

S.T.A.

RONTEK

Baterias de Lítio



Eng. Aldo Michelini

www.sta-eletronica.com.br

Baterias de Lítio



- Conceitos básicos sobre baterias
- Baterias primárias de lítio
- Baterias recarregáveis de lítio
- Projeto de packs de baterias de lítio

Baterias de Lítio

© 2020 - S.T.A. Sistemas e Tecnologia Aplicada Ind. Com. LTDA.

Todos os direitos reservados. Exceto para usos não comerciais, nenhuma parte deste livro pode ser reproduzida ou transmitida de qualquer forma ou por qualquer meio sem a permissão escrita do autor.

Capa: Aldo Micheli

Revisão: Beatriz Silva

AVISO IMPORTANTE:

Apesar de todo esforço que foi feito para fornecer neste livro informações as mais precisas possíveis, nem o autor nem a S.T.A. se responsabilizam por eventuais erros, omissões ou danos decorrentes de seu uso.



S.T.A. – Sistemas e Tecnologia Aplicada Ind. Com. LTDA.

Rua Matrix, 35 – Cotia – SP

CEP 06714-360

Telefone (11) 4617-8530

E-mail: sta@sta-eletronica.com.br

www.sta-eletronica.com.br

AGRADECIMENTOS

Este livro não teria sido escrito sem o apoio da **S.T.A. Sistemas e Tecnologia Aplicada**, que além de patrocinar, cedeu suas instalações, equipamentos e vários de seus produtos para que pudessem ser fotografados e testados, permitindo a obtenção de informações relevantes para esta publicação.

Agradeço aos colegas da S.T.A. que direta ou indiretamente contribuíram para esta obra e também agradeço ao Eng. Israel Minghin, sócio da S.T.A. pelas longas conversas, ideias e sugestões.

Eng. Aldo Michelini

INTRODUÇÃO	7
PARTE 1	9
CONCEITOS BÁSICOS SOBRE BATERIAS	9
1. NOÇÕES BÁSICAS SOBRE BATERIAS	10
O QUE É UMA BATERIA.....	10
DIFERENÇA ENTRE BATERIA E CÉLULA	10
COMPONENTES BÁSICOS DE UMA CÉLULA	11
FUNCIONAMENTO DA CÉLULA ELETROQUÍMICA	12
CLASSIFICAÇÃO DAS CÉLULAS E BATERIAS	14
PRINCIPAIS PARÂMETROS ELÉTRICOS DAS BATERIAS.....	16
CORRENTE ELÉTRICA.....	16
TENSÃO ELÉTRICA.....	16
CAPACIDADE	18
TAXA C	18
RESISTÊNCIA INTERNA	19
POTÊNCIA ELÉTRICA.....	21
ENERGIA	22
DIFERENÇA ENTRE CORRENTE E CAPACIDADE.....	23
2. FATORES QUE AFETAM O DESEMPENHO DA BATERIA	24
TENSÃO NOMINAL	24
CORRENTE DE DESCARGA	25
MODO DE DESCARGA	26
TEMPERATURA DURANTE A DESCARGA	27
TIPO DE DESCARGA	27
CICLO DE TRABALHO	28
REGULAÇÃO DE TENSÃO	30
TENSÃO DE CARREGAMENTO.....	31
AUTO DESCARGA E ARMAZENAMENTO	32
ENVELHECIMENTO - CICLAGEM	33
3. SELEÇÃO E APLICAÇÃO DE BATERIAS	35
COMO SELECIONAR BATERIAS.....	36
APLICAÇÕES DAS BATERIAS.....	37
SELEÇÃO DE BATERIAS NÃO RECARREGÁVEIS.....	38
SELEÇÃO DE BATERIAS RECARREGÁVEIS	42
COMO IDENTIFICAR BATERIAS FALSIFICADAS	44
PARTE 2	45
BATERIAS PRIMÁRIAS DE LÍTIO.....	45
4. BATERIAS DE LÍTIO-DIÓXIDO DE MANGANÊS $\text{LiMnO}_2 - 3\text{V}$	46
VISÃO GERAL DAS BATERIAS DE LÍTIO-DIÓXIDO DE MANGANÊS	46
FORMATOS CONSTRUTIVOS DAS BATERIAS DE LÍTIO-DIÓXIDO DE MANGANÊS	46
ESPECIFICAÇÕES DAS BATERIAS DE LÍTIO-DIÓXIDO DE MANGANÊS	47

