículo
$Carga_{solar}$ [s/n]	carregamento da bateria auxiliar por energia solar fotovoltaica
$DoD$ [%]	profundidade de descarga da bateria
$Eqp_{CA}$ [s/n]	equipamentos CA
$Eqp_{CC}$ [s/n]	equipamentos CC
$I_{alt}$ [A]	corrente máxima fornecida pelo alternador em amperes
$I_{solar}$ [Ah]	corrente solar em amperes-hora
$LO$	limite orçamentário
$NEEA$ [A]	necessidades de energia elétrica adicional em amperes
$P_d$	peso disponível
$T_{alt}$ [V]	tensão máxima fornecida pelo alternador em volts
$T_{solar}$ [V]	tensão solar em volts
$V_d$	volume disponível
$h_i$	horas de utilização diária
$h_{solar}$ [h]	horas diárias de irradiação solar
AGM	manta de fibra de vidro absorvente ( <i>Absorbed Glass Mat</i> )
BNDES	Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social
CA	corrente alternada
CC	corrente contínua
GW	gigawatts
MPPT	rastreamento de ponto de potência máxima ( <i>Maximum Power Point Tracking</i> )
NiCd	níquel-cádmio
NiMh	níquel-metal hidreto
PWM	largura de pulso modulada ( <i>Pulse Width Modulated</i> )
RV	veículos de recreação
SEAF	Sistema Elétrico Auxiliar Flexível
SEAS	Sistema Elétrico Auxiliar Simples

VSR	relé sensível à tensão
VSS	<i>switch</i> sensível à tensão

## LISTA DE SÍMBOLOS

$\eta$	Eficiência do inversor na conversão CC-CA
$I_{mp}$	Corrente nominal máxima [A]
$V_{mp}$	Tensão nominal máxima [V]

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	17
<b>1.1</b>	<b>Objetivos</b>	17
<b>1.2</b>	<b>Justificativas</b>	18
<b>1.3</b>	<b>Organização do trabalho</b>	19
<b>2</b>	<b>FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b>	20
<b>2.1</b>	<b>Energia</b>	20
<b>2.1.1</b>	<i>Energia solar fotovoltaica</i>	23
<b>2.2</b>	<b>Veículos de recreação e de expedição</b>	25
<b>2.3</b>	<b>Sistema elétrico auxiliar</b>	30
<b>2.3.1</b>	<i>Bateria</i>	30
<b>2.3.2</b>	<i>Relé sensível à tensão</i>	33
<b>2.3.3</b>	<i>Controlador de carga CC-CC</i>	33
<b>2.3.4</b>	<i>Controlador de carga CA-CC</i>	35
<b>2.3.5</b>	<i>Módulo solar</i>	36
<b>2.3.6</b>	<i>Inversor</i>	37
<b>3</b>	<b>MÉTODOS E MATERIAIS</b>	39
<b>3.1</b>	<b>Métodos</b>	39
<b>3.1.1</b>	<i>Identificar necessidades</i>	41
<b>3.1.2</b>	<i>Requisitos operacionais</i>	41
<b>3.1.3</b>	<i>Dimensionamento</i>	42
<b>3.1.3.1</b>	<i>Necessidades de energia elétrica adicional (NEEA)</i>	42
<b>3.1.3.2</b>	<i>Bateria auxiliar</i>	43
<b>3.1.3.3</b>	<i>Carregamento da bateria auxiliar pelo alternador do veículo</i>	43
<b>3.1.3.4</b>	<i>Carregamento da bateria auxiliar por energia solar fotovoltaica</i>	45
<b>3.1.3.5</b>	<i>Carregamento da bateria auxiliar por fonte CA externa</i>	46
<b>3.1.3.6</b>	<i>Inversor</i>	46
<b>3.1.3.7</b>	<i>Cabos e dispositivos de proteção elétrica</i>	47
<b>3.1.4</b>	<i>Projeto</i>	53
<b>3.1.5</b>	<i>Instalação</i>	54
<b>3.2</b>	<b>Materiais</b>	55

3.2.1	<i>Bateria</i> . . . . .	55
3.2.2	<i>Carregador CC-CC</i> . . . . .	56
3.2.3	<i>Módulo solar</i> . . . . .	57
3.2.4	<i>Carregador CA-CC</i> . . . . .	58
3.2.5	<i>Inversor</i> . . . . .	58
4	<b>RESULTADOS</b> . . . . .	60
4.1	<b>Sistema Elétrico Auxiliar Simples</b> . . . . .	60
4.1.1	<i>Requisitos operacionais</i> . . . . .	61
4.1.2	<i>Dimensionamento</i> . . . . .	61
4.1.2.1	<i>NEEA</i> . . . . .	61
4.1.2.2	<i>Bateria auxiliar</i> . . . . .	61
4.1.2.3	<i>Carregador CC-CC</i> . . . . .	62
4.1.2.4	<i>Cabos e dispositivos de proteção elétrica</i> . . . . .	62
4.1.3	<i>Diagrama esquemático</i> . . . . .	64
4.1.4	<i>Instalação</i> . . . . .	65
4.2	<b>Sistema Elétrico Auxiliar Flexível</b> . . . . .	65
4.2.1	<i>Requisitos operacionais</i> . . . . .	66
4.2.2	<i>Dimensionamento</i> . . . . .	67
4.2.2.1	<i>NEEA</i> . . . . .	67
4.2.2.2	<i>Bateria auxiliar</i> . . . . .	67
4.2.2.3	<i>Carregamento da bateria auxiliar pelo alternador do veículo</i> . . . . .	68
4.2.2.4	<i>Carregamento da bateria auxiliar por energia solar fotovoltaica</i> . . . . .	69
4.2.2.5	<i>Carregamento da bateria auxiliar por fonte CA externa</i> . . . . .	71
4.2.2.6	<i>Inversor</i> . . . . .	71
4.2.2.7	<i>Cabos e dispositivos de proteção elétrica</i> . . . . .	71
4.2.3	<i>Projeto</i> . . . . .	74
4.2.4	<i>Instalação</i> . . . . .	74
5	<b>CONCLUSÃO</b> . . . . .	76
5.1	<b>Principais resultados obtidos</b> . . . . .	76
5.2	<b>Atendimento aos objetivos</b> . . . . .	77
5.3	<b>Limitações</b> . . . . .	78
5.4	<b>Propostas de trabalhos futuros</b> . . . . .	78



<b>5.5</b>	<b>Considerações finais</b> . . . . .	<b>79</b>
	<b>REFERÊNCIAS</b> . . . . .	<b>80</b>
	<b>GLOSSÁRIO</b> . . . . .	<b>85</b>

## 1 INTRODUÇÃO

O expressivo crescimento da população mundial aliado ao aumento do consumo de energia - em especial em países em desenvolvimento - e ao uso exagerado de fontes energéticas fósseis exigem a busca por fontes alternativas de energias renováveis que reduzam o impacto ambiental decorrente dos processos de conversão de energia. Dando suporte a essa linha de pensamento, Canto (2007) destaca o emprego da energia solar fotovoltaica.

No Brasil, em especial no estado do Ceará, a forte indústria do turismo alavancada pela beleza natural do litoral cearense; pelas condições climáticas favoráveis durante todo o ano; e pelo elevado potencial eólico e solar, de acordo com o Centro de Referência para as Energias Solar e Eólica - CRESESB (2022), colaboram sinergicamente para viabilizar passeios turísticos, de aventura e para a prática de esportes náuticos com a utilização de veículos de expedição para os deslocamentos, sejam de caráter comercial ou simplesmente para o lazer dos proprietários desses tipos especiais de viaturas.

Assim, surgem questões que instigam o pensamento crítico sobre o tema, principalmente as relacionadas ao gerenciamento de energia (REGES, 2017): Quais as conveniências que devem estar disponíveis nos veículos para dar suporte às expedições de curta ou longa duração? Quais os impactos dessas conveniências no consumo de energia elétrica da viatura? Quais as fontes de energia que podem ser utilizadas para conversão em energia elétrica em ambientes remotos? Como monitorar a energia elétrica disponível e ser autossuficiente durante o período da expedição?

Buscando respostas para esses questionamentos, o presente trabalho pode ser caracterizado como uma abordagem investigativa sobre eficiência energética veicular, mais especificamente como um estudo sobre a gestão de energia elétrica em expedições com o emprego de automóveis movidos a combustíveis fósseis.

### 1.1 Objetivos

Tendo como base esse cenário e o referencial teórico sobre conversão de energia elétrica, o presente estudo tem como objetivo geral desenvolver uma metodologia de dimensionamento de sistemas elétricos auxiliares para veículos de expedição, procurando responder ao seguinte problema de pesquisa: como racionalizar o uso de energia elétrica automotiva em ambientes remotos?

De modo a se alcançar gradativamente o objetivo geral do trabalho, alguns objetivos específicos, listados a seguir, são estabelecidos:

- (a) compreender o funcionamento dos principais componentes do sistema elétrico de um veículo de expedição;
- (b) discutir o processo de conversão de energia elétrica em veículos automotores; e
- (c) dimensionar um sistema elétrico auxiliar para um veículo de expedição, com base em requisitos operacionais devidamente estabelecidos;

Os objetivos específicos (a) e (b) serão perseguidos por meio de pesquisa bibliográfica a ser registrada no Capítulo 2, Fundamentação Teórica, e o objetivo (c) será conquistado pela aplicação da metodologia estabelecida no Capítulo 3, Métodos e Materiais, com resultados descritos detalhadamente no Capítulo 4.

## 1.2 Justificativas

A principal justificativa para a realização deste trabalho reside no fato de que o emprego racional de recursos energéticos, em especial os oriundos de fontes renováveis, durante a realização de expedições empregando veículos automotores é objeto de significativa relevância para a sociedade, uma vez que possibilita reduzir o uso de combustíveis fósseis; otimizar a eficiência no emprego de energia elétrica; fortalecer a autossuficiência energética; e, em última instância, reduzir o impacto gerado ao meio ambiente.

Para as empresas de turismo, os resultados positivos estão relacionados à racionalização de custos operacionais; eficiência no planejamento de expedições e agilidade no atendimento diferenciado às demandas de clientes nesse nicho especial do mercado de lazer de aventura.

Para os proprietários de veículos *off-road*, a pesquisa fornece um modelo prático que permite adaptar suas viaturas para gerenciar adequadamente a energia elétrica disponível em proveito de passeios a locais remotos nos finais de semana ou durante as férias.

Sob o ponto de vista acadêmico, espera-se que a análise crítica do processo de conversão de energia elétrica em veículos de expedição possa contribuir para reduzir a lacuna de conhecimentos existente nesta área específica, uma vez que os resultados obtidos podem ser utilizados como auxílio para pesquisas futuras.

### 1.3 Organização do trabalho

Este capítulo introdutório instiga o leitor em relação às possibilidades de emprego de sistemas elétricos auxiliares em veículos de expedição. A relevância de se conhecer as nuances do sistema e a possibilidade de modelá-lo empregando o referencial teórico sobre conversão de energia elétrica são sugeridas. Questões instigadoras são apresentadas e objetivos são estabelecidos de forma a permitir o equacionamento do processo de solução do problema de pesquisa.

O segundo capítulo, Fundamentação Teórica, fornece a base de conhecimentos necessária para se entender a indústria de energia no Brasil, as particularidades dos veículos de expedição e os componentes dos sistemas elétricos principal e auxiliar de um automóvel, com especial atenção à necessidade de se gerenciar a energia elétrica empregando um sistema embarcado que integre as fontes energéticas disponíveis, que são definidas e têm suas características de conversão e aplicação detalhadas.

A contribuição da pesquisa é discutida no capítulo terceiro, Métodos e Materiais, por meio do desenvolvimento de um modelo de dimensionamento de sistemas elétricos auxiliares para veículos de expedição, relacionando e integrando os diversos equipamentos auxiliares e as fontes de energia ao sistema elétrico principal. O modelo estabelece e detalha como será conduzida a pesquisa, explicando a estratégia de dimensionamento dos equipamentos essenciais do sistema auxiliar, a coleta de dados e definindo a sistemática a ser utilizada para a análise dos resultados obtidos.

Uma parte expressiva do trabalho pode ser encontrada no capítulo quarto, Resultados, por meio das discussões realizadas e da análise dos resultados obtidos pela aplicação do modelo de dimensionamento a um veículo de expedição operando em dois cenários distintos em termos de complexidade.

O último capítulo, Conclusão, sintetiza o conhecimento mais relevante obtido e verificado; relaciona as dificuldades e óbices enfrentados; e fornece sugestões de trabalhos futuros para se prosseguir na pesquisa sobre o tema.

A partir desse ponto, com o conhecimento do problema de pesquisa e de uma linha de ação estratégica clara para solucioná-lo, pode-se prosseguir no aprofundamento do estudo teórico sobre processos de conversão e sistemas de gerenciamento de energia elétrica em veículos de expedição.

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Este capítulo é dedicado à revisão da fundamentação teórica que dá suporte à pesquisa. É composto das seguintes seções: a) energia; b) veículos de expedição; e c) sistema elétrico auxiliar.

A primeira seção debruça-se sobre as questões relacionadas ao uso racional de energia, discutindo a matriz energética brasileira com foco na participação das energias renováveis, necessidade de planejamento energético e estabelecimento de ações de projeto que valorizem e potencializem a eficiência energética de equipamentos, sistemas, processos de conversão e fontes energéticas.

A segunda seção é dedicada à caracterização dos veículos de recreação e de expedição, destacando as facilidades proporcionadas aos usuários e as opções de emprego, com especial atenção ao sistema elétrico principal, responsável por prover energia elétrica para as demandas essenciais do veículo. São aprofundadas as discussões sobre os processos de conversão de energia elétrica, capacidades operacionais e análise de desafios para a operação em ambientes remotos.

A terceira seção tem como propósito a descrição dos principais componentes de um sistema elétrico auxiliar, destacando as características práticas de operação e os impactos sobre a autonomia da viatura, não sendo a intenção discutir os aspectos de funcionamento eletroquímico dos equipamentos nem as reações químicas decorrentes. Essencialmente, buscam-se aqui os conceitos práticos que possam viabilizar o processo de seleção e permitam o adequado dimensionamento dos equipamentos em relação aos requisitos estabelecidos, tais como baterias, controladores de carga CC-CC e CA-CC, painéis solares e inversores.

### 2.1 Energia

O relatório Revolução Energética (GREENPEACE, 2010) sugere que o Brasil pode chegar a 2050 com uma matriz energética 100% renovável. As ações de base para se atingir esse patamar energético passam pelo estabelecimento, pelo Estado brasileiro, de políticas públicas permanentes que fomentem a aplicação de energias renováveis como fontes para a geração de energia elétrica, o que resultaria na melhoria da qualidade de vida de milhões de pessoas.

De acordo com o relatório, algumas linhas de ação podem orientar ações efetivas para se percorrer esse caminho. Entre elas, pode-se destacar a redução do uso de combustíveis

fósseis na matriz energética; o fim da dependência dos combustíveis fósseis para o crescimento econômico; o aumento da eficiência energética; a diversificação na geração de energia elétrica; uma expressiva revolução no setor de transportes, com o emprego de veículos elétricos; e a implementação de soluções renováveis, com a priorização de novos projetos de energia solar e eólica, incluindo sistemas descentralizados de geração de energia.

Nesse sentido, a geração de energia elétrica proveniente de fontes renováveis é identificada como uma das ferramentas com maior aderência ao desenvolvimento sustentável em termos econômicos e sociais no Brasil (RIBEIRO *et al.*, 2016).

Como exemplo de ações efetivas do poder público federal nessa área de atuação, o relatório síntese do Balanço Energético Nacional de 2021 da Empresa de Pesquisa Energética (2021) apresenta a situação do Brasil em relação à produção de energia, consumo, e outros indicadores relacionados à geração, distribuição e uso da energia no País.

Os destaques positivos neste ciclo têm ligação com o aumento de 2,3% na participação das energias renováveis na matriz energética brasileira, perfazendo 48,4% da oferta total de energia; aumento da oferta da biomassa de cana-de-açúcar e de biodiesel, associada à redução da oferta das fontes não renováveis; e recuo de 5,6% no consumo de petróleo e derivados.

É precisamente nesse campo das energias renováveis, que o Ceará, de forma destacada, apresenta indicadores extremamente favoráveis para o desenvolvimento de iniciativas que utilizam fontes solar fotovoltaica e eólica para a geração de energia elétrica.

Tal fato é evidenciado pelos dados climatológicos da Fundação Canadense de Recursos Naturais - Retscreen (2022) relativos à radiação solar diária horizontal – média anual de  $5,56 \frac{kWh}{m^2 \text{ dia}}$  - e velocidade média anual do vento na cidade de Fortaleza, Ceará de  $5,3 \text{ m/s}$ , com ventos estáveis em direção e intensidade, detalhados na Figura 1.

No que se refere ao planejamento energético, o Plano Decenal de Expansão de Energia 2031 do Ministério das Minas e Energia (2022) apresenta e detalha as diretrizes e ações de planejamento que servirão de base para direcionar novos investimentos e fomentar o desenvolvimento do mercado de energia no Brasil. O documento mostra as perspectivas de crescimento do setor de energia brasileira para os próximos dez anos e prevê investimentos para o setor da ordem de R\$ 3,2 trilhões até 2031.

Essas iniciativas são essenciais para adequar a oferta de energia ao consumo sempre crescente, em especial para dar suporte ao crescimento econômico e ao desenvolvimento industrial (TIEPOLO *et al.*, 2012).

Figura 1 – Dados climatológicos de Fortaleza/CE, Brasil.

País	Brasil									
Prov./Estado	Ceará									
Localização dos dados climáticos	Fortaleza									
Latitude	°N		-3,8							
Longitude	°E		-38,6						Fonte	
Zona climática	0A		Extremamente quente - Úmido						Solo+NASA	
Elevação	m		26						Solo	
Temperatura para projeto de aquecimento	°C		23,1						Solo	
Temperatura para projeto de refrigeração	°C		32,1						Solo	
Amplitude da Temperatura do Solo	°C		4,6						NASA	

Mês	Temperatura do Ar	Humidade relativa	Precipitação	Radiação solar diária - horizontal	Pressão Atmosférica	Velocidade do Vento	Temperatura do Solo	Graus-dia para aquecimento 18 °C	Refrigeração graus-dias 10 °C
	°C	%		kWh/m <sup>2</sup> /d	kPa	m/s	°C	°C-d	°C-d
Janeiro	27,3	78,0%	114,39	5,33	101,2	4,8	28,2	0	536
Fevereiro	26,7	79,0%	148,68	5,14	101,2	4,4	27,7	0	468
Março	26,3	84,0%	254,20	4,67	101,2	3,8	27,2	0	505
Abril	26,5	85,0%	271,80	4,53	101,2	3,6	26,8	0	495
Mai	26,3	82,0%	162,13	5,03	101,3	4,2	26,6	0	505
Junho	25,9	80,0%	102,90	5,00	101,4	4,9	26,2	0	477
Julho	25,7	80,0%	47,12	5,69	101,5	5,5	26,1	0	487
Agosto	26,1	75,0%	12,71	6,19	101,5	6,3	26,9	0	499
Setembro	26,6	74,0%	6,00	6,25	101,4	6,7	28,0	0	498
Outubro	27,0	73,0%	5,58	6,47	101,3	6,7	28,7	0	527
Novembro	27,2	74,0%	6,00	6,36	101,2	6,4	29,0	0	516
Dezembro	27,3	76,0%	25,73	6,06	101,2	5,8	29,0	0	536
<b>Anual</b>	<b>26,6</b>	<b>78,3%</b>	<b>1.157,24</b>	<b>5,56</b>	<b>101,3</b>	<b>5,3</b>	<b>27,5</b>	<b>0</b>	<b>6.050</b>
Fonte	Solo	Solo	NASA	Solo	Solo	NASA	NASA	Solo	Solo
Medido a					m	10	0		

Fonte: Retscreen (2022).

Nessa linha de ação, o portal oficial do governo brasileiro no *twitter* enfatiza que ações federais como reduções constantes de impostos no setor e programas de investimentos consistentes, fomentados pelo Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES), resultam em expansão recorde do setor eólico no Brasil. A visão prospectiva em um horizonte de curto e médio prazos é de continuada expansão para o setor, com cerca de 5,5 gigawatts (GW) de geração elétrica oriunda de usinas eólicas em construção, das quais estima-se que mais da metade, 2,95 GW, entrem em serviço ainda neste ano (@GOVBR, 2022).

Sobre a fonte eólica, em especial, o Plano Decenal 2031 ressalta que ela representa 11% da matriz energética brasileira, sendo a segunda maior em geração de energia elétrica no País neste momento, atrás apenas da hidrelétrica, responsável por 54% da produção energética. Assim, o governo federal prevê que a capacidade instalada para a geração de energia elétrica no Brasil chegue aos 275 GW em 2031, com nível de renovabilidade de 83%, tendo as fontes eólica e solar como destaque na matriz energética nacional.

