

Evento: XXII Jornada de Pesquisa

INFLUÊNCIA DOS EFEITOS NÃO LINEARES NA EFICIÊNCIA DE BATERIAS DE LÍTIO ÍON POLÍMERO CONSIDERANDO DESCARGAS CONSTANTES¹

INFLUENCE OF NON-LINEAR EFFECTS ON THE EFFICIENCY OF LITHIUM POLYMER BATTERIES CONSIDERING CONSTANT DISCHARGES

Luana Fransozi Meireles², Airam Teresa Zago Romcy Sausen³, Paulo Sérgio Sausen⁴

¹ Pesquisa Institucional desenvolvida no Departamento de Ciências Exatas e Engenharias, pertencente ao Grupo de Automação Industrial e Controle da Unijuí

² Doutoranda em Modelagem Matemática, Unijuí, bolsista Unijuí, luh.fransozi@hotmail.com

³ Profa. Dra. do PPG em Modelagem Matemática, Unijuí, orientadora, airam@unijui.edu.br

⁴ Prof. Dr. do PPG em Modelagem Matemática, Unijuí, coorientador, sausen@unijui.edu.br

Resumo: Esta pesquisa tem como objetivo analisar a influência dos efeitos não lineares na eficiência energética de baterias, buscando verificar a quantidade de carga disponibilizada ao sistema, bem como, a capacidade indisponível. Para isso, é realizado o estudo e análise experimental de dados obtidos a partir de descargas de baterias de Lítio Íon Polímero (Li-Po) considerando diferentes perfis constantes. Os resultados demonstram que a eficiência da bateria varia de acordo com a corrente aplicada.

Palavras-chave: Baterias; Eficiência; Capacidade; Energia

Abstract: This research aims to analyze the influence of nonlinear effects on the energy efficiency of batteries, seeking to verify the amount of load available to the system, as well as, the capacity unavailable. For this, the study and experimental analysis of data obtained from Lithium-ion Polymer (Li-Po) battery discharges considering different constant profiles is carried out. The results demonstrate that the efficiency of the battery varies according to the current applied.

Keywords: Battery; Efficiency; Capacity; Energy

1 Introdução

A grande demanda por energia e a preocupação em relação aos problemas ambientais despertam a necessidade de uma nova visão voltada para o uso e gestão dos recursos energéticos baseada no uso racional da energia. No entanto, o desempenho de tecnologias que utilizam energia, tais como dispositivos móveis, veículos elétricos e sistemas de energia renovável, dependem de uma fonte de armazenamento de energia, conhecida com bateria e, considerada o componente de maior custo, peso e volume em um sistema (McDowall,2008).

Evento: XXII Jornada de Pesquisa

As baterias eletroquímicas convertem a energia química armazenada em energia elétrica através de reações eletroquímicas (i.e., oxirredução). A possibilidade de reversão da oxirredução após uma descarga divide as baterias em duas categorias, primárias e secundárias. As baterias primárias possuem células eletroquímicas não recarregáveis, enquanto as baterias secundárias podem ser recarregadas por diversas vezes, por meio de uma fonte externa de energia elétrica (Kiehne, 2003). Dentre as secundárias, as baterias a base de lítio possuem os melhores desempenhos em função da densidade de energia, vida útil e possibilidade de operação em uma ampla faixa de temperatura, porém o seu custo é maior em relação as demais (Marongiu, 2010).

Durante o processo de descarga de uma bateria ocorrem efeitos não lineares que influenciam no comportamento dinâmico do sistema e, conseqüentemente no gerenciamento e controle da carga disponível, dentre eles, o efeito de recuperação e o efeito da taxa de capacidade. O efeito de recuperação consiste na reorganização dos elétrons no eletrólito quando é aplicada uma corrente de descarga nula ou baixa, aumentando a capacidade efetiva da bateria. O efeito da taxa de capacidade depende da capacidade atual da bateria e da intensidade da corrente aplicada (Jorgerden e Haverkort, 2008).

Nesse sentido, esta pesquisa busca verificar a eficiência de baterias de Li-Po submetidas a diferentes perfis de descarga constantes e conseqüentemente, a constatação da influência dos efeitos não lineares e de uma capacidade indisponível ao sistema. Para isso, são coletados dados experimentais do processo de descarga, obtidos de uma plataforma de testes. Estes dados são utilizados na determinação da eficiência da bateria, bem como, no estudo de seu comportamento dinâmico. Deste modo, a análise dos resultados possui o intuito de verificar se existe diferenciação entre a capacidade fornecida ao sistema em função da corrente aplicada e ainda, as perdas de eficiência em cada perfil de descarga.

