

Modalidade do trabalho: Relatório técnico-científico

Evento: XXI Jornada de Pesquisa

ANÁLISE COMPARATIVA DE MODELOS ANALÍTICOS CONSIDERANDO DESCARGAS CONSTANTES PARA PREDIÇÃO DO TEMPO DE VIDA DE DISPOSITIVOS MÓVEIS¹

**Julia Giehl Zart², Livia Bittencourt Gomes³, Douglas Joziel Bitencourt Freitas⁴, Paulo
Sérgio Sausen⁵, Airam Tereza Zago Romcy Sausen⁶.**

¹ Pesquisa desenvolvida pelo Grupo de Automação Industrial e Controle da Unijuí.

² Mestranda em Modelagem Matemática, Unijuí, bolsista Capes, julia_zarte@hotmail.com.

³ Mestranda em Modelagem Matemática, Unijuí, bolsista Capes, liviabgomes@yahoo.com.br.

⁴ Doutorando em Modelagem Matemática, Unijuí, bolsista Capes, douglasjoziel@outlook.com.

⁵ Prof. Dr. do PPG em Modelagem Matemática, Unijuí, orientador, sausen@unijui.edu.br.

⁶ Prof^a. Dr^a. do PPG em Modelagem Matemática, Unijuí, coorientadora, airam@unijui.edu.br.

1 Introdução

A utilização de dispositivos móveis, tais como, telefones celulares, notebooks e tablets, vem aumentando de maneira significativa, devido à praticidade que trazem para o cotidiano, visto que estes aparelhos permitem ao usuário estar conectado à informação, através de uma rede wireless, em qualquer lugar e momento. Por outro lado, a utilização destes dispositivos depende do tempo de vida das baterias, que necessitam ser recarregadas a cada intervalo de tempo. Com o objetivo de desenvolver baterias cada vez menores, mais leves, com melhor desempenho e durabilidade, surge a necessidade de possuir um método capaz de prever o tempo de vida das mesmas, assim como, o comportamento dinâmico do sistema. Uma maneira de realizar esta predição é através de modelos matemáticos que simulam a descarga de uma bateria a partir de suas características físicas reais, ou de um conjunto de dados obtidos em ensaios experimentais.

Dentro deste contexto, no Grupo de Automação Industrial e Controle (GAIC), da Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul (UNIJUI), são realizados estudos, implementações e proposições de novos modelos para prever o tempo de vida de baterias utilizadas em dispositivos móveis, tais modelos pertencem a uma das categorias descritas a seguir: modelos eletroquímicos, modelos elétricos, modelos estocásticos, modelos analíticos, modelos via identificação de sistemas e modelos híbridos, cada um com suas características e complexidades (BRONDANI, 2015; FRANSOZI, 2015; FREITAS, 2015).

Desta forma, o objetivo principal deste trabalho baseia-se em estudar e aplicar os modelos analíticos, tais como, o modelo Linear, a Lei de Peukert e a Lei de Peukert Estendida, considerando o mesmo cenário de simulação, para baterias de Lítio Íon Polímero (LiPo), com o intuito de realizar uma análise comparativa entre eles e assim verificar qual destes modelos é de mais fácil implementação e realiza a predição do tempo de vida de baterias com maior acurácia.

2 Metodologia

2.1 Dados Experimentais e Método para Estimação dos Parâmetros

Modalidade do trabalho: Relatório técnico-científico

Evento: XXI Jornada de Pesquisa

A coleta de dados experimentais foi realizada através de uma plataforma de testes, disponível no GAIC, que permite capturar as curvas de um processo real de descarga de uma bateria (NONEMACHER et al., 2010). Para obter o conjunto de dados experimentais, foram utilizadas oito baterias novas do tipo LiPo, modelo PL-383562-2C, e todas as coletas de dados seguiram a mesma metodologia, com o objetivo de evitar qualquer alteração no resultado final dos testes.

Os perfis das correntes de descargas constantes utilizados, variaram entre 50 mA e 800 mA, com intervalo de 25 mA. Desta forma, utilizou-se 31 perfis de descarga, que foram divididos em dois conjuntos; o primeiro conjunto, constituído por 16 perfis (FRANSOZI, 2015), foi utilizado para a estimação dos parâmetros do modelo, e o segundo conjunto, que possui 15 perfis, e pode ser observado na Tabela 1, foi utilizado para a validação dos modelos.

A estimação dos parâmetros, para os três modelos, foi realizada através do método dos Mínimos Quadrados (MQ), que é um método de otimização matemática que procura encontrar o valor ótimo dos parâmetros para um determinado conjunto de dados, através da minimização da soma dos quadrados das diferenças entre o valor estimado e os dados experimentais (i.e., resíduos) (RAKHMATOV; VRUDHULA, 2001).

