

Proceeding Series of the Brazilian Society of Computational and Applied Mathematics

Aplicação de Algoritmo Genético na Parametrização de um Modelo Matemático de Baterias

Marcia de F. Brondani¹

Airam Teresa Zago Romcy Sausen²

Paulo Sérgio Sausen³

Manuel Osório Binelo⁴

Departamento de Ciências Exatas e Engenharia, Programa de Pós-Graduação Stricto Sensu em Modelagem Matemática, Unijuí, Ijuí, RS

Resumo. Neste artigo é apresentada a modelagem matemática do tempo de vida de baterias de Lítio Íon Polímero (Li-Po), realizada a partir da aplicação do modelo *Battery*. Para a estimação de alguns parâmetros deste modelo, é proposta uma metodologia baseada em Algoritmo Genético (AG). As simulações são realizadas na ferramenta computacional *Matlab* para diferentes perfis de descargas constantes. O modelo é validado a partir de dados experimentais, obtidos em uma plataforma de testes. Com base nos resultados, é possível constatar a eficácia do modelo *Battery* em prever o tempo de vida de baterias Li-Po, assim como a eficiência do método AG em estimar seus parâmetros.

Palavras-chave. Modelagem Matemática, Tempo de Vida de Baterias, Lítio Íon Polímero, Algoritmo Genético

1 Introdução

Os dispositivos móveis estão se tornando indispensáveis à vida das pessoas devido à infinidade de aplicações e de serviços disponibilizados, principalmente, o acesso à informação em movimento. No entanto, a expectativa do usuário em relação ao tempo de uso destes aparelhos, sem a necessidade de conectá-los a uma fonte externa de energia, está condicionada ao tempo de vida de suas baterias [12].

Existem vários modelos matemáticos [2, 3, 5, 8, 12, 13] que possibilitam a compreensão do comportamento dinâmico das baterias, sendo utilizados para a previsão dos seus tempos de vida. Neste estudo, é aplicado um modelo elétrico de bateria que está integrado à ferramenta computacional *Matlab*, denominado modelo *Battery*. Uma característica relevante deste modelo é a sua capacidade de capturar o efeito de recuperação [15], que consiste em um importante efeito não linear que ocorre em um processo real de descarga de uma bateria.

¹brondani.marcia@gmail.com

²airam@unijui.edu.br

³sausen@unijui.edu.br

⁴manuel.binelo@unijui.edu.br

O modelo *Battery* possui alguns parâmetros que são tradicionalmente estimados de forma relativamente empírica, por meio da análise visual de pontos específicos, em curvas características de descarga [11]. Neste contexto, com a finalidade de tornar esta estimação mais sistemática e menos subjetiva, é proposta uma metodologia baseada em Algoritmo Genético (AG) [7]. Esta metaheurística tem se destacado entre as técnicas existentes para a estimação de parâmetros dos modelos, devido a sua ampla aplicabilidade e fácil utilização [1, 6, 17].

Neste contexto, o principal objetivo deste trabalho é apresentar a modelagem matemática do tempo de vida de baterias de Lítio Íon Polímero (Li-Po), modelo *PL383562 – 2C*, realizada a partir do modelo *Battery*, com o objetivo de prever o seu tempo de vida. As simulações são realizadas na ferramenta computacional *Matlab* para diferentes perfis de descargas constantes. A validação do modelo é feita por meio de uma análise comparativa entre os tempos de vida simulados pelo modelo e os tempos de vida experimentais médios, obtidos em uma plataforma de testes.

O restante deste artigo está organizado da seguinte forma. Na Seção 2 são descritos os materiais e os métodos utilizados para a realização da modelagem matemática do tempo de vida de baterias de Li-Po. Na Seção 3 são apresentados os resultados das simulações e as discussões. Na Seção 4 é apresentada a conclusão.

2 Materiais e Métodos

Nesta seção, inicialmente é apresentado o modelo *Battery* aplicado à modelagem matemática do tempo de vidas de baterias de Li-Po. Em seguida, é brevemente exposta a metodologia adotada para a obtenção dos dados experimentais, utilizados na parametrização e na validação deste modelo. Após, é descrito o método AG proposto para a estimação dos seus parâmetros empíricos.

2.1 Modelo *Battery*

O modelo *Battery* [10], baseado no modelo de Shepherd [16], possibilita simular o comportamento dinâmico de diferentes tecnologias de baterias, sob condições de carga e de descarga. Conforme [18], as hipóteses de modelagem consideradas por este modelo são: a resistência interna é considerada constante durante a carga e a descarga da bateria, não variando com a amplitude da corrente; a capacidade efetiva da bateria não se altera com as variações de amplitude da corrente; a temperatura é negligenciada, não afetando o comportamento do modelo; a auto-descarga da bateria não está representada; e o modelo não tem efeito memória.

