

IMPLEMENTAÇÃO E ANÁLISE NUMÉRICA DE UM SISTEMA DE BALANCEAMENTO PASSIVO DE CÉLULAS DE ÍONS DE LÍTIO

Felipe Andrade Maciel, andrade.felipe@aluno.unb.br¹

Renato Vilela Lopes, rvlopes@unb.br¹

Leonardo de Souza Takehana, leonardo.takehana@aluno.unb.br¹

¹ Faculdade de Ciências e Tecnologias em Engenharia (FCTE) - Universidade de Brasília (UnB), St. Leste Projeção A - Gama Leste, Brasília - DF, 72444-240

Resumo. Este trabalho avalia a eficácia da estratégia de equalização passiva baseada em resistores de derivação comutados aplicável ao balanceamento de células de baterias de íons de lítio. Um ambiente de simulação foi desenvolvido em MATLAB/Simulink para modelar dois cenários: com e sem a atuação do sistema de balanceamento. A lógica de controle implementada identifica, a cada ciclo, o menor SoC entre as células e ativa, de forma seletiva, a chave associada à célula com maior SoC, sempre que a diferença ultrapassa um limiar predefinido. Quando a chave está ativada, a corrente da célula mais carregada é desviada pelo resistor de balanceamento, limitando sua recarga ou acelerando sua descarga, de modo a promover a equalização dos estados de carga. O modelo da célula LFP 18650 foi parametrizado com dados experimentais utilizando o bloco "Battery - Table-Based" da biblioteca Simscape. Os resultados demonstram que, na ausência de balanceamento, ocorre uma perda de 30,8% na capacidade utilizável do pack. Com o balanceamento ativo, foi possível restaurar a simetria de operação entre as células e aumentar em 44,4% a autonomia do sistema, evidenciando a efetividade da estratégia proposta.

Palavras chave: Baterias de Íons de Lítio, Sistema de Equalização de Cargas, Balanceamento Passivo, BMS, Simulação.

Abstract. This work evaluates the effectiveness of a passive equalization strategy based on switched shunt resistors applied to the balancing of lithium-ion battery cells. A simulation environment was developed in MATLAB/Simulink to model two scenarios: with and without the activation of the balancing system. The implemented control logic identifies, at each cycle, the lowest SoC among the cells and selectively activates the switch associated with the cell having the highest SoC whenever the difference exceeds a predefined threshold. When the switch is activated, the current from the more charged cell is diverted through the balancing resistor, thereby limiting its charging or accelerating its discharging to promote equalization of the state of charge. The LFP 18650 cell model was parameterized using experimental data and implemented through the "Battery - Table-Based" block from the Simscape library. The results show that there is a 30.8% loss in usable pack capacity in the absence of balancing. With active balancing, it was possible to restore symmetry between the cells and increase the system's runtime by 44.4%, demonstrating the effectiveness of the proposed strategy.

Keywords: Lithium-Ion Batteries, Charge Equalization System, Passive Balancing, BMS, Simulation.

1. INTRODUÇÃO

As baterias de íons de lítio (LIBs) têm se consolidado como elementos centrais na atual transição energética global, impulsionadas pela necessidade de substituir fontes baseadas em combustíveis fósseis por alternativas mais sustentáveis. Essas baterias destacam-se pela elevada densidade energética, baixo peso, alta eficiência coulômbica, baixa taxa de auto-descarga e longa vida útil, o que justifica sua ampla adoção em dispositivos eletrônicos portáteis, veículos elétricos (VEs) e sistemas de armazenamento de energia (SAEs) (Mohammadi and Saif (2023); Chen *et al.* (2021)).

Desde sua concepção, que culminou na premiação com o Nobel de Química em 2019 a John B. Goodenough, M. Stanley Whittingham e Akira Yoshino (Nobel Prize Outreach (2019)), as LIBs passaram a viabilizar uma gama de aplicações que exigem mobilidade e armazenamento eficiente de energia (Blomgren (2016)). A necessidade de packs de baterias compostos por associações em série e paralelo de múltiplas células decorre das exigências de tensão e capacidade elevadas na grande maioria dos sistemas (Ulucan and Burat (2024)).

No entanto, essa associação de células introduz o fenômeno do desequilíbrio de carga, que pode ser atribuído a uma combinação de fatores internos e externos. Entre as causas internas destacam-se as variações na capacidade nominal, na resistência interna, na taxa de autodescarga e no perfil de tensão de circuito aberto (OCV) das células, decorrentes de imperfeições no processo de fabricação e das características intrínsecas dos materiais eletroquímicos (Weicker (2013); Lu *et al.* (2013); Cao *et al.* (2008)). Por outro lado, fatores externos como a não uniformidade nas correntes de carga e descarga, gradientes térmicos durante a operação e diferenças na profundidade de descarga também contribuem para

acentuar a inconsistência entre as células ao longo do tempo (Alcântara Dias (2024)).

