

ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE CRITÉRIOS DE AVALIAÇÃO DA VIDA ÚTIL DE BATERIAS UTILIZADAS EM EQUIPAMENTOS ELETROMÉDICOS

J. G. MENDES*, A. H. HERMINI**

*Hospital Israelita Albert Einstein, São Paulo, Brasil

** Hospital Mulher “Prof. Dr. José Aristodemo Pinotti” – CAISM – UNICAMP, Campinas, Brasil

E-mail: janilson.gomes@gmail.com

Resumo: A crescente demanda de mobilidade dos equipamentos eletromédicos, tem levado a um aumento considerável de equipamentos alimentados a bateria. Este quesito enfatiza uma questão até então pouco discutida na área das tecnologias em saúde, o tempo de vida útil de baterias, os quais, se não bem gerenciados, podem acarretar risco ao paciente, caso sua carga se esgote durante operação, assim como impactos ambientais e financeiros, se sua troca for realizada precocemente, sem real necessidade. Baseado nestes quesitos, este trabalho propõe metodologias para avaliar o “estado de saúde” de baterias usadas em equipamentos eletromédicos. Foram levantadas e estruturadas em tabela as tecnologias de baterias utilizadas em quatro tipos de equipamentos eletromédicos e, em seguida, identificadas formas para estimar seu tempo de vida útil. Dentre as formas avaliadas destacam-se recomendações dos fabricantes, normas técnicas aplicáveis, modelos matemáticos e o método de análise de variação da resistência interna de baterias de acordo com o seu desgaste natural.

Palavras-chave: Bateria, acumulador, ensaio, protocolo de avaliação.

Abstract: *The need for transport of medical devices, has led to a considerable increase of use by batteries. This has emphasized a matter hitherto little discussed in the area of health technologies, the lifetime of batteries, which if are not well managed can bring harm to the patient if their charge is depleted during operation of the device. Beyond to bring impacts environmental and financial if your exchange is performed frequently. Based on the presented issues, this paper proposes methodologies to assess the state of health of batteries used in medical equipment. Several ways to estimate the lifetime of the batteries are proposals, among them stand out from manufacturers' recommendations, applicable regulations, mathematical models and also the method of analysis of variation of internal resistance of the battery according to your natural wear were encountered in the searches.*

Keywords: *Battery, accumulator, test, protocol review.*

Introdução

Há décadas a sociedade tem conhecimento sobre o papel fundamental que os equipamentos eletromédicos têm nos procedimentos de sustentação à vida dos

pacientes (equipamentos cuja inoperância resulta em risco à vida do paciente). Para suprir as necessidades de energia destes equipamentos em casos de interrupção de energia ou de transporte, os fabricantes utilizam baterias. Uma bateria é um dispositivo que converte energia química em energia elétrica, por meio da reação química chamada oxirredução. Internamente é formada por placas separadas e imersas num material chamado de eletrólito, conforme ilustra a figura 1 [1].

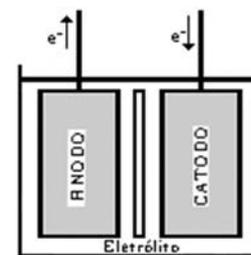


Figura 1 - Esquemático de uma bateria [1]

Para garantir o funcionamento do equipamento, e assegurar a assistência ao paciente, é importante estimar, com precisão, a vida útil e a autonomia das baterias que alimentam os equipamentos. Atualmente, pela carência de procedimentos, a substituição das baterias, quando realizada, obedece a prazos pré-estabelecidos, desconsiderando seu real estado de saúde.

Visto não haver consenso quanto ao critério de avaliação das baterias, surgem em razão de trocas precoces, problemas financeiros, impactos ambientais e, se não realizada a troca, riscos relativos a segurança do paciente, devido ao eventual desligamento do equipamento em virtude da descarga repentina da bateria.

O objetivo deste trabalho é mapear os tipos de baterias utilizados em equipamentos vitais à assistência ao paciente e apresentar metodologias de ensaio para estimar com maior confiabilidade a vida útil das baterias utilizadas nos equipamentos.