O restante deste artigo está organizado como segue. Na Seção 2 é descrita a metodologia adotada para a coleta dos dados experimentais, bem como, as baterias e a plataforma de testes. Na Seção 3 são apresentados os resultados e discussões. Por fim, na Seção 4 são apresentadas as conclusões.

2 Metodologia

A coleta e análise de dados experimentais permite verificar o comportamento das baterias durante diferentes processos de descargas, a fim de avaliar as características elétricas e a eficiência no fornecimento de energia ao sistema. Ressalta-se que os testes experimentais foram realizados em temperatura ambiente e utilizando perfis de descarga constantes. A seguir são apresentadas as características das baterias, com maior enfoque as baterias de Li-Po, a plataforma de testes, e a metodologia adotada para a obtenção dos dados experimentais.

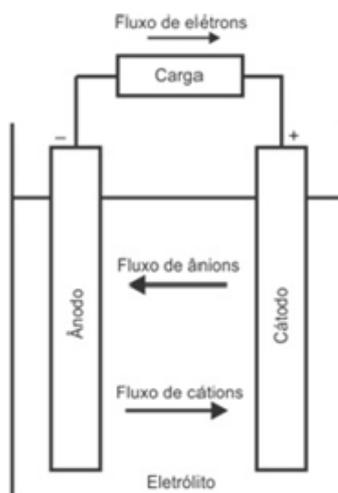
2.1 As Baterias

As baterias são dispositivos que convertem energia química em energia elétrica a partir de

Evento: XXII Jornada de Pesquisa

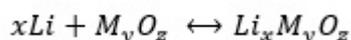
reações eletroquímicas. De forma geral, são formadas por um ânodo, um cátodo e o eletrólito, conforme Figura 1. Durante o processo de descarga, a energia química de cada célula é transformada em energia elétrica por oxirredução. Ou seja, à medida que o ânodo (ou eletrodo negativo) fornece elétrons à carga, o cátodo (ou eletrodo positivo) recebe elétrons da carga. O eletrólito viabiliza a transferência de íons entre os eletrodos no interior da célula (Linden e Reddy, 2002). Em baterias recarregáveis, como as de Li-Po, esta reação é reversível, de modo que, quando descarregada existe a possibilidade de ser carregada novamente.

Figura 1: Esquema de uma célula eletroquímica básica



Fonte: Linden e Reddy (2002).

A diferenciação entre os diferentes tipos de bateria ocorre, principalmente, pelo material que a compõe, e pela demanda que necessita atender. As baterias de Li-Po utilizam metais de lítio na formação do eletrodo negativo e um óxido de intercalação de metal de transição para o positivo. Na reação química resultante, o lítio se combina com o óxido metálico para formar um óxido de lítio e liberar energia. Quando a bateria é recarregada, a reação química é revertida, com isso tem-se:



As baterias de Li-Po são uma tecnologia emergente para fabricação de baterias e, acredita-se que sejam estas as baterias que atenderão as demandas por energia da nova geração de dispositivos móveis (McDowall, 2008). Dentre as suas principais vantagens é possível listar a sua espessura ultra fina, a possibilidade de diferentes tamanhos e formas, o peso reduzido quando comparadas com outras tecnologias de baterias e, a resistência a sobrecarga. Em contraponto, as suas limitações ainda esbarram na densidade de energia relativamente menor do que as baterias de Li-

Evento: XXII Jornada de Pesquisa

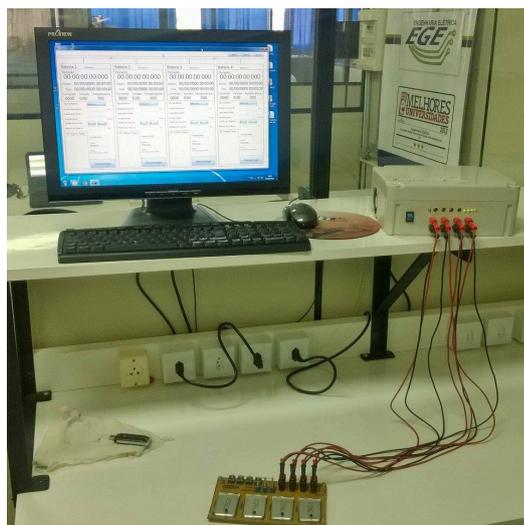
Íon, o alto custo de produção e problemas para gestão interna de temperatura (Buchmann, 2001; Linden e Reddy, 2002).

Na obtenção dos dados experimentais foram utilizadas 8 baterias novas de Li-Po, modelo PL383562-2C, com tensão nominal: 4,2 V, capacidade nominal: 0,8 Ah e tensão de *Cutoff*: 2,7 V.