Deixando um pouco de lado a análise dos aspectos estratégicos do mercado de energia e voltando o olhar para as questões práticas sobre a relação entre projeto e eficiência, Vijayaraghavan (2016) afirma que melhorias de produtos na fase de projeto potencializam a eficiência energética dos equipamentos, principalmente em face da redução no consumo de energia,

sendo relevante que os projetos de sistemas de energia também acompanhem essa tendência. Esse pensamento alinha-se com Shi e Chem (2012), quando se discutem os efeitos causados pelas condições geométricas sobre o desempenho de sistemas de energia, principalmente os que empregam fonte solar.

Como exemplo, os fatores de projeto como seleção do tipo de sistema, orientação em relação ao sol, local e área de instalação, ângulo de inclinação, temperatura da superfície e sombreamento devem ser avaliados criteriosamente para otimizar o uso da energia solar, sendo necessário que os processos de conversão de energia sejam aprimorados de forma que sua oferta adicional seja empregada de forma mais eficiente (NAGENGAST *et al.*, 2013).

Dessa forma, as fontes energéticas devem ser priorizadas tendo como referência a vocação, as características e as facilidades regionais (JOHANSSON *et al.*, 1992), sendo relevante, neste ponto do trabalho, discutir a fonte de energia solar fotovoltaica que possui maior aderência com os sistemas elétricos veiculares que necessitam operar em locais remotos.

### **2.1.1 Energia solar fotovoltaica**

O efeito fotovoltaico foi observado pela primeira vez em 1839 por Edmond Becquerel que verificou que placas metálicas, de platina ou prata, mergulhadas num eletrólito, produziam uma pequena diferença de potencial quando expostas à luz (BECQUEREL, 1839; LINCOT, 2017).

Ainda segundo Lincot (2017), em 1877 os norte-americanos W. G. Adams e R. E. Day construíram a primeira célula solar baseada em dois eletrodos de selênio que produziram uma corrente elétrica quando foram expostos à radiação solar.

A era moderna da energia solar teve início em 1954, com Calvin Fuller, químico dos laboratórios *Bell* nos Estados Unidos, o físico Gerald Pearson e Daryl Chapin, que juntos publicaram o primeiro artigo sobre células solares em silício (CHAPIN *et al.*, 1954), ao mesmo tempo em que registraram a patente de uma célula com uma eficiência de 4,5%.

Atualmente, os sistemas fotovoltaicos vêm sendo utilizados em instalações remotas possibilitando apoiar projetos sociais de micro-geração de energia, irrigação, comunicações, dentre outros. As facilidades de um sistema fotovoltaico, tais como modularidade, baixos custos de manutenção e longa vida útil, fazem com que sejam de grande importância para instalações em lugares desprovidos da rede elétrica.

Em verdade, são essas as características - fortalecidas pela forte vocação do Brasil,



em especial da região nordeste pelos favoráveis recursos naturais e indicadores - que tornam a energia solar fotovoltaica uma atraente fonte de energia para os projetos de sistemas elétricos auxiliares em veículos de expedição. Para se ter uma noção mais precisa sobre a distribuição anual da radiação solar diária horizontal, a Figura 2 apresenta os dados consolidados para Fortaleza/CE.

Figura 2 – Distribuição anual da radiação solar diária horizontal [ $kWh/(m^2 \text{ dia})$ ] e velocidade do vento [ $m/s$ ] em Fortaleza/CE, Brasil.



Fonte: Retscreen (2022).

Entretanto, é prudente discutir questões relacionadas à orientação, variação de posição e geometria dos módulos fotovoltaicos para se avaliar sua influência no processo de conversão de energia e sobre a eficiência energética.

Sobre esse ponto específico, Haghdadi *et al.* (2017) desenvolveram um método para estimar a localização e orientação na geração de energia elétrica por módulos fotovoltaicos em pequena escala. Inicialmente a longitude do módulo fotovoltaico foi estimada usando a diferença entre o meio-dia solar e o meio-dia local. Em seguida foi feito um estudo sobre a influência da inclinação no ângulo de azimute e latitude na geração de energia elétrica por módulos fotovoltaicos. A validação do método foi realizada através de três estudos de caso, sendo o primeiro uma simulação da geração de energia elétrica por módulos fotovoltaicos usando dados obtidos de seis estações meteorológicas australianas; o segundo foi uma medida na geração de módulos fotovoltaicos com localização e orientação determinada, na qual foram utilizados dados obtidos de 28 (vinte e oito) módulos localizados na Universidade de Queensland; e no terceiro estudo, um módulo fotovoltaico foi submetido a um sistema de auto regulação de algumas variáveis com base nos dados de acesso público no site <<https://pvoutput.org>>.

De forma semelhante, Santos e Ruther (2014) apresentaram um método simples para o entendimento de como a geração de energia elétrica através de módulos fotovoltaicos é afetada pela orientação e inclinação em regiões de baixa latitude, com foco no Brasil. O método inicia-se com a coleta de dados da irradiação solar horizontal nas capitais brasileiras e o cálculo da irradiação para diferentes ângulos de orientação e inclinação. Em seguida a incidência solar e a orientação e inclinação de módulos fotovoltaicos, para cada capital brasileira, foram relacionadas, representadas em um mapa georreferenciado e o método foi validado com base na discussão sobre resultados obtidos, com o uso de quatro módulos fotovoltaicos operando em Florianópolis, sendo que um deles foi instalado de modo a receber 100% da incidência solar e os outros três instalados de maneira aleatória. Em resumo, os resultados apresentados mostram que sistemas de geração de energia elétrica por módulos fotovoltaicos possuem flexibilidade quanto a instalação onde as limitações de inclinação e orientação, no Brasil, são relativamente pequenas.

Do exposto, infere-se que é pertinente avaliar as variações de posicionamento dos módulos fotovoltaicos para se compreender a eficiência do processo de conversão de energia, tendo em mente que o impacto é reduzido pela baixa variação de latitude.

## **2.2 Veículos de recreação e de expedição**

De acordo com Long (2018), mais de um milhão de pessoas vivem em veículos de recreação (RV) pelas estradas dos Estados Unidos. Pessoas taxadas de loucos por abandonarem casas de mais de 2.000 pés quadrados para viver em *trailers* de 250 pés quadrados, bombardeadas por perguntas e questionamentos sobre o que eles fariam com os pertences acumulados durante uma vida inteira; como os filhos fariam para frequentar a escola; ou se aquela decisão rebelde tratava-se apenas de crise de meia-idade. Amigos e familiares não conseguem entender por que pessoas tão bem sucedidas e com a vida estabilizada decidem viver como trabalhadores migrantes; não conseguem aceitar que eles fazem isso por escolha, não por desespero financeiro; que eles fazem parte de um movimento crescente de pessoas que abandonam suas casas fixas para iniciar uma vida de viagens com pertences mínimos na qual é permitido trabalhar quando quiser, em um estilo de vida nômade moderno, no qual há forte expectativa de novas experiências e felicidade, mesmo ganhando-se menos.

O autor prossegue destacando que a maioria dos nômades modernos precisa de emprego para financiar a vida na estrada, trabalhando remotamente enquanto viajam em suas novas casas rebocadas (*trailers*) ou autopropulsadas (*motorhomes*). Outros pegam trabalhos

improvisados limpando acampamentos, participando de colheitas em fazendas ou em vinhedos, ou servindo como guardas de segurança. Alguns têm que fazê-lo porque não possuem outro tipo de renda para se manter, mas muitos o fazem por escolha.

Vários desse nômades modernos entrevistados por Long (2018) declaram amar esse estilo de vida e não ter planos de voltar para uma casa típica. Alguns decidiram vender suas casas e apartamentos porque acreditam que não vão mais precisar de suas moradas antigas, devido à mudança na visão de mundo na qual o objetivo é poder viajar e trabalhar durante o percurso, não sendo necessário ganhar muito dinheiro para se viver bem.

Enquanto viajam, eles normalmente pegam empregos temporários para ganhar dinheiro, de forma a complementar suas economias que, em grande parte dos casos, foi empregada para a aquisição da nova "casa sobre rodas". Empresas como a Amazon possuem programas específicos para esse público nômade. Como exemplo, o programa *Amazon CamperForce* contrata pessoas para trabalhos em depósitos e paga as taxas do acampamento, um trabalho árduo, mas que rende um bom dinheiro.

Uma parte desse público inicia-se na vida nômade realizando curtas viagens nos finais de semana e feriados para visitar parques ecológicos e familiares, mas acabam por viver em um RV em tempo integral, alugando ou mesmo vendendo suas casas. Muitos têm como objetivo ajustar o estilo de vida para minimizar as restrições e responsabilidades da vida tradicional em grandes casas próprias ou aventurar-se a conhecer novos viajantes. O estilo de vida nômade em RV aparentemente oferece aventura, independência e liberdade das restrições do envelhecimento (WILLIAMS, 1995; AYERS COUNTS; COUNTS, 2001).

Para McGonagall e Lee (2020), Long (2018), o interesse nesse estilo de vida - seja em tempo integral ou nos finais de semana - parece estar aumentando, especialmente entre os jovens casais, mas os moradores de veículos recreativos são, principalmente, os jovens-veteranos que estão entrando em idade de aposentadoria, pessoas que simplesmente fazem as malas e vão embora se não gostam dos novos vizinhos; que escolhem trabalhar enquanto vivem a grande experiência de conhecer novas pessoas todos os dias; e que anseiam por liberdade, mas têm a percepção e disciplina de fazer a manutenção diária de sua casa móvel tendo o privilégio de estar um dia na praia e outro numa montanha ou em um lago, e isso faz toda a diferença para essas pessoas: acumular experiências, ao invés de coisas!

No Brasil, em que pese o elevado potencial para o ecoturismo, apenas em 2021 o Ministério do Turismo (2021) promoveu uma reunião com representantes das principais associa-

ções do caravanismo e campismo para identificar necessidades e fomentar ações governamentais que absorvam a demanda pelo turismo de natureza.

Representantes das associações do setor, como a Associação Nacional dos Fabricantes de Trailers, Reboques e Engates - ANFATRE (2022); Associação Brasileira de Campismo (Abracamping); e Associação Brasileira das Empresas de Ecoturismo e Turismo de Aventura - ABETA (2016) elogiaram a iniciativa pioneira e destacaram que as demandas apresentadas devem incluir condições facilitadas para a aquisição de *motorhomes*; incentivo à criação de espaços em pousadas e rodovias, por meio das concessionárias que as administram, para apoiar os veículos durante os longos trajetos, especialmente nos períodos noturnos; que os benefícios do fortalecimento do setor estão relacionados à proteção da natureza e à questão ambiental; que se trata de hospedagem inserida na natureza, sendo a melhor forma de fazer com que os viajantes valorizem o meio ambiente; que viabiliza a inclusão social de moradores locais, tais como ribeirinhos, que podem abrir o seu quintal para oferecer modalidades de hospedagem e permitir a exploração sustentável e responsável do turismo; que, em resumo, a iniciativa pode contribuir para a definição de políticas públicas efetivas para fomentar e desenvolver essa atividade de interesse de toda a sociedade.

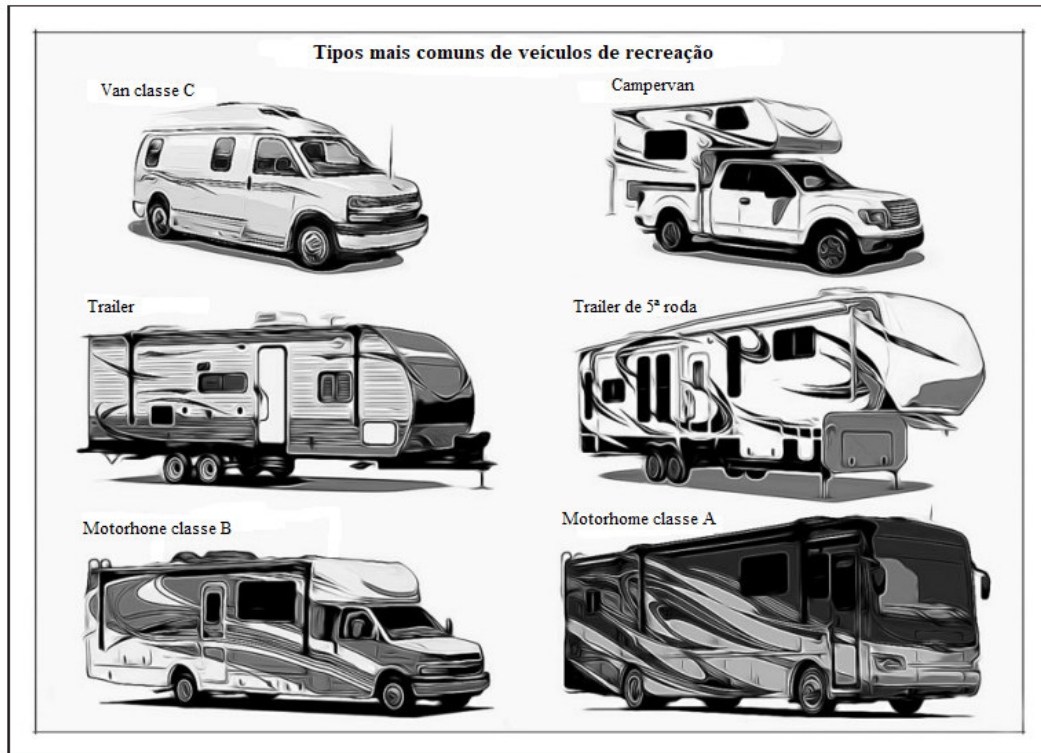
Espera-se que a iniciativa acelere o crescimento das atividades, uma vez que, segundo as associações do setor, o turismo de aventura e o estilo de vida em veículos de recreação no Brasil ainda encontram tabus e dificuldades, relacionadas, principalmente, às questões de segurança, infraestrutura de apoio restrita para esse tipo de atividade e pelos elevados preços dos poucos veículos de recreação disponíveis no mercado brasileiro (SIMONETTI, 2021).

Passando a tratar das características dos RV, a Figura 3 mostra um resumo dos tipos mais comuns de veículos de recreação, que podem ser diferenciados, essencialmente, pela capacidade de autopropulsão ou necessidade de reboque, no caso dos *motorhomes* e *trailers*; e tamanho e funcionalidades, para as diversas classes de *motorhomes*.

Dos veículos de recreação da Figura 3, as *campervans* - ou caravanas de campista na tradução livre da língua inglesa - são veículos comuns modificados e adaptados para funcionar como um *motorhome* da classe C. Apesar de serem menores, elas possuem camas e pequenas cozinhas que suprem as necessidades mínimas dos viajantes, podendo, eventualmente, dispor de pequenos banheiros e duchas externas. Assim, seu formato compacto facilita a dirigibilidade, permitindo alcançar lugares menos acessíveis e privilegiados e ainda economizar combustível.

É nessa linha de pensamento que se identifica a flexibilidade como um dos requisitos

Figura 3 – Tipos comuns de veículos de recreação.



Fonte: Adaptada de McGonagall e Lee (2020).

mais relevantes. A opção por um modelo cujas peças são facilmente encontradas no decorrer do trajeto e com manutenção mais simples, capaz de ser realizada em oficinas na estrada, deve sempre ser levada em consideração.

Outra questão relevante e prioritária é contar com um carro potente, mas econômico, uma vez que o combustível representa um dos principais custos em uma expedição, que não tem uma duração média, podendo se estender por dias, meses e até mesmo anos; também não há uma distância definida, sendo possível cruzar um estado, um país ou, até mesmo, continentes, quando não há preocupação com a data de regresso.

Complementando o que já foi comentado anteriormente, a *campervan* é o veículo de recreação que mais se assemelha a um veículo de expedição, mas é essencial a adição de capacidades técnicas que permitam o deslocamento fora de rodovias pavimentadas, viabilizando o acesso a lugares especiais, localizados normalmente em terrenos não preparados e de difícil acesso, onde poucos conseguem chegar.

Essa capacidade fora de estrada muitas vezes já está inserida desde a produção em fábrica, como é o caso dos veículos de expedição fabricados por empresas como a alemã Unicat (2021) (Figura 4), a australiana SLRV (2022) e, no Brasil, a Estrella Mobil (2022), capazes de atender perfis com requisitos diferentes, visto que as necessidades básicas dos viajantes são

semelhantes, entretanto existem demandas diferentes sobre formato e tamanho da carroceria, *chassis* com tração 4x4 ou 6x6, autonomia e sistemas elétricos dedicados para atender às facilidades de convivência, mas os princípios básicos de qualidade, robustez e confiabilidade devem ser mantidos como base comum.

Figura 4 – Veículos de expedição *Hungry Wheels*.



Fonte: Adaptada de Unicat (2021).

É necessário destacar neste ponto, que o interesse para a concepção e dimensionamento de sistemas elétricos auxiliares para veículos de expedição, foco principal deste trabalho, está direcionado para os veículos que não possuem um sistema elétrico auxiliar próprio já instalado e dedicado para atender às necessidades operacionais e de conforto em expedições.

Nesses veículos, o sistema elétrico principal é constituído de um alternador, uma bateria principal e alguns sistemas auxiliares, tais como faróis, luzes de sinalização e de cortesia, rádio etc.

A bateria principal do veículo, também conhecida como bateria de partida, é dimensionada para fornecer elevada quantidade de energia durante o acionamento do motor, mas não para alimentar as cargas elétricas acessórias durante longos períodos sem a devida recarga, a qual é realizada pelo alternador apenas quando o veículo está com o motor em funcionamento.

Assim, para preservar a vida útil da bateria principal e permitir o uso das facilidades geradas pelos equipamentos elétricos adicionais, faz-se necessário dimensionar, projetar e instalar

um sistema elétrico auxiliar que suporte toda a demanda elétrica acessória, mesmo quando o veículo não estiver com o motor em funcionamento.

### **2.3 Sistema elétrico auxiliar**

Com o desenvolvimento e a evolução da tecnologia, um número cada vez maior de pessoas têm utilizado equipamentos elétricos portáteis - computadores, *tablets*, máquinas fotográficas, telefones celulares, geladeiras e dispositivos de iluminação auxiliar - em seus veículos de passeio, de recreação ou de expedição, durante viagens e acampamentos em locais remotos (AUSTRALIAN DIRECT, 2018b).

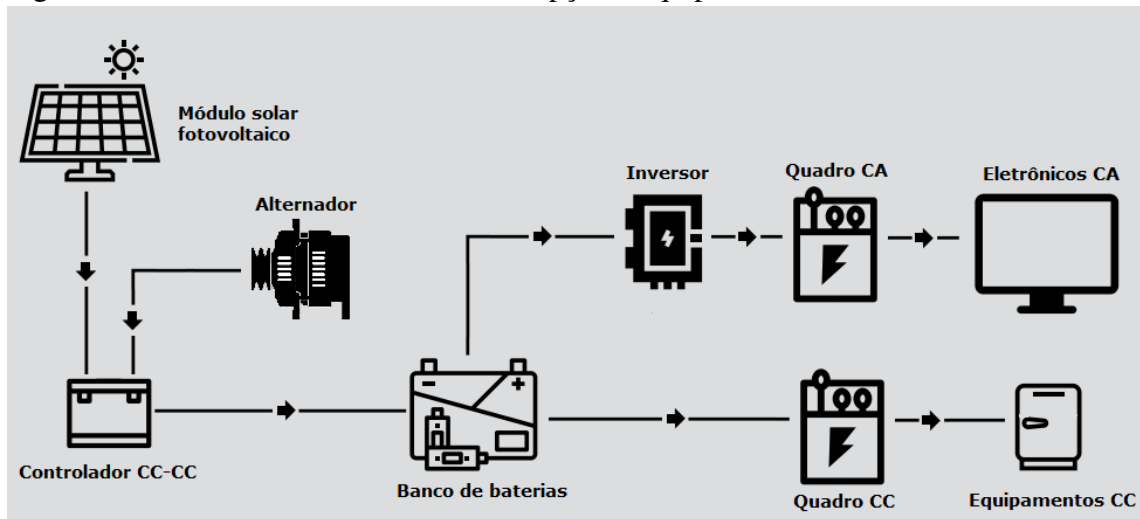
Para acomodar essa demanda adicional de energia, é possível utilizar o sistema elétrico principal do veículo durante os deslocamentos, quando o alternador está carregando a bateria e alimentando os equipamentos elétricos acessórios, entretanto isso seria inviável para uso em períodos prolongados com o veículo parado, visto que a única fonte de energia elétrica disponível seria a bateria principal, que estaria sendo descarregada e poderia perder sua capacidade de dar partida no motor da viatura.

