



## MODELAGEM DA CURVA DE CARGA DE UMA BATERIA DE ÍON-LÍTIO DOIS ESTÁGIOS CC-CV PARA VEÍCULOS ELÉTRICOS<sup>1</sup>

**Bruno Muraro Perondi<sup>2</sup>, Leonardo Luan Moreira Serpa Sá<sup>3</sup>, Gabriel Kommers da Silva<sup>4</sup>, Maurício de Campos<sup>5</sup>, Moises Machado Santos<sup>6</sup>, Paulo Sérgio Sausen<sup>7</sup>**

<sup>1</sup> Artigo Complementar à dissertação de mestrado no Programa de Pós Graduação de Mestrado em Modelagem Matemática Computacional na Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul.

<sup>2</sup> Aluno do Programa de Pós Graduação de Mestrado em Modelagem Computacional na Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul.

<sup>3</sup> Aluno do Programa de Pós Graduação de Mestrado em Modelagem Computacional na Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul

<sup>4</sup> Aluno do Programa de Pós Graduação em Engenharia Elétrica na Universidade Federal de Santa Maria

<sup>5</sup> Professor da graduação e do Programa de Pós Graduação de Mestrado em Modelagem Matemática Computacional na Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul.

<sup>6</sup> Professor da graduação e do Programa de Pós Graduação de Mestrado em Modelagem Matemática Computacional na Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul.

<sup>7</sup> Professor da graduação e do Programa de Pós Graduação de Mestrado em Modelagem Matemática Computacional na Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul.

### RESUMO

Com o aumento da quantidade de Veículos Elétricos (VEs) nas frotas automotivas ao redor do mundo, por questões ambientais e financeiras, estudos sobre o funcionamento, demandas e impacto destes estão se tornando cada vez mais frequentes. Neste estudo, foi realizada a modelagem da curva de carga em dois estágios CC-CV (*Constant Current - Constant Voltage* ou Corrente Constante - Tensão Constante) de um conjunto de baterias de íon-lítio simulando um VE. O objetivo foi representar as curvas de tensão, corrente e estado de carga (SOC) durante o tempo de carregamento da bateria. Para isso, foi considerado um conjunto (*pack*) de cem (100) células de bateria de íon-lítio - fosfato de lítio ferro (LiFePO<sub>4</sub>) - LFP conectadas em série para simular a bateria do veículo. As simulações do comportamento das curvas de carga foram realizadas utilizando o software MATLAB/Simulink. Os resultados obtidos condizem com a literatura e mostram que o modelo pode representar o comportamento dinâmico da bateria.

**Palavras-chave:** Bateria LFP. Veículo Elétrico (VE). Modelagem. Carregamento. Estado da Carga (SOC).

### ABSTRACT

With the increasing number of Electric Vehicles (EVs) in automotive fleets around the globe, driven by environmental and financial considerations, studies on their operation, demands, and impacts are becoming more frequent. In this study, the charging curve modeling in two stages, CC-CV (*Constant Current - Constant Voltage*), of a set of lithium-ion batteries simulating an EV was performed. The objective was to represent the curves of voltage, current, and state of charge (SOC) during the battery's charging time. For this, a set of one hundred (100) lithium iron phosphate (LiFePO<sub>4</sub>) cells (LFP) connected in series was considered to simulate the vehicle's battery. The simulations of the charging curve behavior



were conducted using MATLAB/Simulink software. The obtained results are consistent with the literature and show that the model can represent the dynamic behavior of the battery.

**Keywords:** LFP Battery. Electric Vehicle (EV). Modeling. Charging. State of Charge (SOC).

## INTRODUÇÃO

Com o avanço econômico e industrial dos países e o consequente aumento da demanda energética, aliado à crescente preocupação com o meio ambiente e as mudanças climáticas, as fontes de energia renovável têm se destacado como alternativas aos combustíveis fósseis, que são responsáveis por cerca de 70% das emissões globais de poluentes na atmosfera (BAZAN, 2018). De acordo com o Relatório de Transporte e Meio Ambiente de 2022, da Agência Europeia Ambiental (E.E.A.), o setor de transporte é um grande contribuinte para as emissões de gases de efeito estufa (GEE) devido à sua forte dependência de combustíveis fósseis.

A poluição proveniente dos transportes foi responsável por 25,9% do total de emissões de GEE em 2019, isto é, a frota de veículos à combustão representa um grande peso no impacto das emissões de GEE. Não obstante, enquanto ao longo do tempo as emissões totais de GEE caíram em 24%, as do setor de transporte aumentaram em 33% e, como resultado disso, a participação do transporte nas emissões de GEE cresceu (“Transport and environment report 2022 — European Environment Agency”, 2022). Com as projeções de crescimento da população mundial e quantidade de emissões que são produzidas atualmente e com e conseqüentemente o aumento da frota de veículos à combustão (VCs), será impossível manter o aumento da temperatura global abaixo de 2°C que foi proposto no Acordo de Paris em 2015 (REI; GONÇALVES; SOUZA, 2017).

Com isto em vista, o setor de transportes vem recebendo uma atenção especial e vários estudos indicam que uma das possibilidades para solucionar os problemas ocasionados pela emissão de gases dos veículos à combustão são os veículos elétricos. De acordo com a Agência Internacional de Energia (IEA), os mercados de carros elétricos estão registrando um crescimento exponencial, com as vendas ultrapassando 10 milhões em 2022. No total, 14% de todos os carros novos vendidos em 2022 eram elétricos, comparado a cerca de 9% em 2021 e menos de 5% em 2020. Mais de 2,3 milhões de carros elétricos foram vendidos no primeiro



trimestre de 2023, cerca de 25% a mais do que no mesmo período do ano de 2022 (“Global EV Outlook 2023”, 2023).