Essas diferenças, inicialmente pequenas, tendem a se amplificar com o tempo, levando a um desequilíbrio progressivo no estado de carga (SoC) entre as células, o que compromete o desempenho, a segurança e a vida útil do pack de baterias (Feng *et al.* (2019); Jossen (2006)). Durante os ciclos de carga e descarga, a célula mais carregada atinge o limite superior de tensão antes das demais, limitando a capacidade de armazenamento de energia. De maneira análoga, durante a descarga, a célula menos carregada atinge primeiro o limite inferior de tensão, antecipando a interrupção do fornecimento de energia (Ulucan and Burat (2024); Weicker (2013)). Este fenômeno resulta na redução da capacidade utilizável do sistema e pode acelerar o processo de degradação das células.

Para reduzir os efeitos do desequilíbrio, diferentes técnicas de balanceamento de carga são exploradas na literatura, classificadas em métodos dissipativos e não dissipativos. As estratégias não dissipativas, que envolvem transferência ativa de carga via capacitores ou transformadores, oferecem elevada eficiência energética, mas são associadas a maior complexidade, custo e requisitos de espaço (Lu *et al.* (2013)). Já os métodos dissipativos, como o balanceamento resistivo, destacam-se pela simplicidade construtiva e robustez, sendo amplamente empregados em sistemas comerciais de gerenciamento de baterias (BMS), inclusive em muitos veículos elétricos (Weicker (2013); Lu *et al.* (2013)). Em razão da baixa taxa de autodescarga característica das LIBs, pequenas correntes de equalização são suficientes para corrigir as diferenças de estado de carga, o que justifica a ampla adoção dos métodos de balanceamento passivo em aplicações comerciais de BMS.

Dentre as abordagens dissipativas, a estratégia de resistor de derivação comutado é amplamente reconhecida na literatura como uma solução de boa relação custo-benefício para aplicações que exigem confiabilidade, segurança e simplicidade construtiva (Lu *et al.* (2013)). Diversos autores propuseram variações dessa arquitetura visando otimizar o processo de equalização. Koseoglou *et al.* (2019) implementaram um controle de corrente de balanceamento, ajustando dinamicamente o valor da corrente drenada de cada célula para melhorar a eficiência do processo. Dos Santos *et al.* (2018) desenvolveram uma técnica de controle individual da corrente de recarga, permitindo uma gestão mais precisa do estado de carga entre as células. Ismail *et al.* (2017) propuseram a utilização da região de triodo dos transistores MOSFET como resistência de balanceamento variável, eliminando a necessidade de resistores externos e otimizando a integração do circuito.

Mais recentemente, Miyamoto *et al.* (2024) apresentaram o desenvolvimento e a validação experimental de um sistema microcontrolado de balanceamento baseado no método de dissipação de energia, utilizando resistores controlados por MOSFETs. O sistema demonstrou a eficácia da estratégia na manutenção do equilíbrio energético entre as células e na preservação da capacidade nominal do pack de baterias, utilizando uma solução de baixo custo e baixa complexidade.

Neste contexto, o presente trabalho tem como objetivo implementar e analisar, em ambiente de simulação Matlab/Simulink, a eficácia de um sistema de balanceamento passivo baseado na utilização de resistores de derivação comutados. Embora diferentes estratégias de equalização tenham sido propostas na literatura, existe a necessidade de abordagens que ilustrem de forma clara e quantitativa o impacto do desequilíbrio de carga sobre a capacidade de armazenamento e a eficiência dos packs de baterias, bem como a efetividade de técnicas simples e de baixo custo na mitigação desses efeitos. A construção de um ambiente de simulação detalhado permite não apenas validar a viabilidade da estratégia passiva, mas também fornecer subsídios para o desenvolvimento de futuras implementações práticas de Sistemas de Equalização de Cargas (SEC), contribuindo para o dimensionamento de projetos experimentais e para a formação de bases sólidas para a pesquisa aplicada em gerenciamento de baterias.

Este artigo está organizado da seguinte forma: a Seção 2 descreve o princípio de funcionamento e a estrutura do balanceamento passivo por resistores de derivação comutados; a Seção 3 apresenta a metodologia de modelagem e simulação desenvolvida no ambiente Matlab/Simulink; a Seção 4 discute os principais resultados obtidos a partir dos testes realizados; e, por fim, a Seção 5 apresenta as conclusões e sugestões para trabalhos futuros.

2. BALANCEAMENTO PASSIVO POR RESISTORES DE DERIVAÇÃO COMUTADOS

O balanceamento passivo adotado neste trabalho é baseado na topologia de resistores de derivação comutados, uma das estratégias mais amplamente utilizadas em circuitos integrados comerciais de BMS, devido à sua simplicidade, robustez e baixo custo. Como mostrado na Figura 1, cada célula do pack está associada a um resistor de dissipação controlado por uma chave eletrônica dedicada, geralmente implementada com transistores MOSFET. Essa chave permite ativar ou desativar o caminho resistivo de acordo com a lógica de controle definida.

O acionamento das chaves é determinado por um algoritmo embarcado no BMS, que monitora o SoC de todas as células. Sempre que uma célula apresenta um SoC significativamente maior do que as demais, a chave correspondente é acionada, permitindo que o excesso de energia seja dissipado através do resistor de balanceamento. Esta atuação reduz gradativamente a diferença de carga, conduzindo o sistema para uma condição de maior uniformidade. Essa característica permite que o balanceamento ocorra de maneira gradual, sem necessidade de circuitos de alta potência.