Dessa forma, esse novo cenário de demanda energética pode ter seu impacto amortecido empregando-se um sistema elétrico auxiliar, cujos componentes essenciais (Figura 5) são uma bateria auxiliar, também conhecida como bateria de serviço, os equipamentos responsáveis pelo seu carregamento - o alternador do veículo ou um sistema fotovoltaico funcionando de forma isolada ou em conjunto - cabos, conectores e dispositivos de proteção necessários às interligações entre esses equipamentos, que podem ser agrupados em blocos de acordo com a função específica no sistema: bloco gerador (alternador, módulos solares, cabos e estrutura de suporte); bloco de condicionamento de potência (inversores e controladores de carga) e bloco de armazenamento (baterias isoladas ou bancos de baterias). As características e o funcionamento básico dos componentes do sistema elétrico auxiliar são descritos nas próximas subseções.

#### **2.3.1 Bateria**

A bateria pode ser caracterizada como um equipamento capaz de armazenar energia elétrica na forma eletroquímica (COELHO, 2001), sendo especialmente importante para regular o fornecimento de energia elétrica às cargas sem solução de continuidade, principalmente nos períodos em que as fontes primárias de energia responsáveis por recarregá-la não estão

Figura 5 – Sistema elétrico auxiliar: concepção e equipamentos.



Fonte: Adaptada de Moreno (2019).

disponíveis, como, por exemplo, durante o período noturno no caso da energia solar fotovoltaica.

As baterias podem ser classificadas quanto ao uso, como as utilizadas em automóveis e as de ciclo profundo, aplicadas em sistemas dedicados para fornecimento de alimentação elétrica de regime constante e prolongado; e quanto à tecnologia empregada na sua fabricação, sendo as mais comumente empregadas as baterias de chumbo-ácido, níquel-cádmio (NiCd), níquel-metal hidreto (NiMh), de manta de fibra de vidro absorvente - do inglês manta de fibra de vidro absorvente (*Absorbed Glass Mat*) (AGM) - e de íons de lítio.

De acordo com Beaudet (2022), as baterias automotivas são projetadas para fornecer curtos picos de elevada intensidade de corrente para a partida de motores à combustão e podem ser recarregadas rapidamente pelo alternador do veículo, enquanto as baterias de ciclo profundo são preparadas para serem gradualmente carregadas e fornecer energia em regime constante durante ciclos de longa duração. Dessa forma, a utilização de baterias automotivas reduzirá drasticamente sua vida útil no caso de utilização em sistemas autônomos para fornecimento de energia.

Quanto aos critérios empregados para a seleção e o dimensionamento de cada um dos tipos de baterias, normalmente avalia-se o peso, volume, custo, capacidade de armazenamento de energia, taxa de descarga, processo e tempo de recarga. Para a instalação das baterias no veículo, deve-se priorizar a manutenção da baixa temperatura de operação e a redução da influência do peso sobre o centro de gravidade.

Para as aplicações em que são empregados sistemas fotovoltaicos para o seu carregamento, as baterias são normalmente associadas em grupos denominados bancos de baterias,



podendo estar conectadas em série, em paralelo ou em série-paralelo. Em linhas gerais, a associação em série é utilizada para aumentar a tensão total do conjunto, enquanto a associação em paralelo é empregada quando se deseja aumentar a corrente total fornecida pelo banco de baterias (SOUSA, 2008).

Sobre as características de operação, as baterias de ciclo profundo devem ser capazes de fornecer energia elétrica em regime constante durante um período de tempo prolongado, traduzido pelo parâmetro capacidade nominal da bateria em amperes-hora ( $CN [Ah]$ ), e permitir sua descarga em relação ao limite nominal de armazenamento de energia, parâmetro profundidade de descarga da bateria ( $DoD [\%]$ ). Beudet (2022) destaca que baterias de ciclo profundo não devem ser descarregadas além de  $DoD > 50\%$  sob pena de forte redução na capacidade de absorver e reter energia elétrica durante o ciclo de carregamento. Além disso, é ainda relevante ter em mente que existem perdas no processo de conversão de energia elétrica para química e vice-versa, que são da ordem de 5 a 15% durante os ciclos completos de carga e descarga. Todas essas referências técnicas são normalmente encontradas nos manuais de operação de cada equipamento, fornecidos pelos fabricantes.

No que se refere às baterias de chumbo-ácido, elas utilizam, essencialmente, eletrólito líquido ou em gel, sendo que as primeiras têm custo mais reduzido. As baterias com eletrólito em gel, também conhecidas como baterias seladas, são uma versão aprimorada das baterias com eletrólito líquido, tendo como vantagens uma maior vida útil, maior número de ciclos de carga e descarga, e a possibilidade de serem utilizadas em locais pouco ventilados, uma vez que não há liberação de gases durante o seu funcionamento (SOLOVEICHIK, 2011).

De acordo com Sousa (2008) e Bastos (2013), as baterias que possuem níquel em sua composição, como NiCd e NiMH, não são popularmente empregadas em sistemas fotovoltaicos devido ao seu alto custo, mas possuem boas características de operação, quando comparadas às baterias estacionárias de chumbo-ácido, podendo-se citar o baixo coeficiente de auto descarga, a resistência às grandes variações de temperatura e taxas de descargas mais profundas.

As baterias do tipo AGM são uma versão aprimorada das baterias de chumbo-ácido com eletrólito em gel (SOUSA, 2008), possuindo características técnicas muito parecidas, mas diferenciando-se por permitir ciclos de descargas mais profundos e pelo alto custo. Elas foram projetadas para uso militar, possuem elevada estabilidade e excelente resistência à vibração, sendo adequadas para uso em veículos que necessitem circular fora de estradas ou em vias não-pavimentadas (AUSTRALIAN DIRECT, 2018b).

A Tabela 1 apresenta algumas características técnicas e de operação dos tipos mais comuns de baterias encontradas no mercado, o que permite realizar uma análise comparativa entre elas.

Tabela 1 – Baterias: características técnicas e de operação.

	Chumbo-ácido	NiCd	NiMh	Íons de lítio
Ciclos <sup>1</sup>	200	250	400 a 500	400 a 600
Densidade mássica de energia [Wh/kg]	35	41	80	120
Densidade volumétrica de energia [Wh/m <sup>3</sup> ]	80	120	200	280
Temperatura de operação [°C]	-15 a +50	-20 a +50	-20 a +60	-20 a +60
Tempo de carga	Longo	Médio	Médio	Curto
Impacto ambiental	Alto	Alto	Médio-Alto	Médio-Baixo
Peso	Pesada	Leve	Leve	Muito leve

Fonte: Adaptada de Bastos (2013).

Nota: 1 - o número de ciclos depende da profundidade de descarga.

### 2.3.2 Relé sensível à tensão

Para Australian Direct (2018b), o relé sensível à tensão (VSR) ou *switch* sensível à tensão (VSS) é um dispositivo que permite interligar as baterias principal e auxiliar, quando o alternador está em operação e carregando a bateria principal do veículo, ao passo em que mantém as baterias desconectadas, quando o alternador não está fornecendo carga ao sistema, ou seja, quando o veículo não está com o motor em funcionamento.

Com essas características de operação, baseadas no nível de tensão fornecida pelo alternador ( $T_{alt}$  [V]), o VSR viabiliza o carregamento simultâneo de ambas as baterias de forma automatizada, quando elas estão interligadas, e preserva a capacidade de a bateria principal dar a partida no motor do veículo enquanto a bateria auxiliar alimenta as cargas elétricas acessórias com o veículo parado.

A Figura 6 mostra um VSR que, além das funcionalidades já descritas, possui um interruptor do tipo (*Override switch*) dedicado a forçar a interligação entre as baterias principal e auxiliar independente do funcionamento do alternador, permitindo que a bateria auxiliar carregue a principal em situações de emergência com descarga da bateria principal.

### 2.3.3 Controlador de carga CC-CC

O controlador de carga CC-CC pode ser classificado em função da tecnologia empregada para o seu funcionamento, sendo os mais comuns os do tipo largura de pulso modulada

Figura 6 – Relé sensível à tensão - VSR.



Fonte: Australian Direct (2016).

(*Pulse Width Modulated*) (PWM) e rastreamento de ponto de potência máxima (*Maximum Power Point Tracking*) (MPPT). As funcionalidades mais relevantes de um controlador CC-CC são carregar adequadamente a bateria, evitando sobrecarga - independentemente da quantidade de energia fornecida pela fonte CC responsável pela carga - e prevenir o descarregamento da bateria para os módulos solares no período noturno (LUJANO-ROJAS *et al.*, 2014; AUSTRALIAN DIRECT, 2018b).

Para Beaudet (2022), o controlador PWM (Figura 7b) conecta o módulo solar diretamente à bateria, reduzindo a voltagem mas sem modificar a corrente, enquanto o MPPT (Figura 7a) converte a potência elétrica fornecida pela fonte de energia, ajustando tanto a voltagem para o nível da bateria quanto a corrente para fornecer toda a potência disponibilizada pela fonte de energia. Assim, o controlador MPPT, normalmente mais caro, consegue ser mais eficiente que o PWM (SALAS *et al.*, 2006).

Figura 7 – Controlador de carga CC-CC: a) MPPT e b) PWM.



Fonte: Victron Energy (2022).

Como exemplo para se entender como a seleção do tipo de controlador afeta a eficiência do sistema, empregando-se o módulo solar RS6E-155M (RESUN, 2022), que possui

tensão nominal máxima,  $V_{mp}$ , de 20,64 V e corrente nominal máxima,  $I_{mp}$ , de 7,51 A, tem-se uma potência nominal disponível de 155 W. Utilizando-se um controlador PWM, quando a bateria estiver com baixo nível de carga ( $V_b = 11V$ ), o controlador fornecerá a potência elétrica  $P = 12 * 7,51 = 90,12W$ ; já quando a bateria estiver carregada ( $V_b = 13,6V$ ), o controlador fornecerá a potência elétrica  $P = 13,6 * 7,51 = 102,14W$ . Avaliando o mesmo cenário e utilizando-se um controlador MPPT: em baixo nível, o controlador ajusta a voltagem recebida do módulo solar para a voltagem da bateria em uma razão de  $r = 20,64/12 = 1,72$ , ao mesmo tempo em que eleva a corrente na mesma razão  $I = 7,51 * 1,72 = 12,92A$ , resultando na potência fornecida de  $P = 12 * 12,92 = 155W$ ; com a bateria carregada, a voltagem de alimentação é ajustada na razão de  $r = 20,64/13,6 = 1,52$  e a corrente para  $I = 7,51 * 1,52 = 11,42A$ , resultando na potência fornecida de  $P = 13,6 * 11,42 = 155W$ . Assim, verifica-se que o controlador MPPT consegue extrair a potência máxima disponível no módulo solar durante toda a operação, com rendimento 61,24% maior que o PWM para este caso em particular.

No caso da fonte CC ser o alternador do veículo, o controlador de carga CC-CC viabiliza as mesmas funcionalidades do VSR, permitindo a carga da bateria auxiliar apenas a partir de um nível estabelecido de tensão do alternador e segregando as baterias principal e auxiliar nos casos em que a tensão monitorada caia abaixo de outro parâmetro programado, preservando a bateria principal do sistema elétrico. Nesse caso em questão, como o alternador fornece energia em um nível de tensão próximo ao da bateria, pode-se empregar um controlador PWM ou MPPT sem que haja variação significativa de rendimento.

Em resumo - alinhando-se com a visão de Beaudet (2022) - deve-se empregar os controladores PWM em sistemas pequenos ou nos quais a tensão fornecida pela fonte de energia seja próxima à tensão do banco de baterias; e utilizar os controladores MPPT para sistemas com maior demanda de potência elétrica, sistemas em que haja diferença significativa nos níveis de tensão entre o conjunto de módulos solares e o banco de baterias, ou em sistemas móveis críticos que operem em locais remotos, nos quais seja essencial um elevado rendimento no processo de conversão de energia.

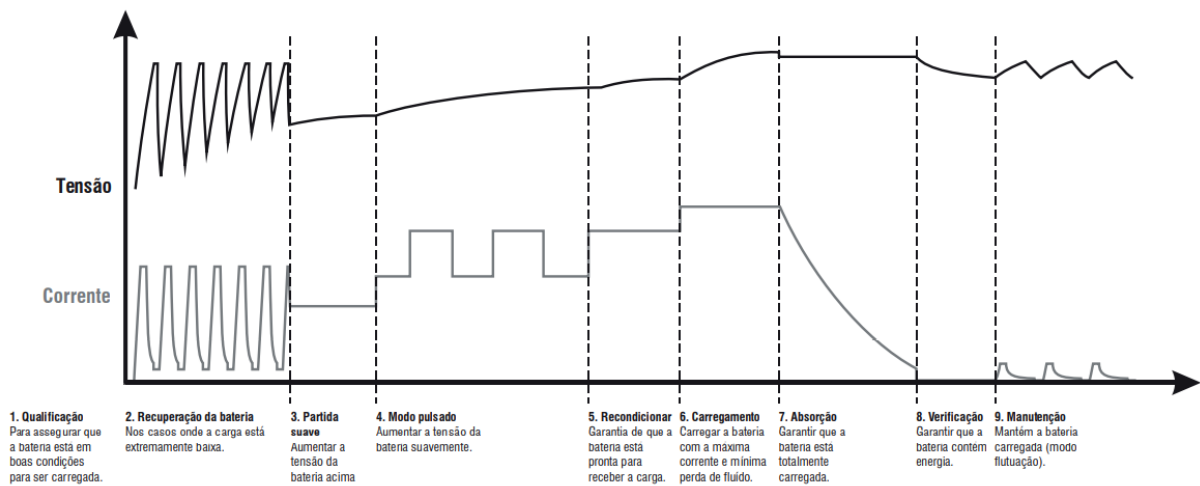
#### **2.3.4 Controlador de carga CA-CC**

O carregador CA-CC é uma boa alternativa para carregar a bateria auxiliar nas situações em que há uma fonte de energia CA disponível, seja ela oriunda da rede de energia elétrica comercial ou de um gerador portátil, quando não há disponibilidade de energia solar

ou há restrição de uso de combustível para o uso do alternador do veículo. Ele deve ser capaz de fornecer pelo menos 10 % e não mais que 20 % da capacidade nominal da bateria (AUSTRALIAN DIRECT, 2018b).

De acordo com o fabricante de carregadores CA-CC Vonder (2022a), esse tipo de equipamento possui tecnologia de alta eficiência que garante um carregamento seguro e completo e emprega um sistema com microprocessador que divide o processo de carregamento em nove etapas (Figura 8), as quais, em conjunto, garantem o fornecimento de energia em níveis ideais e com melhor qualidade, assegurando um processo de carga eficiente e ampliando a vida útil da bateria.

Figura 8 – Carregador CA-CC: detalhamento das etapas de carga.



Fonte: Vonder (2022a).

Como medidas de segurança, o dispositivo também conhecido como carregador flutuante - pois possui um sistema que conserva a carga da bateria, permitindo que seja feito o carregamento automático toda vez que a carga diminuir - normalmente conta com proteção contra curto-circuito, polaridade invertida e sobreaquecimento, e possui ainda uma funcionalidade dedicada ao carregamento de baterias em baixas temperaturas.

### 2.3.5 Módulo solar

A utilização de energia solar fotovoltaica para recarregar a bateria auxiliar é uma opção especialmente interessante para as operações em locais remotos, tais como acampamentos, trilhas e passeios fora de estrada, estando perfeitamente alinhada com a redução do consumo de combustíveis fósseis e a preservação do meio ambiente, por ser uma fonte renovável de energia.

O processo de conversão da energia solar fotovoltaica em energia elétrica é realizado

efetivamente por meio de células solares agrupadas em módulos, cujas características essenciais para o seu dimensionamento são o rendimento ( $\eta$ ), a corrente elétrica em regime de máxima potência ( $I_{mp}$  [A]) e a tensão em regime de máxima potência ( $V_{mp}$  [V]). Com base nesses parâmetros, pode-se calcular a potência nominal máxima ( $(P_{max}$  [W])) fornecida pelo módulo pela Equação 2.1.

$$P_{max} = V_{mp} * I_{mp} \quad (2.1)$$

De acordo com Australian Direct (2018b), os módulos solares portáteis são extremamente confiáveis e versáteis, podendo ser empregados para dar suporte aos veículos de passeio, pequenos veículos de recreação e expedição os de 100 W para o uso de bomba d'água, *laptops*, câmeras fotográficas e celulares; os de 150 W para geladeiras-congeladores portáteis até 70 l; os de 200 W para geladeiras-congeladores portáteis de 70 até 100 l; e os 250 a 300 W para congeladores acima de 200 l.

A utilização de múltiplos módulos solares associados com capacidade de conversão acima de 300 W é normalmente empregada em grandes veículos de recreação, que necessitam de maior suporte de energia elétrica para alimentar uma significativa quantidade de equipamentos; ou em veículos preparados para longas expedições, nos quais a autonomia elétrica estendida para a operação em locais remotos é sempre bem-vinda.

Os módulos solares podem ser classificados em relação à tecnologia de fabricação das células solares, sendo os mais eficientes os do tipo monocristalino em relação aos policristalinos.

### **2.3.6 Inversor**

De acordo com Beaudet (2022), a função principal do inversor é converter a energia elétrica em corrente contínua armazenada no banco de baterias para corrente alternada que será utilizada pelas cargas CA. Os inversores podem ser classificados quanto à forma de onda da energia fornecida, sendo os mais comuns os do tipo onda senoidal modificada - normalmente mais baratos, adequados para sistemas simples e lâmpadas incandescentes - e os de onda senoidal pura, que são mais caros, mas fornecem energia de boa qualidade e são preferencialmente utilizados para alimentar equipamentos eletrônicos, lâmpadas e televisões de LED, e cargas indutivas.

De forma a cumprir sua função principal, o inversor deve ser adequado para operar

na tensão definida para o banco de baterias do sistema - 12V, 24V, 48V etc. -, alimentar simultaneamente as cargas CC e as críticas AC e acomodar os picos de demanda de energia quando cargas indutivas, como motores, são acionadas. Assim, quando do dimensionamento do inversor é necessário compatibilizar tanto a potência elétrica para operação contínua quanto a potência de pico para gerenciar requisições pontuais de energia (HALMEMAN, 2014; DIAS, 2015).

Neste ponto do trabalho, com a fundamentação teórica devidamente estabelecida, forma-se a base sólida e necessária para o desenvolvimento do modelo de dimensionamento.

### 3 MÉTODOS E MATERIAIS

Este capítulo, em essência, apresenta a contribuição acadêmica da pesquisa, sendo constituído de duas seções que têm como objetivos detalhar o modelo de dimensionamento de sistemas elétricos auxiliares para veículos de expedição movidos à combustíveis fósseis e caracterizar os materiais empregados no processo, respectivamente.

#### 3.1 Métodos

Para fins de padronização, os métodos estabelecidos baseiam-se no desenvolvimento de sistemas elétricos auxiliares com voltagem 12 V em corrente contínua (CC) - para fins de compatibilidade com os sistemas elétricos e equipamentos veiculares tradicionais - e 220 V em corrente alternada (CA), para manter a compatibilidade com os equipamentos elétricos mais comuns na região nordeste do Brasil.

A sequência metodológica, descrita a seguir e representada graficamente na Figura 9, deve ser executada na ordem apresentada, em face das interdependências das etapas, cujo detalhamento é discutido no decorrer deste capítulo, com ênfase no processo de dimensionamento dos principais elementos do sistema elétrico auxiliar.

