

AJUSTE POLINOMIAL PARA A CURVA DE DESCARGA DE BATERIA ESTACIONÁRIA

PALOMA L. S. ROCHA, BARTOLOMEU F. SANTOS JR.

*Grupo de Sistemas de Energia Elétrica, Curso de Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Piauí
Campus Universitário Ministro Petrônio Portella - Av. Universitária, s/n - Ininga, Teresina - PI, 64049-550
palomasantanar@hotmail.com, bartolomeuf@ufpi.edu.br*

Abstract— In this document is presented the proposal of representation of discharge curves of stationary batteries by polynomial adjustments in order to predict the demand in isolated photovoltaic systems. Polynomial equations of third order, which adequately fit the data provided, were established from voltage and current data obtained through manual measurements. This procedure allows to obtain an equation that describes satisfactorily the comportment of stationary batteries in unloading operations, common in photovoltaic installations. The presented results demonstrate the applicability of the suggestion, proposing the insertion of the created model on a controller, which would be an alternative to the study of the battery performance, in additions to its applications in isolated systems.

Keywords— Controller, Demand Forecasting, Isolated Systems, Polynomial Equations, Stationary Battery.

Resumo— Neste artigo apresenta-se a proposta de representação das curvas de descarga de baterias estacionárias por meio de ajustes polinomiais para a previsão de demanda em sistemas fotovoltaicos isolados. A partir de dados de tensão e corrente obtidos através de medições manuais, são estabelecidos polinômios de terceira ordem que se ajustam adequadamente aos dados fornecidos. Este procedimento permite obter uma equação que descreve de forma satisfatória o comportamento da bateria estacionária em operações de descarregamento, comuns em instalações fotovoltaicas. Os resultados apresentados comprovam a aplicabilidade da proposta, propondo a inserção do modelo criado em um controlador, sendo uma alternativa para o estudo do comportamento da bateria, além das suas aplicações em sistemas isolados.

Palavras-chave— Bateria Estacionária, Controlador, Equação Polinomial, Previsão de Demanda, Sistemas Isolados.

1 Introdução

A necessidade de energia elétrica constante e confiável tem movido gradativamente estudos e pesquisas que possam desenvolver sistemas que sejam capazes de suprir as necessidades da sociedade contemporânea. Esta só possui seu pleno funcionamento mediante fontes energéticas que possam garantir deslocamento, saneamento, segurança, comunicação, entre outras necessidades. Considerando-se o fato de que a energia gerada pelo sol é inesgotável na escala terrestre de tempo tanto como fonte de calor quanto de luz, avalia-se esta como uma das alternativas energéticas mais promissoras para se enfrentar os desafios do novo milênio (CEPEL e CRESESB, 2004). De maneira que, nas últimas décadas, engenheiros e cientistas têm investigado a utilização de sistemas de geração baseados em células fotovoltaicas como alternativa para atender à demanda de energia elétrica de centros comerciais e industriais ou áreas residenciais (OECD/IEA, 2003).

Entretanto, somente a instalação de módulos fotovoltaicos não garante um fornecimento contínuo de energia elétrica para uma carga, caso esta esteja distante da rede convencional de energia elétrica, já que as células fotovoltaicas não conseguem gerar energia elétrica durante a noite ou em longos períodos nublados. Assim, quando se deseja garantir um fornecimento contínuo de energia elétrica para uma carga, deve-se prever a instalação de um sistema de armazenamento de energia em paralelo com o arranjo de células fotovoltaicas. Uma segunda consideração que deve ser feita é que a irradiação solar que atinge os painéis solares num determinado período pode não ser suficiente para gerar a quantidade de energia

elétrica demandada por uma carga ou sistema elétrico. Neste caso, o sistema de armazenamento fornecerá a quantidade de energia que falta. Não obstante, não se pode esquecer a situação em que a energia elétrica gerada nos painéis solares é maior que aquela consumida pela carga ou sistema elétrico. Neste caso, o excedente da energia elétrica gerada pelos painéis solares poderia ser armazenado para uso posterior (Damasceno, 2008).

