MONITORAMENTO E ANÁLISE INDIVIDUAL DE BATERIAS DE CHUMBO-ÁCIDO MONTADAS EM BANCO

INDIVIDUAL MONITORING AND ANALYSIS OF LEAD-ACID BANK BATTERIES

Luis Fernando da Silva Pairet, Luis Gustavo Azevedo dos Santos, Roger Fonseca Pereira, Alexandre Shozo Onuki

Universidade Santa Cecília, Faculdade de Engenharia, Curso de Engenharia Elétrica

E-mail para contato: onuki@unisanta.br

RESUMO – Este trabalho apresenta o desenvolvimento de um sistema de monitoramento e análise individual de baterias de chumbo-ácido montadas em banco, visando aumentar a confiabilidade e a vida útil desses dispositivos amplamente utilizados em sistemas de energia ininterrupta. O objetivo foi implementar um protótipo capaz de medir tensão, corrente e temperatura de cada bateria, aliado a um algoritmo para detecção de anomalias, utilizando microcontrolador ESP32, sensores dedicados e banco de dados para armazenamento e visualização. A metodologia envolveu a montagem do protótipo, coleta e tratamento dos dados e validação do sistema em condições simuladas de carga, flutuação e descarga. Os resultados confirmaram a importância do monitoramento individual e da análise automatizada, destacando a aplicabilidade do sistema como ferramenta de manutenção preditiva e preventiva, com potencial para aprimorar a segurança e reduzir custos operacionais.

Palavras-chave: banco de baterias; monitoramento; análise; algoritmo.

ABSTRACT – This article presents the development of a system for individual monitoring and analysis of lead-acid bank batteries, aiming to increase the reliability and service life of these devices widely used in uninterruptible power systems. The objective was to implement a prototype capable of measuring the voltage, current, and temperature of each battery, combined with an algorithm for anomaly detection, using an ESP32 microcontroller, dedicated sensors, and a database for storage and visualization. The methodology involved assembling the prototype, collecting and processing data, and validating the system under simulated load, fluctuation, and discharge conditions. The results confirmed the

importance of individual monitoring and automated analysis, highlighting the applicability of the system as a tool for predictive and preventive maintenance, with the potential to improve safety and reduce operating costs.

Keywords: battery bank; monitoring; analysis; algorithm.

1 INTRODUÇÃO

A grande frequência e duração das interrupções do fornecimento de energia elétrica justificam a crescente demanda por armazenamento de energia, essencial para sistemas de cargas sensíveis que exigem funcionamento contínuo, como centros de dados, sistemas médicos e de comunicação. Para isso, utilizam-se sistemas ininterruptos de energia (UPS), conhecidos como nobreaks, que garantem operação contínua diante de falhas ou oscilações da rede elétrica (INTELBRAS, 2024).

Além do uso em equipamentos críticos, programas da ANEEL incentivam a expansão de sistemas off-grid e on-grid, impulsionando o mercado de baterias estacionárias no Brasil. Estima-se um aumento anual de 17% na demanda de 2019 a 2035 (GREENER, 2021).

A continuidade do fornecimento de energia depende da qualidade dos bancos de baterias, cujo desgaste natural reduz a capacidade ao longo dos ciclos de uso. Considera-se que a vida útil termina quando a capacidade cai abaixo de 20% da nominal (CARNEIRO et al., 2017).

Falhas em bancos de baterias podem interromper operações críticas, tornando essencial monitorar seu estado de saúde (SoH) e estado da carga (SoC). Pesquisas buscam métodos que reduzam custo e tempo, evitando a remoção da bateria durante testes. A determinação precisa do SoC requer mais do que medições de tensão de circuito aberto, sendo os ciclos completos de carga e descarga o método mais confiável, apesar de custoso e demorado (BLANKE, 2004).

A proposta deste trabalho é o desenvolvimento de um sistema que possibilita a identificação de anomalias em baterias estacionárias montadas em banco por meio de um algoritmo de reconhecimento de padrão.

O trabalho também tem como propósito a criação um sistema de medição que possibilite o monitoramento da tensão e temperatura de cada bateria, assim como a corrente de cada associação em série. Associado ao sistema, foi desenvolvido um banco de dados para

armazenamento do histórico de medições, subsidiando o algoritmo que realiza a identificação de falhas e anomalias do sistema.

