

**UNIVERSIDADE REGIONAL INTEGRADA DO ALTO URUGUAI E DAS MISSÕES
PRÓ-REITORIA DE ENSINO, PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
CÂMPUS DE ERECHIM
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIAS E CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO
CURSO DE ENGENHARIA ELÉTRICA**

SYDMAR SERPA

**DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA DE MONITORAMENTO REMOTO PARA
BANCOS DE BATERIAS ESTACIONÁRIAS**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

**ERECHIM - RS
2022**

SYDMAR SERPA

**DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA DE MONITORAMENTO REMOTO PARA
BANCOS DE BATERIAS ESTACIONÁRIAS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Elétrica como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Elétrica, Departamento de Engenharias e Ciência da Computação da Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões – Câmpus de Erechim.

Orientadora: Prof.^a Camila Sampaio dos Reis

ERECHIM - RS

2022

SYDMAR SERPA

**DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA DE MONITORAMENTO REMOTO PARA
BANCOS DE BATERIAS ESTACIONÁRIAS**

**Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
ao Curso de Engenharia Elétrica como requi-
sito parcial à obtenção do título de Bacharel
em Engenharia Elétrica, Departamento de
Engenharias e Ciência da Computação da
Universidade Regional Integrada do Alto
Uruguai e das Missões – Câmpus de Erechim.**

Erechim, 09 de dezembro de 2022.

BANCA EXAMINADORA

Prof.^a Ma. Camila Sampaio dos Reis (Orientadora)
URI Erechim

Prof. Dr. Cássio Luciano Baratieri (Examinador)
URI Erechim

Prof. Me. Clemerson Alberi Pedroso (Examinador)
URI Erechim

Dedico este trabalho a mim mesmo, pois só eu sei das dificuldades que passei e o que enfrentei para chegar aqui hoje.

*São as nossas escolhas, Harry,
que revelam o que realmente somos,
muito mais do que as nossas qualidades.*

(Alvo Dumbledore)

RESUMO

O presente trabalho tem como meta o desenvolvimento de um protótipo para aquisição e transmissão de grandezas físicas relacionadas ao monitoramento de baterias e bancos de baterias estacionárias do tipo chumbo-ácidas. Bancos de baterias desse tipo são largamente difundidos e aplicados nas mais diversas finalidades, sendo a utilização em uma usina hidrelétrica o padrão adotado para delimitação de parâmetros e aplicabilidade que norteiam o estudo em questão. Foi realizada uma revisão de literaturas que descreviam e contextualizavam as características inerentes as baterias, seus princípios de funcionamento e demarcavam parâmetros possíveis de serem medidos ou obtidos por intermédio de análises mais aprofundadas. Também foram analisados trabalhos similares ao que este estudo propõe, o que permitiu definir quais seriam os fatores a serem monitorados pelo protótipo. A metodologia escolhida para o desenvolvimento foi a implementação prática direta dos componentes definidos, buscando a medição das grandezas selecionadas, atrelado ao estudo da maneira de mensurar e tratar em *software* os dados aquisitados. Os resultados obtidos neste estudo servirão como fonte de dados para trabalhos posteriores relacionados ao monitoramento de baterias, pois além de prover uma metodologia alinhada com as inovações do mercado, disponibilizará medições em períodos de tempo suficientes para prevenir que falhas aconteçam. Pode-se concluir que o protótipo tem o objetivo de ser um mecanismo que possa auxiliar e otimizar as atividades de manutenção dos bancos, agregando praticidade, confiabilidade, simplicidade e custo baixo.

Palavras-chave: Baterias Estacionárias. Monitoramento Remoto. Usina Hidrelétrica.

ABSTRACT

The present work aims to develop a prototype for the acquisition and transmission of quantities related to the monitoring of batteries and banks of stationary lead-acid batteries. Battery banks of this type are widely disseminated and applied in the most diverse purposes, and the use in a hydroelectric plant is the standard adopted for delimiting parameters and applicability that guide the study in question. A literature review was carried out that describes and contextualize the inherent characteristics of batteries, their operating principles and demarcated parameters that could be measured or obtained through more in-depth analyses. Similar works to the one proposed in this study were also analyzed, which made it possible to define which factors would be monitored by the prototype. The methodology chosen for the development was the direct practical implementation of the defined components, seeking to measure the selected quantities, linked to the study of the way to measure and treat the acquired data in software. The results obtained in this study will serve as a source of data for further work related to battery monitoring, as in addition to providing an expanded methodology with market innovations, it will provide controls at sufficient time intervals to prevent failures from occurring. It can be concluded that the prototype aims to be a mechanism that can help and optimize the maintenance activities of banks, adding practicality, reliability, simplicity and low cost.

Keywords: Stationary Batteries. Remote Monitoring. Hydroelectric Power Plant.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Principais baterias primárias e secundárias.....	16
Figura 2 – Bateria Chumbo Ácida	17
Figura 3 – Princípio de operação de descarga (à esquerda) e carga (à direita)	18
Figura 4 – Bateria VLA	19
Figura 5 – Bateria VRLA	20
Figura 6 – Baterias em série e diferenças de tensão.....	21
Figura 7 – Capacidade da bateria em baixas temperaturas.....	21
Figura 8 – Capacidade da bateria em temperaturas elevadas.....	22
Figura 9 – Metodologias para a obtenção do estado de carga de uma bateria.....	23
Figura 10 – DHT11 internamente.....	23
Figura 11 – Medição de umidade no DHT11.....	24
Figura 12 – Medição de temperatura no DHT11	24
Figura 13 – IC do DHT11.....	24
Figura 14 – Comunicação do DHT11.....	25
Figura 15 – MLX81101 e MLX90302.....	25
Figura 16 – MLX90614 <i>pinout</i>	26
Figura 17 – PCB traseira do MLX90614.....	26
Figura 18 – <i>Shunt</i>	27
Figura 19 – ESP32.....	27
Figura 20 – ESP32 diagrama de blocos.....	28
Figura 21 – Diagrama de blocos do projeto de Patil, Kendre e Prasad	29
Figura 22 – Diagrama de blocos do projeto de Mohamed, Faezahbintiabdghani e Hamid	30
Figura 23 – Diagrama de blocos do projeto de Kumar et al.	30
Figura 24 – Diagrama de blocos do projeto de Menezes.....	31
Figura 25 – Fluxograma de desenvolvimento do projeto.....	33
Figura 26 – MLX90614.....	36
Figura 27 – DHT11.....	36
Figura 28 – SHUNT	37
Figura 29 – ESP32 Dev kit V1.....	38
Figura 30 – Fluxograma do protótipo.....	38
Figura 31 – Implementação prática do MLX90614.....	39
Figura 32 – Leitura da variação de tensão pelo oscilógrafo.....	39
Figura 33 – Leitura da variação de tensão pelo ADC do ESP32.....	40
Figura 34 – Mapeamento da rampa de subida do sinal pelo ADC do ESP32.....	40
Figura 35 – Mapeamento da rampa de subida do sinal pelo oscilógrafo.....	41
Figura 36 – Linearização da leitura do oscilógrafo.....	41
Figura 37 – Erro entre sinal do ESP e do oscilógrafo.....	42
Figura 38 – Obtenção do polinômio de erro.....	42
Figura 39 – Medição de temperatura e umidade com DHT11	43

Figura 40 – Phoenix Contact MACX MCR-UI-UI-UP.....	43
Figura 41 – Diagrama de entradas e saídas do amplificador isolador.....	44
Figura 42 – Módulo SPI para cartão SD.....	44
Figura 43 – Arquivo salvo no cartão SD.....	45
Figura 44 – Gráfico de temperatura da bateria.....	45
Figura 45 – Gráfico de tensão da bateria.....	46
Figura 46 – Página WEB.....	46
Figura 47 – Validação da medição de temperatura e umidade ambiente.....	47
Figura 48 – Validação da medição de temperatura do objeto.....	48
Figura 49 – Validação da medição de tensão da bateria.....	48
Figura 50 – Verificação da operacionalidade do condicionador de sinal.....	49
Figura 51 – Mensagem enviada pelo microcontrolador Coletor.....	50
Figura 52 – Mensagem recebida pelo microcontrolador Receptor.....	50

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Custos Coletor.....	51
Tabela 2 – Custos Receptor.....	51

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ADC	Analog-to-Digital Converter
CAN	Controller Area Network
CC	Corrente Contínua
DDP	Diferença de potencial
DMA	Direct Memory Access
EEPROM	Electrically-Erasable Programmable Read-Only Memory
GPIO	General Purpose Input Output
GSM	Global System for Mobile communication
I2C	Inter-Integrated Circuit (Circuito Inter-integrado)
I2S	Integrated Inter-IC Sound
IC	Integrated Circuit
IDE	Integrated Development Environment
IoT	Internet of Things
LCD	Liquid Crystal Display
LED	Light emitting diode
JSON	JavaScript Object Notation
MAC	Media Access Controller
NTC	Negative Temperature Coefficient
PCB	Printed Circuit Board
PWM	Pulse With Modulation (Modulação por largura de pulso)
ROM	Random Only Memory
RTC	Real Time Clock
SD	Secure Digital
SDA	Serial Data
SCL	Serial Clock
SMBus	Serial ModBus
SoC	State-of-Charge
SoH	State-of-Health
SoF	State-of-Function
SPI	Serial Peripheral Interface
SRAM	Static Random Access Memory
TSMC	Taiwan Semiconductor Manufacturing Co

TX/RX	Transmit Power/Receive Power
UART	Universal Asynchronous Receiver/Transmitter
VCC	Volts em Corrente Contínua
VLA	Vented Lead Acid (Chumbo Ácida Ventilada)
VRLA	Valve Regulated Lead Acid (Chumbo Ácida Regulada por Válvula)
wi-fi	Wireless Fidelity

LISTA DE SÍMBOLOS

Mbps	Mega bits por segundo
Pb	Chumbo
PbO ₂	Óxido de chumbo
PbSO ₄	Sulfato de chumbo

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	14
1.1 Objetivos	15
1.1.1 Objetivo Geral	15
1.1.2 Objetivos Específicos	15
2 REVISÃO DE LITERATURA	16
2.1 Baterias	16
2.2 Baterias Chumbo Ácidas	17
2.2.1 Princípio de Operação	18
2.2.2 Baterias VLA e VRLA	19
2.2.3 Fatores que comprometem a capacidade das baterias	20
2.3 Componentes para medição e processamento	23
2.4 Estudos similares	29
3 METODOLOGIA	32
3.1 Parâmetros	34
3.2 Configuração e implementação dos sensores	35
3.2.1 Medição de tensão por elemento	35
3.2.2 Medição de temperatura por elemento	35
3.2.3 Medição de temperatura e umidade ambiente	36
3.2.4 Medição da corrente do banco	37
3.3 Microcontrolador	37
3.4 Implementação Prática	38
4 RESULTADOS	47
4.0.1 Custos	51
4.1 Trabalhos Futuros	51
5 CONCLUSÃO	53
REFERÊNCIAS	55

1 INTRODUÇÃO

A evolução da tecnologia teve o papel de findar conceitos culturais tidos como pilares indestrutíveis nas formas de trabalho, tais como: limitação de fronteiras geográficas e tipos de conhecimento aplicados, além de tantos outros desenvolvidos pela sociedade com o passar do tempo (SOUTO; SA, 2002).

Tendo a sociedade tomada por empreendimentos automatizados, os seres humanos executam cada vez menos atividades repetitivas e manuais, ficando essas, a cargo de máquinas e equipamentos tecnológicos. Assim, o trabalhador deve buscar o desenvolvimento da capacidade intelectual em detrimento de atividades “rústicas”, aplicando o conhecimento adquirido na otimização de seu trabalho, gerando a necessidade de adquirir constantemente novas habilidades (SOUTO; SA, 2002).

A chegada da automação também possibilitou a criação e desenvolvimento de equipamentos e técnica que desencadearam um aumento na produção industrial, facilitaram o trabalho do homem e aumentaram a qualidade do produto, além de um salto na qualidade de vida da própria população (LIMA, 2003).

A automação de usinas de geração é um campo em constante crescimento no ramo energético. Trata-se de uma procura histórica de formas de conectar ilhas de dados isolados às partes distintas do sistema como um todo (KELLY-DETWILER, 2017). Nas últimas décadas, os sistemas de controle em plantas de geração de energia evoluíram para sistemas não prioritários, com *hardware* e *software* abertos, integrando o máximo de instrumentos, dos mais variados fabricantes, visando a automação total do empreendimento (LEIMBACH, 2009).

Além da busca pela automação, a necessidade de sistemas confiáveis e ininterruptos também tem elevada prioridade na implantação de usinas hidrelétricas e subestações, uma vez que estas são construídas em locais remotos e isolados, com pouca ou nenhuma infra estrutura urbana próxima.

O serviço auxiliar em corrente contínua é um dos componentes mais críticos dos sistemas de proteção, controle e monitoramento de unidades de geração de energia elétrica e subestações. Qualquer falha no sistema pode fazer com que os equipamentos do sistema de proteção sejam incapazes de detectar falhas no sistema, que seccionadores e disjuntores não possam abrir, etc. O sistema em CC é composto por um ou mais bancos de baterias, um ou mais carregadores, um sistema de distribuição, chaves, dispositivos de proteção e equipamentos de monitoramento (CARVALHO, 2016).

Caso ocorra uma falha na alimentação em corrente alternada ou defeito no carregador, as baterias devem alimentar todos os consumidores até que o problema seja resolvido, sendo o banco de baterias dimensionado para suprir a demanda nos piores cenários de carga, seja ela da natureza intermitente, contínua ou momentânea (CARVALHO, 2016).

Em virtude disso, o presente trabalho visa ampliar o leque de informações monitoradas em bancos de baterias, as quais auxiliarão na tomada de decisões e otimizarão os procedimentos de manutenção de uma usina hidrelétrica, por meio da criação de um equipamento microprocessado para coletar e transmitir via comunicação sem fio, os dados operacionais de baterias.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo Geral

Desenvolver um sistema de monitoramento remoto para bancos de baterias estacionárias com objetivo de implantar soluções eficazes para avaliar e monitorar a integridade de baterias utilizadas em subestações e usinas de geração de energia.

