



UNIVERSIDADE FEDERAL DO TOCANTINS
CAMPUS DE PALMAS
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

Rafael Chagas da Costa

**MONITORAMENTO E GERENCIAMENTO DE BANCO DE BATERIAS
PARA ALIMENTAÇÃO DE SISTEMAS OFF-GRID:**

Ênfase na aplicação para sistema de Internet Rural

Palmas - TO

2024

Rafael Chagas da Costa

**MONITORAMENTO E GERENCIAMENTO DE BANCO DE BATERIAS
PARA ALIMENTAÇÃO DE SISTEMAS OFF-GRID:**

Ênfase na aplicação para sistema de Internet Rural

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação
II apresentado à Universidade Federal do
Tocantins, como requisito parcial para
obtenção do título de Bacharel em Engenharia
Elétrica.

Orientadora: Prof^ª. Me. Albanisa Felipe dos
Santos

Coorientadora: Prof^ª. Me. Gisele Souza
Parmezzani Marinho

Palmas – TO

2024

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal do Tocantins

C837m Costa, Rafael Chagas da.
 Monitoramento e gerenciamento de banco de baterias para alimentação de
 sistemas off-grid: ênfase na aplicação para sistema de internet rural. / Rafael
 Chagas da Costa. – Palmas, TO, 2024.
 73 f.

 Monografia Graduação - Universidade Federal do Tocantins – Câmpus
 Universitário de Palmas - Curso de Engenharia Elétrica, 2024.
 Orientadora : Albanisa Felipe dos Santos
 Coorientadora : Gisele Souza Parmezzani Marinho

 1. Torres de Internet em Áreas Rurais,. 2. Baterias de Lítio Ferro Fosfato. 3.
 Tecnologia LoRa. 4. Software SCADA. I. Título

CDD 621.3

TODOS OS DIREITOS RESERVADOS – A reprodução total ou parcial, de qualquer
forma ou por qualquer meio deste documento é autorizado desde que citada a fonte.
A violação dos direitos do autor (Lei nº 9.610/98) é crime estabelecido pelo artigo 184
do Código Penal.

**Elaborado pelo sistema de geração automática de ficha catalográfica da
UFT com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).**

FOLHA DE APROVAÇÃO

RAFAEL CHAGAS DA COSTA

MONITORAMENTO E GERENCIAMENTO DE BANCO DE BATERIAS PARA ALIMENTAÇÃO DE SISTEMAS OFF-GRID:

ÊNFASE NA APLICAÇÃO PARA SISTEMA DE INTERNET RURAL

Projeto de Graduação foi avaliado e apresentado à UFT – Universidade Federal do Tocantins – Câmpus Universitário de Palmas, Curso de Engenharia Elétrica, para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Elétrica e aprovado em sua forma final pelo Orientador e pela Banca Examinadora.

Data de aprovação: 09 / 12 / 2024

Banca Examinadora

Documento assinado digitalmente
ALBANISA FELIPE DOS SANTOS
Data: 10/12/2024 16:33:02-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Profa. Me Albanisa Felipe dos Santos, UFT (Orientadora)

Documento assinado digitalmente
GISELE SOUZA PARMEZZANI MARINHO
Data: 10/12/2024 17:13:40-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Profa. Me. Gisele Souza P. Marinho, UFT (Coorientadora)

Documento assinado digitalmente
PRISCILA DA SILVA OLIVEIRA
Data: 10/12/2024 16:38:10-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dra. Priscila da Silva Oliveira, UFT

Documento assinado digitalmente
FRANCISCO DE ASSIS SALAZAR CINTRA NETO
Data: 10/12/2024 17:49:07-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Eng. Francisco de Assis S. Cintra Neto, FORTNET

Palmas/TO, 2024

*Com muito amor e carinho que dedico este
trabalho a **minha Mãe e meu Pai**, por todo
o incentivo, compreensão e apoio nessa
jornada.*

AGRADECIMENTOS

Primeiramente ao universo e suas forças elementares por ter me presenteado com a vida dos meus pais, Maria da Graça Mendes Chagas da Costa e Miguel Ferreira da Costa, que foram os responsáveis pela minha trajetória de vida, incluindo toda essa parte acadêmica com todo tipo de suporte que possa ter sido possível de atingir, não me faltou nada.

A Sirlene Maria Dias de Oliveira por ter me ajudado imensamente de coração aberto no meu processo de reintegração a Universidade Federal do Tocantins, tornando possível a conclusão desse curso. Sua ajuda e das demais pessoas que foram envolvidas nesse processo foram fundamentais, meu muito obrigado.

Ao meu polêmico amigo Eng. Francisco de Assis Salazar Cintra Neto, que me fez o convite para que eu pudesse fazer parte da sua empresa, para executar esse trabalho no laboratório de pesquisa, com todos os materiais e dispositivos que fossem precisos a minha disposição, tornando a prática desse trabalho possível de ser feita, sua ajuda foi fundamental para a realização desse trabalho.

A família do meu amigo Francisco Salazar, que me acolheram aqui como parte da família, mostrando preocupação comigo, não me deixando faltar nada, sempre me dando apoio para que eu me mantivesse firme nessa caminhada, a vocês esse agradecimento não poderia faltar.

A minha orientadora Profa. Me Albanisa Felipe dos Santos por ter acreditado na minha capacidade e que seria possível fazer isso acontecer, por me ajudar com as burocracias que foram aparecendo durante esse trajeto, por não ter desistido da ideia da conclusão desse trabalho e me ajudando na melhor maneira para realizar um trabalho digno.

Aqueles que de alguma forma contribuíram para que esse trabalho fosse possível, com ideias, sugestões, boas conversas, pessoas que durante essa caminhada participaram em algum infinitesimal que seja, mas que teve uma contribuição e deixou sua marca em minha memória, servindo também força motivadora para a conclusão dessa etapa, pois a torcida é grande, meu muito obrigado a todos.

RESUMO

Ao abordar a importância da qualidade da alimentação energética em um sistema *off-grid*, entende-se que, justamente por essa característica, em alguns casos de aplicação, não pode haver interrupções durante o processo. Esse é o caso de torres de internet em áreas rurais, onde a ausência de energia nos dispositivos relacionados à torre interromperia a transmissão do sinal, causando falhas na comunicação entre os clientes que utilizam tais serviços. Isso inclui aqueles que dependem dessa torre para a comunicação de sensores conectados à tecnologia da Internet das Coisas (IoT). Para otimizar esse sistema de alimentação, são empregados bancos de baterias de alta tecnologia que melhoram o desempenho dos dispositivos, como as baterias de Lítio Ferro Fosfato (LiFePO₄) utilizadas neste trabalho. Essas baterias são implementadas junto a um sistema de Monitoramento e Gerenciamento, com o objetivo de transmitir dados da fonte do problema até um servidor utilizando a tecnologia LoRa (*Long Range*). A transmissão dos dados é feita por meio do padrão RS-485 e do protocolo de comunicação Modbus-RTU, automatizando a aquisição de dados. Um *software* SCADA (*Supervisory Control and Data Acquisition*) é utilizado para obter gráficos que permitem uma análise precisa do banco de baterias, possibilitando a previsão de possíveis contratempos na manutenção do sistema de alimentação ao se analisar, por exemplo, gráficos de corrente e tensão elétrica relacionados ao sistema em questão. Dessa forma, é possível obter soluções eficazes para problemas simples sem a necessidade de deslocamento ao local onde elas estão instaladas. O diagnóstico sendo realizado de forma remota torna-se eficaz, pois, as visitas tornam-se necessárias apenas para manutenção e correção de problemas detectados, gerando economias de tempo e recursos.

Palavras-chaves: Torres de Internet em Áreas Rurais, Baterias de Lítio Ferro Fosfato, Tecnologia LoRa, Software SCADA,

ABSTRACT

When addressing the importance of energy supply quality in an off-grid system, we understand that, due to this very characteristic, in some application cases, interruptions cannot occur during the process. This is the case with internet towers in rural areas, where the loss of power in the devices associated with the tower would interrupt the signal transmission, causing communication failures among clients who rely on these services. This includes those who use this tower for sensor communications connected to Internet of Things (IoT) technology. To optimize this power supply system, high-tech battery banks are employed to enhance device performance, such as the Lithium Iron Phosphate batteries used in this project. These batteries are implemented alongside a Monitoring and Management System, aiming to transmit data from the problem source to a server using LoRa (Long Range) technology. Data transmission occurs via the RS-485 standard and Modbus-RTU communication protocol, automating data acquisition. A SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition) software is used to generate graphs for a precise analysis of the battery bank, enabling the prediction of possible setbacks in the power system's maintenance by analyzing, for example, Electric Current and Voltage graphs related to the system under review. In this way, it is possible to obtain effective solutions for simple problems without the need to travel to the installation site. Remote diagnostics prove to be efficient, as visits become necessary only for maintenance and the correction of detected issues, saving time and resources.

Key-words: Internet Towers in Rural Areas, Lithium Iron Phosphate Batteries, LoRa Technology, Software SCADA

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Implementação típica de sistema LoRa	15
Figura 2- Área de Operação da Célula de Bateria	24
Figura 3- Comunicação serial utilizando o modelo de transmissão diferencial	26
Figura 4- Comunicação multiponto estabelecida pela rede RS-485	26
Figura 5- Gráfico de relação entre comprimento do cabo x Velocidade da Comunicação	27
Figura 6 - Sistema de rede com utilização de tecnologia LoRa	30
Figura 7- Esquemático do circuito transmissor	32
Figura 8- Esquemático do circuito Receptor	32
Figura 9- Janela referente a leitura de parâmetros no BMSMonitor	36
Figura 10-Janela de configuração do Data Point no SCADABR	39
Figura 11- Janela de configuração atualizada do Data Point no SCADABR	40
Figura 12 - Gráfico da Capacidade de Carga da bateria	42
Figura 13 - Gráfico da porcentagem da bateria	42
Figura 14 - Gráfico da Tensão Média das Células	43
Figura 15- Gráfico da Tensão Total das Células	44
Figura 16 - Gráfico da Potência que flui na bateria	45
Figura 17 - Gráfico da Corrente que flui na bateria	45
Figura 18 - Gráfico Indicador de Estado	46

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Comparativo entre várias tipologias de BATERIAS	21
Tabela 2: Valores primários de configuração da Corrente do BMS	38
Tabela 3: Valores atualizados de configuração da Corrente do BMS	39

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

LiFePO₄ - Baterias de Lítio Ferro Fosfato

BMS - *Battery Management System*

RS-485 - *Recommended Standard 485*

EIA-485 – *Eletronics Industries Association*

RTU - *Remote Terminal Unit*

LoRa – *Long Range*

SCADA - *Supervisory Control and Data Acquisition*

CLP's – Computador Lógico Programável

SOC – Estado de Carga

SOH- Estado de Saúde

OSI – Interconexão de Sistema Aberto

SUMÁRIO

<i>CAPÍTULO 1</i>	<i>14</i>
1. INTRODUÇÃO	14
1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS	14
1.2 JUSTIFICATIVA	15
1.3 OBJETIVOS	16
1.3.1 Objetivo geral	16
1.3.2 Objetivo específico	16
1.4 METODOLOGIA	16
1.5 PROBLEMA DE PESQUISA	17
1.6 HIPÓTESE	17
1.7 DELIMITAÇÃO DO ESCOPO	18
1.8 ESTRUTURA DO TRABALHO	18
<i>CAPÍTULO 2</i>	<i>20</i>
2. TEORIA DAS TECNOLOGIAS RELACIONADAS	20
2.1 BATERIAS DE ÍONS DE LÍTIO	20
2.2 SISTEMA DE GERENCIAMENTO DA BATERIA	23
2.3 PADRÃO RS-485	25
2.4 PROTOCOLO MODBUS RTU	27
2.5 TECNOLOGIA LoRa (<i>Long Range</i>)	28
2.6 SCADABR	30
<i>CAPÍTULO 3</i>	<i>31</i>
3. DESENVOLVIMENTO DO PROTÓTIPO	31
3.1 MONITORAMENTO DA BATERIAS	31
3.2 PERCURSO DOS DADOS COLETADOS	33
3.3 TRATAMENTO DOS DADOS COLETADOS	33
<i>CAPÍTULO 4</i>	<i>35</i>
4. RESULTADOS E SIMULAÇÕES	35
4.1 INTERFACE DE COMUNICAÇÃO E IDENTIFICAÇÃO DE REGISTRADORES	35
4.2 TODOS OS VALORES DE REGISTRADORES LIDOS	37
4.3 OS PRINCIPAIS VALORES DE ANÁLISE DO PROBLEMA PROPOSTO	37

<i>CAPÍTULO 5</i>	<i>41</i>
5. GRÁFICOS GERADOS	41
5.1 SEMELHANÇA ENTRE GRÁFICOS	41
5.1.1 Comparação entre Capacidade de Carga e Percentual da Bateria	41
5.1.2 Comparação entre os Gráficos de Tensão	42
5.1.3 Comparação entre os Gráficos de Corrente e Potência	44
<i>CAPÍTULO 6</i>	<i>47</i>
<i>CONSIDERAÇÕES FINAIS</i>	<i>47</i>
<i>6.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS</i>	<i>48</i>
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFIAS	49
<i>ANEXO A – FOTO DOS DISPOSITIVOS UTILIZADOS</i>	<i>51</i>
<i>ANEXO B – TABELA DE TODOS OS REGISTRADORES LIDOS</i>	<i>56</i>
<i>ANEXO C – TABELA DOS PRINCIPAIS VALORES DE ANÁLISE</i>	<i>62</i>
<i>ANEXO D – GRÁFICOS DAS PRINCIPAIS VARIÁVEIS</i>	<i>65</i>

CAPITULO 1

1. INTRODUÇÃO

1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

O avanço tecnológico traz consigo diversas facilidades, como a otimização do tempo dedicado a serviços que anteriormente dependiam de trabalho braçal ou manufaturado. Esses serviços frequentemente eram realizados em ambientes insalubres ou perigosos, exigindo superação de dificuldades de acesso e distâncias consideráveis. Esses desafios são contornados por tecnologias que utilizam sistemas sem fio, onde não há necessidade de conexão física entre os dispositivos. Para comunicações de curto alcance, empregam-se transmissões via rádio, enquanto para distâncias maiores, utiliza-se satélites.

Com o aprimoramento dos equipamentos, a demanda por energia torna-se significativa devido à crescente necessidade de processamento e armazenamento de dados pelos dispositivos. Isso requer fontes de alimentação de melhor qualidade e maior durabilidade. Atualmente, para sistemas isolados, as baterias de Lítio Ferro Fosfato (LiFePO_4) representam a melhor alternativa, sendo esta a razão pela qual foram escolhidas neste estudo. Cada situação de aplicação requer características específicas da bateria, como composição interna, dimensões e outras propriedades (DA SILVA, 2022).

Para otimizar o sistema *off-grid*, é essencial monitorar e gerenciar os equipamentos para prever falhas futuras, tais como problemas na comunicação devido à falta de alimentação desses dispositivos. Portanto, é crucial utilizar baterias de alta qualidade com ciclos de recarga prolongados e manter um sistema de telemetria de modo a acompanhar remotamente e de forma contínuo em tempo real os dados ou indicadores que garantam o funcionamento eficiente desses sistemas (WILLICH, 2022). O *Battery Management System* (BMS) desempenha um papel fundamental ao gerenciar as células da bateria, garantindo o aumento da vida útil das células e um funcionamento mais preciso e confiável (DA SILVA, 2022), para que desse modo, possa transmitir esses dados para um dispositivo via RS-485 (*Recommended Standard 485*) e protocolo Modbus-RTU (*Remote Terminal Unit*). Esses dados são convertidos pelo dispositivo LoRa (*Long Range*) para transmissão sem fio e podem ser replicados, conforme necessário, sendo recebidos por um servidor de dados. Eles são interpretados através do *software*, como o

SCADABR (*Supervisory Control and Data Acquisition*), identificando possíveis gargalos a serem corrigidos, e atuando diretamente no planejamento e controle dos sistemas.

Para melhor visualizar as conexões da utilização da tecnologia LoRa, é apresentada a figura 01 da empresa, *Semtech Corporation*, que é uma das responsáveis pela difusão desse tipo de dispositivo, mostrando a implementação de ponto inicial ao final.

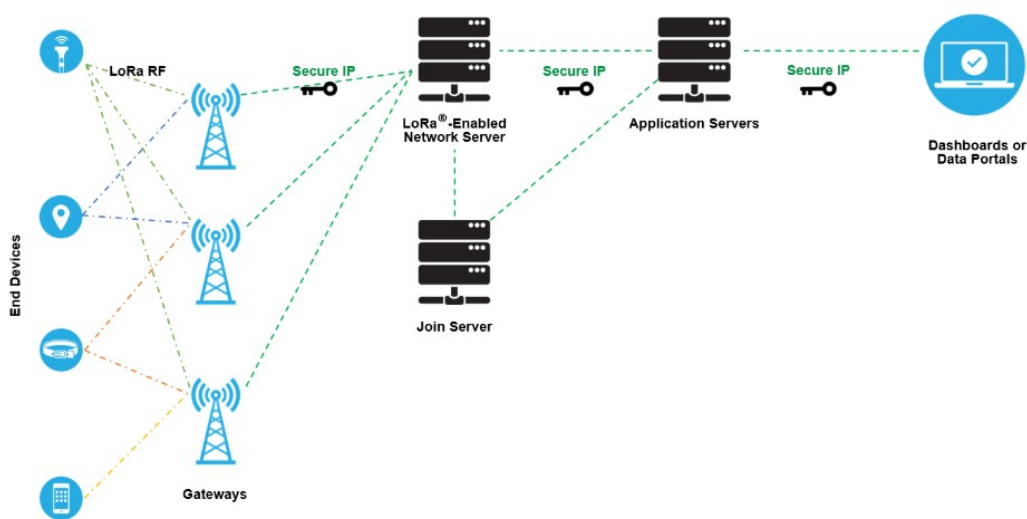


Figura 1- Implementação típica de sistema LoRa

Fonte: *Semtech Corporation*, 2019

1.2 JUSTIFICATIVA

Esse trabalho tem como justificativa resolver o problema de possíveis falhas na alimentação de energia de dispositivos de internet em áreas rurais, que diversas vezes possuem um difícil acesso, tanto por distância como pela instalação da torre de comunicação ser em cima de serras, tais fatores dificultam a manutenção rotineira, o que causa uma necessidade de um monitoramento de forma remota, para evitar por muitas vezes a escalada até a torre, tornando assim possível acompanhar os parâmetros do sistema em questão através de um servidor e se conectando a esse servidor de qualquer lugar, sendo necessário apenas a utilização de um dispositivo que tenha acesso à internet.