Além disso, a flexibilidade de controle oferecida por essa topologia permite o desenvolvimento de estratégias mais elaboradas de balanceamento, como o controle dinâmico da corrente de descarga (Koseoglou *et al.* (2019)), o controle individual da corrente de recarga (Dos Santos *et al.* (2018)) e a utilização da região de triodo dos MOSFETs como

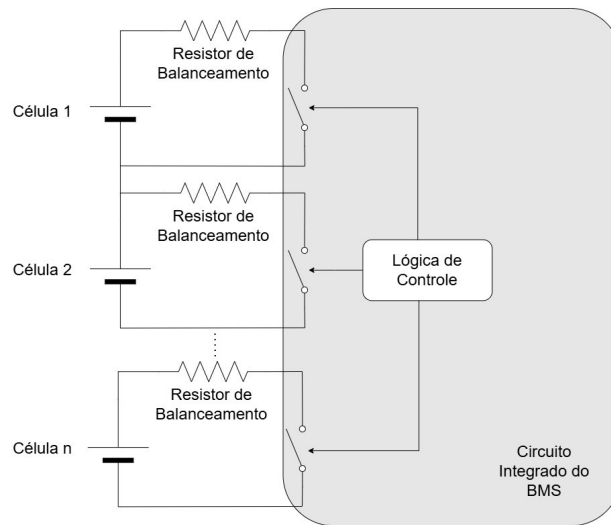


Figura 1. Topologia de balanceamento passivo por resistores de derivação comutados.

resistência de balanceamento (Ismail *et al.* (2017)). No entanto, neste trabalho optou-se por uma estratégia de controle mais simples, comutando os resistores de derivação com base na diferença de SoC entre as células, visando facilitar a implementação, a análise dos resultados e a estruturação de um framework didático para o desenvolvimento e teste de algoritmos de equalização. A lógica de controle adotada será detalhada na próxima seção.

2.1 LÓGICA DE CHAVEAMENTO ADOTADA

A lógica de controle responsável pelo acionamento dos resistores de balanceamento está representada na Figura 2. O processo é executado de forma cíclica e inicia-se com a aquisição dos valores de SoC de todas as células do pack. Em seguida, verifica-se se o bloco de balanceamento está habilitado. Caso não esteja, nenhuma ação é tomada, e o sistema permanece inativo.

Quando o balanceamento está ativo, o algoritmo identifica o menor SoC entre todas as células, denominado SoC_{Min} . A partir desse valor, é iniciado um processo de varredura sobre cada célula i do pack. Para cada uma delas, calcula-se a diferença $\Delta SoC_i = SoC_i - SoC_{Min}$. Se essa diferença for superior a um limiar pré-definido (threshold), a chave associada à célula i é ativada ($Chave_i = 1$), conectando o resistor de balanceamento à célula e permitindo a dissipação da energia excedente. Caso contrário, a chave permanece desligada.

Ao final da varredura, o sistema avalia se ao menos uma chave de balanceamento foi acionada. Se sim, o sinal *Balanceamento Ativo* é mantido em nível lógico alto, indicando que o processo de equalização está em andamento. Caso contrário, esse sinal é desativado.

Diferentemente de abordagens que restringem a atuação do balanceamento ao processo de recarga, esta lógica permite a equalização também durante a descarga. Essa característica é possível graças à adoção do menor SoC como referência, independentemente do estado operacional do sistema.

3. METODOLOGIA DE SIMULAÇÃO

Com o objetivo de ilustrar os efeitos do desbalanceamento entre células e validar a eficácia da lógica de equalização proposta, foi desenvolvido um ambiente de simulação no software Matlab/Simulink (versão 2024). A estrutura geral do modelo é apresentada na Figura 3 e é composta por três subsistemas principais: Balanceamento, Automação dos Testes e Bateria Simulada.

O subsistema Balanceamento é responsável por implementar a lógica de chaveamento descrita na Seção 2.1, sendo o bloco encarregado de acionar os resistores de derivação. Como entradas, recebe os valores de SoC de cada célula e um parâmetro de *threshold*, que define a diferença máxima admissível de SoC entre elas. Nas simulações, esse limiar foi fixado em 0,05%. Quando o balanceamento está habilitado, o algoritmo compara o SoC de cada célula com o menor valor do conjunto e ativa a chave associada ao resistor correspondente sempre que a diferença ultrapassa o valor estabelecido, promovendo a dissipação controlada da energia excedente.