1.1.2 Objetivos Específicos

- Compreender o funcionamento de baterias estacionárias;
- Identificar normas e parâmetros (grandezas fundamentais e derivadas) a serem monitoradas em baterias estacionárias;
- Adquirir conhecimento sobre os métodos de medição a serem utilizados;
- Realizar simulações e validar o funcionamento do sistema proposto de forma experimental.
- Realizar a calibração do sistema de medição proposto;
- Apresentar um estudo de custos relacionado à sua implementação;

2 REVISÃO DE LITERATURA

Neste capítulo serão descritos os conceitos acerca das características e princípios de operação de baterias, com ênfase no modelo a ser empregado no projeto. Também serão mencionados os componentes eletrônicos empregados na realização do trabalho e suas particularidades. Por fim, estudos similares realizados na área de interesse serão referenciados, a fim de contextualizar o estudo desenvolvido.

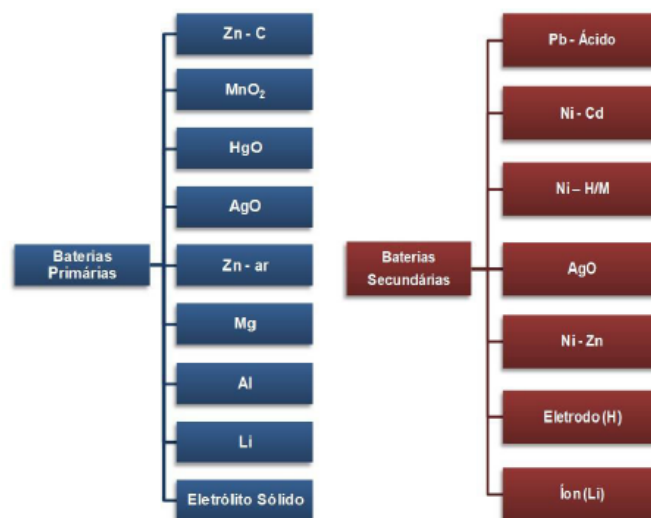
2.1 Baterias

Tão importantes quanto as usinas geradoras, sistemas compactos como as pilhas e baterias elétricas fornecem energia à sociedade moderna, alimentando eletrodomésticos e veículos. As pilhas e as baterias são exemplos de dispositivos que convertem a energia química em energia elétrica (CARNEIRO et al., 2017).

No dia a dia usamos os termos pilha e bateria indistintamente. Pilha é um dispositivo constituído unicamente de dois eletrodos e um eletrólito, arranjados de maneira a produzir energia elétrica. Bateria é um conjunto de pilhas agrupadas em série ou paralelo, dependendo da exigência por maior potencial ou corrente (BOCCHI; FERRACIN; BIAGGIO, 2000).

Linden e Reddy (2002) definem as baterias e células eletroquímicas com base em sua capacidade de serem eletricamente recarregáveis, sendo identificadas como primárias (não-recarregáveis) ou secundárias (recarregáveis), vide Figura 1.

Figura 1 – Principais baterias primárias e secundárias



Fonte: Adaptado de Carneiro et al. (2017)

Uma pilha ou bateria secundária consiste num conjunto de geradores que utiliza as reações eletroquímicas que diferentemente dos sistemas primários são passíveis de ser eletricamente invertidas. Isto significa que os seus reagentes químicos podem ser reconvertidos até quantidades muito próximas às iniciais por intermédio da passagem de uma corrente elétrica que flui no seu interior. Por isso estas baterias podem ser recarregadas, tendo assim ciclos de vida mais longos (CARNEIRO et al., 2017).

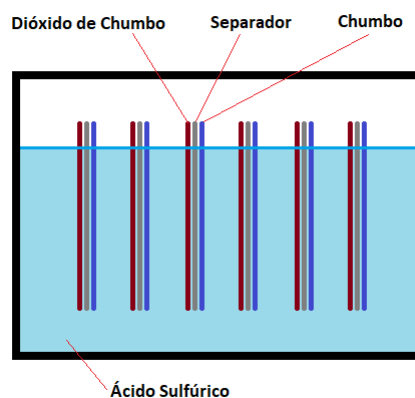
Baterias secundárias existem há mais de 100 anos, sendo a bateria de chumbo ácido desenvolvida primeiramente por Planté, em 1859, o tipo de bateria mais utilizado desde então, até a atualidade, ainda que tenha sofrido muitas mudanças de design e melhorias nos quesitos de durabilidade, segurança, capacidade, entre outros, com o passar dos tempos (LINDEN; REDDY, 2002).

2.2 Baterias Chumbo Ácidas

O amplo uso de baterias chumbo ácidas nos mais variados designs, tamanhos e níveis de tensão, é resultado de seu baixo preço e a facilidade de fabricação em uma base local. A bateria chumbo ácida é quase sempre o acumulador menos custoso para qualquer aplicação, ainda assim provendo uma boa performance e características de duração (LINDEN; REDDY, 2002).

A bateria chumbo ácida compreende duas placas de chumbo quimicamente diferentes numa solução de ácido sulfúrico diluído. A placa positiva contém dióxido de chumbo PbO_2 , e a placa negativa contém chumbo puro em uma forma esponjosa, conforme ilustrado na Figura 2. Quando imersa em ácido sulfúrico diluído, o potencial elétrico nominal entre as duas placas é 2 volts. Essa tensão é universal para todas as baterias chumbo ácidas (BATTERY, 2017).

Figura 2 – Bateria Chumbo Ácida

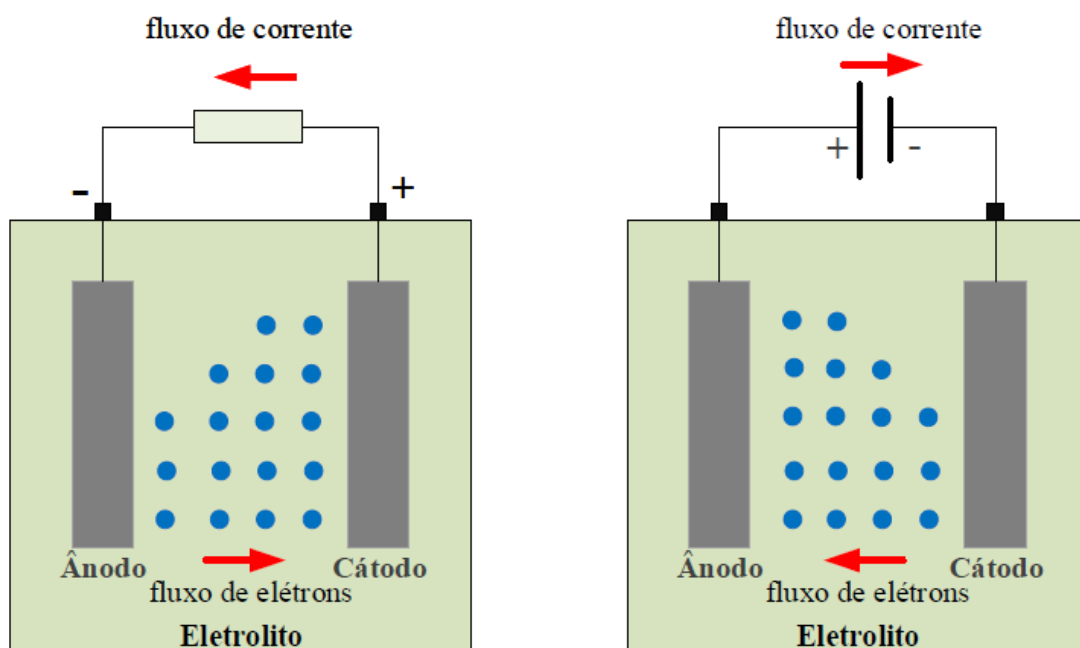


Fonte: Adaptado de Carneiro et al. (2017)

2.2.1 Princípio de Operação

A corrente elétrica que é gerada pelas baterias é resultado de um processo eletroquímico de oxirredução, onde os elétrons são transferidos através de um meio condutor, de um elemento que oxida (ânodo) para um elemento que reduz (cátodo), vide Figura 3. A junção desses elementos é chamada de célula eletroquímica, a qual é formada por dois condutores, denominados eletrodos. O meio de transferência chama-se eletrólito (TEIXEIRA, 2018).

Figura 3 – Princípio de operação de descarga (à esquerda) e carga (à direita)



Fonte: Adaptado de Teixeira (2018)

O material ativo positivo é um dióxido de chumbo altamente poroso e o ativo negativo é composto de chumbo finamente dividido. O eletrólito é ácido sulfúrico diluído, o qual toma parte no processo de descarga. May, Davidson e Monahov (2018) A medida que a bateria chumbo-ácido é descarregada, o ácido sulfúrico é consumido e água é produzida.

Convenciona-se dizer que uma espécie sofreu oxidação quando esta doou ou perdeu elétrons para outra. Paralela e complementarmente, quando esta espécie recebe elétrons de outra, esta sofre o que se chama de redução. A espécie que sofre oxidação é chamada de agente redutor e a espécie que sofre redução é chamada de agente oxidante. Estas duas reações são parciais, pois nenhuma pode ocorrer sozinha, sendo assim, as duas reações precisam ocorrer simultaneamente (CARNEIRO et al., 2017).

O fluxo dos elétrons do ânodo para o cátodo gera uma DDP entre os eletrodos, por onde

a corrente elétrica irá fluir, quando uma carga for conectada. A recarga da bateria acontece quando uma corrente é aplicada sobre os eletrodos, causando uma reação inversa no interior das células (TEIXEIRA, 2018).

Dado que o potencial de circuito aberto depende da concentração de ácido sulfúrico no eletrólito e da temperatura, o valor deste potencial para um único par de eletrodos varia de 2,15 V, no estado carregado, até 1,98 V, no estado descarregado, a temperatura ambiente (CARNEIRO et al., 2017).

2.2.2 Baterias VLA e VRLA

Existem dois grupos básicos de baterias chumbo ácidas: Baterias ventiladas (VLA) e baterias reguladas por válvula (VRLA).

O grupo de baterias ventiladas (VLA) de chumbo ácido, Figura 4, possuem aberturas, permitindo que o gás escape de seu interior sem que a pressão no interior da célula não se altere. Elas podem ser empilhadas quando necessário e são mais tolerantes quanto ao aumento de temperatura de operação e sobre cargas. O eletrólito livre também facilita o resfriamento da bateria (BATTERY, 2017).

Figura 4 – Bateria VLA



Fonte: Adaptado de Marine How To

As baterias reguladas por válvula (VRLA), Figura 5, são um importante avanço na tecnologia de fabricação de baterias chumbo ácidas. Essas baterias operam no princípio da recombinação do oxigênio, usando um eletrólito imobilizado. O oxigênio gerado no eletrodo positivo, durante a carga pode, nessas baterias, difundir-se para o eletrodo negativo, onde pode reagir na presença do ácido sulfúrico, com o chumbo recém-formado. O design das baterias VRLA reduz as emissões de gás em mais de 95% assim como a geração de hidrogênio também é suprimida (LINDEN; REDDY, 2002).

Figura 5 – Bateria VRLA



Fonte: Adaptado de NEWMAX (2021)

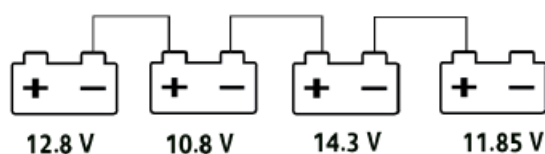
O grupo de baterias de chumbo ácidas seladas, também conhecidos como livres de manutenção, são selados em um invólucro com uma válvula de alívio de pressão, a qual limita que os gases do processo escapem para o ambiente, quando mantidos abaixo de uma pressão de alívio, daí surge o termo regulada por válvula (BATTERY, 2017).

2.2.3 Fatores que comprometem a capacidade das baterias

A bateria de chumbo ácido não é fisicamente reversível, como é quimicamente, porém sua degradação física pode ser minimizada a partir de métodos de recarga apropriados (LINDEN; REDDY, 2002).

Um banco de baterias conectadas em série pode resultar em uma não equalização da tensão dos elementos como resultado de uma recarga, visto que a resistência interna pode sofrer por perdas de propriedades químicas, como exemplificado na Figura 6. Se essa desigualdade nos níveis de tensão for tão grande, a ponto de tornar-se uma sobre tensão, a vida útil da bateria também pode ser comprometida e, a longo prazo, o banco como um todo (PEREIRA, 2016).

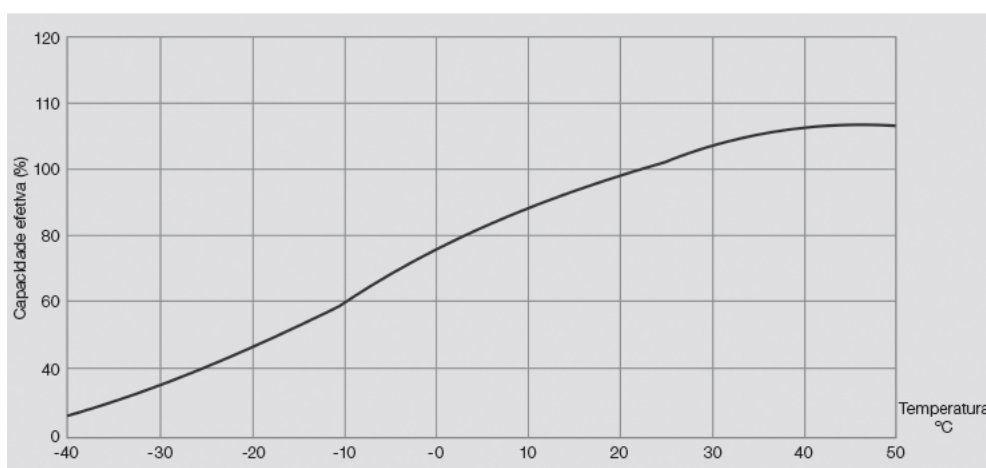
Figura 6 – Baterias em série e diferenças de tensão



Fonte: Adaptado de Pereira (2016)

A capacidade de descarga das baterias também varia com a temperatura. Quanto menor a temperatura, menor a capacidade das baterias, conforme Figura 7. A capacidade de descarga de uma bateria aumenta com a temperatura. Porém, temperaturas muito altas reduzirão drasticamente o tempo de vida útil da bateria. A melhor temperatura de operação das baterias situa-se entre 20 °C a 25 °C (WEG, 2019).