Este modelo possui, para cada tipo de bateria, uma equação matemática específica para descrever o decaimento de tensão. Para as baterias de Li-Po, a tensão é obtida pela equação

$$f(it, i^*, i) = E_0 - K \left(\frac{Q}{Q - it} \right) i^* - K \left(\frac{Q}{Q - it} \right) it + A \exp(-Bit), \quad (1)$$

onde: E_0 é a tensão constante, K é a constante de polarização ou resistência de polarização, i^* é a corrente dinâmica em baixa frequência, it é a capacidade extraída, Q é a capacidade máxima da bateria, A é a amplitude da zona exponencial, e B é o inverso da constante do tempo da zona exponencial [10].

Os parâmetros do modelo *Battery*, na sua maioria, são obtidos de dados presentes nos *datasheets* das baterias, com a exceção de três, que são estimados por meio de curvas características de descargas, conforme proposto em [10]. Os parâmetros dependentes destas curvas são: capacidade na tensão nominal (Q_{Nom}), tensão exponencial (V_{Exp}) e capacidade exponencial (Q_{Exp}). A metodologia usualmente adotada para a estimação destes parâmetros é baseada na análise visual de determinados pontos em curvas reais de descarga, geradas com base em ensaios experimentais [11]. Neste trabalho, a estimação dos referidos parâmetros é realizada a partir de uma metodologia baseada em um AG.

2.2 Plataforma de testes

Os dados experimentais são obtidos a partir de testes realizados em uma plataforma, desenvolvida pelo Grupo de Automação Industrial e Controle (GAIC), da Unijuí. Esta plataforma fornece informações instantâneas referentes ao processo de descarga de uma bateria, tais como: corrente, temperatura, tensão e duração da descarga. Com estes dados, é possível gerar as curvas de descargas utilizadas para a estimação dos 3 parâmetros do modelo *Battery*.

Neste estudo, são utilizadas baterias de Li-Po novas, modelo *PL383562-2C*, aplicadas em dispositivos móveis. Os testes experimentais são realizados para 31 perfis de descargas constantes, variando de 50 *mA* a 800 *mA*, em intervalos de 25 *mA*. Para cada perfil de descarga são realizados 8 ensaios experimentais. As baterias são descarregadas até atingirem a tensão de *Cutoff* (i.e., 2,7 *volts*).

2.3 Estimação de parâmetros

O método adotado para a estimação dos parâmetros V_{Exp} , Q_{Exp} e Q_{Nom} do modelo *Battery* é fundamentado na metaheurística AG, considerando as características essenciais do problema de predição do tempo de vida de baterias, assim como as particularidades deste modelo. Os AGs [7] são modelos computacionais que imitam os mecanismos da evolução natural [4], a fim de refinar de forma iterativa um conjunto de soluções, para resolver problemas de otimização.

O problema de otimização em questão é encontrar os valores dos parâmetros que minimizam a função objetivo, equação (2), que define a diferença entre os resultados simulados pelo modelo *Battery* e os dados experimentais. Desta forma, o AG proposto considera inicialmente as 8 curvas reais de descarga obtidas de forma experimental, para cada perfil de descarga constante aplicado à plataforma. Para cada um destes perfis, são obtidos os tempos de vida experimentais dos 8 ensaios e é calculado o tempo de vida experimental médio do perfil. Diante destes valores, é escolhida a curva cujo tempo de vida experimental mais se aproxima do tempo de vida experimental médio do perfil. A partir da curva escolhida, a cada iteração do AG, o modelo *Battery* é parametrizado com

Como pode ser visto na Figura 1, o modelo possui o menor erro médio nas calibrações com correntes nominais de 350 mA e 500 mA, com 0,82% em cada uma. O maior erro médio é encontrado na calibração com corrente nominal de 125 mA, com 3,83%. Também, percebe-se que nas calibrações com correntes de descargas mais altas, o modelo possui uma taxa de erro médio relativamente baixa, em torno de 1%, devido ao menor impacto dos efeitos não lineares.

Tabela 1: Resultados das simulações.