Com base nas políticas atuais e vigentes, a demanda por petróleo no transporte rodoviário deve alcançar seu pico por volta de 2025, de acordo com o Cenário de Políticas Declaradas da IEA (STEPS). A partir de 2030, os veículos elétricos serão responsáveis pela substituição de mais de 5 milhões de barris de petróleo por dia, isto é, neste mesmo ano o uso de carros elétricos ajudará a evitar a emissão de aproximadamente 700 milhões de toneladas de gás carbônico (CO<sub>2</sub>) equivalentes (“Global EV Outlook 2023”, 2023).

Embora os VEs pareçam uma ótima alternativa aos VCs, ainda existem muitos desafios para a adoção total deste tipo de transporte, principalmente quando se trata de infraestrutura e custos de produção. Quanto aos custos, a maioria deles se origina nas próprias baterias dos veículos elétricos (HAFNER; LUCIANI, 2022). De acordo com Berckmans et al. (2017), as baterias comercializadas nos VEs chegaram a compor cerca de 75% do custo total do veículo, o que o tornava pouco acessível ao público em geral. Atualmente, as baterias totalizam em média de 35% a 60% do valor total do carro, algo que ainda é considerado alto, porém o mercado apresenta uma trajetória descendente no custo por quilowatt-hora (R\$/kW) visto que a tecnologia está em constante evolução (SEGALA, 2021).

Muito desse barateamento de custos se deve ao estudo e aprimoramento constante das baterias (HAFNER; LUCIANI, 2022). Principalmente as baterias de íon-lítio (LFP), estas são a tecnologia preferida para carros elétricos, porque a química envolvida na bateria do lítio oferece densidades de potência e energia muito mais altas em termos gravimétricos e volumétricos do que outras químicas de baterias, além de possuir taxas mais baixas de autodescarga e, portanto, apresentar uma vida útil mais longa (LIU et al., 2022). Devido a estas características, houve um impulso significativo em direção à eletrificação de veículos, e vários modelos comerciais de veículos elétricos, híbridos *plug-in* e com tecnologia *vehicle-to-grid* (V2G) entraram no mercado (ANIS ALLAGUI et al., 2018).

A maioria dos veículos possuem um sistema de gerenciamento de baterias (BMS) que monitora a tensão, a corrente e a temperatura da bateria. Além disso, o sistema de gerenciamento de baterias deve avaliar precisamente os estados internos da bateria, como o estado de carga (SOC), o estado de saúde (SOH) e a profundidade de descarga (DOD). Para isso ser possível, o projetista do BMS deve ter uma simulação detalhada do sistema de tração



do veículo elétrico, incluindo um modelo detalhado da bateria (ABDELHAFIZ; FOUUDA; RADWAN, 2023). Portanto, é de vital importância determinar os parâmetros de uma célula de bateria de íon-lítio, pois esses são a base para projetar o BMS e também ajudam a compreender os processos físico-químicos subjacentes responsáveis pela degradação do envelhecimento das baterias.

Este trabalho tem como objetivo investigar teoricamente o comportamento de uma célula de bateria de íon-lítio com aplicabilidade para veículos elétricos durante o carregamento e definir através de simulações via software MATLAB/Simulink as curvas de tensão, corrente e estado da carga ao decorrer do tempo. Para isto, o mesmo encontra-se dividido em cinco (5) itens, sendo a Introdução para contextualizar ao leitor o problema da pesquisa, a relevância do trabalho, e delinear os objetivos e a estrutura do artigo. A Metodologia, abordando os métodos e procedimentos utilizados para a pesquisa. O Embasamento Teórico, trazendo a revisão de literatura existente e fornecendo a base conceitual e a fundamentação para a pesquisa. Os Resultados e Discussões, onde são apresentados o desenvolvimento e as soluções encontradas e, por fim, as Considerações Finais, trazendo reflexões sobre o trabalho como um todo.

## **METODOLOGIA**

Neste artigo é apresentado um método de abordagem bibliográfica, quantitativa e aplicada. A pesquisa fundamenta-se em informações provenientes de livros, dissertações, projetos, artigos e outros documentos escritos, complementando-se com a utilização de dados empíricos que proporcionam resultados precisos e próximos à realidade.

O primeiro passo neste estudo é realizar uma revisão bibliográfica. Abordando algumas tecnologias e métodos que se referem à carga e descarga de baterias, com foco nas baterias de íon-lítio. Nesse sentido, também são investigados os fundamentos teóricos que possibilitam a modelagem da curva de carga de uma bateria.

A segunda parte do trabalho aborda o estudo e desenvolvimento da modelagem da curva de carga de uma bateria de íon-lítio, baseando-se em modelos e cálculos previamente estabelecidos na literatura. Para isso, foi selecionada uma bateria de íon-lítio comercial, cujos parâmetros elétricos foram extraídos e aplicados ao modelo desenvolvido. Em seguida, foram realizadas simulações computacionais para analisar os comportamentos da tensão, corrente e



estado de carga (SOC) da bateria durante o período de carregamento através do software MATLAB/Simulink.

Por fim, são apresentados os resultados da pesquisa e são discutidas algumas considerações.

