



UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE ENGENHARIA ELÉTRICA E INFORMÁTICA
UNIDADE ACADÊMICA DE ENGENHARIA ELÉTRICA



TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

**ANÁLISE SOBRE SISTEMAS DE
GERENCIAMENTO DE BATERIAS**

KARINA CORDEIRO ANTAS

Campina grande-Paraíba
Março de 2012

KARINA CORDEIRO ANTAS

**ANÁLISE SOBRE SISTEMAS DE
GERENCIAMENTO DE BATERIAS**

*Trabalho de Conclusão de Curso
submetido à Unidade Acadêmica de
Engenharia Elétrica da Universidade
Federal de Campina Grande, sob
orientação do Professor Doutor Maurício
Beltrão de Rossiter Corrêa, como
requisito para obtenção do título de
Engenheira Eletricista com habilitação
em Eletrônica pela Universidade Federal
de Campina Grande.*

Orientador:
Professor Doutor Maurício Beltrão de Rossiter Corrêa

Campina grande-Paraíba
Março de 2012

KARINA CORDEIRO ANTAS

**ANÁLISE SOBRE SISTEMAS DE
GERENCIAMENTO DE BATERIAS**

Trabalho de Conclusão de Curso submetido à Unidade Acadêmica de Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Campina Grande, sob orientação do Professor Doutor Maurício Beltrão de Rossiter Corrêa, como requisito para obtenção do título de Engenheira Eletricista com habilitação em Eletrônica pela Universidade Federal de Campina Grande.

Karina Cordeiro Antas

Universidade Federal de Campina Grande
Aluna de Graduação

Professor Doutor Maurício Beltrão de Rossiter Corrêa

Universidade Federal de Campina Grande
Orientador

Professor Doutor José Gutemberg de Assis Lira

Universidade Federal de Campina Grande
Avaliador

*À minha família, por estar sempre
ao meu lado, me erguendo,
fortalecendo, amando.*

AGRADECIMENTOS

Agradeço intensamente aos meus pais Maria Lúcia Cordeiro Antas e João Batista Antas por todo amor, incentivo, educação, esforço, paciência e dedicação que depositaram em mim ao longo da vida. Às minhas irmãs, Kátia e Kelly pelo companheirismo, exemplo, força e carinho. Às minhas sobrinhas e irmão pela beleza e amor que trazem à minha vida. Ao meu namorado Francisco Osman pela atenção, cuidado, amizade e apoio. A toda minha família e amigos por trilhar comigo os passos dessa caminhada.

À Marcelo Lira, Victor Hugo e Carlos Vidal, pela orientação, suporte, motivação, disponibilidade e por todo conhecimento que me foi passado. A todos da Acumuladores Moura S.A. que também contribuíram para a conclusão deste trabalho.

A todos que compõem o curso de Engenharia Elétrica: Coordenação, Professores, Funcionários e Alunos, pelo imenso aprendizado, pelo apoio e dedicação dos seus profissionais, por toda paciência e atenção. Ao professor Maurício Beltrão pelo auxílio e atenção. Aos amigos que fiz no decorrer do curso e que me apoiaram por toda essa jornada.

A todos aqueles que de alguma forma contribuíram para a realização da minha graduação e conclusão deste trabalho. Muito obrigada a todos!

“Lembre-se que as pessoas podem tirar tudo de você, menos o seu conhecimento.

É o seu bem mais precioso. Explore, viaje, descubra...Conheça!’

(Albert Einstein)

RESUMO

Com a utilização cada vez mais diversificada e otimizada dos acumuladores de energia, o uso de um sistema que capaz de gerenciá-los vem se tornando indispensável.

Sendo assim, viu-se a oportunidade de aprofundar os conhecimentos sobre os acumuladores de energia, bem como os aparatos convenientes a sua boa utilização. Neste contexto, tratar-se-á no presente trabalho do tema acumuladores, suas aplicações e parâmetros característicos de modo geral; dos sistemas de gerenciamento de baterias, seu funcionamento, aplicações e métodos de determinação dos parâmetros da bateria; apresentação de dificuldades encontradas durante o desenvolvimento deste trabalho; análise de resultados experimentais, além de sugestões de implementação e breve trecho sobre as perspectivas de uso futuro.

Palavras - chave: Estado de Carga, Sistema de Gerenciamento de Baterias, BMS.

ABSTRACT

Energy accumulator devices have been used in a miryade of applications and their demand is growing further. Nowadays, with the increasing number of applications requiring high efficiency and increased lifetime make the use of management system indispensable.

That way, it was decided to start a deeper investigation in order to built some knowlewdge on those energy storage devices, as well as additional components needed to the right operation of those devices. This work deal with energy accumulators, its applications and general characteristics parameters; battery management systems, its basis, applications and methods for battery characterization. Analysys and practical results are discussed, as well as, an implementation architecture is suggested.

Palavras - chave: State of Charge, Battery Management System, BMS.

RESUMEN

Con el uso cada vez más diversificado y optimizado de los acumuladores de energía, el uso de un sistema capaz de gestionarlos se ha tornado indispensable.

Por lo tanto, se ha encontrado la oportunidad de obtener más conocimientos sobre los acumuladores de energía, así como los dispositivos convenientes para su buen uso. Siguiendo en esta misma línea de trabajo se profundizará sobre el tema de acumuladores, sus aplicaciones y los parámetros característicos de forma más general; de los sistemas de gestión de la batería, su funcionamiento, aplicaciones y métodos para la determinación de los parámetros de la batería; presentación de dificultades encontradas durante el desarrollo de este trabajo; análisis de los resultados experimentales y sugerencias para aplicación y un breve análisis sobre las perspectivas de uso futuro.

Palabras - clave: Estado de carga, Gestión de Baterías, BMS.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

<i>Figura 1: Baterias Tracionárias</i>	21
<i>Figura 2: Bateria Estacionária</i>	22
<i>Figura 3: Elemento de bateria ventilada.</i>	22
<i>Figura 4: Foto de banco de baterias ventiladas.</i>	22
<i>Figura 5: Baterias de Arranque</i>	24
<i>Figura 6: Bateria Náutica</i>	26
<i>Figura 7: Variação da Resistência Interna da Bateria com a Temperatura e o seu Estado de Carga.</i>	30
<i>Figura 8- Curva de Descarga para Determinação da Resistência Interna da Bateria.</i>	31
<i>Figura 9: Curva da força eletromotriz, valor médio das tensões de descarga e de carga.</i>	43
<i>Figura 10: Curva de Carga e Descarga de uma Bateria Estacionária</i>	48
<i>Figura 11: Estado de Carga relacionado com a Capacidade Nominal</i>	49
<i>Figura 12: Modelo de um BMS</i>	52
<i>Figura 13: Plataforma de montagem</i>	53
<i>Figura 14: Direcionamento paralelo do cabo da bateria</i>	53

LISTA DE TABELAS

<i>Tabela 1: Capacidade versus Temperatura - Descarga da capacidade das baterias causada pelo efeito da temperatura</i>	35
<i>Tabela 2: Tensão de Circuito Aberto x Tempo de Recarga</i>	36
<i>Tabela 3: Síntese da modelização de baterias de chumbo-ácido</i>	37
<i>Tabela 4: Cronologia - Principais Características do desenvolvimento de algoritmos para determinação do Soc e SoH</i>	39
<i>Tabela 5: Balanço dos métodos de determinação do SoC.</i>	46
<i>Tabela 6: Algumas características da Bateria Estacionária</i>	47
<i>Tabela 7: Características do teste de ciclagem da bateria</i>	48

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	14
2. OBJETIVO GERAL	15
3. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	15
4. METODOLOGIA	16
5. JUSTIFICATIVA	16
6. REFERENCIAL TEÓRICO	16
6.1. HISTÓRIA DA BATERIA	16
6.2. FUNDAMENTOS SOBRE BATERIAS	18
6.3. TIPOS E CLASSIFICAÇÕES DE BATERIAS	19
6.3.1. BATERIAS TRACIONÁRIAS	20
<i>APLICAÇÕES PARA BATERIAS TRACIONÁRIAS:</i>	21
6.3.2. BATERIAS ESTACIONÁRIAS	22
<i>UTILIZAÇÃO</i>	23
<i>CARACTERÍSTICAS CONSTRUTIVAS</i>	23
<i>APLICAÇÕES</i>	24
6.3.3. BATERIAS CHUMBO-ÁCIDAS DE ARRANQUE	24
<i>CARACTERÍSTICAS CONSTRUTIVAS</i>	25
Baterias Chumbo-Ácido Seladas	25
Baterias Reguladas Por Válvulas (VRLA)	25
6.3.3.1. BATERIAS CHUMBO-ÁCIDO SELADAS	25
6.3.3.2. BATERIAS REGULADAS POR VÁLVULAS (VLRA)	26
6.3.4. BATERIAS PARA APLICAÇÕES ESPECIAIS	26
6.3.5. BATERIAS NÍQUEL-CÁDMIO	27
6.3.6. BATERIAS NÍQUEL-HIDRETOS METÁLICOS (NiMH)	27
6.3.7. BATERIAS DE ÍONS DE LÍTIO	28
6.4. PARÂMETROS CARACTERÍSTICOS DE BATERIAS	29
6.4.1. TENSÃO DA BATERIA	29
6.4.2. CAPACIDADE ELÉTRICA	29
6.4.3. RESISTÊNCIA INTERNA DA BATERIA	29
6.4.4. CICLOS DE VIDA ÚTIL	31
6.4.5. TAXA DE AUTO-DESCARGA	31
6.4.6. RESERVA DE CAPACIDADE	32
6.4.7. PROFUNDIDADE DE DESCARGA	32
6.4.8. CORRENTE DE PARTIDA	32
6.4.9. SULFATAÇÃO	32
6.4.10. CICLAGENS E SOBRECARGA	33
6.5. PARÂMETROS QUE INFLUENCIAM A VIDA DA BATERIA	34
6.5.1. TEMPERATURA	34
6.5.2. MÉTODO DE CARGA	36

6.5.3.	PROTEÇÃO CONTRA DESCARGA PROFUNDA _____	36
6.6.	SÍNTESE DE MODELAGENS MATEMÁTICAS DE BATERIA CHUMBO-ÁCIDA _____	37
7.	SISTEMAS DE GERENCIAMENTO DE BATERIAS BMS _____	38
7.1.	DEFINIÇÃO DE UM SISTEMA DE GERENCIAMENTO DE BATERIAS _____	38
7.2.	MÉTODOS PARA DETERMINAR O ESTADO DE CARGA (<i>SoC</i>) E O ESTADO DE SAÚDE (<i>SoH</i>) DE BATERIAS _____	41
7.2.1.	MÉTODOS BASEADOS EM MEDIDAS DIRETAS _____	41
7.2.1.1.	MEDIDAS DE TENSÃO _____	42
7.2.1.2.	MÉTODO DA FORÇA ELETROMOTRIZ - FEM _____	42
7.2.2.	MÉTODOS INDIRETOS _____	43
7.2.2.1.	MÉTODO DA TABELA DE REFERÊNCIA _____	43
7.2.2.2.	MÉTODOS QUE UTILIZAM O HISTÓRICO DA BATERIA _____	43
7.2.3.	MÉTODOS ADAPTATIVOS _____	44
7.2.3.1.	FILTROS KALMAN _____	44
7.2.3.2.	REDES NEURAIS _____	45
7.2.3.3.	LÓGICA <i>FUZZY</i> _____	45
7.2.4.	SÍNTESE DOS MÉTODOS DE DETERMINAÇÃO DO <i>SoC</i> _____	46
7.2.5.	COMPARAÇÃO DE DESEMPENHO DOS MÉTODOS DE ESTIMAÇÃO DO <i>SoC</i> _____	46
7.3.	RESULTADOS E DISCUSSÕES _____	47
7.3.1.	ANÁLISE DIRETA _____	50
7.3.2.	ANÁLISE DIRETA COM FATOR DE CORREÇÃO _____	51
7.4.	PROPOSTA DE IMPLEMENTAÇÃO _____	52
7.5.	PERSPECTIVAS _____	53
8.	CONSIDERAÇÕES FINAIS _____	54
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS _____	55

1. INTRODUÇÃO

O consumo de energia nas últimas décadas têm tornado a sociedade cada vez mais dependente deste serviço. Tal necessidade pode ser notada na produção de bens e serviços, na automação dos processos industriais, nos desenvolvidos sistemas de telecomunicações, no armazenamento e processamento de dados necessários a qualquer organização, na produção e transformação das diferentes formas de energia de um modo geral. Sendo assim, a exigência com a qualidade também têm aumentado e pode-se observar que não são mais toleradas falhas no fornecimento de energia elétrica que alimentam os sistemas vitais das organizações. A energia deve ser de boa qualidade, estável e principalmente não sofrer interrupções durante o fornecimento, pois uma pequena falha já é capaz de causar graves prejuízos, com perdas econômicas, materiais e até humanas.