PRINCIPAIS CURVAS DAS BATERIAS DE LÍTIO-DIÓXIDO DE MANGANÊS	48
APLICAÇÕES DAS BATERIAS DE LÍTIO-DIÓXIDO DE MANGANÊS	51
SELEÇÃO DAS BATERIAS DE LÍTIO-DIÓXIDO DE MANGANÊS	52
5. BATERIAS DE LÍTIO-CLORETO DE TIONILA – LISOCL₂ – 3,6V	56
VISÃO GERAL DAS BATERIAS DE LÍTIO-CLORETO DE TIONILA	56
FORMATOS CONSTRUTIVOS DAS BATERIAS DE LÍTIO-CLORETO DE TIONILA	57
ESPECIFICAÇÕES DAS BATERIAS DE LÍTIO-CLORETO DE TIONILA	57
CURVAS DAS BATERIAS DE LÍTIO-CLORETO DE TIONILA.....	58
APLICAÇÕES DAS BATERIAS DE LÍTIO-CLORETO DE TIONILA	63
PROTEÇÕES PARA AS BATERIAS DE LÍTIO-CLORETO DE TIONILA	64
SELEÇÃO DAS BATERIAS DE LÍTIO-CLORETO DE TIONILA.....	65
ARMAZENAGEM DAS BATERIAS DE LÍTIO-CLORETO DE TIONILA	66
PASSIVAÇÃO DAS BATERIAS DE LÍTIO-CLORETO DE TIONILA	66
COMO RESOLVER A PASSIVAÇÃO DAS BATERIAS DE LISOCL ₂	67
CAPACITOR DE ALTO PULSO PARA BATERIAS LÍTIO-CLORETO DE TIONILA	68
6. BATERIA DE LÍTIO BISSULFETO DE FERRO - LIFES2 - 1,5 V.....	71
VISÃO GERAL DAS BATERIAS DE LÍTIO-BISSULFETO DE FERRO	71
ESPECIFICAÇÕES DAS BATERIAS DE LÍTIO-BISSULFETO DE FERRO	72
ESPECIFICAÇÕES DA BATERIA LIFES2 – TAMANHO AA.....	73
CURVAS DA BATERIA LIFES2 – TAMANHO AA	74
ESPECIFICAÇÕES DA BATERIA LIFES2 – TAMANHO AAA	76
CURVAS DA BATERIA LIFES2 – TAMANHO AAA	77
EFEITO DA TEMPERATURA NAS BATERIAS LIFES2	79
ARMAZENAGEM DAS BATERIAS LIFES2	82
PARTE 3.....	84
BATERIAS RECARREGÁVEIS DE LÍTIO ÍON	84
7. BATERIAS RECARREGÁVEIS DE LÍTIO	85
HISTÓRIA DA BATERIA DE LÍTIO-ÍON	85
COMPONENTES DA BATERIA DE LÍTIO ÍON.....	87
PROCESSO QUÍMICO DE RECARGA E DESCARGA	87
CONSTRUÇÃO, FORMATOS E TAMANHOS DAS BATERIAS DE LÍTIO ÍON	89
VANTAGENS E LIMITAÇÕES DAS BATERIAS LÍTIO ION	92
TIPOS DE BATERIAS DE LÍTIO-ÍON	93
PRINCIPAIS TIPOS DE ELETRODOS POSITIVOS	93
PRINCIPAIS TIPOS DE ELETRODOS NEGATIVOS.....	95
8. TIPOS DE BATERIAS DE LÍTIO-ÍON.....	96
ÓXIDO DE LÍTIO-COBALTO (LiCoO ₂) – LCO.....	96
ÓXIDO DE LÍTIO MANGANÊS (LiMn ₂ O ₄) – LMO	97
ÓXIDO DE LÍTIO NÍQUEL MANGANÊS COBALTO (LiNiMnCoO ₂) – NMC.....	98
FOSFATO DE LÍTIO FERRO (LiFePO ₄) – LFP.....	99
ÓXIDO DE LÍTIO NÍQUEL COBALTO ALUMÍNIO (LiNiCoAlO ₂) – NCA.....	102
TITANATO DE LÍTIO - LTO (Li ₄ Ti ₅ O ₁₂) – LTO.....	103
BATERIAS DE LÍTIO ÍON POLÍMERO (LIPO)	104
COMPARAÇÃO ENTRE AS BATERIAS DE LÍTIO ÍON.....	106
SELEÇÃO DAS BATERIAS DE LÍTIO ÍON.....	108