Dessa maneira, o tempo de análise é otimizado devido antecipação do diagnóstico de possíveis problemas no sistema que está sendo monitorado, tendo um cenário com economia de

recursos e mais satisfação dos clientes, devido eles serem o principal motivo para essa melhoria ser implementada, pois será disponibilizado uma melhor qualidade de serviço a ser usufruído.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo geral

Implementar o monitoramento e o gerenciamento do consumo de energia de baterias de Lítio Ferro Fosfato (LifePO4), utilizadas na alimentação de dispositivos de distribuição de internet rural, através da transmissão de dados por meio da tecnologia LoRa.

1.3.2 Objetivo específico

1. Definir o modelo de rede de monitoramento e seus componentes;
2. Analisar a vida útil das baterias a partir da aquisição dos dados referentes a tensão, corrente e temperatura via BMS;
3. Realizar a automação da aquisição de dados para controle supervisão remoto via *software* de código aberto SCADABR.

1.4 METODOLOGIA

A metodologia deste trabalho será desenvolvida tanto para classificar a pesquisa quanto para apresentar uma síntese dos procedimentos realizados, acompanhado de explicações de cada parte do trabalho, detalhando melhor cada uma das três partes que subdivide este capítulo da metodologia da pesquisa desse trabalho, mostrando como foi o caminho percorrido para chegar aos resultados obtidos, e também sugestões de outros possíveis caminhos, pois o tema abordado percorre diversas áreas do conhecimento da engenharia elétrica.

Do ponto de vista da natureza da problemática, trata-se de uma pesquisa aplicada, com a implementação prática de materiais e equipamentos para obter resultados concretos e reais, visando uma melhoria qualitativa na prestação do serviço. É uma pesquisa explicativa em termos de seus objetivos, pois busca compreender as causas e efeitos dos problemas relacionados à fonte de alimentação do sistema em análise, a base do estudo deste trabalho, e as

consequências de possíveis interferências no funcionamento adequado do sistema. Isso culmina na coleta e análise de relatórios de dados para determinar um diagnóstico do sistema.

Para esse trabalho, é primordial a compreensão dos dados coletados, por se tratar de uma aplicação dos conhecimentos de engenharia para desenvolver soluções, a fim de buscar uma melhoria para a sociedade devido a correta tomada de decisões baseada nos gráficos gerados. Com isso, a explanação da metodologia do monitoramento das baterias é de suma importância, mas não deixando de lado o tratamento de dados sobre os gráficos gerados, pois eles são o resultado final de toda a abordagem do trabalho, tornando esses relatórios indispensáveis para a tomada de decisões.

1.5 PROBLEMA DE PESQUISA

Atualmente, a comunicação social se torna indispensável, exigindo que os equipamentos estejam sempre operacionais, prontos para enviar mensagens ou coletar dados a qualquer momento. No meio rural, essa necessidade é ainda mais crucial devido às longas distâncias e dificuldades de acesso que frequentemente caracterizam essas áreas. Diante desse cenário, é essencial que os sistemas de comunicação de internet operem sem interrupções, garantindo que os usuários não fiquem desconectados e possam realizar suas atividades sem contratempos. O gerenciamento cuidadoso desses sistemas permite monitorar variações no consumo de dados e energia, antecipando-se a eventuais problemas.

1.6 HIPÓTESE

A resolução deste problema é essencial para otimizar o tempo gasto na manutenção do sistema e evitar danos aos equipamentos em uso. Ao investir tempo e recursos em soluções para outros problemas, em vez de desperdiçá-los com questões que poderiam ter sido evitadas, é possível direcionar esforços para situações realmente necessárias, evitando o retrabalho. Portanto, a utilização de baterias de Lítio Ferro Fosfato (LiFePO_4) é uma alternativa bastante viável, pois garante uma alimentação de qualidade para os dispositivos do sistema, com controle via BMS e monitoramento via Internet.

1.7 DELIMITAÇÃO DO ESCOPO

O presente trabalho abrange uma vasta gama de informações, desde a abordagem da raiz do problema até o tratamento dos dados coletados, passando por diversas áreas da eletricidade e tecnologia, como fontes alternativas de energia, armazenamento eficiente de energia, microeletrônica, automação e Internet das Coisas (IoT), antenas, servidores de armazenamento de dados e tratamento de dados. Cada uma dessas etapas é essencial para alcançar o resultado esperado.

Com diversas áreas interligadas na solução de um mesmo problema, os esforços serão direcionados tanto para a raiz do problema, representada pela alimentação dos dispositivos que devem funcionar pelo máximo de tempo possível, justificando o monitoramento das baterias, quanto para o outro extremo, que é o tratamento dos dados coletados, permitindo um melhor gerenciamento do sistema como um todo. As partes intermediárias serão explicadas apenas para clarificar a ideia do projeto, sem aprofundar excessivamente em alguns aspectos, pois isso demandaria análises mais detalhadas que poderiam ser objeto de futuros trabalhos.

1.8 ESTRUTURA DO TRABALHO

Este trabalho possui em sua estrutura um total de 6 capítulos, referências bibliográficas e anexos de A a D, onde:

- Capítulo 1: Tem como objetivo a parte introdutória do trabalho, nele apresentou-se o objeto de estudo, sua função, motivação, justificativa, objetivos gerais e específicos, metodologia, problema de pesquisa, hipótese, delimitação de escopo e por fim a estruturação de todo o trabalho escrito.
- Capítulo 2: Este capítulo tem como função abordar a teoria das tecnologias relacionadas nesse trabalho, passando por tópicos como: baterias de íons de lítio, sistema de gerenciamento de baterias, padrão RS-485, protocolo MODBUS-RTU, tecnologia LoRa e SCADABR, que são partes essenciais do trabalho proposto e cabe uma breve explicação sobre cada tema.
- Capítulo 3: Este apresenta o desenvolvimento do protótipo, com uma explicação breve de como o esquema do projeto funciona, sendo dividido em:

monitoramento da bateria, percurso dos dados coletados e tratamento dos dados coletados.

- Capítulo 4: Neste capítulo serão expostos e comentados os resultados obtidos através de simulação e execução prática do trabalho, sendo dividido em tópicos como interface de comunicação e identificação de registradores; todos os valores de registradores lidos e também aborda os principais valores de análise do problema proposto, comentando como que foi encontrado o padrão do registrador da corrente que flui no equipamento.
- Capítulo 5: Aqui nesse capítulo são abordados os gráficos gerados dos principais registradores, e suas semelhanças para a melhor análise dos resultados, pois alguns contem comportamentos semelhantes entre si.
- Capítulo 6: Por fim a conclusão do trabalho proposto, quais os benefícios que o mesmo pode trazer para sociedade e como pode ajudar na elaboração e estudos de trabalhos futuros.
- Após as considerações finais segue a lista das referências bibliográficas colocadas em ordem alfabética para melhor localização.
- Na sequência dos itens finais, tem-se os anexos A, B, C, D que foram colocados ao final do trabalho para não atrapalhar a leitura pois se trata de fotos dos dispositivos utilizados no trabalho, como tabelas com várias linhas e os gráficos colocados individualmente em cada página para a melhor visualização.

CAPÍTULO 2

2. TEORIA DAS TECNOLOGIAS RELACIONADAS

2.1 BATERIAS DE ÍONS DE LÍTIO

O progresso no desenvolvimento de baterias tem se mostrado historicamente lento, porém, nos últimos anos, tem sido significativamente acelerado devido às crescentes demandas dos setores de mobilidade elétrica, dispositivos eletroportáteis e telecomunicações, em níveis nunca antes observados. Desde a criação da bateria, a busca por tecnologias recarregáveis que ofereçam maior capacidade, redução de dimensões e peso tornou-se uma meta central para desenvolvedores e pesquisadores de diversas áreas do conhecimento. A estrutura básica dos modelos aplicados aos diferentes tipos de baterias permanece essencialmente a mesma, sendo necessárias apenas pequenas adaptações para adequação ao tipo específico de célula em estudo (DA SILVA, 2022).

A escolha do tipo de bateria está intrinsecamente ligada à sua aplicação específica. Existem diversos tipos de baterias, como apresentado na tabela 1, cada uma com tecnologias distintas e variações significativas em termos de densidade de energia e potência. Até 2020, as baterias de chumbo-ácido predominavam no mercado, sendo amplamente reconhecidas pela maturidade tecnológica e pelo ciclo de vida bem compreendido. Apesar de serem consideradas relativamente seguras, a ponto de, em muitos casos, dispensarem sistemas de gerenciamento ou controle dedicados, e com baixo custo, as baterias de chumbo-ácido apresentam desvantagens, como maior custo, baixa densidade energética e de potência, inviabilizando sua aplicabilidade em algumas situações práticas. Dessa forma, pode-se afirmar que essas baterias apresentam um desempenho inferior quando comparadas a soluções tecnológicas mais recentes (DA SILVA, 2022).

O conceito de desempenho de uma bateria é multifacetado, sendo influenciado por diversas variáveis interdependentes. Uma bateria de "bom desempenho" pode se referir a uma que possua alta autonomia, elevada potência ou longa durabilidade. No entanto, o desempenho de uma bateria é, em última análise, determinado pelos requisitos primordiais do projeto e da aplicação, pois autonomia, potência e durabilidade são grandezas que muitas vezes se contrapõem. Por exemplo, uma bateria pode oferecer maior potência em detrimento da densidade de energia e da durabilidade (DA SILVA, 2022).

Tabela 1- Comparativo entre várias tipologias de BATERIAS

Especificações	Chumbo Ácido	NiC d	NiMH	Lítio Íon		
				Cobalto	Manganês	Fosfato
Energia Específica (Wh/Kg)	30-50	45-80	60-120	150-250	100-150	90-120
Resistência Interna	Muito Baixa	Muito Baixa	Baixa	Moderada	Baixa	Muito Baixa
Ciclo de Vida	200-300	1000	300-500	500-1000	500-1000	1000-2000
Tempo de Carga	8-16h	1-2h	2-4h	2-4h	1-2h	1-2h
Tolerância de Sobrecarga	Alta	Moderada	Baixa	Baixa	Baixa	Baixa
Auto Descarga/Mês (temperatura Amb.)	5%	20%	30%	<5% (Proteção do circuito gasta 3% ao mês)		
Tensão da Célula (nominal)	2V	1.2V	1.2V	3.6V	3.7V	3.2-3.3V
Tensão de corte de Carga	2.4 – 2.25	Detecção de carga por Assinatura de Tensão		4.2V (Tipicamente vai a uma tensão maior)		3.6V
Tensão de corte de descarga (1C)	1.75V	1.00V		2.50-3.00V		2.50V
Corrente de pico de Carga	5C	20C	5C	2C	>30C	>30C
Temperatura de Carga	-20 a 50°C	0 a 45°C		0 a 45°C		
Temperatura de Descarga	-20 a 50°C	-20 a 65°C		-20 a 60°C		
Manutenção Requerida	Termicamente Estável	Termicamente Estável, fusível de proteção		Circuito de proteção obrigatório		
Em uso desde	Final dos 1800s	1950	1990	1991	1996	1999
Toxidade	Muito Alta	Muito Alta	Baixa	Baixa		
Eficiência Coulômbica	~90%	~70% carga lenta ~90% carga		99%		

rápida			
Custos	Baixo	Moderado	Alto

Fonte: UNIVERSITY, B. (2021) adaptado

As baterias de lítio íon exibem uma maior eficiência energética em comparação as baterias que utilizam na sua base as composições como chumbo e níquel (COELHO, 2001), tendo menos perdas ôhmicas e perdas advindas de outros fenômenos de transporte. Devido a essas características, essas baterias são frequentemente mais utilizadas nas implementações práticas nos últimos tempos. O alto custo de fabricação desse tipo de bateria devido a baixa disponibilidade dos materiais necessários para sua fabricação, acaba por se caracterizar como uma desvantagem quando se coloca em comparação as baterias chumbo e níquel (DA SILVA, 2022).

Apesar de serem comumente chamadas de baterias de lítio, no que diz respeito a massa da bateria, a proporção de lítio utilizada é baixa “Os íons de lítio representam apenas cerca de 2% da massa da célula”(ANDREA, 2020, p. 66 apud CHAGAS, 2023).

Fazendo uma análise das características de funcionamento e buscando uma melhor bateria que se encaixe para esse trabalho, temos que no grupo que constitui as baterias de lítio, as baterias de enxofre de lítio são as que ficam caracterizadas como as que exibem a maior capacidade de energia com um menor peso, contudo possuem um ciclo de vida menor, que para esse estudo, é algo indesejável quando se aborda um sistema *off-grid*. As baterias de titanato de lítio possuem a vantagem de serem mais velozes na carga, um fator que pode ser dispensável, já que as baterias teriam em tese, todo o ciclo do dia com sol aparente para poder serem carregadas, pois seu principal foco é ser utilizada quando não há geração de energia nas placas solares. Abordando as baterias de polímero de lítio, essas possuem maior confiabilidade e robustez, porém possuem uma condutividade ruim e baixa densidade de potência, que poderia deixar a desejar o sistema a ser implementado. Para uma alta densidade de potência e uma alta corrente de descarga, as baterias de lítio fosfato de ferro são as mais indicadas, uma vez que também possuem uma maior estabilidade térmica e química, (TIE; TAN, 2013 apud DA SILVA, 2022), tornando-a bastante segura, e contendo os fatores que se busca para a implementação em torres de internet. As baterias de íon-lítio de fosfato de ferro (LiFePO₄) ou comumente chamada de LFP: são células comuns na aplicação de linhas estacionárias, sua faixa de operação fica entre 2,5[V] a 3,75[V] e tem como valor nominal 3,2[V] ou 3,3[V], a depender do fabricante

(CHAGAS, 2023), viabilizando o agrupamento série e paralelo para alcançar tensões em que os dispositivos trabalham, com proximidades de 24[V] e 48[V].

Contudo, independente da aplicação da bateria de lítio, é de suma importância utilizar um circuito eletrônico de proteção para manter sua operação segura (COELHO, 2001). As baterias de lítio devem funcionar com uma pequena variação nos valores de temperatura e tensão caso contrário, terá diminuída sua segurança, seu desempenho e confiabilidade, tornando indispensável um sistema de gerenciamento das células. Nesse contexto, o sistema de gerenciamento da bateria, principalmente com foco nas baterias de LiFePO₄, será detalhado a frente.

2.2 SISTEMA DE GERENCIAMENTO DA BATERIA

O sistema de gerenciamento da bateria é sem sombra de dúvidas, um dos sistemas mais importantes nas implementações das baterias com composições de lítio. É responsável por proteger o conjunto de danos e aumenta a vida útil de todo o sistema e consequentemente, de suas partes integrantes (DA SILVA, 2022).

É indispensável para as baterias de lítio a utilização de um sistema de gerenciamento. O BMS é um sistema embarcado, ou seja, uma placa eletrônica com funções bem definidas do que deve ser monitorado e controlado. Cada bateria possui uma aplicação específica e, consequentemente, o BMS é projetado para atender os parâmetros mais importantes para a implementação desejada, em resumo, o BMS tem como os requisitos de análise e controle, que segundo (PLETT, 2016 apud CHAGAS, 2023) são estes:

- Monitoramento e controle de variáveis como: tensão elétrica (total, média total, individual, máxima e mínima), corrente elétrica e temperatura;
- Proteção das células, *pack* e operador;
- Interface de comunicação;
- Estimação do estado de carga (SOC), estado de saúde (SOH), dentre outros.

Com as variáveis de requisitos de BMS, tem-se então a necessidade de se ter um gráfico que melhor represente a utilização desses fatores com relação a operação da bateria, mostrando

os pontos mais seguros, zonas proibidas para a célula da bateria e zonas de segurança e operação, como ilustrado na figura 2:

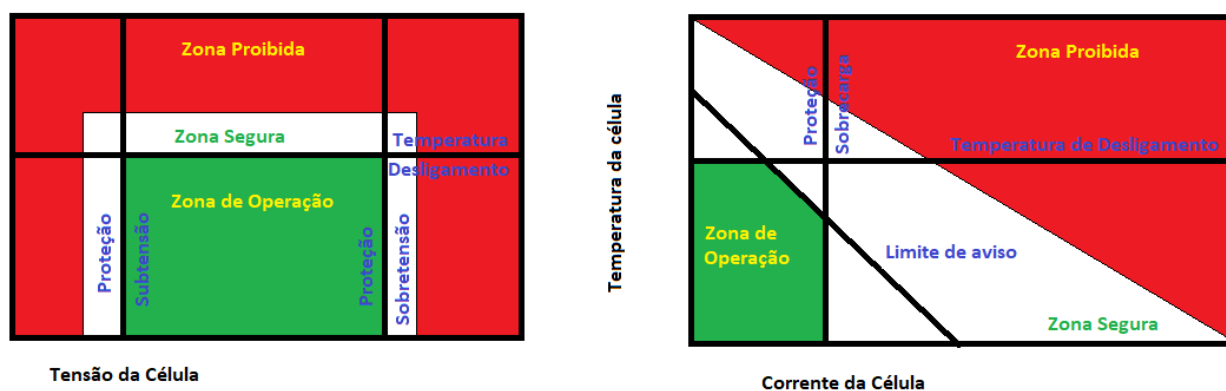


Figura 2- Área de Operação da Célula de Bateria

(Fonte: KORTHAUER, 2018) adaptado

É comum que o BMS também seja responsável por fornecer uma interface em que um operador possa comunicar com a bateria através de algum dispositivo, a depender da aplicação. Isto é interessante pois possibilita ao operador o monitoramento e/ou analisar/configurar alguns parâmetros da bateria ou de alguma(s) célula(s) em questão, e, em alguns modelos, ainda há a possibilidade do registro de dados sendo monitorados a um intervalo constante. Outro tipo de registro comum de ser encontrado é o de eventualidades que podem ocorrer na bateria. Esse registro geralmente é feito independentemente do operador monitorar a bateria por meio de uma comunicação ou não (CHAGAS, 2023).

As baterias são dispositivos eletroquímicos peculiares, possuindo um comportamento não linear distinto, que depende de várias condições internas e externas. Por esta razão, seu monitoramento por completo pode ser considerado complexo, tendo o agravamento da alteração de sua composição interna durante sua vida útil, devido a sua carga e descarga. A principal função do sistema de gerenciamento da bateria é realizar um monitoramento preciso e confiável deste conjunto. Essa função da BMS sendo bem realizada, permite a operação segura e confiável de suas partes integrantes, e consequentemente, entrega o melhor aproveitamento de onde a bateria está instalada (DA SILVA, 2022).

Esses dados lidos e coletados pela BMS é uma parte que compreende esse trabalho, e será feita através do padrão RS485 e utilizará o protocolo MODBUS-RTU, que serão um pouco mais aprofundados a seguir para a continuação da linha de raciocínio desse trabalho.