Destaca-se então, que os três modelos analíticos analisados nesta pesquisa, que serão apresentados a seguir, possuem as mesmas condições de comparação. Ou seja, para a simulação, é utilizado o mesmo conjunto de dados experimentais obtidos nos processos de descarga de baterias de LiPo, a metodologia adotada para a estimação dos parâmetros é a mesma, e a estrutura dos algoritmos no MatLab segue o mesmo padrão.

2.2 Modelos Analíticos

Os modelos analíticos utilizam expressões analíticas para calcular a capacidade real e o tempo de vida da bateria, e como parâmetros os valores que correspondem as características do ambiente operacional e as propriedades físicas da bateria. Apresentam um conjunto reduzido de equações, e possuem uma menor quantidade de parâmetros para serem estimados, o que torna a implementação computacional flexível e de fácil compreensão (JONGERDEN; HAVERKORT, 2008).

Como exemplo de modelos analíticos na literatura técnica tem-se: o modelo Linear, a Lei de Peukert, a Lei de Peukert Estendida, o modelo de difusão de Rakhmatov e Vrudhula e o modelo cinético de Manwell e McGowan (KiBaM) (FREITAS, 2015). Neste estudo será realizada uma análise comparativa entre os três primeiros modelos mencionados, que a seguir são abordados com maior detalhamento.

Considerado na literatura, o modelo analítico mais simples para a predição do tempo de vida de baterias, o modelo Linear (SAUSEN, 2008) não considera os efeitos não lineares (e.g., efeito de recuperação e efeito da taxa de capacidade) que ocorrem na bateria durante a descarga, visto que a bateria é tratada como um recipiente linear de corrente. Neste modelo, a capacidade restante (C) é dada pela equação

$$C = C_i - It_d \quad (1)$$

Modalidade do trabalho: Relatório técnico-científico

Evento: XXI Jornada de Pesquisa

onde: C_i é a capacidade inicial, I é a corrente constante de descarga durante a operação, e t_d é o tempo de duração da corrente. Assim, a capacidade remanescente é calculada sempre que a corrente de descarga for alterada.

Já a Lei de Peukert (RAKHMATOV; VRUDHULA, 2001) captura a relação não linear entre o tempo de vida da bateria e a taxa de descarga, mas não considera o efeito de recuperação, que influencia diretamente no tempo de vida da bateria. Conforme a Lei de Peukert, o tempo de vida (L) de uma bateria, para descargas constantes, é dado pela equação

$$L = \frac{a}{I^b} \quad (2)$$

onde: I é a corrente de descarga, e a e b são parâmetros que precisam ser estimados a partir de dados experimentais.

Procurando diminuir o erro médio apresentado pela Lei de Peukert, em seu estudo Freitas (2015) utilizou a minimização funcional por comparação das derivadas de 1ª e 2ª ordem da equação (2), evidenciando I à esquerda, obtendo-se

$$I = \left(\frac{a}{L} \right)^{\frac{1}{b}}. \quad (3)$$

Desta forma, as derivadas foram calculadas em função do tempo (L), e após manipulações matemáticas (FREITAS, 2015), obtém-se o modelo Lei de Peukert Estendido para descargas constantes, dado por

$$L = \left(\frac{I - \sqrt{I^2 - 4C_1C_2}}{2C_1} \right)^b \quad (4)$$

Modalidade do trabalho: Relatório técnico-científico

Evento: XXI Jornada de Pesquisa

onde: I é o valor da corrente de descarga, C_1 é o coeficiente de ajuste não linear, C_2 é a capacidade da bateria, e b é o coeficiente de Peukert. Sendo que C_1, C_2 e b são os três parâmetros que necessitam ser estimados a partir de um conjunto de dados experimentais.

3 Resultados e Discussão

A partir de um conjunto de dados experimentais (FRANSOZI, 2015), realiza-se a estimação dos parâmetros de cada modelo pelo método dos MQ, que foi implementado na ferramenta computacional MatLab, na função de otimização lsqnonlin. O modelo Linear possui apenas um parâmetro que necessita ser estimado, sendo obtido $C_1 = 46626$. Para a Lei de Peukert, o ideal é que o valor de a seja igual à capacidade da bateria, e b , que é o coeficiente de Peukert, seja igual a 1. Porém, na prática, normalmente a possui um valor próximo ao da capacidade da bateria, e b um valor maior que 1. Desta forma, os parâmetros encontrados foram $a = 50763$; e $b = 1,0195$. E para o modelo Lei de Peukert Estendida os três parâmetros obtidos foram $C_1 = -0,0077$; $C_2 = 37138$; e $b = 1,0445$.