9. COMO USAR AS BATERIAS DE LÍTIO-ÍON	114
CARGA DAS BATERIAS DE LÍTIO ÍON.....	114
CARGA DAS BATERIAS DE LÍTIO FERRO	116
DESCARGA DAS BATERIAS DE LÍTIO ÍON	118
DESCARGA DAS BATERIAS DE LÍTIO FERRO.....	120
ARMAZENAGEM DAS BATERIAS DE LÍTIO ÍON	122
COMO DESCARTAR BATERIAS DE LÍTIO ÍON	123
ENVELHECIMENTO DAS BATERIAS DE LÍTIO-ÍON	124
ENVELHECIMENTO PELA IDADE DA BATERIA	125
ENVELHECIMENTO PELO NÚMERO DE CICLOS DE CARGA E DESCARGA	126
COMO PROLONGAR A VIDA DAS BATERIAS DE LÍTIO-ÍON	126
10. SEGURANÇA DAS BATERIAS DE LÍTIO-ÍON	130
VISÃO GERAL SOBRE A SEGURANÇA DAS BATERIAS DE LÍTIO ÍON	130
DISPOSITIVOS DE PROTEÇÃO INTEGRADOS À CÉLULA	133
DISPOSITIVOS DE PROTEÇÃO EXTERNOS À CÉLULA.....	136
TIPOS DE FALHAS NAS BATERIAS DE LÍTIO ÍON	136
FALHAS NÃO ENERGÉTICAS.....	137
FUGA TÉRMICA	138
FALHAS ENERGÉTICAS	140
ABUSO TÉRMICO	141
ABUSO MECÂNICO	141
ABUSO ELÉTRICO	142
DEFEITOS DE FABRICAÇÃO	144
CICLOS DE VIDA DE CÉLULAS DE LÍTIO ÍON.....	146
TRANSPORTE SEGURO DAS BATERIAS DE LÍTIO	148
ARMAZENAGEM SEGURA	150
NORMAS DE SEGURANÇA	151
ORIENTAÇÕES BÁSICAS DE SEGURANÇA	153
PARTE 4.....	154
PROJETO DE PACKS DE BATERIAS	154
11. NOÇÕES BÁSICAS SOBRE PACKS DE BATERIAS	155
MAIOR TENSÃO – LIGAÇÕES EM SÉRIE	157
MAIOR CAPACIDADE – LIGAÇÕES EM PARALELO.....	160
SELEÇÃO DE CÉLULAS LIGADAS EM PARALELO.....	162
LIGAÇÕES EM PARALELO E EM SÉRIE	166
12. PROJETO DE PACKS DE BATERIAS – CÁLCULOS	169
CÁLCULO DA TENSÃO DO PACK DE BATERIAS.....	169
CÁLCULO DA CORRENTE DO PACK DE BATERIAS	169
CÁLCULO DA CAPACIDADE DO PACK DE BATERIAS.....	170
POTÊNCIA DO PACK DE BATERIAS	170
CÁLCULO DA ENERGIA DA BATERIA.....	171
CÁLCULO DO TEMPO DE DURAÇÃO DA ENERGIA DO PACK DE BATERIAS	172
CÁLCULO DA CORRENTE MÉDIA EM FUNÇÃO DO CICLO DE TRABALHO.....	173
QUE FIO USAR NUM PACK DE BATERIAS	174
13. COMPONENTES DE PROTEÇÃO DE PACKS DE BATERIAS	176