Figura 7 – Capacidade da bateria em baixas temperaturas

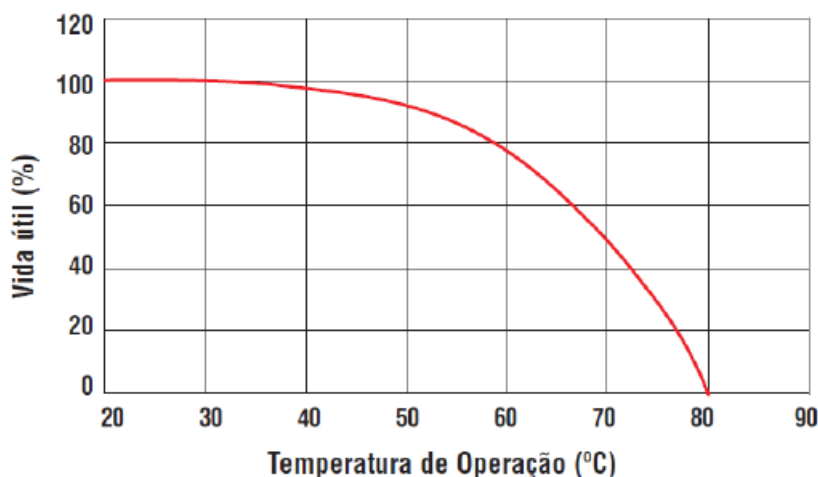


Fonte: Adaptado de WEG (2019)

Assim como em baixas temperaturas, Group (2020) relata que existem muitos estudos sobre os resultados de elevações de temperatura em baterias, e o que eles revelam em comum, é que a performance é drasticamente afetada, assim como o tempo de vida, o que pode ser visto na Figura 8. Os estudos também mostram que para cada aumento de 8°C, uma bateria selada

diminui sua vida pela metade, e sendo assim, quando danificada por temperatura, a capacidade nunca mais volta ao seu estado anterior.

Figura 8 – Capacidade da bateria em temperaturas elevadas



Fonte: Adaptado de Pereira (2016)

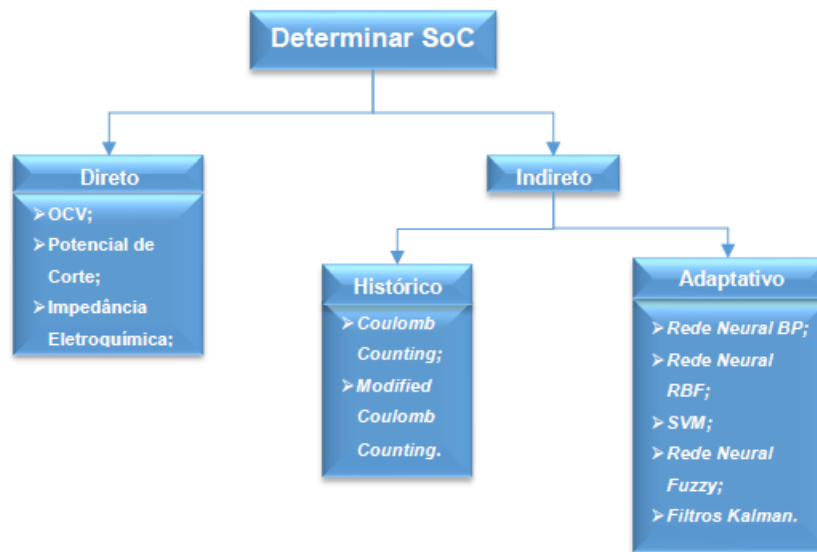
Para Pereira (2016), elevados patamares de umidade ambiente também podem resultar em problemas, pois resulta em oxidação dos terminais elétricos, deteriorando as partes metálicas, aumentando a resistência da conexão local, além de defeitos em placas eletrônicas do carregador e inversor, quando associados as baterias.

A quantidade de carga presente em uma bateria é chamada de **estado de carga**, ou SoC, *State of Charge*, medida em Ampères/hora, e depende da corrente e da temperatura no momento da descarga, variando ainda conforme as características eletroquímicas da bateria e de sua impedância. Não existe uma metodologia padrão para a obtenção do SoC de uma bateria, porém diversos autores disponibilizam modelos a serem utilizados, conforme mostra a Figura 9 (PIRANI, 2017).

Segundo He et al. (2013), o SoC é um dos parâmetros mais importantes na verificação de operacionalidade das baterias, todavia, não pode ser medido, mas sim, estimado indiretamente por meio de métodos, resultando em um dos maiores desafios no gerenciamento de sistemas de baterias.

Outro parâmetro verificável é o **estado de vida**, ou SoH, *State of Health*, que também varia com a temperatura e corrente de descarga, como no SoC, porém a forma como a bateria foi utilizada é igualmente considerada. A intenção de levantar o SoH da bateria é saber quando ela deve ser substituída, descrevendo a capacidade de armazenamento máximo em qualquer momento de sua vida útil, ou seja, sua degradação (PIRANI, 2017).

Figura 9 – Metodologias para a obtenção do estado de carga de uma bateria



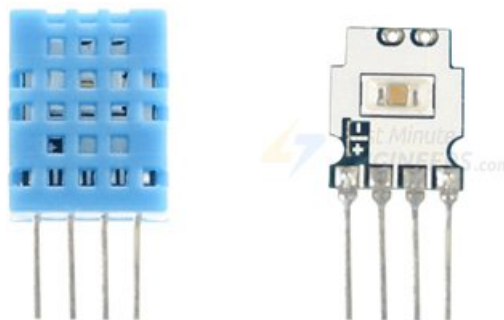
Fonte: Adaptado de Pirani (2017)

O último parâmetro relacionado ao estado operacional de baterias é o **estado de funcionamento**, ou SoF, *State of Function*, o qual determina se a potência que o elemento pode fornecer é suficiente para a tarefa a ser executada, em outras palavras, o pico de corrente demandado.

2.3 Componentes para medição e processamento

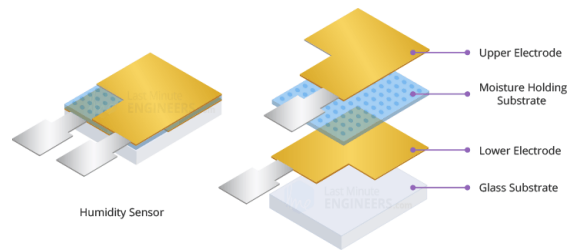
A medição de umidade do DHT11, Figura 10, é realizada por um sensor capacitivo, o qual possui dois eletrodos separados por um substrato de retenção de umidade, conforme Figura 10. Enquanto o vapor de água é absorvida pelo substrato, íons são liberados, o que aumenta a condutividade entre os eletrodos, tornando a condutividade diretamente proporcional a umidade (ENGINEERS, 2022).

Figura 10 – DHT11 internamente



Fonte: Adaptado de Engineers (2022)

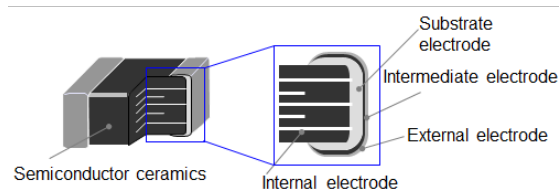
Figura 11 – Medição de umidade no DHT11



Fonte: Adaptado de Engineers (2022)

Para a medição de temperatura, o DHT11 utiliza um termistor NTC, representado pela Figura 12, ou seja, um sensor com resistência variável, onde sua variação é inversamente proporcional a temperatura. Graças aos materiais semicondutores utilizados, polímeros ou cerâmicos, uma pequena mudança na temperatura acarreta num aumento elevado na resistência (ALI, 2019).

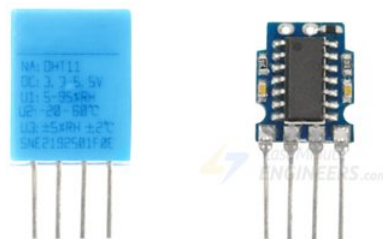
Figura 12 – Medição de temperatura no DHT11



Fonte: Adaptado de Panasonic (2022)

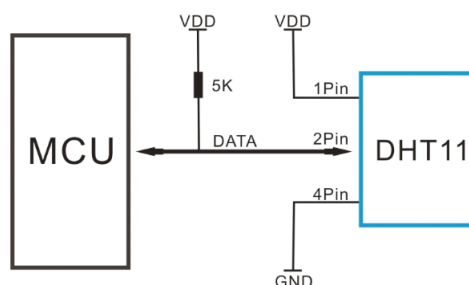
No verso da PCB do DHT11 é implementado um circuito integrado de 8 bits, apresentado na Figura 13, que recebe os sinais analógicos dos sensores de umidade e temperatura, com coeficientes de calibração embutidos, e envia os sinais digitais, após a conversão analógica-digital. (ENGINEERS, 2022) A comunicação é em um fio com protocolo serial de duas vias, ou seja, por um único pino, o DHT11 recebe o comando do microcontrolador, e responde com o dado requisitado, conforme mostra a Figura 14 (ALI, 2019).

Figura 13 – IC do DHT11



Fonte: Adaptado de Engineers (2022)

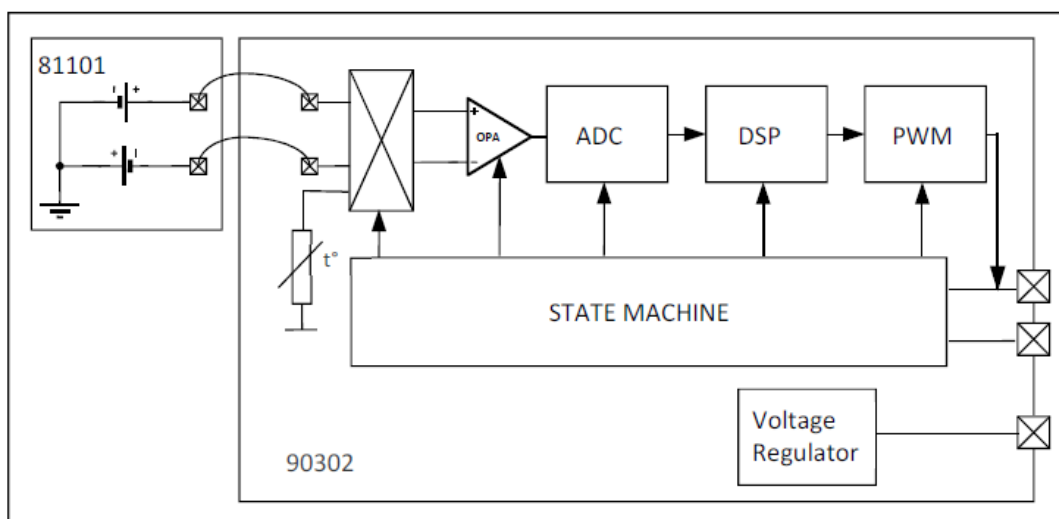
Figura 14 – Comunicação do DHT11



Fonte: Adaptado de Ali (2019)

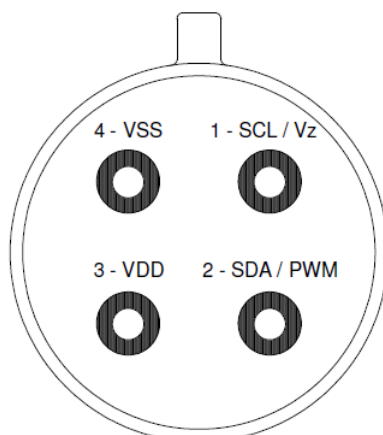
O MLX90614 é constituído de dois *chips* fabricados pela Melexis: O sensor de temperatura infra vermelho MLX81101 e o condicionador de sinal MLX90302, o qual é especialmente projetado para processar o sinal do sensor em um range de -70°C até 382.2°C , com uma resolução de 0.02°C e precisão de 0.5°C , a temperatura ambiente. Também é equipado com um filtro óptico passa altas, o qual filtra a luz visível e próximas do infra-vermelho, garantindo imunidade a luz ambiente e solar. O diagrama de blocos simplificado do sensor é mostrado na Figura 15 (MELEXIS, 2019).

Figura 15 – MLX81101 e MLX90302



Fonte: Adaptado de Melexis (2019)

A comunicação dos dados pode ocorrer de duas formas, via serial modbus a dois fios pelos pinos SDA e SCL, compatível com I2C, ou via PWM, a qual deve ser selecionada via EEPROM, pois de fábrica o protocolo padrão é SMBus. A descrição dos pinos do componente é mostrada na Figura 16 (MELEXIS, 2019).

Figura 16 – MLX90614 *pinout*

Fonte: Adaptado de Melexis (2019)

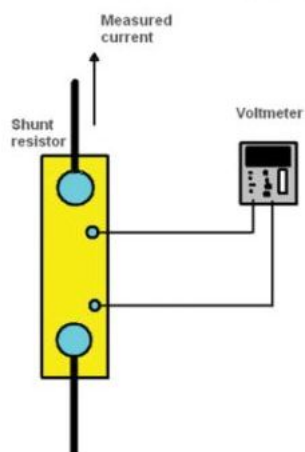
Quando montado em uma PCB com interface I2C, Figura 17, o circuito periférico é constituído por 2 resistores 4K7 *pull up* conectados aos terminais SDA e SCL, e um regulador de tensão de precisão 662k de 3.3VCC com dois capacitores de 1 micro Farad conectados, um na entrada e um na saída, do regulador, o qual pode ser alimentado em 3.3VCC ou 5VCC.

Figura 17 – PCB traseira do MLX90614



Fonte: Adaptado de MakersPortal (2021)

O *shunt*, representado pela Figura 18, é o responsável por mensurar a corrente em série entre as baterias e o consumidor. Teschler (2018) descreve-o como um resistor de baixo valor, utilizado para medir corrente, conectado em série com o circuito. Um instrumento para medir tensão é conectado em paralelo ao *shunt* e, conforme a lei de Ohm, a queda de tensão na resistência pode ser verificada. Para que as perdas por aquecimento sejam mínimas, a resistência do dispositivo não deve ser maior que alguns miliohms.

Figura 18 – *Shunt*

Fonte: Adaptado de Teschler (2018)

O ESP32, Figura 19, é um chip desenvolvido pela Espressif com a tecnologia TSMC 40nm de ultra baixa potência, com a finalidade de ser robusto, versátil e confiável, nas mais diversas aplicações. Equipado com wi-fi e bluetooth 2.4Ghz é indicado para *mobile*, eletrônicos vestíveis e aplicações IoT, contando com o que há de mais avançado em recurso para chips de baixa potência, montado em uma PCB minúscula (SYSTEMS, 2019).