Materiais e métodos

A primeira etapa do trabalho foi definir critérios para a seleção dos equipamentos a serem estudados, sendo considerados os seguintes quesitos: Equipamentos eletromédicos cuja operação seja de fundamental importância para o paciente, onde falhas representam alto risco de morte e sejam indispensáveis para a assistência

ao paciente. Com base nestes critérios, foram selecionados: bombas de infusão, monitores multi-paramétricos, ventiladores pulmonares e desfibriladores/cardioversores. A segunda etapa foi identificar os tipos de baterias utilizados nestes equipamentos e as recomendações dos fabricantes para sua substituição. Foi realizada uma pesquisa junto à ANVISA utilizando as palavras-chave: desfibrilador, cardioversor, bomba de infusão, monitor e ventilador. Como resultado da pesquisa, foram identificados os seguintes tipos de baterias: Chumbo-Ácido (Pb), Níquel-Cádmio (Ni-Cd), Níquel-Hidreto metálico (Ni-MH) e Íons de Lítio (ion-Li). As principais características dos tipos baterias encontrados na pesquisa são apresentadas a seguir. Apesar de questionável quanto aos quesitos relacionados à segurança, as baterias do tipo chumbo-ácido são amplamente utilizadas em virtude do domínio do processo de fabricação, disponibilidade de componentes e baixo custo de produção. Podem ser classificadas de diferentes maneiras conforme seu uso (estacionárias, tração, fotovoltaica e automotivas) e método de confinamento do eletrólito (selada e ventilada). A composição básica deste tipo de bateria é apresentada na figura 2A [2,3].

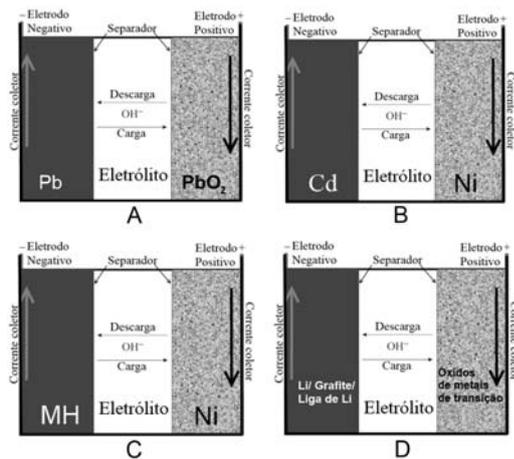


Figura 2 - Diagrama de diferentes tipos de baterias [4].

As baterias de Níquel Cádmio (Ni-Cd) possuem baixo custo e capacidade de operar em condições severas. No entanto, têm alta toxicidade e baixa densidade de energia, além de apresentarem perda de aproximadamente 10% de sua capacidade dentro das primeiras 24 horas e possuírem o chamado efeito memória, onde há uma súbita perda de carga mesmo após terem sido recarregadas. O diagrama da figura 2C é aplicável a este tipo de bateria se substituímos o composto MH [4,5].

As baterias de Níquel-Hidreto Metálico (Ni-MH) (figura 2C) oferecerem menor dano ambiental e baixo efeito memória em relação às baterias de níquel-cádmio, taxa de auto descarga pequena, maior capacidade de carga, maior quantidade de ciclos de cargas e descargas. Porém são sensíveis a temperatura [6, 7 e 8].

As baterias de íons de lítio (figura 2D) têm boa conservação de carga, mesmo após diversos ciclos de carga e descarga e possuem maior densidade de energia

(quando comparadas a outras tecnologias). Sua expectativa de vida está em 500 ciclos ou mais, e dependendo das condições de operação e temperatura do ambiente, pode chegar até 1000 ciclos [5 e 6].

