

## Desenvolvimento de um Modelo Híbrido de Baterias

**Luana Fransozi\***   **Airam Sausen**   **Paulo S. Sausen**

Depto de Ciências Exatas e Engenharias, Mestrado em Modelagem Matemática, Unijui  
98700-000, Ijuí, RS

E-mail: luh.fransozi@hotmail.com,   airam@unijui.edu.br,   sausen@unijui.edu.br

### RESUMO

Nas últimas décadas novas tecnologias estão sendo desenvolvidas buscando proporcionar melhores condições de vida e conforto a população. Neste contexto, encontram-se os dispositivos móveis que permitem a comunicação entre as pessoas e o acesso rápido a informações em qualquer lugar do mundo. Uma das vantagens destes dispositivos é a mobilidade, a qual é obtida com o auxílio de uma fonte de energia, denominada bateria, que permite manter o aparelho operacional e que está condicionada a um tempo de vida. Define-se por tempo de vida o tempo necessário para atingir um determinado nível de capacidade de carga (i.e., nível de *cutoff*). A partir do momento em que esse nível é alcançado as reações eletroquímicas cessam e não é mais fornecida energia ao sistema. Por isso, torna-se importante a existência de métodos capazes de prever o tempo de vida de baterias, assim como representar seu comportamento dinâmico. Uma das formas é através da utilização de modelos matemáticos que descrevem uma situação real apropriando-se da linguagem matemática. Tratando-se de baterias o grande desafio é capturar as características reais das mesmas visto que, há uma grande influência do ambiente interno e externo agindo sobre elas durante o descarregamento. Ao longo dos anos, têm sido desenvolvidos diferentes modelos de baterias, tais como, Modelos Eletroquímicos [2], Modelos de Circuitos Elétricos [1,2], Modelos Estocásticos [2], Modelos Analíticos [2,4] e Modelos Híbridos. Destaca-se que os Modelos Analíticos utilizam um conjunto reduzido de equações, tornando sua implementação simples. O Modelo Analítico de Difusão de Rakhmatov e Vrudhula [4] considera os aspectos físicos das operações de descarga da bateria conseguindo capturar os seus efeitos não-lineares. O processo de difusão unidimensional do modelo é descrito pela Lei de Fick

$$-J(x, t) = D \frac{\partial C(x, t)}{\partial x} \quad (1)$$

e pela Equação Diferencial Parcial (EDP)

$$\frac{\partial C(x, t)}{\partial t} = D \frac{\partial^2 C(x, t)}{\partial x^2} \quad (2)$$

onde  $J(x, t)$  é o fluxo das espécies eletroativas em um tempo  $t$  e em função de uma distância  $x$  do eletrodo,  $D$  é a constante de difusão e  $C(x, t)$  é a concentração de espécies eletroativas no tempo  $t \in [0, L]$  e na distância  $x \in [0, w]$ . Considerando uma bateria completamente carregada (i.e.,  $t = 0$ ) a concentração de espécies é constante através do comprimento do eletrólito, proporcionando a seguinte condição inicial

$$C(x, 0) = C^* \quad (3)$$

De acordo com a Lei de Faraday, o fluxo de espécies eletroativas na superfície do eletrodo ( $x=0$ ) é proporcional à corrente  $i(t)$  (i.e., carga externa aplicada) e o fluxo na outra extremidade da região de difusão ( $x=w$ ) é zero. Estas proposições fornecem as seguintes condições de fronteira

$$D \frac{\partial C(x, t)}{\partial x} \Big|_{x=0} = \frac{i(t)}{vFA'} \quad (4)$$

$$D \frac{\partial C(x, t)}{\partial x} \Big|_{x=w} = 0, \quad (5)$$

onde  $A$  é área da superfície do eletrodo,  $F$  é a constante de Faraday e  $v$  é o número de elétrons envolvidos na reação eletroquímica na superfície do eletrodo.