Objetivando atender a necessidade de sistemas de alimentação de energia, tornando-os confiáveis é que são utilizados bancos de baterias. Estes bancos são uma fonte de energia autônoma que têm a função de suprir o consumo durante falhas no fornecimento do sistema de energia elétrica principal. Observa-se ainda que as baterias são vantajosas se comparadas com outras tecnologias pois têm menor custo de implantação e manutenção.

A problemática da utilização de bancos de baterias está na necessidade de se avaliar periodicamente o seu estado de carga para a certificação de que as mesmas irão assumir a alimentação dos consumidores durante as faltas de energia.

Para verificação da capacidade dos bancos de baterias, estão sendo desenvolvidos novos métodos de avaliação cada vez mais rápidos, com instrumentos mais sofisticados, capazes de avaliar o estado de carga (*SoC*, da palavra inglesa *State-of-Charge*) dos bancos de baterias em segundos, sem recorrer a testes demorados. Estes novos métodos atendem a uma demanda crescente por confiabilidade e rapidez. Atualmente vários fabricantes já disponibilizam produtos comerciais para diferentes aplicações.

As formas mais simplificadas de se tentar determinar o *SoC* de uma bateria são através da medição da resistência interna (resistência ôhmica) ou pela medição da tensão em circuito aberto (TCA).

O estudo das possibilidades para avaliação do estado de carga de bancos de baterias é o objetivo do presente trabalho. Para este fim, este trabalho foi dividido em três partes:

- Levantamento teórico sobre os diversos tipos de baterias, suas aplicações e parâmetros característicos.
- Discussão sobre os métodos de determinação de SoC mais utilizados atualmente, precisão e dificuldades de implementação.
- Avaliação experimental de um sistema simplificado de gerenciamento de baterias, características do funcionamento da bateria.
- Proposta de implementação.

A estrutura do trabalho é composta de oito tópicos:

Os tópicos de 1(um) a 5(cinco) contém a justificativa do trabalho, metodologia e objetivos.

O tópico 6(seis) contém uma breve descrição no que concerne a baterias.

O sétimo tópico trata da tecnologia BMS, definições, métodos de determinação do estado de carga, resultados, proposta de trabalho futuro.

Finalmente o oitavo tópico apresenta as conclusões.

2.OBJETIVO GERAL

Analisar o princípio de funcionamento de sistemas de gerenciamento de baterias, avaliando os métodos de determinação de estado de carga, bem como os prós e contras da utilização da tecnologia.

3.OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- a) Realizar um levantamento bibliográfico acerca dos diversos tipos e do funcionamento de baterias;
- b) Fazer levantamento bibliográfico acerca da tecnologia de Sistemas de Gerenciamento de Baterias, seus métodos de determinação de Estado de Carga, benefícios e aplicações;
- c) Verificação experimental de um BMS simplificado;

d) Sugerir uma implementação simples para determinação do Estado de Carga.

4. METODOLOGIA

A pesquisa assume em geral as formas de pesquisas bibliográficas, estudo de caso e levantamento e coleta de dados, portanto classifica-se como exploratória e descritiva quanto aos seus objetivos (GIL, 1991).

5. JUSTIFICATIVA

O presente trabalho se justifica pela inserção iminente do sistema de gerenciamento de baterias, bem como pela evolução da tecnologia no tocante a fontes de energias renováveis. Dessa forma, este trabalho terá contribuição para o tema ao avaliar os métodos de determinação do estado de carga a ser utilizado por um BMS, bem como a importância da disponibilidade de várias informações sobre a bateria, em tempo real, através de uma interface direta com o usuário.

6. REFERENCIAL TEÓRICO

6.1. HISTÓRIA DA BATERIA

As origens da bateria remontam a 1800, quando o italiano Alessandro Volta criou a pilha não recarregável. Em 1859, o francês Gaston Planté aperfeiçoou o invento, que passou a ser recarregável, além de acumular energia. Sua utilização em automóveis surgiu décadas depois, em 1912, onde foi articulado junto aos sistemas elétrico e eletrônico dos automóveis e é responsável pela alimentação de seus componentes elétricos. As baterias são componentes eletroquímicos com a capacidade de converter energia química em energia elétrica. As baterias automotivas são classificadas como baterias secundárias de anodo ácido sulfídrico, as quais podem ser recarregadas diversas vezes ao contrário das primárias que só podem receber uma única carga inicial.

- ***Linha do tempo***

- * 1748 - Benjamin Franklin cunhou o termo "bateria" pela primeira vez, para descrever um arranjo de pratos de vidro.
- * 1780 a 1786 - Luigi Galvani demonstrou o que hoje conhecemos ser a base dos impulsos neuronais e lançou a pedra fundamental na pesquisa de inventores posteriores a ele, como Volta.
- * 1800 - Alessandro Volta inventou a pilha e descobriu o primeiro método prático de geração de energia elétrica. Construída de discos alternados de zinco e cobre com peças de cartões embebidos em salmoura entre os metais, a pilha de Volta produzia corrente elétrica. O arco condutor metálico era usado para carregar a eletricidade para distâncias maiores. A pilha de Alessandro Volta foi a primeira célula de bateria "úmida" que produziu uma corrente estável e confiável.
- * 1836 - Inglês, John F. Daniel inventou a célula de Daniel que usava dois eletrólitos: Sulfato de cobre e Sulfato de zinco. A célula de Daniel era um pouco mais segura e menos corrosiva que a célula de Volta.
- * 1839 - William Robert Grove desenvolveu a primeira célula combustível, que produzia eletricidade combinando hidrogênio e oxigênio.
- * 1839 to 1842 - Inventores criaram melhoramentos para as baterias que usavam eletrodos líquidos para produzir eletricidade. Bunsen (1842) e Grove (1839) inventaram as de maior sucesso.
- * 1859 - Inventor francês, Gaston Planté desenvolveu a primeira bateria de ácido que podia ser recarregada. Este tipo de baterias é usado em carros e outras aplicações hoje em dia.
- * 1866 - Engenheiro francês, Georges Leclanche patenteou a bateria de zinco-carbono, batizada de célula de Leclanche. A célula original de George Leclanche foi construída em um pote poroso. O eletrodo positivo consistia de dióxido de manganês esmagado com um pouco de carbono misturado. O eletrodo negativo consistia de uma vareta de zinco. O catodo era colocado dentro do pote e uma vara de carbono era inserida para atuar como um coletor de corrente. O anodo de zinco e o pote eram imersos em uma solução de cloreto de amônia. O líquido agia como o eletrólito, infiltrando-se nos poros e fazendo contato com o material do catodo.
- * 1868 – Em equipamentos de telégrafos, 20.000 células de Georges Leclanche já eram usadas.

- * 1881 - J.A. Thiebaut patenteou a primeira bateria com ambos o eletrodo negativo e o pote poroso colocados em um copo de zinco.
- * 1881 - Carl Gassner inventou a primeira bateria "seca" de sucesso comercial. (célula de zinco-carbono).
- * 1899 - Waldmar Jungner inventou a primeira bateria recarregável de níquel cádmio.
- * 1901 - Thomas Alva Edison inventou as baterias alcalinas.
- * 1949 - Lew Urry inventou as pequenas pilhas alcalinas.
- * 1954 - Gerald Pearson, Calvin Fuller and Daryl Chapin inventaram a primeira bateria solar.

Mundialmente, muitas pesquisas foram desenvolvidas, procurando ao mesmo tempo ultrapassar as dificuldades decorrentes das mudanças na aplicação e utilização das baterias, bem como torná-las livre de manutenção, esta última, uma característica, sempre solicitada pelo mercado, desde os primórdios da utilização de baterias em veículos automotores.

6.2. FUNDAMENTOS SOBRE BATERIAS

A bateria é um interessante dispositivo eletroquímico que armazena energia elétrica em forma de energia química, convertendo-a novamente em energia elétrica quando conectada a um circuito elétrico externo. Suas três principais e mais básicas características são as químicas, as físicas e as suas aplicações.

A característica química envolve a natureza e as propriedades dos materiais utilizados em sua construção, bem como as reações que ocorrem durante o processo de carga e descarga da mesma. As características físicas envolvem o estudo dos requisitos elétricos da bateria, que determinam, por exemplo, a sua capacidade elétrica nominal e as transformações de energia química em energia elétrica. As aplicações são diversas e atualmente indicam ser uma forma alternativa de energias convencionais, como a gerada por hidrelétricas.

Uma bateria é formada por associações em série ou paralelo de células unitárias, desta forma podendo alcançar os valores de tensões e correntes elétricas desejados. A bateria permite acumular energia, conservá-la e restituí-la em um tempo posterior, representando assim uma fonte autônoma de energia.

São duas categorias de baterias, as principais: Baterias primárias e as Baterias secundárias.

- *Baterias primárias*

Esse tipo de bateria não pode ser recarregada. A energia produzida a partir de uma reação eletroquímica é geralmente irreversível, tornando-a inutilizada. As combinações mais utilizadas nas baterias primárias são: alcalina, carbono-zinco ou cloro-zinco, lítio, óxido de prata, zinco-ar ou mercúrio.

- *Baterias secundárias*

Podem ser recarregadas por uma fonte de alimentação externa, podendo passar pelo processo de carga e descarga inúmeras vezes. As baterias chumbo-ácido representam, em média, 55% das baterias vendidas em todo o mundo e possuem a vantagem de serem facilmente recicladas praticamente na sua totalidade.

São vários os tipos de acumuladores constituídos por diferentes materiais que lhes conferem, por consequência, características distintas. É por essa razão importante conhecer as características dos diferentes tipos de baterias utilizados para que se possa fazer uma escolha adequada às exigências do sistema em que se pretendem aplicar.

Logo abaixo são apresentadas as características dos principais tipos de baterias de acumuladores utilizados actualmente.

6.3. TIPOS E CLASSIFICAÇÕES DE BATERIAS

Há várias formas de classificar os tipos existentes de baterias. Algumas das formas de classifica-las segue nos itens abaixo.

a) De acordo com os materiais ativos usados na sua construção:

- Acumulador de Chumbo-Ácido;
- Acumulador Alcalino.

b) De acordo com sua utilização:

- Acumuladores Tracionários;

- Acumuladores Estacionários;
- Acumuladores de Arranque;
- Acumuladores para Aplicações Especiais (por exemplo, aplicações em sistemas fotovoltaicos, sistemas de armazenamento de energia, etc.).

c) De acordo com suas características internas:

- Acumuladores de Resistência Interna Normal;
- Acumuladores de Resistência Interna Baixa;
- Acumuladores de Resistência Interna Muito Baixa.

Nos tópicos a seguir, serão brevemente detalhadas as baterias de acordo com sua utilização.