O subsistema Automação dos Testes é responsável pelo controle das fontes de carga e descarga, conduzindo automaticamente os ciclos completos de operação por meio da alternância entre diferentes estados do sistema, conforme critérios predefinidos. A Figura 4 apresenta a máquina de estados implementada, que regula a transição entre os estados operacionais: Início, Carregamento, Equalização, Descarga e Fim. Nesta estrutura, o estado de início é responsável pela maior parte

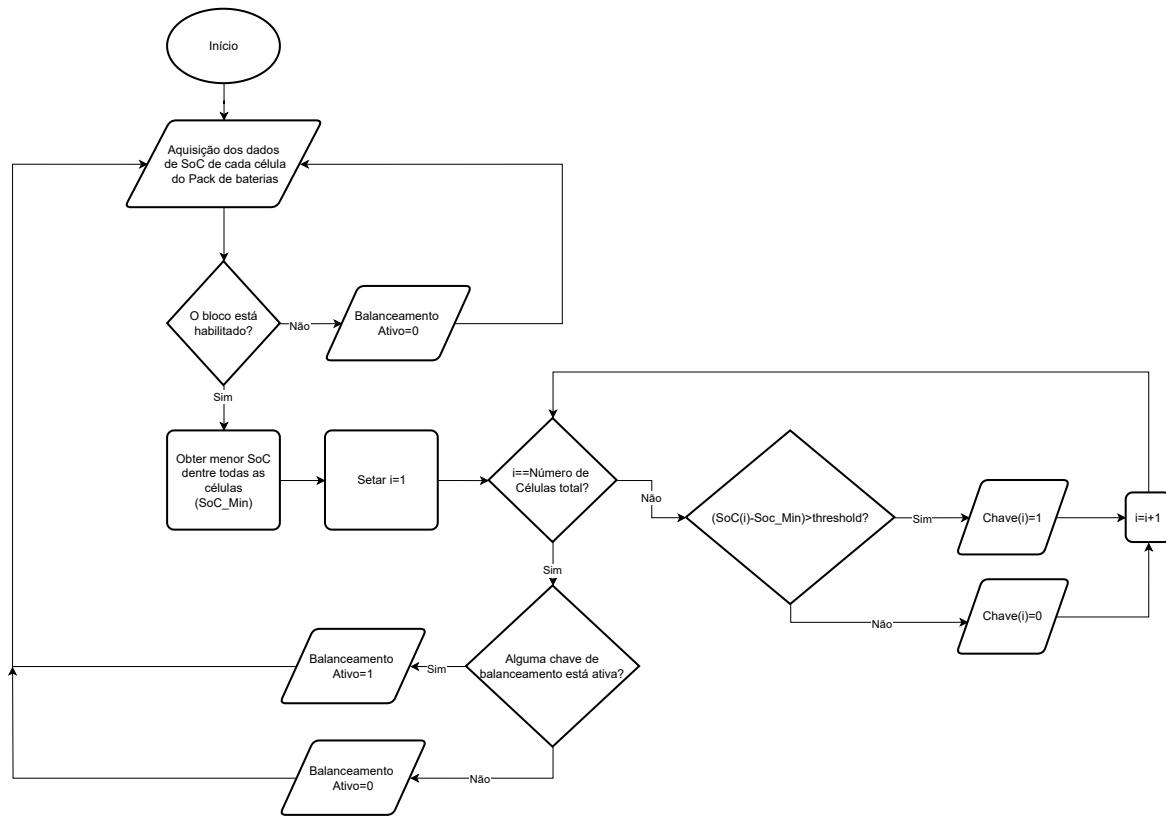


Figura 2. Fluxograma da lógica de chaveamento utilizada no balanceamento passivo.

das avaliações de transições de estado. A cada iteração do processo, o estado atual é determinado com base em condições lógicas associadas ao valor máximo e mínimo de SoC das células, à ativação do balanceamento e ao número de ciclos de testes executados. No estado de carregamento, a fonte de corrente contínua de carregamento é ativada para elevar o SoC das células. Quando o SoC máximo atinge o limite superior e o balanceamento está ativo, o sistema transita para o estado de equalização, no qual a corrente de carga é desligada e os resistores de balanceamento são acionados conforme a lógica descrita anteriormente. Após a equalização, o sistema volta para o início, no qual realiza uma nova avaliação de qual deve ser o estado seguinte. No estado de início, caso as baterias ainda não estejam completamente carregadas o sistema retorna para o estado de carregamento para finalizar a carga das baterias, mas caso estejam totalmente carregadas o próximo estado é a descarga, em que as células são descarregadas até o limite inferior de SoC. Dessa forma, vários ciclos de teste podem ser implementados e caso o número de ciclos de carga e descarga seja superior ao pré-determinado (2) o teste é finalizado. A tabela incorporada à Figura 4 resume as condições de ativação das fontes de carga e descarga para cada estado da máquina de estados.

O subsistema Bateria Simulada representa os elementos físicos de uma bancada real, simulando a associação em série de duas células de Lítio Ferro Fosfato (LFP), com capacidade nominal de 1400 mAh e tensão nominal de 3,2 V. Inclui-se ainda uma fonte de tensão (7,3 V) para recarga, uma carga dinâmica para descarga, e resistores de 32 Ω conectados a cada célula por chaves comutadoras controladas pelo subsistema de balanceamento. A escolha por apenas duas células visa facilitar a visualização do comportamento dinâmico do sistema e a análise dos resultados obtidos, sem prejuízo à generalização dos conceitos discutidos.