2.3 PADRÃO RS-485

Importante dizer que o RS-485 não é um protocolo de comunicação e se trata apenas de um padrão normalizado que especifica detalhes físicos, é uma interface padrão da camada física de comunicação, trata-se de um método de transmissão de sinal, o primeiro nível do modelo OSI (Interconexão de Sistema Aberto), tal padrão abordando características como os números de dispositivos conectados, relaciona a distância entre os dispositivos e velocidade máxima de comunicação e seus níveis de tensão de operação (FREITAS, 2017). Diversos protocolos utilizam as especificações de meio físico definidas pelo padrão RS-485, como é o caso do protocolo MODBUS, abordado no presente trabalho.

O padrão **RS-485** (*Recommendad Standart-485*) ou **EIA-485** (*Electronic Industries Alliance-485*) foi aprovado em 1983 pela EIA (*Electronics Industries Association*) como um novo meio de transmissão de dados por cabeamento, sendo integrado em boa parte dos tipos de aplicações tecnológicas como: equipamentos médicos, automação industrial, embarcações, laboratórios, robótica, sistemas de ar-condicionado e muitas outras aplicações (FREITAS, 2017).

As características do meio físico de transmissão de dados são escolhidos em sua grande maioria de acordo com as aplicações e os requisitos de propagação dos sinais que se fazem presentes no problema abordado. A necessidade de atender aos desafios de velocidade, resistências a ruídos, quantidade de equipamentos conectados à mesma estrutura de comunicação e dentre outros fatores, são fatores que impulsionam a evolução dos dispositivos de comunicação (GADELHA, 2019). O desenvolvimento do padrão de rede RS-485 conseguiu englobar os requisitos necessários para ser bastante utilizado nas aplicações do meio tecnológico, que segundo (WEIS, 2021) o RS-485 foi desenvolvido com o objetivo de ampliar as capacidades físicas da interface antecessora, RS-232.

A Rede RS-485 apresenta a capacidade de atenuação dos ruídos eletromagnéticos, graças ao modelo diferencial de transmissão de dados mostrado na figura 3, enquanto um fio transmite o sinal original, o outro transporta sua cópia inversa, como resultado da transmissão diferencial de sinal, há sempre uma eventual diferença entre os fios, denominados A e B, esses

determinam os níveis lógicos da rede de acordo com suas polaridades (GADELHA, 2019). Isto garante uma alta resistência à interferência do modo comum (FREITAS, 2017).

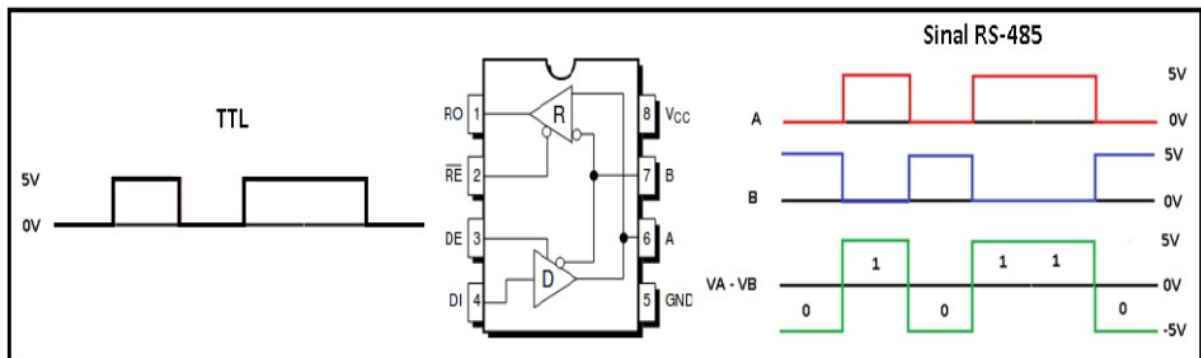


Figura 3- Comunicação serial utilizando o modelo de transmissão diferencial

Fonte: (GADELHA, 2019)

Outra capacidade da rede RS-485 é a possibilidade de estabelecer conexões multipontos como mostrada na Figura 4, através desse artifício é possível realizar a comunicação entre vários equipamentos e com isso possibilitar a centralização dos dados em um único dispositivo (GADELHA, 2019).

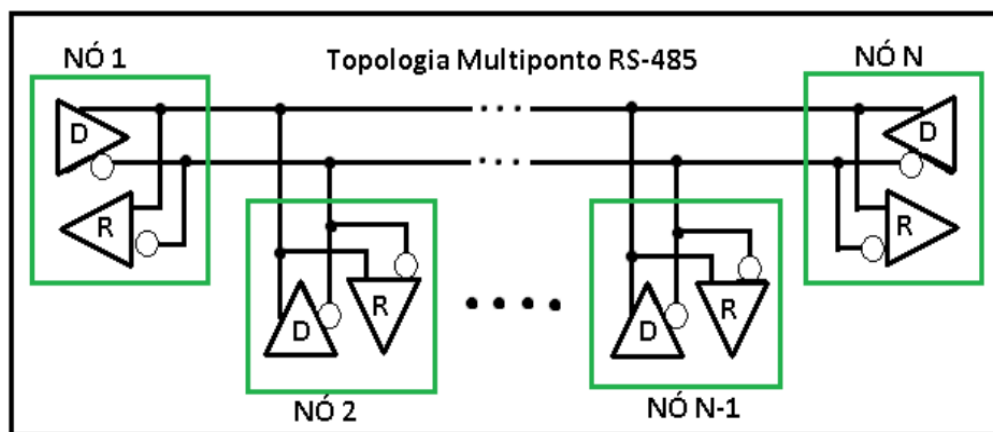


Figura 4- Comunicação multiponto estabelecida pela rede RS-485

Fonte: (GADELHA, 2019)

Tudo isso permite o envio de dados em longas distâncias a velocidades relativamente altas, que podem alcançar 100 kbits/s a aproximadamente uma distância de 1200 metros entre

um dispositivo e outro. De acordo com a figura 5, uma orientação geral é que o produto do comprimento da linha, em metros, e a taxa de dados, em bits por segundo, não deve ser superior a 10^8 . Por exemplo, um cabo de 20 metros permite uma taxa máxima de dados de 5 Mbits/s (WEIS, 2021).

O padrão RS-485 não aconselha utilizar nenhum protocolo desenvolvido em *software*, mas o setor industrial normalmente utiliza o protocolo MODBUS RTU que além de fácil entendimento e aplicação este apresenta plataforma *open source*.

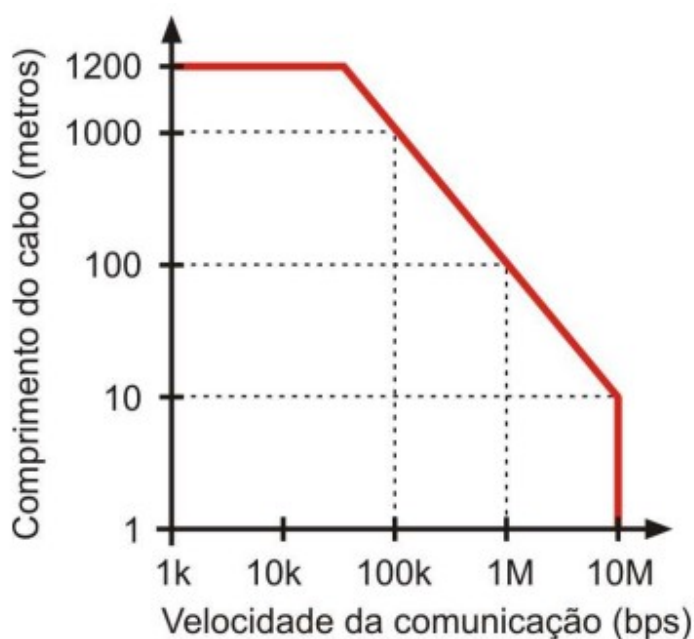


Figura 5- Gráfico de relação entre comprimento do cabo x Velocidade da Comunicação

Fonte: NOVUS PRODUTOS ELETRÔNICOS LTDA

2.4 PROTOCOLO MODBUS RTU

Protocolo de rede de comunicação é o conjunto de regras estruturadas em algoritmos que permite a garantia da ocorrência das trocas de mensagens e a correta execução dos procedimentos entre os equipamentos que constituem a rede (GADELHA, 2019).

O Protocolo MODBUS RTU utiliza comunicação serial assíncrona e necessita de apenas um dispositivo mestre e, pelo menos, um dispositivo escravo para que ocorra o

estabelecimento das trocas de informações e o estabelecimento da rede. O equipamento determinado a operar como mestre da rede sempre inicia e finaliza as solicitações de informações aos escravos, o mestre também é responsável pela escolha de qual escravo deseja realizar comunicação (GADELHA, 2019).

Os ajustes dos parâmetros seriais para o envio dos dados precisam ser realizados de modo que todos os equipamentos pertencentes à rede obedeçam à mesma configuração. Os parâmetros seriais são: quantidade bits de início da mensagem (*start bit*), velocidade de transmissão de dados (*baud rate*), checagem de paridade de bits e bits de parada (*stop bits*).

As trocas de informações entre os dispositivos são definidas por estruturas de mensagens compostas por *bytes*, no corpo das mensagens estão o endereçamento do dispositivo, a função desempenhada, os parâmetros manipulados pela função e por fim a verificação de erros (GADELHA, 2019).

2.5 TECNOLOGIA LoRa (*Long Range*)

Uma categoria de tecnologias sendo explorada nos últimos tempos se chama LPWAN (*Low Power Wide Area Network*). Nela está incluso a utilização de tecnologias sem fio e baixo consumo de energia com um longo alcance, que são esses os principais detalhes na busca por soluções em problemas que a engenharia aborda. Suas maiores limitações são as taxas de transmissão, que usualmente não ultrapassam a marca dos 100kbps. São especialmente projetadas para conectar dispositivos que enviam pequenas quantidades de dados com um longo alcance e com necessidade de ter uma bateria com longa duração, como o caso das baterias LiFePO₄ utilizadas em redes de sensores, por exemplo (DE SOUZA SANT'ANA, 2017).

A tecnologia de comunicação sem fio denominada LoRa, que foi criada pela *Cycleo* de *Grenoble* e patenteada pela *Semtech Corporation*, é na realidade uma abreviação da palavra em inglês *Long Range*, que significa longo alcance, com essa tecnologia é possível realizar transmissões sem fio de longo alcance tanto em ambientes urbano e ou industriais quanto rurais. O LoRa usa bandas de radiofrequência sub-gigahertz sem licença, como 169 MHz, 433 MHz, 868 MHz (Europa) e 915 MHz (América do Norte) 915-928 Mhz (Brasil). Sua tecnologia pode ser apresentada em duas partes: LoRa, que descreve a camada física e Lo-RaWAN referente as camadas superiores (LOPES, 2019).

Essa tecnologia tem por objetivo sanar problemas comuns em redes (IoT), como a limitação da operação dos dispositivos por períodos prolongados devido o consumo de energia, pois normalmente são sensores que enviam dados periodicamente a um servidor ou um *gateway*, portanto devem possuir uma baixa taxa de consumo de energia. Para que se tenha a comunicação de forma confiável, as aplicações necessitam que os dispositivos sejam englobados pela rede, ou seja, a distância entre os dispositivos e o *gateway* deve compreender a qualidade do sinal, que pode variar a depender da aplicação como os casos de implementação em zona agropecuária, implementações industriais, *smart campus*, equipamentos médicos e meteorologia.

Como uma forma de eliminar estes problemas, o LoRa utiliza dispositivos de borda que se comunica a longo alcance e que venha a consumir pouca energia, tendo como principal característica a sua largura de banda. A capacidade máxima de transmissão de um canal e a largura de banda estão diretamente relacionados e são afetadas por variáveis do ambiente e frequência de operação. LoRa estabelece um protocolo de comunicação onde a largura de banda é limitada (LOPES, 2019).

Por ser uma derivação da tecnologia de espalhamento espectral (CSS – *Chirp Spread Spectrum*), e compreende somente a camada física. Por isso, existe a possibilidade do desenvolvimento de diversas pilhas de protocolos que utilizam a tecnologia LoRa. Dentre essas redes já desenvolvidas, a que mais se destaca é a LoRaWAN, regida pela LoRa Alliance, associação de empresas responsáveis pela sua padronização (DE SOUZA SANT'ANA, 2017).

A LoRaWAN é uma especificação LPWAN que é uma rede remota de baixa frequência. Foi projetada para criar redes de longas distâncias, com dispositivos operados por bateria e com capacidade de comunicação sem fio. Sua comunicação é segura e bi-direcional apresentando mobilidade e tratamento de serviços de localização (LOPES, 2019), ela se caracteriza por ser uma pilha de protocolos aberto, logo, é possível encontrar diversas implementações livres do seu funcionamento, bem como a implementação deles com dispositivos de baixo custo disponíveis no mercado (DE SOUZA SANT'ANA, 2017).

A figura 6 retrata um esquemático de uma conexão típica de tecnologia LoRa, onde se tem dispositivos finais, sensores, conectados aos rádios LoRa, que enviam os dados a uma antena central que manda a outro dispositivo LoRa que esse está conectado a um servidor para armazenamento e tratamento dos dados. O SCADABR é a plataforma que fará esse processamento, e será detalhado um pouco mais sobre ele no próximo tópico.

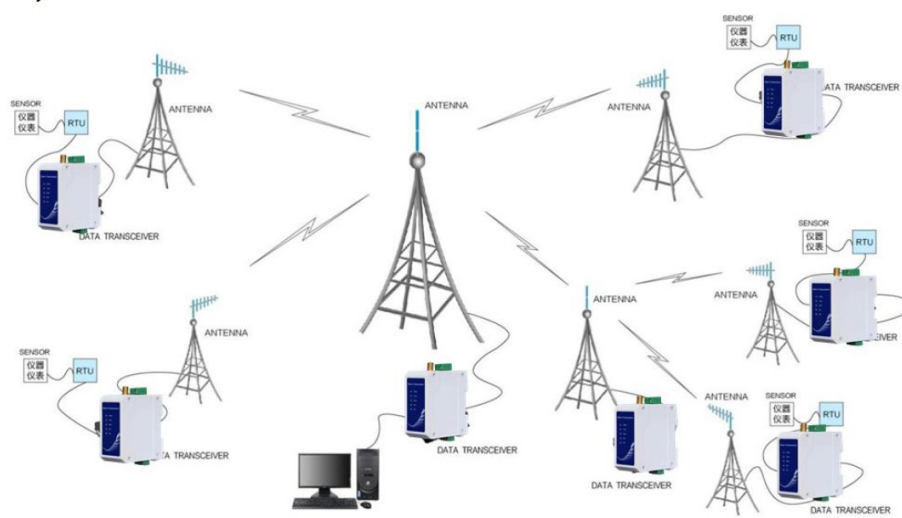


Figura 6 - Sistema de rede com utilização de tecnologia LoRa

Fonte: EBYTE E95-DTU User Manual

2.6 SCADABR

A abordagem dos dados utilizando o SCADABR é feito pois ele é um *software* livre, gratuito e de código-fonte aberto, para desenvolvimento de aplicações de Automação, Aquisição de Dados e Controle Supervisório, e pretende oferecer todas as funcionalidades de um sistema SCADA (*Supervisory Control and Data Acquisition*, na sigla em inglês), sendo uma peça fundamental em qualquer tipo de aplicação computadorizada que envolva máquinas, controladores lógicos programáveis (CLP's), acionamentos eletrônicos e sensores. Pode-se dizer que um SCADA funciona como o “sistema nervoso central” de um sistema de automação, monitorando todos os dispositivos e oferecendo acesso organizado a seus controles e parâmetros.

Dentro deste contexto, este trabalho visa apresentar uma otimização e melhoria no controle da alimentação dos dispositivos em sistemas *off-grid* de comunicação de internet rural que são feitas com a utilização das baterias LiFePo4, com auxílio de um BMS para o monitoramento dessas baterias, com a sua comunicação utilizando o padrão RS485 e protocolo MODBUS-RTU e transmissão de sinal via tecnologia LoRa, com foco na interpretação de dados através de gráficos gerados pela plataforma SCADABR, evidenciando as vantagens proporcionadas pela implementação dessa tecnológica nesses sistemas.

CAPÍTULO 3

3. DESENVOLVIMENTO DO PROTÓTIPO

3.1 MONITORAMENTO DA BATERIAS

O banco de baterias LiFePO₄, integrante do sistema de alimentação dos modems de internet das torres de comunicação em estudo, tem a função de suprir a demanda de energia durante a noite ou em caso de interferências climáticas que impeçam a placa de energia solar de atender à demanda dos modems. Nesses cenários, o controlador de carga ativa a bateria até que a placa solar atinja o valor necessário para se tornar a fonte principal de energia. Além disso, pode ocorrer algum problema físico no circuito de energia solar, inviabilizando o suprimento de energia, então a bateria assume a função de fonte primária.

Para realizar o monitoramento do banco de baterias na bancada de testes, antes de reproduzi-la em campo, foi utilizado nesse estudo um esquemático que se aproxima da real maneira na qual ele será instalado, sendo apenas a parte da injeção de carga que será feita por uma fonte de alimentação controlada, e para descarregar a bateria será usado um simulador de cargas, todos os equipamentos serão especificados mais a frente. As células LiFePO₄ estarão conectadas a um dispositivo de gerenciamento de bateria (BMS), e as células serão montadas em uma configuração 8S onde cada bateria terá uma tensão de operação de 3.2[V] atingindo uma tensão total de operação em 25.6[V]. Os dados serão monitorados através do *software* SCADABR e transmitidos com o auxílio de um dispositivo com tecnologia LoRa, o rádio E95-DTU (400F20-485) que recebe o sinal já convertido do padrão TTL para o RS485, sinal esse que vem da BMS, nesse trabalho a alimentação do rádio é feita pela fonte de alimentação controlada, que antes de chegar ao dispositivo, passar por um equipamento que regula tanto a tensão quanto a corrente para evitar danos ao rádio.

A figura 7 apresenta o esquema do circuito responsável por transmitir o sinal dos dados da bateria, no qual ilustra como deve de ser as conexões entre os dispositivos na bancada de testes para enviar os dados para o circuito receptor, os dispositivos utilizados serão detalhados no anexo A, ressaltando informações como modelo e empresas responsáveis pelos equipamentos, assim como uma imagem para facilitar a identificação de tais dispositivos utilizados.