3.2 A Plataforma de Testes

A plataforma de testes, apresentada na Figura 2, foi desenvolvida pelo Grupo de Automação Industrial e Controle (GAIC) da Unijuí e permite capturar as curvas e características reais de um processo de descarga, a partir da operação conjunta de suas três partes: sistema de controle (*software*), *hardware* e baterias. O *hardware* é responsável pela comunicação com o computador e a administração dos módulos de sensoriamento e controle de descarga e, o sistema de controle torna possível a obtenção dos resultados gerados pelos testes (Sauthier et al., 2003).

Figura 2: Plataforma de Testes



Fonte: próprio autor.

3.3 Coleta dos Dados Experimentais

Na coleta dos dados experimentais é adotado um padrão único em todos os experimentos, com o intuito de reduzir qualquer alteração no resultado final dos testes. Para isso, inicialmente, as baterias são completamente carregadas, a partir de uma fonte de carregamento externa, com um perfil de carga lento e constante que corresponde a 20% da capacidade nominal da bateria. Ao alcançar o valor de tensão máximo, é efetuada a desconexão da bateria da fonte de carga e em seguida, é realizada a descarga das baterias.

Evento: XXII Jornada de Pesquisa

Durante o processo de descarga, a plataforma de testes registra o tempo e a tensão da bateria, sendo que este processo é realizado enquanto não é atingido o nível limite. O tempo de vida de uma bateria é o valor final anotado pela plataforma ao cessar o fornecimento de carga ao sistema, ou seja, o tempo alcançado ao atingir o nível de *Cutoff*.

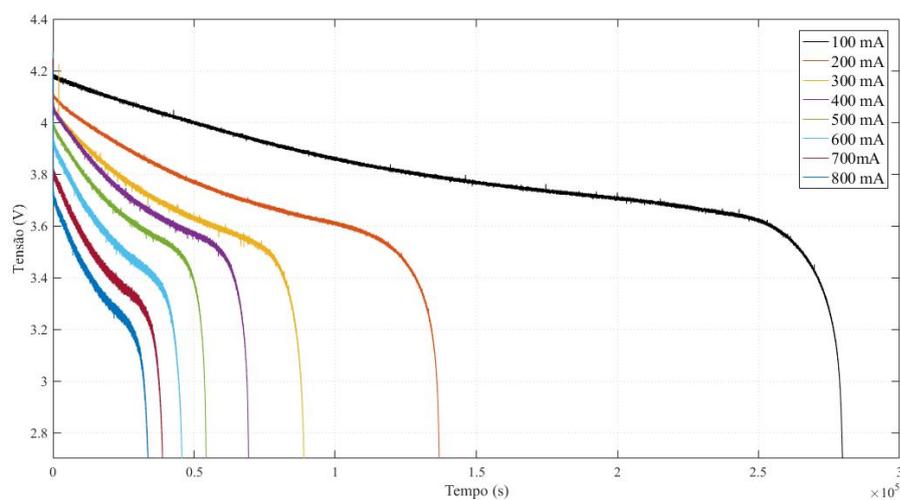
O conjunto de dados obtidos a partir dos testes experimentais admite perfis entre 100 mA e 800 mA com intervalo de 100 mA entre um e outro, a fim de compreender os diferentes níveis de descarga.

4 Resultados e Discussões

Nesta seção são apresentados os resultados obtidos a partir da análise dos dados experimentais do decaimento da tensão e da eficiência da bateria para diferentes perfis de descargas constantes. O decaimento da tensão descreve o comportamento dinâmico ao longo do processo de descarga, enquanto a eficiência permite verificar a quantidade de energia fornecida ao sistema em relação a capacidade total.

As curvas representadas na Figura 3 descrevem o decaimento da tensão considerando 8 perfis de descargas obtidos com o auxílio da plataforma de testes. Observa-se que as curvas experimentais apresentam uma diminuição brusca na tensão elétrica nos instantes iniciais e que, conforme a corrente aplicada aumenta, esta queda inicial torna-se maior.

Figura 3: Tensão (V) x Tempo (s)



Fonte: próprio autor.

Evento: XXII Jornada de Pesquisa

A análise do comportamento do decaimento da tensão descrito na Figura 3 permite observar que o maior tempo de vida está relacionado a menor corrente e consequentemente, o menor tempo de vida é encontrado na aplicação do maior perfil de corrente de descarga. Verifica-se também que a diferença na queda da tensão nos instantes iniciais da descarga aumenta de acordo com o aumento da corrente de descarga aplicada, evidenciando-se a presença dos efeitos de recuperação e da taxa de capacidade. Com isso, o tempo de vida de uma bateria depende amplamente do perfil de descarga aplicado.