A utilização de sistemas dessa natureza apresenta-se principalmente como uma das formas alternativas no atendimento de áreas afastadas, onde o fornecimento de energia pela rede convencional seria muito dispendioso. Assim, a instalação destes equipamentos em localidades isoladas torna-se uma interessante escolha para o suprimento energético dessas comunidades promovendo o desenvolvimento econômico, social e cultural.

A bateria, também conhecida como acumulador elétrico, tem como função fornecer potência quando a exigência da carga excede a capacidade das células fotovoltaicas (Fraga, 2009). Este é o elemento que possui a capacidade de armazenar energia elétrica em forma de energia química. De acordo com a mudança na química interna de uma bateria, provocada por uma modificação na configuração do circuito externo, esta energia pode ser armazenada ou fornecida. Em baterias recarregáveis, este processo de armazenamento ou entrega de energia é repetido inúmeras vezes (Coelho, 2001). Porém, não é qualquer bateria que supre as necessidades de um sistema fotovoltaico, sendo que para tal fim utilizam-se as baterias estacionárias. Este tipo de acumulador elétrico possui a vantagem de descarregar-se profundamente sem que o mesmo sofra danos

significativos em seu tempo de vida útil (OECD/IEA, 2003).

O armazenamento de energia em baterias caracteriza-se como um fator crítico para o correto funcionamento de sistemas fotovoltaicos nos quais as condições de funcionamento são diferentes se comparadas com as aplicações convencionais (Lima, Santos, Saavedra e Catunda, 2003), com base nisso, a vida útil de uma bateria termina quando ela não consegue mais armazenar 80% da energia que armazenava quando nova. Dessa forma, considera-se como o ciclo de uma bateria estacionária a sequência carga-descarga até uma determinada profundidade de descarga (OECD/IEA, 2003). Entende-se como carga o processo pelo qual se faz a conversão de energia elétrica de um sistema externo em energia química potencial dentro da bateria (Lima, Santos, Saavedra e Catunda, 2004), por outro lado, a descarga é justamente o uso daquela que outrora foi estocada como energia química.

Com base nisso, a perspectiva de que seja possível avaliar a demanda de sistemas fotovoltaicos isolados e, conseqüentemente, do banco de baterias mostra-se como um agente facilitador no processo de inserção dessa tecnologia na matriz energética brasileira. Levando em consideração que, desde o início da sua comercialização, a energia elétrica tem sido fornecida aos consumidores residenciais, comerciais e industriais através de usinas geradoras centralizadas e que todo o sistema convencional de geração possui inúmeros problemas como impacto ambiental negativo, dependência de combustíveis ou por estarem localizados distantes do ponto de consumo (Franco, 2013), torna-se fundamental a reestruturação do setor energético e a busca por maior diversificação da matriz energética nacional, principalmente através da geração distribuída com base em fontes renováveis de energia.

Neste contexto, os sistemas autônomos de geração de energia elétrica, caracterizados pela sua associação em paralelo com o banco de baterias e não com a rede elétrica convencional (Franco, 2013), permitem a linearidade durante o fornecimento de energia, evitando o desperdício de carga gerada quando o consumo é baixo, ou ainda, armazenando energia quando houver pouca ou nenhuma radiação e, mais especificamente, a bateria atua estabilizando a tensão de saída do módulo fotovoltaico (Carvalho, 2013).

As aplicações de baterias estacionárias se estendem a atividades como bombeamento de água, iluminação pública, fornecimento de energia para estações remotas de telecomunicações, submarinos, aviões e navios (Aramizu, 2010). Mais recentemente, pontos de consumo residenciais têm se popularizado gradativamente. Para casos como estes, prever a demanda de carga é essencial para o funcionamento seguro dos sistemas isolados. A proposta de previsão de demanda de carga se aplicaria diretamente aos acumuladores elétricos. O poder de prever o seu estado de carga possibilitaria o gerenciamento de energia em um determinado período de tempo,

adequando, assim, o arranjo de equipamentos em funcionamento de acordo com a energia disponível.