O valor do resistor de balanceamento foi definido com base na relação $R = \frac{V}{I}$, considerando uma tensão máxima experimental da célula de aproximadamente 3,62 V e uma corrente de dissipação limitada a 0,1 C (cerca de 137 mA). A escolha desse valor de corrente busca garantir que o processo de dissipação ocorra de forma lenta e segura, minimizando estresses térmicos e prolongando a vida útil das células, o que é uma prática comum em BMS comerciais, especialmente para aplicações em que o balanceamento é realizado continuamente durante os ciclos de carga e descarga. Com base nesses parâmetros, obtém-se uma resistência teórica de aproximadamente 26,5 Ω . Pensando em uma futura implementação prática, optou-se por utilizar na simulação um valor compatível com componentes comerciais reais. Inicialmente foi considerado um resistor de 27 Ω ; no entanto, medições experimentais realizadas com multímetro em um exemplar físico do componente indicaram uma resistência efetiva de 32 Ω , valor este que foi adotado no modelo simulado para garantir maior aderência entre o comportamento da simulação e o cenário prático.

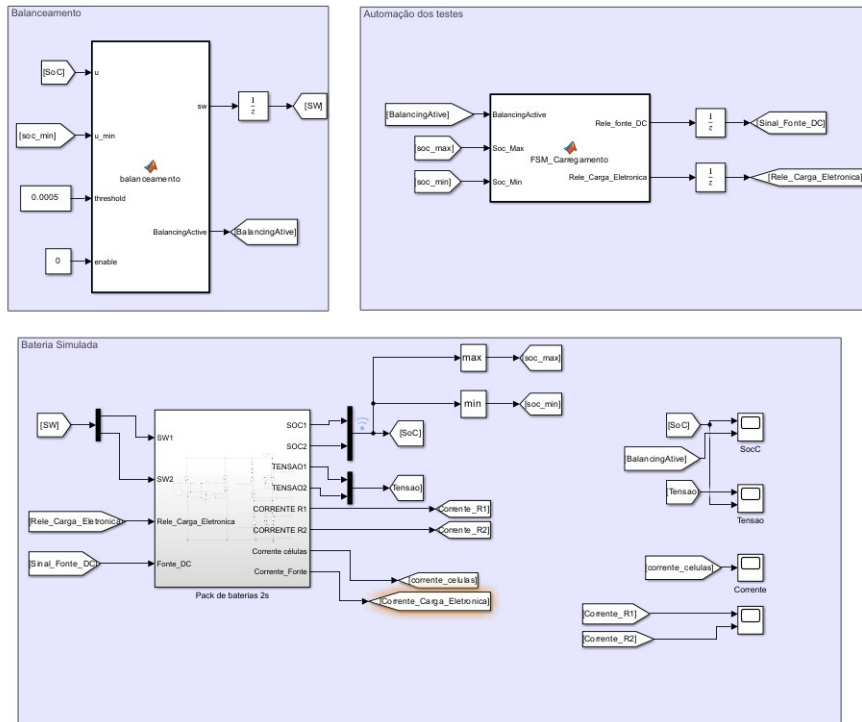


Figura 3. Visão geral do ambiente de simulação Simulink

O modelo da célula foi construído com base no bloco *Battery – Table-Based*, da biblioteca Simscape do Simulink, parametrizado a partir de dados experimentais obtidos por meio de um processo de identificação conduzido previamente em laboratório, conforme descrito em (Solís (2025)). Essa abordagem permite representar com fidelidade o comportamento dinâmico da célula LFP 18650 sob diferentes condições de operação, utilizando tabelas LUT (do inglês, *Lookup Tables*) obtidas experimentalmente. Tal parametrização possibilita que a simulação reproduza o desempenho real da célula em regime dinâmico, contemplando variações de tensão em função do SoC, da temperatura e das correntes de carga e descarga.

A partir do modelo de simulação desenvolvido, foram considerados dois cenários de teste. Em ambos os casos, a descarga das células foi realizada com corrente constante de 1C, correspondente a 1,4 A, enquanto o processo de carga foi conduzido por uma fonte de tensão de 7,3 V conectada diretamente ao pack. Nessa configuração, a corrente de carga passou a ser determinada pela diferença entre a tensão da fonte e a tensão instantânea das células, caracterizando um carregamento por tensão constante.

- **Teste 1 – Sem balanceamento:** o sistema é submetido a ciclos de carga e descarga com uma diferença inicial de SoC de 20% entre as células, sendo considerado um SoC inicial de 70% para a célula 1 e de 50% para a célula 2. Neste cenário, o balanceamento permanece desativado. O objetivo é evidenciar os efeitos do desbalanceamento na capacidade utilizável do pack.
- **Teste 2 – Com balanceamento:** o sistema é simulado com a lógica de balanceamento ativada, a fim de avaliar o comportamento do pack e a atuação da estratégia de equalização passiva em condições de desbalanceamento entre as células.