Figura 19 – ESP32



Fonte: Adaptado de Curvello (2018)

Principais características do ESP32, Figura 20:

Processador:

- Microprocessador Tensilica Xtensa 32-bit LX6 dual core;

Memória:

- ROM: 448 KB;
- SRAM: 520 KB;

- RTC SRAM: 16 Kb;

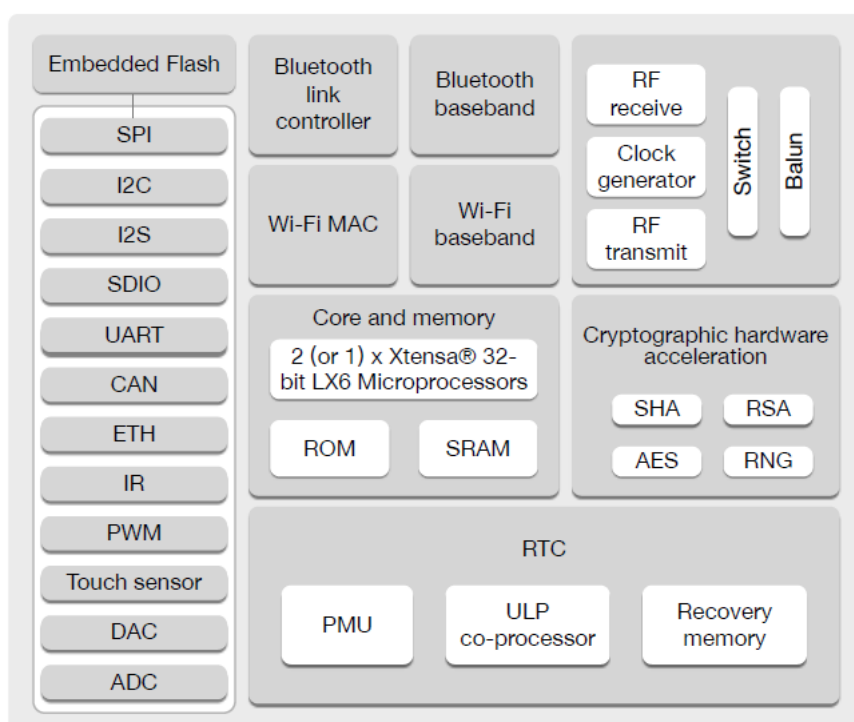
Periféricos de Entrada/Saída:

- Ethernet MAC interface com suporte a DMA e IEEE 1588;
- 34 GPIOs programáveis;
- 12 canais de conversor analógico-digital de 12-bits;
- 2 canais de 8 bits conversor digital-analógico;
- 10 sensores *touch*;
- 2 Interfaces I2C;
- 3 interfaces UART;
- Controlador CAN 2.0;
- 4 interfaces SPI;
- 2 interfaces I2S;
- 16 canais de PWM;
- sensor de efeito hall;
- infra vermelho (TX/RX);

Conectividade sem fio:

- Wi-Fi: 802.11 b/g/n (802.11n (2.4GHz) até 150 Mbps);
- Bluetooth: v4.2 BR/EDR e Bluetooth Low Energy;

Figura 20 – ESP32 diagrama de blocos



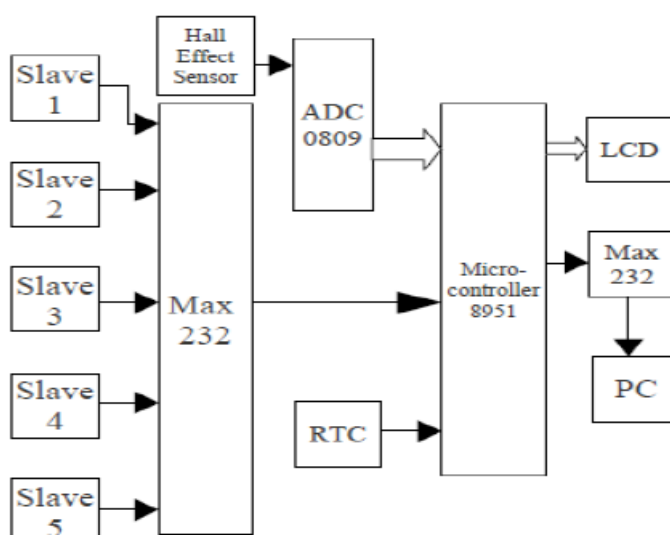
Fonte: Adaptado de Systems (2019)

2.4 Estudos similares

O monitoramento de baterias é de suma importância em aplicações como veículos elétricos, sistemas de energia ininterrupta, telecomunicações, entre outros. Um tópico que há tempos tem sido discutido, é a precisão dos componentes empregados nesses sistemas, tendo como um valor de aproximadamente 10% sido considerado aceitável (KUMAR et al., 2018).

O estudo sugerido por Patil, Kendre e Prasad (2011), monitora a tensão da bateria, corrente do banco e temperatura ambiente, além da temperatura e nível do eletrólito, utilizando a arquitetura de mestre e escravo, visto na Figura 21. Com essas informações o tempo de horas restante de uma bateria em um veículo híbrido é obtido, mostrando esses dados em um *display* LCD ou em um computador.

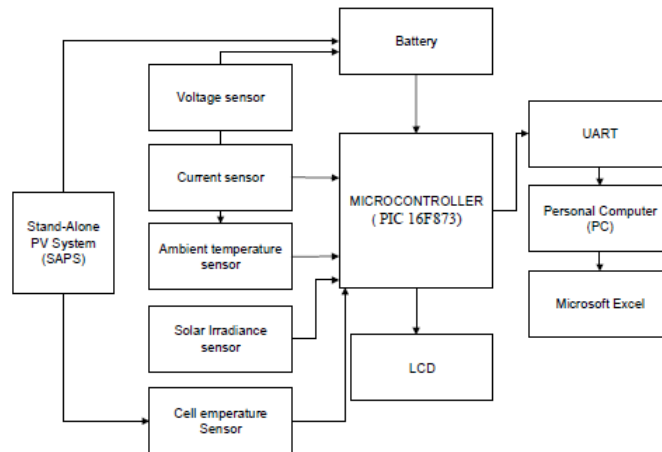
Figura 21 – Diagrama de blocos do projeto de Patil, Kendre e Prasad



Fonte: Adaptado de Patil, Kendre e Prasad (2011)

Já Mohamed, Faezahbintiabdghani e Hamid (2021) empregam o microcontrolador PIC 16F873 para o monitoramento de tensão e corrente da bateria, temperatura ambiente, temperatura da célula e irradiação incidente, tendo como finalidade a aplicação em sistemas fotovoltaicos, Figura 22. O protótipo também é capaz de exibir os dados em um *display* LCD, além de transferí-los via comunicação para um computador.

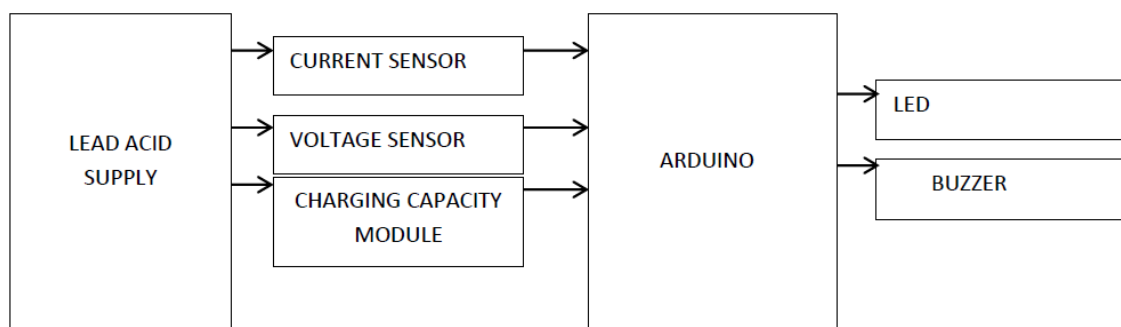
Figura 22 – Diagrama de blocos do projeto de Mohamed, Faezahbintiabdghani e Hamid



Fonte: Adaptado de Mohamed, Faezahbintiabdghani e Hamid (2021)

Outro estudo similar, feito por Kumar et al. (2018) e apresentado na Figura 23, é direcionado apenas ao monitoramento da tensão, corrente e estado de carga de uma bateria, onde a verificação de uma tensão abaixo de determinado valor, aciona um *buzzer* e faz com que um LED pisque em simultaneamente. Para isso, um circuito divisor de tensão realiza a leitura da grandeza e a envia para uma entrada analógica do microcontrolador Arduino Nano, o qual, por intermédio de seu conversor ADC, realiza o tratamento do sinal e controle das saídas para o *buzzer* e LED.

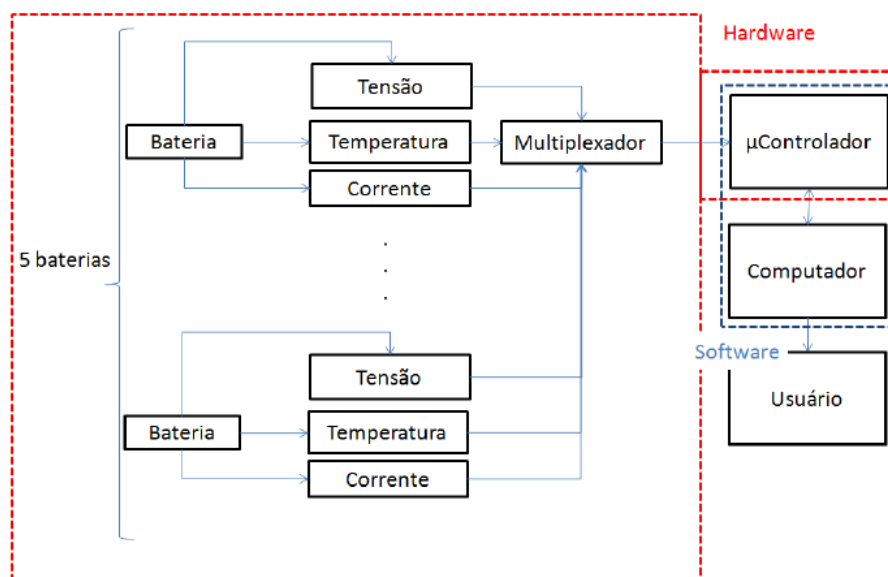
Figura 23 – Diagrama de blocos do projeto de Kumar et al.



Fonte: Adaptado de Kumar et al. (2018)

Similarmente, Menezes (2013) desenvolve um sistema de monitoramento de baixo custo, com tratamento de dados em *software*, visando apenas a verificação de tensão, temperatura e corrente, exemplificado na Figura 24, pois considera que o levantamento da resistência interna é demasiado complexo, ficando de fora do escopo.

Figura 24 – Diagrama de blocos do projeto de Menezes.



Fonte: Adaptado de Menezes (2013)

Por outro lado, o estudo desenvolvido por Pirani (2017) mostra que o estado de uma bateria chumbo-ácida não pode ser verificado baseando-se apenas em medições de tensão dos elementos, sendo necessário conhecer o estado operacional da bateria, ou seja, seu estado de carga, de vida e de funcionamento, sendo essas características intrínsecas de cada célula. Para a obtenção desses resultados são realizados cálculos de aspectos cinéticos e de fenômenos de transporte, além do uso de metodologias específicas para o levantamento dos estados fundamentais.

Pesenti (2012) observa que fabricantes e usuários de baterias tem procurado a implantação de metodologias *on-line* de avaliação do estado de degradação da bateria, ou seja, sem necessidade de desconexão dos elementos de seus consumidores. Em seu protótipo ele realiza a medição da tensão elétrica, nível do eletrólito, temperatura ambiente, resistência de interconexão e corrente de *ripple* através de uma chamada "unidade de medição", a qual transmite via comunicação sem fio para uma "unidade de controle", que por sua vez armazena e processa os dados para depois enviar via rede GSM até um servidor. Entre as técnicas empregadas destaca-se a medição da resistência por meio da impedância, aplicando uma corrente alternada em frequência conhecida.

3 METODOLOGIA

O protótipo em estudo deverá atender as necessidades verificadas nas rotinas de manutenção de uma usina hidrelétrica, localizada entre os estados de Santa Catarina e Rio Grande do Sul, servindo como complemento as atividades já executadas, sem o intuito de realizar a análise dos estados de carga, vida ou funcionamento das baterias e sim, otimizar o processo atualmente existente, onde são realizadas inspeções trimestrais, nas quais os níveis de tensão de cada elemento e do banco devem ser mensurados.

Complementarmente, a cada dois anos deve ser realizada uma descarga controlada, como teste de capacidade dos elementos, o que demanda um elevado volume de medições e anotações, as quais são manualmente realizadas com um multi-teste, onde um colaborador verifica a tensão do elemento e dita para outro, o qual anota em uma planilha impressa o valor.

Após o levantamento de dados em campo, a planilha é manualmente digitalizada e anexada a ordem de serviço que rege a atividade.