- E1: Identificar necessidades
- E2: Definir os requisitos operacionais
- E3: Dimensionar os componentes do sistema
  - E3.1: Estabelecer as necessidades de energia elétrica adicional (NEEA)
  - E3.2: Bateria
  - E3.3: Carregamento da bateria auxiliar pelo alternador do veículo? - VSR ou Carregador CC-CC
  - E3.4: Carregamento da bateria auxiliar por energia solar fotovoltaica? - Carregador CC-CC e painéis solares
  - E3.5: Carregamento da bateria auxiliar por fonte CA externa? - Carregador CA-CC
  - E3.6: Equipamentos CA? - Inversor
  - E3.7: Cabos e dispositivos de proteção elétrica
- E4: Projetar o sistema elétrico auxiliar
- E5: Instalar o sistema projetado



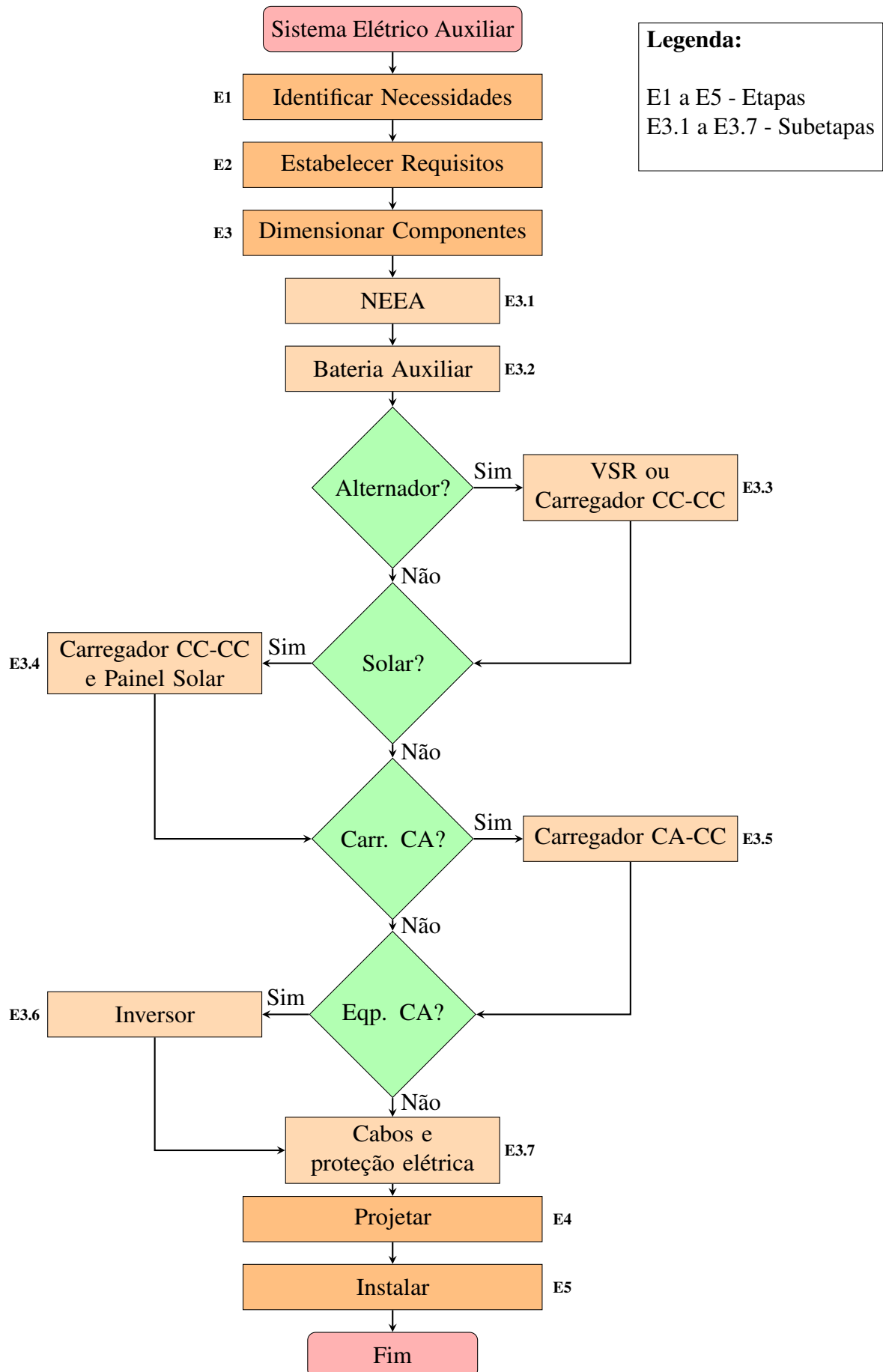


Figura 9 – Fluxograma representativo do Modelo de Dimensionamento de Sistemas Elétricos Auxiliares para Veículos de Expedição.

### 3.1.1 Identificar necessidades

O ponto de partida para o desenvolvimento de um sistema elétrico auxiliar é a identificação criteriosa das necessidades operacionais, tendo como base as atividades que serão realizadas durante a expedição.

Essa ação pode ser facilitada pela prospecção do cenário a ser vivenciado na expedição, com o detalhamento dos deslocamentos de ida e volta até o ponto de interesse, tipos de rodovia e tempo de deslocamento; das atividades que serão realizadas com as respectivas facilidades que deverão estar disponíveis, como, por exemplo, bebidas geladas, música ambiente, iluminação, amplificadores de sinal de telefonia celular, uso de equipamentos elétricos para conforto térmico e preparação de refeições; e, não menos importante, a disponibilidade de fontes de energia para a recarga da bateria auxiliar.

Deve-se ter em mente que o esforço, dedicação e tempo aplicados nesta etapa facilitarão todo o trabalho subsequente, em face do forte impacto que ela gera em todo o processo, em especial sobre a definição dos requisitos operacionais.

### 3.1.2 Requisitos operacionais

Os requisitos operacionais, listados a seguir, deverão ser atendidos, uma vez que refletem as necessidades identificadas pelos usuários, com base nas atividades que serão realizadas e nas fontes de energia disponíveis para se carregar as baterias auxiliares:

1. Autonomia elétrica auxiliar de operação sem recarga em horas ( $AE [h]$ );
2. Equipamentos CC ( $Eqp_{CC} [s/n]$ ), sim ou não;
3. Equipamentos CA ( $Eqp_{CA} [s/n]$ ), sim ou não;
4. Carregamento da bateria auxiliar pelo alternador do veículo ( $Carga_{alternador} [s/n]$ ), sim ou não;
5. Carregamento da bateria auxiliar por energia solar fotovoltaica ( $Carga_{solar} [s/n]$ ), sim ou não;
6. Carregamento da bateria auxiliar por fonte CA externa ( $Carga_{CA} [s/n]$ ), sim ou não;

Juntamente com os requisitos operacionais, é relevante avaliar os aspectos relacionados ao limite orçamentário ( $LO$ ), volume disponível ( $V_d$ ) e peso disponível ( $P_d$ ), uma vez que podem influenciar na capacidade de fornecimento adequado de energia do sistema elétrico auxi-

liar para atender à demandas identificadas; reduzir a disponibilidade de transporte de materiais e cargas essenciais para a expedição e inviabilizar deslocamentos de maior distância, devido ao acréscimo no consumo de combustível da viatura.

### 3.1.3 Dimensionamento

O dimensionamento dos equipamentos do sistema elétrico auxiliar consiste de diversas subetapas, as quais devem ser executadas para atender aos requisitos operacionais estabelecidos na Subseção 3.1.2.

#### 3.1.3.1 Necessidades de energia elétrica adicional (NEEA)

Além dos requisitos operacionais, as informações necessárias para se dimensionar o número de baterias de um sistema elétrico auxiliar resumem-se à definição precisa das necessidades de energia elétrica adicional em amperes ( $NEEA [A]$ ), resultante da totalização dos produtos dos consumos individuais em amperes-hora ( $C_i [Ah]$ ) com as respectivas quantidades de horas de utilização diária ( $h_i$ ), sendo necessário incluir as perdas devido à eficiência do inversor na conversão CC-CA ( $\eta$ ), no caso da existência de cargas que necessitem de corrente alternada para o seu funcionamento.

As equações 3.1 e 3.2 resumem a sistemática de cálculo descrita, sendo necessária a totalização das duas componentes para se chegar ao valor final das necessidades adicionais de energia (Equação 3.3).

$$NEEA_{CC} = \sum_{i=1}^n (C_i * h_i) \quad (3.1)$$

$$NEEA_{CA} = \frac{1}{\eta} * \sum_{i=1}^n (C_i * h_i) \quad (3.2)$$

$$NEEA = NEEA_{CC} + NEEA_{CA} \quad (3.3)$$

É relevante destacar que, de maneira semelhante à dinâmica da economia "as necessidades normalmente são infinitas e os recursos são sempre escassos", assim, é necessário que as demandas de energia elétrica guardem coerência e parcimônia com as atividades que serão executadas.

### 3.1.3.2 Bateria auxiliar

O dimensionamento do número de baterias auxiliares sempre é realizado, uma vez que a inclusão de um equipamento dedicado para armazenar energia elétrica - o que pode ser feito empregando-se uma única bateria auxiliar ou um banco de baterias interligadas - é justificada para atender à condicionante de operação em locais remotos, nos quais a autonomia elétrica sempre é um fator crítico.

Para se dimensionar a bateria auxiliar, além das NEEA, faz-se necessário selecionar o tipo de bateria que será empregado - chumbo-ácido, AGM, íons de lítio etc. - definindo-se, assim, a *DoD* e a *CN*. Aplica-se, então, a Equação 3.4 que apresenta a fórmula para o cálculo do número de baterias necessárias para alimentar as cargas elétricas acessórias adicionais na autonomia elétrica operacional estabelecida pelo requisito *AE*, ressaltando que o resultado obtido deverá ser arredondado para o inteiro superior.

$$N_b = \frac{NEEA}{DoD * CN} * \frac{AE}{24} \quad (3.4)$$

No que se refere às melhores práticas de uso da bateria auxiliar, é importante mantê-la sempre totalmente carregada. Para tanto, diversas fontes de energia podem ser empregadas, tais como o sistema elétrico principal do veículo - por meio de seu alternador - energia solar fotovoltaica e energia elétrica de fontes CA.

### 3.1.3.3 Carregamento da bateria auxiliar pelo alternador do veículo

Esta subetapa de dimensionamento deve ser realizada caso seja estabelecido o requisito operacional de carregamento da bateria auxiliar pelo alternador do veículo (*Carga<sub>alternador</sub>*), opção que é desejável, pois contribui para racionalizar a eficiência energética do sistema.

Entretanto é necessário avaliar as características técnicas do alternador, sua capacidade de alimentar as cargas primárias do veículo e, simultaneamente, fornecer energia para carregar o sistema elétrico auxiliar durante os deslocamentos sem comprometer sua vida útil.

A participação do equipamento no processo de carga da bateria auxiliar é avaliada pelo tipo de bateria selecionada - que permite definir a máxima corrente de carregamento recomendada pelo fabricante como um percentual de sua *CN* - e pela corrente máxima fornecida pelo alternador em amperes ( $I_{alt}$  [A]). Já a tensão máxima fornecida pelo alternador em volts

( $T_{alt}$  [V]), é utilizada para selecionar o tipo de equipamento intermediário que será empregado para interligar o conjunto alternador e bateria principal ao sistema elétrico auxiliar.

Para Australian Direct (2018b), a necessidade de um equipamento intermediário para interligar os sistemas elétricos principal e auxiliar é justificada por duas condicionantes da operação, quais sejam:

1. o alternador deve carregar as baterias principal e auxiliar, quando o veículo estiver com o motor em funcionamento; e
2. a bateria principal deve manter-se carregada e em condições de dar a partida no motor, mesmo quando a bateria auxiliar estiver sendo descarregada, alimentando os equipamentos elétricos auxiliares com o motor do veículo desligado.

Essas condicionantes podem ser atendidas, por exemplo, por meio da instalação de uma chave manual do tipo liga-desliga, entretanto o esquecimento acidental pode resultar na incapacidade de dar a partida no motor do veículo, devido à descarga excessiva da bateria principal.

Para automatizar e dar confiabilidade a esse processo, podem ser empregados, como equipamentos intermediários, um VSR ou um carregador CC-CC, sendo que a escolha do tipo de equipamento depende, primeiramente, do tipo de bateria auxiliar empregada, pois influencia o processo ideal de carregamento da bateria e sua vida útil; em segundo lugar, do tipo de alternador disponível no veículo, devido à capacidade de carregamento da bateria auxiliar; e, por último, do limite orçamento disponível  $LO$ , uma vez que, em geral, os carregadores CC-CC são mais caros que os VSR.

Segundo Australian Direct (2018b), os alternadores fabricados antes de 2006 fornecem até 14,4 V para o carregamento das baterias, nível de tensão que é adequado para carregar completamente os tipos mais comuns de baterias e que possibilita a utilização dos VSR. Entretanto, os alternadores dos veículos fabricados a partir de 2006 - também chamados de alternadores inteligentes por reduzir o consumo de combustível fóssil e as emissões de gases poluentes - restringem a quantidade de energia fornecida às baterias, mantendo a tensão máxima em torno de 13 a 13,8 V, níveis de tensão que somente possibilitam carregar completamente as baterias de ciclo profundo mediante o emprego de equipamentos do tipo carregadores CC-CC. Nesse último caso, o alternador não será capaz de carregar completamente a bateria do sistema elétrico auxiliar se a ligação for realizada por meio de um VSR.

Em resumo, se o alternador fornecer em torno de 14,4 V de tensão pode-se interligá-

lo à bateria auxiliar empregando-se um VSR ou um carregador CC-CC, mas caso a tensão máxima fornecida seja menor ou igual a 13,8 V, apenas o carregador CC-CC poderá ser utilizado.

#### 3.1.3.4 Carregamento da bateria auxiliar por energia solar fotovoltaica

Esta subetapa de dimensionamento deve ser realizada caso esteja estabelecido o requisito operacional de carregamento da bateria auxiliar por energia solar fotovoltaica ( $Carga_{solar}$ ), opção que é desejável, pois permite racionalizar o processo de gestão energética mediante o emprego de fontes renováveis de energia.

A participação da energia solar fotovoltaica no processo de carregamento da bateria auxiliar é avaliada pela tensão solar em volts ( $T_{solar}$  [V]) e pela corrente solar em amperes-hora ( $I_{solar}$  [Ah]) fornecidas pelo conjunto de módulos solares - independente da organização desses módulos em série ou paralelo - e pela quantidade de horas diárias de irradiação solar ( $h_{solar}$  [h]) na área onde se encontra o veículo, de acordo com a Equação 3.5 que permite calcular a potência elétrica solar diária disponível.

$$P_{solar} = T_{solar} * I_{solar} * h_{solar} \quad (3.5)$$

É necessário também ter em mente que os módulos solares não devem ser ligados diretamente à bateria, pois elas estariam em processo permanente de carga, o que causaria danos e reduziria a vida útil das mesmas. Assim, a utilização da energia solar fotovoltaica em sistemas autônomos obriga o uso de um carregador CC-CC para interligar os painéis solares à bateria e gerenciar o processo de carga. Os parâmetros para a seleção desse equipamento,  $T_{solar}$  e  $I_{solar}$ , devem ser analisados tendo em mente que se deve empregar, no máximo, uma corrente correspondente a 20 % da capacidade nominal de armazenamento de energia da bateria,  $CN$  [Ah].

Caso também esteja presente o requisito de carregamento da bateria pelo alternador do veículo e tenha sido selecionado o carregador CC-CC para a interligação do alternador com o sistema elétrico auxiliar, pode-se optar pelo emprego de um carregador CC-CC duplo - que atenda ao alternador e ao sistema solar simultaneamente, com a vantagem de reduzir peso e volume ocupado - ou dois carregadores CC-CC dedicados, respectivamente, a cada uma das fontes de energia.

### 3.1.3.5 Carregamento da bateria auxiliar por fonte CA externa

Esta subetapa deve ser considerada caso seja estabelecido o requisito operacional de carregamento da bateria auxiliar por fonte CA externa ( $Carga_{CA}$ ), opção que é desejável, pois contribui para racionalizar a eficiência energética do sistema.

Entretanto, essa opção de carregamento depende da disponibilidade de fonte de energia elétrica CA no local de operação, o que é razoavelmente possível em hotéis, pousadas, restaurantes ou em qualquer outro ponto onde esse recurso seja ofertado. O período noturno e com o veículo parado, nesse caso, é extremamente oportuno e conveniente para o emprego dessa modalidade de carregamento das baterias auxiliares.

Em essência, o carregador CA-CC é um equipamento que emprega a energia elétrica CA, convertendo-a para fornecer energia CC em um processo de carregamento específico e otimizado para cada tipo de bateria, selecionado em função de suas características físico-químicas.

O dimensionamento deste tipo de equipamento na realidade resume-se em compatibilizar a capacidade de fornecimento de tensão e corrente do carregador com a capacidade nominal da bateria ( $CN$ ), ou seja, o carregador deverá ser capaz de fornecer os níveis de potência elétrica e disponibilizar um processo de carregamento adequado e personalizado para o tipo específico de bateria auxiliar selecionada.

### 3.1.3.6 Inversor

O dimensionamento do inversor envolve a avaliação dos equipamentos CA que serão utilizados na expedição, visando à identificação da potência elétrica total consumida pelo grupo de equipamentos que necessita operar simultaneamente, definida aqui como potência crítica CA ( $P_{crtCA}$  [W]). Dessa forma, o inversor deverá atender, plenamente em regime contínuo, à potência crítica ajustada com base no rendimento do inversor na conversão de energia ( $\eta$ ), conforme a Equação 3.6.

$$P_{inv} = \frac{1}{\eta} * P_{crtCA} \quad (3.6)$$

Adicionalmente, o inversor deve ser capaz de acomodar os picos de demanda de potência, ocasionados normalmente pelo acionamento de cargas indutivas, tais como motores e compressores.

É relevante apontar que, como o sistema elétrico auxiliar opera em 12V, uma potência crítica significativa resultará em uma corrente elevada a ser demandada à bateria pelo inversor, gerando a necessidade de se utilizar cabos elétricos mais robustos para suportá-la.

Outra questão a ser analisada reside na qualidade da energia a ser fornecida pelo inversor. Sendo assim, energia com padrão senoidal deve ser priorizada para os casos em que a qualidade da energia a ser utilizada pelos equipamentos CA é um fator crítico.

### 3.1.3.7 Cabos e dispositivos de proteção elétrica

Cabos e dispositivos de proteção elétrica são essenciais para a efetiva ligação dos equipamentos elétricos que integram o sistema auxiliar. Devem ser selecionados e dimensionados adequadamente visando viabilizar a circulação da energia elétrica para o correto e seguro funcionamento dos equipamentos. Além disso, devem permitir uma certa flexibilidade ao sistema de forma a se adaptar às necessidades eventuais de demanda de energia adicional não programada. Existem diversos sistemas de classificação para os cabos, podendo-se destacar o *Gauge*, o *AWG* e o de área da seção transversal em  $mm^2$  utilizado no Brasil.

Para qualquer tipo de sistema de conversão de energia, os cabos elétricos exercem papel essencial para a segurança das pessoas e equipamentos, independente do tipo de corrente que neles circulam. Em particular, nos trechos CC - em face das características especiais desse tipo de instalação - os condutores elétricos diferenciam-se dos normalmente utilizados em instalações elétricas CA de baixa tensão.

Nesse sentido, para a adequada seleção e dimensionamento dos cabos elétricos e dispositivos de proteção é mandatória a consulta às normas técnicas, entre as quais, listam-se as seguintes, em face da aderência às características do sistema elétrico auxiliar a ser dimensionado.

- Norma ABNT NBR 5410 (ABNT, 2004) determina as condições a que devem satisfazer as instalações elétricas de baixa tensão, a fim de garantir a segurança de pessoas e animais, o funcionamento adequado da instalação e a conservação dos bens.
- Norma ABNT NBR 16690 (ABNT, 2019) estabelece os requisitos de projeto das instalações elétricas de arranjos fotovoltaicos, incluindo a interligação de pequenas unidades de condicionamento de potência em corrente contínua para conexão a um ou dois módulos fotovoltaicos.
- Norma ABNT NBR 16612 (ABNT, 2020) detalha os requisitos de desempenho para os cabos de potência para sistemas fotovoltaicos, não halogenados, isolados, com cobertura,



para tensão de até 1,8 kV CC entre condutores.

Cabos fotovoltaicos são um produto específico para interligar os módulos em uma série fotovoltaica e/ou conectar a série fotovoltaica a uma caixa de junção; devem atender às especificações da NBR 16612 (ABNT, 2020), cumprindo, pelo menos, os seguintes requisitos: suportar tensão máxima de operação até 1,8 kV (CC); operar em temperatura ambiente de  $-15^{\circ}\text{C}$  até  $+90^{\circ}\text{C}$ ; ser resistente à radiação ultravioleta (UV); e ter grau de proteção (IP) adequado contra água.

No que se refere à instalação, a parte em corrente alternada deve atender às condições gerais da norma ABNT NBR 5410, enquanto o lado em corrente contínua deve ser avaliado com base na norma ABNT NBR 16690. Dessa forma, para evitar confusão em uma mesma instalação, as linhas de corrente alternada e corrente contínua devem obrigatoriamente ser separadas e claramente identificadas, por exemplo, pelo uso de etiquetas ou condutores com cores diferentes.

Quanto aos conectores para as instalações fotovoltaicas, eles devem atender às prescrições do item 6.2 da NBR 16690 (ABNT, 2019), cumprindo os seguintes requisitos mínimos: ser classificados para uso em corrente contínua; oferecer proteção contra o contato com partes vivas em estado conectado e desconectado; ter uma corrente nominal igual ou superior à capacidade de condução de corrente para o circuito no qual estão instalados; ser dimensionados para a temperatura do local de instalação, em especial, para o caso de exposição ao meio ambiente, devem ser resistentes à radiação UV e ter grau de proteção (IP) adequado.

De acordo com a NBR 16690 (ABNT, 2019), a corrente de projeto  $I_B$  deve ser igual à corrente mínima em relação à qual a seção nominal dos condutores fotovoltaicos deve ser dimensionada, avaliando-se os critérios de capacidade de condução de corrente e queda de tensão, e selecionando-se a maior seção obtida entre os dois critérios.

A corrente de projeto depende da existência ou não de proteção contra sobrecorrente no circuito, cuja definição é detalhada nos itens 5.3.8 e 5.3.9 da norma. Além disso, a proteção contra sobrecorrente deve ser utilizada quando requerida e os condutores devem ser capazes de suportar o pior caso de sobrecorrente proveniente das séries fotovoltaicas conectadas em paralelo em um mesmo subarranjo fotovoltaico somada ao pior caso de sobrecorrente proveniente de outros subarranjos fotovoltaicos paralelos.