Com o intuito desenvolver modelos que viabilizem as previsões de demanda em sistemas isolados de geração de energia elétrica, estudaram-se os gráficos que caracterizam o descarregamento de acumuladores elétricos, além de equacioná-los com o intuito de, futuramente, embarcar todo o sistema em controladores. Para tal, conhecimentos prévios em cálculo numérico, uso e aplicações de *softwares* como MatLab, medições e verificações destes processos em laboratório e embasamentos encontrados em literatura serviram de apoio para o desenvolvimento deste estudo.

2 Fundamentação Teórica

Os valores que uma variável pode assumir estão associados, além dos erros experimentais, a outras variáveis cujos valores se alteram durante o experimento (Conceição, 1987), ou seja, as medidas tabeladas a partir desta função são resultantes de experimentos físicos contendo erros inerentes que, geralmente, não foram previstos. Desta forma, surge a necessidade de se ajustar a esta função primária outra função que represente uma aproximação aceitável das medidas encontradas através da primeira. Por isso, estudou-se um modelo matemático de equações polinomiais que se ajuste às curvas de descarga da bateria de maneira satisfatória e, assim, criar um embasamento da teoria sobre os dados reais (Asano e Colli, 2009).

Para tal, técnicas de Cálculo Numérico, mais especificamente o procedimento de Ajuste Polinomial, foram usados durante a construção deste modelo. Inicialmente, serão dadas noções de Ajuste Cúbico e a partir dele é possível compreender os ajustes polinomiais de ordem superiores. Na presente pesquisa, tem-se que o polinômio que melhor se adequa às curvas é o de terceira ordem, ou seja, $v(t) = a + bt + ct^2 + dt^3$.

Em uma segunda parte, propõe-se o uso de polinômios intermediários àqueles demonstrados em primeiro momento. Estes polinômios secundários são obtidos através de algoritmos em MatLab que retornam valores de tensão intermediários com um desvio padrão menor que 5%. O objetivo destas equações medianas é mostrar as alterações na carga do sistema em resposta à previsão dada, ou seja, espera-se redução de equipamentos em funcionamento se há pouca energia disponível ou provável aumento de carga se há energia mais abundante.

2.1 Ajuste Polinomial Cúbico

Uma equação polinomial de terceiro grau pode ser descrita de acordo com a Eq. 1.

$$y(x) = a + bx + cx^2 + dx^3 \quad (1)$$

Atribuindo-se uma quantidade n de valores à variável x , pode-se montar uma tabela de pontos exatos encontrados através da equação cúbica. Como exemplo, a Fig. 1 ilustra o gráfico de descarregamento da bateria DF-1000 com uma corrente de 7,0 A. Os valores obtidos através desta figura são apresentados na Tab. 1.

Tabela 1 - Especificações dos valores mostrados na Fig. 1.

Tempo (minutos)	Tensão (V)
0	12,35
10	12,10
20	11,62
30	11,54
40	11,45
50	11,32
60	11,31
70	11,30
80	11,29
90	11,28
100	11,15
110	11,10
120	11,05
130	11,03
140	11,00
150	10,89
160	10,55
170	10,00
180	09,69
190	09,03

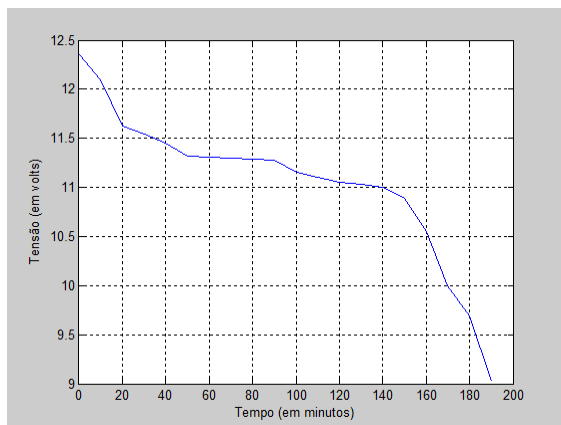


Figura 1 - Curva de descarga da bateria com corrente de 7,0 A.