A planta conta com os seguintes bancos de baterias:

- 2 bancos de baterias de 60 elementos cada;

Tensão de flutuação por elemento: 2,2VCC

Modo de ligação: Série

Tensão de flutuação total: 132VCC

- 4 bancos de baterias de 24 elementos cada;

Tensão de flutuação por elemento: 2,2VCC

Modo de ligação: Série

Tensão de flutuação total: 52,8VCC

- 1 banco de bateria com 12 elementos;

Tensão de flutuação por elemento: 12VCC

Modo de ligação: Série

Tensão de flutuação total: 144VCC

- 1 banco de bateria com 10 elementos;

Tensão de flutuação por elemento: 12VCC

Modo de ligação: Série

Tensão de flutuação total: 120VCC

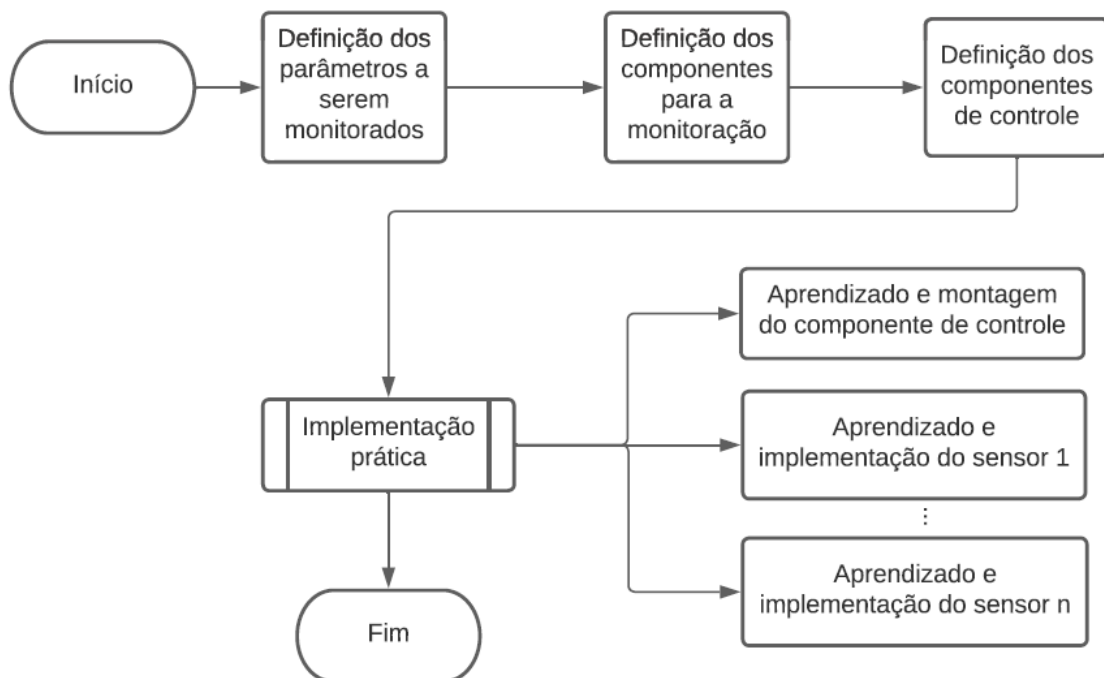
Determinar a capacidade de uma bateria simplesmente medindo a tensão pode ser uma metodologia simples e barata, porém errônea, uma vez que a carga varia com a temperatura e taxa de descarga (PRODUCTS, 2002). Sendo assim, outros parâmetros devem ser mensurados simultaneamente.

A execução do projeto foi dividida em etapas, as quais demarcam a conclusão de uma parte importante no desenvolvimento do trabalho como um todo. Inicialmente, foram definidos os parâmetros relevantes para a aplicação final, os quais devem ser monitorados continuamente, e então, os componentes responsáveis pela aquisição dos sinais. Na sequência, foram apurados os microcontroladores que receberão as informações dos sensores e farão o tratamento dos dados.

A continuidade se deu através da implementação prática dos componentes escolhidos, onde o aprendizado e a montagem ocorreram simultaneamente, iniciando pelo componente de controle e tendo sequência pelos sensores de aquisição.

O andamento acontecerá conforme exemplificado na Figura 25.

Figura 25 – Fluxograma de desenvolvimento do projeto



Fonte: Elaborado pelo autor

3.1 Parâmetros

O monitoramento de baterias estacionárias abrange uma série de parâmetros de interesse, possíveis de serem mensurados, porém para a finalidade em estudo, foram consideradas as grandezas rotineiramente verificadas em um dos bancos da planta, sendo os elementos desse definidos como valores base.

- **Tensão por elemento;**

Cada bateria estacionária tem tensão nominal de 2,2VCC, variando de 1,7VCC em ensaios de capacidade por descarga controlada a 2,5VCC em uma carga de equalização.

A faixa de medição de tensão por elemento adotado para o projeto é de 0VCC até 3VCC.

- **Temperatura por elemento;**

A temperatura por elemento é um parâmetro essencial em ensaios de capacidade e em cargas de equalização, pois é determinante para interromper qualquer procedimento, a fim de evitar danos à bateria e também para verificar se existe alguma anomalia com o elemento.

A faixa de medição de temperatura por elemento é o próprio do sensor, -70° à $+380^{\circ}\text{C}$.

- **Temperatura ambiente;**

Tão importante quando a temperatura por bateria, a temperatura ambiente auxilia no entendimento de uma eventual anomalia relacionada a temperatura da célula, visto que uma elevação pode ser resultado de um ambiente demasiadamente aquecido.

A faixa de medição de temperatura ambiente é próprio do sensor, de 0°C até 50°C

- **Umidade ambiente;**

Paralelo a temperatura ambiente, a umidade do local onde os bancos estão instalados também deve ser verificada.

A faixa de medição de umidade ambiente é próprio do sensor, 20 até 90%.

- **Corrente do banco;**

Em situações de flutuação, a corrente que circula pela série de baterias é praticamente zero, porém nos ensaios de capacidade a descarga ocorre a uma taxa de 100A/h, valor que deve ser constantemente monitorado.

A faixa de medição de corrente do banco adotado para o projeto é de 0A até 200A.

3.2 Configuração e implementação dos sensores

A definição de sensores adequados é de suma importância, visto que um componente com medições que desviem da realidade podem por em risco a operação do banco e a vida das pessoas envolvidas na atividade, uma vez que os elementos em estudo são acumuladores de potência elevada, e a má monitoração pode levar, em último caso, a uma explosão da bateria.

Porém, nesse estudo, o protótipo em desenvolvimento será ferramenta auxiliar, e não determinante, nos ensaios ao qual será empregado, o que implica numa certa flexibilidade na escolha dos sensores, e conseqüentemente na diminuição dos custos envolvidos.

3.2.1 Medição de tensão por elemento

A medição de tensão por elemento deve ser capaz de realizar leituras em um range de zero volts, até 3VCC, uma vez que esses são os limites mínimos e máximos, os quais englobam os níveis operacionais dos componentes.

Como a entrada analógica do ESP32 opera com até 3,3VCC, o sinal de tensão da bateria será conectado diretamente à entrada responsável pela leitura.

3.2.2 Medição de temperatura por elemento

Medir a temperatura em um ponto que seja relevante é parte importante no monitoramento das baterias. O sensor pode ser posicionado diretamente na célula, ou ainda, no polo do elemento, o qual é o melhor ponto para verificar correntes de auto-descarga, altamente influenciáveis pela temperatura (ZOLLO, 2018).

O MLX90614 mostrado na Figura 26, é calibrado em fábrica para medições de temperatura de -70°C até 380°C , com uma precisão variando em torno de $0,5^{\circ}\text{C}$ e 25°C , além de ser equipado com um filtro óptico que garante imunidade a luz ambiente e solar, próximos a região infra vermelha (MELEXIS, 2019).

O tráfego de informações do sensor ocorrerá por meio de um barramento I2C, apesar de o componente oferecer a possibilidade de ser configurado para PWM. Em termos de tensão de alimentação, pode-se trabalhar com tensões de 3VCC ou 5VCC.

Figura 26 – MLX90614



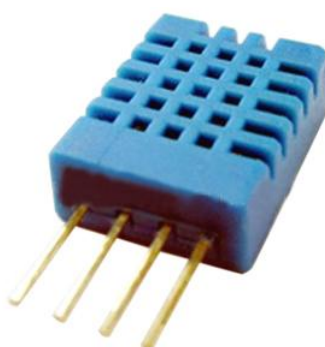
Fonte: Adaptado de Melexis (2019)

3.2.3 Medição de temperatura e umidade ambiente

A medição de temperatura ambiente é necessária para se ter uma referência quando for verificado aquecimento das baterias, além de ser parâmetro importante no cálculo de correção da capacidade do banco. Monitorar a umidade ajuda a entender se a atmosfera ambiente pode contribuir para a deterioração dos terminais e conexões das baterias, por meio de acúmulo de condensado.

Para realizar a medição de ambos os parâmetros, o sensor escolhido foi o DHT11, mostrado na Figura 27, o qual possui um range de leitura de temperatura de 0°C à 50°C, com precisão de +/- 2°C, e 20 à 90% de umidade (THOMSEN, 2013).

Figura 27 – DHT11



Fonte: Adaptado de Mouser Electronics

O DHT11 pode ser alimentado com tensão entre 3 e 5VCC e a comunicação das informações é no formato 8 bits, através de seu terminal de dados.

3.2.4 Medição da corrente do banco

A medição da corrente do banco é um parâmetro delicado, pois em ensaios de capacidade, valores próximos à 100A são comumente utilizados. Porém, apesar da elevada corrente em série entre elementos, a escolha de um *shunt* atende perfeitamente a necessidade.

Será utilizado um derivador série de 200A, com saída em tensão de 0 à 60mV, sobra de obra, retirado de um painel modernizado da usina, e em perfeitas condições de uso, mostrado na Figura 28.

Figura 28 – SHUNT



Fonte: Elaborado pelo autor

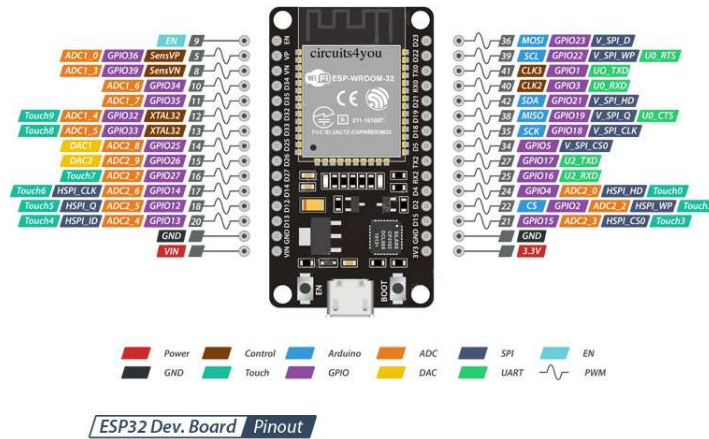
3.3 Microcontrolador

Definidos os meios de captação das informações de campo, se faz necessária a escolha do microcontrolador capaz de gerenciar o tráfego desses dados.

Optou-se por utilizar um microcontrolador por bateria, aquisitando as informações de tensão do elemento e temperatura do elemento, denominado de ”coletor”, e um microcontrolador que recebe as informações dos coletores, denominado ”receptor”. O receptor também deverá ser capaz de comunicar-se com os dispositivos de medição de temperatura, umidade, tensão do banco e corrente do banco, uma vez que essas informações serão coletadas somente por esse microcontrolador.

Baseado nessas necessidades, o microcontrolador definido foi o ESP32, embarcado no kit de desenvolvimento versão 1, exemplificado pela Figura 29, por tratar-se de um componente de baixo custo, com disponibilidade de entradas para os sinais previamente definidos, e também pela possibilidade de implementação de comunicação sem fio entre os demais dispositivos.

Figura 29 – ESP32 Dev kit V1

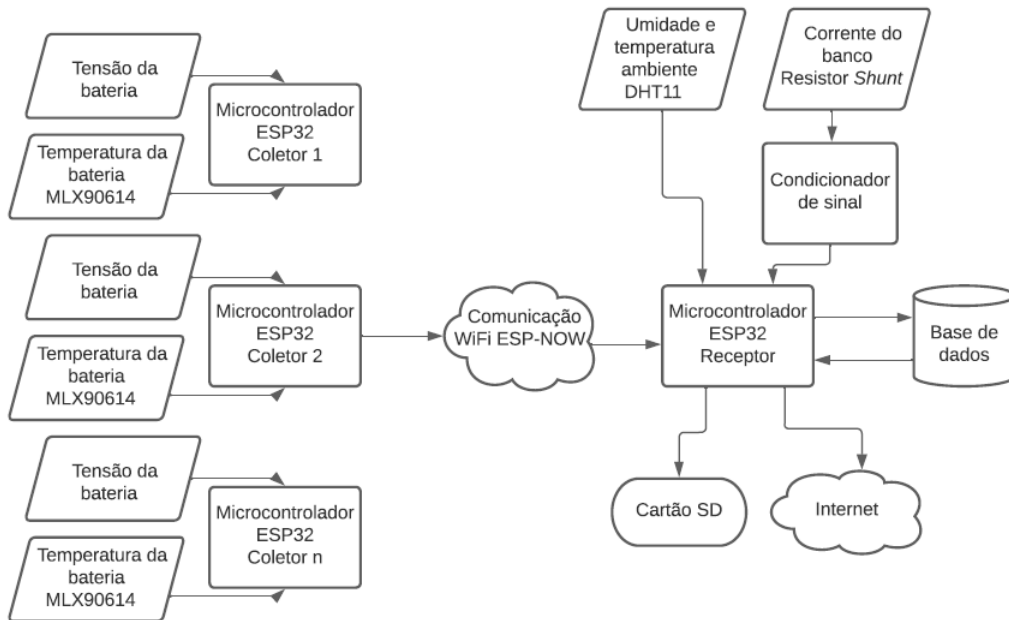


Fonte: Adaptado de Mischianti (2021)

3.4 Implementação Prática

Toda a aquisição e comunicação dos dados deverá ocorrer conforme o fluxograma mostrado na Figura 30.

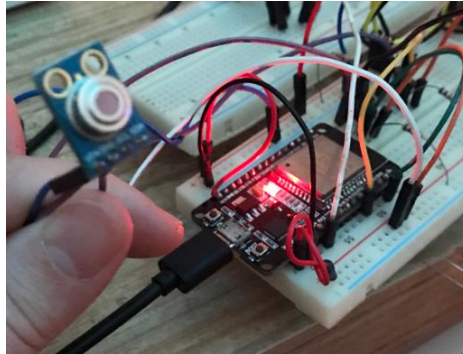
Figura 30 – Fluxograma do protótipo



Fonte: Elaborado pelo autor

A temperatura do elemento, medida pelo MLX90614 da Figura 31, é enviada para o ESP32 através de comunicação I2C, implementada em lógica utilizando biblioteca apropriada para este fim, o que torna sua montagem e configuração facilitada.