Analisando-se trabalhos semelhantes desenvolvidos no Brasil e exterior, percebe-se que a maioria contempla a medição das principais variáveis das baterias (tensão, corrente e temperatura) ou a elaboração de algoritmos para detecção de falhas e anomalias, contudo, não ambas propostas reunidas num único sistema. Tampouco os trabalhos pesquisados são aplicados em banco de baterias. Em suma, limitam-se a monitorar e analisar as baterias isoladamente.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

Este trabalho é uma pesquisa experimental em que se desenvolveu, em laboratório, um protótipo para medição das variáveis tensão, corrente e temperatura individuais de um arranjo de baterias. Os dados são coletados e armazenados num banco de dados para posterior análise por algoritmo.

A metodologia foi organizada em quatro etapas principais: desenvolvimento do protótipo, elaboração de algoritmos, armazenamento e visualização de dados, e testes de validação.

2.1 Desenvolvimento do protótipo para testes em laboratório

O protótipo foi construído utilizando um banco de baterias chumbo-ácido tipo VRLA, de 12 V e 7 Ah nominais, organizadas de modo a simular um banco real. O arranjo foi submetido a ciclos de carga, descarga e flutuação, possibilitando observar o comportamento dinâmico de cada unidade.

Durante os testes preliminares, foram realizadas medições diretas de tensão, corrente e temperatura, utilizando multímetros, amperímetros, osciloscópio, fonte CC ajustável, resistores de potência e termômetro infravermelho. Essas medições preliminares permitiram a definição dos requisitos mínimos de hardware e software necessários para medição, transmissão, armazenamento, processamento e apresentação dos dados.

Com base nos resultados, foram especificados os parâmetros de medição e desempenho dos componentes, incluindo faixa de medição, precisão, exatidão, tempo de resposta e taxa de amostragem. Também foi realizada pesquisa de mercado para levantamento de sensores, microprocessadores, interfaces de comunicação, dispositivos de condicionamento de sinais,

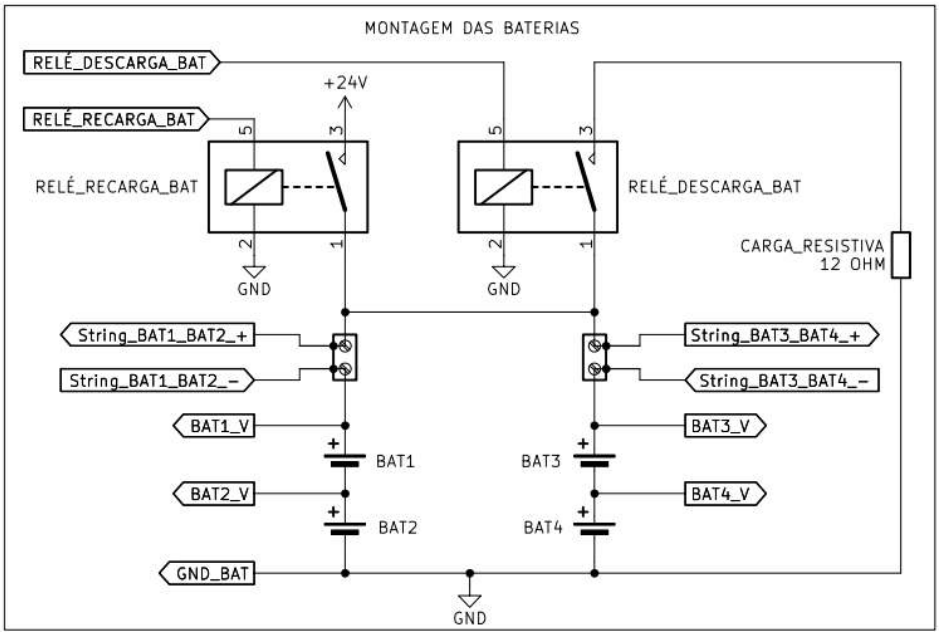
banco de dados e softwares. Além disso, foram criadas tabelas comparativas das características técnicas e levantamento de custos dos dispositivos considerados viáveis para aplicação no protótipo.

Após a definição e aquisição de todos os componentes, o protótipo foi montado e testado, avaliando-se o comportamento dinâmico e confiabilidade do sistema de medição, transmissão e armazenamento de dados. Ajustes foram realizados para assegurar a adequação do protótipo aos objetivos do projeto.