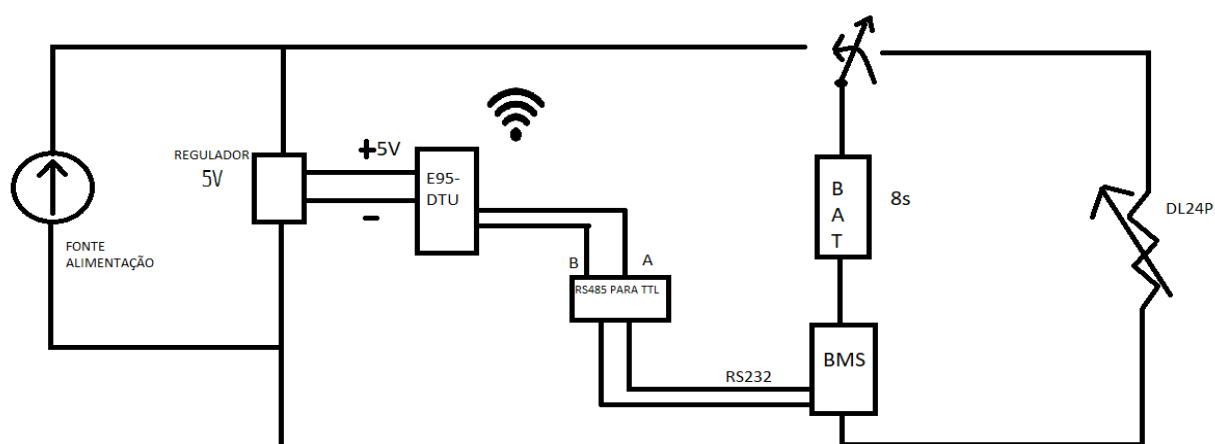


Figura 7- Esquemático do circuito transmissor

Fonte: Autor

Um pouco mais simples que o circuito transmissor dos dados da bateria, temos o circuito responsável pela captação desses dados, sendo composta pelo dispositivo que recebe o sinal via ondas de rádio, que é enviado para um outro dispositivo por meio do padrão RS485 no protocolo MODBUS-RTU para então ser convertido para a forma de TCP/IP e ao final para se comunicar com o servidor local em que o SCADABR está funcionando, como mostrado na figura 8.

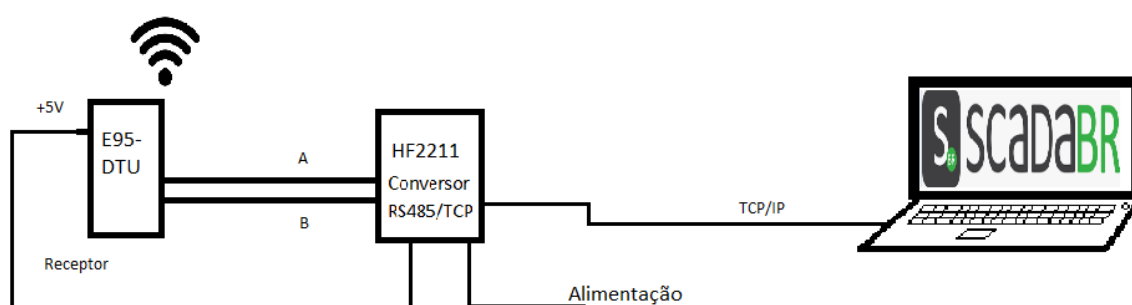


Figura 8- Esquemático do circuito Receptor

Fonte: Autor

3.2 PERCURSO DOS DADOS COLETADOS

O dispositivo LoRa, após coletar e ler os dados, converterá esses sinais elétricos em ondas de rádio. Essa conversão permite a transmissão *wireless*, superando as barreiras de longa distância e interferências físicas que os cabamentos enfrentam, proporcionando a melhoria necessária para resolver parte do problema proposto.

Este dispositivo transceptor, que utiliza a tecnologia LoRa, está integrado ao padrão de comunicação RS-485 e emprega o protocolo MODBUS-RTU para viabilizar a transformação do sinal elétrico em ondas de rádio. Isso permite a comunicação *wireless* entre os dispositivos LoRa, tanto o transmissor quanto o receptor. O dispositivo LoRa receptor, utilizando o mesmo protocolo e padrão de comunicação, está conectado a um servidor de armazenamento de dados. Este servidor permite o acesso aos dados e a geração de relatórios através do *software* SCADABR.

O fluxo da informação dos dados coletados pode ser considerado um aspecto crucial a ser explicado neste trabalho, considerando que os dados passam por diferentes equipamentos e são convertidos de sinais elétricos para ondas de rádio.

3.3 TRATAMENTO DOS DADOS COLETADOS

A análise dos dados será realizada com o auxílio do *software* SCADABR, um *software* livre e de código aberto. Inicialmente, serão analisadas as informações básicas de cada célula da bateria, como tensão, corrente e temperatura. Também serão contemplados dados como:

- Tensão individual de uma célula da bateria;
- Tensão geral da configuração 8S;
- Corrente de carga e descarga;
- Capacidade de carga;

- Porcentagem;
- Potência;

Colocando essas variáveis como as principais para se obter um bom entendimento na prática sobre o banco de bateria em análise, esses são valores de leitura, pois os valores de configuração vai vir a depender da aplicação do banco de bateria e da sua utilização, podendo variar de uma situação prática a outra. Nesse presente trabalho, foram colocados valores de configuração apenas para estimar os gráficos e simular valores de uma bateria que já está consideravelmente desgastada, as células de bateria usadas neste estudo, foram células já descartadas de um uso comercial e se tornou objeto para testes de ferramentas, teste de equipamentos de bancadas de laboratórios e também para pesquisas.

Existem outros parâmetros úteis para facilitar a compreensão do sistema em análise, que será mostrado nas seções seguintes como parte da captura de dados, valores esses que tem sua relevância a depender da aplicação, ou do principal objetivo que se tem a alcançar quando se faz o monitoramento desse tipo de banco de baterias.

CAPÍTULO 4

4. RESULTADOS E SIMULAÇÕES

4.1 INTERFACE DE COMUNICAÇÃO E IDENTIFICAÇÃO DE REGISTRADORES

Após a montagem dos dispositivos que foram necessários para fazer a carga e descarga da bateria para ser feito o monitoramento e gerenciamento da mesma, o passo seguinte é habilitar a comunicação no sistema SCADA para acessar os dados lidos pela BMS, apresentando duas categorias de registradores, uma de medição que são os valores capturados e que variam com o tempo e outra categoria de registradores são as configuráveis, que são colocados os valores para fazer o gerenciamento da bateria. Tendo cada registrador o seu *off-set* escrito junto a sua denominação, para obter assim uma facilidade na hora de localizar tais registradores na *watch list* do SCADA, podendo observar também o tipo de unidade de medida que está sendo associado a esses valores do registrador em análise.

A tabela do anexo B mostra todos os registradores que foram lidos, para se ter uma melhor percepção da quantidade de leituras possíveis. Alguns valores já foram mais fáceis de associá-los a parâmetros que se tivesse conhecimento, como por exemplo o número de células a serem monitoradas, as tensões de cada célula e a tensão total abordado na configuração 8S, sendo que esses valores de tensão foram possíveis de serem lidos e confirmados através da utilização de um multímetro na bancada de testes.

Para poder associar e reconhecer outros valores lidos no SCADA, foi utilizado o *software* disponibilizado pela empresa da DalyBMS, disponibilizado na aba de *download* do site da empresa, no qual foi feita a comunicação com a BMS através do BMSMonitor V2.1.2, exemplificado na figura 9, e assim, pode ser feito a comparação da leitura, tendo o BMSMonitor os valores escritos na janela de interface do *software*, comparado com os valores que eram lidos no SCADA, onde era conhecido apenas o valor do *off set* e o valor da leitura do registrador, tendo assim que comparar valores de leitura do BMS que apareciam no BMSMonitor com os valores que apareciam no SCADA, para assim saber a denominação daquele registrador, pois no BMSMonitor os valores apareciam diretamente de forma identificada, descrevendo qual variável se tratava e sua unidade de medida relacionada.

Durante o percurso para identificação dos valores escritos no SCADABR, o programa BMSMonitor foi de uma ajuda ímpar, direcionando melhor na hora de fazer esse mapeamento

dos registradores que apareceram no SCADABR, na figura 9 segue um registro da janela de leitura de parâmetros do BMSMonitor onde é possível ver uma parte das variáveis que podem ser analisadas em uma BMS.

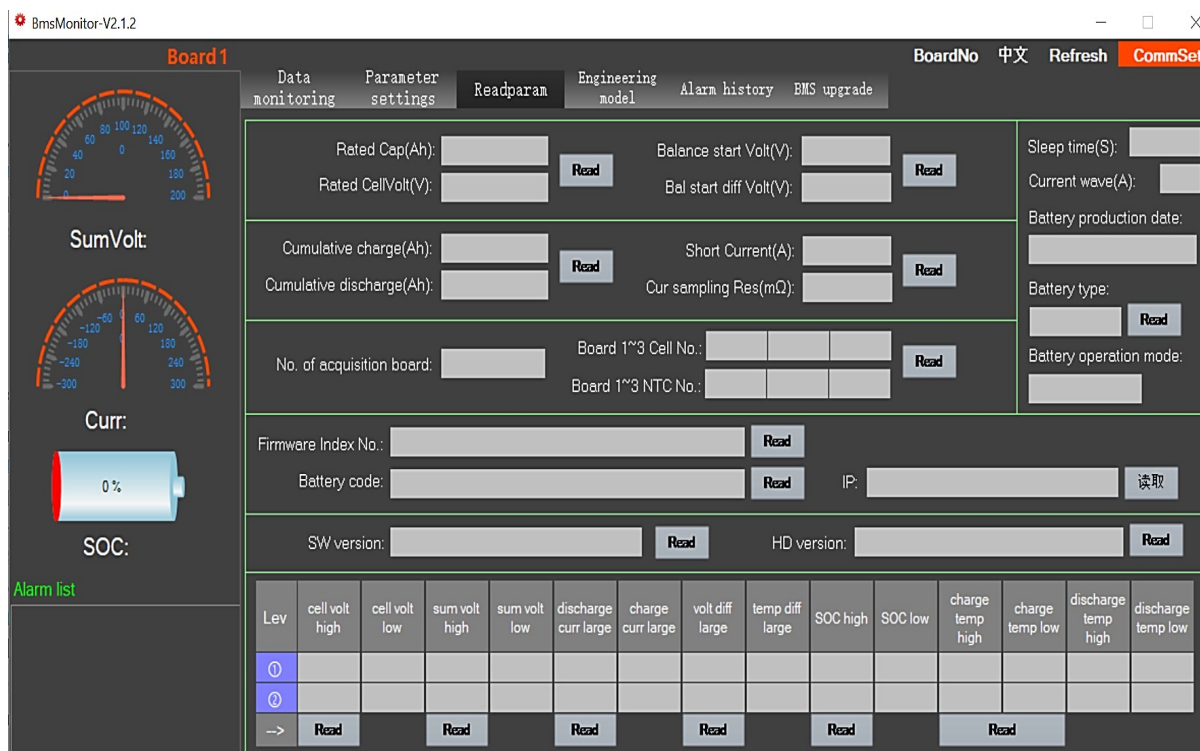


Figura 9- Janela referente a leitura de parâmetros no BMSMonitor

Fonte: Autor

Na figura 9 é possível observar as variáveis que foram de mais fácil a assimilação com os dados obtidos pelo SCADABR, principalmente os parâmetros de configuração da BMS, pois durante o mapeamento dos registradores foi feita a manobra de alteração dos valores de configuração por esse *software* para que fosse possível ver a mudança de valores no SCADABR, e com isso garantir a definição da denominação do registrador cuja alteração foi observada, uma vez que era necessário também confirmar os registradores responsáveis pela configuração de valores da BMS.

4.2 TODOS OS VALORES DE REGISTRADORES LIDOS

A tabela que se encontra no anexo B representa o aglomerado de dados que foram possíveis de serem lidos tendo-se que fazer uma fina seleção para facilitar o tratamento dos dados e das interpretações dos gráficos, tendo em vista que foram capturados 31 valores na categoria de registradores para medição e 73 na categoria de configuração, foi dado ênfase aos registradores com valores fundamentais para o diagnostico do problema proposto.

Vale uma observação importante sobre essa tabela do anexo B, que não obtivemos sucesso para identificar o registrador responsável pelo sensor de temperatura, deixando assim parte de um dos objetivos do trabalho em aberto, pois sabe-se que a temperatura é um fator importante quando se aborda o trabalho com baterias, mesmo sabendo que as baterias LiFePO4 possuem uma característica de manter o bom funcionamento em temperaturas consideradas mais altas, não impactando de forma incisiva na abordagem da análise desse trabalho, pois as variáveis de tensão e corrente são de uma magnitude maior na verificação do problema proposto, acompanhar o fator de temperatura é interessante para fazer a análise mais completa da saúde das células que compõe o *pack* a ser monitorado, cabendo assim um outro viés de aprofundamento de estudo futuro em cima desse trabalho.

4.3 OS PRINCIPAIS VALORES DE ANÁLISE DO PROBLEMA PROPOSTO

Após o refinamento dos dados representados na tabela do anexo B, temos no anexo C os registradores que foram identificados e que são os que se tiveram mais atenção para o tratamento do problema proposto, agora se faz necessário separar os indicadores que serão mais importantes para poder focar na interpretação dos gráficos que foram gerados para essas variáveis.

Uma análise importante que fora observado nessa coleta de dados foi com o componente que se refere a “Corrente Total que passa pelas Células” no caso a variável que se encontra na tabela do anexo C, (Bat_41_serial), ela foi identificada por assimilação com a variável (Bat_64_serial), anexo C, que continha um valor fixo de 30’000 e foi criada uma categoria específico a ela, denominada de “Referência”, ficando assim sem uma unidade definida, servindo apenas como referência. Durante as experimentações e com a variação da corrente de carga e de descarga, foi notado variações similares nas casas de dezenas da variável

(Bat_41_serial) do Anexo C, onde se observava valores como por exemplo 30'015, 30'021, 30'026 quando estava em estado de carga ou mesmo valores como 29'985, 29'979, 29'974 para a descarga da bateria, que são valores que representam as respectivas correntes 1.5; 2.1; 2.6 [A].

Consequentemente, as variáveis de categoria CONFIGURÁVEL, que são encontradas acima do *off-set* 128, que são lidas como correntes de configuração do BMS, como as 4 variáveis de corrente de carga e descarga que são separadas em dois níveis, como mostra a tabela 2, que é um recorte da tabela que se encontra no anexo C:

Como podemos observar na tabela 2, esses valores têm como referência o registrador (Bat_64_serial) do anexo C, que possui valor fixo de 30'000. Interpretando os valores coletados, quando se tem valores acima de 30'000 temos uma corrente positiva, o que indica uma carga da bateria, consequentemente se temos valores abaixo temos uma corrente negativa o que indica uma descarga da bateria, transformando os valores coletados e aplicando multiplicadores e aditivos temos uma transformação de valor como mostra a tabela 3.

Tabela 2: Valores primários de configuração da Corrente do BMS

Nº	Tipo	Denominação	Off_Set	Valor	Unidade
16	CONFIGURÁVEL	Corrente Descarga Nv.1	Bat_147_serial	29'980	[A] Ampere
17	CONFIGURÁVEL	Corrente Descarga Nv.2	Bat_148_serial	29'970	[A] Ampere
18	CONFIGURÁVEL	Corrente Carga Nv.1	Bat_149_serial	30'020	[A] Ampere
19	CONFIGURÁVEL	Corrente Carga Nv.2	Bat_150_serial	30'035	[A] Ampere

Fonte: Autor

Tais valores correspondentes as variáveis: Bat_147_serial; Bat_148_serial; Bat_149_serial; Bat_150_serial, relacionados a tabela 3, são obtidas através de uma configuração do *data point*, que inicialmente ao se criar-lo, ele vem com valores já pré-definidos, com valor de multiplicador sendo igual a 1, e com o 1 a 0, como mostra a figura 10, então tem-se que encontrar valores para seja possível fazer uma leitura mais coerente do que está acontecendo no circuito, com uma certa familiaridade com os valores da fonte de alimentação controlada utilizada na bancada.

Tabela 3: Valores atualizados de configuração da Corrente do BMS

Nº	Tipo	Denominação	Off_Set	Valor	Unidade
	CONFIGURÁVEL	Corrente Descarga Nv.1	Bat_147_ser ial	2.0	[A] Ampere
	CONFIGURÁVEL	Corrente Descarga Nv.2	Bat_148_ser ial	3.0	[A] Ampere
	CONFIGURÁVEL	Corrente Carga Nv.1	Bat_149_ser ial	2.0	[A] Ampere
	CONFIGURÁVEL	Corrente Carga Nv.2	Bat_150_ser ial	3.5	[A] Ampere

Fonte: Autor

Detalhes do data point

Nome

Export ID (XID)

Id do escravo

Faixa do registro

Tipo de dados modbus

Offset (baseado em 0)

Bit

Número de registradores

Codificação de caracteres

Configurável ☒

Multiplicador

Aditivo

Figura 10-Janela de configuração do Data Point no SCADABR

Fonte: Autor

Nos detalhes do *data point*, como mostra a figura 11, os requisitos de “Multiplicador” e “Aditivo” precisam ser alterados para que se possa imprimir o valor da variável com uma certa proximidade do que está sendo colocado como configuração, para que na hora de fazer a leitura apareça os valores próximos aos valores reais. Nesse caso, conseguimos chegar ao valor com uma pequena variação de 0,1 para mais e para menos, sabendo que a configuração do

dispositivo é para até 40 [A] de descarga e 20 [A] de carga, essa pequena variação de 0,1 está em valores aceitáveis quando se aborda a implementação.

Detalhes do data point ⓘ

Nome

Bat_150_serial_CORR_CARG/

Export ID (XID)

DP_519596

Id do escravo

210

Faixa do registro

Registrador holding ▾

Tipo de dados modbus

Inteiro de 2 bytes sem sinal ▾

Offset (baseado em 0)

150

Bit

0

Número de registradores

0

Codificação de caracteres

ASCII

Configurável

☒

Multiplicador

0.1

Aditivo

-3000

Figura 11- Janela de configuração atualizada do Data Point no SCADABR

CAPÍTULO 5

5. GRÁFICOS GERADOS

Nesta sessão, temos algumas variáveis com seus respectivos gráficos, que foram coletados para representarem uma leitura de um dia inteiro, sendo por alguns dias seguidos, para verificar a coleta de dados, mostrando as curvas de carga e descarga da bateria e as oscilações de intempéries que aconteceram durante a coleta de dados. Os gráficos abaixo representam os dados coletados no dia 23 de agosto de 2024, pois foi executado dois momentos de carga e descarga, uma incluindo uma variação de corrente e um momento de saturação de carga, para poder observar variações no comportamento do gráfico. Os gráficos aqui expostos são para comparações de suas formas, a imagem ampliada para verificação individual se encontra no anexo D.

5.1 SEMELHANÇA ENTRE GRÁFICOS

A coleta de dados foi direcionada para 6 variáveis de medição dentro de todas que foram identificadas no SCADA, que são elas: Capacidade de Carga; Corrente; Percentual; Potência; Tensão Média; Tensão Total.