## **EMBASAMENTO TEÓRICO**

Os carros elétricos estão ganhando cada vez mais espaço na indústria automobilística e de transportes, visto que estes apresentam uma alternativa sustentável aos veículos movidos a combustíveis fósseis. Os VEs ajudam a mitigar parte das emissões de GEE e apresentam uma eficiência de conversão energética superior à combustão, ainda utilizada pela maioria dos veículos utilitários e particulares ao redor do mundo (“Global EV Outlook 2023”, 2023). Além disso, os avanços das tecnologias que envolvem as baterias e a melhoria dos sistemas da infraestrutura para carregamento de VEs estão tornando os veículos elétricos mais triviais e acessíveis para os consumidores em geral. Como consequência dessas ponderações, a demanda por veículos elétricos está crescendo rapidamente, impulsionando inovações contínuas no setor.

Os veículos elétricos em geral possuem como principal componente de fabricação a bateria em si. De acordo com Viera (2019), a bateria é o componente-chave dos veículos elétricos (VEs), que incluem os veículos elétricos a bateria (BEVs), os veículos elétricos híbridos (HEVs) e os veículos híbridos *plug-in* (PHEVs), influenciando diretamente em seu custo, peso, autonomia e confiabilidade, por isso essas vem se tornando cada vez mais amplamente estudadas e estão em constante evolução. Atualmente, como citado anteriormente, as baterias de íon-lítio são as mais utilizadas devido às suas características, principalmente por apresentarem uma alta densidade de potência e de energia (LIU et al., 2022).



Figura 1 - Bateria de íon-lítio comercial. **Fonte:** Amazon (2024).

Além das questões de autonomia, eficiência e custos de uma bateria, um outro fator se demonstra extremamente relevante, que é a vida útil da bateria. Todas as baterias se degradam com o tempo e uso, a maioria dos VEs tem uma garantia de oito anos ou 160.000 km. Uma bateria pode ser considerada no fim de sua vida útil se não for capaz de armazenar mais de 80% da sua capacidade total utilizável e apresentar uma taxa de autodescarga superior a 5% no período de um dia (24 horas) (MOTHILAL BHAGAVATHY et al., 2021). Ainda, Mothilal Bhagavathy et al. (2021) traz à tona que a vida útil da bateria pode sofrer degradação por causa dos diferentes padrões de carga e descarga, como o uso repetido da capacidade total da bateria ou a recarga rápida repetida.

Para mitigar e monitorar os efeitos do carregamento e descarga das baterias, foram criados os sistemas de gerenciamento de bateria (BMS) (ABDELHAFIZ; FOUUDA; RADWAN, 2023). Como visto anteriormente, para garantir que a bateria funcione de forma segura e confiável, é necessário se ter conhecimento e controle da temperatura, corrente e tensão da bateria, estimando em tempo real os estados da bateria. No entanto, medir os estados das baterias, como o estado de carga (SOC) e o estado de saúde (SOH), são procedimentos complicados devido ao complexo processo eletroquímico das baterias e aos diversos fatores de influência na aplicação prática, tais como velocidade, temperatura, peso, entre outros (PLETT, 2004).

Por isso, o método de estimativa baseado em modelos de bateria é amplamente utilizado, pois estes se apresentam como modelos agregados de relativamente poucos parâmetros, facilitando o entendimento das mesmas. Tais modelos são propostos justamente com o propósito de controle de gerenciamento de energia do VE e para o desenvolvimento de BMS (HE; XIONG; FAN, 2011). Na literatura, existem três tipos de



modelos: experimentais, eletroquímicos e os baseados em circuitos elétricos equivalentes. O primeiro não apresenta dados suficientes para ser utilizado com o propósito de estimar o estado de carga (SOC), enquanto o segundo utiliza equações diferenciais parciais (EDPs) com vários parâmetros desconhecidos resultando em uma grande demanda de memória e custo computacional, tornando-se indesejável para projetos de BMS (SMITH; RAHN; WANG, 2010).

Os modelos baseados em circuitos elétricos equivalentes são os mais práticos para representar as características elétricas da bateria. De acordo com Tremblay e Dessaint (2009), existem vários modelos elétricos, alguns mais simples que consistem apenas em uma fonte de tensão ideal em série com uma resistência interna e alguns mais robustos onde a identificação dos parâmetros é baseada na técnica de espectroscopia de impedância, algo extremamente complexo. Dentre os vários modelos, o modelo de Shepherd desenvolveu uma equação para descrever o comportamento eletroquímico de uma bateria diretamente em termos de tensão terminal, tensão de circuito aberto, resistência interna, corrente de descarga e estado de carga, podendo este ser aplicado tanto para descarga quanto para carga.

## RESULTADO E DISCUSSÕES

O modelo utilizado para esta pesquisa utiliza a metodologia empregada por Tremblay e Dessaint (2009) com o circuito equivalente de carregamento elaborado por Marra et al. (2012), conforme figura 2-a e 2-b. Ainda, para o *pack* de cem baterias em série foi utilizado o modelo comercial da EAS Batteries, a MP602030 LFP 50 Ah (“Medium Power LFP 50Ah”, [s.d.]).