De acordo com o Ajuste Polinomial Cúbico, a resposta do sistema linear da Eq. 2 representa a equação que melhor se ajusta à curva de descarga da bateria.

$$\begin{pmatrix} n & \sum x_i^1 & \sum x_i^2 & \sum x_i^3 \\ \sum x_i^1 & \sum x_i^2 & \sum x_i^3 & \sum x_i^4 \\ \sum x_i^2 & \sum x_i^3 & \sum x_i^4 & \sum x_i^5 \\ \sum x_i^3 & \sum x_i^4 & \sum x_i^5 & \sum x_i^6 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} a \\ b \\ c \\ d \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \sum y_i^1 \\ \sum y_i \cdot x_i^1 \\ \sum y_i \cdot x_i^2 \\ \sum y_i \cdot x_i^3 \end{pmatrix} \quad (2)$$

$$Y = 12,37 - 0,040 \cdot x + 0,00047 \cdot x^2 - 1,864 \cdot e^{-6 \cdot x^3} \quad (3)$$

Pode-se perceber que, através do Ajuste Cúbico, a melhor curva que se adequa ao gráfico da Fig. 1 é apresentada na Eq. 3, em que se é possível analisar teoricamente o comportamento da bateria estacionária durante o seu descarregamento. A cada grau a mais que se ajusta uma curva, menor o erro em relação aos valores encontrados através da função primária. Para cada grau acrescido, adiciona-se uma linha e uma coluna ao sistema linear mostrado na Eq.2.

2.2 Desvio Padrão Para Polinômio Intermediário

O desvio padrão é uma ferramenta estatística que indica a dispersão dos dados dentro de uma amostra, isto é, o quanto os dados em geral diferem da média. Quanto menor o desvio padrão, mais parecidos são os valores das funções analisadas (Ferrari, 2004). Este cálculo é feito através da Eq. 4.

$$s = \sqrt{\frac{\sum x_i^2 - \frac{1}{n}(\sum x_i)^2}{n-1}} \quad (4)$$

No presente estudo, o desvio padrão dos polinômios primários – obtidos através de reais medições em laboratório – e dos polinômios secundários – obtidos através de algoritmo em ambiente MatLab – foram deduzidos através da função std (*Standard Deviation*) do MatLab.

Em relação aos gráficos secundários de descarga, valores pequenos de desvio padrão comprovam que as aproximações feitas pelos algoritmos não trazem avarias à precisão que se deseja nas previsões de demanda. Neste caso, o desvio padrão relativo aos valores de tensão das curvas obtidas por meio dos polinômios intermediários é, em geral, menor que 3,23; indicando uma porcentagem de erro inferior a 3,5%, valor baixo e aceitável que representa uma dispersão pequena em relação aos valores originalmente medidos.

Para a obtenção dos polinômios intermediários, calcularam-se os valores médios de tensão de cada um dos polinômios originais, ponto a ponto, o que gerou um novo vetor de valores de tensão. Em seguida, para que os intervalos de tempo pudessem ser os mesmos tanto para os polinômios primários quanto para os secundários, considerou-se o menor vetor temporal e a escala de 10 minutos para cada valor de tensão. Com isso, obteve-se um novo vetor de tempo. De posse dos novos pontos de tensão e tempo, em ambiente MatLab e através da função cftool (*Curve Fitting Tool*), geraram-se os polinômios auxiliares.

3 Procedimentos e Resultados

O procedimento realizado, pode ser resumido nas seguintes etapas:

- Escolha da bateria estacionária DF-500 (Freedom);

- Montagem de estrutura para descarga da bateria para quatro valores de correntes pré-determinados: 2.5 A, 3.0 A, 4.0 A e 7.0A;
- Estimação das curvas de descarga por meio do ajuste polinomial;
- Previsão da curva de descarga da bateria para valores intermediários de correntes de descarga.

3.1 Processo de Descarga da Bateria

O processo de descarga da bateria foi realizado por meio da montagem de um circuito, mostrado na Figura 2, que permite o ajuste do valor da corrente de descarga desejado.