6.3.1. BATERIAS TRACIONÁRIAS

As baterias tracionárias têm regimes de funcionamento mais severos, necessitando de potência, energia e alto índice de ciclagem, principalmente quando operam em regimes de descarga profunda. São utilizadas em empilhadeiras elétricas, paleteiras elétricas, equipamentos de movimentação em aeroportos, trens e metrô e veículos elétricos em geral. (PALMER, 2008)

Algumas vantagens desse tipo de bateria são: a utilização de combustível limpo, por não promover a emissão de gases ou resíduos no ambiente e utilizar fonte de energia renovável. Algumas limitações que podem ser citadas sobre as baterias tracionárias residem no fato de requerem mão de obra especializada para uma manutenção adequada (conforme as instruções dos fabricantes); deve haver um monitoramento e controle do ciclo de carga, descanso e descarga das baterias.

Para obter maior proveito e rendimento dessas baterias, é indicado manter rigoroso controle das temperaturas de operação e recarga; evitar a sub e sobrecarga da bateria, efetuar a manutenção preventiva e corretiva nas baterias; nos carregadores e nas empilhadeiras; verificar periodicamente a temperatura do eletrólito, evitando o aquecimento excessivo da bateria; evite chamas ou faíscas nas proximidades das baterias, pois as mesmas liberam gases que podem acarretar uma explosão; jamais

permita que a bateria sofra descargas profundas, acima de 80% da sua capacidade, pois este fato acarretará danos permanentes e irreversíveis à mesma.

Na Figura 1 são ilustrados dois tipos de baterias tracionárias.



Industrial HPD



Monobloco

Figura 1: Baterias Tracionárias

• **APLICAÇÕES PARA BATERIAS TRACIONÁRIAS:**

- Empilhadeiras elétricas
- Paleteiras elétricas
- Mineração
- Equipamentos de movimentação em aeroportos
- Veículos elétricos em geral
- Trens e metrô
- Carros elétricos
- Carros elétricos de Golf (Golf Car)
- Centrais Telefônicas
- Estação Rádio Base
- Gabinete Outdoor
- Gabinetes de rua
- Hospitais
- Lavadoras e varredoras de piso industrial
- Locomotivas
- Plataforma de abastecimento industrial
- Rebocadores
- Redes de acesso remoto
- Redes de fibra ótica
- Redes GSM
- Redes Wireless
- Repetidoras de Micro-ondas
- Shelters/ URA's
- Sinalização
- Sistema de armazenamento de energia
- No-Breaks/ UPS
- Alarmes e vigilância eletrônica
- Iluminação de emergência
- Sistemas Solar/ Eólico
- Subestações de Energia
- Telecomunicações

6.3.2. BATERIAS ESTACIONÁRIAS

Essa linha de baterias foi especialmente projetada para ser utilizada como fonte de reserva de energia e potência, a serem empregadas em centrais telefônicas, centros de computação e servidores de internet, centrais elétricas, hospitais, etc., sendo utilizada basicamente na ausência não prevista de energia, em casos de falhas das fontes principais de energia.

A maior desvantagem está na necessidade de se completar o nível de solução com água em intervalos de tempo regulares. Devido à emissão de gases perigosos (mesmo em baixo teor) as baterias devem ser instaladas em salas exclusivas, com sistemas especiais de controle do ar ambiente e instalação elétrica da iluminação à prova de explosão. As baterias estacionárias ventiladas possuem expectativa de vida útil de aproximadamente 15 anos, sendo armazenada a uma temperatura de 25°C. Se a temperatura passa a uma temperatura ambiente de 30°C, essa expectativa cai para 12 anos. Considera-se o fim da vida útil quando a capacidade da bateria atinge 80% da capacidade nominal (capacidade declarada pelo fabricante). Na Figura 2 tem-se uma bateria estacionária, na figura 3 é apresentado um elemento de bateria do tipo ventilada e na Figura 4 é apresentado um banco de baterias do tipo ventilada.



Figura 2: Bateria Estacionária



Figura 3: Elemento de bateria ventilada.



Figura 4: Foto de banco de baterias ventiladas.

- **UTILIZAÇÃO**

Aplicações típicas são os sistemas auxiliares de subestações, os sistemas de energia alternativa, os sistemas de emergência e etc.

No uso da bateria em sistemas fotovoltaicos, onde a quantidade de energia elétrica produzida pelos módulos varia significativamente com o nível de insolação. No início da manhã, no final da tarde ou em dias nublados os níveis de energia elétrica gerados são baixos, durante a noite não há nenhuma geração, em dias claros, próximo ao meio dia, a geração está no máximo. Em sistemas isolados necessita-se que a energia elétrica esteja disponível durante as 24 horas do dia (e principalmente à noite para iluminação) e durante os 365 dias do ano, mesmo naqueles meses críticos, com muita nebulosidade.

A função da bateria utilizada em sistemas fotovoltaicos e de armazenamento em geral é acumular a energia gerada, estabilizar a tensão do sistema e servir como uma reserva de potência pronta para o uso. As baterias mais utilizadas em sistemas fotovoltaicos são as estacionárias de chumbo-ácido seladas que são usualmente mais caras que as automotivas, mas que duram um tempo maior (podem operar com ciclos diários de carga e descarga mais profundos), o que pode ser importante para locais isolados e com pouca infraestrutura para troca das mesmas. As baterias reguladas à válvula são menos indicadas em condições de trabalho com temperatura ambiente elevada.

Quanto maior é a capacidade da bateria, maior é a autonomia de funcionamento do sistema na ausência de radiação solar e maior é sua vida útil. A capacidade determina o número de dias que o sistema pode fornecer energia sem a presença do sol.

- **CARACTERÍSTICAS CONSTRUTIVAS**

- Baterias de ciclo profundo, podem perder até 80% de sua carga total sem se danificarem;
- Possuem placas internas espessas (6 a 9,2mm). Essa maior espessura inibe os efeitos negativos das descargas profundas sem que haja fadiga do material ativo;
- Alta capacidade Ah;
- Tensão usual: 1,2V/elemento;

- Construídas com matérias mais nobres de forma a proporcionar-las maior vida útil e confiabilidade.

- **APLICAÇÕES**

- Telecomunicações e IP
- Geração, transmissão e distribuição de energia elétrica
- Nobreaks ou UPS.
- Sistemas de proteção de back-up
- Energia solar
- Energia eólica

6.3.3. BATERIAS CHUMBO-ÁCIDAS DE ARRANQUE

São usadas para dar partida em motores à combustão interna e para fornecer energia ao sistema elétrico do carro quando este não está sendo alimentado pelo alternador. Estas baterias são dimensionadas para fornecer uma potência elevada na partida em períodos de tempo da ordem de 10 a 30 segundos (principal função), onde geralmente é necessária uma corrente de 100 a 400A e, em regime permanente de funcionamento, fornece uma corrente constante sem liberar muita energia, pois seu uso prolongado é usado para abastecer o sistema elétrico do carro.

Bateria Automotiva para Carros de Passeio



Bateria Automotiva para Caminhões



Figura 5: Baterias de Arranque

- **CARACTERÍSTICAS CONSTRUTIVAS**

- Projetadas para não descarregarem mais que 60% de sua capacidade total. Uma descarga completa pode danificar rapidamente este tipo de bateria;
- Construídas com grande quantidade de placas de pequena espessura (± 1 mm) de forma a se conseguir uma grande superfície de contato. O projeto com placas finas e a ação da sobrecarga causam corrosão e aumento das placas positivas o que, associado a eventuais quedas de temperatura causam a “morte súbita” da bateria.

De forma generalista, as baterias chumbo-ácidas de arranque devem ser carregadas com correntes baixas, o que leva a um tempo de carga elevado. Durante o processo de carga deve ser evitada a ocorrência de sobrecarga ou interrupções, uma vez que as baterias chumbo-ácido são sensíveis a estes fenômenos. Este tipo de baterias nunca deve ser descarregado totalmente, devido ao fato de que uma descarga total pode impossibilitar uma nova recarga da bateria ou, no mínimo, diminuir a capacidade de carga. As baterias chumbo-ácidas são ainda sensíveis a variações de temperatura, onde as altas temperaturas podem prejudicar o desempenho da bateria, aumentar a sua capacidade e ainda diminuir o tempo de vida útil. As baixas temperaturas podem diminuir a capacidade final, por não proporcionar o calor necessário para a reação eletroquímica na formação.

Existem duas grandes famílias de baterias chumbo-ácido:

- Baterias Chumbo-Ácido Seladas
- Baterias Reguladas Por Válvulas (VRLA)

6.3.3.1. BATERIAS CHUMBO-ÁCIDO SELADAS

As baterias seladas possuem o eletrólito em estado líquido, em solução aquosa. Há dois tipos: com e sem rolhas para manutenção. A bateria que possui rolhas necessitará de manutenção, que consiste em repor periodicamente a água, para que o nível e a densidade da solução se mantenham. Isto é mais recorrente se a bateria trabalha em condições de sobrecarga, onde há mais calor e há um maior consumo de água, ocorrendo a eletrólise da água que faz com que o oxigênio e o hidrogênio sejam

libertados no estado gasoso. A bateria que não possui rolhas não precisa a reposição, estando livre de qualquer manutenção. Esse tipo de bateria é o mais comum atualmente.

6.3.3.2. BATERIAS REGULADAS POR VÁLVULAS (VLRA)

Este tipo de baterias é selado e possui válvulas que permitem a saída de gases quando a pressão no interior da bateria atinge níveis mais altos.

De uma maneira geral as baterias VLRA apresentam a vantagem de permitirem a recombinação dos gases, reduzindo o consumo de água, o que faz com que não necessitem de manutenção.

Dentro deste tipo de baterias distinguem-se ainda duas tecnologias diferentes:

- Baterias com separador de microfibras de vidro, popularmente conhecidas por baterias AGM. Este separador absorve o eletrólito, o que evita vazamentos e aumenta a vida útil da bateria.
- Baterias de gel em que o ácido se encontra misturado com sílica, conferindo ao eletrólito a consistência gelatinosa, o que dificulta a mobilidade do eletrólito e também o consumo de água.

6.3.4. BATERIAS PARA APLICAÇÕES ESPECIAIS

São vários os tipos de baterias para aplicações especiais, variando de acordo com a potência requerida, local de uso, condições de carga e descarga, etc.

As aplicações mais comuns são em sistemas fotovoltaicos, uso náutico (Figura 6), sistemas de reserva de energia (*nobreaks*), iluminação de emergência, sinalização e balizamento, equipamentos médico hospitalares, energia eólica, etc.



Figura 6: Bateria Náutica

6.3.5. BATERIAS NÍQUEL-CÁDMIO

As baterias de Níquel-Cádmio são constituídas basicamente por um pólo positivo e um pólo negativo, que se encontram no mesmo recipiente, com o pólo positivo (ou cátodo) coberto de Hidróxido de níquel, e o pólo negativo (ou ânodo) coberto de material sensível ao cádmio. Ambos são isolados por um separador. Os pólos estão imersos em uma substância eletrolítica, que conduz íons, geralmente uma solução de Hidróxido de potássio (KOH). As reações de oxidação-redução dão-se apenas entre os eletrodos, o que anula a ocorrência de sulfatação. As baterias constituídas por acumuladores Ni-Cd têm um preço inicial mais elevado do que as chumbo-ácidas, mas são mais resistentes a variações de temperatura e a condições de sobrecarga. Possuem ainda a vantagem de possibilitarem a sua carga com correntes elevadas, o que conduz a um menor tempo de carga. Para além do seu preço inicial elevado a principal desvantagem das baterias Ni-Cd reside na existência de efeito de memória que obriga a descarregar totalmente a bateria para que não se dê lugar à sua viciação (fenómeno que diminui a tensão fornecida pela bateria). Normalmente são baterias seladas. [13]

6.3.6. BATERIAS NÍQUEL-HIDRETOS METÁLICOS (NiMH)

As baterias de Hidreto Metálico de Níquel – têm uma constituição e características semelhantes às da bateria de níquel-cádmio. Fundamentalmente a diferença consiste no uso de hidrogênio absorvido em uma liga, na forma de hidreto metálico, como material ativo no eletrodo negativo, ao invés de cádmio utilizado nas baterias de níquel cádmio. O eletrodo de hidreto metálico apresenta uma maior densidade de energia que um eletrodo de cádmio, portanto a massa de material ativo para o eletrodo negativo usado em uma bateria de níquel-hidreto metálico pode ser menor que a usada em baterias de níquel cádmio. Isto também permite que se possa utilizar uma maior quantidade de material ativo para o eletrodo positivo, o que resulta em uma maior capacidade ou tempo de descarga para esta bateria. Essa alteração dos materiais que constituem o cátodo serve para anular o indesejável efeito de memória que existe nas baterias Ni-Cd. [13]

6.3.7. BATERIAS DE ÍONS DE LÍTIO

Um acumulador de íons de lítio é constituído basicamente por um cátodo de lítio, um ânodo de carbono poroso e um eletrólito composto por sais de lítio num solvente orgânico (solução não aquosa).