Após a obtenção dos parâmetros, os modelos analíticos estudados nesta pesquisa foram implementados e simulados na ferramenta computacional MatLab a fim de realizar a sua validação. Os resultados encontrados na simulação são comparados com os resultados experimentais obtidos da plataforma de testes, conforme apresentado na Tabela 1, além de ser realizada uma análise comparativa entre os modelos estudados, a fim de verificar qual é o mais acurado para prever o tempo de vida de uma bateria.

Tabela 1 -Análise comparativa entre os Modelos Linear, Lei de Peukert e Lei de Peukert Estendido.

Dados Experimentais		Linear		Peukert		Peukert Estendido	
I (mA)	L (min)	L (min)	Erro (%)	L (min)	Erro (%)	L (min)	Erro (%)
75	606,94	621,70	2,43	622,10	2,50	621,10	2,33
125	384,76	373,00	3,06	369,60	3,94	375,70	2,36
175	272,23	266,40	2,14	262,20	3,68	266,80	2,00
225	203,49	207,20	1,82	203,00	0,24	205,90	1,18
275	165,17	169,50	2,62	165,40	0,14	167,30	1,29
325	141,29	143,50	1,57	139,50	1,26	140,70	0,41
375	123,11	124,30	0,97	120,60	2,04	121,20	1,55
425	108,38	109,70	1,22	106,10	2,11	106,40	1,83
475	94,26	98,10	4,07	94,70	0,47	94,80	0,57
525	86,20	88,80	3,02	85,50	0,81	85,40	0,92
575	77,84	81,10	4,18	78,00	0,20	77,70	0,18
625	71,33	74,60	4,59	71,60	0,38	71,20	0,18
675	65,97	69,10	4,74	66,20	0,35	65,70	0,41
725	60,69	64,30	5,94	61,60	1,50	61,00	0,51
775	56,63	60,10	6,12	57,50	1,53	56,90	0,47
Erro médio (%)		3,23		1,41		1,08	

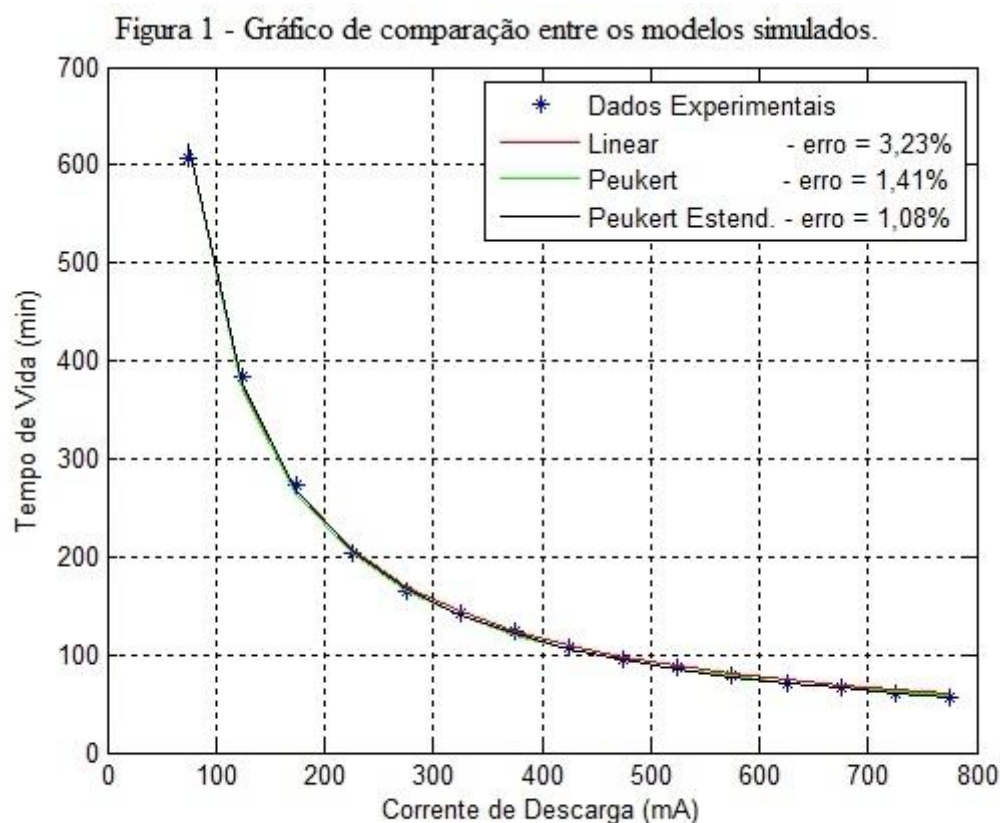
Fonte: Elaborado pelos autores.