Para um arranjo fotovoltaico com apenas uma série fotovoltaica sem proteção contra sobrecorrente, a corrente de projeto é calculada com base na Equação 3.7, na qual  $I_{scmod}$  é a corrente de curto-circuito de um módulo fotovoltaico ou de uma série fotovoltaica - associação

de módulos fotovoltaicos em série. Entretanto, caso o arranjo fotovoltaico tenha proteção contra sobrecorrente, a corrente de projeto deve ser calculada com base na Equação 3.8, na qual  $I_N$  é a corrente nominal do dispositivo de proteção contra sobrecorrente da série fotovoltaica.

$$I_B = 1,5 * I_{scmod} \quad (3.7)$$

$$I_B = I_N \quad (3.8)$$

Para um subarranjo fotovoltaico sem proteção contra sobrecorrente, a corrente de projeto é calculada com base na Equação 3.9, na qual  $I_{scs-arranjo}$  é a corrente de curto-circuito de um subarranjo dada pela Equação 3.10, sendo  $SSA$  o número total de séries fotovoltaicas conectadas em paralelo no subarranjo fotovoltaico. Combinando-se as duas equações, tem-se o valor final de  $I_B$  dado pela Equação 3.11. Entretanto, caso o subarranjo fotovoltaico tenha proteção contra sobrecorrente, a corrente de projeto deve ser calculada com base na Equação 3.12, na qual  $I_N$  é a corrente nominal do dispositivo de proteção contra sobrecorrente do subarranjo fotovoltaico.

$$I_B = 1,25 * I_{scs-arranjo} \quad (3.9)$$

$$I_{scs-arranjo} = I_{scmod} * SSA \quad (3.10)$$

$$I_B = 1,25 * I_{scmod} * SSA \quad (3.11)$$

$$I_B = I_N \quad (3.12)$$

Tendo sido determinada a corrente de projeto do circuito fotovoltaico ( $I_B$ ), de acordo com o item 6.1 da NBR 16690 (ABNT, 2019), para o dimensionamento da seção nominal dos cabos fotovoltaicos que operam em corrente contínua é necessário definir o método de instalação e a temperatura operacional para os condutores, e ,com base nessas informações coletadas, empregar a tabela adequada de capacidade de condução de corrente para cabos fotovoltaicos da NBR 16612 (ABNT, 2020).

No que se refere à avaliação da temperatura de operação dos condutores, a norma de instalação orienta que - para os condutores instalados próximos ou em contato com os módulos fotovoltaicos - deve ser considerada uma temperatura operacional mínima igual à temperatura ambiente máxima esperada acrescida de 40 °C.

O critério de cálculo da capacidade de condução de corrente e as tabelas da NBR 16612 (ABNT, 2020) foram estabelecidos para diversas condições de operação, conforme o caso. A seguir, são detalhadas as características de operação para cabos instalados ao ar livre.

1. Dois cabos unipolares encostados um ao outro, na horizontal.
2. Dois cabos unipolares encostados um ao outro, na vertical.
3. Dois cabos unipolares espaçados de, pelo menos, 0,75 x diâmetro externo, na horizontal.
4. Dois cabos unipolares espaçados de, pelo menos, um diâmetro externo, na vertical.

As tabelas 2 e 3, extraídas da NBR 16612 (ABNT, 2020), detalham a capacidade de condução de corrente para cabos instalados em temperatura ambiente de 30 e 40 °C, respectivamente, ambas com temperatura no condutor em regime permanente de 90 °C.

No que se refere à queda de tensão nos cabos, a NBR 16690 (ABNT, 2019) recomenda que a queda de tensão verificada não seja superior a 3% da tensão do arranjo fotovoltaico em seu ponto de máxima potência sob condições de carga máxima, podendo ser calculada pela Equação 3.13, na qual  $S [mm^2]$  é a seção nominal do condutor;  $L [m]$  é o comprimento total dos cabos positivo e negativo;  $I_B [A]$  é a corrente de projeto;  $\sigma = 44m/\Omega mm^2$  é a condutividade do cobre a 90 °C;  $e [V]$ , a queda de tensão máxima.

$$S = \frac{L * I_B}{\sigma * e} \quad (3.13)$$

À exceção dos cabos fotovoltaicos, para o dimensionamento dos demais cabos elétricos emprega-se a Tabela 4, tendo como parâmetro base a máxima corrente projetada para o circuito elétrico ajustada com a aplicação do fator de correção ( $F_c$ ) da Tabela 5 em função da temperatura ambiente diferente de 30°.

O cabo elétrico que liga o alternador ao carregador CC-CC deve suportar a corrente  $I_{maxAlt-CC}$ , correspondente a 20% da  $CN$  do banco de baterias limitada à corrente nominal do dispositivo de proteção utilizado para reduzir o impacto sobre o alternador, conforme as equações 3.14 e 3.15, respectivamente, o que for menor.

$$I_{maxAlt-CC} \leq 0,2 * CN \quad (3.14)$$

$$I_{maxAlt-CC} \leq CN_{DPAlt} \quad (3.15)$$

Tabela 2 – Capacidade de condução de corrente para cabos instalados em temperatura ambiente de 30 °C e temperatura no condutor em regime permanente de 90 °C.

Seção	Instalação ao Ar Livre Protegida do Sol				Instalação ao Ar Livre Exposta ao Sol			
	Modo de Instalação:				Modo de Instalação:			
mm <sup>2</sup>	1	2	3	4	1	2	3	4
1,5	26	26	30	26	23	22	27	23
2,5	35	35	40	35	31	30	36	31
4	47	46	53	47	41	40	48	41
6	60	59	68	60	51	51	61	52
10	83	82	95	84	71	71	85	73
16	110	110	125	113	93	93	112	97
25	146	147	166	151	123	124	147	129
35	181	183	207	189	151	153	182	161
50	229	232	260	240	189	193	228	204
70	285	290	325	301	234	239	283	254
95	343	349	390	364	279	287	339	306
120	402	410	458	428	325	335	396	359

Fonte: Adaptada da Tabela C.2 da NBR 16612 (ABNT, 2020).

O cabo elétrico que liga o carregador CC-CC à bateria auxiliar deve suportar a corrente máxima  $I_{max_{CC-Bat}}$ , que poderá ser a corrente a ser fornecida pelo carregador CC-CC,  $I_{max_{CC-CC}}$ , ou, no caso de a ligação ser realizada por meio de um VSR, a corrente  $I_{max_{Alt-CC}}$ , de acordo com as equações 3.16 e 3.17 respectivamente.

$$I_{max_{CC-Bat}} = I_{max_{CC-CC}} \quad (3.16)$$

$$I_{max_{CC-Bat}} = I_{max_{Alt-CC}} \quad (3.17)$$

O cabo elétrico que liga a bateria ao inversor deve suportar a corrente máxima  $I_{max_{Bat-Inv}}$ , calculada com base na Equação 3.18, na qual  $P_{inv-pico}$  é a potência de pico suportada pelo inversor.

Tabela 3 – Capacidade de condução de corrente para cabos instalados em temperatura ambiente de 40 °C e temperatura no condutor em regime permanente de 90 °C.

Seção	Instalação ao Ar Livre Protegida do Sol				Instalação ao Ar Livre Exposta ao Sol			
	Modo de Instalação:				Modo de Instalação:			
mm <sup>2</sup>	1	2	3	4	1	2	3	4
1,5	24	23	27	23	20	19	24	20
2,5	32	31	36	32	26	26	32	26
4	42	41	48	42	35	34	42	35
6	53	53	61	54	44	43	53	45
10	74	74	85	76	61	60	74	62
16	98	98	112	101	79	79	97	83
25	131	131	149	136	104	105	127	110
35	163	164	185	170	128	130	157	137
50	205	208	233	215	159	163	197	173
70	255	259	291	270	196	201	244	216
95	307	313	350	326	233	241	291	259
120	360	367	411	384	271	281	340	304

Fonte: Adaptada da Tabela C.3 da NBR 16612 (ABNT, 2020).

$$I_{maxBat-Inv} = \frac{P_{inv-pico}}{12 * \eta} \quad (3.18)$$

O cabo elétrico que liga a bateria ao painel de distribuição das cargas CC deve suportar a corrente máxima  $I_{maxBat-CC}$  correspondente à capacidade nominal do banco de baterias.

O cabo elétrico que liga o inversor ao painel de distribuição das cargas CA deve suportar a corrente máxima  $I_{maxInv-CA}$ , calculada com base na Equação 3.19.

$$I_{maxInv-CA} = \frac{P_{inv-pico}}{220} \quad (3.19)$$

O cabo que liga a bateria principal ao equipamento intermediário, VSR ou controlador CC-CC, deve ter um fusível de proteção no fio positivo, preferencialmente próximo à bateria

Tabela 4 – Capacidades de condução de corrente [A], para o método de referência F.

Seção nominal [ $mm^2$ ]	Corrente máxima, $I_{max}$ [A]
0,50	11
0,75	14
1	17
1,5	22
2,5	31
4	41
6	53
10	73
16	99
25	131
35	162
50	196
70	251
95	304
120	352

Fonte: NBR 5410:2004 (ABNT, 2004), Tabela 38.

Nota: 1 - Condutores de cobre carregados e justapostos; 2 - Isolação PVC, temperatura de referência 30°C, temperatura do condutor 70°C.

Tabela 5 – Fatores de correção para temperaturas ambientes diferentes de 30°C para linhas não-subterrâneas.

Temperatura ambiente [°C]	Fator de correção
10	1,22
15	1,17
20	1,12
25	1,06
35	0,94
40	0,87
45	0,79
50	0,71

Fonte: NBR 5410:2004 (ABNT, 2004), Tabela 40.

Nota: Isolação PVC.

principal, dimensionado adequadamente em relação à capacidade nominal de fornecimento de corrente elétrica.

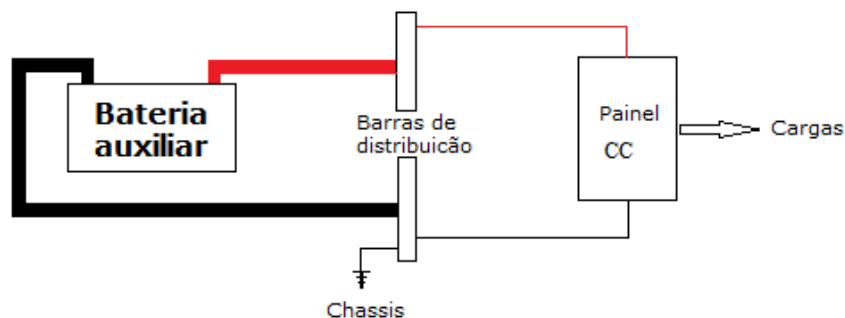
### 3.1.4 Projeto

Na etapa de projeto, os componentes dimensionados de acordo com os requisitos operacionais estabelecidos são devidamente agrupados e conectados, dando vida ao sistema elétrico auxiliar concebido para atender às necessidades dos usuários. O projeto envolve, essencialmente, o diagrama elétrico detalhando as ligações entre todos os componentes, bem

como suas especificações técnicas.

Para se entender melhor essa abstração, a Figura 10 mostra o diagrama conceitual de um sistema elétrico auxiliar simplificado com seus componentes mínimos, destacando a bateria auxiliar, as barras de distribuição e o painel elétrico CC, no qual estarão interligados os circuitos elétricos que alimentarão as cargas auxiliares.

Figura 10 – Sistema elétrico auxiliar: diagrama esquemático.



Mas como instalar e integrar o sistema elétrico auxiliar desenvolvido ao sistema principal existente no veículo?

### 3.1.5 Instalação

Para Australian Direct (2018b), o processo de instalação apresenta desafios relacionados, principalmente, às ligações elétricas entre os componentes do sistema e aos equipamentos com peso e volume total de elevada ordem, no caso de sistema elétricos auxiliares com maiores funcionalidades e, conseqüentemente, mais complexos.

Caso sejam instalados de forma muito personalizada e com ligações muito específicas, pode-se inviabilizar eventuais necessidades de migração parcial de equipamentos ou mesmo do sistema completo em caso de substituição do veículo. Para mitigar essa relevante questão, a estratégia de instalação deve se pautar na estruturação modular do sistema, concentrando os equipamentos e suas necessárias conexões em blocos funcionais e compactos, o que facilita os processos de manutenção e mobilidade.

Em relação ao cabeamento, especialmente, há duas opções de instalação, a primeira pelo interior do veículo e a segunda por sua parte externa inferior, mediante adequada proteção adicional dos cabos, sendo ambas direcionadas para o compartimento de cargas, normalmente o

local mais adequado para receber os equipamentos elétricos auxiliares. A Figura 11 apresenta o diagrama de instalação do cabeamento pela parte externa de um veículo.

Figura 11 – Cabeamento de um sistema elétrico auxiliar instalado externamente ao veículo.



Fonte: Australian Direct (2018b).

A primeira opção é mais segura, entretanto mais trabalhosa, dependente de cada tipo de veículo e não permite facilmente a migração completa do sistema para outra plataforma automotiva. Já a segunda pode ser instalada e removida mais rapidamente, além de favorecer a migração e o fornecimento de energia elétrica de cargas acessórias instaladas em um *trailer* rebocado, entretanto nesta opção os cabos ficam mais expostos às intempéries e aos riscos de ruptura.

## 3.2 Materiais

Esta seção é dedicada à caracterização dos equipamentos e materiais empregados no trabalho.

### 3.2.1 Bateria

A Figura 12 resume as características da bateria utilizada no dimensionamento e projeto dos sistemas elétricos auxiliares.

Adicionalmente, a Tabela 6 apresenta uma visão comparativa dos níveis de descarga, traduzidos em valores de tensão, em relação à durabilidade das baterias estacionárias de chumbo-ácido seladas, sendo possível verificar que o emprego de ciclos mais profundos de descarga reduzem significativamente a durabilidade.



Figura 12 – Bateria Moura 12MS111.



#### 12MS111 - CARACTERÍSTICAS ELÉTRICAS

Capacidade Nominal (20h 1,75Vpe, 25°C)	105 Ah
Tipo	Estacionária selada
Tensão nominal	12 V
Faixa de tensão de flutuação	13,2 +- 0,1 V
Faixa de tensão de carga	14,4 +- 0,1 V
Temperatura de operação	-10°C a +65°C
Tempo de descarga	95 Ah (10h); 105 Ah (20h); 116,4 Ah (120h)
Dimensões	330 x 172 x 244 mm
Peso	26,5 kg

Fonte: Adaptada de Moura (2019).

Tabela 6 – Baterias estacionárias de chumbo-ácido seladas: profundidade de descarga *versus* durabilidade.

Descarga (%)	Tensão (V)	Vida útil (anos/meses)	Durabilidade
0	12,5	5 anos	Alta
10	12,4	4 anos e 2 meses	Alta
20	12,3	3 anos	Alta
30	12,2	2 anos	Alta
40	12,1	1 ano e 3 meses	Baixa
50	12,0	10 meses	Baixa
60	11,9	6 meses	Não recomendável
70	11,7	3 meses	Não recomendável
80	11,5	1 mês	Não recomendável
90	11,0	Menor que 1 mês	Não recomendável
100	10,5	Menor que 1 mês	Não recomendável

Fonte: Adaptada de Moura (2019).

### 3.2.2 Carregador CC-CC

O carregador CC-CC empregado no presente projeto tem seus parâmetros elétricos e características físicas detalhadas na Figura 13. Trata-se do controlador solar modelo PWM-FT4024, capaz de gerenciar automaticamente sistemas em 12 e 24 VCC; grau de proteção IP30; mostrador LCD para controle dos parâmetros de operação; carregamento de bateria empregando algoritmo PWM de 4 estágios; proteção contra curto-circuito, circuito aberto, corrente reversa e sobrecarga.

A seleção do equipamento foi priorizada em função da capacidade de gerenciar duas fontes simultâneas de energia, permitindo utilizá-lo para a conversão da energia solar e da energia fornecida pelo alternador do veículo, dando suporte às expedições em locais remotos desprovidos de fontes comerciais de energia elétrica e otimizando o uso do espaço interno e peso. Essa mesma funcionalidade, entretanto, pode ser tornar um grande problema logístico no caso de falha do equipamento.

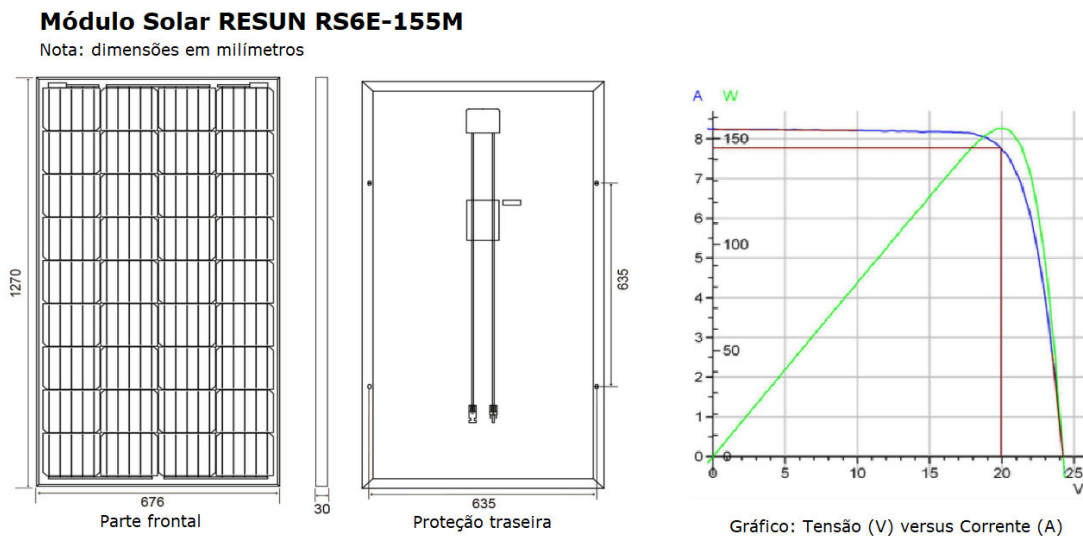
Figura 13 – Carregador solar modelo PWM-FT4024.



### 3.2.3 Módulo solar

O módulo solar Resun (2022) empregado no presente projeto tem seus parâmetros elétricos e características físicas detalhadas na Figura 14. Essencialmente, a seleção do módulo foi priorizada em função das capacidades elétricas para a conversão da energia solar em elétrica, dando suporte às expedições em locais remotos desprovidos de fontes comerciais de energia elétrica, bem como da compatibilização das dimensões do módulo em relação à disponibilidade de espaço na parte superior do veículo no qual foi instalado.

Figura 14 – Módulo solar Resun RS6E-155M.



#### PARÂMETROS ELÉTRICOS

Potência máxima nominal - Pmax(Wp)	155 W
Tensão de circuito aberto - Voc (V)	24,46 V
Corrente de curto-circuito - Isc (A)	8,31 A
Tensão de máxima potência - Vmp(V)	20,64 V
Corrente de máxima potência - Imp (A)	7,51 A
Eficiência do módulo (%)	18,05 %

STC: irradiância 1000 W/m<sup>2</sup>; temperatura das células 25°C; massa de ar AM1.5.

Fonte: Adaptada de Resun (2022).

### 3.2.4 Carregador CA-CC

Pesando cerca de 1,0 kg, o modelo CIB 210, Figura 15, possui capacidade de carga de baterias de 6 a 210 Ah, fornecendo uma tensão de saída entre 12 e 14,7 V e corrente de carga de 2 a 8 A para tensão de entrada de 220 VCA e frequência de 47 a 63 Hz. O equipamento foi selecionado para uso devido sua portabilidade, custo e pela capacidade de carregar baterias na faixa em que se encontram as selecionadas para uso nos sistemas elétricos dimensionados neste trabalho.

Figura 15 – Carregador CA-CC modelo CIB210.



Fonte: Vonder (2022b).

### 3.2.5 Inversor

O inversor de onda senoidal pura Jinsi 1600 (Figura 16) é capaz de fornecer energia elétrica aos equipamentos de uso diário, com eficiência maior ou igual a 90% na conversão de energia a partir de 12 VCC na entrada para 220VAC/60Hz na saída, com potência nominal de 800W em regime constante e até 1600W de pico.

Possui proteção de tensão na entrada, desligando-se automaticamente quando a tensão estiver abaixo de 10,5 V ou acima de 15,5V; proteção contra sobrecarga, superaquecimento, conexão reversa da bateria, curto-circuito e sobrecorrente com indicadores visuais e sonoros. Pesa cerca de 1,35 kg com dimensões 250×113×60mm.

É compatível com diversos tipos de baterias comerciais, tais como as de gel, AGM, chumbo-ácido seladas e lítio-fosfato de ferro, podendo também ser programado para operar com baterias específicas, ajustando seus 4 estágios de trabalho para carregá-las totalmente de forma automática e otimizada.