Os critérios mais comuns aplicados à substituição das baterias são:

- 1) *Recomendações do fabricante*: Procedimentos com periodicidade estabelecida, prescritos nos manuais de operação do equipamento, sendo recorrente:
 - a) Substituição por tempo determinado a partir da data de fabricação da bateria;
 - b) Teste de autonomia – Consiste em operar o equipamento com a bateria e substituí-la, quando o tempo de operação não ultrapasse 30% do previsto em manual.
 - c) Condicionamento – Resume em realizar um ciclo de carga, seguido de uma descarga profunda e posterior carga completa para preparar a bateria antes de realizar o *Teste de autonomia* mencionado no item anterior.
- 2) *Normas Técnicas*: Preconizam diversos métodos para avaliação de baterias, tais como, inspeções visuais, dimensionais e ensaios.

Deve-se selecionar o critério de ensaio de capacidade em regime nominal de operação, por permitir uma estimativa da vida útil da bateria e permitir, com adaptações, sua aplicação no ambiente de engenharia clínica. As seguintes normas podem ser usadas: NBRs: 16110, 14205, 16145, 14202, IEC 60896 e IEEE 1106.

- 3) *Métodos declarados em literatura*: A resistência interna de uma bateria fornece importantes informações sobre o seu estado de saúde, permitindo detectar problemas. Valores altos são utilizados como critérios de substituição de baterias e estudos apontam que um aumento de 25% da resistência interna representa queda de 20% da capacidade da bateria. A medição da resistência interna é realizada por meio da leitura da queda de tensão numa carga ou por meio de uma impedância [9].

Para determinar a impedância temos:

- a) *Método de carga DC*: Um dos métodos de ensaio de medição de resistência mais antigo e confiável. A bateria recebe uma breve descarga, à baixa corrente, que dura 10 segundos, seguido de uma descarga de corrente elevada de 3 segundos e por meio da lei de Ohm, os valores de resistência são obtidos. As leituras são precisas e repetíveis [9].
- b) *Método de condutância AC*: Substituto do método de carga DC, ele injeta uma corrente alternada na bateria com uma frequência entre 80 e 1000 Hz, o sinal excita a bateria e a resistência interna é obtida por meio da lei de Ohm sob a seguinte expressão:

$$G = \frac{I}{\Delta V} \cdot n \quad (1)$$

Onde: G é o valor da condutância medida, I é o valor da corrente drenada, ΔV é a variação de tensão devido a corrente drenada e n é o número de células da bateria. Vale ressaltar que o valor de resistência obtido pelo método 3a (carga DC) e pelo método 3b (condutância AC) serão diferentes, e mesmo assim, ambos estarão corretos, pois o usuário deverá considerar a aplicação.

- c) *Espectroscopia de impedância eletroquímica*: Permite, além de mensuração de resistência interna, estimar o estado de carga e a capacidade das baterias, é um método muito comum em laboratórios, mas pouco utilizado fora destes ambientes devido ao elevado custo de equipamentos para avaliação.
- d) *Método de avaliação da capacidade*: São ciclos de carga / descarga e carga, oferecendo uma maneira confiável de medir a capacidade da bateria, com a desvantagem de ser demasiadamente lento e por vezes caro, devido às horas de equipamento parado, somadas ao custo do profissional para sua execução.
- 4) *Modelagem matemática*: Podem ser agrupados:
- Modelos Eletroquímicos: Predições baseadas nas equações físico-químicas que regem o comportamento das baterias;
 - Modelos elétricos: Componentes elétricos são montados para simular o comportamento da bateria, são de fácil compreensão e usam componentes como resistores e capacitores para realizar a análise.
 - Modelos analíticos: Baseados na formulação de expressões matemáticas para realizar as predições de tempo de vida útil e demais parâmetros da bateria.