5.1.1 Comparação entre Capacidade de Carga e Percentual da Bateria

Algumas dessas variáveis tem uma relação direta, como por exemplo:

- Capacidade de Carga;
- Percentual;

tornando possível de serem interpretadas como o mesmo gráfico, mudando apenas a unidade de leitura, uma tendo a unidade de [Ah] e outra em [%], e o valor em módulo que é registrado, variando na escala de 0 a 100[%] para o percentual, e para o registrador da capacidade de carga vai de 0 até o valor colocado no registrador de configuração, como 4,8[Ah] por exemplo, lembrando que o valor lido pelo registrador responsável pela porcentagem, terá como base o

valor inserido no registrador de configuração da capacidade de carga, as figuras 12 e 13 representam os respectivos registradores:

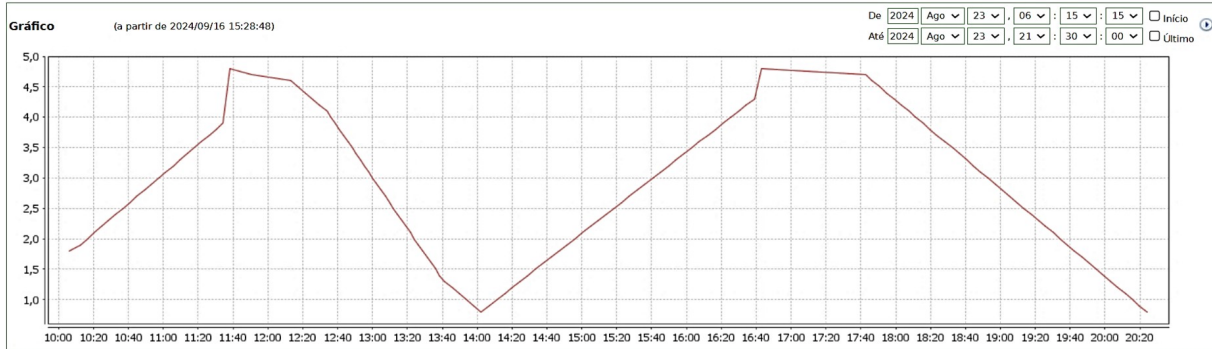


Figura 12 - Gráfico da Capacidade de Carga da bateria

Fonte: Autor

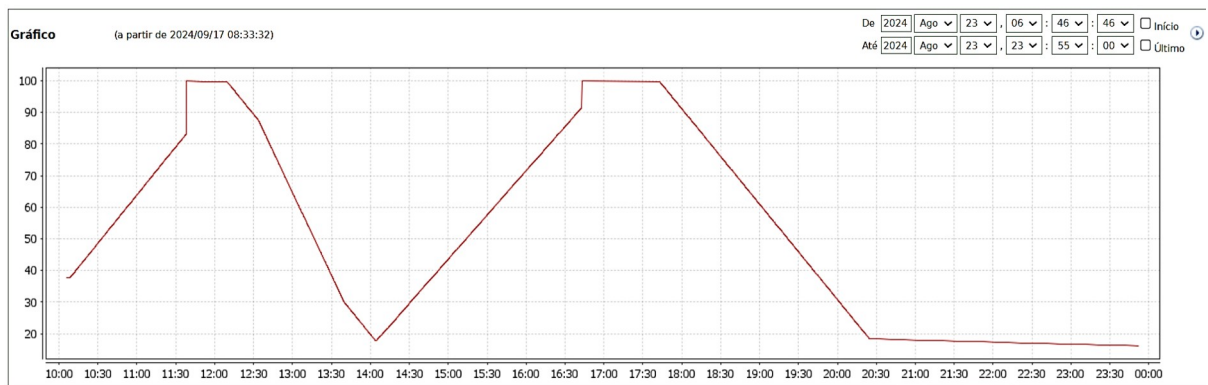


Figura 13 - Gráfico da porcentagem da bateria

Fonte: Autor

5.1.2 Comparação entre os Gráficos de Tensão

Outro exemplo de gráficos relacionados são os de tensão, pois temos:

- Gráficos de Tensão individual de cada célula;
- Gráficos de Tensão Média do conjunto 8S;
- Gráficos de Tensão Total do Conjunto 8S;
- Gráficos de Tensão máxima das Células;
- Gráficos de Tensão mínima das Células;

Cada um desses gráficos de tensão gerados são analisados de forma a perceber variações no comportamento individual de cada célula quando se compara por exemplo com o gráfico da tensão média do conjunto 8S, para ter uma noção de como tá o controle da tensão nessa célula em análise, ou para saber a discrepância do valor de tensão individual da célula entre os valores de tensão máxima ou mínima coletados interpretando a qualidade de carga e descarga individualmente, podendo se antecipar na troca da célula em uma próxima manutenção. Se tratando do gráfico da tensão total, é importante para acompanhar valores de saturação, e como está a estabilidade da tensão tanto na sua carga quanto na descarga.

Um demonstrativo da comparação entre a tensão média e a tensão total do *pack* 8S. Como pode ser observado nas figuras 14 e 15, o comportamento do gráfico de uma bateria LiFePo4 mantém estável a linha de tensão durante o máximo tempo de carga e de descarga, sendo essa uma das características principais da sua implementação nesse estudo, pois os dispositivos conectados a ela sofrerão menos com a variação de tensão, e não terão seu desempenho comprometido.

É perceptível notar na figura 15 que possivelmente houve uma variação na potência/corrente pois percebe-se notoriamente que a linha do gráfico da tensão tem uma queda no seu momento de descarga, o que leva a análise do sistema aos gráficos seguintes, para verificar o comportamento da corrente e potência.

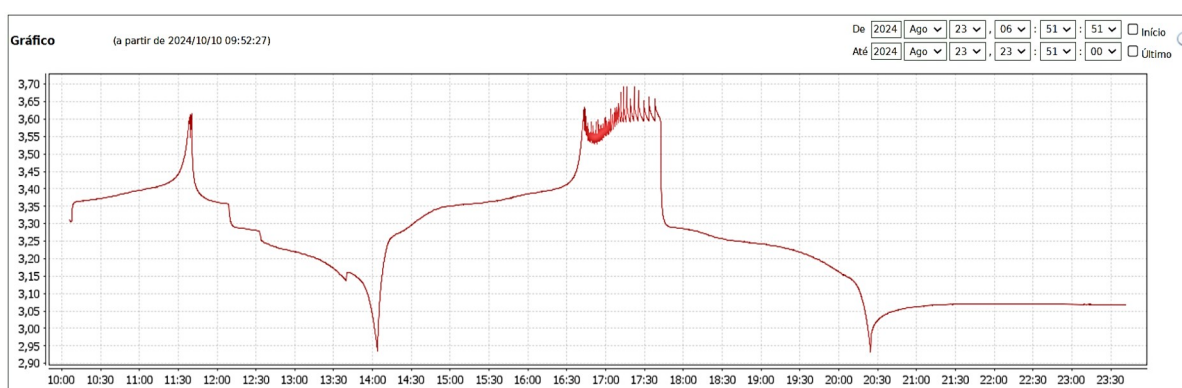


Figura 14 - Gráfico da Tensão Média das Células

Fonte: Autor

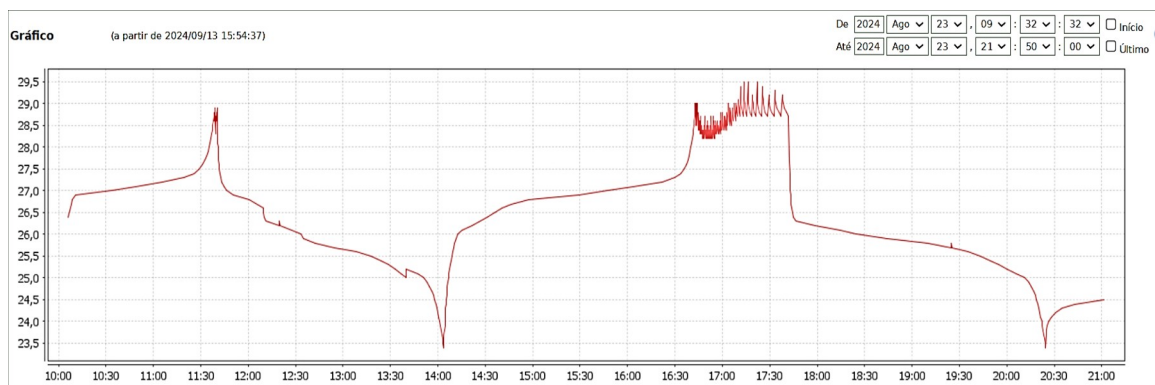


Figura 15- Gráfico da Tensão Total das Células

Fonte: Autor

5.1.3 Comparação entre os Gráficos de Corrente e Potência

A análise da relação entre os gráficos de corrente e potência também são bastante similares, com uma única diferença que a potência sempre é representada como um valor maior que zero, entendida como fluxo de potência, sendo interpretada tanto como a potência que é drenada da bateria, quanto da potência que está sendo injetada na mesma. Identificando os momentos de carga e descarga com a leitura dos valores que aparecem no registrador da corrente (Bat_41_serial), ou também no registrador titulado como (Bat_47_serial) pois ele mostra três estágios da bateria:

- Neutra, que é quando não há fluxo de carga na bateria, identificada com o valor de registro 0;
- Carga, que é quando há injeção de carga na bateria, identificada com o valor de registro 1;
- Descarga, que é o momento em que a bateria está fornecendo energia para algum dispositivo, identificada com o valor de registro 2;

Ao analisar os gráficos correspondentes aos registros da potência na figura 16 pode-se ter uma melhor noção do consumo do *pack* de baterias em estudo, pois se trata de uma configuração de baterias em série, ou seja, a corrente é a mesma em todas as células de bateria do circuito em questão. Vendo que valores positivos no gráfico representam uma injeção de carga nas células e que valores negativos de corrente representam a drenagem de energia da bateria, subentende-se esse comportamento como abastecimento e consumo da energia disponível na bateria.

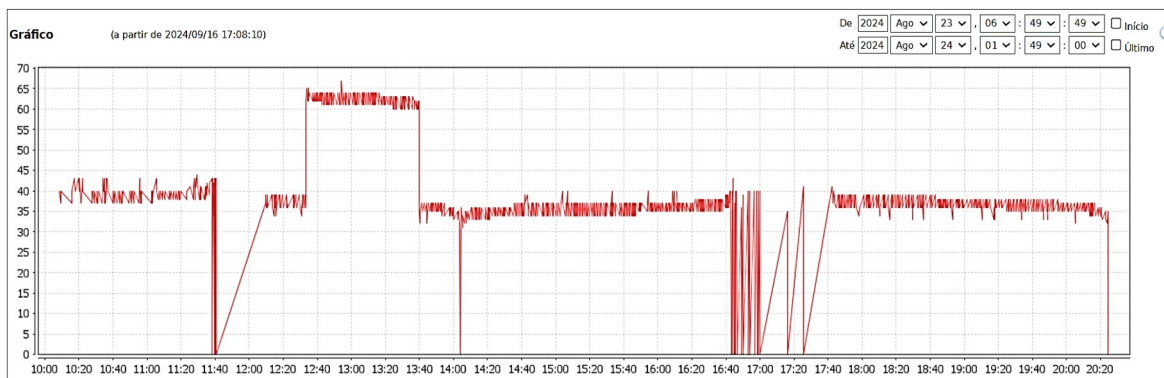


Figura 16 - Gráfico da Potência que flui na bateria

Fonte: Autor

Nesse gráfico da corrente representado pela figura 17, é possível observar os momentos de carga e descarga, quando se observa os valores lidos vemos que no período da manhã das 10:00hrs até aproximadamente as 11:40hrs está sendo injetado uma corrente de 1,5[A] e ao se observar com mais detalhe vemos um pequeno instante onde há uma saturação, indicação de carregamento total, da bateria. Com o decorrer do tempo, por volta de 12:10hrs a bateria apresenta uma descarga de 1,5[A] por algo em torno de um período de 20 minutos e a corrente de descarga aumenta para algo próximo a 2,5[A] essa descarga permanece até aproximadamente as 13:40hrs voltando ao patamar de 1,5[A] por mais alguns minutos. A finalização da drenagem de carga da bateria foi por volta das 14:05hrs. Nesse instante a bateria volta a ter uma injeção de carga por volta de 1,5[A] até que tenha atingido sua saturação por volta de 16:40hrs, onde se observa rápidas variações indo de 1,5[A] a 0[A], valores esses representando o momento em que o BMS corta a corrente que vai para a bateria quando ela já identifica o carregamento total das células.

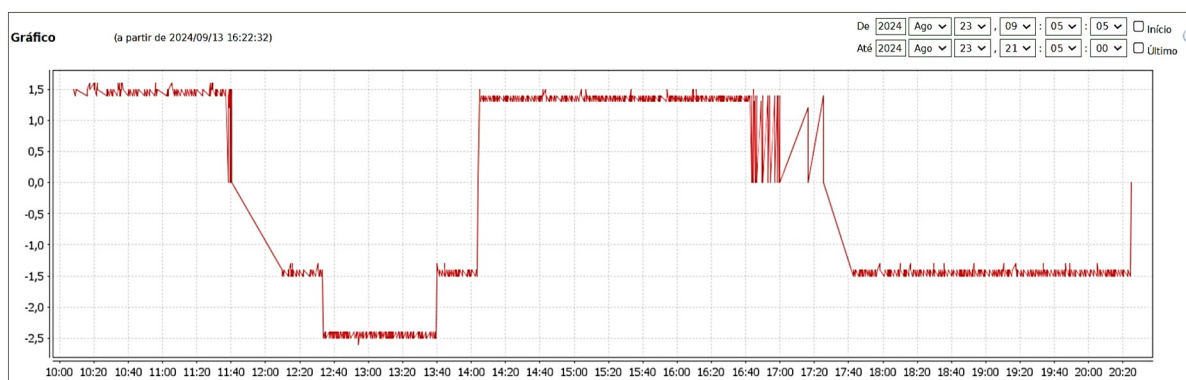


Figura 17 - Gráfico da Corrente que flui na bateria

Fonte: Autor

Essa variação apresentada na descarga da bateria, foi simulada para representar um momento em que na prática seria alguma interferência na geração de energia das placas e a bateria teve que assumir a demanda de energia do sistema. Essa interferência na prática pode ser causada por algum galho de árvore que tenha na proximidade que em certas épocas do ano, pode dar sombra sobre a placa solar, interferindo assim na geração de energia. Tal cenário sugere que uma equipe vá ao local em horário similar ao que acontece essa variação e faça uma observação de onde possa vir essa interferência e sanar esse problema, para que desse modo, a bateria não sofra descargas desnecessárias evitando assim, seu desgaste e garantindo a qualidade do equipamento.

Sendo esses os estados que se deseja identificar na prática, pois como se trata de uma bateria que está alimentando dispositivos de uma torre de internet, saber seus momentos de carga e descarga facilita diagnósticos de como tá sendo utilizado o sistema secundário de energia, a bateria, sabendo o valor modular da corrente e em quais horários está acontecendo. Por esse motivo, na figura 18 é mostrado o gráfico indicador de estados, sendo ele importante para comparação com o gráfico relacionado a corrente do sistema. A melhor forma para ser feita a análise das demais componentes é fazendo o comparativo com o gráfico da corrente para ter uma melhor compreensão do gráfico que se deseja analisar.

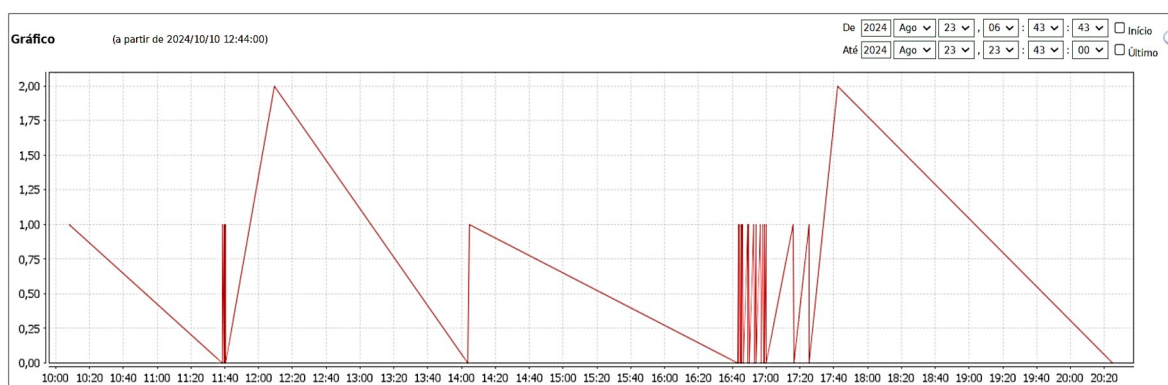


Figura 18 - Gráfico Indicador de Estado

Fonte: Autor

CAPÍTULO 6

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Após ter feito toda essa coleta de dados, gerando assim os relatórios das variáveis mais relevantes, pode-se afirmar que o trabalho em questão foi realizado com sucesso, pois os principais pontos que se desejava de serem observados nesse sistema foram alcançados: os gráficos de tensão, e seus similares; tensão total; tensão média total; tensão mínima da célula; tensão máxima da célula; tensão individual da célula; com esses valores, é possível acompanhar como está a saúde da bateria, sabendo em teoria os valores de tensão de operação, valor de tensão de afundamento, valor de tensão máxima de operação, e comparadas com os valores que aparecem no gráfico é possível de antecipar a troca das células por células mais saudáveis, sem prejudicar a continuidade do serviço oferecido ao cliente. Evitando assim descontinuidades no serviço prestado e insatisfação dos clientes atendidos.

Outro indicativo satisfatório, foi a leitura da potência, sendo essa uma leitura primordial para a implementação que se deseja realizar, pois a potência está relacionada aos dispositivos que serão conectados na torre de internet em questão, pois em teoria, a potência consumida será sempre a mesma, pois o número de dispositivos é fixo, até que haja alguma manutenção e se retire ou implemente mais algum elemento de consumo, ou que ocorra a troca de um dispositivo por outro com mais demanda de potência, em suma, uma variação na potência que é drenada da bateria, sem antes acontecer algum desses cenários citados, indica que pode haver a uma falha em algum dispositivo ou uma fuga de corrente, necessitando assim de uma visita ao local para checar os elementos que estão conectados nele.

A porcentagem da bateria e a capacidade de carga são indicadores que nos auxiliam a manter o bom funcionamento do sistema em monitoramento. Por exemplo: se a bateria apresentar uma porcentagem baixa durante um certo horário do dia, onde já se conhece a corrente de carga e consequentemente uma estimativa bem próxima do tempo de carregamento, em que deveria estar com status considerada com capacidade máxima pode ser implementado um sistema de disparo de alarme pois isso indica ou que a bateria não está recebendo a carga necessária e possivelmente, a depender da análise dos outros gráficos, pode ser um problema no gerenciador de carga, que transfere energia das placas solares para a bateria, ou até mesmo

algum problema na parte física do sistema de placas solares que está impedindo a geração dessa energia que alimentará os dispositivos da torre de internet.