Estas baterias são leves e tem um tempo de vida útil elevado. Podem ser carregadas com correntes altas e suportam uma vasta amplitude de temperaturas de funcionamento.

Armazenam o dobro de energia que uma bateria de hidreto metálico de níquel (ou NiMh) e três vezes mais que uma bateria de níquel cádmio (ou NiCd). Outra diferença da bateria de íons de lítio é a ausência do efeito memória (não vicia), ou seja, não é preciso carregar a bateria até o total da capacidade e descarregar até o total mínimo, ao contrário da bateria de NiCd. [13]

Algumas vantagens são notadas em relação ao uso das baterias de Íons de Lítio:

- *Densidade da energia elevada:* potencial para capacidades mais elevadas.
- *Carregamento:* não é necessário o carregamento total máximo nem a descarga máxima da bateria antes de uma recarga.
- *Capacidade:* a bateria de íons de lítio tem o dobro da capacidade das baterias de níquel.
- *Efeito memória:* não existe o efeito memória, ou seja, a bateria não "vicia".
- *Carga muito maior.*
- *Pronta para usar:* ao contrário de outros tipos de baterias recarregáveis, não é preciso passar horas carregando antes de usar pela primeira vez.
- *Menor peso:* a baixa densidade do lítio possibilita a criação de baterias com alta capacidade e bem mais leves, o que facilita o seu uso em equipamentos portáteis.

As principais desvantagens deste tipo de baterias residem na sua baixa eficiência e no preço elevado.

- **APLICAÇÕES**

As baterias de lítio são aplicadas em diversas aplicações que exijam uma larga vida útil, em dispositivos críticos, tais como marca-passos e outros dispositivos médicos

implantáveis . Esses dispositivos utilizam baterias íon-lítio concebidas para durar 15 anos ou mais. As baterias de lítio podem ser usados em lugar de células alcalinas comuns em dispositivos como relógios e câmeras. Embora sejam mais caras, as células de lítio fornecem vida muito mais longa, minimizando assim a substituição da bateria.

6.4. PARÂMETROS CARACTERÍSTICOS DE BATERIAS

Para o dimensionamento de um sistema utilizando acumuladores, é necessário o conhecimento das suas características para poder-se selecionar o tipo de bateria adequado às condições de funcionamento do sistema. Em seguida, são apresentadas brevemente as principais características dos acumuladores.

6.4.1. TENSÃO DA BATERIA

Tensão ou Diferença de Potencial (d.d.p.) é a unidade de trabalho realizada por uma carga elétrica de 1(um) Coulomb ao se deslocar em um campo elétrico uniforme. Para uma bateria, vale o mesmo raciocínio e a diferença de potencial se dá entre os dois polos quando o circuito é fechado.

6.4.2. CAPACIDADE ELÉTRICA

A capacidade de uma bateria é normalmente expressa em Ampère por hora (Ah) e representa o valor teórico de corrente que a bateria é capaz de fornecer durante uma hora de funcionamento a uma temperatura de 25°C. Sendo assim, a capacidade é a quantidade de energia que pode ser armazenada na bateria. Para baterias automotivas, é utilizado um tempo de 20 horas para determinação dessa característica, por isso normalmente expressamos a capacidade de uma bateria da seguinte forma: XX Ah (onde XX é a capacidade) em 20 horas ou simplesmente C_{20} .

6.4.3. RESISTÊNCIA INTERNA DA BATERIA

Toda fonte de energia elétrica real possui uma resistência interna que provoca normalmente uma pequena queda de tensão não permitindo que estes tipos de sistemas sejam considerados ideais, ou seja, forneçam a uma determinada carga a tensão total

que elas podem gerar. Toda bateria possui uma resistência interna, na ordem de miliohms, portanto muito baixa, que provoca uma queda de tensão na bateria quando a mesma fornece uma corrente muito alta, como na partida de um veículo.

Portanto, a queda de tensão que ocorre imediatamente após a bateria iniciar uma descarga é função da sua resistência interna (R_i) e da corrente de descarga.

A principal fonte de resistência elétrica da bateria é o seu eletrólito. Outra fonte são os separadores de polietileno utilizados para evitar o contato físico entre as placas positivas e negativas. Finalmente, temos a resistência elétrica das próprias grades das placas e dos materiais ativos das placas positivas e negativas.

A resistência interna da bateria é função do seu estado de carga e da temperatura. Quanto maior a profundidade de descarga, maior a resistência interna da bateria. Quanto menor a temperatura, maior a resistência interna da bateria. Isto pode ser observado na Figura 7.

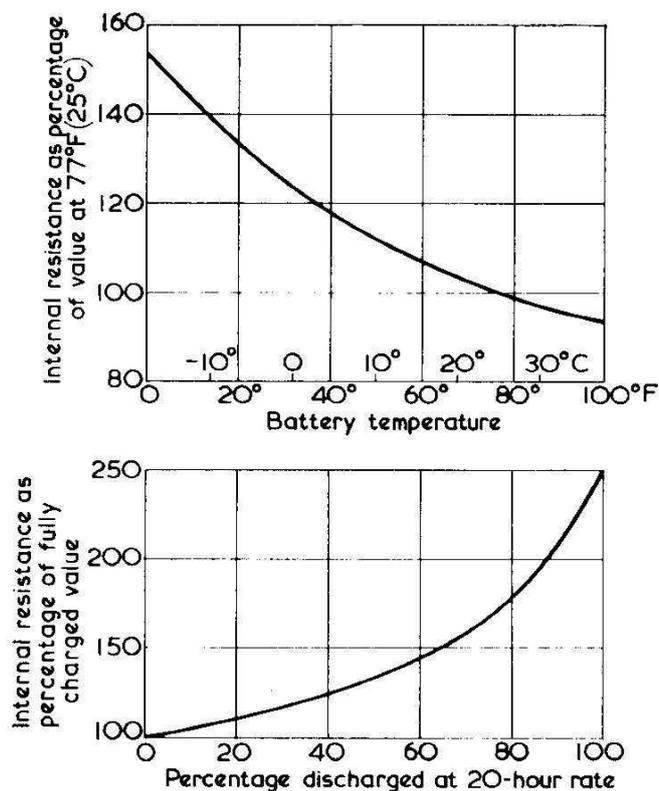


Figura 7: Variação da Resistência Interna da Bateria com a Temperatura e o seu Estado de Carga.

O gráfico da Figura 7 mostra uma reta ao plotar a tensão inicial da bateria automotiva para várias correntes de descarga. Para uma bateria com $V=12V$ e $C_p=40Ah$, temos que a inclinação desta reta nos dá a resistência interna da bateria:

$$\frac{12V}{40 Ah} = 0,012 \Omega$$

Como a resistência interna é muito baixa, as correntes de curto-circuito são altíssimas e podem ser produzidas, por exemplo, ao se encostar um objeto de metal entre os dois polos de uma bateria carregada. Por exemplo, para esta mesma bateria a corrente de curto-circuito pode ser maior que 800A.

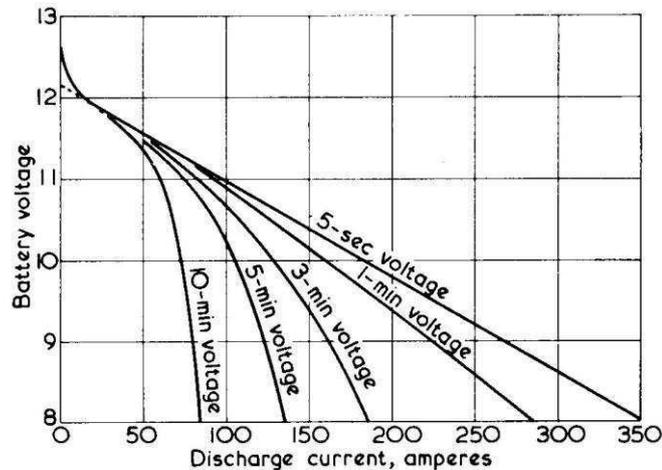


Figura 8– Curva de Descarga para Determinação da Resistência Interna da Bateria.

6.4.4. CICLOS DE VIDA ÚTIL

Representa o número de vezes que uma bateria pode ser carregada e descarregada até que a sua capacidade de carga não consiga ir além de 80% da capacidade de carga nominal.

6.4.5. TAXA DE AUTO-DESCARGA

Quantidade de carga perdida pela bateria mesmo quando esta não estiver em funcionamento ou em circuito aberto, isto é, perda de tensão e capacidade devido às propriedades eletroquímicas da própria bateria.

6.4.6. RESERVA DE CAPACIDADE

Reserva de capacidade é o tempo (em minutos) em que uma bateria leva até atingir uma tensão final de 10,5V a 27°C, submetida a uma descarga constante de 25A. Não confundir com capacidade da bateria.

6.4.7. PROFUNDIDADE DE DESCARGA

Este parâmetro é normalmente denominado de *DoD (Depth of Discharge)* e refere-se à quantidade de carga retirada da bateria num ciclo típico de funcionamento, expressa em porcentagem da capacidade nominal desta.

6.4.8. CORRENTE DE PARTIDA

Corrente que uma bateria de arranque plenamente carregada, pode fornecer durante um período de tempo curto (geralmente 30s), até uma tensão final específica. A norma mais utilizada estabelece a temperatura de -18°C para a determinação desta corrente. Uma atenção especial deve ser dada a este item. Não são todas as fábricas de baterias que utilizam esta norma, portanto as correntes de partida podem variar, segundo o método escolhido.

6.4.9. SULFATAÇÃO

Termo que é usado quando ocorre um fenômeno onde as baterias que ficam um longo período descarregadas. Este fenômeno pode tornar a operação de descarga irreversível, dependendo do tempo que a bateria permaneceu descarregada e da temperatura que ficou exposta.

Vale ressaltar que no caso das baterias chumbo-ácido este parâmetro influencia fortemente o número de ciclos de vida útil da bateria, onde quanto maior for a profundidade de descarga menor é o número de ciclos de vida útil. Para este tipo de baterias existe um valor máximo para a profundidade de descarga admissível (30% em média) que se for ultrapassado pode impossibilitar a recarga da bateria, devido a sua baixa aceitação de carga.

6.4.10. CICLAGENS E SOBRECARGA

A bateria, por sua natureza e uso, é carregada e descarregada continuamente. No inverno, a demanda de energia aumenta e a bateria tende a ficar descarregada por mais tempo. No verão, ocorre o oposto e a bateria tende a sofrer sobrecarga de tensão. Pela dificuldade de simular essas variações em bancada, se testa a resistência da bateria em 2 tipos de ensaios específicos: Ciclagens e Resistência a Sobrecarga.

No ensaio de ciclagem, a bateria sofre pequenos ciclos de descarga profunda seguidas de recargas intensas. Antes e depois desses pequenos ciclos a amostra passa por ensaios elétricos de partida e/ou capacidade para avaliar as perdas causadas pela ciclagem.