PROTEÇÃO DE PACKS DE BATERIAS COM POLYSWITCH - PTC.....	177
PROTEÇÃO DE PACKS DE BATERIAS COM NTC OU TERMISTORES	179
PROTEÇÃO DE PACKS DE BATERIAS COM TERMOSTATOS	180
PROTEÇÃO DE PACKS DE BATERIAS COM FUSÍVEIS.....	181
PROTEÇÃO DE PACKS DE BATERIAS COM FUSÍVEIS TÉRMICOS	184
PROTEÇÃO DE PACKS DE BATERIAS – PLACAS BMS/PCM E BALANCEAMENTO.....	186
ESPECIFICAÇÃO DE PLACAS PCM	194
14. EXEMPLO DE PROJETO DE PACK DE BATERIAS.....	196
TESTES EM PACKS DE BATERIA	202
GLOSSÁRIO	208
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	215
SOBRE A S.T.A.	217



Figura 1 – Sistema de armazenagem de energia de grande porte com baterias de lítio íon

As baterias de lítio têm aumentado sua importância na vida de todos. Hoje dependemos cada vez mais da utilização de equipamentos portáteis alimentados por baterias.

Existem no mercado dois tipos de baterias de lítio:

- **Primárias (não recarregáveis)**
- **Secundárias (recarregáveis)**

As baterias primárias não são recarregáveis e são mais conhecidas como pilhas. As baterias secundárias são recarregáveis.

Este livro tem o objetivo de divulgar informações sobre baterias de lítio, sejam primárias ou recarregáveis, para o usuário comum e para os engenheiros e projetistas que tem que escolher a melhor bateria para sua aplicação.

Nos últimos 20 anos, a tecnologia de baterias de lítio evoluiu drasticamente, proporcionando uma densidade de energia cada vez maior, mais energia por volume, vida útil de ciclo mais longa e maior confiabilidade. O lítio é o mais leve de todos os metais, tem o maior potencial eletroquímico e fornece a maior energia específica por peso.

As baterias de lítio estão agora alimentando uma ampla gama de dispositivos elétricos e eletrônicos, incluindo computadores portáteis, telefones celulares, ferramentas elétricas, sistemas de telecomunicações e novas gerações de carros elétricos e veículos.

Ao lado das vantagens, as novas tecnologias muitas vezes trazem novos desafios e riscos. Relatórios sobre incidentes com baterias de lítio pegando fogo tornaram o público bem ciente de seu perigo de inflamabilidade e desencadearam pesquisas maciças sobre os mecanismos que iniciam tais eventos e as maneiras de se fazer operação, armazenamento, transporte e reciclagem mais segura.

Todas as informações deste livro são baseadas nas baterias disponíveis atualmente no mercado. Porém existem muitos estudos, sendo feitos nos laboratórios, principalmente para baterias de lítio íon. Já existem, em fase experimental, baterias com características bem superiores ao que podemos comprar hoje no mercado.

Baterias que podem ser recarregadas muito rapidamente e que podem armazenar grande quantidade de energia. Essa tecnologia certamente estará disponível em alguns anos.

As baterias que podemos comprar e usar hoje foram desenvolvidas há anos, às vezes há décadas. O processo de desenvolvimento e comercialização dessas baterias é sempre demorado até que cheguem às nossas mãos.