Figura 16 – Inversor Jinsi de onda senoidal pura 800W.



Com o estabelecimento do modelo de dimensionamento de sistemas elétricos auxiliares para veículos de expedição - realizado neste capítulo - pode-se avançar no trabalho em busca de resultados que serão analisados para validar a metodologia desenvolvida e extrair conclusões da pesquisa.

## 4 RESULTADOS

Este capítulo detalha os resultados obtidos na pesquisa pela aplicação da metodologia estabelecida no Capítulo 3 e descreve as discussões e análises realizadas. É composto de duas seções, dedicadas, respectivamente, ao dimensionamento de dois sistemas elétricos auxiliares - denominados Sistema Elétrico Auxiliar Simples (SEAS) e Sistema Elétrico Auxiliar Flexível (SEAF) - detalhando os requisitos operacionais; descrevendo o processo de dimensionamento; e apresentando, por fim, o diagrama esquemático associado a cada um deles.

### 4.1 Sistema Elétrico Auxiliar Simples

O cenário de aplicação do SEAS resume-se em apoiar passeios turísticos em praias remotas durante o período diurno, de acordo com detalhamento abaixo:

- saída da base de operação às 06h com deslocamento médio de 01:30h de duração em rodovias pavimentadas;
- operação no local de interesse, praia com terreno arenoso, com 9h de autonomia elétrica, com as todas as cargas adicionais sendo alimentadas pelo sistema elétrico auxiliar, constando dos seguintes equipamentos, todos operando em 12 VCC:
  - uma geladeira portátil, que consome 1,50 Ah funcionando continuamente;
  - um rádio transceptor V/UHF, que consome 4,17 Ah utilizado durante 15 minutos por dia;
  - duas cargas em telefone celular, que consomem 1,00 A por carga;
  - uma carga em câmera fotográfica, que consome 0,78 A por carga;
  - uma carga em drone para filmagem, que consome 3,50 A por carga; e
  - uma carga em caixa de som portátil, que consome 4,00 A por carga.
- retorno à base de operação com deslocamento médio de 01:30h de duração em rodovias pavimentadas.

Adicionalmente, o cenário contempla um baixo limite orçamentário e pouca disponibilidade de peso e volume, em face das características técnicas e da autonomia de combustível do veículo de expedição avaliado, cujo sistema elétrico principal possui um alternador capaz de fornecer  $T_{alt} = 14,5V$  e  $I_{alt} = 85A$ .

### 4.1.1 Requisitos operacionais

Após a análise do cenário de emprego do veículo para o qual o SEAS está sendo dimensionado, com foco nas necessidades identificadas pelos usuários, foram definidos os requisitos operacionais detalhados na Tabela 7.

Tabela 7 – SEAS: requisitos operacionais.

Requisito operacional	Valor
Autonomia elétrica, $AE$ [h]	9
Equipamentos CC, $Eqp_{CC}$ [s/n]	Sim
Equipamentos CA, $Eqp_{CA}$ [s/n]	Não
Carregamento da bateria auxiliar pelo alternador, $Carga_{alternador}$ [s/n]	Sim
Carregamento da bateria auxiliar por energia solar fotovoltaica. $Carga_{solar}$ [s/n]	Não
Carregamento da bateria auxiliar por fonte CA externa, $Carga_{CA}$ [s/n]	Não

### 4.1.2 Dimensionamento

A avaliação dos requisitos operacionais associada à aplicação do fluxograma de dimensionamento (Figura 9) sinalizam um processo reduzido, uma vez que o sistema será carregado exclusivamente pelo alternador do veículo, sendo necessário estabelecer a NEEA, dimensionar a bateria auxiliar, o equipamento que fará sua ligação com o alternador, e, por fim, os dispositivos de proteção elétrica e os cabos.

#### 4.1.2.1 NEEA

Com base na análise do cenário de operação e nos requisitos operacionais, foi calculada a necessidade de energia elétrica adicional, representada pela totalização das cargas CC (Equação 3.1), uma vez que não há previsão de cargas CA para este sistema em particular ( $NEEA_{CA} = 0$ ). Os resultados dos cálculos podem ser verificados na Tabela 8, com  $NEEA = 24,83$  A (Equação 3.3).

#### 4.1.2.2 Bateria auxiliar

Para esta subetapa, emprega-se uma bateria de chumbo-ácido selada com  $CN = 105Ah$  e  $DoD = 50\%$ . Dessa forma, aplicando-se a Equação 3.4, chega-se a  $N_b = 0,18$  e, arredondando-se para o inteiro superior, conclui-se que será necessário utilizar 1 bateria auxiliar,

Tabela 8 – SEAS: necessidades de energia elétrica adicional.

Item	Equipamento	Tipo	Consumo [Ah]	Tempo [h]	$C_i * t_i$ [A]
1	Geladeira portátil (12V)	CC	1,50	9	13,50
2	Rádio transceptor V/UHF	CC	4,17	0,25	1,05
3	Cargas em telefone celular	CC	–	–	2,00
4	Carga em câmera fotográfica	CC	–	–	0,78
5	Carga em drone	CC	–	–	3,50
6	Carga em caixa de som portátil	CC	–	–	4,00
	<i>NEEA</i>				24,83

optando-se pelo modelo 12MS111 (Figura 12) de 12V/105Ah pela aderência à condicionante de orçamento reduzido.

#### 4.1.2.3 Carregador CC-CC

A opção pelo uso de um carregador CC-CC baseia-se no tipo de bateria auxiliar selecionada (chumbo-ácido selada), que necessita de um ciclo de carga em diversos estágios para garantir melhor eficiência no processo. Assim, tendo em vista que a corrente máxima de carregamento da bateria deve ser mantida em um nível abaixo de 20% da CN por recomendação do fabricante, o carregador CC-CC deve ser capaz de acomodar uma corrente  $I_{max} = 0,2 * 105 = 21A$ .

Adicionalmente, como o nível de tensão fornecida pelo alternador é de 14,5V, a utilização de um controlador PWM é bem-vinda pelo baixo custo e pela baixa projeção de perda de potência, devido à compatibilidade entre as voltagens do alternador e da bateria. A seleção recai sobre um controlador PWM de 20A que acomode 240W.

#### 4.1.2.4 Cabos e dispositivos de proteção elétrica

Esta subetapa envolve o dimensionamento dos cabos, fusíveis e disjuntores, listados a seguir, tendo-se em mente que todos os conjuntos são formados por um par positivo (vermelho) / negativo (preto) de igual comprimento e mesmas características técnicas; e que todos os disjuntores - também empregados para seccionamento dos circuitos para fins de manutenção, verificação, localização de defeitos e reparos, de acordo com o item 4.1.8 da NBR 5410 (ABNT, 2004) - são duplos, de forma a proteger ambos os condutores. No que se refere à correção da temperatura, emprega-se  $Fc = 0,87$ , ou seja, corrige-se a temperatura ambiente de referência para 40°C.

- Cabo 1 - Conecta o alternador ao carregador CC-CC;
- Cabo 2 - Conecta o carregador CC-CC à bateria;
- Cabo 3 - Conecta a bateria ao painel CC;
- Fusível 1 - Instalado no cabo positivo da bateria;
- Disjuntor 1 - Instalado no Cabo 1, na entrada do carregador CC; e
- Disjuntor 2 - Instalado no Cabo 2, na saída do carregador CC.

O Cabo 1 deve suportar a corrente  $I_{max_{Alt-CC}}$ , conforme Equação 3.14, assim,  $I_{max_{Alt-CC}} = 0,2 * 105 = 21A$ . Pelo critério de capacidade de corrente, a seção nominal deve ser de  $2,5mm^2$  (Tabela 4) com aplicação de fator de correção para  $40^\circ C$  (Tabela 5). Pelo critério de queda de tensão máxima de 2%, aplica-se a Equação 3.13, com  $L = 10m$ ,  $I_B = I_{max_{Alt-CC}} = 21A$ ,  $\sigma = 44m/(\Omega mm^2)$  e  $e = 0,02 * 14,5V = 0,29V$ , assim,  $S = \frac{10*21}{44*0,29} = 16,46mm^2$ , sendo a seção nominal padronizada mais próxima superior a de  $25mm^2$ , que é a seção nominal mínima selecionada para o Cabo 1 por ser a maior entre as seções calculadas.

O Cabo 2 deve suportar a corrente  $I_{max_{CC-Bat}}$ , conforme Equação 3.16 utilizando  $I_{max_{CC-CC}} = 20A$ , assim,  $I_{max_{CC-Bat}} = 20A$ . Pelo critério de capacidade de corrente, a seção nominal deve ser de  $2,5mm^2$  (Tabela 4) com aplicação de fator de correção para  $40^\circ C$  (Tabela 5). Pelo critério de queda de tensão máxima de 2%, aplica-se a Equação 3.13, com  $L = 3m$ ,  $I_B = I_{max_{CC-Bat}} = 20A$ ,  $\sigma = 44m/(\Omega mm^2)$  e  $e = 0,02 * 14,5V = 0,29V$ , assim,  $S = \frac{3*20}{44*0,29} = 4,70mm^2$ , sendo a seção nominal padronizada mais próxima superior a de  $6mm^2$ , que é a seção nominal mínima selecionada para o Cabo 2 por ser a maior entre as seções calculadas.

O Cabo 3 deve suportar a corrente  $I_{max_{Bat-CC}} = 105A$ , correspondente à capacidade nominal da bateria dimensionada. Pelo critério de capacidade de corrente, a seção nominal deve ser de  $25mm^2$  (Tabela 4) com aplicação de fator de correção para  $40^\circ C$  (Tabela 5). Pelo critério de queda de tensão máxima de 2%, aplica-se a Equação 3.13, com  $L = 3m$ ,  $I_B = I_{max_{Bat-CC}} = 105A$ ,  $\sigma = 44m/(\Omega mm^2)$  e  $e = 0,02 * 12,8V = 0,256V$ , assim,  $S = \frac{3*105}{44*0,256} = 27,97mm^2$ , sendo a seção nominal padronizada mais próxima superior a de  $35mm^2$ , que é a seção nominal mínima selecionada para o Cabo 3 por ser a maior entre as seções calculadas.

O Fusível 1 deve ter capacidade nominal menor ou igual à corrente nominal do banco de baterias com fator de tolerância de 25% ( $F1 \leq 105 * 1,25 \leq 131,25A$ ) e deve ser instalado no condutor positivo do Cabo 3, assim,  $F1 = 125A$  visto ser a opção comercial mais próxima encontrada no mercado.

O Disjuntor 1 deve ter capacidade nominal menor ou igual à corrente máxima do



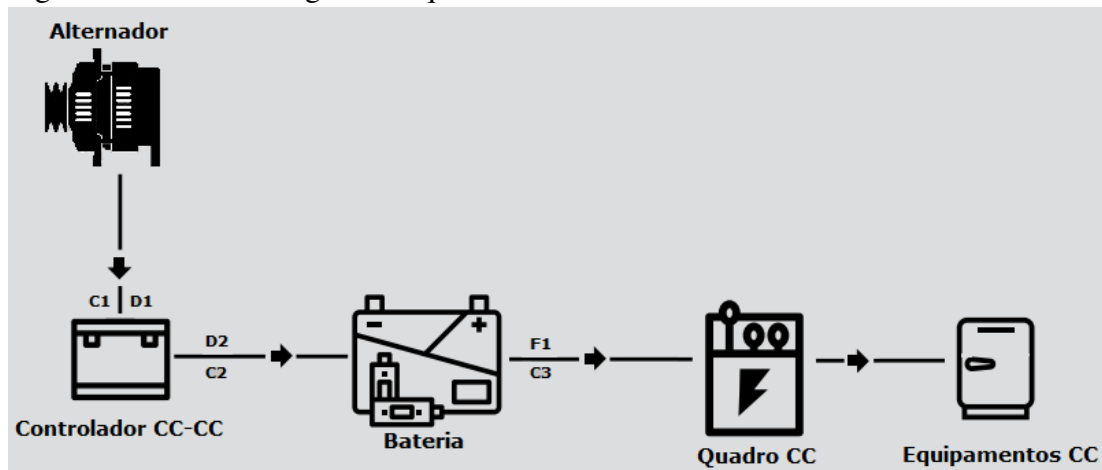
Cabo 1 ( $I_{max_{Alt-CC}} = 21A$ ), assim,  $D1 = 20A$ .

O Disjuntor 2 deve ter capacidade nominal menor ou igual à corrente máxima do Cabo 2 ( $I_{max_{CC-Bat}} = 20A$ ), assim,  $D2 = 20A$ .

### 4.1.3 Diagrama esquemático

A Figura 17 apresenta o diagrama esquemático do SEAS, concebido de acordo com os requisitos operacionais estabelecidos, com as características técnicas e quantidades de seus componentes detalhados na Tabela 9.

Figura 17 – SEAS: diagrama esquemático.



Nota: C1, Cabo 1; C2, Cabo 2; C3, Cabo 3; D1, Disjuntor 1; D2, Disjuntor 2; F1, Fusível 1.

Tabela 9 – SEAS: resumo dos componentes dimensionados.

Componente	Características	Quantidade
Bateria	Estacionária, chumbo-ácido, selada, 12V-105Ah	1 un
Carregador CC-CC	PWM 12V-20A, 240W	1 un
Cabo 1	25 mm <sup>2</sup>	10 m
Cabo 2	6 mm <sup>2</sup>	3 m
Cabo 3	35 mm <sup>2</sup>	3 m
Fusível 1	125A	1 un
Disjuntor 1	20A, CC duplo	1 un
Disjuntor 2	20A, CC duplo	1 un

Nota: Para os cabos dimensionados, a medida total, listada na coluna "Quantidade", refere-se à soma dos comprimentos parciais do cabo positivo (vermelho) e negativo (preto).

#### 4.1.4 Instalação

Como exemplo prático de acomodação das questões de instalação discutidas, a Figura 18 mostra o SEAS baseado em um controlador CC-CC para gerenciar o processo de carga de apenas uma bateria pelo alternador, montado em um conjunto único e compacto de equipamentos, que pode ser conectado ao sistema elétrico principal por meio de cabos instalados externamente ao veículo.

Figura 18 – SEAS: instalação.



Fonte: Australian Direct (2018a).

## 4.2 Sistema Elétrico Auxiliar Flexível

O cenário de aplicação do SEAF é essencialmente uma extensão do SEAS, descrito anteriormente, diferenciando-se no acréscimo de equipamentos que devem ser atendidos pelo sistema elétrico auxiliar e na ampliação do período de operação, conforme detalhamento abaixo:

- deslocamento total diário com duração de 04:00h em terrenos fora de estrada;
- operação de apoio a esportes náuticos e pernoite em área remota normalmente não assistida por rede elétrica, com as todas as cargas elétricas adicionais, listadas a seguir, sendo alimentadas pelo sistema elétrico auxiliar com autonomia elétrica mínima de 24h:
  - 1 geladeira portátil CC, que consome 1,25 Ah funcionando continuamente;
  - 1 rádio transceptor V/UHF CC, que consome 4,17 Ah utilizado durante 30

- minutos por dia;
- 4 cargas em telefone celular CC, que consomem 1,00 A por carga;
  - 2 cargas em câmera fotográfica CC, que consomem 0,78 A por carga;
  - 2 cargas em drone para filmagem CC, que consomem 3,50 A por carga;
  - 1 carga em caixa de som portátil CC, que consome 4,00 A por carga;
  - 3 lâmpadas 12 VCC / 5 W, ligadas 5 horas por dia;
  - 1 bomba d'água 12 VCC / 36 W, ligada 1 hora por dia;
  - 2 ventiladores 12 VCC / 12 W, ligados 3 horas por dia;
  - 1 processador (mix) 220 VCA / 350 W, funcionando 15 minutos por dia;
  - 1 máquina de costura 220 VCA / 7,2 W, funcionando 30 minutos por dia; e
  - 1 laptop 220 VCA / 45 W, funcionando 1 hora e 30 minutos por dia.
- eventualmente o pernoite pode ocorrer em hospedagem com disponibilidade de rede elétrica comercial.

O veículo no qual será instalado o sistema elétrico auxiliar dispõe de um bagageiro de teto preparado para acomodar até 2 m<sup>2</sup> de equipamentos e possui um alternador capaz de fornecer  $T_{alt} = 14,5V$  e  $I_{alt} = 85A$ .

#### 4.2.1 Requisitos operacionais

Após a análise do cenário de emprego do veículo para o qual o SEAF está sendo dimensionado, com foco nas necessidades identificadas pelos usuários, foram definidos os requisitos operacionais detalhados na Tabela 10.

Tabela 10 – SEAF: requisitos operacionais.

Requisito operacional	Valor
Autonomia elétrica, $AE$ [h]	24
Equipamentos CC, $Eqp_{CC}$ [s/n]	Sim
Equipamentos CA, $Eqp_{CA}$ [s/n]	Sim
Carregamento da bateria auxiliar pelo alternador, $Carga_{alternador}$ [s/n]	Sim
Carregamento da bateria auxiliar por energia solar fotovoltaica. $Carga_{solar}$ [s/n]	Sim
Carregamento da bateria auxiliar por fonte CA externa, $Carga_{CA}$ [s/n]	Sim

## 4.2.2 Dimensionamento

A avaliação dos requisitos operacionais e a aplicação do fluxograma de dimensionamento (Figura 9) sinalizam um processo mais complexo que o anterior, uma vez que a bateria auxiliar do sistema poderá ser carregada por três fontes de energia distintas - alternador do veículo, energia solar fotovoltaica e fonte CA externa - e há a necessidade de se alimentar tanto equipamentos CC quanto CA. Assim, faz-se necessário estabelecer as  $NEEA_{CC}$  e  $NEEA_{CA}$ , dimensionar todos os equipamentos listados no fluxograma, e, por fim, selecionar cabos, fusíveis e disjuntores para conectar os equipamentos e proteger o sistema e seus usuários.

### 4.2.2.1 NEEA

Com base no cenário de operação e nos requisitos operacionais foram calculadas as necessidades de energia elétrica adicional, representadas pela totalização das cargas CC (Equação 3.1) e das cargas CA (Equação 3.2, empregando um rendimento do inversor estimado em 90%). Os resultados dos cálculos podem ser verificados na Tabela 11, com  $NEEA = 77,44 A$  (Equação 3.3).

É relevante destacar que para os equipamentos que apresentam apenas a informação de potência (W), é necessário calcular a corrente consumida, dividindo-se a potência pela voltagem do sistema (12V), bem como contabilizar o consumo final do grupo de equipamentos em função de sua quantidade e do tempo de uso convertido em horas, como no caso das lâmpadas e ventiladores em CC, e do processador de alimentos em CA.

### 4.2.2.2 Bateria auxiliar

Para dimensionar a bateria auxiliar, serão avaliadas - para fins de comparação de custos, peso e volume - dois tipos de baterias: estacionárias de chumbo-ácido,  $CN = 105Ah$ ,  $DoD = 50\%$ , pesando 26,5 kg ; e lítio-fosfato de ferro (LiFeSO<sub>4</sub>),  $CN = 100Ah$ ,  $DoD = 80\%$ , com peso de 15 kg.

Com a aplicação da Equação 3.4, chega-se a  $N_b = 1,48$  para as baterias de chumbo-ácido e  $N_b = 0,97$  para as baterias de LiFeSO<sub>4</sub>. Assim, arredondando-se para o inteiro superior, conclui-se que será necessário utilizar 2 (duas) baterias de chumbo-ácido de 12V, 105Ah ou 1 (uma) bateria de LiFeSO<sub>4</sub>, 12V, 100Ah. A primeira opção - que é a selecionada, devido restrição orçamentária - é menos onerosa, mas resulta em um peso adicional de 53kg, enquanto a segunda

Tabela 11 – SEAF: necessidades de energia elétrica adicional.

Item	Equipamento	Tipo	Consumo [Ah]	Tempo [h]	$C_i * t_i$ [A]
1	Geladeira portátil (12V)	CC	1,25	24	30,00
2	Rádio transceptor V/UHF	CC	4,17	0,5	2,09
3	Cargas em telefone celular	CC	–	–	4,00
4	Carga em câmera fotográfica	CC	–	–	1,56
5	Carga em drone	CC	–	–	7,00
6	Carga em caixa de som portátil	CC	–	–	4,00
7	Lâmpadas	CC	1,25	5	6,25
8	Bomba d'água	CC	3,00	1	3,00
9	Ventiladores	CC	2,00	3	6,00
	<i>NEEA<sub>CC</sub></i>				63,90
10	Processador (mix)	CA	25,00	0,25	6,25
11	Máquina de costura	CA	0,6	0,5	0,30
12	Laptop	CA	3,75	1,5	5,63
	<i>NEEA<sub>CA</sub> com <math>\eta = 0,9</math></i>				13,54
	<i>NEEA</i>				77,44

opção, mais cara, acrescenta apenas 15kg à viatura em metade do volume.