Vários métodos podem ser aplicados para avaliar baterias, desde o mais simples, como o modelo linear, que considera a bateria um recipiente linear de corrente, desconsiderando os efeitos não-lineares que acontecem durante sua operação, até mais complexo, como o modelo Rakhmatov-Vrudhula, o qual, baseado na difusão dos íons no eletrólito, descreve a evolução da concentração das espécies eletroativas no eletrólito para prever o tempo de vida de uma bateria a partir de um descarregamento. Formado por um sistema de equações diferenciais parciais e dois parâmetros α e β , onde α é relacionado com a capacidade da bateria e β relacionado ao comportamento não-linear, descrevendo a evolução da concentração de espécies eletroativas no eletrólito a uma carga (fixa ou variável) [10]. As espécies eletroativas no tempo t e na distância: $x \in [0, \omega]$ são descritas pela Lei de Fick:

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

E pela equação de difusão:

$$\frac{\partial C(x, t)}{\partial t} = D \frac{\partial^2 C(x, t)}{\partial x^2} \quad (3)$$

Onde: $J(x, t)$ é o fluxo de espécies eletroativas em função do tempo t e em função de uma distância x do eletrodo, e D é a constante de difusão. A bateria é considerada descarregada quando $C(0, t)$ atinge valor menor que o nível de *cutoff*. De acordo com a Lei de Faraday o fluxo de espécies na superfície do eletrodo é proporcional à corrente, sendo possível obter as condições de fronteira. Resolvendo a equação por meio de transformadas de Laplace, transformada inversa de Laplace e dividindo pelas condições iniciais temos o parâmetro β , relacionado ao comportamento não linear da bateria dado por:

$$\beta = \frac{w}{\sqrt{D}} \quad (4)$$

Resolvendo o sistema de equações encontra-se a relação entre o tempo de vida L de uma bateria para um determinado perfil de carga conforme equação 5:

$$\alpha = \sum_{k=1}^n 2I_{k-1}A(L, t_k, t_{k-1}, \beta) \quad (5)$$

Resultados

Após análise dos dados obtidos nas Instruções de Uso registradas junto à ANVISA, foi aplicado o conceito de Pareto para a seleção de 04 tipos de baterias, a saber: Pb, Ni-Cd, Ni-MH e Li-íon, em razão de estarem presentes em 96% dos equipamentos estudados conforme a Figura 3.

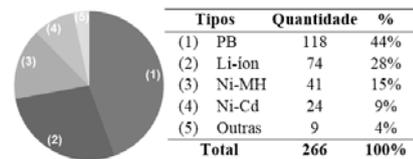


Figura 3 - Tipos de baterias nos equipamentos estudados [11].

O desempenho das baterias é afetado de acordo com o perfil de carga e descarga, temperatura e suas condições de armazenamento. Apesar de existirem referências em diversos trabalhos e normas sobre a expectativa de vida útil para os diferentes tipos de baterias, os dados encontrados mostram que mais de 45% dos fabricantes não citam um tempo para a substituição de baterias, conforme visto na figura 4.

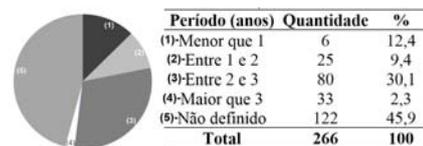


Figura 4 - Recomendações de substituição de baterias [11].

Analisando o critério de substituição por tempo determinado (método a), recomendado do fabricante, é necessário considerar que o mesmo terá fatores de segurança para se resguardar de problemas. Assim uma bateria com vida útil entre 3 e 5 anos se operada numa temperatura ambiente de $25^\circ\text{C} \pm 3^\circ\text{C}$ e que a cada incremento de 10°C na temperatura ambiente a vida útil da bateria cai pela metade. Comparativo na tabela 1 [13].

Tabela 1 - Comparativo de características de baterias [5,6,12].

	Pb	Li-íon	Ni-MH	Ni-Cd
Ciclos de Recarga*	200 a 300	500 a 1000	300 a 500	500 a 1500
Estocagem em meses	6	12	12	6
Custo Relativo	X	4X	2,5X	2X
Auto descarga por mês	5%	10%	30%	20%
Impacto Ambiental	Alto	Médio	Médio	Alto
Efeito Memória	Não	Não	Sim	Sim

*Faixa de recarga estimada encontrada na literatura referenciada

Comparando o método de teste de autonomia e condicionamento (métodos 1B e 1C), temos maior confiabilidade nos resultados de capacidade da bateria, porém o tempo necessário para sua execução é a principal desvantagem deste critério.