Para a aquisição dos parâmetros elétricos e térmicos, foram empregados sensores específicos: o ADS1115 para medição de tensão (TEXAS INSTRUMENTS, 2024), o ACS712 para corrente (ALLEGRO MICROSYSTEMS, 2024) e o DS18B20 para temperatura ALLEGRO MICROSYSTEMS, 2024). Esses sensores foram conectados a um microcontrolador ESP32, responsável por processar os sinais e transmitir os dados via comunicação sem fio.

Na figura 1 é apresentado o esquema de montagem do arranjo de baterias, relés de carga e descarga, resistência para descarga e pontos de medição de corrente e tensão. A medição de temperatura é feita por sensor fixado na parte lateral de cada bateria.

Figura 1 – esquema geral de montagem do banco de baterias



Fonte: autoria própria.

2.2 Desenvolvimento e testes dos algoritmos

Com os dados coletados pelo protótipo, foi realizado o estudo das grandezas elétricas relevantes para monitoramento das baterias, como tensão nos terminais, corrente na string, temperatura da bateria e ambiente, além da resistência interna (Ri), obtida a partir de tensão e corrente.

A partir dessas variáveis, foi desenvolvido um conjunto de algoritmos em planilhas Excel para identificação de anomalias. O algoritmo compara os dados coletados com padrões de funcionamento definidos, detectando desvios individuais das baterias e permitindo a identificação de falhas, considerando ponderações para a atuação do sistema diante de cada anomalia.

2.3 Armazenamento, processamento e visualização dos dados

Para organizar e disponibilizar os dados obtidos, foi implementado um sistema de armazenamento em banco de dados relacional MySQL Workbench. A plataforma PowerBi foi utilizada para o desenvolvimento da interface gráfica e apresentação dos dados ao usuário. O algoritmo desenvolvido em Excel comunica-se com o banco de dados, possibilitando análise, processamento e visualização das informações de forma integrada.

2.4 Testes e validação do projeto

A validação do protótipo e do algoritmo envolveu simulações em diferentes condições operacionais das baterias, avaliando a assertividade na detecção de falhas individuais e anomalias. O sucesso da metodologia foi avaliado com base na capacidade de identificar previamente irregularidades e fornecer informações para manutenção preventiva.

Além disso, foram identificadas possíveis melhorias para futuros desenvolvimentos, como implementação plug-and-play, uso de sensores sem fio, dispositivos dedicados e compactos, e automatização do processo de análise para diferentes condições não testadas inicialmente.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O sistema de monitoramento desenvolvido foi aplicado a um banco composto por quatro baterias de chumbo-ácido dispostas em série e paralelo, com o objetivo de identificar o comportamento individual em diferentes ciclos de carga e descarga. Para o estudo, foram realizados inúmeros ciclos de carga e descarga das baterias em diferentes patamares de tensão total de descarga do banco, visando simular condições diversas de profundidades de descarga. Dentre os muitos ciclos realizados, foram selecionados 5 ciclos consecutivos do patamar de tensão total de 23,5 V para desenvolvimento do estudo. Nesse patamar, as baterias foram carregadas até 27, 24 V e, em seguida, descarregadas até 23,5 V de tensão total medida nos terminais do banco.

Ao todo, foram realizados cinco ciclos completos de carga e descarga, totalizando mais de 35 mil (trinta e cinco mil) amostras de dados. As informações obtidas foram utilizadas para definir um padrão de comportamento para as condições normais de operação do banco de baterias. Com isso, o algoritmo identifica o gatilho onde ocorre a mudança de estado carga-descarga e seleciona 6 mil (seis mil) amostras por ciclo para compor o padrão. A tabela 1 ilustra parte da coleta do primeiro ciclo de medição.

Tabela 1 – Medição do ciclo 1 do patamar de 23,5 V

		Medição 01				
Pontos		**V total**	**V BAT 1**	**V BAT 2**	**V BAT 3**	**V BAT 4**
1		27,327	13,232	14,070	13,791	13,562
2		27,327	13,231	14,069	13,791	13,562
3		27,327	13,232	14,070	13,790	13,563
4		27,328	13,234	14,069	13,790	13,563
5		27,327	13,232	14,070	13,790	13,563
6		27,327	13,230	14,071	13,790	13,563
7		27,328	13,233	14,071	13,790	13,563
...		...	...	...	...	...
5993		27,292	13,213	14,062	13,753	13,556
5994		27,291	13,211	14,061	13,752	13,557
5995		27,291	13,210	14,062	13,755	13,556
5996		27,291	13,211	14,061	13,752	13,557
5997		27,291	13,211	14,061	13,754	13,556

5998		27,292	13,211	14,063	13,754	13,556
5999		27,292	13,211	14,063	13,754	13,556
6000		27,291	13,210	14,062	13,753	13,556

Fonte: autoria própria.