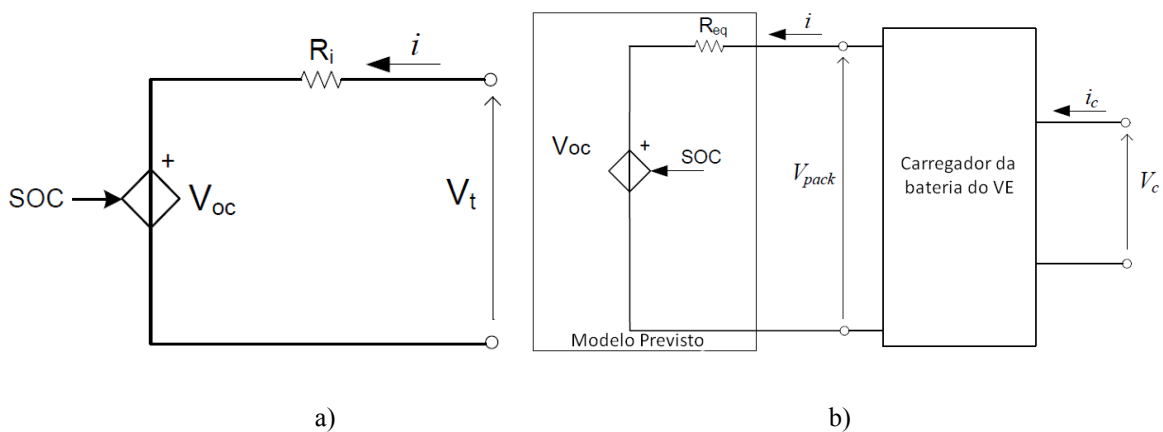


Figura 2-a) Modelo da bateria do VE. **Fonte:** Marra et al. (2012). 2-a) Modelo do carregamento do VE. **Fonte:** Marra et al. (2012).



Para o modelo em questão, SOC é o estado de carga da bateria, que nada mais é do que a relação entre a capacidade real armazenada na bateria ( $Q$ ) e a capacidade nominal da bateria ( $Q_{nom}$ ), ambas dadas em ampere-hora (Ah).  $V_c$  e  $I_c$  são respectivamente a tensão em volts (V) e a corrente em ampere (A) da rede, enquanto  $V_{pack}$  e  $I$  são respectivamente a tensão do conjunto de baterias (V) e a corrente CC aplicada para a carga ou descarga das mesmas (A).  $V_t$  é a tensão no terminal de cada célula de bateria (V),  $R_i$  é a resistência interna ( $\Omega$ ) e  $V_{oc}$  é a tensão de circuito aberto (V) que pode ser expresso matematicamente por (TREMBLAY; DESSAINT; DEKKICHE, 2007):

$$V_{oc} = E_o - K \cdot \frac{Q_{nom}}{Q_{nom} - Q} + A \cdot e^{(-B \cdot Q)}$$

onde,  $E_o$  é a tensão de carga/descarga constante da bateria (V),  $K$  é a tensão de polarização (V),  $A$  é a amplitude da zona de tensão exponencial (V) e  $B$  é a capacidade exponencial ou constante de tempo inversa exponencial ( $Ah^{-1}$ ). Estes parâmetros são estimados através da curva de descarga da célula de bateria. Alguns fabricantes fornecem alguns destes dados no *datasheet* da bateria, algo que não se aplica a este caso, portanto foi necessário simular a curva de descarga da bateria escolhida.

O software Simulink disponibiliza um bloco de bateria genérico que pode ser configurado para simular a curva de descarga de uma bateria qualquer, facilitando o processo de obtenção de tais parâmetros. Neste caso, o bloco foi configurado para representar a curva de descarga de uma bateria do tipo LFP com parâmetros construtivos conforme *datasheet* da mesma.

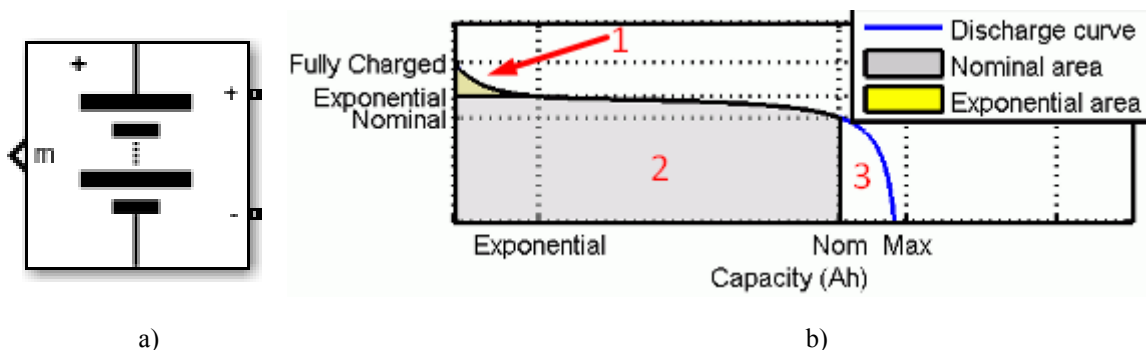


Figura 3-a) Bloco de bateria genérico do Simulink. **Fonte:** Simulink (2024). 3-b) Curva de descarga genérica. **Fonte:** Simulink (2024).

A seção um (1) representa a queda de tensão exponencial. A seção dois (2) representa a carga que pode ser extraída da bateria enquanto essa não atinge um valor abaixo





de sua tensão nominal. A última seção (3) representa a descarga total da bateria, quando a tensão cai abruptamente. Com essas seções bem definidas, é possível calcular os parâmetros  $E_0$ ,  $K$ ,  $A$  e  $B$ . Embora estes tenham sido calculados utilizando os métodos de Tremblay e Dessaint (2007), o próprio Simulink gera os valores para tais incógnitas e reduzem a chance de erro humano.