A partir de manipulações matemáticas obtém-se a equação

$$I = \frac{\alpha}{2 \sqrt{L \left[ 1 + 2 \sum_{n=1}^{\infty} \left( e^{-\frac{\beta^2 n^2}{L}} - \frac{\pi e^{-\frac{\beta^2 n^2}{L}}}{\pi - 1 + \sqrt{1 + \frac{\pi L}{\beta^2 n^2}}} \right) \right]}} \quad (6)$$

que relaciona uma corrente de descarga  $I$  com tempo de vida  $L$  e os parâmetros empíricos  $\alpha$  e  $\beta$  que dependem da bateria utilizada, e portanto precisam ser estimados.

Em [3] é apresentado uma análise comparativa de três Modelos Analíticos utilizados para a predição do tempo de vida de baterias, o Modelo Linear, a Lei de Peukert e o Modelo de Difusão de Rakhmatov-Vrudhula. Após realizar um conjunto de simulações computacionais a fim de compará-las com os resultados obtidos a partir de uma plataforma de testes, o autor verificou que o Modelo de Rakhmatov-Vrudhula obteve o melhor desempenho para cargas constantes e cargas variáveis, apresentando um erro médio de 5,71% e 6,53% respectivamente. No entanto, os Modelos Analíticos não capturam a tensão e a corrente, características consideradas nos Modelos de Circuitos Elétricos. Os Modelos de Circuitos Elétricos descrevem a bateria na forma de circuito utilizando a combinação de componentes elétricos (fontes, resistores, capacitores e indutores). O Modelo para Prever *Runtime* e Características V-I de uma bateria consegue combinar as capacidades transientes dos modelos baseados em Thevenin, as características de corrente alternada dos modelos baseados em Impedância e a informação de tempo de vida dos modelos baseados em *Runtime*. Como resposta, ele prevê o tempo de vida da bateria, o estado estacionário e a resposta transiente, conseguindo capturar todas as características elétricas e dinâmicas da bateria. As equações que descrevem esse modelo, bem como sua validação na qual obteve um erro médio de 1% podem ser encontradas em [1]. Em contrapartida, este modelo não captura os efeitos não-lineares presentes no processo de descarga de uma bateria.

Os Modelos Híbridos surgem como uma nova alternativa na predição do tempo de vida de baterias, pois possibilitam o acoplamento de dois modelos com características diferentes. Com isso, é possível obter um novo modelo que possui as vantagens de ambos. A proposta deste trabalho é o desenvolvimento de um modelo matemático a partir da união do Modelo Analítico de Difusão Rakhmatov-Vrudhula com o Modelo de Circuitos Elétricos para Prever *Runtime* e Características V-I de uma Bateria. Desta forma, a junção destes dois modelos possibilita a obtenção de um novo modelo, capaz de capturar os efeitos não-lineares e ao mesmo tempo as características dinâmicas do circuito da bateria. O novo modelo será validado utilizando uma plataforma de teste, já construída para a validação de modelos, e baterias de Lítio Íon Polímero. Espera-se que o modelo em desenvolvimento represente satisfatoriamente o processo de descarga de uma bateria mostrando-se acurado.

**Palavras-chave:** *Baterias, Modelos Matemáticos Híbridos, Dispositivos Móveis.*

## Referências

- [1] M. Chen and G.A. Rincon-Mora, Accurate Electrical Battery Model Capable of Predicting Runtime and I-V Performance, IEEE Transactions on Energy Conversion, vol. 21, n. 2, pg. 504-511, Junho 2006.
- [2] M.R. Jongerden and B.R. Haverkort, Battery Modeling, Technical Report in Faculty Electrical Engineering, Mathematics and Computer Science, 2008.
- [3] A.V.Oliveira, Análise Comparativa de Metodologias de Estimção de Parâmetros Aplicada a Modelos Analíticos Utilizados na Predição do Tempo de Vida de uma Bateria. Dissertação de Mestrado, DCEEng-Unijuí, 2012.
- [4] D.N. Rakhmatov and S.B.K. Vrudhula, An Analytical High-Level Battery Model for Use in Energy Management of Portable Electronic Systems, ICCAD '01: Proceedings of the IEEE/ACM international conference on Computer-aided design, pp.488-493, Piscataway, NJ, USA, 2001.