Com os dados coletados, foi estabelecido um percentual padrão de ±2% para criação de uma banda de normalidade ou tolerância, que será utilizada para os cálculos de desvio e, posteriormente, obter o valor do percentual de semelhança das baterias individualmente e dispostas no banco em relação às medições feitas dos ciclos definidos como padrões. As tabelas 2 e 3 demonstram o funcionamento do sistema quando há uma bateria comprometida (bateria 3).

Tabela 2 – Percentual de semelhança por bateria

	Percentual de semelhança por bateria			
	V BAT 1	**V BAT 2**	**V BAT 3**	**V BAT 4**
Medição 01	64,73%	77,20%	40,04%	74,01%
Medição 02	62,83%	76,82%	38,80%	74,89%
Medição 03	62,81%	76,92%	38,93%	74,85%
Medição 04	62,83%	76,82%	38,80%	74,90%
Medição 05	62,83%	76,82%	38,80%	77,95%

Fonte: autoria própria.

Tabela 3 – Percentual de semelhança do banco de baterias.

	Percentual de semelhança do banco de baterias							
	20%≥30%	30%≥40%	40%≥50%	50%≥60%	60%≥70%	70%≥80%	80%≥90%	≥90%
Medição 01	0	0	0	0	1	0	0	0
Medição 02	0	0	0	0	1	0	0	0
Medição 03	0	0	0	0	1	0	0	0
Medição 04	0	0	0	0	1	0	0	0
Medição 05	0	0	0	0	1	0	0	0

Fonte: autoria própria.

Após comparação entre os resultados das medições obtidas com o banco operando de forma notoriamente anormal e os padrões estabelecidos, observa-se que o sistema identificou desvios significativos de semelhança entre as baterias, principalmente, na bateria avariada

propositalmente inserida no arranjo. Essa diferença é evidenciada nas tabelas 2 e 3, no qual a bateria 3 apresentou percentuais de semelhança próximos a 40%, indicando comportamento fora da banda de normalidade de ±2 % e, consequentemente, afetando de forma negativa desempenho e resultado do arranjo inteiro.

4 CONCLUSÃO

O protótipo e sistema desenvolvido demonstrou eficiência na análise com os materiais disponíveis para produção do estudo. Com o percentual de padrão ajustável, foi possível a identificação de anomalias no comportamento individual e coletivo das baterias, comprovando a viabilidade técnica e eficácia do projeto para aplicação de bancos de pequeno porte. Para o futuro, pretende-se ampliar a análise para outros patamares de tensão e profundidades de descargas, criando diversos padrões, incluindo, padrões de falhas. Dessa forma, permite-se uma cobertura ainda maior para auxílio na manutenção preditiva e preventiva desses equipamentos, uma vez que se observa o grande impacto negativo de uma bateria avariada no desempenho de todo o conjunto. Agradecimentos especiais a Universidade Santa Cecília por disponibilizar o laboratório, equipamentos e ferramentas necessárias para o estudo e, especialmente, ao Prof. Me. Alexandre Shozo Onuki por todo suporte e incentivo durante o ano letivo, sendo essencial em toda construção e elaboração desta pesquisa acadêmica.

5 REFERÊNCIAS

ALLEGRO MICROSYSTEMS. **Fully Integrated, Hall-Effect-Based Linear Current Sensor IC with 2.4 kVRMS Isolation and a Low-Resistance Current Conductor.** Folha de dados. ALLEGRO MICROSYSTEMS, 2024. Disponível em: https://www.allegromicro.com/~/media/files/datasheets/acs712-datasheet.ashx. Acesso em: 10 de junho de 2025.

ANALOG DEVICES. Programmable Resolution 1-Wire Digital Thermometer. Folha de dados. ANALOG DEVICES, 2019. Disponível em: <https://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/ds18b20.pdf>. Acesso em: 10 de junho de 2025.

ANEEL. **Relatório de Resultados da Chamada de P&D Estratégico ANEEL N°21**: Arranjos Técnicos e Comerciais para a Inserção de Sistemas. Brasília (DF), 2024. Disponível em: <https://biblioteca.aneel.gov.br/acervo/detalhe/242638>. Acesso em: 16 de março de 2025.