O circuito de descarga possui uma estrutura simples, sendo constituído da associação de lâmpadas automotivas (que requerem um alto valor de corrente) e resistores de vidro esmaltado (que requerem valores de corrente medianos). A este circuito, foram acoplados dois multímetros, para medição de tensão e corrente, completando assim a estrutura utilizada para o estudo.

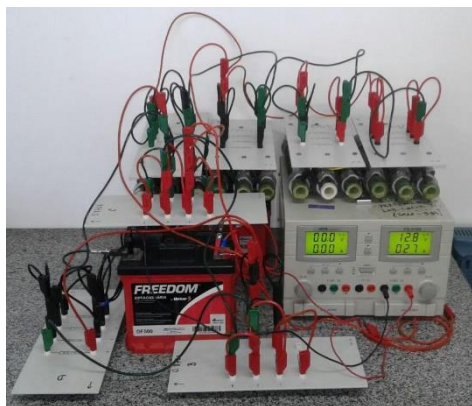


Figura 2 – Circuito montado para descarga da bateria estacionária.

Os valores de tensão e corrente foram anotados durante todo o processo de descarga, inicialmente para intervalos de 10 minutos, e a partir da queda acentuada da tensão, em intervalos de 5 minutos.

Nas Figuras 3, 4, 5 e 6 são mostradas as curvas de descarga da bateria para as correntes de 2.5 A, 3.0 A, 4.0 A e 7.0 A, respectivamente. Todos sobrepostos com os polinômios gerados pelos vetores de tempo versus tensão entregues pelo MatLab. Para cada curva de descarga é determinado um polinômio de ajuste de grau 3. As Eq. 5, 6, 7, 8 apresentam os polinômios originais que regem cada uma das curvas apresentadas, respectivamente. Estes polinômios expressam a tensão nos terminais da bateria em função do tempo, durante o processo de descarga.

Por fim, a Tabela 2 apresenta os valores de desvio padrão dos dados medidos em laboratório em relação aos polinômios dados pelo MatLab.

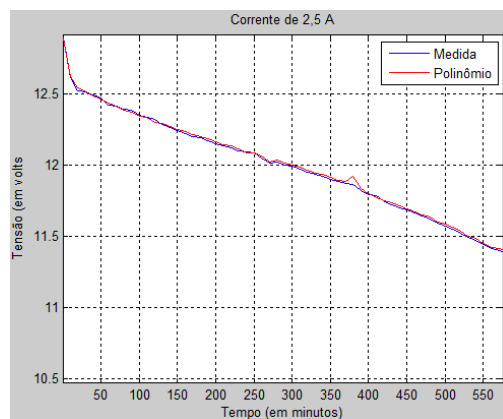


Figura 3 - Gráfico de descarga da bateria com corrente constante de 2,5A.

$$V(t) = 12,67 - 0,003861 \cdot t + 7,924 \cdot e^{-6} \cdot t^2 - 9,016 \cdot e^{-9} \cdot t^3 \quad (5)$$

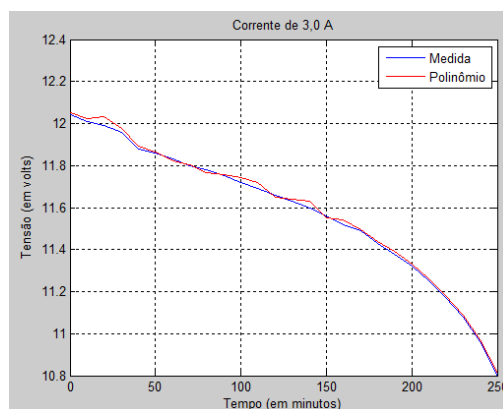


Figura 4 - Gráfico de descarga da bateria com corrente constante de 3,0 A.

$$V(t) = 12,07 - 0,0056 \cdot t + 3,487 \cdot e^{-5} \cdot t^2 - 1,273 \cdot e^{-7} \cdot t^3 \quad (6)$$