A Norma Americana SAE J240, uma das mais rigorosas e que promove uma maior similaridade com o que acontece em campo, especifica que a bateria em banho-maria a uma temperatura de 75°C sofre partida com a mesma corrente de partida à frio à -18°C durante 428 pequenos ciclos (descarga de 25 A por 4 min./ carga de 25 A por 10 min / Repouso de 72h). Os 428 ciclos se repetem até que a bateria seja reprovada na partida. Por exemplo: uma bateria de 40 Ah deve resistir a uma média de 3000 ciclos de carga e descarga conforme a norma SAE J240.

A ciclagem visa determinar a qualidade do material ativo das placas positivas e negativas, bem como a tecnologia de fabricação de grades que sustentam tais materiais.

As baterias que são reprovadas neste tipo de ensaio geralmente falham por queda da massa negativa, sulfatação das positivas ou ainda corrosão da grade positiva, que é o principal problema e falha inevitável da bateria.

A bateria sofre carga a altas temperaturas tentando reproduzir o efeito de carga prolongadas a que algumas baterias são submetidas durante o uso do veículo. Segundo as normas ABNT, após um ensaio de partida à 27°C, a bateria é colocada em banho de 40°C durante 5 dias com carga de 16 V. Ao acabar este período, a bateria sofre novo ciclo no banho. Deve resistir a 5 ciclos de sobrecarga para aprovação. O modo de falha mais comum neste teste é a corrosão da grade positiva.

Baterias que falham em sobrecarga, falham prematuramente na ciclagem, mas o inverso nem sempre é verdadeiro. Portanto, uma grade feita de uma liga que resista à corrosão anódica é um dos itens mais essenciais no projeto de uma bateria.

Atualmente, dado o aumento da temperatura de trabalho das baterias no vão do motor, os testes de ciclagem sob altas temperaturas têm sido considerados como os mais importantes para atestar a qualidade da bateria.

6.5. PARÂMETROS QUE INFLUENCIAM A VIDA DA BATERIA

Os parâmetros de envelhecimento da bateria podem ser divididos em parâmetros internos e parâmetros externos. Os parâmetros internos descrevem todos os pontos que podem ser influenciados pelo fabricante da bateria (liga da grade, qualidade de fabricação, tipo de material ativo, etc.). Já os parâmetros externos dizem respeito do envelhecimento por regime de operação, como temperatura na carga, manutenção, proteção contra descarga profunda, etc. Um Sistema de Gerenciamento de Baterias – *BMS* - não influencia nos parâmetros internos ou outros parâmetros que são fixados pelo tipo de aplicação. No entanto, existem alguns parâmetros externos que podem ser controlados pelo sistema, como o método de carga, proteção contra descarga profunda, proteção contra sobrecarga, controle da corrente, etc. O objetivo de um *BMS* é a otimização desses parâmetros ajustáveis em função de outra operação da bateria.

6.5.1. TEMPERATURA

Temperaturas altas e grandes diferenças de temperatura entre as células podem reduzir o tempo de vida útil da bateria. Portanto, o local onde irá ser alocada a bateria terá influência na vida útil da mesma. Em caso de aplicações de altas correntes, gabinetes com um sistema de gerenciamento térmico podem ser usados para estender o tempo de vida útil da bateria.

A tensão de saída da bateria aumenta com o aumento da temperatura, devido à ocorrência de reações químicas que originam a redução da densidade do eletrólito, causando ainda a destruição das placas.

A baixa temperatura tem o efeito oposto, isto é, o ácido torna-se mais denso, o que provoca uma queda da tensão. Isso explica porque os países frios precisam de baterias especiais, com tensão mais elevada.

A porcentagem de descarga da capacidade das baterias causada pelo efeito da temperatura é apresentada na tabela 1. Acima dos 20°C, a capacidade das baterias aumenta 4% em cada 10°C. Abaixo dos 10°C, a capacidade das baterias vai descendo à medida que a temperatura desce, quando a temperatura atinge -35°C, metade da capacidade das baterias é perdida.

Tabela 1: Capacidade versus Temperatura - Descarga da capacidade das baterias causada pelo efeito da temperatura

Temperatura(°C)	50	40	30	20	10	0	-10	-20	-30	-40
Capacidade(%)	112	108	104	100	94	86	78	67	56	45

O processo de oxidação da grade metálica, ou seja, uma corrosão das grades positivas é acelerado em condições de alta temperatura e de tensão excessiva utilizada na recarga. As ligas utilizadas nas grades e o contato entre massa e grade são fatores importantes na proteção contra corrosão. Na placa negativa pode ocorrer um consumo de íons de hidrogênio. O consumo de hidrogênio e de oxigênio corresponde exatamente ao consumo de moléculas de água.

Temperatura x Estado de Carga

Percebe-se que uma bateria descarregada a -18°C tem menos de 10% da energia de uma bateria plenamente carregada a 27°C.

Para baterias com uma densidade inicial de 1.280 g/l teremos:

100% SOC	1.280 g/l	12.75 V
75% SOC	1.240 g/l	12.50 V
50% SOC	1.200 g/l	12.31 V
25% SOC	1.170 g/l	12.12 V
0% SOC	1.140 g/l	11.89 V

6.5.2. MÉTODO DE CARGA

A aplicação de sobrecarga ou uma carga insuficiente poderá causar uma redução do tempo de vida da bateria. O método de carga ideal depende dos parâmetros internos e externos da bateria, como temperatura e histórico de operação.

A tabela 2 contém o tempo necessário de recarga, utilizando valor da corrente constante de 10% da corrente nominal.

Tabela 2: Tensão de Circuito Aberto x Tempo de Recarga

Tensão da Bateria em Vazio (Volts)	Tempo de Recarga (Horas)
12,00 a 12,20	4,5
11,80 a 11,99	7
11,50 a 11,79	9
11,00 a 11,49	11
Baterias profundamente descarregadas	15

A temperatura da bateria durante o processo de recarga não deverá ultrapassar 50°C. O ideal é aplicar sempre a quantidade de carga necessária para a bateria, sem ultrapassar o tempo nem a corrente especificados. Tempos prolongados de carga, principalmente com corrente constante, podem levar a bateria a um estado de sobrecarga, ocasionando consumo de água desnecessária no processo.

6.5.3. PROTEÇÃO CONTRA DESCARGA PROFUNDA

Descargas profundas, períodos de descanso especialmente longos e com baixo SoC irá, certamente, reduzir a vida útil da bateria. Na maioria dos casos a proteção contra descarga profunda é baseada apenas na tensão da bateria. No entanto, por este método não é possível detectar situações críticas de operação em caso de descargas com pequenas correntes. Nesta situação, com baixa corrente de descarga a bateria ficará subcarregada, resultando em danos à bateria.

6.6. SÍNTESE DE MODELAGENS MATEMÁTICAS DE BATERIA CHUMBO-ÁCIDA

A modelagem matemática é sintetizada na tabela 3, onde são dispostas as equações e constantes necessárias para determinar a identificação dos elementos de circuito e estimação do comportamento dinâmico de uma bateria chumbo-ácida. (LEÃO, 2009)

Tabela 3: Síntese da modelização de baterias de chumbo-ácido

		Equações	Dados determinados experimentalmente
Modelo da bateria por aproximação de terceira ordem com ramo de perdas		$R_0 = R_{i0} [1 + A(1 - SOC)]$ $E_m = E_{m0} - k_e (273 + \theta)(1 - SOC)$ $R_1 = -R_{i0} \ln(DOC)$ $C_1 = \frac{\tau_1}{R_1}$ $R_2 = R_{21} \frac{e^{(A_{21}(1-SOC))}}{1 + e^{\frac{A_{22} I_p}{I_p^{ref}}}}$ $I_p = V_{pn} G_{po} e^{\left(\frac{V_{pn} - A_p}{V_p} \left(1 - \frac{p}{\theta_j} \right) \right)}$	$R_{i0}, R_{10}, A, \tau_1, E_{m0}, k_e$ R_{21}, A_{21}, A_{22} G_{po}, V_{pn}, A_p
Modelo melhorado a partir da aproximação de quarta ordem		$R_m, R_c, R_t, R_{oc}, R_{dc}$ <i>Modelados por:</i> $BE = K e^{(w_f(V_m - V_m))^{ff}}$ $TC = \frac{R}{R_{ref}} e^{\frac{T_{ref} - T}{T_{ref}}}$	$ff, K, w_f, V_m, TC, T, T_{ref}, R_{ref}, R$
Modelos para cargas e descargas de curta e longa duração		$E_p = E_{m0} + k_e (273 + T_s) \ln(SOC)$ $R_p = R_{p0} (1 - \beta I_s) - R_{in} \ln(SOC)$ $R_1 = R_{10} \left[\frac{A_{21}}{1 - SOC} + e^{A_{22} (I_p / I_p^{ref})} \right]$ $R_2 = -R_{in} \ln(1 - (1 - SOC) / SOC(k_s - 1) \left \frac{I_d}{I} \right ^f)$ $G_s = G_{s0} e^{(A_{s0} I_p + A_{s1} (T_s - T_s))}$ $\tau = (R_2 + R_3) C$	$R_{p0}, R_{s0}, R_{in}, R_{cp}$
Modelo para carga e descarga de curta duração		$\tau_{1p} = C_1 \frac{R_1 (R + R_{ext})}{R_1 + R + R_{ext}}$ $\tau_{2p} = C_2 \frac{R_2 (R + R_{ext})}{R_2 + R + R_{ext}}$ $\tau_{3a} = \tau_{1a}, \tau_{4a} = \tau_{2a}$ $\tau_{1a} = R_3 C_1, \tau_{2a} = R_4 C_2$	R_1, R_2, R_3, R_4 R_5, R_6, R_7, R_8 C_1, C_2, C_3, C_4

7. SISTEMAS DE GERENCIAMENTO DE BATERIAS

BMS

7.1. DEFINIÇÃO DE UM SISTEMA DE GERENCIAMENTO DE BATERIAS

Um Sistema de Gerenciamento de Baterias (*Battery Management System - BMS*) tem como função básica garantir a utilização otimizada da energia e minimizar os riscos de danos a bateria, além de fornecer informações importantes sobre a bateria ao usuário.

Um modelo genérico de um *BMS* é constituído por um módulo de força, uma bateria, um conversor CC/CC e uma carga. A inteligência do *BMS* inclui as funções de monitorar e controlar. O *BMS* é conectado a bateria e possui um sensor que medirá a corrente elétrica, a tensão e a temperatura e estes valores são utilizados por um algoritmo previamente desenvolvido para determinar várias variáveis sobre a bateria, como o estado de carga, a vida útil, o estado de saúde e a temperatura interna da bateria.

O grau de sofisticação do *BMS* depende diretamente da sua aplicação e das funções de gerenciamento e controle. Em geral, quanto maior a quantidade dessas funcionalidades, melhor a utilização da bateria, implicando em maior vida útil.

Sistemas de gerenciamento para baterias já vêm sendo pensados há bastante tempo, como resume a tabela 4.

Tabela 4: Cronologia - Principais Características do desenvolvimento de algoritmos para determinação do Soc e SoH

Ano	Pesquisador/ empresa	Método
1963	Curtis instruments	Medidas de tensão
1970	Lerner	Comparação entre duas baterias (uma com SoC conhecido)
1974	York	Tensões limites
1974	Brandwein	Medidas de tensão, corrente e temperatura
1975	Christianson	OCV
1975	Dowgiallo	Medidas de impedância
1975	Finger	Carga
1978	Eby	OCV e tensão durante descarga
1980	Kikuoka	Histórico de medidas
1981	Finger	Transiente de relaxação da tensão após pulso de corrente
1984	Peled	Tabelas de OCV e temperatura
1985	Muramatsu	Espectroscopia de impedância
1986	Kopmann	Tabelas baseadas em medidas de tensão, corrente e temperatura
1988	Seyfang	Histórico de medidas e sistema adaptativo
1992	Aylor	OCV medida e prevista e medidas de carga
1997	Gerard	Medidas de tensão e corrente, uso de redes neurais artificiais
1999	Salking	Medidas de carga, espectroscopia de impedância e lógica fuzzy
2000	Garche	Medidas de tensão e corrente. Utilização de filtros Kalman
2000	Bergveld	Histórico, sobrepotencial, força eletromotriz.