Figura 31 – Implementação prática do MLX90614



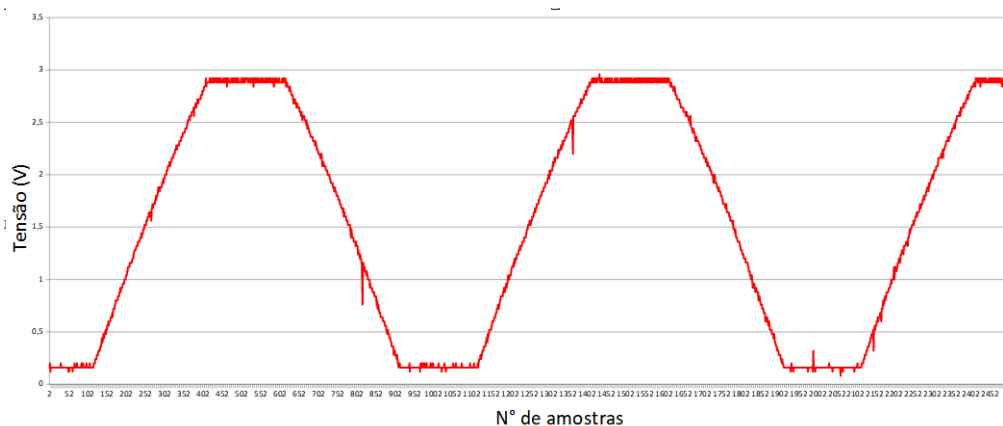
Fonte: Elaborado pelo autor

Para a medição da tensão da bateria, os terminais do elemento são diretamente ligados a uma entrada analógica do ESP Coletor, a qual utiliza seu conversor ADC interno para o tratamento do sinal.

Visando aumentar a precisão das leituras analógicas realizadas pelo microcontrolador, as quais podem chegar a um erro de até 6 por cento, Systems (2019), foi realizada a linearização por meio da implementação do polinômio baseado desvio da leitura.

Primeiramente é realizada a medição da variação pretendida por oscilografia, para o projeto, iniciando em zero e finalizando em 3VCC, com um total de 2500 amostras. Esse ensaio foi realizado variando a tensão mensurada pelo equipamento, através de uma fonte digital regulável, e recriando a imagem do sinal mostrado na Figura 32 através de *software*.

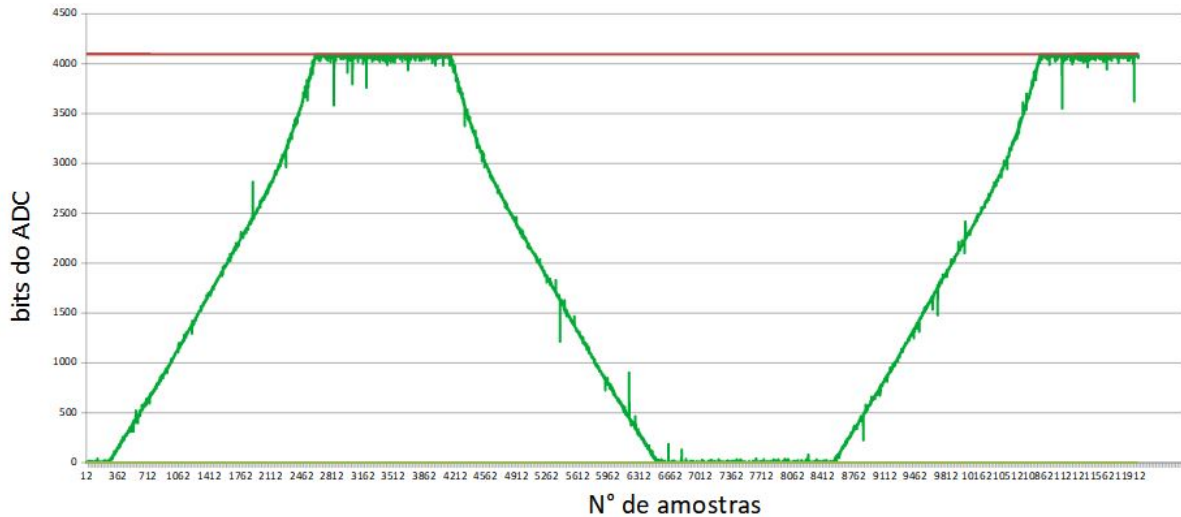
Figura 32 – Leitura da variação de tensão pelo oscilógrafo



Fonte: Elaborado pelo autor

Na sequência, é efetuada a mesma variação, porém o sinal é lido pelo conversor ADC do ESP32, e o sinal coletado pelo Monitor Serial da Arduino IDE. A recriação da medição é apresentada na Figura 33.

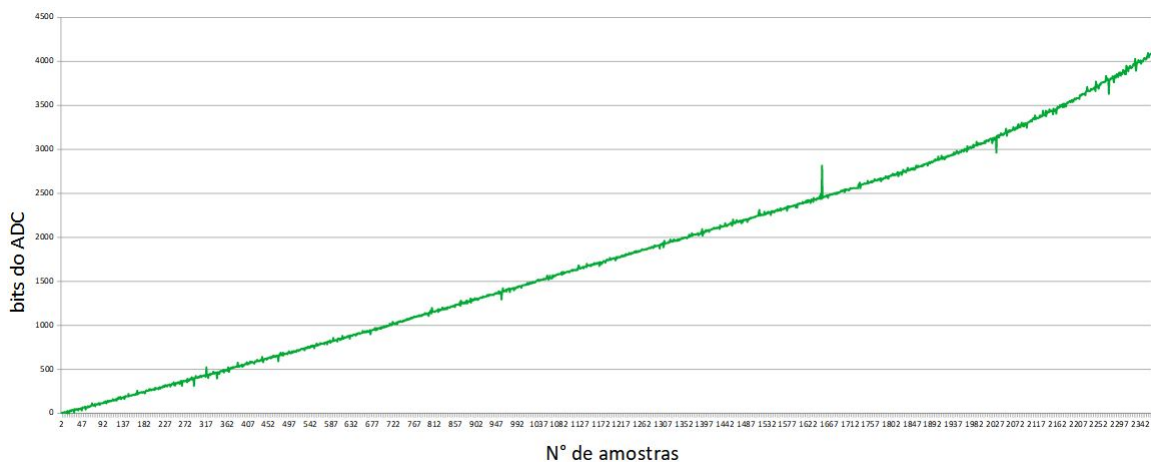
Figura 33 – Leitura da variação de tensão pelo ADC do ESP32



Fonte: Elaborado pelo autor

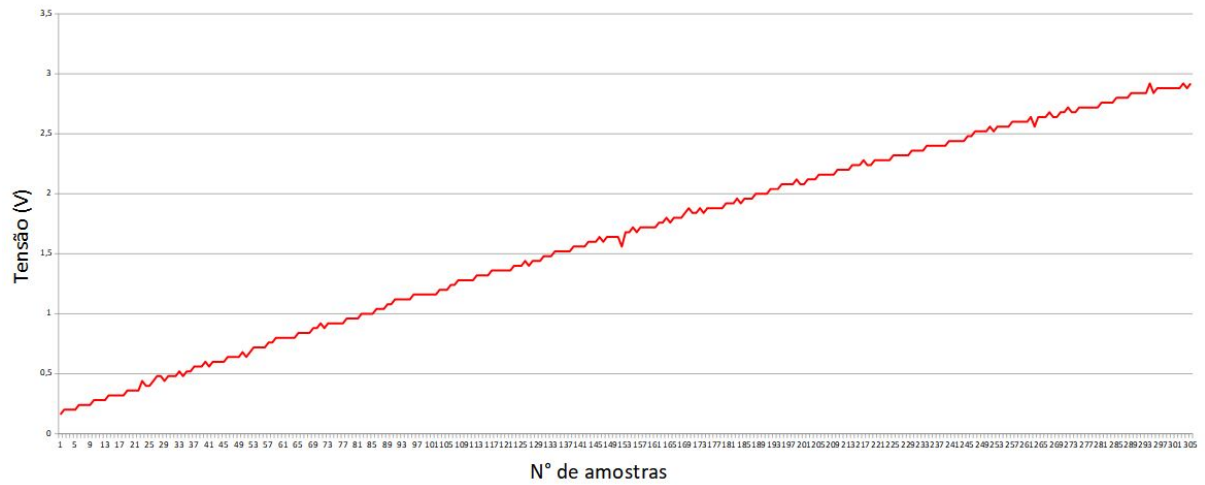
Como o comportamento do desvio é constante em todos os pontos do sinal, então apenas o mapeamento de subida das leituras é relevante para o ensaio. Ambos os gráficos são apresentadas nas Figuras 34 e 35. Na sequência, a rampa de subida do oscilógrafo é apresentada em um gráfico de dispersão e a linha de tendência desse sinal é obtida, também via *software*, apresentadas na Figura 36.

Figura 34 – Mapeamento da rampa de subida do sinal pelo ADC do ESP32



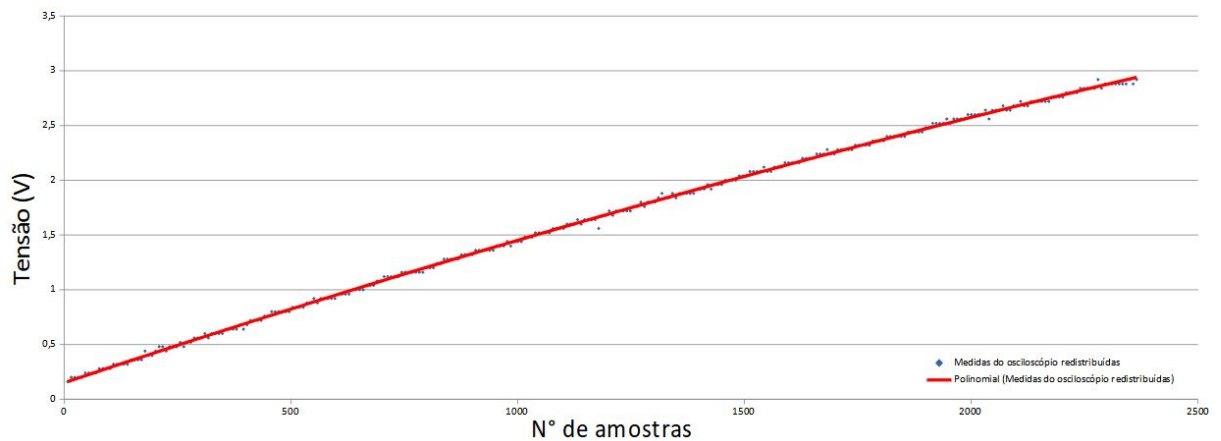
Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 35 – Mapeamento da rampa de subida do sinal pelo oscilógrafo



Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 36 – Linearização da leitura do oscilógrafo

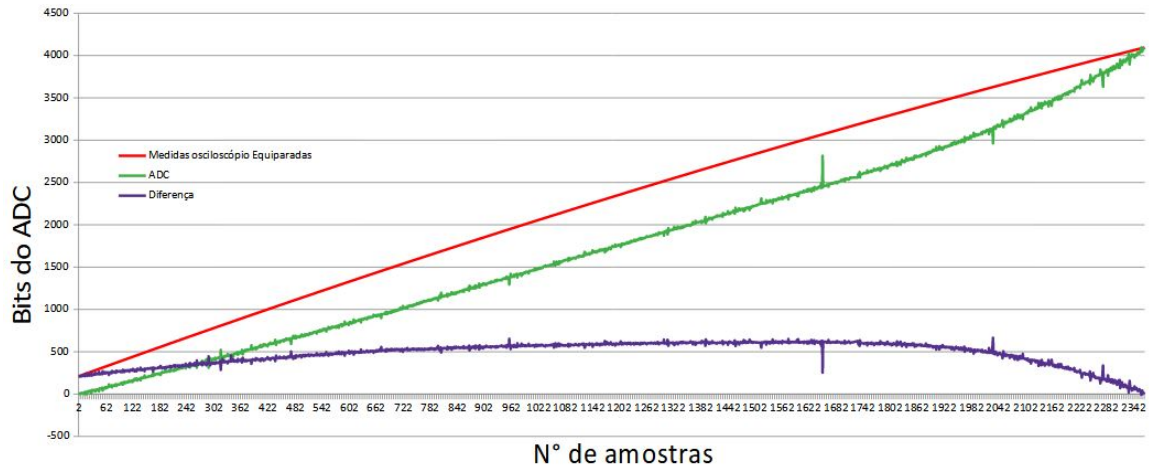


Fonte: Elaborado pelo autor

A comparação entre as leituras obtidas até aqui é apresentada na Figura 37, a qual também mostra o erro entre a medição via ADC e oscilógrafo, obtido subtraindo os valores do ADC da curva linearizada do oscilógrafo.

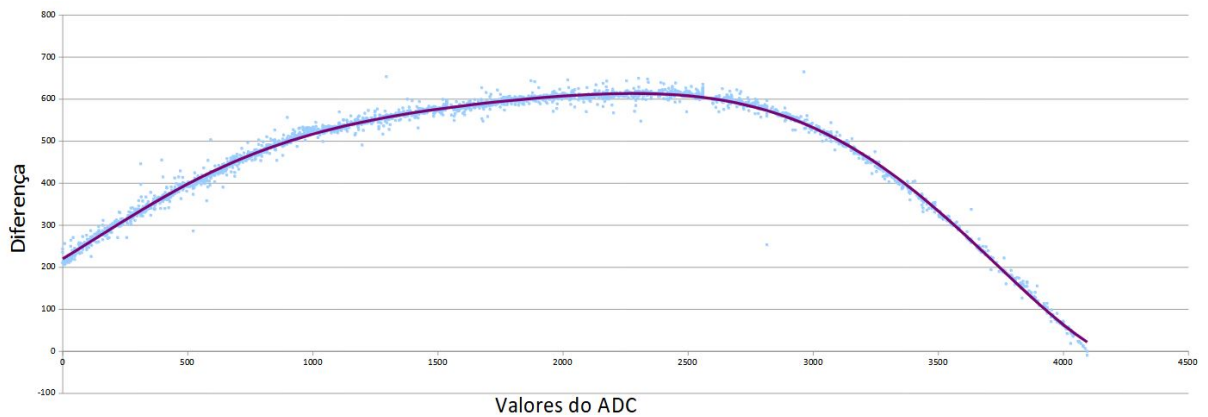
A obtenção do polinômio a ser utilizado na correção do sinal é realizada traçando uma linha de tendência entre os valores da diferença obtida entre o sinal do ADC e do oscilógrafo, ou seja, o erro, o qual pode ser observado na Figura 38.