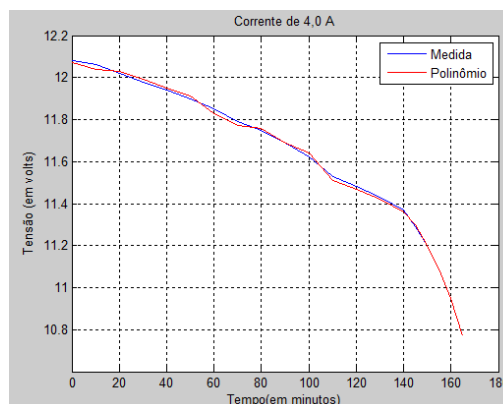


Figura 5 - Gráfico de descarga da bateria com corrente constante de 4,0 A.

$$V(t) = 12,12 - 0,00758 \cdot t + 7,536 \cdot e^{-5} \cdot t^2 - 4,558 \cdot e^{-7} \cdot t^3 \quad (7)$$

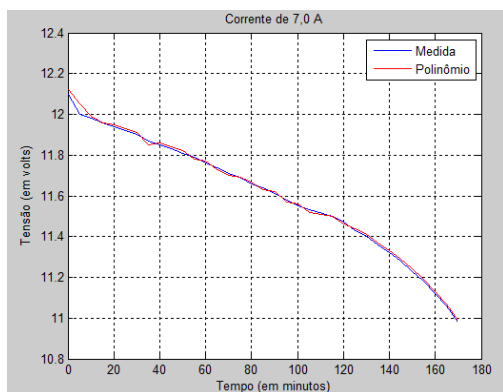


Figura 6 - Gráfico de descarga da bateria com corrente constante de 7,0 A.

$$V(t) = 12,07 - 0,00709 \cdot t + 4,572 \cdot e^{-5} \cdot t^2 - 2,403 \cdot e^{-7} \cdot t^3 \quad (8)$$

Tabela 2 - Especificações dos valores desvio padrão.

Curva de Descarga	Desvio Padrão
2,5 A	0.4182
3,0 A	0.3226
4,0 A	0.3723
7,0 A	0.2900

3.2 Estimação das Curvas de Descarga para Correntes Intermediárias

A partir dos polinômios de ajuste encontrados para as correntes de descarga é possível estimar as curvas de descarga da bateria para valores intermediários de correntes (para os quais não foram coletados dados de descarga), por meio da aplicação da metodologia proposta neste trabalho.

As curvas de descargas foram estimadas para os seguintes valores intermediários de correntes: 2.8 A, 3.5 A e 5.5 A.

Os resultados obtidos são mostrados nas Fig. 7, 8 e 9, por meio das quais pode-se identificar a curva de descarga estimada para valores intermediários de corrente. Estas curvas foram obtidas a partir de dois polinômios originais, ou seja, os polinômios obtidos a partir dos dados reais coletados.

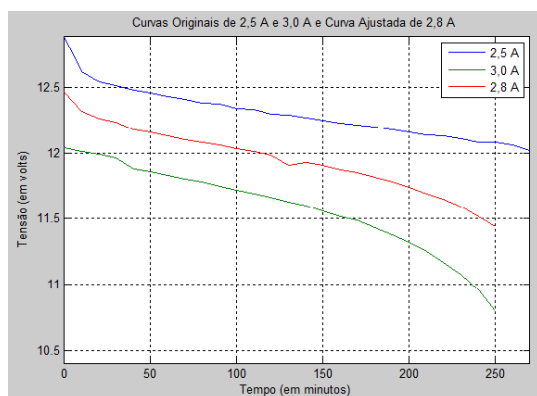


Figura 7 – Gráfico do polinômio ajustado 1.

$$V(t) = 12,41 - 0,006701 \cdot t + 3,831 \cdot e^{-5} \cdot t^2 - 1,08 \cdot e^{-7} \cdot t^3 \quad (9)$$