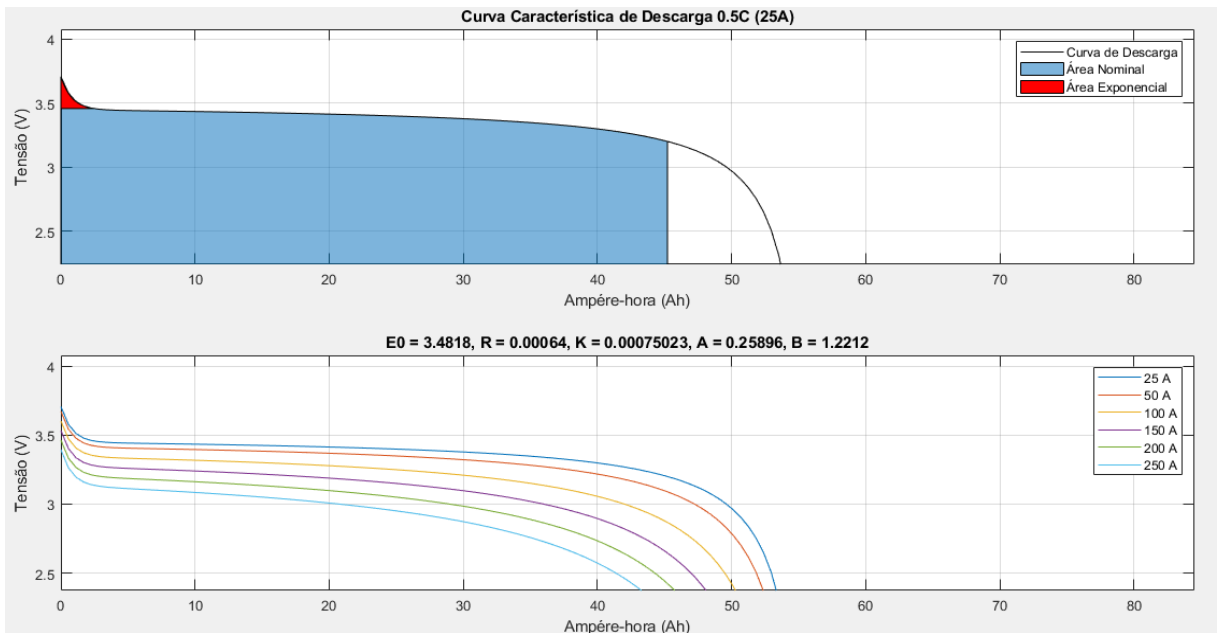


Figura 4 - Simulação da curva de descarga em 0,5C (V/Ah). Fonte: Autor (2024).

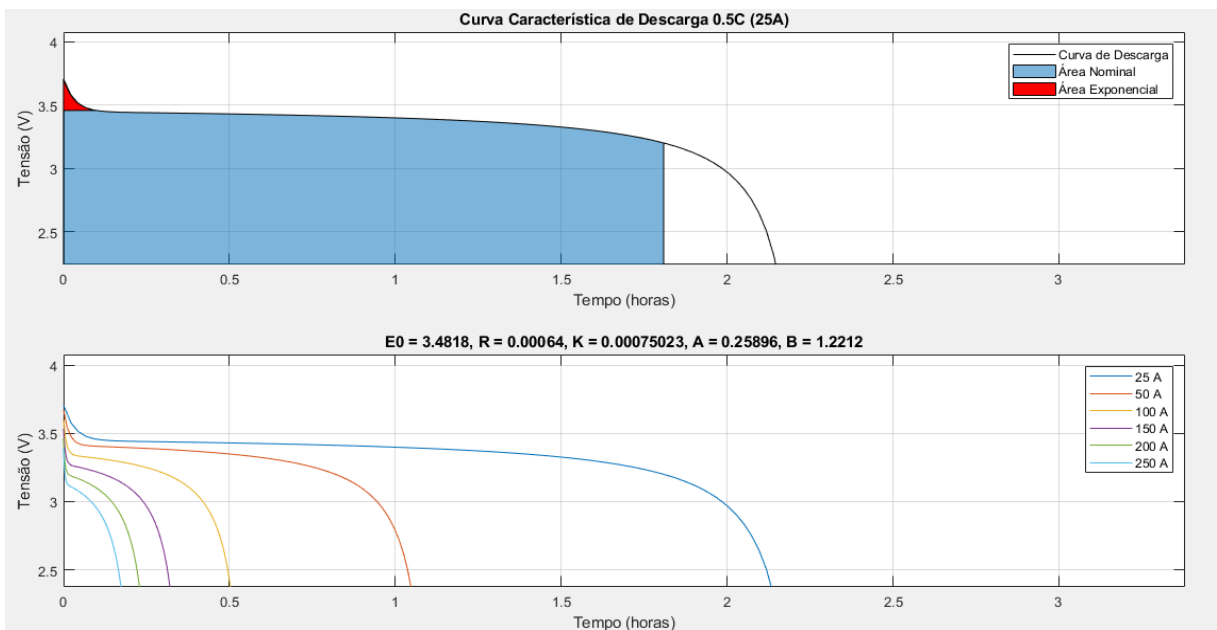


Figura 5 - Simulação da curva de descarga em 0,5C (V/h). Fonte: Autor (2024).