Cal. (mA)	Perfis (mA)	100	200	300	400	500	600	700	800
	t_{ve}	465,98	227,99	149,47	114,59	90,58	74,69	63,51	54,64
100	t_{vs}	465,63	230,75	152,45	113,30	89,80	74,15	62,95	54,55
	Erro	0,07%	1,20%	1,95%	1,14%	0,87%	0,73%	0,89%	0,16%
200	t_{vs}	458,67	226,88	149,62	110,98	87,80	72,35	61,30	53,02
	Erro	1,14%	0,02%	0,65%	2,62%	2,48%	2,51%	2,80%	2,19%
300	t_{vs}	458,67	226,88	149,62	110,98	87,80	72,35	61,30	53,02
	Erro	1,59%	0,49%	0,10%	3,25%	3,16%	3,24%	3,61%	3,06%
400	t_{vs}	470,10	233,22	154,27	114,77	91,08	75,28	64,00	55,53
	Erro	0,88%	2,24%	3,11%	0,16%	0,55%	0,78%	0,76%	1,61%
500	t_{vs}	466,83	231,42	152,93	113,70	90,15	74,45	63,23	54,82
	Erro	0,18%	1,48%	2,26%	0,78%	0,48%	0,33%	0,44%	0,32%
600	t_{vs}	467,52	231,78	153,22	113,92	90,35	74,63	63,40	54,97
	Erro	0,33%	1,64%	2,44%	0,59%	0,25%	0,08%	0,18%	0,59%
700	t_{vs}	468,62	232,40	153,65	114,27	90,63	74,88	63,63	55,18
	Erro	0,56%	1,90%	2,72%	0,28%	0,06%	0,25%	0,19%	0,98%
800	t_{vs}	466,22	231,05	152,65	113,45	89,93	74,25	63,03	54,62
	Erro	0,05%	1,33%	2,08%	1,00%	0,72%	0,60%	0,76%	0,04%

Na Tabela 1 são apresentados, considerando 8 calibrações (Cal.), os tempos de vida experimentais médios (t_{ve} em minutos), os tempos de vida simulados pelo modelo (t_{vs} em minutos) e o erro obtido em cada simulação, para 8 perfis de descargas. Nota-se que, em praticamente todas as calibrações, o menor erro é encontrado quando o modelo é aplicado ao mesmo perfil utilizado para sua calibração, o que mostra a eficiência do AG proposto em estimar os seus parâmetros.

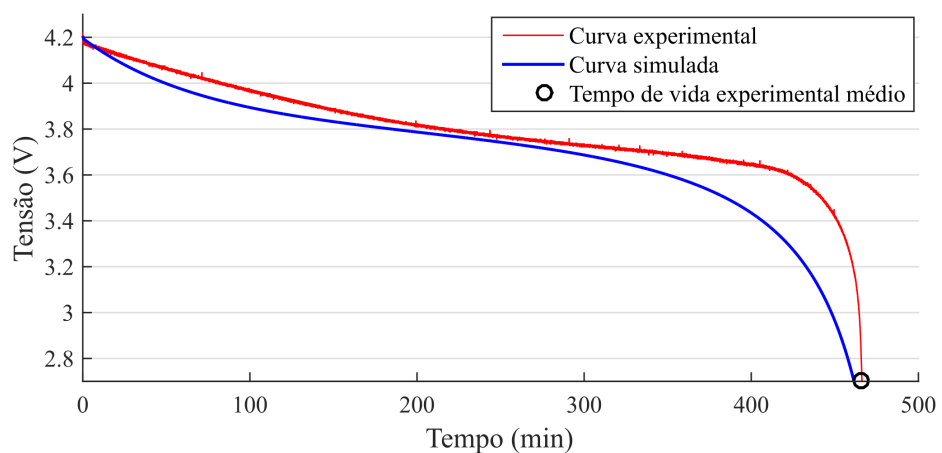


Figura 2: Curva simulada e curva experimental

Na Figura 2 são mostradas uma curva simulada pelo modelo *Battery* e uma curva experimental, ambas para o perfil de 100 mA. A curva simulada é obtida a partir da calibração com corrente nominal intermediária de 475 mA. O tempo de vida simulado pelo modelo é 463,97 min e o tempo de vida experimental médio é 465,98 min, obtendo-se 0,43% de erro. Pode-se observar que a curva simulada termina muito próxima do tempo de vida experimental médio, já que esta é a métrica usada neste trabalho para a determinação do erro. O modelo *Battery* apresenta um erro médio total de 1,43%, conseguindo prever com boa precisão o tempo de vida das baterias estudadas.