#### 4.2.2.3 Carregamento da bateria auxiliar pelo alternador do veículo

A opção pelo uso de um carregador CC-CC tem suporte na avaliação do tipo de bateria auxiliar dimensionada - estacionária, chumbo-ácido selada, ciclo profundo de descarga - e no limite orçamentário disponível. A bateria selecionada necessita de um ciclo de carga em diversos estágios para garantir melhor eficiência no processo de carregamento além de favorecer a ampliação de sua vida útil.

Assim, tendo em vista que a corrente máxima de carregamento do banco de baterias deve ser mantida em um nível abaixo de 20% da *CN*, o carregador CC-CC deverá ser capaz de acomodar uma corrente  $I_{max} = 0,2 * 210 = 42A$ .

Além disso, como o nível de tensão fornecida pelo alternador é de 14,5V, a utilização de um controlador PWM é bem-vinda pelo baixo custo e pela pequena projeção de perda de potência, uma vez que o nível de tensão fornecida é compatível com a tensão de carregamento do banco de baterias. A seleção recai sobre um controlador PWM de 40A que acomode até 480W de potência.

#### 4.2.2.4 Carregamento da bateria auxiliar por energia solar fotovoltaica

Esta etapa de dimensionamento inicia-se com a definição do módulo ou conjunto de módulos solares e depende fortemente da área útil disponível no teto do veículo para acomodá-los; da participação - ou não - do alternador no processo de carga; e da potência solar necessária para carregar o banco de baterias.

Para se calcular a necessidade de potência dos módulos solares emprega-se a Equação 4.1, na qual  $P_{solar}$  [Wh] é a potência solar total do conjunto de módulos solares necessária para cumprir o requisito operacional de autonomia elétrica  $AE$  [h];  $I_{alt}$  [Ah] é a corrente fornecida pelo alternador;  $h_{solar}$  [h] é a quantidade diária de horas de irradiação solar média no local de interesse; e  $\eta_{ces} = 0,8$  é o rendimento médio do módulo na conversão de energia solar para acomodar as variações de irradiação.

$$P_{solar} = \frac{(NEEA - I_{alt}) * 12}{h_{solar} * \eta_{ces}} * \frac{AE}{24} \quad (4.1)$$

Considerando a participação do alternador no carregamento do banco de baterias durante 4 horas em um percentual de 15% de  $I_{max} = 40A$ , tem-se que  $I_{alt} = 4 * 0,15 * 40 = 24 Ah$ . Assim,  $P_{solar} = \frac{(77,44 - 24) * 12}{5,56 * 0,80} * \frac{24}{24} = 144,17 Wh$ . Caso a opção para o dimensionamento seja sem a participação do inversor, todo o carregamento deverá ser realizado com base em energia solar, dessa forma  $P_{solar} = \frac{(77,44 - 0) * 12}{5,56 * 0,80} = 208,92 Wh$ .

Consequentemente, uma vez que o veículo no qual será instalado o sistema elétrico auxiliar dispõe de  $2 m^2$  de área para instalação dos módulos e utilizando-se o módulo solar RS6E-155M (Figura 14), pode-se atender com folga aos dois cenários avaliados anteriormente, empregando-se 1 ou 2 módulos solares, respectivamente, com potência e área de  $155 Wh / 0,86 m^2$  ou  $310 Wh / 1,72 m^2$ .

Com o dimensionamento dos módulos solares, pode-se prosseguir para o equipamento de condicionamento de energia, neste caso o carregador solar. As opções recaem sobre a tecnologia de operação, eficiência e preço, envolvendo as tecnologias PWM e MPPT, cujos dimensionamentos são realizados nos próximos parágrafos, com a discussão das vantagens e desvantagens de cada tecnologia, analisando-se os cenários com 1 e 2 módulos solares, tomando-se como base os parâmetros elétricos do módulo solar RS6E-155M (Figura 14),  $V_{oc} = 24,46V$ ,  $I_{sc} = 8,31A$  e  $P_{max-mod} = 155W$ ; e do controlador solar PWM-FT4024 (Figura 13),  $V_{max} = 50V$ ,  $I_{max} = 40A$  e  $P_{max-ctl} = 520W$  (12V).

Para 1 módulo solar, o controlador deve possuir as capacidades elétricas mínimas, listadas a seguir, de acordo com sua tecnologia, sendo  $P_{max-ctl}$  [W], a potência máxima do controlador;  $P_{max-mod}$  [W], a potência máxima do módulo solar; e  $V_b$  [V], a tensão do banco de baterias.

- PWM

- $V_{max} \geq V_{oc} \rightarrow V_{max} \geq 24,46V$
- $I_{max} \geq I_{sc} * 1,50 \rightarrow I_{max} \geq 12,47A$
- $P_{max-ctl} \geq P_{max-mod} \rightarrow P_{max-ctl} \geq 155W$

- MPPT

- $V_{max} \geq V_{oc} \rightarrow V_{max} \geq 24,46V$
- $I_{max} \geq I_{sc} * 1,50 * \frac{V_{oc}}{V_b} \rightarrow I_{max} \geq 25,41A$
- $P_{max-ctl} \geq P_{max-mod} \rightarrow P_{max-ctl} \geq 155W$

Para 2 módulos solares, o controlador deve possuir as capacidades elétricas mínimas, listadas a seguir.

- PWM

- os 2 módulos devem ser preferencialmente ligados em paralelo, de forma a reduzir a voltagem e elevar a corrente do arranjo, minimizando a perda de potência inerente à tecnologia.
- $V_{max} \geq V_{oc} \rightarrow V_{max} \geq 24,46V$
- $I_{max} \geq 2 * I_{sc} * 1,25 \rightarrow I_{max} \geq 20,78A$
- $P_{max-ctl} \geq 2 * P_{max-mod} \rightarrow P_{max-ctl} \geq 310W$

- MPPT

- os 2 módulos devem ser preferencialmente ligados em série, de forma a elevar a voltagem e reduzir a corrente do arranjo ao mínimo possível, minimizando os custos com o equipamento.
- $V_{max} \geq 2 * V_{oc} \rightarrow V_{max} \geq 48,92V$
- $I_{max} \geq I_{sc} * 1,50 * \frac{V_{oc}}{V_b} \rightarrow I_{max} \geq 25,37A$
- $P_{max-ctl} \geq 2 * P_{max-mod} \rightarrow P_{max-ctl} \geq 310W$

Em ambos os casos - 1 ou 2 módulos solares - as condicionantes relativas às capacidades elétricas são confirmadas para utilização do controlador solar PWM-FT4024 (Figura 13), restando a opção por um controlador MPPT mediante avaliação da relação de compromisso entre custo e eficiência na conversão da energia solar.

#### 4.2.2.5 Carregamento da bateria auxiliar por fonte CA externa

Para esta etapa de dimensionamento, o carregador CA-CC deve ser capaz de fornecer os níveis de potência elétrica e disponibilizar um processo de carregamento adequado e personalizado para o tipo específico de bateria auxiliar selecionada. Assim, a opção pelo modelo CIB 210, Figura 15 atende plenamente às necessidades de carregamento do banco de baterias dimensionado.

#### 4.2.2.6 Inversor

Para o dimensionamento do inversor, considera-se que as cargas CA dos itens 10 a 12 da Tabela 11 devem ser capazes de operar simultaneamente, resultando em uma potência crítica  $P_{crtCA} = 12,8 * (25 + 0,6 + 3,75) = 375W$ .

Dessa forma, tomando como base um rendimento de 90% para o equipamento e empregando-se a Equação 3.6, tem-se que a potência mínima do inversor deverá ser de  $P_{inv} = \frac{1}{\eta} * P_{crtCA} = \frac{376}{0,9} = 418W$ .

Quanto à qualidade da energia, uma vez que o equipamento alimentará equipamentos eletrônicos em locais remotos, opta-se por um inversor de onda senoidal pura.

Assim, o inversor selecionado é o modelo Jinsi 1600 (Figura 16) de onda senoidal pura, potência nominal de 800W em regime constante e até 1600W de pico, 12 VCC na entrada, 220VAC/60Hz na saída, rendimento de 90% na conversão de energia e compatível com o banco de baterias selecionado para este sistema elétrico auxiliar. Um fator decisivo avaliado para a seleção do equipamento foi a diferença de custo menor que 10% em relação ao preço do modelo similar com potência nominal de 500W, o que resulta em maior flexibilidade para emprego de cargas CA eventuais com um custo adicional otimizado.

#### 4.2.2.7 Cabos e dispositivos de proteção elétrica

Esta subetapa envolve o dimensionamento dos seguintes cabos, fusíveis e disjuntores, listados a seguir, tendo-se em mente que todos os cabos são formados por um par positivo (vermelho) / negativo (preto) de igual comprimento e mesmas características técnicas; e que todos os disjuntores são duplos, visando proteger ambos os condutores:

1. Cabo 1 - Conecta o alternador ao carregador CC-CC;
2. Cabo 2 - Conecta o carregador CC-CC ao banco de baterias;



3. Cabo 3 - Conecta o banco de baterias ao inversor;
4. Cabo 4 - Conecta o inversor ao painel CA;
5. Cabo 5 - Conecta o banco de baterias ao painel CC;
6. Cabo 6 - Conecta o arranjo solar ao carregador CC-CC;
7. Fusível 1 - Instalado no cabo positivo do banco de baterias;
8. Disjuntor 1 - Instalado no Cabo 1, na entrada 1 do carregador CC;
9. Disjuntor 2 - Instalado no Cabo 6, na entrada 2 do carregador CC;
10. Disjuntor 3 - Instalado no Cabo 2, na saída do carregador CC; e
11. Disjuntor 4 - Instalado no Cabo 3, próximo ao banco de baterias.

Adicionalmente, o item 6.2.6.1.2 da NBR 5410/04 (ABNT, 2004) determina que a seção dos condutores deve atender os seguintes critérios simultaneamente: capacidade de corrente (item 6.2.5); seção mínima (item 6.2.6); queda de tensão (item 6.2.7); e proteção contra curto-circuito e solicitações térmicas (item 5.3.5).

O Cabo 1 deve suportar a corrente  $I_{max_{Alt-CC}}$ , conforme Equação 3.14, assim,  $I_{max_{Alt-CC}} = 0,2 * 210 * 1,25 = 52,5A$ . Pelo critério de capacidade de corrente, a seção nominal deve ser de  $10mm^2$  (Tabela 4) com aplicação de fator de correção para  $40^\circ C$  (Tabela 5). Pelo critério de queda de tensão máxima de 2%, aplica-se a Equação 3.13, com  $L = 10m$ ,  $I_B = I_{max_{Alt-CC}} = 52,5A$ ,  $\sigma = 44m/(\Omega mm^2)$  e  $e = 0,02 * 14,5V = 0,29V$ , assim,  $S = \frac{10 * 52,5}{44 * 0,29} = 41,14mm^2$ , sendo a seção nominal padronizada mais próxima superior a de  $50mm^2$ , que é a seção nominal mínima selecionada para o Cabo 1 por ser a maior entre as seções calculadas.

O Cabo 2 deve suportar a corrente  $I_{max_{CC-Bat}}$ , conforme Equação 3.16 utilizando  $I_{max_{CC-CC}} = 40A$ , assim,  $I_{max_{CC-Bat}} = I_{max_{CC-CC}} = 40A$ . Pelo critério de capacidade de corrente, a seção nominal deve ser de  $6mm^2$  (Tabela 4) com aplicação de fator de correção para  $40^\circ C$  (Tabela 5). Pelo critério de queda de tensão máxima de 2%, aplica-se a Equação 3.13, com  $L = 3m$ ,  $I_B = I_{max_{CC-Bat}} = 40A$ ,  $\sigma = 44m/(\Omega mm^2)$  e  $e = 0,02 * 14,5V = 0,29V$ , assim,  $S = \frac{3 * 40}{44 * 0,29} = 9,40mm^2$ , sendo a seção nominal padronizada mais próxima superior a de  $10mm^2$ , que é a seção nominal mínima selecionada para o Cabo 2 por ser a maior entre as seções calculadas.

O Cabo 3 deve suportar a corrente  $I_{max_{Bat-Inv}}$ , conforme Equação 3.18 utilizando  $P_{inv-pico} = 1600W$  e  $\eta = 0,89$ , assim,  $I_{max_{Bat-Inv}} = \frac{1600}{12 * 0,89} = 149,81A$ . Pelo critério de capacidade de corrente, a seção nominal deve ser de  $50mm^2$  (Tabela 4) com aplicação de fator de correção para  $40^\circ C$  (Tabela 5). Pelo critério de queda de tensão máxima de 2%,

aplica-se a Equação 3.13, com  $L = 3m$ ,  $I_B = I_{maxBat-Inv} = 149,81A$ ,  $\sigma = 44m/(\Omega mm^2)$  e  $e = 0,02 * 12,8V = 0,256V$ , assim,  $S = \frac{3*149,81}{44*0,256} = 39,90mm^2$ , sendo a seção nominal padronizada mais próxima superior a de  $50mm^2$ , que é a seção nominal mínima selecionada para o Cabo 3 por atender a todos os critérios avaliados.

O Cabo 4 deve suportar a corrente  $I_{maxInv-CA}$ , conforme Equação 3.19 utilizando  $P_{inv-pico} = 1600W$ , assim,  $I_{maxInv-CA} = \frac{1600}{220} = 7,27A$ . Pelo critério de capacidade de corrente, a seção nominal deve ser de  $0,50mm^2$  (Tabela 4) com aplicação de fator de correção para  $40^\circ C$  (Tabela 5). Pelo critério de queda de tensão máxima de 2%, aplica-se a Equação 3.13, com  $L = 3m$ ,  $I_B = I_{maxInv-CA} = 7,27A$ ,  $\sigma = 44m/(\Omega mm^2)$  e  $e = 0,02 * 220 = 4,4V$ , assim,  $S = \frac{3*7,27}{44*4,4} = 0,11mm^2$ , sendo a seção nominal padronizada mais próxima superior a de  $0,50mm^2$ . Pelo critério de seção mínima dos condutores, a seção nominal deve ser de  $2,50mm^2$ , que é a seção nominal mínima selecionada para o Cabo 4 por ser a maior entre as seções calculadas.

O Cabo 5 deve suportar a corrente  $I_{maxBat-CC} = 210A$ , correspondente à capacidade nominal do banco de baterias dimensionado. Pelo critério de capacidade de corrente, a seção nominal deve ser de  $70mm^2$  (Tabela 4) com aplicação de fator de correção para  $40^\circ C$  (Tabela 5). Pelo critério de queda de tensão máxima de 2%, aplica-se a Equação 3.13, com  $L = 3m$ ,  $I_B = I_{maxBat-CC} = 210A$ ,  $\sigma = 44m/(\Omega mm^2)$  e  $e = 0,02 * 12,8V = 0,256V$ , assim,  $S = \frac{3*210}{44*0,256} = 55,93mm^2$ , sendo a seção nominal padronizada mais próxima superior a de  $70mm^2$ , que é a seção nominal mínima selecionada para o Cabo 5 por atender a todos os critérios avaliados.

O Cabo 6 deve suportar a corrente de projeto  $I_B$  do arranjo fotovoltaico - operando em modo de potência máxima - formado por duas séries com um módulo RS6E155M (RESUN, 2022) cada uma, associadas em paralelo, conforme Equação 3.11 utilizando  $I_{scmod} = 7,51A$  e  $SSA = 2$ , assim,  $I_B = 1,25 * 7,51 * 2 = 18,78A$ . Pelo critério de capacidade de corrente, com instalação ao ar livre exposta ao sol em modo 2 e temperatura ambiente de  $40^\circ C$ , a seção nominal deve ser de  $1,50mm^2$  (Tabela 3). Pelo critério de queda de tensão máxima de 3%, aplica-se a Equação 3.13, com  $L = 10m$ ,  $I_B = 18,78A$ ,  $\sigma = 44m/(\Omega mm^2)$  e  $e = 0,03 * 20,64 = 0,62V$ , assim,  $S = \frac{10*18,78}{44*0,62} = 6,88mm^2$ , sendo a seção nominal padronizada mais próxima superior a de  $10mm^2$ , que é a seção nominal mínima selecionada para o Cabo 6 por ser a maior entre as seções calculadas.

O Fusível 1 deve ter capacidade nominal menor ou igual à corrente nominal do banco de baterias com fator de tolerância de 25% ( $F1 \leq 210 * 1,25 \leq 265,5A$ ) e deve ser instalado no condutor positivo do Cabo 3, assim,  $F1 = 250A$  visto ser a opção comercial mais próxima

encontrada no mercado.

O Disjuntor 1 deve ter capacidade nominal menor ou igual à corrente máxima do Cabo 1, assim  $D1 = 50A$ .

O Disjuntor 2 deve ter capacidade nominal menor ou igual à corrente máxima do Cabo 6, assim  $D2 = 25A$ .

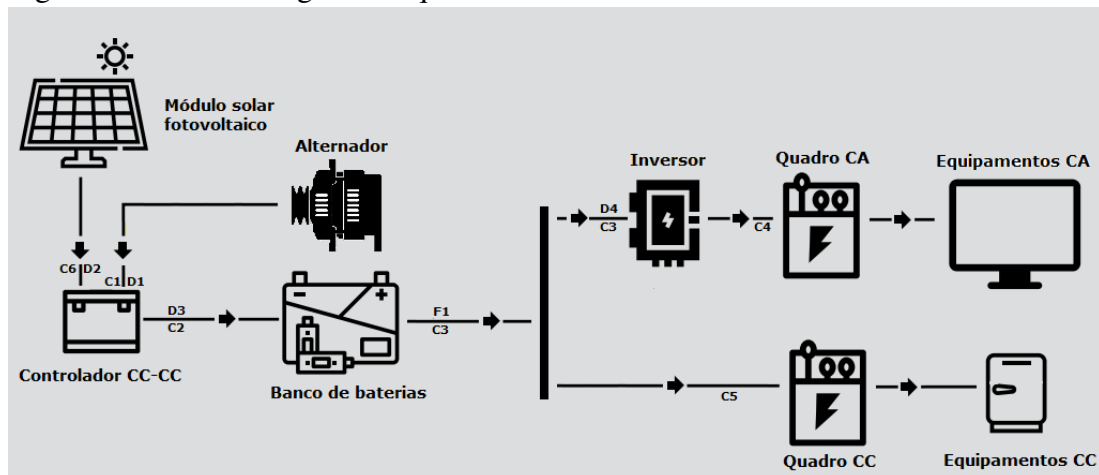
O Disjuntor 3 deve ter capacidade nominal menor ou igual à corrente máxima do Cabo 2, assim  $D3 = 40A$ .

O Disjuntor 4 deve ter capacidade nominal menor ou igual à corrente máxima do Cabo 3, assim  $D4 = 150A$ .

### 4.2.3 Projeto

A Figura 19 apresenta o diagrama esquemático do SEAS, concebido de acordo com os requisitos operacionais estabelecidos, com as características técnicas e quantidades de seus componentes detalhados na Tabela 12.

Figura 19 – SEAF: diagrama esquemático.



Nota: C1, Cabo 1; C2, Cabo 2; C3, Cabo 3; C4, Cabo 4; C5, Cabo 5; C6, Cabo 6; D1, Disjuntor 1; D2, Disjuntor 2; D3, Disjuntor 3; D4, Disjuntor 4; F1, Fusível 1.

### 4.2.4 Instalação

A Figura 20 mostra um exemplo de SEAF baseado em um controlador CC-CC duplo para gerenciar o processo de carga de um banco de baterias de 210Ah pelo alternador e por um sistema fotovoltaico, que pode ser conectado ao sistema elétrico principal por meio de cabos instalados internamente ao veículo.



## 5 CONCLUSÃO

Este capítulo sintetiza o conhecimento obtido na pesquisa. É constituído de quatro seções, dedicadas, respectivamente, à síntese dos principais resultados obtidos; à comprovação do atendimento aos objetivos; às limitações do trabalho, por meio da descrição dos óbices e dificuldades enfrentadas; e às propostas de trabalhos futuros para se prosseguir no estudo sobre o tema.

### 5.1 Principais resultados obtidos

A aplicação do modelo de dimensionamento de sistemas elétricos auxiliares para veículos de expedição conduziu à obtenção de resultados expressivos e consistentes, como evidenciam os dois sistemas auxiliares dimensionados - detalhadamente no Capítulo 4 - para atender às necessidades específicas identificadas para um cenário simples (Sistema Elétrico Auxiliar Simples - SEAS) e outro cenário mais complexo em termos de quantidade, variedade de equipamentos e de autonomia elétrica (Sistema Elétrico Auxiliar Flexível - SEAF).