Os dados retirados do *datasheet* da bateria foram utilizados no bloco do Simulink, obtendo as curvas e parâmetros representados pelas figuras 4 e 5. É importante observar que as curvas são geradas com uma corrente de 0,5C, que seria a corrente ideal de carregamento definida pelo fabricante. Os padrões de carga/descarga são medidos através da taxa 'C' por hora, isto é, se a carga/descarga é taxada em 1C, significa que a bateria estará completamente carregada/descarregada em 1 hora naquele nível de corrente (MOTHILAL BHAGAVATHY et al., 2021).

Com os parâmetros definidos, foi elaborado um código (“*script*”) no MATLAB para validar o comportamento da tensão do circuito aberto durante o carregamento, resultando na curva apresentada na figura 6.

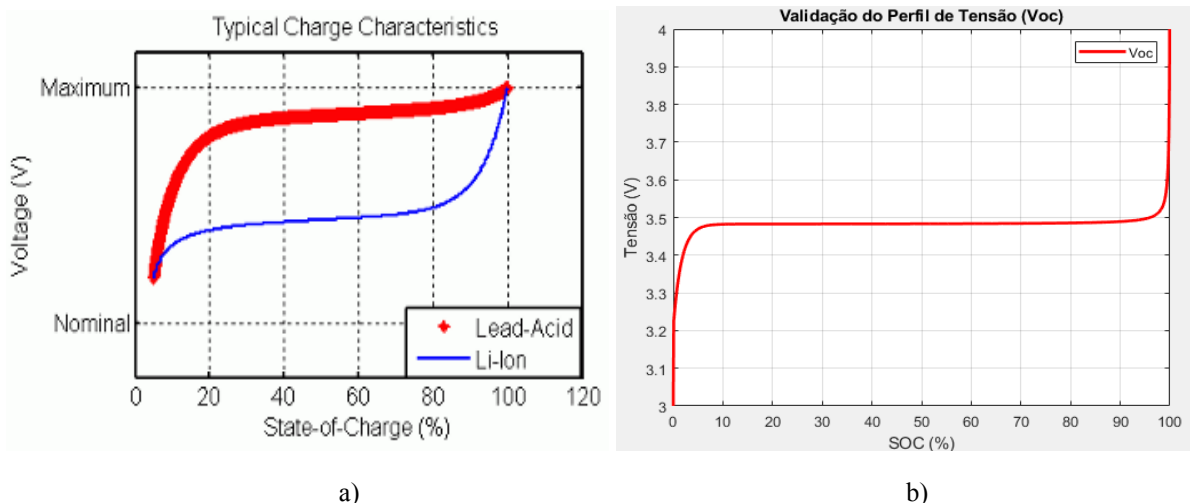


Figura 6-a) Comportamento esperado da tensão quando em carregamento. **Fonte:** Simulink (2024). 6-b) Comportamento obtido na simulação. **Fonte:** Autor (2024).

Como pode-se observar ao comparar a figura 6-a com a figura 6-b, a tensão em Voc mostra um comportamento muito similar ao que era esperado na simulação, confirmando que os parâmetros extraídos estão corretos. Com isto, é possível partir para o modelo do carregamento em si.

Para determinar  $V_c$ ,  $I_c$ ,  $I$  e  $V_{pack}$ , é necessário saber o padrão de carga da rede, de acordo com Marra et al. (2012), a norma IEC 61850 coloca como mais usual para o carregamento residencial o padrão de entrada monofásico de 230 V e 16 A no contexto global. Portanto, este trabalho foi elaborado utilizando estes valores para  $V_c$  e  $I_c$ .  $V_{pack}$  nada mais é do que o somatório da tensão nominal de todas as baterias, totalizando 320 V, e, com isto, é possível calcular a corrente  $I$  porque a potência da rede é a mesma do carregador



quando em estado contínuo, resultando em uma corrente  $I$  de 11,5 A. Porém, a IEC 61850 prevê que a conversão possui uma eficiência de 88%, ou seja, a corrente decai para 10,12 A, aproximadamente 0,22C da bateria.

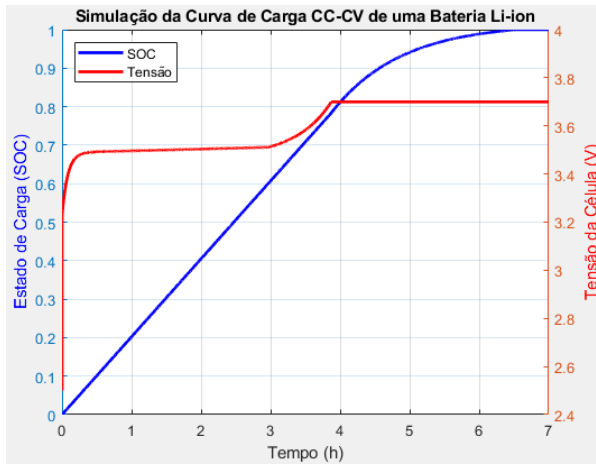
As baterias possuem dois estágios de carregamento, utilizados para prolongar a vida útil da bateria, reduzir o tempo de carregamento e evitar o risco de sobrecarga. No primeiro estágio o carregamento é rápido, onde a corrente é constante (CC) do lado da bateria, até que a tensão máxima da célula seja atingida, o que acontece em torno de 60% a 80% do SOC. No segundo estágio, o carregamento é lento e a corrente começa a baixar exponencialmente e a tensão se mantém contínua (CV) até que a bateria esteja completamente carregada (DEVI; MOH ZAENAL EFENDI; ONY ASRARUL QUDSI, 2024).