A utilização otimizada da energia através do uso do BMS pode ser alcançada executando as seguintes funções:

- Controle de carga da bateria para que não haja sobrecarga e proporcione um maior ciclo de vida para bateria.
- Acompanhar a descarga da bateria para evitar danos, interrompendo a corrente de descarga quando a bateria atingir um nível de referência de descarga.
- Manter o controle de SoC (estado de carga) e usar uma referência determinada para controlar a carga e a descarga da bateria.
- Potência da carga com uma tensão mínima, independentemente da tensão da bateria, usando um conversor CC/CC visando prolongamento da vida útil.
- Transmissão de dados enviadas ao usuário através de interface gráfica do dispositivo e em tempo real.

O Gerenciamento da bateria inclui, de forma geral:

- Medições de Temperatura, Tensão e Corrente
- Controle de carga / descarga
- As previsões de Estado de Carga (SOC), Estado de Saúde (SOH) e Potência
- Monitoramento de dispositivos de potência (fusíveis, contadores, etc)
- Sinais de Emergência
- Interface e comunicação com a aplicação

Para o usuário e para a empresa produtora de baterias este dispositivo é de uso bastante interessante, já que assim é possível acompanhar o desempenho e a funcionalidade da bateria, aproveitando de forma otimizada a energia produzida, sendo satisfatória a relação custo/benefício.

As linhas de implementação do gerenciamento de baterias podem ser resumidas em três: gerenciamento da bateria, gerenciamento da potência e gestão da energia.

De forma generalista, o gerenciamento de baterias envolve a implementação de um dispositivo usado para garantir uma utilização ótima da bateria. Exemplos de tais funções são: o controle da carga e a proteção para que a bateria não seja usada indevidamente. Funções de gerenciamento de energia envolvem a implementação de uma adequada distribuição de energia através do sistema, para que seja garantido um consumo mínimo de energia por cada parte do mesmo. Uma junção de hardware e software específico são desenhados para minimizar o consumo de energia, tal como desligamento de partes do sistema que não estão em uso. A gestão da energia deve garantir que as conversões de energia no sistema sejam feitas da forma mais eficiente possível. Isto também envolve a manipulação do armazenamento de energia de um sistema. (Bergveld, 2001)

Os algoritmos são desenvolvidos para cada parte do gerenciamento, como carregamento, SoC e conversor. Uma breve explanação sobre cada uma dessas parte é feita a seguir.

Algoritmo de carregamento: mantém o controle do status da bateria e controla o carregador, interrompendo a corrente de carga quando a bateria está carregada completamente. O carregamento não deve continuar uma vez que a bateria esteja carregada, porque a temperatura poderá aumentar substancialmente e a bateria pode

ser danificada. Se isso ocorrer, haverá uma diminuição da sua capacidade e do número de ciclos. Portanto, o uso de um algoritmo adequado conduz a uma utilização mais eficiente da bateria e da sua energia.

Algoritmo que determina o Estado de Carga (Stage-of-Charge-SoC): usa a informação para fazer uma mais eficiente utilização da energia da bateria. Por exemplo, ele pode ser usado como entrada para o controle da carga, indicando que a bateria está carregada. Uma menor frequência de recarga é benéfico para o ciclo de vida da bateria.

Algoritmo que controla um conversor CC/CC: Carrega a bateria com a tensão mínima necessária, dependendo do modo do carregamento. Um exemplo de uma carga é um amplificador de potência (AP) em um telefone celular. No caso de um AP, a tensão de alimentação pode ser mais baixa para uma menor potência de saída levando a uma melhor eficiência. (Bergveld, 2001)

7.2. MÉTODOS PARA DETERMINAR O ESTADO DE CARGA (SoC) E O ESTADO DE SAÚDE (SoH) DE BATERIAS

Para a determinação do Estado de Carga podem ser utilizados diversos tipos de algoritmos, com o tratamento dos dados coletados feito de forma simples ou mais sofisticado. Os métodos podem ser baseados em medidas realizadas diretamente ou com algoritmos que relacionem as variáveis entre si. Nos tópicos a seguir é feita uma breve discussão sobre alguns tipos de métodos de determinação do Estado de Carga.

7.2.1. MÉTODOS BASEADOS EM MEDIDAS DIRETAS

Os métodos utilizados aqui são variáveis das baterias medidas diretamente, como tensão, impedância, corrente e o tempo de reestabelecimento da tensão após altas correntes. A temperatura afeta diretamente as relações entre as variáveis medidas das baterias e a também a determinação do SoC. Sendo assim, paralelamente às medidas de tensão e impedância, a temperatura também deve ser medida. A principal vantagem do sistema de medidas diretas para determinar o SoC de uma bateria é que ele não precisa

estar ligado continuamente à bateria, podendo ser realizada a qualquer momento, bastando conectar o instrumento à bateria. (CHAGAS, 2007)

7.2.1.1. MEDIDAS DE TENSÃO

Apesar de ser o mais comum dos métodos de determinação do estado de carga, os resultados obtidos não são precisos. Determinar a capacidade de uma bateria apenas com os valores de tensão pode ser mais barato e exigir uma menor capacidade de processamento da informação do que quando se integra a corrente. Porém, em casos reais a utilização de medidas isoladas de tensão para determinar o SoC pode gerar conclusões errôneas. Apesar de saber que a tensão da bateria diminui continuamente durante sua descarga, a relação entre os valores desta tensão com a carga ainda disponível na bateria varia consideravelmente em função da temperatura e do regime de descarga utilizado (a curva de descarga, i. é, a curva de $V(t)$ depende muito da corrente de descarga utilizada). O erro implícito na estimação do SoC utilizando medidas de tensão pode ser corrigido se houver uma relação entre a tensão da bateria, a temperatura e a corrente de descarga. No entanto, se essas medidas são incluídas em um determinado algoritmo utilizado para relacioná-las e determinar o SoC, então o processo deixa de ser por medida direta, além de incorporar maior robustez.

7.2.1.2. MÉTODO DA FORÇA ELETROMOTRIZ – FEM

Através do método de interpolação linear é possível se obter o valor da fem de uma bateria. Neste método, são medidas as tensões durante uma carga e uma descarga consecutivas, à mesma temperatura e corrente, onde partir daí é calculada a tensão média (fem). A Figura 9 apresenta a curva da fem de uma bateria, obtida a partir de duas curvas, uma de descarga e outra de carga, na mesma temperatura e utilizando a mesma corrente. (CHAGAS, 2007).

Notou-se que a determinação da fem é uma boa aproximação para o SoC de uma bateria e que esta relação não varia com o envelhecimento da mesma. A dependência da temperatura tem se mostrado pequena, à exceção dos momentos próximos ao fim da carga para alguns sistemas e também da descarga para outros.

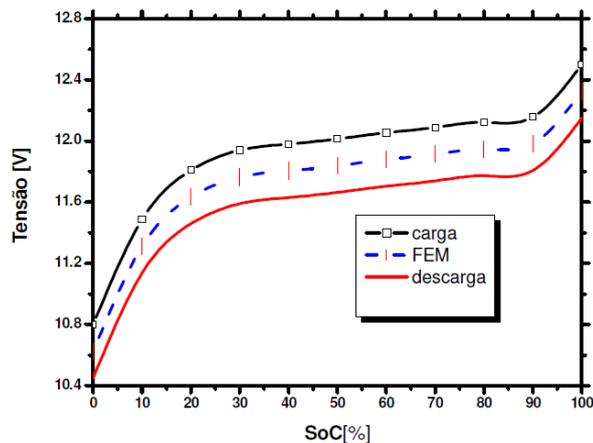


Figura 9: Curva da força eletromotriz, valor médio das tensões de descarga e de carga.

7.2.2. MÉTODOS INDIRETOS

7.2.2.1. MÉTODO DA TABELA DE REFERÊNCIA

O método utiliza uma tabela de referência armazenada, com os valores dos parâmetros medidos em condições de SoC conhecidas. A precisão da determinação do SoC depende do número de valores armazenados na tabela e da precisão destes valores armazenados. Uma das desvantagens deste método é que, mesmo para um único tipo de bateria, é impossível armazenar cada ponto da curva de tensão para ter um valor preciso do SoC. Mesmo que muitos pontos da curva da tensão de referência sejam armazenados, o processo se torna cada vez mais complicado e caro que outros métodos disponíveis, sem oferecer vantagens significantes.

7.2.2.2. MÉTODOS QUE UTILIZAM O HISTÓRICO DA BATERIA

Estes métodos para determinar o SoC da bateria utilizam medidas de corrente e de integração de corrente. Estes métodos poderiam ser denominados como medidas da carga (Método de Coulomb) que literalmente significa “medir a carga que flui para a bateria”. Os dados da carga fornecida ou retirada da bateria juntamente com outros

dados relevantes como a taxa de autodescarga, a eficiência da carga/descarga, a temperatura e o histórico (vida cíclica) são utilizados como dados de entrada para o sistema que utiliza o histórico da bateria. (CHAGAS, 2007)

Estes métodos conseguem compensar efeitos como:

- Eficiência da descarga: Dependendo do *SoC* da temperatura e principalmente da corrente de descarga, só parte da energia armazenada na bateria é liberada. Os principais mecanismos que contribuem para a “eficiência” da descarga são a cinética das reações e os processos de difusão. O envelhecimento da bateria também influencia a eficiência de descarga devido ao aumento da sua resistência interna;
- Auto-descarga: Toda bateria, com o passar do tempo, perde gradativamente a carga armazenada nela, sem que esta energia perdida realize qualquer trabalho útil. A autodescarga da bateria depende fortemente da temperatura e do *SoC*;
- Perda de capacidade: A capacidade máxima da bateria, em Ah, diminui com a ciclagem da bateria. Esta perda de capacidade depende de vários fatores. Em geral, quanto mais a bateria é exigida, ou utilizada indevidamente (com sobrecargas e descargas profundas freqüentes), maior e mais rápida é a perda de capacidade. Para determinar qual é a capacidade máxima num determinado momento, os sistemas que se fundamentam em métodos históricos, utilizam medidas de tensão.

7.2.3. MÉTODOS ADAPTATIVOS

O principal problema no desenvolvimento de um sistema preciso que determine o *SoC* de uma bateria é o comportamento imprevisível tanto do sistema a qual a bateria está aplicada, como do usuário e ainda da própria bateria. A melhor forma de lidar com este problema é utilizar os denominados métodos adaptativos. Estes métodos se baseiam em medidas diretas em conjunto com métodos históricos.

7.2.3.1. FILTROS KALMAN

O filtro de Kalman tem por base um modelo de descrição numérica para o comportamento da bateria. A tensão da bateria é estimada com base em medidas de corrente e de temperatura e o resultado é comparado com o valor verdadeiro de tensão medido diretamente. A comparação permite ajustar os parâmetros que fornecerão o *SoC* e o *SoH*. A forma de adaptação deste método consiste na comparação de valores

estimados com valores medidos. Esta comparação é feita sempre que possível. O propósito do filtro Kalman é estimar o estado da bateria a partir de medidas.

7.2.3.2. REDES NEURAIAS

As redes neurais artificiais possuem variáveis que determinam o estado da baterias e essas variáveis são substituídas pelas redes neurais. Dois tipos de redes neurais artificiais são utilizadas para modelar, ou mais precisamente, para adaptar a estimativa da curva de descarga (baseada num comportamento geral) ao comportamento específico da bateria que está sendo utilizada. As redes neurais requerem, no mínimo, duas fases: uma fase de treinamento e uma de avaliação. Na fase de treinamento a rede se adapta ao sistema que vai simular para obter os melhores resultados. Na fase de avaliação, a rede neural é testada utilizando amostras que não foram incluídas na fase de treinamento (novas amostras). Como exemplo, em um sistema de redes neurais foram utilizadas 2.860 curvas de descarga para treinar o sistema (correspondentes a 260 ciclos de 11 baterias diferentes). Nesse exemplo foi demonstrado que a rede neural (com um sistema adaptativo em tempo real) pode diminuir os erros na estimação do SoC a valores inferiores a 3%.