BLANKE, Holger; et al. **Impedance measurements on lead-acid batteries for state-of-charge, state-of-health and cracking capability prognosis in eletric and hybrid electric vehicles**. Publicado pelo Journal of Power Sources 144 (2005) 418-425). Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0378775304011140>. Acesso em: 10 de março de 2025.

BOSCH. **Baterias estacionárias**. Manual técnico. BOSCH, 2024. Disponível em: <https://www.boschaftermarket.com/xrm/media/images/country_specific/br/downloads_19/pdf_9/manual_tecnico_bateria_estacionaria.pdf>. Acesso em: 09 de março de 2025.

CARNEIRO, R. L. et al. **Aspectos Essenciais Das Baterias Chumbo-Ácido E Princípios Físico-Químicos E Termodinâmicos Do Seu Funcionamento**. Virtual Química, Bauru, v. 9, n. 3, p. 889-911, junho de 2017. Disponível em: <https://s3.sa-east-1.amazonaws.com/static.sites.sbq.org.br/rvq.sbq.org.br/pdf/CarneiroNoPrelo.pdf>. Acesso em: 19 de março de 2025.

DEMETINO, Geydison Gonzaga. **SISTEMA DE AQUISIÇÃO DE DADOS DE BATERIAS DE CHUMBO-ÁCIDO**. Dissertação de mestrado apresentada ao Programa de Pós-graduação em Mecatrônica da Universidade Federal da Bahia, Salvador – BA, 2014. Acesso em: 09 de março de 2025.

GREENER. **Strategic Report Energy Storage Market Brazil 2021**. Greener, 2021. Disponível em: <https://www.greener.com.br/estudo/strategic-report-energy-storage-market-brazil-2021/>. Acesso em: 05 de março de 2025.

INTELBRAS. **Guia completo de nobreak: o que é, benefícios e como escolher.** Blog Intelbras, 2024. Disponível em: <https://blog.intelbras.com.br/tudo-sobre-nobreak/>. Acesso em: 18 de março de 2025.

JUNG, Joey; ZHANG, Jiujun; ZHANG, Lei. **Lead-acid Battery Technologies:** Fundamentals, Materials, and Applications. Boca Raton, Flórida (EUA): CRC Press, 26 de Junho de 2015.

LUCZKIEVICZ, Fabiana R. G. **Determinação do estado de saúde da bateria de chumbo-ácido**. Dissertação de mestrado apresentada à Universidade Estadual do Centro-Oeste, Guarapuava – PR, 2011. Acesso em: 05 de março de 2025.

MOURA. **Linha estacionária série MVA**. Manual técnico. MOURA, 2021. Disponível em: <https://www.moura.com.br/produtos/estacionarias/vrla/Manual-tecnico-Moura-VRLA-MVA-V4-POR-2023.pdf>. Acesso em: 06 de março de 2025

MENEZES, Leonardo H. S**ISTEMA DE MONITORAMENTO PARA BATERIAS DO TIPO CHUMBO ÁCIDO**. Trabalho de Conclusão de Curso de Engenharia Elétrica. Universidade Federal do Paraná, Curitiba – PR, 2013. Acesso em: 10 de março de 2025.

PEREIRA, Tiago Q.; **DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA DE MONITORAMENTO REMOTO MICROCONTROLADO PARA ANÁLISE DA PERFORMANCE DE BANCOS DE BATERIAS**. Trabalho de Conclusão de Curso de Engenharia de Energia na modalidade de artigo científico. Araranguá – SC, 2016. Acesso em: 10 de março de 2025.

USINA INFO, 2022. **Projeto Medindo Corrente com o Sensor ACS712 e o Arduino**. Disponível em: <https://www.usinainfo.com.br/blog/projeto-medindo-corrente-com-o-sensor-acs712-e-o-arduino/>. Acesso em: 17 de maio de 2025.

TEXAS INSTRUMENTS. **ADS111x Ultra-Small, Low-Power, I2C-Compatible, 860SPS, 16-Bit ADCs with Internal Reference, Oscillator, and Programmable Comparator.** Folha de dados. TEXAS INSTRUMENTS, 2024. Disponível em: https://www.ti.com/lit/ds/symlink/ads1115.pdf?ts=1758972649484&ref_url=https%253A%252F%252Fwww.google.com%252F. Acesso em: 25 de maio de 2025.