4 Conclusão

Neste trabalho, foi realizada a modelagem matemática do tempo de vida de baterias de Li-Po, modelo PL383562 – 2C, utilizadas em dispositivos móveis. Para tanto, utilizou-se o modelo *Battery* parametrizado a partir do método AG proposto. Este modelo foi implementado na ferramenta computacional *Matlab/Simulink*. As simulações foram realizadas para diferentes perfis de descargas constantes. A validação do modelo *Battery* foi realizada por meio de uma análise comparativa entre os tempos de vida simulados e os tempos de vida experimentais médios, obtidos em uma plataforma de testes.

A partir dos resultados, é possível concluir que o modelo *Battery* é capaz de prever o tempo de vida de baterias de Li-Po com acurácia, assim como verificar o desempenho satisfatório apresentado pelo AG proposto, sendo este um eficiente método para a estimação dos parâmetros deste modelo. Como trabalhos futuros pretende-se aplicar a metodologia baseada em AG em outros modelos de previsão do tempo de vida de baterias e analisar o comportamento do modelo *Battery* para descargas variáveis no tempo.

Agradecimentos

Os autores agradecem à Capes, pelo apoio financeiro e à Unijuí e o GAIC, pela infraestrutura.

Referências

- [1] J. Brand, Z. Zhang, and R. K. Agarwal. Extraction of battery parameters of the equivalent circuit model using a multi-objective genetic algorithm. *Journal of Power Sources*, 247:729 – 737, 2014.
- [2] M. Chen and G. Rincón-Mora. Accurate electrical battery model capable of predicting runtime and i-v performance. *IEEE Transactions on Energy Conversion*, 21(2):504–511, Junho 2006.
- [3] C. Chiasserini and R. Rao. Pulsed battery discharge in communication devices. *Proceedings of the 5th International Conference on Mobile Computing and Networking*, pages 88–95, 1999.

- [4] C. Darwin. *On the origin of species by means of natural selection; or, The preservation of favoured races in the struggle for life*. D. Appleton and Company, 1861.
- [5] M. Doyle, T. F. Fuller, and J. S. Newman. Modeling of galvanostatic charge and discharge of the lithium/polymer/insertion cell. *Journal of The Electrochemical Society*, 140:1526–1533, 1993.
- [6] S. Guo. The application of genetic algorithms to parameter estimation in lead-acid battery equivalent circuit models. July 2010.
- [7] J. H. Holland. *Adaptation in Natural and Artificial Systems*. University of Michigan Press, Ann Arbor, MI, USA, 1975.
- [8] T. Kim and W. Qiao. A hybrid battery model capable of capturing dynamic circuit characteristics and nonlinear capacity effects. *IEEE Wireless Communications and Networking Conference*, 2011.
- [9] K.F. Man, K.S. Tang, and S. Kwong. *Genetic Algorithms: Concepts and Designs*. Advanced Textbooks in Control and Signal Processing. Springer, 1999.
- [10] MathWorks. Implement generic battery model, 2015.
- [11] C. M. D. Porciuncula, A. T. Z. R. Sausen, and P. S. Sausen. *Mathematical Modeling for Predicting Battery Lifetime through Electrical Models*. Advances in Mathematics Research. Nova Science Publishers Incorporated, 2015.
- [12] D. Rakhmatov, S. Vrudhula, and D.A. Wallach. Battery lifetime prediction for energy-aware computing. In *Low Power Electronics and Design, 2002. ISLPED '02. Proceedings of the 2002 International Symposium on*, pages 154–159, 2002.
- [13] L. C. Romio, A. T. Z. R. Sausen, P. S. Sausen, and M. Reimbold. *Mathematical Modeling of the Lithium-ion battery Lifetime using System Identification Theory*. Advances in Mathematics Research. Nova Science Publishers Incorporated, 2015.
- [14] S. Russell and P. Norvig. *Inteligência Artificial: tradução da segunda edição*. Elsevier, 2004.
- [15] P. S. Sausen, M. A. Spohn, and A. Perkusich. Broadcast routing in wireless sensor networks with dynamic power management and multi-coverage backbones. *Information Sciences*, 180(5):653 – 663, 2010.
- [16] C. M. Shepherd. Design of primary and secondary cells. *Journal of The Electrochemical Society*, 112:657–664, 1965.
- [17] K. Thirugnanam, J.T.P. Ezhil Reena, M. Singh, and P. Kumar. Mathematical modeling of li-ion battery using genetic algorithm approach for v2g applications. *Energy Conversion, IEEE Transactions on*, 29(2):332–343, June 2014.
- [18] O. Tremblay and L.A. Dessaint. Experimental validation of a battery dynamic model for ev applications. *World Electric Vehicle Journal*, 3, 2009.