Com esses dados obtidos, pode-se confirmar o sucesso alcançado com esse trabalho, pois já seria possível de sanar parte das dificuldades que aparecem em campo, alcançando assim o objetivo da automação do monitoramento e gerenciamento das baterias para garantir uma melhor alimentação do sistema implementado.

6.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Ao decorrer do desenvolvimento deste trabalho, pode-se notar que se teve que abordar uma ampla gama de atuação da engenharia elétrica para poder chegar aos gráficos gerados. Tópicos como a bateria utilizada, o dispositivo de monitoramento, o meio de comunicação entre esses dispositivos, a transmissão do sinal por meio *wireless*, utilização de dispositivos referentes a internet das coisas (IoT), tratamento de dados em *software* SCADA, todos são cabíveis de se aprofundar e melhorar algum ponto dentro da abordagem

Uma abordagem que complementaria um pouco mais esse trabalho poderia ser a investigação do comportamento do sinal quando ele sai do BMS e vai para o rádio de transmissão, abordando o padrão de comunicação e seu protocolo, afim de minimizar perdas e otimizar a transmissão do sinal.

Portanto, fica como recomendação, a captura dessa linha de raciocínio em um trabalho futuro para a melhor compreensão do fluxo de dados, abordando questões da computação, envolvendo o sinal no *hardware* e *software*.

REFERÊNCIAS

ANDREA, Davide. **Lithium-Ion Batteries and Applications: A Practical and Comprehensive Guide to Lithium-Ion Batteries and Arrays, from Toys to Towns, Volume 2, Applications**. Artech House, 2020.

CHAGAS, Victor Hugo de Oliveira. **Estimação do estado de carga em bateria de lítio com armazenamento em nuvem**. 2023. Trabalho de Conclusão de Curso.

COELHO, K. D. **Estudo de uma fonte ininterrupta de corrente contínua de baixa potência gerenciada por um microcontrolador**. 2001, 162p.

DA SILVA, C. T.; **Sistema de Gerenciamento de Baterias de Lítio com Estimação de Estados com Filtro de Kalman Estendido Adaptativo**. 146p. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Energia e Automação Elétricas. São Paulo, 2022.

DALYBMS. **BMSMonitor**. 2023. Software. Disponível em: <<https://www.dalybms.com/download-pc-software/>>. Acesso em: 28 out. 2024.

DE SOUZA SANT'ANA, Jean Michel. **Redes LoRaWAN: implantação e desenvolvimento de aplicações**. 2017.

EBYTE. **Manual do usuário: Módulo E95-DTU (400F20-485)**. Shenzhen: EBYTE Technology Co., 2023. 25 p. Disponível em: <https://www.ebyte.com/e95dtu_manual.pdf>. Acesso em: 21 out. 2024.

FREITAS, Carlos Márcio. **Redes de comunicação em RS-485**. Embarcados, 2017

GADELHA, Elano Diógenes. **Desenvolvimento de um protótipo para aquisição de dados de produção industrial utilizando Protocolo MODBUS RTU em uma rede RS-485 e interface gráfica integrada ao gerenciador de banco de dados MYSQL**. 2019.

IOT WORKSHOP. **HF2211 Serial Server Device: User Manual**. Shenzhen: IOT Workshop, 2022. 27 p. Disponível em: <<https://www.flexport.com.br/download/manual-do-usuario-hf2211/>>. Acesso em: 21 out. 2024.

KORTHAUER, Reiner (Ed.). **Lithium-ion batteries: basics and applications**. Springer, 2018.

KUSIAK, R. S. **Modelagem matemática do tempo de vida de baterias de lítio íon polímero a partir de modelos híbridos considerando correntes de descarga variáveis**, 2016. 87p. Dissertação (Mestrado) – Pós Graduação em Modelagem Matemática, Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, 2016.

LOPES, Amanda Ingrid. **Estudo de área de cobertura de dispositivo LORA para ambientes de Smart Campus**. 2019. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Federal do Rio Grande do Norte.

NOVUS PRODUTOS ELETRÔNICOS LTDA. **Conceitos Básicos de RS485 e RS422**. Disponível em: <<https://www.novus.com.br/downloads/Arquivos/conceitos%20b%C3%A1sicos%20de%20rs485%20e%20rs422.pdf>>. Acesso em 30 de mai de 2024.

PLETT, Gregory L. **Battery management systems, Volume II: Equivalent-circuit methods**. Artech House, 2015.

SEALEVEL SYSTEM. **Serial Electrical Interfaces**. 2024.

SEMTECH CORPORATION. **LoRa and LoRaWAN: A Technical Overview**. Technical Paper. 2019.

TEXAS INSTRUMENT. **The RS-485 Design Guide**. 2021. Application Report.

UNIVERSITY, B. (2021). **Comparison table of secondary batteries**. <<https://batteryuniversity.com/article/bu-107-comparison-table-of-secondary-batteries>>. Acesso em: 24/10/2024

WEIS, Olga. **Guia da comunicação RS485**. Eletronic Team Publishment, 2021.

WILLICH, Julia. **Telemetria: saiba o que é, para que serve e entenda como funciona**. Produttivo, 2022. Disponível em: <<https://www.produttivo.com.br/blog/telemetria>>. Acesso em: 20 jun. 2024.

ANEXO A – FOTO DOS DISPOSITIVOS UTILIZADOS

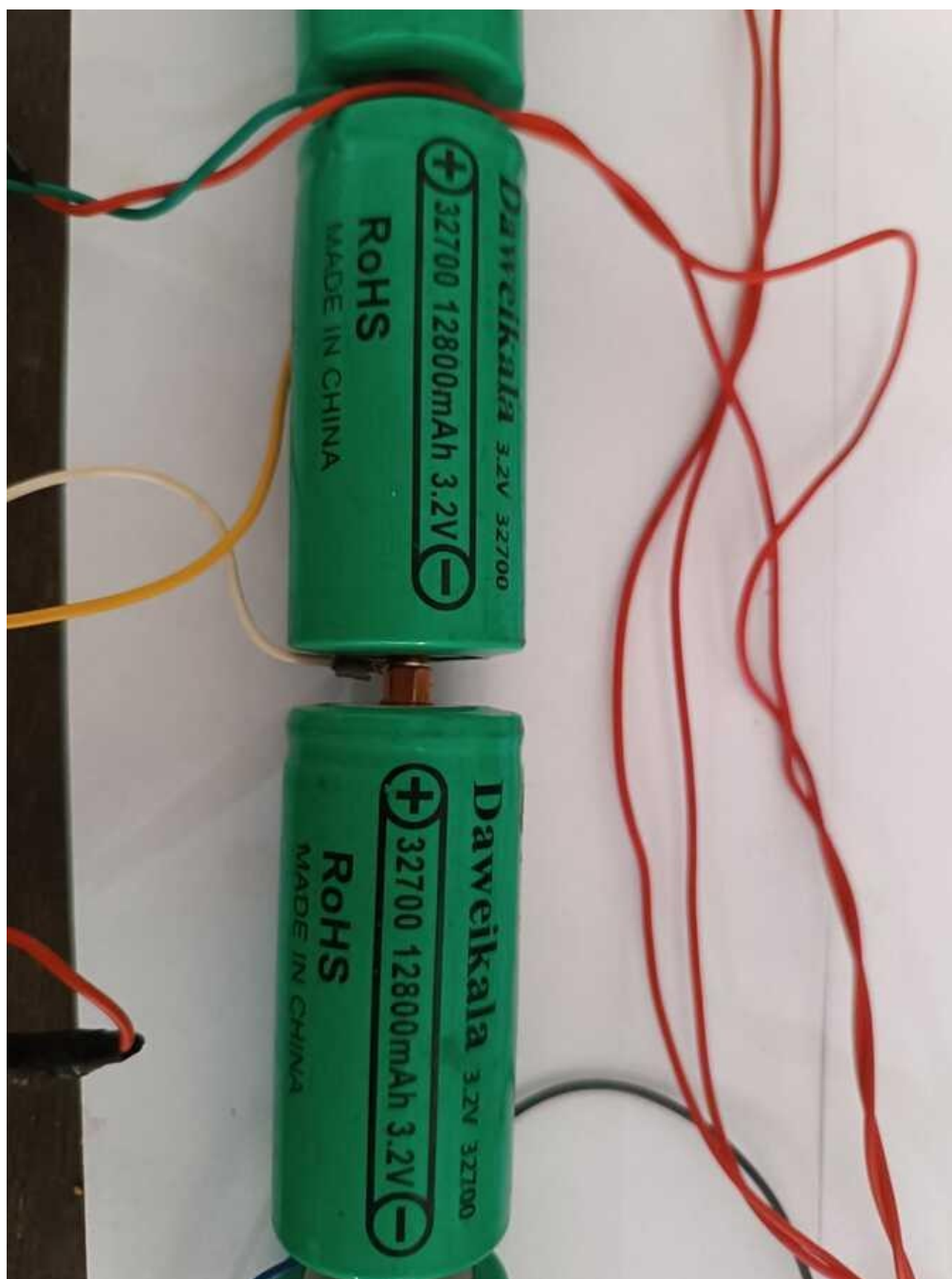


Figura A01- 8 células cilíndrica Daweikala 3.2V 32700 12800mAh RoHS (Configuração em série - 8S)

Fonte: Autor



Figura A02 - - Da empresa HiBMS, também associado a empresa Daly BMS, dispositivo para utilizar em baterias LIFEPO4 na configuração 8S com 24V

Fonte: Autor

Utilizado para limitar a corrente e a tensão de operação do rádio que transmite o sinal vira *wireless*, deixando assim o dispositivo a ele conectado mais seguro em relação a sobrecargas e sobretensão evitando oscilações que possam a vir da fonte alimentação.

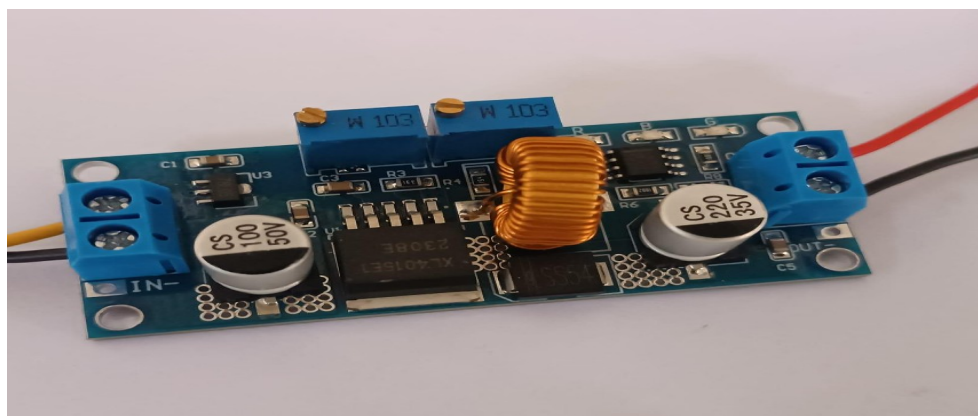


Figura A03 - - Regulador de Corrente e Tensão DC

Fonte: Autor



Figura A04 - - Rádio Wireless LoRa E95-DTU(400F20-485) da empresa Ebyte.

Fonte: Autor

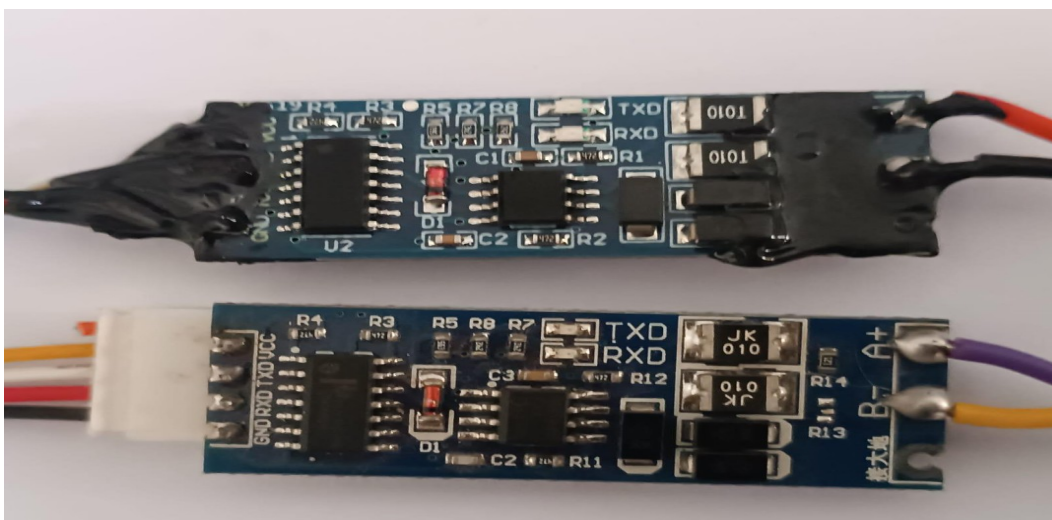


Figura A05 - Módulo Conversor RS485 para TTL Serial Uart, foi necessário para poder converter o sinal que saía do BMS, para ser transmitido pelo rádio.

Fonte: Autor



Figura A06 - - Simulador de Carga da marca Atorch DL24P – 180W, responsável por fazer a descarga da bateria com variáveis ajustáveis, como corrente, potência e tensão contínua, mostrando tempo de descarga, com valores de tensão de corte para evitar o afundamento das baterias

Fonte: Autor



Figura A07 - - Fonte Alimentação Controlada LW LONGWEI 30V/10A – LW-K3010D

Fonte: Autor



Figura A08 - - Conversor RS485 para TCP/IP HF2211

Fonte: Autor

ANEXO B – TABELA DE TODOS OS REGISTRADORES LIDOS

Nº	Tipo	Denominação	Off_Set	Valor	Unidade
1	MEDIÇÃO	Bateria N° 0	Bat_0_serial	X	[V]Volts
2	MEDIÇÃO	Bateria N° 1	Bat_1_serial	X	[V]Volts
3	MEDIÇÃO	Bateria N° 2	Bat_2_serial	X	[V]Volts
4	MEDIÇÃO	Bateria N° 3	Bat_3_serial	X	[V]Volts
5	MEDIÇÃO	Bateria N° 4	Bat_4_serial	X	[V]Volts
6	MEDIÇÃO	Bateria N° 5	Bat_5_serial	X	[V]Volts
7	MEDIÇÃO	Bateria N° 6	Bat_6_serial	X	[V]Volts
8	MEDIÇÃO	Bateria N° 7	Bat_7_serial	X	[V]Volts
9	MEDIÇÃO		Bat_32_serial	30'000	
10	MEDIÇÃO	Volts Total Bateria	Bat_38_serial	X	[V]Volts
11	MEDIÇÃO	Volts Médio das Células	Bat_39_serial	X	[V]Volts
12	MEDIÇÃO	Volts Total Bateria (2)	Bat_40_serial	X	[V]Volts
13	MEDIÇÃO	Corrente Total	Bat_41_serial	X	[A] Ampere
14	MEDIÇÃO	Porcentagem da Bateria	Bat_42_serial	X	[%] Porcentagem
15	MEDIÇÃO	Volts Máx. Célula	Bat_43_serial	X	[V]Volts
16	MEDIÇÃO	Volts Min. Célula	Bat_44_serial	X	[V]Volts
17	MEDIÇÃO		Bat_45_serial	64~75	
18	MEDIÇÃO		Bat_46_serial	64~75	
19	MEDIÇÃO	Estável-Carga-Descarga	Bat_47_serial	0 – 1 – 2	Estágios
20	MEDIÇÃO	Capacidade de Carga	Bat_48_serial	X	Ampere hora (Ah)
21	MEDIÇÃO	Número de Células	Bat_49_serial	X	Numeral
22	MEDIÇÃO	NTC	Bat_50_serial	X	Numeral
23	MEDIÇÃO	Ciclos	Bat_51_serial	X	Numeral
24	MEDIÇÃO		Bat_53_serial	0~1.0	
25	MEDIÇÃO		Bat_54_serial	0~1.0	
26	MEDIÇÃO	Volts Médio das Células (2)	Bat_55_serial	X	[V]Volts

27	MEDIÇÃO		Bat_56_serial		
28	MEDIÇÃO	Fluxo de Potencia	Bat_57_serial	X	[W]Watts
29	MEDIÇÃO		Bat_58_serial	1~18.0	Numeral
30	MEDIÇÃO		Bat_59_serial	1-64.0	
31	MEDIÇÃO		Bat_64_serial	30'000	
1	CONFIGURÁVEL	Capacidade da Bateria	Bat_128_serial	4,8	Ampere Hora(Ah)
2	CONFIGURÁVEL	Valor de Balanceamento da Célula	Bat_129_serial	3.15	[V]Volts
3	CONFIGURÁVEL		Bat_130_serial	1.0	
4	CONFIGURÁVEL	Numero de Células	Bat_131_serial	8.0	Numeral
5	CONFIGURÁVEL	NTC	Bat_134_serial	1.0	Numeral
6	CONFIGURÁVEL		Bat_137_serial	1.0	
7	CONFIGURÁVEL	SLEEP TIME	Bat_138_serial	58'000	Segundos (s)
8	CONFIGURÁVEL	Máx Volts da Célula Nv.1	Bat_139_serial	3,65	[V] Volts
9	CONFIGURÁVEL	Máx. Volts da Célula Nv.2	Bat_140_serial	3,75	[V] Volts
10	CONFIGURÁVEL	Min. Volts da Célula Nv.1	Bat_141_serial	2,50	[V] Volts
11	CONFIGURÁVEL	Min. Volts da Célula Nv.2	Bat_142_serial	2,80	[V] Volts
12	CONFIGURÁVEL	Somat. Máx Volts da Célula Nv.1	Bat_143_serial	29,20	[V] Volts
13	CONFIGURÁVEL	Somat. Máx Volts da Célula Nv.2	Bat_144_serial	30.0	[V] Volts
14	CONFIGURÁVEL	Somat. Min. Volts da Célula Nv.1	Bat_145_serial	20.0	[V] Volts