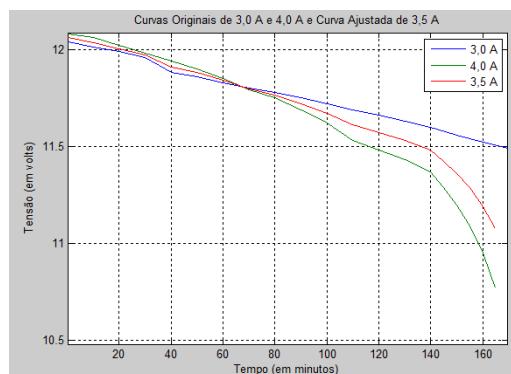


Figura 8 - Gráfico do polinômio ajustado 2.

$$V(t) = 12,09 - 0,0067 \cdot t + 6,082 \cdot e^{-5} \cdot t^2 - 3,346 \cdot e^{-7} \cdot t^3 \quad (10)$$

Por meio das Eq. 9, 10 e 11, apresentam-se os polinômios que representam as curvas de descarga da bateria para os respectivos valores de corrente de descarga.

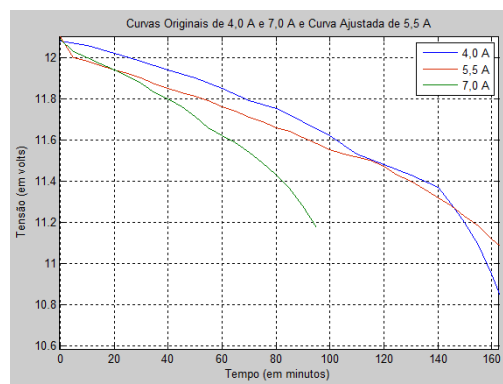


Figura 9 - Gráfico do polinômio ajustado 3.

$$V(t) = 12,08 - 0,00847 \cdot t + 6,142 \cdot e^{-5} \cdot t^2 - 7,459 \cdot e^{-7} \cdot t^3 \quad (11)$$

Observa-se que, para cada valor de corrente utilizado durante a descarga, obtêm-se um polinômio correspondente, que particulariza cada descarga de acordo com o valor da corrente.

As equações auxiliares apresentadas adiante reproduzem os efeitos de variações de corrente nestes sistemas, simulando o que acontece na realidade. Na verdade, ao longo do dia, a carga não é constante e, dessa forma, a performance exigida do banco de baterias também não. Prever essas alterações de demanda e, por conseguinte, o estado de carga da bateria é de grande utilidade, visto que, se o sistema é isolado, não haverá outra alternativa de geração de energia. Todas as curvas de descarga originais e todas as curvas ajustadas estão sobrepostas e apresentadas na Figura 10.

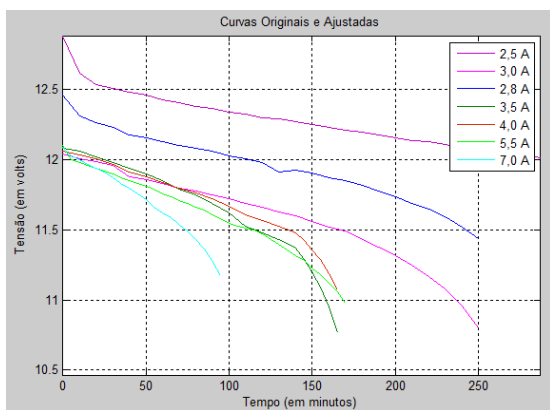


Figura 10 - Gráfico dos polinômios originais e ajustados.

Para as Eq. 9, 10 e 11 também se estimaram os valores do desvio padrão em detrimento aos dados obtidos através das funções originais apresentadas nas Fig. 3, 4, 5 e 6. Estes valores foram 0,2494; 0,2819; 0,2544. Percentualmente, os erros foram menores que 3,0%, o que evidencia a viabilidade da proposta.

4 Conclusão

Neste trabalho, foi proposto o ajuste polinomial de curva de descarga de baterias estacionárias com a finalidade de se estudar a previsão de demanda para sistemas fotovoltaicos isolados.

Dentro do esperado, os resultados mostraram-se satisfatórios. Existiram certas dificuldades, como, por exemplo, o nível de precisão dos equipamentos disponíveis na universidade e o fato da bateria não se recuperar tão bem espontaneamente de acordo com o esperado. A proposta de previsão de demanda apresentou uma gama de erros menores que 3,0% para cada polinômio intermediário, o que se considera admissível.