4. Resultados e discussões

Esta seção apresenta e discute os resultados obtidos para os dois cenários de simulação propostos. A Figura 5 exibe os resultados do cenário sem balanceamento. Observa-se que, devido à diferença inicial de 20% entre os SoCs das células, o sistema opera de forma ineficiente. Durante a carga, a célula com maior SoC atinge o limite superior antes da outra, interrompendo o processo de carregamento. Como consequência, a célula com menor SoC não atinge sua capacidade total, limitando o aproveitamento energético do pack. De forma semelhante, no processo de descarga, a célula menos carregada atinge primeiro o limite inferior, forçando o fim da descarga antes que a outra célula esgote sua energia. Esse comportamento reduz a autonomia do sistema, pois parte da energia armazenada permanece inutilizada. Considerando que a célula limitante inicia a descarga com 80% de SoC e o processo é interrompido ao atingir 35%, a energia efetivamente utilizada corresponde a apenas 0,63Ah, em comparação com os 0,91Ah que seriam aproveitados em um sistema balanceado. Isso representa uma redução de aproximadamente 30,8% na capacidade utilizável do pack.

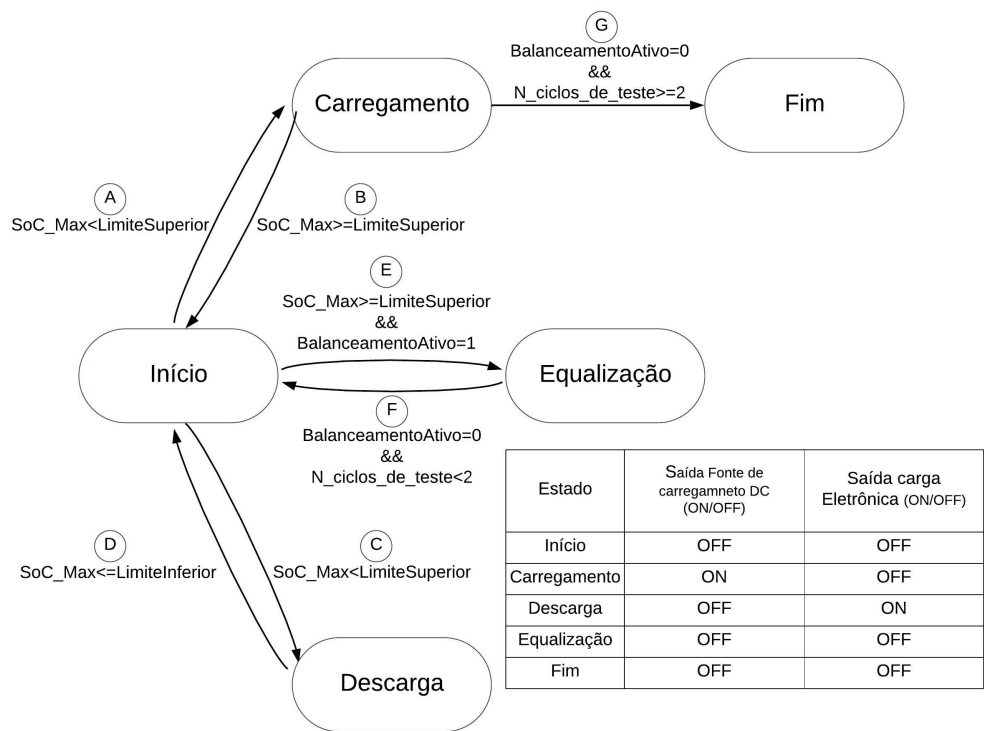


Figura 4. Fluxograma de estados operacionais do sistema com balanceamento.