15	CONFIGURÁVEL	Somat. Min. Volts da Células Nv.2	Bat_146_serial	22,40	[V] Volts
16	CONFIGURÁVEL	Corrente Descarga Nv.1	Bat_147_serial	29'980	[A] Ampere
17	CONFIGURÁVEL	Corrente Descarga Nv.2	Bat_148_serial	29'970	[A] Ampere
18	CONFIGURÁVEL	Corrente Carga Nv.1	Bat_149_serial	30'020	[A] Ampere
19	CONFIGURÁVEL	Corrente Carga Nv.2	Bat_150_serial	30'035	[A] Ampere
20	CONFIGURÁVEL		Bat_151_serial	95.0	
21	CONFIGURÁVEL		Bat_152_serial	105.0	
22	CONFIGURÁVEL		Bat_153_serial	5.0	
23	CONFIGURÁVEL		Bat_155_serial	105.0	
24	CONFIGURÁVEL		Bat_156_serial	110.0	
25	CONFIGURÁVEL		Bat_157_serial	5.0	
26	CONFIGURÁVEL	Dif. Volts do Nv.1	Bat_159_serial	1.150	[V] Volts
27	CONFIGURÁVEL	Dif. Volts do Nv.2	Bat_160_serial	0.950	[V] Volts
28	CONFIGURÁVEL	Dif. Temp. do Nv.1	Bat_161_serial	10.0	[°C] Celsius
29	CONFIGURÁVEL	Dif. Temp. do Nv.2	Bat_162_serial	5.0	[°C] Celsius
30	CONFIGURÁVEL	Tensão de Balanceamento	Bat_163_serial	3.111	[V] Volts
31	CONFIGURÁVEL	Variação do	Bat_164_serial	0.050	[V] Volts

	RÁVEL	Balanceamento			
32	CONFIGU RÁVEL		Bat_165_serial	1.0	
33	CONFIGU RÁVEL		Bat_166_serial	1.0	
34	CONFIGU RÁVEL	Porcentagem Bateria	Bat_167_serial	X	[%] Porcentagem
35	CONFIGU RÁVEL		Bat_168_serial	87.0	
36	CONFIGU RÁVEL		Bat_169_serial	21'552.0	
37	CONFIGU RÁVEL		Bat_170_serial	12'337.0	
38	CONFIGU RÁVEL		Bat_171_serial	24'368.0	
39	CONFIGU RÁVEL		Bat_172_serial	12'593.0	
40	CONFIGU RÁVEL		Bat_173_serial	12'594.0	
41	CONFIGU RÁVEL		Bat_174_serial	12'895.0	
42	CONFIGU RÁVEL		Bat_175_serial	12'595.0	
43	CONFIGU RÁVEL		Bat_177_serial	17'721.0	
44	CONFIGU RÁVEL		Bat_178_serial	12'339.0	
45	CONFIGU RÁVEL		Bat_179_serial	11'568.0	
46	CONFIGU RÁVEL		Bat_180_serial	13'106.0	
47	CONFIGU RÁVEL		Bat_181_serial	17'479.0	

48	CONFIGU RÁVEL		Bat_182_serial	11'603.0	
49	CONFIGU RÁVEL		Bat_183_serial	19'778.0	
50	CONFIGU RÁVEL		Bat_185_serial	12'848.0	
51	CONFIGU RÁVEL		Bat_186_serial	12'851.0	
52	CONFIGU RÁVEL		Bat_187_serial	12'339.0	
53	CONFIGU RÁVEL		Bat_188_serial	12'600.0	
54	CONFIGU RÁVEL		Bat_189_serial	8'224. 0	
55	CONFIGU RÁVEL		Bat_190_serial	8'224. 0	
56	CONFIGU RÁVEL		Bat_191_serial	8'224. 0	
57	CONFIGU RÁVEL		Bat_192_serial	8'224. 0	
58	CONFIGU RÁVEL		Bat_193_serial	8'224. 0	
59	CONFIGU RÁVEL		Bat_194_serial	8'224. 0	
60	CONFIGU RÁVEL		Bat_195_serial	8'224. 0	
61	CONFIGU RÁVEL		Bat_196_serial	8'224. 0	
62	CONFIGU RÁVEL		Bat_197_serial	8'224. 0	
63	CONFIGU RÁVEL		Bat_198_serial	8'224. 0	
64	CONFIGU		Bat_199_serial	8'224. 0	

	RÁVEL				
65	CONFIGU RÁVEL		Bat_200_serial	8'224.0	
66	CONFIGU RÁVEL		Bat_201_serial	12'594.0	
67	CONFIGU RÁVEL		Bat_202_serial	13'108.0	
68	CONFIGU RÁVEL		Bat_203_serial	13'622.0	
69	CONFIGU RÁVEL		Bat_204_serial	5'891.0	
70	CONFIGU RÁVEL		Bat_205_serial	4'608.0	
71	CONFIGU RÁVEL	Numero de Células	Bat_206_serial	8.0	
72	CONFIGU RÁVEL		Bat_207_serial	1.0	
73	CONFIGU RÁVEL		Bat_208_serial	10.0	

Fonte: Autor

ANEXO C – TABELA DOS PRINCIPAIS VALORES DE ANÁLISE

Nº	Tipo	Denominação	Off_Set	Valor	Unidade
1	MEDIÇÃO	Bateria N° 0	Bat_0_ser al	x	[V]Volts
2	MEDIÇÃO	Bateria N° 1	Bat_1_ser al	x	[V]Volts
3	MEDIÇÃO	Bateria N° 2	Bat_2_ser al	x	[V]Volts
4	MEDIÇÃO	Bateria N° 3	Bat_3_ser al	x	[V]Volts
5	MEDIÇÃO	Bateria N° 4	Bat_4_ser al	x	[V]Volts
6	MEDIÇÃO	Bateria N° 5	Bat_5_ser al	x	[V]Volts
7	MEDIÇÃO	Bateria N° 6	Bat_6_ser al	x	[V]Volts
8	MEDIÇÃO	Bateria N° 7	Bat_7_ser al	x	[V]Volts
9	MEDIÇÃO		Bat_32_se rial	---	
10	MEDIÇÃO	Volts Total Bateria	Bat_38_se rial	x	[V]Volts
11	MEDIÇÃO	Volts Médio das Células	Bat_39_se rial	x	[V]Volts
12	MEDIÇÃO	Volts Total Bateria (2)	Bat_40_se rial	x	[V]Volts
13	MEDIÇÃO	Corrente Total	Bat_41_se rial	x	[A] Ampere
14	MEDIÇÃO	Porcentagem da Bateria	Bat_42_se rial	x	[%] Porcentagem
15	MEDIÇÃO	Volts Máx. Célula	Bat_43_se rial	x	[V]Volts
16	MEDIÇÃO	Volts Min. Célula	Bat_44_se rial	x	[V]Volts
17	MEDIÇÃO		Bat_45_se rial	---	
18	MEDIÇÃO		Bat_46_se rial	---	
19	MEDIÇÃO	Estável-Carga- Descarga	Bat_47_se rial	0 – 1 – 2	Estágios
20	MEDIÇÃO	Capacidade de Carga	Bat_48_se rial	x	Ampere hora (Ah)
21	MEDIÇÃO	Número de Células	Bat_49_se rial	x	Numeral
22	MEDIÇÃO	NTC	Bat_50_se	x	Numeral

			rial		
23	MEDIÇÃO	Ciclos	Bat_51_se rial	x	Numeral
24	MEDIÇÃO	Volts Médio das Células (2)	Bat_55_se rial	x	[V]Volts
25	MEDIÇÃO	Fluxo de Potencia	Bat_57_se rial	x	[W]Watts
1	REFERÊNCIA	VALOR DE BASE	Bat_64_se rial	30'000	
1	CONFIGURÁVEL	Capacidade da Bateria	Bat_128_s erial	4.8	Ampere Hora(Ah)
2	CONFIGURÁVEL	Valor de Balanceamento da Célula	Bat_129_s erial	3.15	[V]Volts
3	CONFIGURÁVEL		Bat_130_s erial	1.0	
4	CONFIGURÁVEL	Numero de Células	Bat_131_s erial	8.0	Numeral
5	CONFIGURÁVEL	NTC	Bat_134_s erial	1.0	Numeral
6	CONFIGURÁVEL	SLEEP TIME	Bat_138_s erial	58'000	Segundos (s)
7	CONFIGURÁVEL	Máx Volts da Célula Nv.1	Bat_139_s erial	3.65	[V] Volts
8	CONFIGURÁVEL	Máx. Volts da Célula Nv.2	Bat_140_s erial	3.75	[V] Volts
9	CONFIGURÁVEL	Min. Volts da Célula Nv.1	Bat_141_s erial	2.50	[V] Volts
10	CONFIGURÁVEL	Min. Volts da Célula Nv.2	Bat_142_s erial	2.80	[V] Volts
11	CONFIGURÁVEL	Somat. Máx Volts da Célula Nv.1	Bat_143_s erial	29.20	[V] Volts
12	CONFIGURÁVEL	Somat. Máx Volts da Célula Nv.2	Bat_144_s erial	30.0	[V] Volts
13	CONFIGURÁVEL	Somat. Min. Volts da Célula Nv.1	Bat_145_s erial	20.0	[V] Volts
14	CONFIGURÁVEL	Somat. Min. Volts da Células Nv.2	Bat_146_s erial	22.40	[V] Volts
15	CONFIGURÁVEL	Corrente Descarga Nv.1	Bat_147_s erial	29'980	[A] Ampere
16	CONFIGURÁVEL	Corrente Descarga Nv.2	Bat_148_s erial	29'970	[A] Ampere
17	CONFIGURÁVEL	Corrente Carga Nv.1	Bat_149_s erial	30'020	[A] Ampere
18	CONFIGURÁVEL	Corrente Carga	Bat_150_s	30'035	[A] Ampere

		Nv.2	erial		
19	CONFIGURÁVEL	Dif. Volts do Nv.1	Bat_159_s erial	1.150	[V] Volts
20	CONFIGURÁVEL	Dif. Volts do Nv.2	Bat_160_s erial	0.950	[V] Volts
21	CONFIGURÁVEL	Dif. Temp. do Nv.1	Bat_161_s erial	10.0	[°C] Celsius
22	CONFIGURÁVEL	Dif. Temp. do Nv.2	Bat_162_s erial	5.0	[°C] Celsius
23	CONFIGURÁVEL	Tensão de Balanceamento	Bat_163_s erial	3.111	[V] Volts
24	CONFIGURÁVEL	Variação do Balanceamento	Bat_164_s erial	0.050	[V] Volts
25	CONFIGURÁVEL	Porcentagem Bateria	Bat_167_s erial	X	[%] Porcentagem
26	CONFIGURÁVEL	Número de Células	Bat_206_s erial	8.0	Numeral