Ao adotar como critério as normas técnicas, (método 2), deve-se ter em mente que alguns ensaios demandarão adaptações, mas fornecem uma maneira segura para avaliação das baterias, tendo como desvantagem o tempo de execução.

O método de resistência interna, têm a vantagem de menor tempo de execução quando comparado com as recomendações do fabricante e as normas técnicas (métodos 1 e 2). O critério carga DC é confiável para aplicação na engenharia clínica, sendo sua principal desvantagem grande desvio padrão de $\pm 8\%$, sendo recomendável que o acompanhamento e o comparativo de leituras sejam realizados desde a primeira utilização da bateria.

O critério de condutância AC tem a vantagem de ter maior precisão e a desvantagem da necessidade de ajustar a frequência da corrente injetada. Os modelos matemáticos capturam as características reais da bateria, para prever seu comportamento em diferentes condições. Sua principal desvantagem é o grau de complexidade elevado [5,10].

Discussão

Quase metade dos fabricantes não recomendam um prazo para substituição das baterias, dificultando o uso deste método e quando recomendam o fabricante tende a considerar condições adversas para estimar a vida útil de baterias. Sabendo que para uma dada bateria operando em ambiente com temperatura controlada (condição comum em algumas áreas hospitalares), este critério de substituição pode acarretar em trocas precoces de dispositivos que sequer alcançaram metade de sua vida útil. O critério de normas técnicas apresenta a desvantagem do tempo de execução e diversas adaptações, a modelagem matemática pode ser considerada muito complexa visto a necessidade de domínio de cálculo para sua realização

Conclusão

Tendo em mente que não existe método perfeito e baseado na pesquisa bibliográfica e possibilidade de aplicação no ambiente da engenharia clínica, os métodos 3a e 3b (Carga DC e Condutância AC) destacam-se como os mais adequados para avaliar o estado de saúde dos diferentes tipos de baterias atendendo a necessidade de agilidade, confiabilidade e segurança para realização dos ensaios.

Agradecimentos

Agradeço a Deus, ao professor Alexandre Hermeni, pela orientação e incentivo.

Referências

- [1] JONGERDEN, M. R.; HAVERKORT, B. R. Battery modeling. 2008.
- [2] LUCZKIEVICZ, F. R. G. Determinação do estado de saúde da bateria chumbo-ácido. Q.A., 2011.
- [3] BRITO, M. E. C. Dispositivo para monitoramento e determinação da vida útil remanescente de baterias chumbo-ácidas estacionárias. 2008.
- [4] RAHN, C. D.; WANG, Chao-Yang. Battery systems engineering. John Wiley & Sons, 2012.
- [5] PENNA, J. A. Moreira. Estudo do monitoramento da saúde e da estimação de remaining useful life de baterias aeronáuticas de lithium-ion. ITA. 2011.
- [6] STA, Manual das Baterias Recarregáveis, Pilhas e Carregadores. 2014.
- [7] BARANDAS, A. P. M. Gonçalves et al. Recuperação de cádmio de baterias níquel-cádmio via extração seletiva com tributilfosfato (TBP). Química Nova, 2007.
- [8] DRESCH, R. de F. Valle. Método de análise do estado de carga restante de baterias de celular. 2010
- [9] BUCHAMNN, Isidor. Batteries in a portable world: a handbook on rechargeable batteries for non-engineers, Cadex, 2011
- [10] SCHNEIDER, K. K.; SAUSEN, P.; SAUSEN, A. Análise comparativa de modelos analíticos para predição do tempo de vida de baterias em dispositivos móveis, 2010.
- [11] ANVISA, Manuais de operação. Acessados no dia 01/03/2014 às 14:01 pelo link: http://www.anvisa.gov.br/scriptsweb/correlato/correlato_rotulagem.htm dados analisados pelos autores.
- [12] ABNT, Assoc Brasileira de normas Técnicas. 2013.