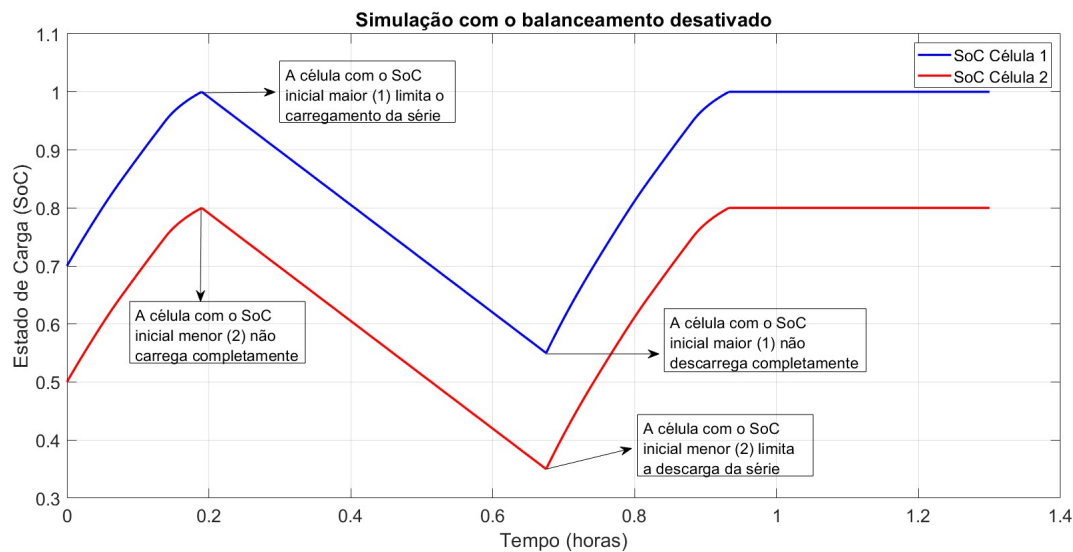


Figura 5. Simulação com o balanceamento desativado

A Figura 6 apresenta os resultados obtidos com o balanceamento ativado. Logo no início da simulação, a diferença de SoC entre as células é detectada, acionando o bloco de controle responsável pela equalização. Ambas as células iniciam a fase de carga, porém a célula 1, inicialmente mais carregada, atinge primeiro o limite superior de SoC. Nesse momento, sua corrente é desviada pelo resistor de balanceamento, iniciando um processo controlado de descarga enquanto a célula 2 permanece com seu SoC constante. Essa estratégia permite reduzir gradualmente o SoC da célula 1 até igualá-lo ao da célula 2, promovendo o balanceamento. Após essa etapa, ambas as células passam a ser carregadas simultaneamente até 100% de SoC. Esse processo é conduzido de forma gradual e controlada, respeitando o threshold de 0,05% adotado no algoritmo. A atuação do sistema de balanceamento pode ser observada na parte inferior da figura, que indica os instantes de acionamento da chave associada ao resistor de dissipação.

Com o término do balanceamento, o sistema passa a operar em ciclos de carga e descarga com as duas células em condições similares de SoC, o que viabiliza o uso integral da energia armazenada, como se observa na parte final da

Figura 6, onde ambas as células apresentam comportamento uniforme. Essa melhoria é evidenciada no tempo total de descarga: enquanto o pack desbalanceado (sem balanceamento) esgotou sua capacidade útil em 29,13 minutos, o sistema balanceado operou por 42,05 minutos sob as mesmas condições de corrente ($1C = 1,4\text{ A}$). Isso representa um aumento de aproximadamente 44,4% na autonomia do sistema, comprovando a efetividade da estratégia de equalização passiva na recuperação da plena capacidade do pack.

Em relação aos indicadores de desempenho apresentados, é importante destacar que a redução de 30,8% refere-se à capacidade da célula não aproveitada (em Ah), decorrente do desbalanceamento entre as células. Por sua vez, o aumento de 44,4% observado na autonomia (tempo de descarga) resulta do uso mais eficiente da energia armazenada após o balanceamento. Embora representem métricas distintas, ambos os indicadores corroboram a relevância da estratégia de equalização adotada.

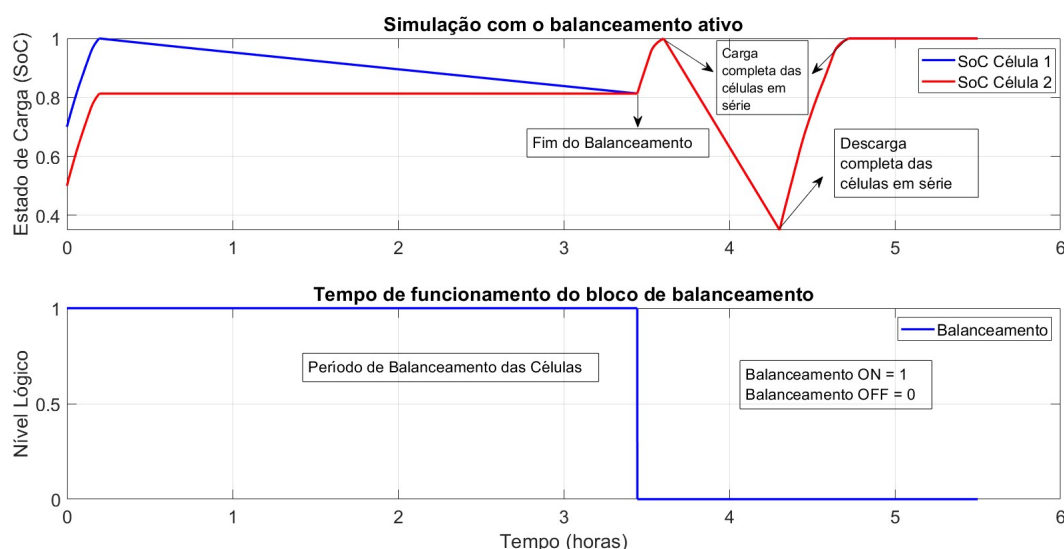


Figura 6. Simulação com o balanceamento ativo

5. CONCLUSÕES

Este trabalho apresentou a implementação e análise, em ambiente de simulação no Matlab/Simulink, de uma estratégia de equalização passiva baseada na topologia de resistores de derivação comutados. A simulação foi conduzida com o objetivo de ilustrar os efeitos negativos do desbalanceamento entre as células de um pack de baterias de íons de lítio e demonstrar a efetividade da técnica de balanceamento adotada na recuperação da capacidade utilizável do sistema.

Inicialmente, os testes evidenciaram que o desbalanceamento entre as células, ainda que moderado (20% de diferença inicial no SoC), compromete significativamente a autonomia e o aproveitamento energético do pack. A célula limitante atinge prematuramente os limites operacionais, tanto na carga quanto na descarga, resultando em uma redução de aproximadamente 30,8% na capacidade efetivamente utilizada.