Fonte: Autor

ANEXO D – GRÁFICOS DAS PRINCIPAIS VARIÁVEIS

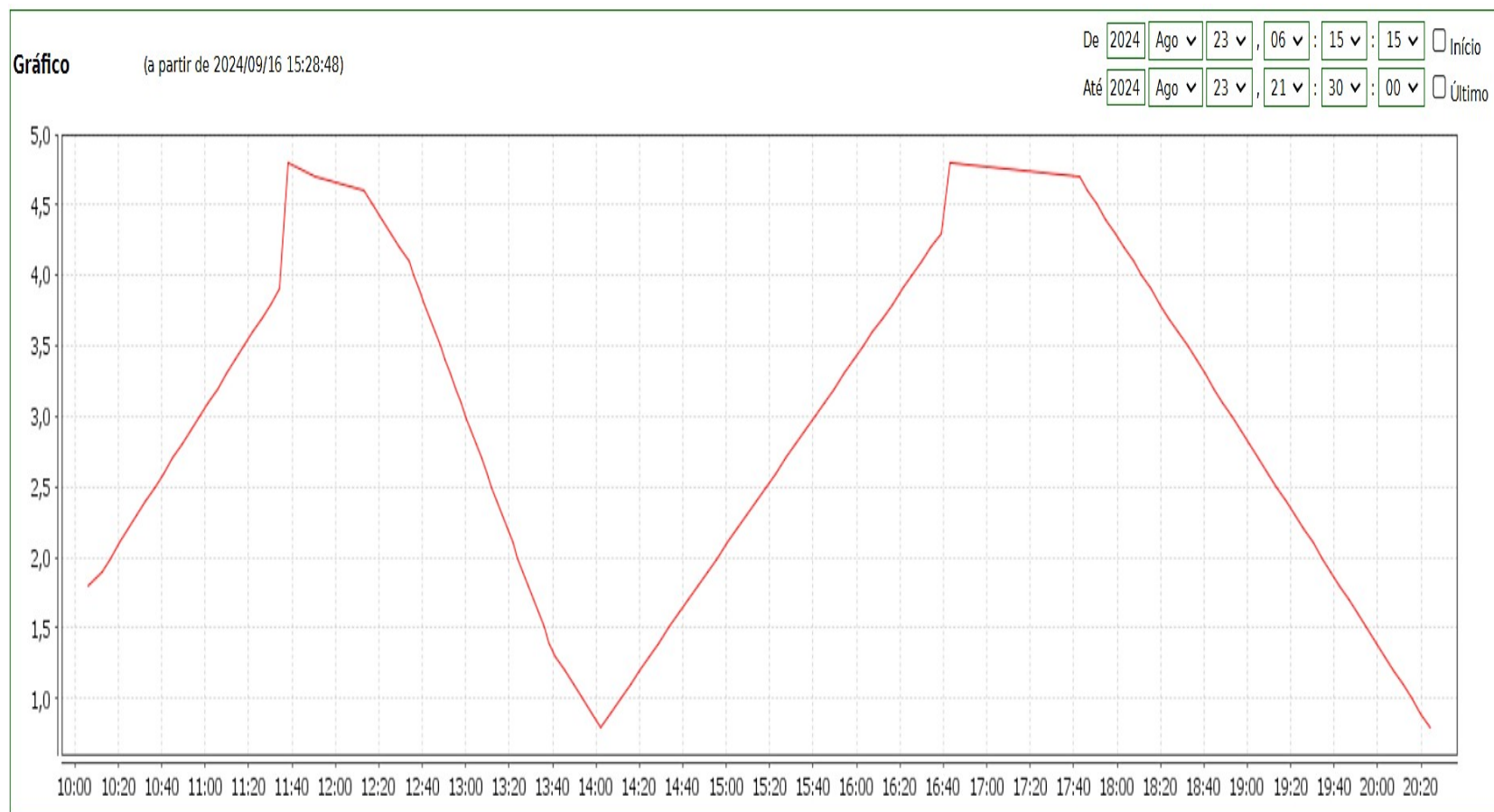


Figura D01 - Gráfico da capacidade de carga

Fonte: Autor

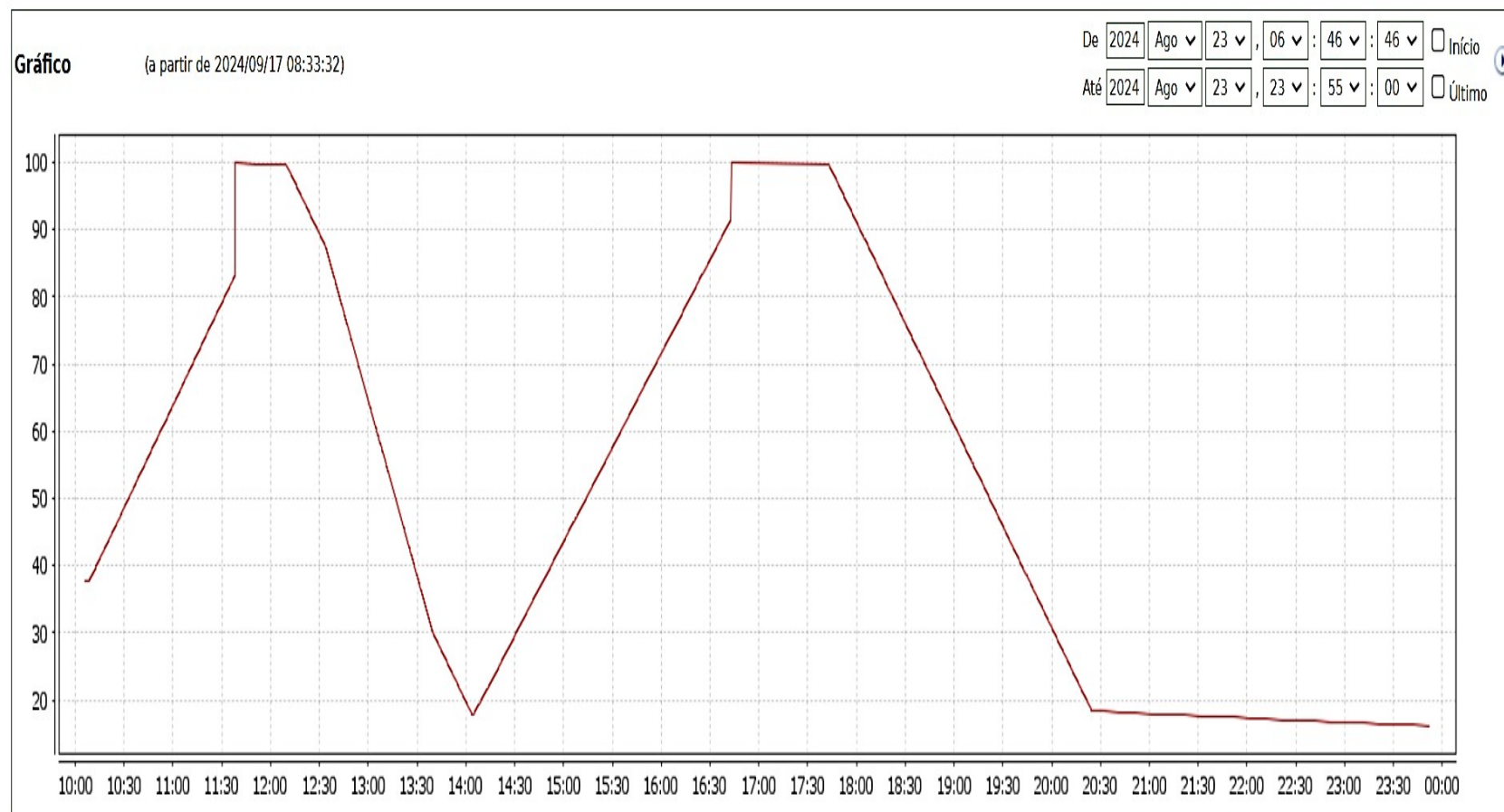


Figura D02 - Gráfico da porcentagem da bateria

Fonte: Autor

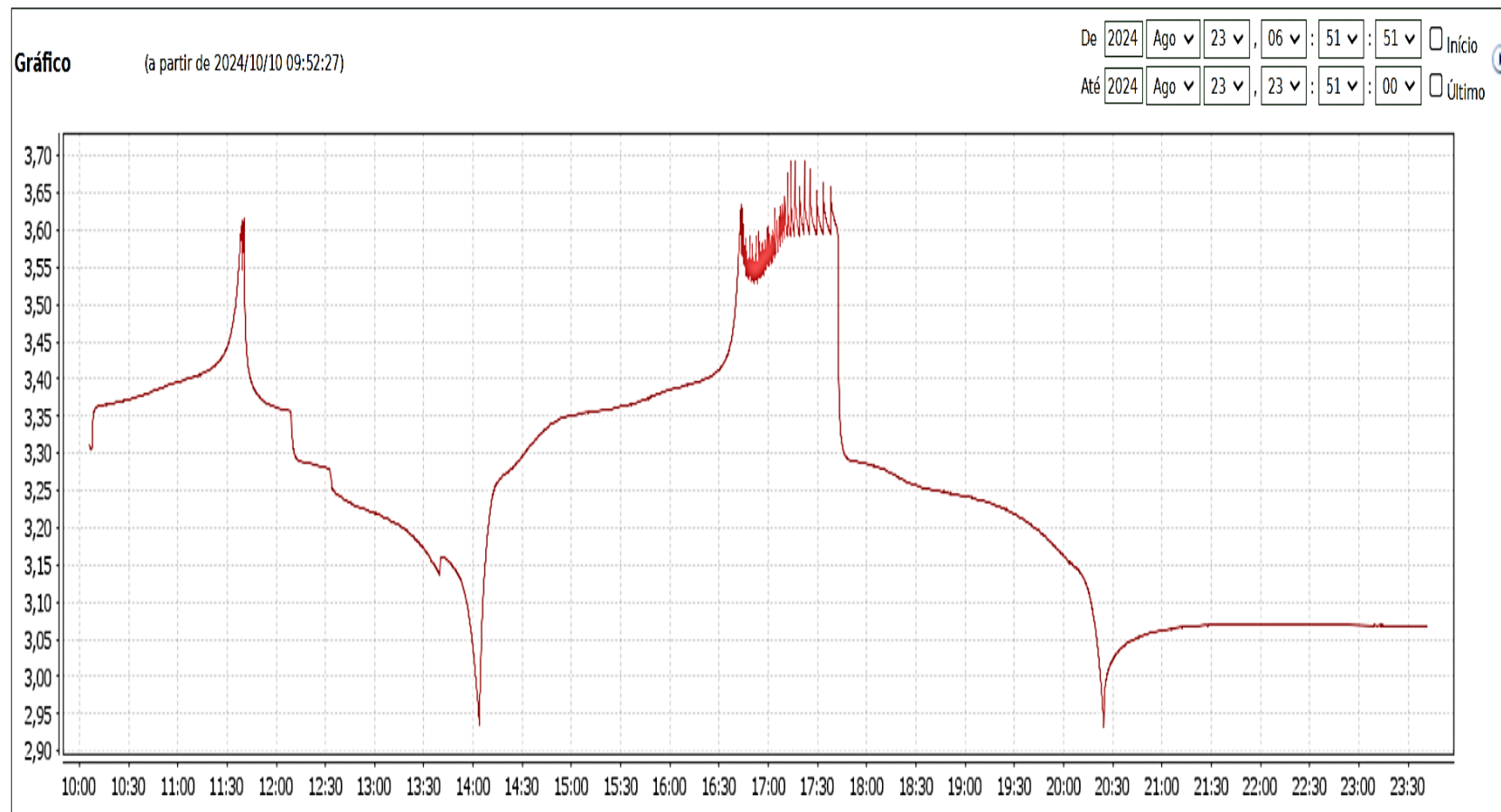


Figura D03 - Gráfico da Tensão Média das Células

Fonte: Autor

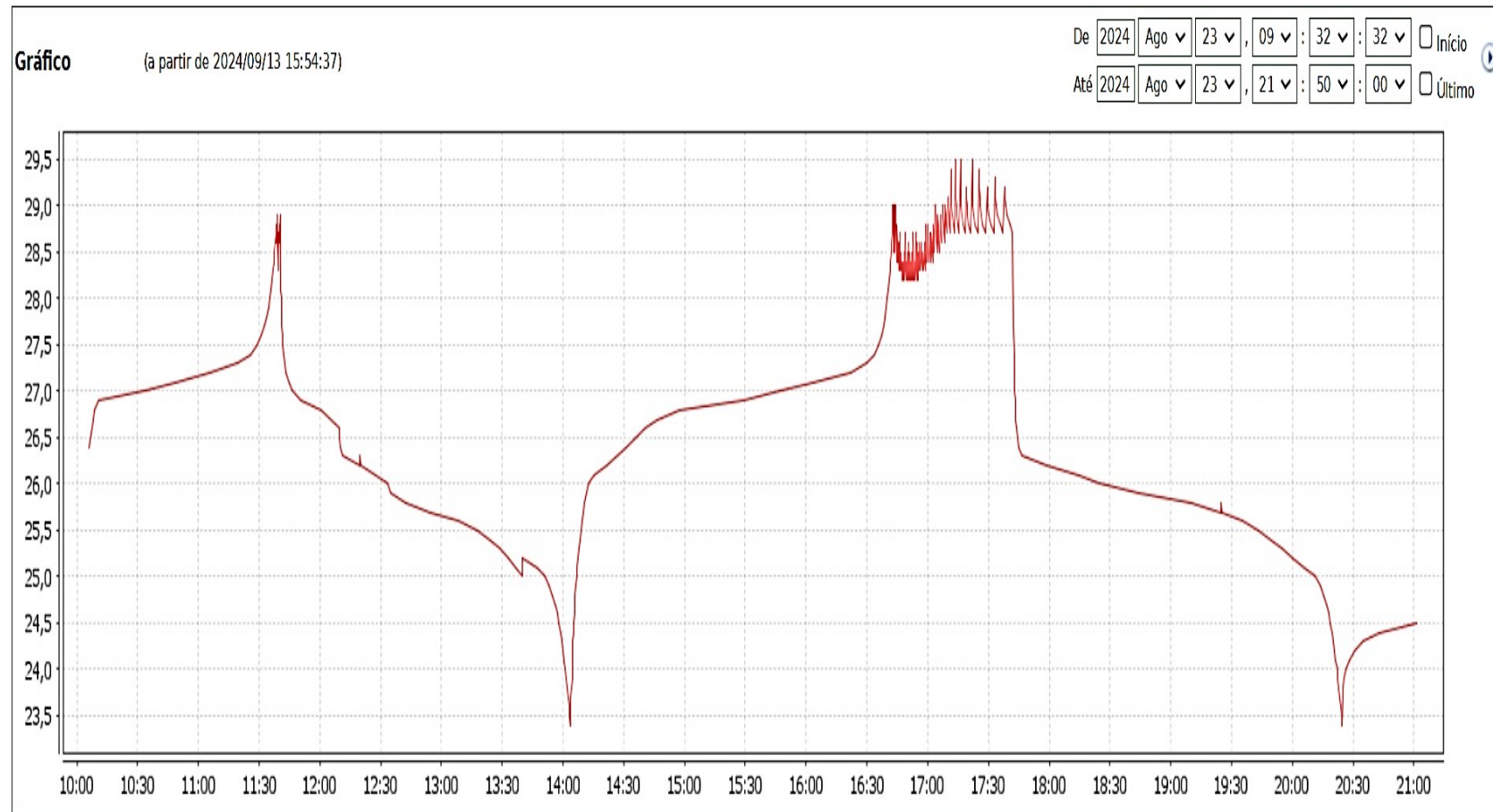


Figura D04 - Gráfico da Tensão Total das Células

Fonte: Autor

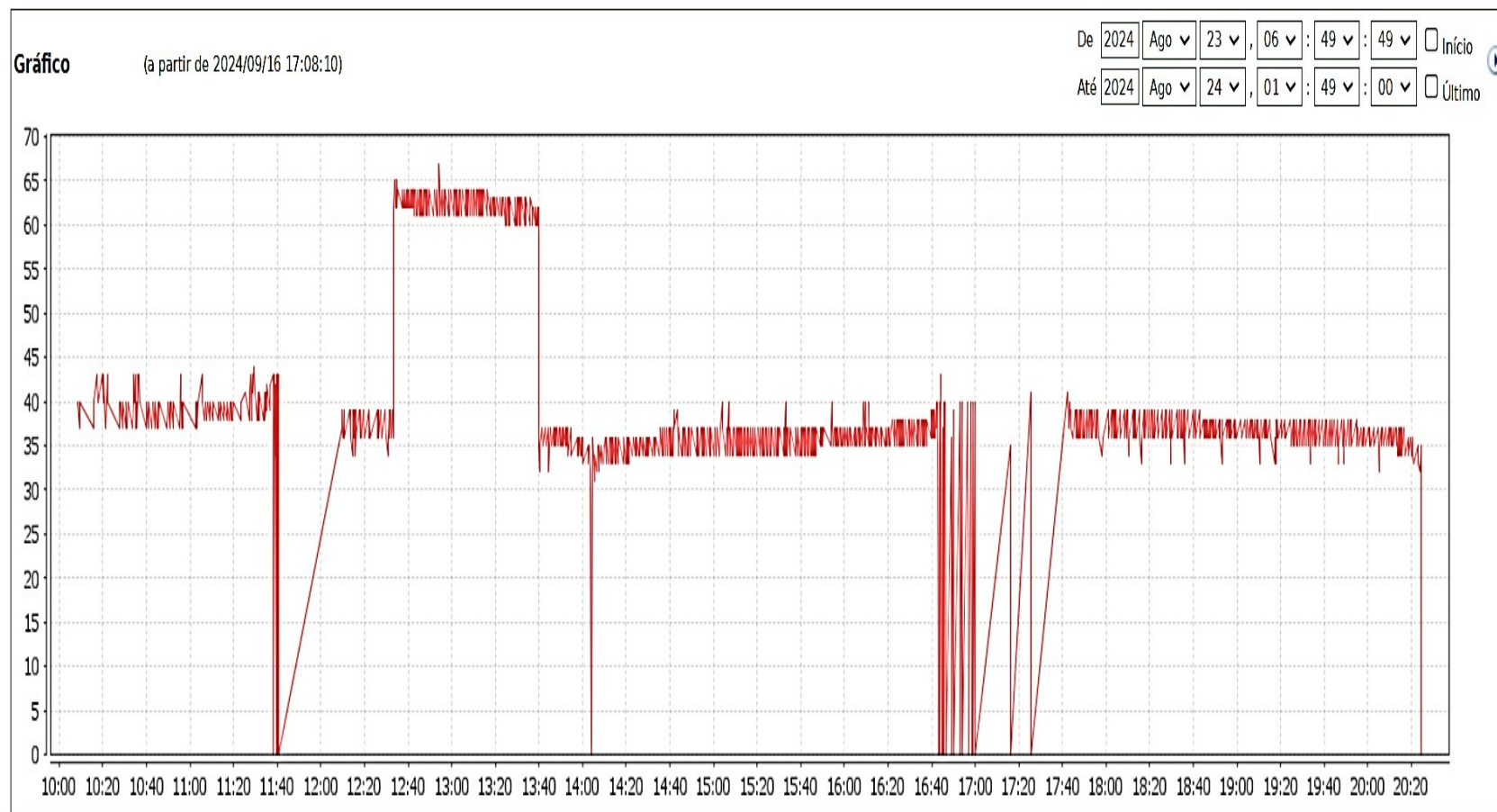


Figura D05 - Gráfico da Potência que flui na bateria

Fonte: Autor

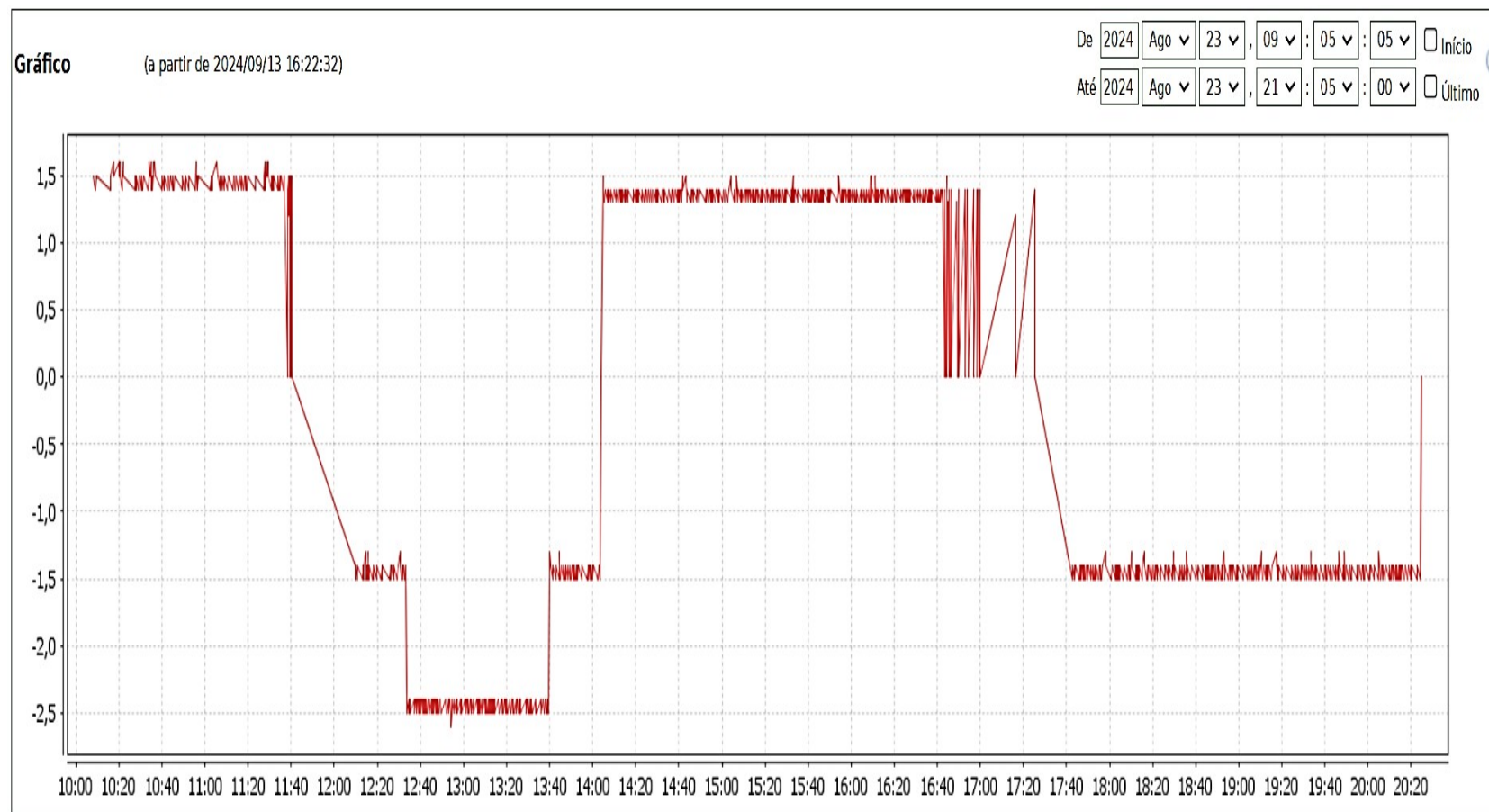


Figura D06 - Gráfico da Corrente que flui na bateria

Fonte: Autor

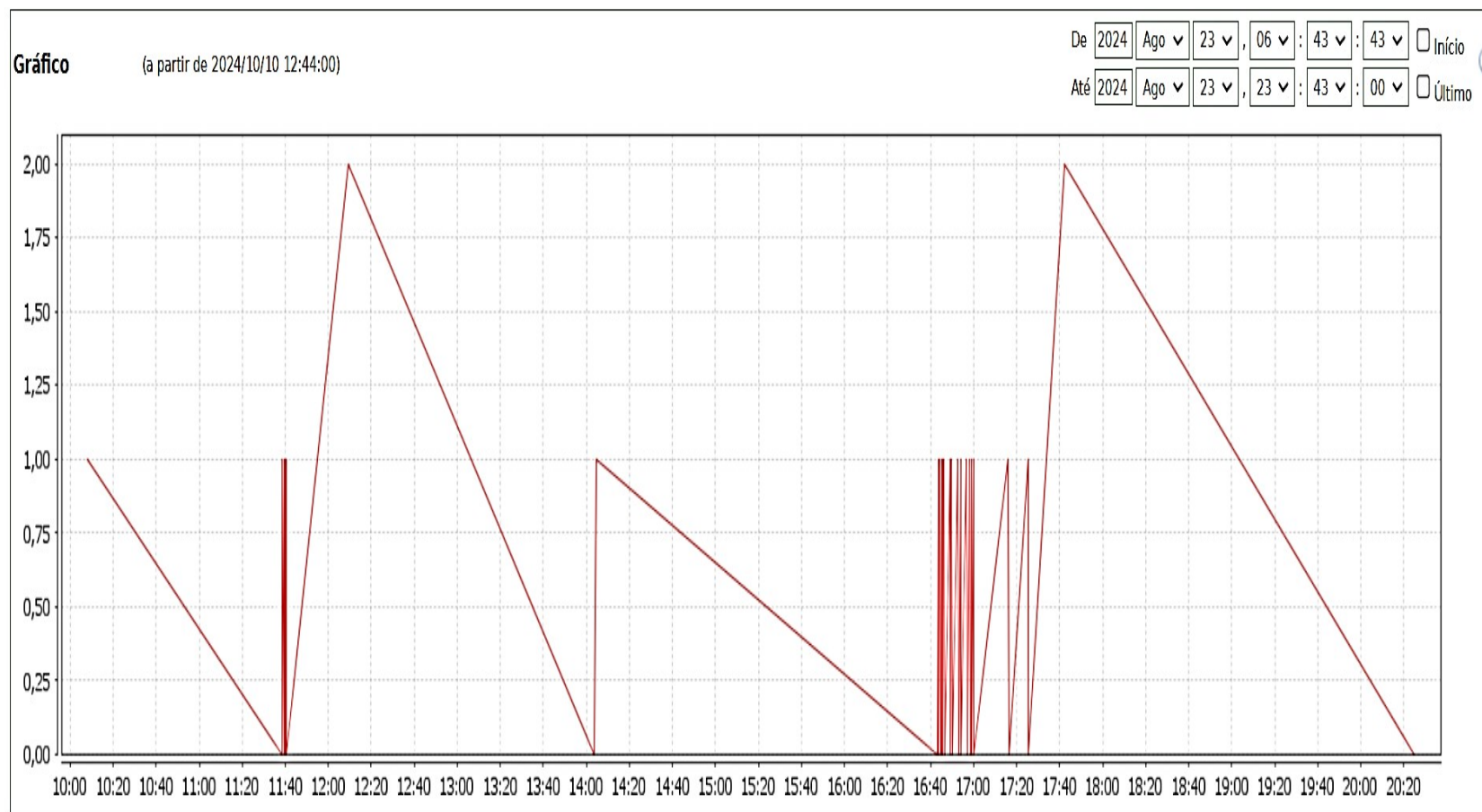


Figura D07 - Gráfico Indicador de Estado

Fonte: Autor