7.2.3.3. LÓGICA FUZZY

Este método envolve a chamada lógica matemática *fuzzy* (“vaga”) para analisar os dados obtidos pelas técnicas de espectroscopia de impedância e/ou integração de corrente. Os dados são categorizados em conjuntos “precisos” e “vagos”. O conjunto de dados categorizados como “precisos” contém os dados claramente definidos como, por exemplo, um conjunto de temperaturas entre 30 e 40°C. Os conjuntos *fuzzy* incluem os dados incertos como, por exemplo, a temperatura está “morna”. O termo lingüístico “morno” é um subconjunto do conjunto de todas as temperaturas e é definido por uma função específica chamada “*membership function*”. O grau no qual um elemento do conjunto “temperatura” pertence ao subconjunto *fuzzy* “morno” é indicado por uma quantidade denominada “*degree of membership*” (grau de inclusão).

7.2.4. SÍNTESE DOS MÉTODOS DE DETERMINAÇÃO DO SoC

Para a determinação do estado de carga, vários métodos são propostos. Organizou-se uma tabela com alguns dos métodos mais importantes e seus prós e contras. Claro que o melhor método de estimação do SoC dependerá da sua aplicação. As comparações entre os métodos é verificado na tabela 5.

Tabela 5: Balanço dos métodos de determinação do SoC.

Método	Aplicação	Vantagens	Desvantagens
Estimação pela Contagem de Ah	Determinação do SoC em tempo real.	Simples. Não requer grande esforço computacional.	Necessita dos valores da capacidade atual da bateria. Quando há variação da temperatura, da corrente ou medição imprecisa da corrente na bateria, os resultados são incoerentes.
Estimação pela tensão de circuito aberto (TCA)	Estimação do SoC quando a bateria esta em repouso.	Simples. Não necessita muita informação sobre a quantidade de carga que entra e sai da bateria.	Aplicação limitada ao período de descanso da bateria. Quando há sulfatação excessiva, os resultados são incoerentes.
Estimação por Redes Neurais	Estimação do SoC em tempo Real	Método robusto comparado aos demais. Não necessita largo conhecimento da quantidade de carga que entra e sai da bateria.	Requer um banco de dados significativo para treinamento da rede. Quando a RNA é submetida a condições além das condições de treinamento, os resultados são incoerentes.*

7.2.5. COMPARAÇÃO DE DESEMPENHO DOS MÉTODOS DE ESTIMAÇÃO DO SoC

Os desempenhos dos métodos são satisfatórios para análise em tempo real do SOC, nas condições de temperatura e corrente constantes. Contudo, os métodos requerem confiabilidade dos dados medidos, assim, a imprecisão na informação destes pode representar, sem duvida, uma estimativa falsa do SoC real da bateria. Desde que cada vez mais seja estabelecido um amplo banco de dados que possa contemplar praticamente toda a faixa de temperatura e corrente de aplicação da bateria.

7.3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

No início desta pesquisa, objetivou-se implementar um sistema capaz de determinar estado de carga de baterias de chumbo-acido através de um modelo empírico baseado em resultados experimentais. Com o avanço da pesquisa notou-se a dificuldade de implementação de um modelo empírico que garantisse uma precisão aceitável para a maioria das aplicações.

A partir disto, percebeu-se então a necessidade do desenvolvimento de um algoritmo que modelasse com mais exatidão o estado de carga de uma bateria de chumbo-ácido. A partir da complexidade deste algoritmo se definiria então um circuito, hardware, com poder computacional para implementação deste algoritmo e aquisição dos dados de entrada para o mesmo, como: temperatura, tensão e corrente.

É importante ressaltar que um algoritmo específico desenvolvido para uma dada bateria conduziria a resultados mais próximos da realidade. Entretanto, a exploração deste algoritmo está além do escopo deste trabalho. Sendo assim, foi escolhido o método de Coulomb para o cálculo do SoC de uma bateria com base nas curvas de carga e descarga.

Para tanto, foram utilizados dados de ciclagem (carga e descarga) de uma bateria estacionária. Este teste foi realizado no Laboratório da Acumuladores Moura S.A. e algumas das características desta bateria encontram-se na tabela 6.

Tabela 6: Algumas características da Bateria Estacionária

Bateria	Capacidade	Tensão de Circuito Aberto (TCA)	Tensão de Corte para a Descarga	Corrente para Carga e Descarga	Densidade do Eletrólito
6MO300	300Ah	6,18V	5,25V	30,6A	1.210g/l

A bateria em questão foi posta para realização de 7 ciclos de carga e descarga. A coleta de dados foi realizada com passo de 10s. A partir desses dados, foi plotada a curva de seu funcionamento (Figura 10).

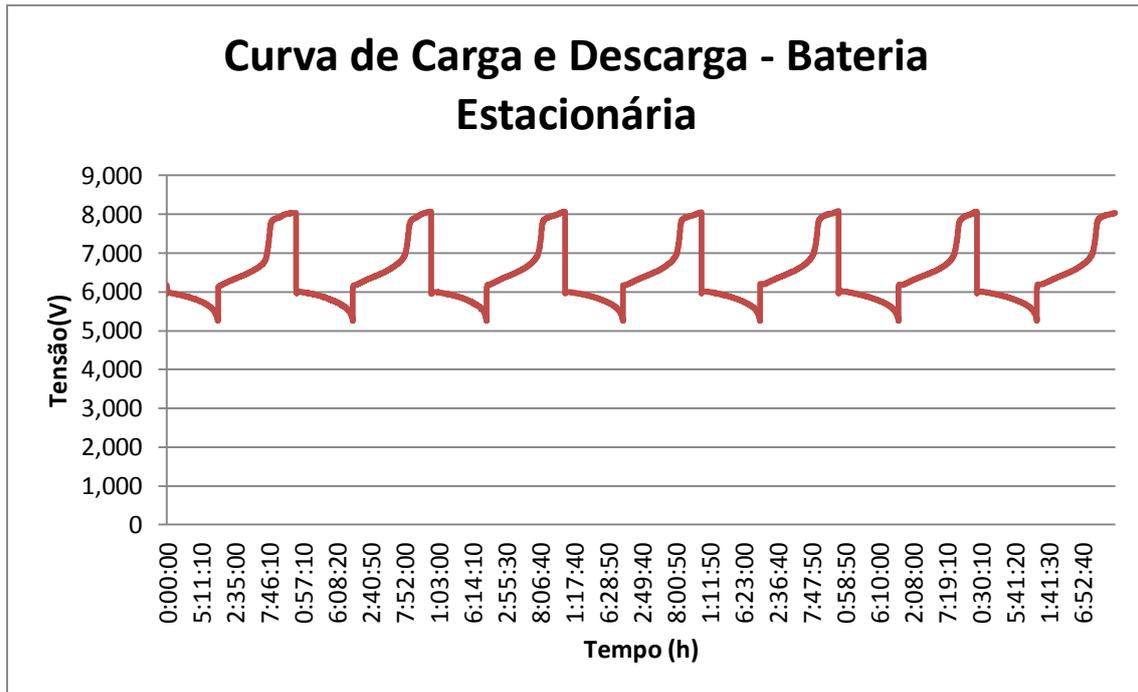


Figura 10: Curva de Carga e Descarga de uma Bateria Estacionária

De maneira ideal, o tempo de carga e descarga utilizando corrente constante é o mesmo para ambos. No entanto, através deste experimento, percebeu-se que o tempo de carga é significativamente maior que o tempo de descarga. Na tabela 7, a qual foi construída com dados do teste, foram dispostas as características mais.

Tabela 7: Características do teste de ciclagem da bateria

CICLO	TENSÃO INICIAL (V)	TENSÃO FINAL (V)	CAPACIDADE FINAL (Ah)	TEMPO (h)	POTÊNCIA FINAL (W)	CRITÉRIO DE PARADA
1ª DESCARGA	6,18	5,25	233,34	7h47min	-158	TENSÃO
1ª CARGA	5,90	8,04	360,08	12h	242	TEMPO
2ª DESCARGA	6,20	5,25	259,20	8h38min	-158	TENSÃO
2ª CARGA	5,90	8,07	360,07	12h	242	TEMPO
3ª DESCARGA	6,04	5,25	254,76	8h29min	-158	TENSÃO
3ª CARGA	5,92	8,07	360,07	12h	242	TEMPO
4ª DESCARGA	6,19	5,25	265,04	8h50min	-158	TENSÃO
4ª CARGA	5,91	8,05	360,08	12h	242	TEMPO
5ª DESCARGA	6,21	5,25	268,59	8h57min	-158	TENSÃO
5ª CARGA	5,09	8,08	360,08	12h	242	TEMPO
6ª DESCARGA	6,31	5,25	276,43	9h13min	-158	TENSÃO
6ª CARGA	5,89	8,08	360,08	12h	242	TEMPO
7ª DESCARGA	6,20	5,25	275,35	9h10min	-158	TENSÃO
7ª CARGA	5,90	8,04	360,08	12h	242	TEMPO

O critério de parada utilizado para a carga foi o período de 12h e percebeu-se que a bateria foi sobrecarregada, finalizando com Capacidade Nominal de 360Ah, ficando com 120% do seu estado de carga, como pode ser visto na figura 11 abaixo.

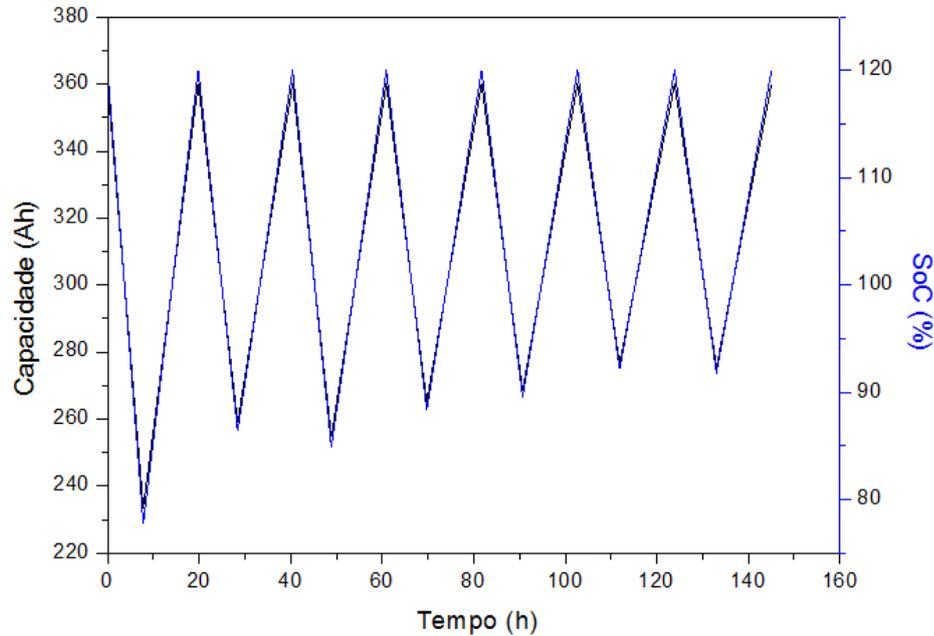


Figura 11: Estado de Carga relacionado com a Capacidade Nominal

Já para a descarga, o critério de parada de ciclagem foi a tensão de corte de 5,25V. Esta tensão foi previamente calculada e tem o intuito de não descarregar profundamente a bateria, o que poderia prejudicar suas propriedades eletroquímicas e ainda haver o risco de perda da capacidade de armazenamento da energia. Outro ponto que vale ser ressaltado é o tempo utilizado para a descarga. De acordo com os dados contidos na Tabela 7, pode-se notar que este tempo chega a variar 1h66min entre um ciclo e outro de descarga, sendo pouco preciso.