Modalidade do trabalho: Relatório técnico-científico

Evento: XXI Jornada de Pesquisa

Na Tabela 1, observa-se que há uma grande diferença entre o menor e o maior erro apresentado pelo modelo Linear, devido ao fato deste não considerar nenhum efeito não linear que ocorre na bateria durante o processo de descarga. Logo, comparando com os demais modelos simulados, este é o que apresenta o maior erro médio, 3,23%, sendo o modelo menos acurado nesta análise comparativa. Já os modelos Lei de Peukert e Lei de Peukert Estendida apresentam erro médio menor que 1,5%, e os maiores erros concentram-se nos perfis de correntes de descarga baixa, visto que em correntes baixas há uma maior atuação dos efeitos não lineares na bateria, o que afeta diretamente seu tempo de vida.

Na Figura 1 são apresentados os resultados das simulações dos modelos analisados nesta pesquisa, onde à medida que a corrente de descarga aplicada aumenta, o tempo de vida da bateria diminui. Também observa-se que os modelos apresentam boa acurácia, pois os dados experimentais estão próximos das curvas de simulação. Confirmando que entre os três modelos, a Lei de Peukert Estendida é a que descreve com maior confiabilidade os dados experimentais.



Fonte: Elaborado pelos autores.

4 Conclusão

Modalidade do trabalho: Relatório técnico-científico

Evento: XXI Jornada de Pesquisa

Através das simulações realizadas neste trabalho, verifica-se que os modelos analíticos; Linear, Lei de Peukert e Lei de Peukert Estendida descrevem de forma satisfatória os dados experimentais, visto que apresentam um erro médio menor que 5%, adotado pela literatura como um valor de boa precisão. Desta forma, tais modelos são considerados acurados para a predição do tempo de vida de baterias para perfis de descargas constantes. Destaca-se que entre os três modelos, o que descreve de maneira mais acurada os dados experimentais é o modelo Lei de Peukert Estendida, apresentando um erro médio de 1,08%. Como trabalhos futuros pretende-se estender esta comparação aos demais modelos analíticos RV e KiBaM, considerando o mesmo cenário de simulação para baterias de LiPo. Além disto, deseja-se realizar esta comparação para perfis de correntes de descargas variáveis considerando as funcionalidades de um smartphone, com o intuito de verificar a acurácia e o comportamento dos modelos analíticos.

5 Palavras-chave

Modelagem Matemática; Linear; Peukert; Tempo de Vida.

6 Agradecimentos

Os autores agradecem ao apoio financeiro da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e à Unijuí pela estrutura oferecida.

Referências bibliográficas

BRONDANI, M. F. Modelagem matemática do tempo de vida de baterias de lítio íon polímero utilizando algoritmos genéticos. 2015. 102 f. Dissertação (Mestrado em Modelagem Matemática) - Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, Ijuí, 2015.

FRANSOZI, L. Modelagem matemática do tempo de vida de baterias de lítio íon polímero através de modelos híbridos. 2015. 76 f. Dissertação (Mestrado em Modelagem Matemática) - Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, Ijuí, 2015.

FREITAS, D. J. B. Estudo e aplicação de modelos analíticos na predição do tempo de vida de baterias utilizadas em dispositivos móveis: proposição de extensões aos modelos tradicionais. 88 f. 2015. Dissertação (Mestrado em Modelagem Matemática) - Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, Ijuí, 2015.

JONGERDEN, M. R.; HAVERKORT, B. R. Which battery model to use? Imperial College London, Technical Report. In: UKPEW, 2008, UK. 2008, p. 76-88.

NONEMACHER, H. B. et al. Desenvolvimento de um testbed para avaliação de modelos matemáticos utilizados na predição do tempo de vida de baterias. In: CONGRESSO REGIONAL DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA E TECNOLÓGICA NA ENGENHARIA, 24., 2010, Rio Grande. Anais... Rio Grande: Ed. Furg, 2010. p. 2-4.

Modalidade do trabalho: Relatório técnico-científico
Evento: XXI Jornada de Pesquisa

RAKHMATOV, D.; VRUDHULA, S. An analytical high-level battery model for use in energy management of portable electronic systems. In: PROCEEDINGS OF THE INTERNATIONAL CONFERENCE ON COMPUTER AIDED DESIGN, 2001, Piscataway. 2001, p. 488-493.

SAUSEN, P. S. Gerenciamento integrado de energia e controle de topologia em redes de sensores sem fio. 2008. 111 f. Tese (Doutorado em Engenharia Elétrica) - Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2008.