Em poucos anos as propriedades das baterias descritas nesse livro, provavelmente começarão a mudar e melhorar. Pode ser nos próximos cinco anos, ou pode ser nos próximos vinte anos.

Com esse livro, esperamos estar fornecendo aos nossos leitores as informações técnicas necessárias para que possam fazer a melhor escolha quando forem especificar, comprar ou usar uma bateria de lítio.

Este livro possui quatro partes:

- **Conceitos básicos sobre baterias**
- **Baterias primárias de lítio (não recarregáveis)**
- **Baterias recarregáveis de lítio**
- **Projeto de packs de baterias de lítio**

A primeira parte apresenta conceitos básicos sobre baterias em geral e sobre eletricidade e é dirigida principalmente àqueles que não têm familiaridade com baterias ou com noções básicas de eletricidade.

A segunda parte refere-se a baterias de lítio não recarregáveis, com ênfase nos modelos mais vendidos no mercado brasileiro, ou seja, baterias de lítio-dióxido de manganês - LiMnO_2 - 3 volts, de lítio-cloreto de tionila - LiSOCl_2 - 3,6 volts e baterias de lítio-bissulfeto de ferro - LiFeS_2 - 1,5 volts.

A terceira parte é dedicada a baterias de lítio íon recarregáveis, principalmente as baterias de lítio cobalto, lítio manganês e lítio fosfato de ferro.

A quarta parte apresenta conceitos sobre o projeto e montagem de packs com baterias de lítio, incluindo as placas de proteção e gerenciamento de baterias.



Sistemas e Tecnologia Aplicada

www.sta-eletronica.com.br

PARTE 1

CONCEITOS BÁSICOS SOBRE BATERIAS



1. NOÇÕES BÁSICAS SOBRE BATERIAS

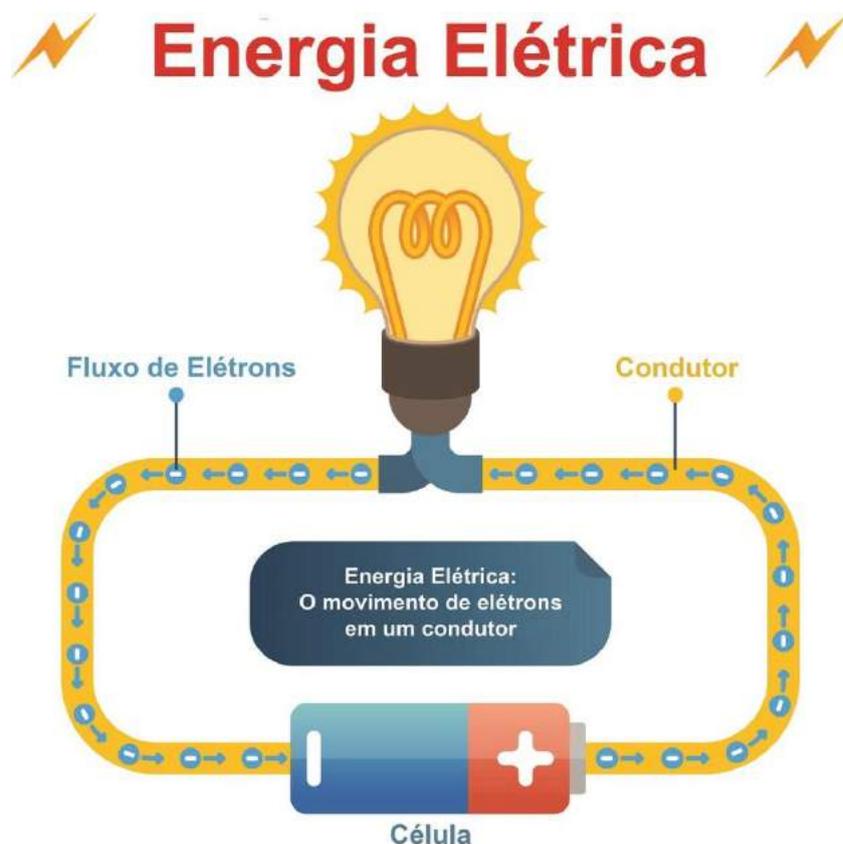


Figura 2 – Circuito elétrico elementar com bateria e lâmpada

O QUE É UMA BATERIA

Uma bateria é um dispositivo que converte a energia química contida em seus materiais ativos, diretamente em energia elétrica, por meio de uma reação eletroquímica de oxidação e redução.