Aplicando isto ao modelo de Tremblay e Dessaint (2009) e levando em consideração as equações de Shepherd (1965), obtém-se as seguintes equações para a parte CC:

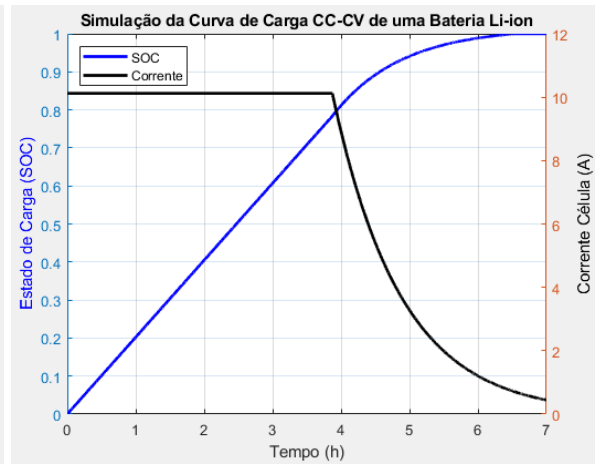
$$SOC(t) = \sum_{t=1}^N dSOC(t) + SOC(0)$$
$$dSOC(t) = \frac{dQ(t)}{Q_{nom}}$$
$$dQ(t) = I(t) * T$$

onde,  $t$  é o passo da simulação,  $N$  é o número de passos necessários para finalizar o carregamento, que foi elaborado para mostrar em horas,  $SOC(0)$  é o SOC inicial, definido como 0% para este trabalho,  $dSOC$  é a variação da carga em cada passo,  $dQ$  é a variação da capacidade da bateria em cada passo,  $T$  é o intervalo de tempo utilizado como referência e, por fim,  $I$  é a corrente calculada previamente (10,12 A).

Para a parte CV, a tensão máxima de carga definida pelo fabricante da célula é de 3,7V, portanto, quanto a tensão atingir este patamar, a corrente decai de forma exponencial e a tensão se torna constante e as equações citadas anteriormente continuam válidas. Com isto, foram feitas as simulações do modelo elaborado.

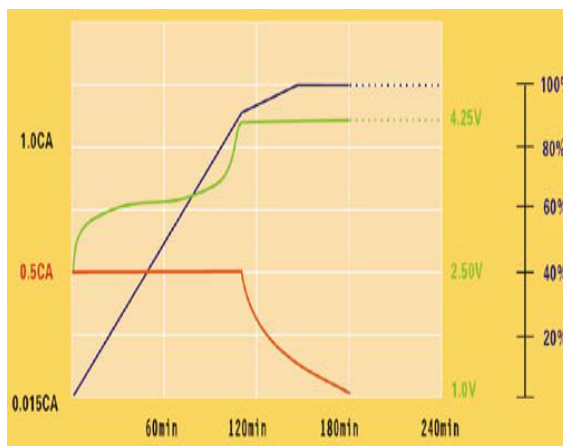


a)

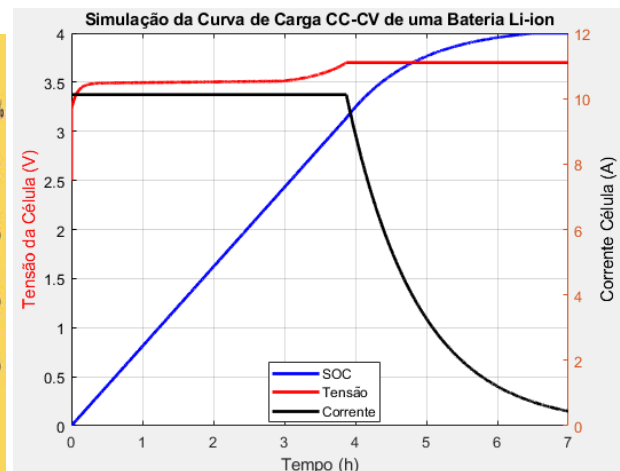


b)

Figura 7-a) Comportamento da tensão obtido na simulação (SOC x V). **Fonte:** Autor (2024). 7-b) Comportamento da corrente obtida na simulação (SOC x I). **Fonte:** Autor (2024).



a)



b)

Figura 8-a) Comportamento esperado do sistema de carregamento. **Fonte:** Marra et al. (2012). 8-b) Comportamento obtido na simulação. **Fonte:** Autor (2024).

Como pode-se observar nas figuras 7 e 8, o sistema se comportou como foi projetado para se comportar e apresentou resultados satisfatórios, visto que a transição entre os estágios de carregamento ocorreram dentro da faixa e não extrapolam os limites de tensão e SOC da bateria.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

O modelo projetado atende aos objetivos propostos por este trabalho e representa com acuidade a metodologia de carregamento CC-CV para baterias do tipo LFP. Ainda, os



resultados obtidos poderiam ser utilizados para um sistema BMS capaz de manter a bateria em bom estado de SOH, visto que o carregamento CC não ultrapassa a faixa dos 80% e nem os limites estabelecidos pelo fabricante da célula de bateria. Como Mishra (2018) afirmou, a bateria de um VE deve operar dentro de uma zona de segurança em vez de aproveitar toda a faixa entre 0% e 100%. Vários outros estudos também concluíram que o nível mínimo de descarga (DOD) deve ser em torno de 20% e o nível máximo de carga entre 80% e 90%.