Com a evolução deste estudo, planeja-se embarcar o modelo matemático proposto em controlares que possam entregar automaticamente para o consumidor dados como o estado de carga da bateria, corrente, tempo restante de carga da bateria e possibilidade de acionamento – ou desligamento - de mais equipamentos ao sistema, o que melhoraria o desempenho de sistemas fotovoltaicos isolados.

A principal característica do projeto apresentado é a de previsão de descarga de uma bateria estacionária, além de acompanhar, de maneira real, os processos da mesma.

Agradecimentos

Os autores agradecem à Universidade Federal do Piauí por possibilitar a conclusão deste trabalho.

Referências Bibliográficas

Aramizu, J., 2010. Modelagem e Análise de Desempenho de um Sistema Fotovoltaico em

- Operação Isolada e em Paralelo com uma Rede de Distribuição de Energia Elétrica. Universidade de São Paulo – USP São Carlos.
- Asano, C.H., Colli, E., 2009. Cálculo Numérico - Fundamentos e Aplicações. Departamento de Matemática Aplicada - IME - USP.
- Benedito, S. R., 2009. Caracterização da Geração Distribuída de Eletricidade por Meio de Sistemas Fotovoltaicos Conectados a Rede, no Brasil, sob Aspectos Técnico, Econômico e Regulatório. São Paulo - USP.
- Catunda, S.Y.C., Lima, S.L.S., Saavedra, O.R., Santos, B.F., 2003. Sistema de previsão de atendimento de demanda para sistemas fotovoltaicos. Núcleo de Energias Alternativas, Departamento de Engenharia Elétrica -DEE, Universidade Federal do Maranhão - UFMA.
- Catunda, S.Y.C., Lima, S.L.S., Saavedra, O.R., Santos, B.F., 2003. Um modelo analítico de bateria para simulações em sistemas fotovoltaicos isolados. Núcleo de Energias Alternativas, Departamento de Engenharia Elétrica -DEE, Universidade Federal do Maranhão - UFMA.
- Catunda, S.Y.C., Lima, S.L.S., Saavedra, O.R., Santos, B.F., 2004. Sistema de Previsão de Atendimento de Demanda para Sistemas Fotovoltaicos II. In VI Induscon Industry Conference, 2004, Joinville.
- Carvalho, C.R.F., 2013. Sistema Fotovoltaico Isolado: Uma Aplicação Prática no Projeto Xapuri, Universidade Federal de Lavras, Lavras – MG.
- Coelho, K. D., 2001. Estudo de uma Ininterrupta Fonte de Corrente Contínua de Baixa Potência Gerenciada por Microcontrolador, UFSC, Florianópolis – SC.
- Conceição, L.B., Araújo, M.M.B., Ferreira, C.F., Carvalho, M.L.B., Lourenço, M.M., 1987. Cálculo Numérico - Com Aplicações, 2ª ed, Harbra Ltda, p 323-333.
- Damasceno, A. C. H., 2008. Controle Preditivo de Corrente Aplicado a um Controlador de Carga de Baterias Baseado em Conversor CC-CC Bidirecional. Universidade Federal de Juiz de Fora.
- Ferrari, F., 2004. Estatística Básica. Fundação Universidade Federal do Rio Grande.
- Fraga, J. R. C. P., 2009. Análise do comportamento da bateria utilizada em sistemas fotovoltaicos de pequeno porte. 137 f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Faculdade de Ciências Agronômicas da UNESP, Botucatu, São Paulo.
- Franco, A. P., 2013. Sistemas Fotovoltaicos: Contextualização e Perspectivas para sua Massificação no Brasil, Universidade Federal de Lavras, Lavras – MG.
- GTES, CEPEL - CRESESB. 2004. Grupo de Trabalho de Energia Solar. Edição Especial PCR - PRODEEM.
- OECD/IEA, 2003. IEA, Renewables for Power Generation- Status & Prospects.