Essa reação química envolve a transferência de elétrons dos materiais que se oxidam (perdem elétrons) para os materiais que se reduzem (ganham elétrons) através de um circuito elétrico.

No caso de um sistema recarregável, a bateria é recarregada por uma inversão desse processo.

DIFERENÇA ENTRE BATERIA E CÉLULA

Embora o termo "bateria" seja frequentemente utilizado, a unidade eletroquímica básica é a "célula".

Uma bateria consiste em uma ou mais dessas células, conectadas em série ou em paralelo, ou ambos, dependendo da voltagem e capacidade de saída desejada.

Em algumas publicações, considera-se que o termo "bateria" refere-se a duas ou mais células.

Popularmente considera-se "bateria" e não a "célula" como o produto que é vendido ou fornecido ao usuário, podendo conter uma ou mais células.

A própria célula pode ser construída em muitas formas e configurações: cilíndrica, botão, plana e prismática.

As células são seladas de maneira a evitar vazamento. Algumas células possuem dispositivos de ventilação ou outros meios para permitir que os gases acumulados escapem.

COMPONENTES BÁSICOS DE UMA CÉLULA

A célula consiste em quatro componentes principais:

- **Ânodo**
- **Cátodo**
- **Eletrólito**
- **Separador**

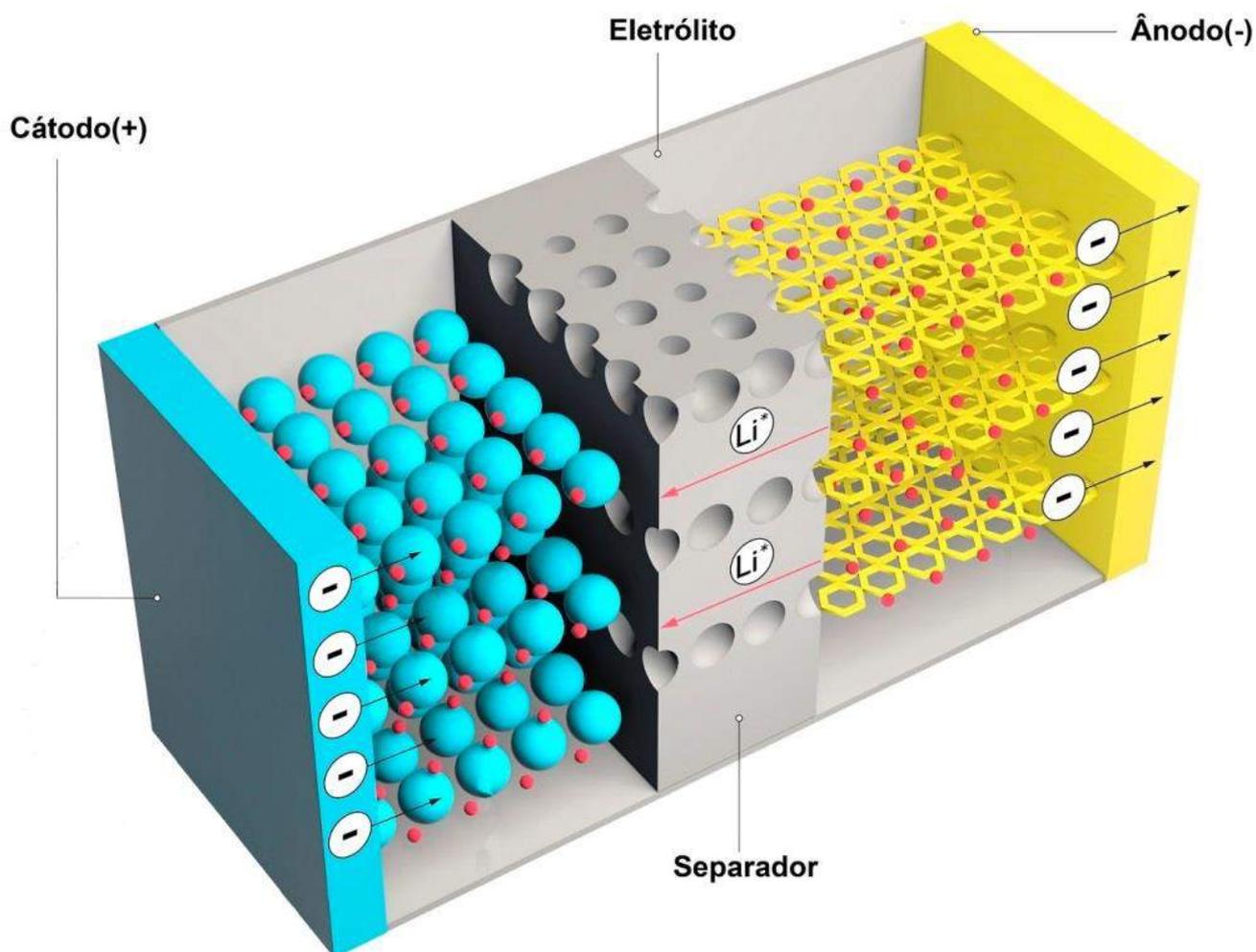


Figura 3 - Componentes básicos de uma célula

O ânodo ou eletrodo negativo fornece os elétrons para o circuito externo e é oxidado durante a reação eletroquímica.

O cátodo ou eletrodo positivo (eletrodo oxidante), aceita elétrons do circuito externo e é reduzido durante a reação eletroquímica.

O eletrólito (condutor iônico) fornece o meio para transferência de carga, como íons, dentro da célula entre o ânodo e o cátodo.

O eletrólito é tipicamente um líquido, tal como água ou outros solventes com sais dissolvidos, ácidos ou alcalinos, para permitir a condutividade iônica.

Algumas baterias utilizam eletrólitos sólidos, que são condutores na temperatura de funcionamento da célula.

Além desses três elementos principais, as baterias possuem separadores, recipientes, terminais e em alguns casos elementos de proteção tais como fusíveis e placas eletrônicas de proteção.

FUNCIONAMENTO DA CÉLULA ELETROQUÍMICA

O funcionamento de uma célula durante a descarga é mostrado esquematicamente na figura 4.