Figura 37 – Erro entre sinal do ESP e do oscilógrafo



Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 38 – Obtenção do polinômio de erro



Fonte: Elaborado pelo autor

Após a realização dessas duas leituras, o microcontrolador coletor deve enviar os dados para o receptor. A forma definida para o tráfego desses dados foi a comunicação wi-fi, uma vez que o ESP32 possui uma maneira de transferir essas informações *wireless* utilizando um protocolo exclusivo criado pela sua fabricante, chamado de ESP-Now.

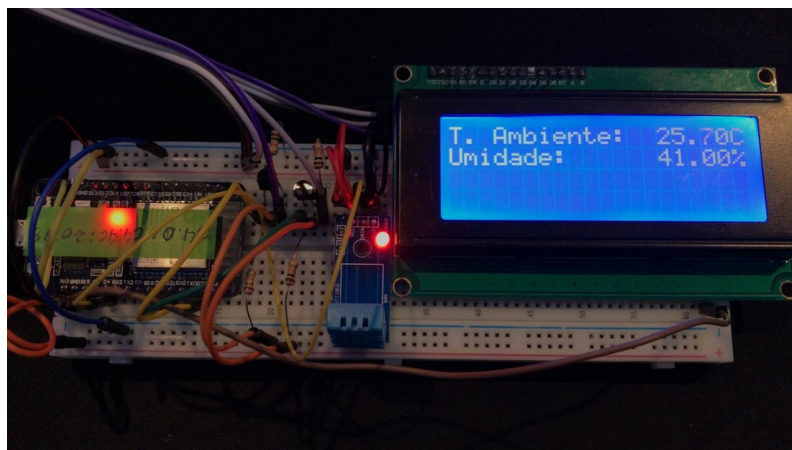
No microcontrolador receptor, algumas leituras também foram implementadas, uma vez que existem dados que são comuns para o banco todo.

A temperatura e a umidade ambiente foram obtidas do sensor DHT11 de três pinos, o qual envia as informações de forma analógica para uma entrada do ESP32, que realiza o tratamento dos dados, por meio da implementação de uma biblioteca específica do DHT para este fim.

Através dos comandos `dht.readHumidity();` e `dht.readTemperature();`, as informações

são recolhidas, sem a necessidade de tratamento em software e estão disponíveis no microcontrolador receptor, conforme Figura 39.

Figura 39 – Medição de temperatura e umidade com DHT11

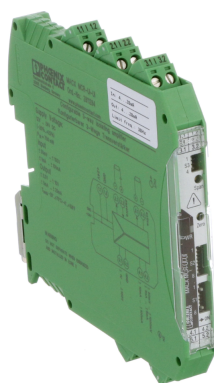


Fonte: Elaborado pelo autor

Para a leitura da corrente do banco, a qual será mensurada através do resistor *shunt*, a variação de 0 a 60mV resultante foi simulada por uma fonte variável de 3VCC. Essa abordagem foi definida pois para o microcontrolador, o que interessa é a variação na tensão em si, e não a grandeza primária, no caso a corrente real circulando pelo circuito.

A fim de aprimorar o sinal antes da leitura pelo ADC do ESP, um condicionador de sinal foi utilizado, Figura 40.

Figura 40 – Phoenix Contact MACX MCR-UI-UI-UP



Fonte: Adaptado de Contact (2013)

O condicionador é fabricado pela Phoenix Contact, modelo **MACX MCR-UI-UI-UP**, o qual possui uma faixa enorme de escalas de tensão e corrente de entrada e saída, sendo a configuração de 0 à 60mV para 0 à 2,5V definida para o projeto, conforme Figura 41.

Figura 41 – Diagrama de entradas e saídas do amplificador isolador

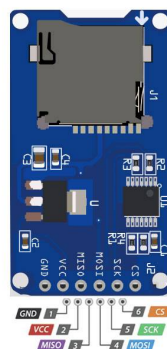
Input signal			Output signal		
Unipolar	Bipolar	Live zero	Unipolar	Bipolar	Live zero
0 ... 50 mV	±50 mV		0 ... 2.5 V	±2.5 V	0.5 ... 2.5 V
0 ... 60 mV	±60 mV		0 ... 5 V	±5 V	1 ... 5 V
0 ... 75 mV	±75 mV		0 ... 10 V	±10 V	2 ... 10 V
0 ... 100 mV	±100 mV		0 ... 5 mA	±5 mA	1 ... 5 mA
0 ... 120 mV	±120 mV		0 ... 10 mA	±10 mA	2 ... 10 mA
0 ... 150 mV	±150 mV		0 ... 20 mA	±20 mA	4 ... 20 mA
0 ... 200 mV	±200 mV				
0 ... 300 mV	±300 mV				
0 ... 500 mV	±500 mV				
0 ... 1000 mV	±1000 mV				
0 ... 1 V	±1 V				
0 ... 1.5 V	±1.5 V				
0 ... 2 V	±2 V				
0 ... 3 V	±3 V				
0 ... 5 V	±5 V	1 ... 5 V			
0 ... 10 V	±10 V	2 ... 10 V			
0 ... 15 V	±15 V				
0 ... 20 V	±20 V				
0 ... 30 V	±30 V				
0 ... 50 V	±50 V				
0 ... 100 V	±100 V				
0 ... 1 mA	±1 mA				
0 ... 1.5 mA	±1.5 mA				
0 ... 2 mA	±2 mA				
0 ... 3 mA	±3 mA				
0 ... 5 mA	±5 mA	1 ... 5 mA			
0 ... 10 mA	±10 mA	2 ... 10 mA			
0 ... 15 mA	±15 mA				
0 ... 20 mA	±20 mA	4 ... 20 mA			
0 ... 30 mA	±30 mA				
0 ... 50 mA	±50 mA				
0 ... 100 mA	±100 mA				

Fonte: Adaptado de Contact (2013)

Como o erro de leitura no conversor ADC do ESP é proporcional ao nível de tensão na sua entrada, o processo de correção do sinal implementado para a leitura de tensão da bateria foi inserido na leitura de corrente do banco, sem a necessidade de novo levantamento de curvas e obtenção do polinômio.

De posse de todas as grandezas mensuradas, o microcontrolador Receptor faz a gravação dos dados em um cartão SD, ilustrado na Figura 42, por meio de comunicação SPI, onde o ESP é o mestre que escreve as informações no cartão, que por sua vez é o escravo da operação.

Figura 42 – Módulo SPI para cartão SD



Fonte: Adaptado de Bondhon (2018)

Nesse processo de gravação, um arquivo de texto é gerado, o qual armazena os dados para verificações futuras, com o propósito de ser uma espécie de biblioteca de armazenamento dos parâmetros do banco, organizados sempre iniciando com o endereço MAC do ESP que

enviou a leitura, data e hora da leitura, tensão e temperatura da bateria, como ilustrado pela Figura 43.

Figura 43 – Arquivo salvo no cartão SD

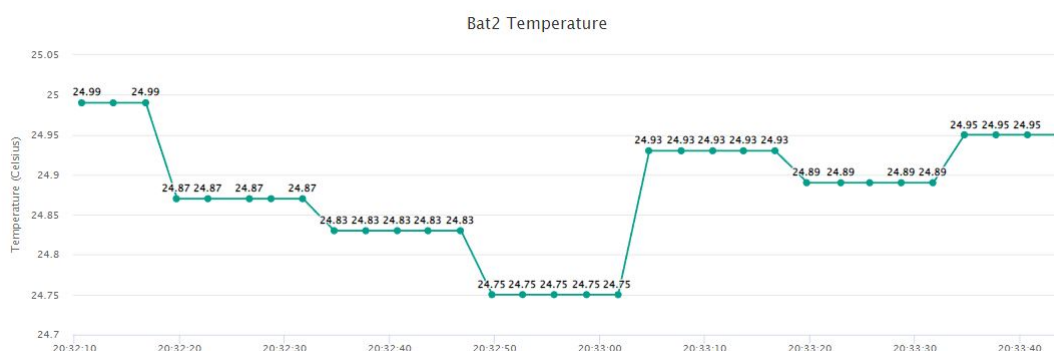


Fonte: Elaborado pelo autor

Além do armazenamento dos dados, uma interface para visualização em tempo real fornece as informações de forma simples e intuitiva, visando uma análise rápida e precisa do estado atual de cada elemento do banco de baterias. Para isso, um servidor *web* foi implementado no ESP Receptor, utilizando linguagem JSON, a qual é simples e atende as necessidades do projeto.

O fluxo de dados para esta etapa consiste basicamente em ler as variáveis disponíveis no microcontrolador receptor, incluindo as enviadas pelos coletores, e mostrá-las em seus respectivos campos em uma página, onde estão inseridos os gráficos de temperatura da bateria, Figura 44, e tensão da bateria, Figura 45, acessível pela rede local. Quando a página é acessada, requisições para o servidor são enviadas a cada 5 segundos, a fim de realizar a atualização dos dados exibidos nos gráficos.

Figura 44 – Gráfico de temperatura da bateria



Fonte: Elaborado pelo autor

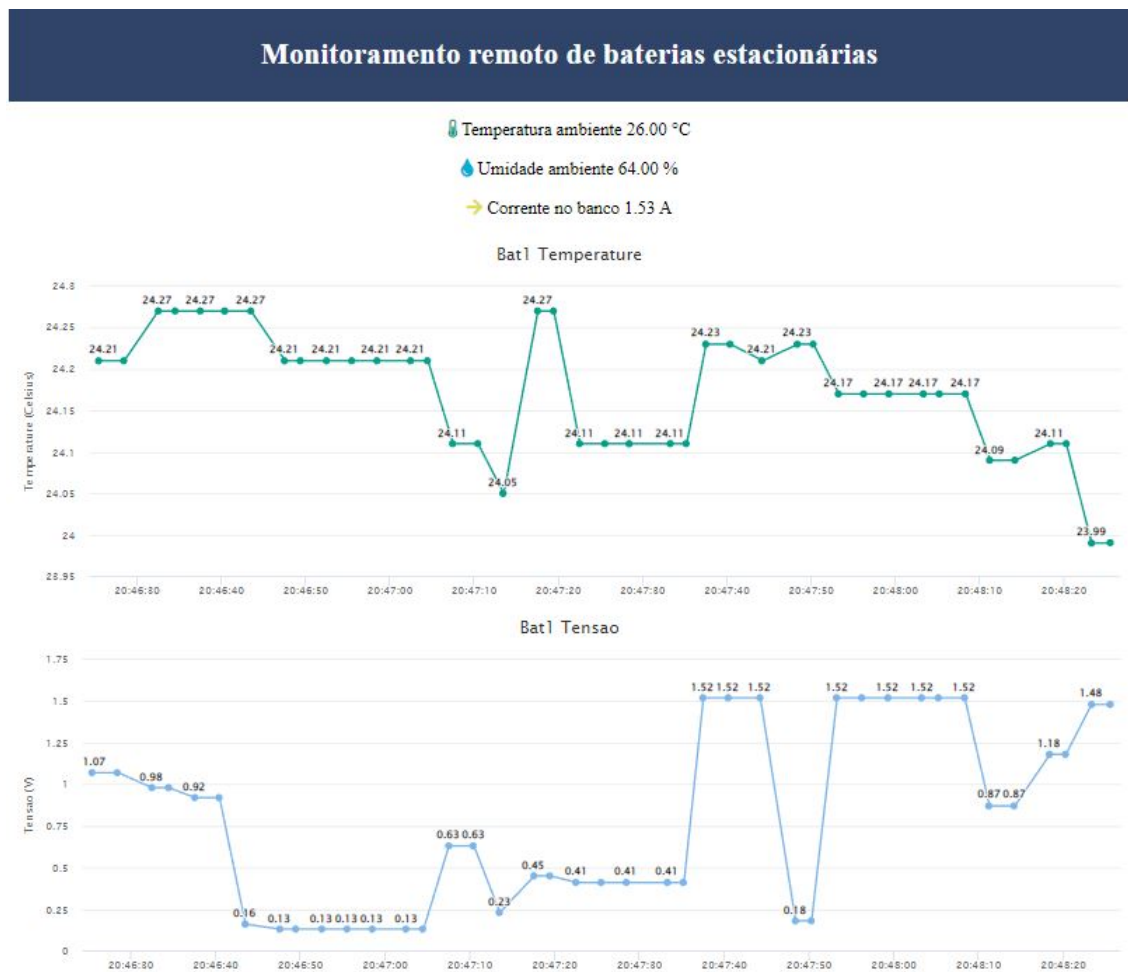
Com a disponibilidade desse modo de monitoramento, o colaborador com acesso a mesma rede onde os microcontroladores estão conectados, pode realizar as leituras em tempo real, através do navegador de internet de seu celular ou tablet. A interface disponível é representada pela Figura 46.

Figura 45 – Gráfico de tensão da bateria



Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 46 – Página WEB



Fonte: Elaborado pelo autor

4 RESULTADOS

Toda a programação dos microcontroladores ESP32 foi realizada por meio da Arduino IDE, a qual torna muito simples configuração de uma gama imensa de periféricos, simplesmente adicionando as bibliotecas associadas.

Foi o caso da implementação da medição de temperatura e umidade, onde a biblioteca **DHT.h** realiza toda a interface entre o microcontrolador e o sensor, apenas configurando o pino e o tipo do sensor com o comando **DHT dht(DHTPIN, DHTTYPE);**.

A Figura 47 ilustra um comparativo entre as medições obtidas pelo sensor e instrumentos calibrados.

Figura 47 – Validação da medição de temperatura e umidade ambiente



Fonte: Elaborado pelo autor

A medição da temperatura do objeto, sendo o objeto a bateria nesse estudo, segue o mesmo procedimento aplicado na implementação do DHT11, fazendo uso da biblioteca **Adafruit MLX90614.h**, a qual solicita a leitura da informação através do comando **mlx.readObjectTempC()**. A validação da medição de temperatura através do sensor e microcontrolador, comparado à um

sensor de temperatura calibrado, pode ser verificado na Figura 48

Figura 48 – Validação da medição de temperatura do objeto



Fonte: Elaborado pelo autor

A variação da tensão da bateria foi simulada utilizando uma fonte com tensão ajustável, a qual foi configurada para injetar valores de tensão em todo o range implementado para medição, com o intuito de verificar se o range predefinido estaria corretamente implementado. O experimento é mostrado na Figura 49.

Figura 49 – Validação da medição de tensão da bateria



Fonte: Elaborado pelo autor

A implementação da medição analógica através do ADC do ESP foi o processo mais

difícil de ser concluído, uma vez que a linearidade teve de ser corrigida e o sinal tratado em software. Ao fim deste estudo, entende-se que para uma aplicação futura, um módulo externo específico para leituras analógicas deve ser testado, a fim de facilitar e otimizar a aquisição dos valores de tensão por elemento.