O adequado e completo estabelecimento das necessidades de energia elétrica adicional (NEEA) mostrou-se pertinente e indispensável para viabilizar o correto processo de dimensionamento. Apesar disso, a falta de informações precisas nos manuais e sites dos fabricantes dificultou esta etapa, principalmente pela utilização de valores médios de consumo de potência dos equipamentos. Como exemplo, o consumo médio do refrigerador não reflete a realidade de consumo do equipamento distribuído ao longo do dia, uma vez que durante o período entre 07:00h e 21:00h o consumo é mais elevado - justificado por ser o período de maior utilização de bebidas e mantimentos para o preparo de refeições - em relação ao período das 21:01h às 06:59h do outro dia - normalmente reservado para descanso, com baixa utilização do equipamento. Dessa forma, faz-se necessário uma avaliação preliminar prática do real consumo elétrico das cargas de maior impacto na autonomia elétrica, de forma que a avaliação efetiva da capacidade do sistema elétrico auxiliar dimensionado seja realizada de forma precisa e correta.

A sistemática de dimensionamento para os controladores CC-CC, CA-CC, módulos solares e inversores mostrou-se adequada, enquanto para o dimensionamento dos cabos, as normas utilizadas permitiram um processo completo, apesar de a NBR 5410:2004 (ABNT, 2004) apresentar poucas referências para sistemas elétricos específicos com baixos valores de tensão, enquanto a NBR 16690:2019 (ABNT, 2019), em contrapartida, revelou-se de fácil consulta para

viabilizar o dimensionamento dos cabos fotovoltaicos para interligar séries e arranjos de módulos solares.

Os dispositivos de proteção e segurança apresentaram pouca flexibilidade de dimensionamento, devido à baixa variedade de valores discretos para os fusíveis e disjuntores comerciais em CC disponíveis no mercado local.

No que se refere à eficiência energética, o gerenciamento e a distribuição dos horários de utilização dos equipamentos em CA e os de maior consumo em CC racionalizam a autonomia elétrica, em face da redução das perdas devido ao rendimento do inversor, bem como da possibilidade de utilização do excesso de potência elétrica solar não aproveitada pelo carregador PWM durante os horários mais favoráveis de irradiação.

De maneira semelhante, e tendo em mente que o alternador e a energia solar fotovoltaica são fontes de energia complementares para viabilizar o sistema auxiliar dimensionado, o emprego do alternador deve ser priorizado para os períodos em que a fonte solar não estiver disponível totalmente - período noturno - ou parcialmente, como nos dias nublados e nos horários com baixa irradiação solar.

É relevante, oportuno e necessário pontuar que o emprego racional de recursos energéticos, em especial os oriundos de fontes renováveis, possibilita reduzir o uso de combustíveis fósseis; otimizar a eficiência no emprego de energia elétrica; fortalecer a autossuficiência energética; e, em última instância, reduzir o impacto gerado ao meio ambiente.

É nesse sentido, por fim, que o presente trabalho contribui para a eficiência energética veicular em expedições com o emprego de automóveis movidos a combustíveis fósseis, demonstrando a utilidade do modelo desenvolvido para dimensionar sistemas elétricos auxiliares para uso em proveito da indústria do turismo, viabilizando passeios, expedições e apoiando a prática de esportes náuticos em locais remotos, sejam essas atividades de caráter comercial ou simplesmente para o lazer dos proprietários dessas especiais viaturas.

## **5.2 Atendimento aos objetivos**

O objetivo específico 1, compreender o funcionamento dos principais componentes do sistema elétrico de um veículo de expedição, foi realizado por meio da revisão da base teórica de conhecimentos descrita no Capítulo 2.

De maneira semelhante, o objetivo específico 2, discutir o processo de conversão de energia elétrica em veículos automotores, foi cumprido por meio da revisão da fundamentação

teórica também detalhada no Capítulo 2.

A estratégia de pesquisa conjunta, traçada com base no uso da revisão da fundamentação teórica e na aplicação da metodologia, Capítulo 3, permitiu satisfazer o objetivo específico 3 - dimensionar o sistema elétrico auxiliar para um veículo de expedição, com base em requisitos operacionais devidamente estabelecidos - ação evidenciada no Capítulo 4.

Com a conquista de todos os três objetivos específicos, demonstra-se a conclusão do objetivo geral do trabalho, qual seja, desenvolver um modelo de dimensionamento de sistemas elétricos auxiliares para veículos de expedição.

Responde-se, por consequência, ao problema de pesquisa estabelecido no início do trabalho, afirmando que é possível racionalizar o uso de energia elétrica automotiva em ambientes remotos por meio do dimensionamento, projeto e emprego de sistema elétricos auxiliares para veículos de expedição.

### **5.3 Limitações**

Durante a produção deste trabalho foram identificadas as limitações e óbices listados a seguir:

- período restrito de apenas um semestre para a realização do trabalho, concorrente com outras atividades acadêmicas, dificultando, em especial, a coleta de dados quantitativos na pesquisa de campo;
- elevado distanciamento temporal entre a disciplina de Metodologia Científica, ministrada no primeiro semestre, para o trabalho de conclusão do curso programado para o último período do curso; e
- reduzido incentivo institucional para a pesquisa e produção científica do corpo discente durante a graduação.

### **5.4 Propostas de trabalhos futuros**

Esta pesquisa evidenciou que a reflexão sobre a concepção de sistemas elétricos auxiliares para veículos de expedição pode expandir a compreensão da influência da mobilidade nos processos de conversão e emprego de energia oriunda de múltiplas fontes, em especial as renováveis.

Os resultados práticos que podem advir das análises de campo de sistemas elétricos

híbridos operando em plataformas móveis apresentam elevado potencial para se aprimorar os processos de conversão e otimizar a eficiência energética.

Assim, abrem-se grandes oportunidades de pesquisas futuras nessa área do conhecimento, podendo-se vislumbrar algumas das seguintes:

- (a) discutir o modelo de dimensionamento para atender às características e peculiaridades dos cenários de emprego em barcos;
- (b) investigar a possibilidade de integrar equipamentos que utilizem energia eólica nos sistemas elétricos auxiliares para veículos de expedição terrestres e barcos;
- (c) desenvolver um sistema de gerenciamento automatizado de energia para sistemas elétricos com mobilidade; e
- (d) criar um aplicativo, que opere em *smartphones*, capaz de dimensionar e gerenciar remotamente um sistema elétrico auxiliar embarcado em plataforma com mobilidade.

## 5.5 Considerações finais

Os estudos sobre conversão e eficiência energética têm se desenvolvido ampla e rapidamente nesses últimos anos, como tem mostrado a expressiva atenção de cientistas de diversas áreas para este campo do conhecimento, seja de forma empírica ou mediante abordagens analíticas, sinalizando a relevância do tema para a Academia e para a sociedade.

Nesse pensamento, espera-se que estudar os processos de conversão de energia em sistemas com mobilidade e que empreguem fontes renováveis contribua para colocar um pouco mais de luz neste caminho tão especializado e estratégico para o desenvolvimento social e econômico do nosso Brasil: é nisso que acredito!

***Macte animo! Generose puer, sic itur ad astra!***



## REFERÊNCIAS

- ABETA. **Associação Brasileira das Empresas de Ecoturismo e Turismo de Aventura**. 2016. Disponível em: <<https://abeta.tur.br/pt/pagina-inicial/>>. Acesso em: 18 de abril de 2022.
- ANFATRE. **Associação Nacional dos Fabricantes de Trailers, Reboques e Engates**. 2022. Disponível em: <<https://www.anfatre.com.br/>>. Acesso em: 18 de abril de 2022.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5410**: Instalações elétricas de baixa tensão. Rio de Janeiro, 2004. 209 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16690**: Instalações elétricas de arranjos fotovoltaicos – requisitos de projeto. Rio de Janeiro, 2019. 65 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16612**: Cabos de potência para sistemas fotovoltaicos, não halogenados, isolados, com cobertura, para tensão de até 1,8 kV CC entre condutores — requisitos de desempenho. Rio de Janeiro, 2020. 5 p.
- AUSTRALIAN DIRECT. **KickAss 12V 140 Amp Dual Sensing Voltage Sensitive Relay | VSR**. 2016. Disponível em: <<https://www.australiandirect.com.au/Battery-Systems/Battery-Chargers/KAVSROVER>>. Acesso em: 31 de março de 2022.
- AUSTRALIAN DIRECT. **KICKASS 12V Battery Box With 25A DCDC MPPT Solar Charge Controller**. 2018. Disponível em: <<https://www.australiandirect.com.au/buy/kickass-12v-battery-box-with-dcdc-mppt-solar-charge/KABB-G-KADC>>. Acesso em: 31 de março de 2022.
- AUSTRALIAN DIRECT. **The Ultimate Dual Battery System Education Video - YouTube**. 2018. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=Z9c1hVXBggk{&}list=LL{&}in>>. Acesso em: 31 de março de 2022.
- AYERS COUNTS, D.; COUNTS, D. R. **Over the next hill: an ethnography of RVing seniors in North America**. Guelph, Ontario: Broadview Press, 2001.
- BASTOS, R. F. **Sistema de gerenciamento para carga e descarga de baterias (chumbo-ácido) e para busca do ponto de máxima potência gerada em painéis fotovoltaicos empregados em sistema de geração distribuída**. São Carlos, SP: Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, USP - Dissertação (Mestrado), 2013.
- BEAUDET, A. **Solar Charge Controller | What is it and How it works in a Solar Power System - YouTube**. 2022. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=KPZhtGLfGn4>>. Acesso em: 7 de junho de 2022.
- BECQUEREL, E. Memoires sur les effets electriques produits sous l'influence des rayons. **Comptes Rendus Physique**, v. 9, p. 561, 1839.
- CANTO, M. A. R. **Projeto e desenvolvimento de um sistema automatizado para monitoramento de fontes alternativas de energia**. Guaratinguetá, SP: Universidade Estadual Paulista (UNESP) - Dissertação (Mestrado), 2007.
- CHAPIN, D. M.; FULLER, C. S.; PEARSON, G. L. A new silicon p-n junction photocell for converting solar radiation into electrical power. **Journal of Applied Physics**, 1954.

CLIMBINGVAN. **How to wire a campervan electrical system**. 2022. Disponível em: <<https://climbingvan.co.uk/van-conversion/how-to-wire-a-campervan-electrical-system/>>. Acesso em: 4 de julho de 2022.

COELHO, K. D. **Estudo de uma fonte ininterrupta de corrente contínua de baixa potência gerenciada por um microcontrolador**. Florianópolis, SC: Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico - Dissertação (Mestrado), 2001. 132 p.

CRESESB. **Centro de Referência para Energia Solar e Eólica**. 2022. Disponível em: <<http://www.cresesb.cepel.br/>>. Acesso em: 31 de março de 2022.

DIAS, R. M. **Instalação de uma microrrede fotovoltaica conectada/isolada com estocagem e monitoramento com controle da carga alimentada**. Dissertação (Mestrado) — Universidade do Vale do Rio dos Sinos, São Leopoldo, 2015.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Balanco energético nacional: relatório síntese 2021 ano base 2020**. 2021. 73 p. Disponível em: <<https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/balanco-energetico-nacional-2021>>. Acesso em: 8 de abril de 2022.

ESTRELLA MOBIL. **Motorhomes - Expedition trucks**. 2022. Disponível em: <<https://estrella-mobil.com.br/projetos-especiais>>. Acesso em: 19 de abril de 2022.

@GOVBR. **Governo do Brasil (@GovBR) / Twitter**. 2022. Disponível em: <<https://twitter.com/govbr>>. Acesso em: 12 de abril de 2022.

GREENPEACE. **Revolução energética: a caminho do desenvolvimento limpo**. 2010. 40 p. Disponível em: <<https://www.greenpeace.org/brasil/publicacoes/revolucao-energetica-a-caminho-do-desenvolvimento-limpo/>>. Acesso em: 8 de abril de 2022.

HAGHDADI, N.; COPPER, J.; BRUCE, A.; MACGILL, I. A method to estimate the location and orientation of distributed photovoltaic systems from their generation output data. **Renewable Energy**, v. 108, p. 390–400, 2017. ISSN 0960-1481. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.renene.2017.02.080>>.

HALMEMAN, R. J. **Desenvolvimento de um sistema para monitoramento remoto em centrais de microgeração fotovoltaica**. Tese (Doutorado) — Universidade Estadual Paulista (UNESP), Botucatu, 2014.

JOHANSSON, T. B.; KELLY, H.; REDDY, A. K. N.; WILLIAMS, R. H. Renewable fuels and electricity for a growing world economy: Defining and achieving the potential. **Energy Studies Review**, v. 4, 1992. Disponível em: <<http://digitalcommons.mcmaster.ca/esr/vol4/iss3/6>>.

LINCOT, D. The new paradigm of photovoltaics: From powering satellites to powering humanity. **Comptes Rendus Physique**, Elsevier Masson, v. 18, p. 381–390, 9 2017. ISSN 18781535.

LONG, H. 1 million Americans live in RVs. Meet the 'modern nomads'. Washington Post, 12 Nov. 2018. **Gale Academic OneFile**, 2018. Disponível em: <<http://link.gale.com/apps/doc/A561911410/AONE?u=capes&sid=bookmark-AONE&xid=5451a7d4>>. Acesso em: 18 de abril de 2022.

- LUJANO-ROJAS, J. M.; DUFO-LOPEZ, R.; BERNAL-AGUSTIN, J. L. Technical and economic effects of charge controller operation and coulombic efficiency on stand-alone hybrid power systems. **Energy Conversion and Management, Elsevier**, p. 709–716, 2014.
- MCGONAGALL, O. M.; LEE, S. When less is more: From kitchen space assessments to food security for mobile and stationary recreational vehicle dwellers. **Indoor and Built Environment**, v. 29, n. 3, p. 389–404, 2020. Disponível em: <<https://doi.org/10.1177/1420326X17731944>>.
- MINISTÉRIO DAS MINAS E ENERGIA. **Plano Decenal de Expansão de Energia 2031**. 2022.
- MINISTÉRIO DO TURISMO. **Ministério do Turismo e associações de campismo e caravanismo discutem ações de promoção do setor**. 2021. Disponível em: <<https://www.gov.br/turismo/pt-br/assuntos/noticias/>>. Acesso em: 18 de abril de 2022.
- MORENO, H. **Cabos elétricos para instalações fotovoltaicas**. Itu, 2019. Disponível em: <<https://www.cobrecom.com.br/>>. Acesso em: 27 de junho de 2022.
- MOURA. **Entenda o que é bateria AGM e descubra se você precisa de uma**. 2019. Disponível em: <<https://www.moura.com.br/blog/bateria-agm/>>. Acesso em: 7 de abril de 2022.
- NAGENGAST, A.; HENDRICKSON, C.; MATTHEWS, H. S. Variations in photovoltaic performance due to climate and low-slope roof choice. **Energy and Buildings, Elsevier**, v. 64, p. 493–502, 2013.
- REGES, J. P. **Desenvolvimento de um sistema de aquisição de dados para sistemas fotovoltaicos**. Fortaleza, CE: Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia do Ceará - Dissertação (Mestrado), 2017. 118 p.
- RESUN. **Solar module RS6E-155M**. 2022. Disponível em: <<https://www.resunsolar.com>>. Acesso em: 8 de junho de 2022.
- RETSCREEN. **Clean energy management software platform**. 2022. Disponível em: <<http://www.nrca.gc.ca/energy/software-tools/7465>>. Acesso em: 8 de abril de 2022.
- RIBEIRO, A. E. D.; AROUCA, M. C.; COELHO, D. M. Electric energy generation from small-scale solar and wind power in brazil: The influence of location, area and shape. **Renewable Energy, Elsevier Ltd**, v. 85, p. 554–563, 2016. ISSN 18790682. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.renene.2015.06.071>>.
- SALAS, V.; OLIAS, E.; BARRADO, A.; LAZARO, A. Review of the maximum power point tracking algorithms for stand-alone photovoltaic systems. **Solar energy materials and solar cells, Elsevier**, v. 90, p. 1555–1578, 2006.
- SANTOS, I. P.; RUTHER, R. Limitations in solar module azimuth and tilt angles in building integrated photovoltaics at low latitude tropical sites in brazil. **Renewable Energy**, v. 63, p. 116–124, 2014. ISSN 0960-1481. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.renene.2013.09.008>>.
- SHI, L.; CHEM, M. Y. L. A review on sustainable design of renewable energy systems. **Renewable and Sustainable Energy Reviews, Elsevier**, v. 16, p. 192–207, 2012.
- SIMONETTI, G. **Motorhome ganha força nas viagens de agora**. 2021. Disponível em: <<https://viagemeturismo.abril.com.br/materias/>>. Acesso em: 18 de abril de 2022.

SLRV. **Expedition Vehicles and Luxury 4x4 Motorhomes**. 2022. Disponível em: <<https://slrvexpedition.com.au/>>. Acesso em: 19 de abril de 2022.

SOLOVEICHIK, G. L. Battery technologies for large-scale stationary energy storage. **Annual review of chemical and biomolecular engineering, Annual Reviews**, v. 2, p. 503–527, 2011.

SOUSA, J. R. B. **Modelagem e supervisão de bancos de baterias em sistemas com múltiplas fontes de energia utilizando redes de Petri**. Tese (Doutorado) — Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), Campina Grande, 2008.

TIEPOLO, G.; CASTAGNA, A. G.; JR, O. C.; BETINI, R. C. Fontes renováveis de energia e a influência no planejamento energético emergente no Brasil. In: **VIII Congresso Brasileiro de Planejamento Energético – CBPE**. [S.l.: s.n.], 2012.

UNICAT. **Passion for perfection**. 2021. Disponível em: <<https://unicatexpeditionvehicles.com/>>. Acesso em: 19 de abril de 2022.

VICTRON ENERGY. **Solar Charge Controllers**. 2022. Disponível em: <<https://www.victronenergy.com/solar-charge-controllers>>. Acesso em: 8 de junho de 2022.

VIJAYARAGHAVAN, K. Green roofs: A critical review on the role of components, benefits, limitations and trends. renewable and sustainable. **Renewable and Sustainable Energy Reviews, Elsevier**, v. 57, p. 740–752, 2016.

VONDER. **Carregador inteligente de bateria CIB160 220VCA-12VCC**. 2022. Disponível em: <[https://www.vonder.com.br/produto/fita\\_adesiva\\_refletiva\\_50\\_mm\\_x\\_3\\_m\\_amarela\\_e\\_preta\\_vonder/5930](https://www.vonder.com.br/produto/fita_adesiva_refletiva_50_mm_x_3_m_amarela_e_preta_vonder/5930)>. Acesso em: 14 de abril de 2022.

VONDER. **Carregador inteligente de bateria CIB210 220VCA-12VCC**. 2022. Disponível em: <[https://www.vonder.com.br/produto/carregador\\_inteligente\\_de\\_bateria\\_220\\_v\\_\\_240\\_v\\_cib\\_210\\_vonder/7510](https://www.vonder.com.br/produto/carregador_inteligente_de_bateria_220_v__240_v_cib_210_vonder/7510)>. Acesso em: 14 de abril de 2022.

WILLIAMS, D. **Transhumance as an adaptive strategy of west coast RV retirees**. Tese (PhD Dissertation) — Oregon State University, Department of Family Resource Management, Corvallis, USA, 1995.

## GLOSSÁRIO

### Símbolos

$AE$  [h] autonomia elétrica auxiliar de operação sem recarga em horas

$CN$  [Ah] capacidade nominal da bateria em amperes-hora

$C_i$  [Ah] consumos individuais em amperes-hora

$Carga_{CA}$  [s/n] carregamento da bateria auxiliar por fonte CA externa

$Carga_{alternador}$  [s/n] carregamento da bateria auxiliar pelo alternador do veículo

$Carga_{solar}$  [s/n] carregamento da bateria auxiliar por energia solar fotovoltaica

$DoD$  [%] profundidade de descarga da bateria

$Eqp_{CA}$  [s/n] equipamentos CA

$Eqp_{CC}$  [s/n] equipamentos CC

$I_{alt}$  [A] corrente máxima fornecida pelo alternador em amperes

$I_{solar}$  [Ah] corrente solar em amperes-hora

$LO$  limite orçamentário

$NEEA$  [A] necessidades de energia elétrica adicional em amperes

$P_d$  peso disponível

$T_{alt}$  [V] tensão máxima fornecida pelo alternador em volts

$T_{solar}$  [V] tensão solar em volts

$V_d$  volume disponível

$h_i$  horas de utilização diária

$h_{solar}$  [h] horas diárias de irradiação solar

### A

**AGM** manta de fibra de vidro absorvente (*Absorbed Glass Mat*)

### B

**BNDES** Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social

### C

**CA** corrente alternada

**CC** corrente contínua

### G

**GW** gigawatts

**M**

**MPPT** rastreamento de ponto de potência máxima (*Maximum Power Point Tracking*)

**N**

**NiCd** níquel-cádmio

**NiMh** níquel-metal hidreto

**P**

**PWM** largura de pulso modulada (*Pulse Width Modulated*)

**R**

**RV** veículos de recreação

**S**

**SEAF** Sistema Elétrico Auxiliar Flexível

**SEAS** Sistema Elétrico Auxiliar Simples

**V**

**VSR** relé sensível à tensão

**VSS** *switch* sensível à tensão