De acordo com Lu et al. (2013), as diferentes faixas de SOC afetam a degradação da capacidade da bateria de íon-lítio. Sendo que quando a bateria sofre ciclos em uma faixa de SOC abaixo de 25% e acima de 75%, ocorre o desvanecimento mais rápido da capacidade de armazenamento da bateria. A pesquisa desenvolvida por Lu et al. (2013) concluiu que ao descarregar e carregar baterias de íon-lítio seguindo esse padrão, a resistência interna das baterias aumenta rapidamente, levando à perda de capacidade e redução da vida útil.

Portanto, o autor deseja aprofundar os estudos em cima do carregamento e descarregamento de baterias, envolvendo novas variáveis como temperatura, velocidade, potência, degradação do estado de saúde (SOH), entre outras que podem e afetam o desempenho dos veículos elétricos.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABDELHAFIZ, S. M.; FOUUDA, M. E.; RADWAN, A. G. **Parameter Identification of Li-ion Batteries: A Comparative Study**. *Electronics*, v. 12, n. 6, p. 1478, 21 mar. 2023.

ANIS ALLAGUI et al. **Review of fractional-order electrical characterization of supercapacitors**. v. 400, p. 457–467, 1 out. 2018.

BAZAN, S. F. **Mecanismo de reação catódica em baterias recarregáveis à base de azul da Prússia: uma abordagem DFT**. 2 ago. 2018.

BERCKMANS, G., MESSAGIE, M., SMEKENS, J., OMAR, N., VANHAVERBEKE, L., VAN MIERLO, J. **Cost projection of state of the art lithium-ion batteries for electric vehicles up to 2030**. *Energies*, 10(9), 1314, 2017.



DEVI, A.; MOH ZAENAL EFENDI; ONY ASRARUL QUDSI. **Design of Battery Charging System with CC-CV Method Using Interleaved Buck-Boost Converter.** Journal of electrical technology UMY, v. 7, n. 1, p. 38–47, 3 abr. 2024.

Global EV Outlook 2023. 26 abr. 2023.

HAFNER, M.; LUCIANI, G. **The Palgrave handbook of international energy economics.** Cham, Switzerland: Palgrave Macmillan, 2022.

HE, H.; XIONG, R.; FAN, J. **Evaluation of Lithium-Ion Battery Equivalent Circuit Models for State of Charge Estimation by an Experimental Approach.** Energies, v. 4, n. 4, p. 582–598, 29 mar. 2011.

LIU, Z. et al. **Self-discharge prediction method for lithium-ion batteries based on improved support vector machine.** Journal of energy storage, v. 55, p. 105571–105571, 1 nov. 2022.

LU, L. et al. **A review on the key issues for lithium-ion battery management in electric vehicles.** Journal of Power Sources, v. 226, p. 272–288, mar. 2013.

MARRA, F. et al. **Demand profile study of battery electric vehicle under different charging options.** 2012 IEEE Power and Energy Society General Meeting, jul. 2012.

**Medium Power LFP 50Ah — EAS Batteries.** Disponível em: <<https://eas-batteries.com/products/medium-power-lfp-50ah>>. Acesso em: 21 jul. 2024.

MISHRA, S. **Why a BMS is crucial for EV batteries.** Disponível em: <<https://www.electronicshub2b.com/industry-buzz/bms-crucial-ev-batteries/>>.



MOTHILAL BHAGAVATHY, S. et al. **Impact of Charging Rates on Electric Vehicle Battery Life.** Findings, 22 mar. 2021.

PLETT, G. L. **Extended Kalman filtering for battery management systems of LiPB-based HEV battery packs.** Journal of Power Sources, v. 134, n. 2, p. 262–276, ago. 2004.

REI, F. C. F.; GONÇALVES, A. F.; SOUZA, L. P. DE. **Acordo de Paris: Reflexões e Desafios para o Regime Internacional de Mudanças Climáticas.** Veredas do Direito: Direito Ambiental e Desenvolvimento Sustentável, v. 14, n. 29, p. 81–99, 10 out. 2017.

SEGALA, M. **Carros elétricos: bateria ainda representa o maior custo, mas preços estão em queda.** Disponível em:

<<https://www.infomoney.com.br/minhas-financas/carros-eletricos-bateria-ainda-representa-o-maior-custo-mas-precos-estao-em-queda/>>.

SHEPHERD, C. M. **Design of Primary and Secondary Cells.** Journal of The Electrochemical Society, v. 112, n. 7, p. 657, 1965.

SMITH, K. A.; RAHN, C. D.; WANG, C.-Y. **Model-Based Electrochemical Estimation and Constraint Management for Pulse Operation of Lithium Ion Batteries.** IEEE Transactions on Control Systems Technology, v. 18, n. 3, p. 654–663, maio 2010.

**Transport and environment report 2022** — European Environment Agency. Disponível em: <<https://www.eea.europa.eu/publications/transport-and-environment-report-2022/transport-and-environment-report/view>>. Acesso em 20 jul. 2024.

TREMBLAY, O.; DESSAINT, LOUIS-A. **Experimental Validation of a Battery Dynamic Model for EV Applications.** World Electric Vehicle Journal, v. 3, n. 2, p. 289–298, 26 jun. 2009.



TREMBLAY, O.; DESSAINT, LOUIS-A.; DEKKICHE, A.-I. **A Generic Battery Model for the Dynamic Simulation of Hybrid Electric Vehicles.** 2007 IEEE Vehicle Power and Propulsion Conference, set. 2007.

VIERA, L. A. B. **Projeto e implementação de um sistema de tração com freio regenerativo para veículos elétricos.** Trabalho de conclusão de curso (bacharelado em engenharia elétrica) - universidade regional do noroeste do estado do rio grande do sul, 2019. 2019.