A partir da constatação da diferenciação entre as capacidades fornecidas pela bateria ao sistema pode-se concluir que ao final da descarga existe uma capacidade indisponível, ou seja, uma perda de energia e com isso, de eficiência. A eficiência de uma bateria é definida como a energia convertida e, disponibilizada ao sistema, em relação ao consumo de energia. Esta eficiência pode ser determinada a partir da equação de eficiência Coulometric dada por:

$$\varepsilon_{Ah} = \frac{Q_{dis}}{Q_{ch}} \quad (1)$$

onde: ε_{Ah} é a eficiência, Q_{dis} é a quantidade de carga fornecida ao sistema, e Q_{ch} é a capacidade nominal da bateria. Destaca-se que nem toda a energia da bateria é convertida em energia e disponibilizada ao sistema devido a ocorrência de efeitos não lineares. Com isso, na Tabela 1 é apresentado o valor da eficiência para cada perfil de descarga determinado a partir da equação (1) e, com o auxílio dos dados experimentais.

Perfil (mA)	ε_{Ah}
100	0,97
200	0,95
300	0,93
400	0,95
500	0,94
600	0,93
700	0,92
800	0,91

Tabela 1: Eficiência energética para diferentes perfis de descargas.

De acordo com os resultados nota-se que a bateria fornece mais energia ao sistema quando é aplicada uma corrente de 100 mA enquanto, a menor quantidade está relacionada ao perfil de 800 mA. Assim, verifica-se que a quantidade de energia diminui conforme o perfil de descarga aumenta. Este comportamento ocorre devido aos efeitos não lineares, demonstrando que os mesmos influenciam diretamente no tempo de execução da descarga, ampliando ou reduzindo o

Evento: XXII Jornada de Pesquisa

tempo de vida da bateria.

Além disso, a constatação de que a capacidade fornecida ao sistema varia a partir da taxa de descarga aplicada demonstra que os modelos desenvolvidos para descrever o processo de descarga das baterias precisam considerar a capacidade disponibilizada ao sistema e a capacidade indisponível, pois ao final da descarga ainda existe energia no interior da bateria, no entanto, não é possível transformá-la em energia utilizável.

4 Conclusão

Nesta pesquisa, foi realizada a coleta de dados experimentais, com o auxílio de uma plataforma de testes, considerando diferentes perfis de descarga constantes com o intuito de verificar a influência dos efeitos não lineares e determinar a eficiência e perdas de capacidade de baterias de Li-Po, modelo PL383562-2C.

A análise dos resultados obtidos demonstram que a carga disponibilizada ao sistema sofre variações de acordo com o perfil aplicado, sendo que, a capacidade efetiva e conseqüentemente, a eficiência é menor para correntes de descargas altas, pois não há tempo suficiente para que os elétrons, no eletrólito, se reorganizarem, o que reduz o tempo de vida da bateria.

5 Agradecimentos

Os autores agradecem ao apoio financeiro e a estrutura concedida pela Unijuí.

Referências bibliográficas

BUCHMANN, I. **Batteries in a portable world: a handbook on rechargeable batteries for non-engineers**. 2nd ed. Richmond: Cadex Eletronic Inc., 2001.

JORGERDEN M. R.; HAVERKORT, B. Battery modeling. Technical report, Faculty Electrical Engineering. 2008.

KIEHNE, H. A. **Battery technology handbook**. 2. ed. New York: Marcel Dekker, 2003.

LINDEN, D.; REDDY, T.B. **Handbook of Batteries**. Third ed., McGraw-Hill, 2002.

MARONGIU A.; DAMIANO A.; HEUER, M. Experimental analysis of lithium iron phosphate battery performances, in *2010 IEEE International Symposium on Industrial Electronics*, 2010, pp. 3420-3424.

MCDOWALL, J. Understanding lithium-ion technology. *Battcon International Stationary Battery Conference*, 2008.

Evento: XXII Jornada de Pesquisa

MCDOWALL, J. Conventional battery technologies-present and future, *IEEE Power Engineering Society Summer Meeting*, Vol. 3, 2000.

SAUTHIER L. F.; SAUSEN, P. S.; DE CAMPOS, M.; SAUSEN A.; MOTYCZKA, L. Aperfeiçoamento de uma plataforma para avaliação de modelos matemáticos aplicados a predição do tempo de vida de baterias, *7º Seminário de Eletrônica de Potência e Controle (SEPOC)*, Julho 2013.