O resultado obtido através da aplicação do condicionador de sinal, conforme visto na Figura 50, atendeu as expectativas, fornecendo um sinal amplificado estável e confiável, reaproveitando um componente em condições de uso e sem somar custos ao projeto.

Figura 50 – Verificação da operacionalidade do condicionador de sinal



Fonte: Elaborado pelo autor

A comunicação entre o receptor e múltiplos coletores também se mostrou complicada de implementar, uma vez que vários coletores foram adicionados ao projeto. Cada coletor envia suas leituras em um intervalo de três segundos, e algumas vezes esses envios falham. No geral, como a taxa de sucesso e o curto intervalo entre envio de dados sobrepõem as falhas, é possível concluir que o tráfego de dados atende o intuito do estudo.

Conforme mostram as Figuras 51 e 52, pode-se verificar a transmissão e recepção das grandezas de tensão da bateria e temperatura do objeto, lidas e encaminhadas pelo microcontrolador Coletor e logo em seguida, os valores recebidos de dois Coletores pelo Receptor, assim como a leitura do DHT e a mensagem de gravação dos dados no cartão SD bem sucedida.

Figura 51 – Mensagem enviada pelo microcontrolador Coletor

```

-----
Slave: 2
pino_tensao_bateria: 1175
V_bat: 1.19
Temperatura: 26.05
Armazenado com sucesso

Status de envio do ultimo pacote:      Delivery Success.
-----

```

Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 52 – Mensagem recebida pelo microcontrolador Receptor

```

-----
Pacote recebido de: 78:21:84:7d:8c:e4
Board ID 1: 12 bytes
Temperatura: -1610612736
Tensão:      -1073741824

Pacote recebido de: 10:52:1c:76:0a:34
Board ID 2: 12 bytes
Temperatura: -1610612736
Tensão:      -2147483648

-----
Temperatura_Bat 1: 25.69
Tensao_Bat 1: 1.22
Temperatura_Bat 2: 25.91
Tensao_Bat 2: 1.19
Temperatura_Bat 3: 0.00
Tensao_Bat 3: 0.00
Temperatura_Bat 4: 0.00
Tensao_Bat 4: 0.00
-----

Temperatura ambiente 27.00
Umidade ambiente 54.00
Corrente Banco 107
-----
2022-11-27T16:26:48Z
2022-11-27
16:26:48
Save data: 10:52:1c:76:0a:34,2022-11-27,16:26:48,1.19,25.97

Anexando ao arquivo: /data.txt
Mensagem anexada
-----

```

Fonte: Elaborado pelo autor

Não foi possível a elaboração de uma placa de circuito impresso para montagem final, em virtude das complicações encontradas nos processos de leitura e comunicação dos dados, uma vez que a maior parte do tempo despendido no projeto foi na resolução destes percalços.

4.0.1 Custos

Em relação aos custos envolvidos, o protótipo pode ser dividido em duas partes:

Para a supervisão de cada bateria, é necessária a aquisição dos itens da Tabela 1, uma vez que o ESP32 tem apenas dois módulos conversores analógico-digital, porém ao usar *wi-fi*, o ADC2 é desabilitado, ficando apenas o ADC1 para realizar a medição analógica. O custo total para montar um coletor é de 180 reais.

- Microcontrolador Coletor:

Tabela 1 – Custos Coletor

Componente	Custo(R\$)	QTD
ESP32 Devkit V1	60	1
MLX90614	120	1

Fonte: Elaborado pelo autor

Em relação ao receptor, esse conjunto deve ser adquirido uma única vez, pois as leituras realizadas são comuns ao banco todo e, como previamente mencionado, o amplificador isolador e o *shunt* são componentes considerados sobras de obra, e não tem custos agregados para a implementação desse projeto. A relação de itens adquiridos para o receptor é mostrada na Tabela 2.

- Microcontrolador Receptor:

Tabela 2 – Custos Receptor

Componente	Custo(R\$)	QTD
ESP32 Devkit V1	60	1
DHT11	20	1
Módulo SD para ESP32	22	1

Fonte: Elaborado pelo autor

4.1 Trabalhos Futuros

Para o prosseguimento do trabalho, a implementação de um módulo de leitura analógica ao invés das leituras realizadas diretamente pelo ESP deve ser aplicada, além da criação de

placa de circuito impresso dos Coletores e Recepto, visando a disponibilização de um produto de mercado.

5 CONCLUSÃO

Toda a construção prática apresentou dificuldades consideráveis, desde a configuração do sensor de temperatura MLX90614, até a implementação da comunicação sem fio entre os microcontroladores e a configuração da medição de corrente do banco.

A configuração da interface web se tornou um desafio a parte, pois o conhecimento necessário para a criação desta era nulo, e qualquer linha de programação adicionava complexidade na sequência de criação do projeto.

Foi desenvolvido um protótipo que possa automatizar trabalhos manuais, com confiabilidade, e com dados disponíveis em intervalos de tempo nunca antes mensurados, além do custo de implementação baixíssimo e da possibilidade de manutenção e melhorias a serem executadas por intermédio de profissional inserido na rotina da planta em estudo.

Por vezes se é esperado que um engenheiro crie trabalhos excepcionais, envolvendo cálculos e algoritmos complexos, porém, o olhar atento à oportunidades de melhoria, diferentes e otimizadas formas de executar algo que por anos é repetitivo e ineficiente, soluções criativas, também geram resultados positivos, como é o caso desse trabalho.

A monitoração dos parâmetros aqui propostos, não só atende uma lacuna de gerações de trabalho manual e repetitivo, como também aumenta consideravelmente a segurança e confiabilidade da manutenção dos bancos e baterias em estudo, pois a visibilidade em tempo real, e futuramente, remota, das grandezas aqui adquiridas, certamente reduzirá o número de falhas envolvendo os ensaios de capacidade das baterias, assim como será fonte de um banco de dados incomparável com a realidade dos dias atuais. A falha em uma única bateria, por exemplo, já compensa os custos de implementação desse sistema de monitoramento.

Para o futuro, o tratamento dos dados coletados, poderá ser implementada e executada por intermédio de uma ferramenta já em uso pelas equipes de manutenção dos bancos de baterias, um *tablet*. Esse equipamento é parte integrante do ferramental de uso comum, e assim, sem custos envolvidos na criação de uma interface, mostrando outra vez um olhar atento as formas de melhorar o que já é feito, com o menor custo e otimização do que já está disponível.

Também é necessária a revisão da metodologia de aquisição dos sinais analógicos, uma vez que a leitura direta através do conversor AD do ESP não se mostrou totalmente eficiente, e deve ser substituída por *hardware* específico para tal.

A construção final da placa de circuito impresso fica como último desafio, necessitando de uma revisão de componentes do kit de desenvolvimento do ESP, a fim de aplicar somente o necessário ao protótipo e assim, reduzir os custos agregados.

Ao fim, a disponibilização da interface para monitoramento e a criação do banco de dados, os dois objetivos do projeto, foram alcançados, e o estudo está disponível para ser implantado e testado nas condições reais. Também tem-se como resultado a ser destacado, as necessidades de melhoria apontadas no decorrer do projeto, as quais trarão mais confiabilidade e profissionalidade ao conjunto.

REFERÊNCIAS

- ALI, Z. **Introduction to DHT11**. 2019. Disponível em: <<https://www.theengineeringprojects.com/2019/03/introduction-to-dht11.html>>. Acesso em: 20-05-2022.
- BATTERY, F. N. **INDUSTRIAL LEAD ACID BATTERIES: TYPES AND THEIR SELECTION**. 2017. 63-68 p.
- BOCCHI, N.; FERRACIN, L.; BIAGGIO, S. Pilhas e baterias: Funcionamento e impacto ambiental. **Química e Sociedade**, v. 11, p. 3–9, 5 2000.
- BONDHON, E. **SD Card module**. 2018. Disponível em: <<https://earthbondhon.com/sd-card-module/>>. Acesso em: 18-10-2022.
- CARNEIRO, R. L. et al. Essential aspects of lead-acid batteries and physical-chemical and thermodynamic principles of its operation. **Revista Virtual de Química**, Sociedade Brasileira de Química, v. 9, p. 889–911, 5 2017. ISSN 19846835.
- CARVALHO, D. P. de. **Projeto e implementação de um sistema detecção de faltas à terra em serviços auxiliares em corrente contínua**. Tese (Doutorado), 2016.
- CONTACT, P. **Configurable 3-way isolating amplifier with safe isolation and wide-range power supply**. 2013.
- CURVELLO, A. **ESP32 – Um grande aliado para o Maker IoT**. 2018. Disponível em: <<https://www.filipeflop.com/blog/esp32-um-grande-aliado-para-o-maker-iot/>>. Acesso em: 18-05-2022.
- ENGINEERS, L. M. **Interface DHT11 Module With Arduino**. 2022. Disponível em: <<https://lastminuteengineers.com/dht11-module-arduino-tutorial/>>. Acesso em: 13-05-2022.
- GROUP, A. C. **Battery Temperature: Are You Monitoring It?** 2020. Disponível em: <<https://theaccessway.com/monitor-battery-temperature-2/>>. Acesso em: 07-04-2022.
- HE, Z. et al. Adaptive state of charge estimation for li-ion batteries based on an unscented kalman filter with an enhanced battery model. **Energies**, MDPI AG, v. 6, p. 4134–4151, 2013. ISSN 19961073.
- KELLY-DETWILER, P. **Which Power Plant Automation Trends Should You Adopt in 2018?** 2017. Disponível em: <<https://www.ge.com/power/transform/article.transform.articles.2017.dec.which-power-plant-automation-t>>. Acesso em: 12-04-2022.
- KUMAR, M. R. et al. Battery monitoring system using iot. **International Journal of Scientific Development and Research**, Elsevier B.V., v. 3, p. 126–128, 3 2018. ISSN 0167739X.

LEIMBACH, R. **Power Plant Automation: Where We Are and Where We're Headed.**

2009. Disponível em: <<https://www.powermag.com/power-plant-automation-where-we-are-and-where-were-headed/>>.

Acesso em: 12-04-2022.

LIMA, F. S. D. A automação e sua evolução. **Redes para Automação Industrial**, p. 1–4, 5 2003.

LINDEN, D.; REDDY, T. B. **Handbook of batteries.** [S.l.]: McGraw-Hill, 2002. ISBN 0071359788.

MAKERSPORTAL. **MLX90614 Non-Contact Infrared Temperature Sensor (GY-906 IR).**

2021. Disponível em:

<<https://makersportal.com/shop/mlx90614-non-contact-temperature-sensor-infrared>>. Acesso em: 03-05-2022.

MAY, G. J.; DAVIDSON, A.; MONAHOV, B. Lead batteries for utility energy storage: A review. **Journal of Energy Storage**, Elsevier Ltd, v. 15, p. 145–157, 2 2018. ISSN 2352152X.

MELEXIS. **MLX90614 family Datasheet Single and Dual Zone Infra Red Thermometer.** 2019.

MENEZES, L. H.

SISTEMA DE MONITORAMENTO PARA BATERIAS DO TIPO CHUMBO ÁCIDO, 2013.

MISCHIANTI, R. **DOIT ESP32 DEV KIT v1 high resolution pinout and specs.** 2021.

Disponível em: <<https://www.mischianti.org/2021/02/17/doit-esp32-dev-kit-v1-high-resolution-pinout-and-specs/>>.

Acesso em: 06-05-2022.

MOHAMED, N. S. S.; FAEZAHBINTIABDGHANI, N.; HAMID, N. F. A. **Battery monitoring for stand-alone photovoltaic system.** [S.l.]: Institute of Physics Publishing, 2021.

NEWMAX. **Baterias estacionárias 2V.** 2021. Disponível em:

<<https://newmax.com.br/produtos/opzv-baterias-estacionarias-2v/>>. Acesso em: 12-04-2022.

PANASONIC. **NTC Thermistor (Chip type).** 2022. Disponível em:

<<https://industrial.panasonic.com/tw/products/pt/ntc-thermistor>>. Acesso em: 12-05-2022.

PATIL, A. N.; KENDRE, S. S.; PRASAD, R. C. Battery monitoring system using microcontroller. **International Journal of Computer Applications**, v. 28, p. 11–14, 8 2011.

PEREIRA, T. Q.

DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA DE MONITORAMENTO REMOTO MICROCONTROLADO PARA ANÁLISE DA PERFORMANCE DE BANCOS DE BATERIAS, 2016.

PESENTI, G. R.

Medição remota como estratégia de monitoramento de baterias estacionárias, 12 2012.

PIRANI, T. R.

ESTUDO DOS MÉTODOS NÃO CONVENCIONAIS PARA DETERMINAÇÃO DO ESTADO DE CARGA E SAÚDE EM BATERIAS VRLA, 2017.

PRODUCTS, M. I. **Inaccuracies of Estimating Remaining Cell Capacity with Voltage Measurements Alone**. 2002. 1-6 p.

SOUTO, A. J. B. do; SA, M. A. D. de. **Evolução do Trabalho Tecnológico: Impactos sobre Recursos Humanos na Indústria**. 2002.

SYSTEMS, E. **ESP32 Series Datasheet**. 2019.

TEIXEIRA, T. P.

MODELAGEM DA UTILIZAÇÃO DE BATERIAS EM SISTEMAS ELÉTRICOS COM ALTA INSERÇÃO DE GERAÇÃO EÓLICA, 3 2018.

TESCHLER, L. **Measuring current with shunt resistors**. 2018. Disponível em: <<https://www.pwrelectronicstips.com/measuring-current-shunt-resistors/>>. Acesso em: 02-04-2022.

THOMSEN, A. **Monitorando Temperatura e Umidade com o sensor DHT11**. 2013. Disponível em: <MonitorandoTemperaturaeUmidadecomosensorDHT11>.

WEG. **Baterias-VRLA Baterias Chumbo-ácidas Reguladas por Válvula Manual do Usuário**. 2019.

ZOLLO, B. **Measuring Cell Temperature: Watch Where You Put that Sensor**. 2018. Disponível em: <<https://www.electronicdesign.com/technologies/test-measurement/article/21807330/measuring-cell-temperature-watch-where-you-put-that-sensor>>. Acesso em: 07-04-2022.