Com a ativação do sistema de balanceamento, foi possível equalizar gradualmente o SoC das células, permitindo o carregamento e descarregamento completos do pack. A simulação demonstrou um aumento de 44,4% no tempo total de operação durante a descarga, evidenciando a melhora significativa na autonomia do sistema. Esses resultados validam a eficácia da estratégia passiva proposta, sobretudo por sua simplicidade construtiva, baixo custo e compatibilidade com circuitos integrados amplamente empregados em sistemas comerciais de gerenciamento de baterias.

Como trabalho futuro, pretende-se implementar a estratégia proposta em bancada experimental, avaliando seu desempenho sob diferentes cenários de desbalanceamento, condições térmicas e perfis de carga típicos de aplicações reais. Além disso, pretende-se estudar e desenvolver algoritmos de balanceamento passivo mais eficientes, capazes de reduzir o tempo de equalização e otimizar o aproveitamento energético sem comprometer a simplicidade e a robustez da solução.

6. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio financeiro da Fundação de Desenvolvimento da Pesquisa – Fundep, Rota 2030 - Linha V, Projeto No. 27192.03.01/2022.01-00.

7. REFERÊNCIAS

- Alcântara Dias, B.M.d., 2024. *Processo hierárquico analítico aplicado no controle de sistemas de equalização de carga entre células de baterias de íons de lítio*. Tese (doutorado), Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Departamento de Engenharia de Energia e Automação Elétricas, São Paulo. 151 p. Versão original.
- Blomgren, G.E., 2016. “The development and future of lithium ion batteries”. *Journal of The Electrochemical Society*, Vol. 164, No. 1, p. A5019.
- Cao, J., Schofield, N. and Emadi, A., 2008. “Battery balancing methods: A comprehensive review”. In *2008 IEEE Vehicle Power and Propulsion Conference*. pp. 1–6. doi:10.1109/VPPC.2008.4677669.
- Chen, Y., Kang, Y., Zhao, Y., Wang, L., Liu, J., Li, Y., Liang, Z., He, X., Li, X., Tavajohi, N. and Li, B., 2021. “A review of lithium-ion battery safety concerns: The issues, strategies, and testing standards”. *Journal of Energy Chemistry*, Vol. 59, pp. 83–99. ISSN 2095-4956. doi:https://doi.org/10.1016/j.jechem.2020.10.017. URL <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2095495620307075>.
- Dos Santos, S.R., Fracarolli, J.P., Narita, A.Y., Aranha, J.C., Marques, F.L., Sansão, J.C. and Hamacek, P.V.B., 2018. “Dissipative lithium-ion cell balancing by recharge control and detection of outliers for energy optimization and heat reduction”. In *IECON 2018-44th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society*. IEEE, pp. 5038–5043.
- Feng, F., Hu, X., Liu, J., Lin, X. and Liu, B., 2019. “A review of equalization strategies for series battery packs: variables, objectives, and algorithms”. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 116, p. 109464. doi: 10.1016/j.rser.2019.109464.
- Ismail, K., Nugroho, A., Kaleb, S. *et al.*, 2017. “Passive balancing battery management system using mosfet internal resistance as balancing resistor”. In *2017 International Conference on Sustainable Energy Engineering and Application (ICSEEA)*. IEEE, pp. 151–155.
- Jossen, A., 2006. “Fundamentals of battery dynamics”. *Journal of Power Sources*, Vol. 154, pp. 530–538. doi: 10.1016/j.jpowsour.2005.10.041.
- Koseoglou, M., Tsioumas, E., Jabbour, N. and Mademlis, C., 2019. “Highly effective cell equalization in a lithium-ion battery management system”. *IEEE Transactions on Power Electronics*, Vol. 35, No. 2, pp. 2088–2099.
- Lu, L., Han, X., Li, J., Hua, J. and Ouyang, M., 2013. “A review on the key issues for lithium-ion battery management in electric vehicles”. *Journal of Power Sources*, Vol. 226, pp. 272–288. ISSN 0378-7753. doi:https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2012.10.060. URL <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378775312016163>.
- Mohammadi, F. and Saif, M., 2023. “A comprehensive overview of electric vehicle batteries market”. *e-Prime - Advances in Electrical Engineering, Electronics and Energy*, Vol. 3, p. 100127. ISSN 2772-6711. doi:https://doi.org/10.1016/j.prime.2023.100127. URL <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2772671123000220>.
- Nobel Prize Outreach, 2019. “The nobel prize in chemistry 2019”. URL <https://www.nobelprize.org/prizes/chemistry/2019/summary/>. Acesso em: 4 abr. 2025.
- Solís, C.A.V., 2025. *Identificação do Modelo Matemático e Estimação do Estado de Carga de Baterias de Íons de Lítio Utilizando um Filtro de Kalman Estendido*. Dissertação de mestrado, Universidade de Brasília, Brasília, DF, Brasil. Programa de Pós-Graduação em Sistemas Mecatrônicos, ENM/FT/UnB.
- Ulucan, T. and Burat, F., 2024. “The recent developments in ev batteries and rees recovery processes from spent nimh batteries”. *Academia Engineering*, Vol. 1, No. 4.
- Weicker, P., 2013. *A systems approach to lithium-ion battery management*. Artech house.

8. RESPONSABILIDADE PELAS INFORMAÇÕES

Os autores são os únicos responsáveis pelas informações incluídas neste trabalho.