Objetivando obter equações genéricas que possam ser usadas para a determinação do estado de carga (*SoC*) foi realizada uma análise da curva da figura 10. Para esta análise, a variável adotada foi a capacidade da bateria, ou seja, a quantidade de Ampères por hora obtidos ao final de cada ciclo de carga e descarga.

7.3.1. ANÁLISE DIRETA

Fazendo uma análise preliminar e direta do comportamento da bateria quanto a sua carga e descarga, chegou-se as seguintes equações:

- Na descarga:

$$SoC_d (\%) = SoC_o - \frac{30,6A (t_f - t_o)}{300Ah} * 100\% \quad (1)$$

- Na carga:

$$SoC_c (\%) = SoC_o + \frac{30,6A (t_f - t_o)}{300Ah} * 100\% \quad (2)$$

Onde:

SoC_c = Estado de Carga da Bateria – na carga.

SoC_d = Estado de Carga da Bateria – na descarga.

SoC_o = Estado de Carga inicial da Bateria (carga remanescente).

t_f = Tempo final do teste

t_o = Tempo inicial do teste

As constantes 30,6A e a 300Ah são, respectivamente, a corrente de descarga e a capacidade nominal da bateria.

Idealmente, o tempo para a descarga completa da bateria é de 9h48min, considerando um estado de carga inicial de 100%. No entanto, de acordo com os dados empíricos obtidos, esse tempo de descarga é bem menor, o que gera um erro na determinação do estado de carga real.

Assim como na descarga, para a carga completa da bateria o tempo é de 9h48min, já que a corrente para ambas as situações é a mesma. Porém, o tempo utilizado para atingir a capacidade desejada é de 12h, 2h20min a mais do que o valor teórico ideal. Este tempo levaria, teoricamente, a uma capacidade de 367,20Ah ou um $SoC = 122,4\%$. Já empiricamente, este tempo é o necessário para atingir 100%.

Tal análise evidencia a necessidade de uma maior gama de variáveis para determinação do estado de carga, bem como um algoritmo mais robusto que o defina.

7.3.2. ANÁLISE DIRETA COM FATOR DE CORREÇÃO

A fim de tornar mais preciso o método de análise desenvolvido no item anterior, foi calculada uma constante da seguinte maneira:

$$k_c = \frac{(SoC_c - SoC_o) * 300Ah}{30,6A * 12h} \quad (3)$$

Para a carga, utilizando o $SoC_c = 1$ e $SoC_o = 0$, temos que:

$$k_c = 0,817$$

Sendo assim, na carga teremos a equação com o fator de correção inserido na equação para determinação do estado de carga como segue:

$$SoC_c (\%) = SoC_o + \frac{30,6A * (t_f - t_o) * k_c}{300Ah} * 100\% \quad (4)$$

Para a descarga, o fator de correção será baseado na média dos tempos de descarga medidos no teste.

$$t_{desc} = 8h50min = 8,33h$$

$$k_d = \frac{(SoC_c) * 300Ah}{SoC_o - 30,6A * 8,33h}$$

Para a descarga, utilizando o $SoC = 0$ e $SoC_o = 1$, temos que:

$$k_d = 1,177$$

Analogamente, na descarga teremos a equação com o fator de correção devido inserido na equação para determinação do estado de carga como segue:

$$SoC_d (\%) = SoC_o - \frac{30,6A * (t_f - t_o) * k_d}{300Ah} * 100\% \quad (4)$$

Cabe ainda citar que os valores para o Estado de carga final e inicial utilizados aqui são teóricos, sendo o estado final de descarga desejado sempre diferente de 0%, para que haja uma melhor conservação das características eletroquímicas da bateria. Logo, o SoC e o SoC_o são variáveis que possuem valores reais diferentes dos utilizados como base de cálculo nas análises feitas aqui. Para a determinação destes valores seria necessária uma discussão ainda mais elaborada sobre o assunto, utilizando-se outros bancos de dados para tal estudo.

De acordo com as análises feitas, é fácil perceber que a determinação do estado de carga de uma bateria consiste em uma tarefa pouco trivial. Sendo assim, o desenvolvimento de um sistema completo e preciso de monitoramento e atuação para baterias é uma tarefa ainda mais complexa.

7.4. PROPOSTA DE IMPLEMENTAÇÃO

Como parte do desenvolvimento desta pesquisa foi desenhado um modelo de circuito para um Sistema de Gerenciamento de Baterias. Este modelo foi sugerido com base na fundamentação teórica sobre o tema e os conhecimentos sobre os dispositivos que o compõe. Sendo assim, o modelo(figura 12) traz uma proposta de trabalho futuro contemplando a implementação efetiva do sistema.

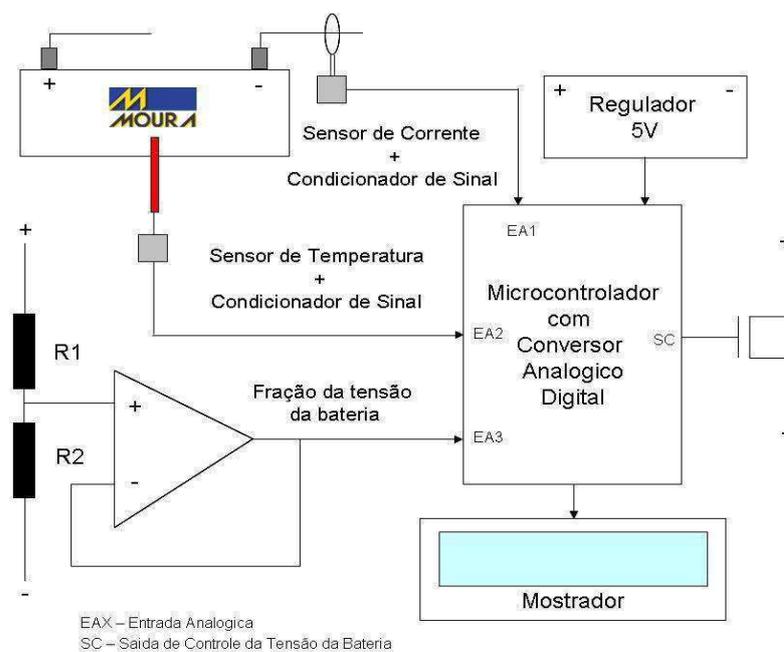


Figura 12: Modelo de um BMS

Um dispositivo *BMS* é exibido na figura 13 e sua montagem em uma bateria é vista na figura 14. Este método é denominado ‘embarcado’, por estar atrelado a bateria diretamente.

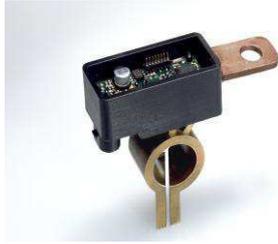


Figura 13: Plataforma de montagem

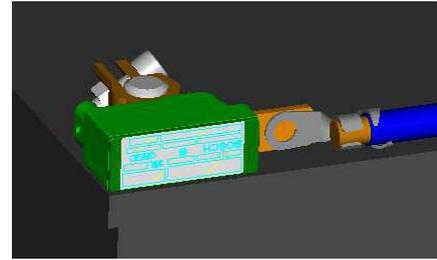


Figura 14: Direcionamento paralelo do cabo da bateria

7.5. PERSPECTIVAS

Com a rápida evolução dos sistemas de energia e a crescente gama das aplicações de baterias, vê-se uma necessidade iminente do uso de sistemas capazes de gerenciar de forma otimizada o uso desse tipo de energia.

Neste contexto, o BMS tende a ser um dispositivo indispensável e de extrema importância, inclusive para a segurança do usuário de baterias, já que permite um uso dentro da faixa de trabalho especificada, sem sobrecarga nem subcarga. Com isso, o sistema proporciona um funcionamento da bateria em um regime de operação normal, sem riscos ocasionalmente causados pelo aumento excessivo da temperatura ou explosão provocada por uma carga além das especificações da bateria.

Por ser ainda aplicável a qualquer sistema que utilize baterias em sua construção, o BMS promete ser um sistema que tenha a flexibilidade de construção e de aplicação necessária a versatilidade do mundo moderno. Por isso, as perspectivas do uso do BMS são as melhores possíveis, pelos motivos previamente explanados, bem como pela inovação e qualidade que agrega aos sistemas que o utilizarem.

8. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O trabalho apresentado obteve um resultado satisfatório, principalmente no que concerne a obtenção de informações sobre os cuidados necessários a uma bateria e suas variações de acordo com a aplicação e sobre a relevância da utilização dos sistemas de gerenciamento de baterias, bem como seu funcionamento e robustez.

O trabalho proposto tem sua relevância no contexto abordado, pois com os dados avaliados já se pode concluir a necessidade de um detalhamento maior e tanto sobre o comportamento da bateria e sua aplicação, quanto à maneira ideal de implementação de um BMS.

Apesar de uma implementação completa de um Sistema de Gerenciamento não ter sido alcançada devido às dificuldades apresentadas, agregadas ao curto tempo para desenvolvimento, esta forma de avaliação dos requisitos necessários para a determinação do comportamento de uma bateria em tempo real é de grande valia, já que este tipo de sistema ainda está sendo estudado a título de pesquisa aprofundada (mestrado e doutorado) e não haver no atual momento modelos definitivos.

Para uma avaliação mais precisa do que pode vir a ocorrer na realidade em sistemas que utilizam baterias, os algoritmos devem ser melhor testados e comparados a testes de laboratório e simulações em software para que seja definido um BMS que modele precisamente os parâmetros da bateria, passando-os assim ao seu usuário final.

A seguir, algumas sugestões para trabalhos futuros:

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] BERGVELD, H. J., *Battery Management Systems - Design by Modelling*. Proefschrift Universiteit Twente, Enschede, Netherlands, 2001.
- [2] Garche, J., Josse A., *Battery Management Systems (BMS) for Increasing Battery Life Time*. Center for Solar Energy and Hydrogen Research - Ulm, 2010.
- [3] JUANG, Larry W. *Online Battery Monitoring for State-of-Charge and Power Capability Prediction*, University of Wisconsin – Madison, 2010.
- [4] Electropaedia - *Battery and Energy Technologies*
 Página: <http://www.mpoweruk.com/bms.htm>
 Acessado em: 30 de agosto de 2011.
- [5] *Battery Management System (BMS) - Validation Test*
 Página: <http://www.dmcinfo.com/Case-Studies/View/ProjectID/200/Battery-Management-System-BMS-Validation-Test-Stand.aspx>
 Acessado em: 06 de setembro de 2011.
- [6] *Cameron Motor Works Electric Vehicle Conversion - Battery Management Systems*
 Página: http://www.cameronsoftware.com/ev/EV_BatteryManagementSystems.html
 Acessado em: 06 de setembro de 2011
- [7] *A Solution for Testing Battery Management Systems*
 Página: <http://www.evaluationengineering.com/index.php/solutions/ate/a-solution-for-testing-battery-management-systems.html>
 Acessado em: 07 de setembro de 2011
- [8] <http://www.atel.com.br/atelhtm/info/bateria.html>
 Acessado em: 10 de janeiro de 2011
- [9] http://pt.wikipedia.org/wiki/Bateria_de_n%C3%ADquel-hidreto_met%C3%A1lico
 Acessado em: 09 outubro de 2011
- [10] LEÃO, J. F. A., *Estudo de modelagem de baterias de Chumbo – Ácido*. Campina Grande – PB. Julho de 2009
- [11] <http://www.solenerg.com.br/bateria.htm>
 Acessado em: 16 de novembro de 2011
- [12] [http://www.oslenhas.com.br/tudosobrebaterias.htm#Vantagens e Limitações das Baterias Chumbo-Ácido](http://www.oslenhas.com.br/tudosobrebaterias.htm#Vantagens_e_Limitações_das_Baterias_Chumbo-Ácido)
- [13] en.wikipedia.org
 Acessado em: 10 de março de 2012.