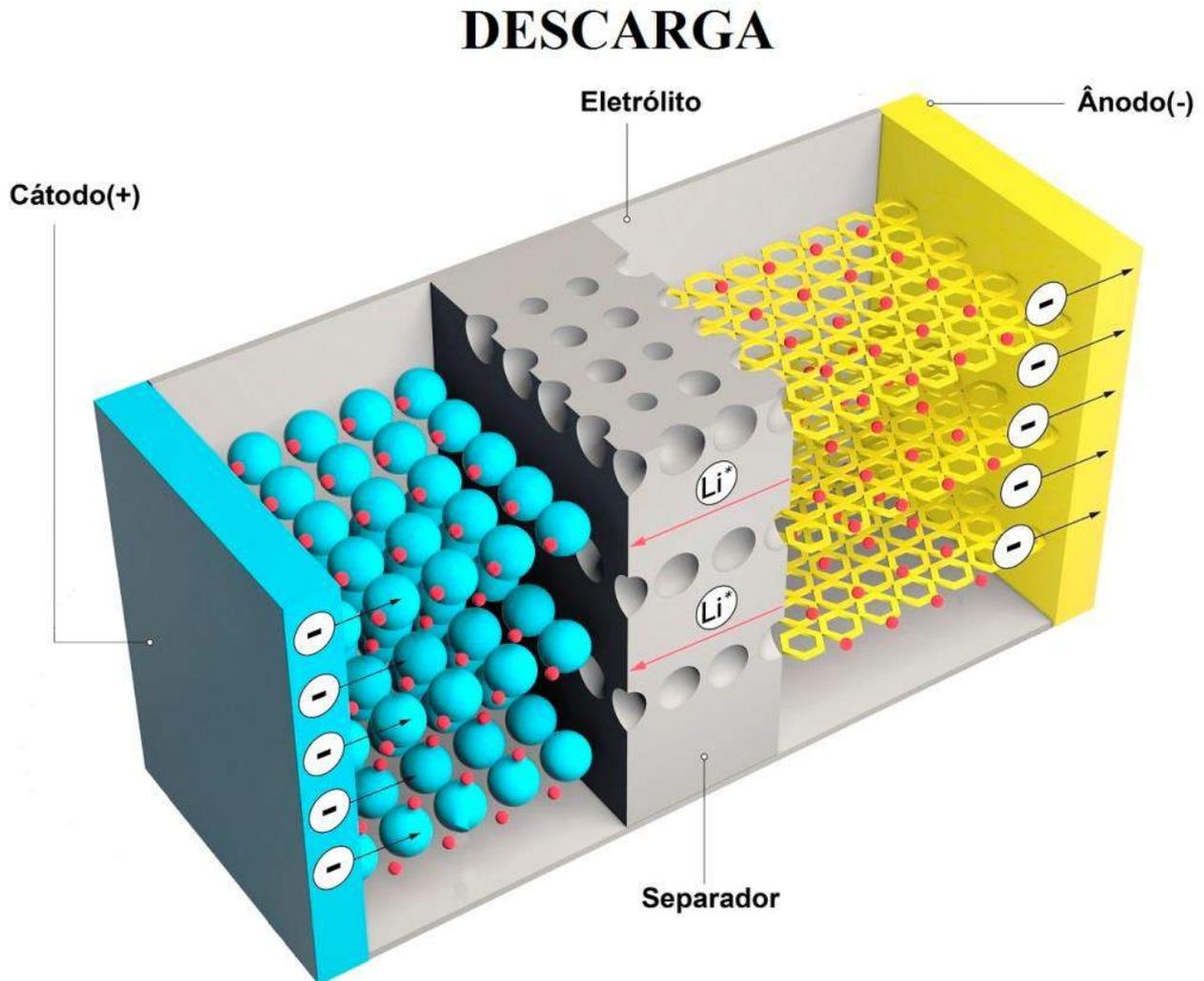


Figura 4 – Esquema eletroquímico na descarga

Quando a célula está conectada a uma carga externa, os elétrons fluem do ânodo, que é oxidado, através da carga externa para o cátodo, onde os elétrons são aceitos e o cátodo é reduzido.

O circuito elétrico é completado no eletrólito pelo fluxo de ânions (íons negativos) para o ânodo e cátions (íons positivos) para o cátodo.

Durante a recarga de uma célula recarregável, o fluxo de corrente é invertido e a oxidação ocorre no eletrodo positivo e a redução no eletrodo negativo, conforme ilustrado na figura 5.

Os melhores materiais de ânodo e cátodo são aqueles que são mais leves, fornecem uma tensão elevada e permitem a construção de baterias de alta capacidade.

Na prática, a escolha dos materiais das baterias, envolve a reatividade desses materiais com outros componentes da célula, dificuldade de manuseio, alto custo e outras características.

Em um sistema prático, o ânodo é selecionado com as seguintes propriedades: eficiência como agente redutor, alta saída de energia (Ah/g), boa condutividade, estabilidade, facilidade de fabricação e baixo custo.

Como material de ânodo é usado principalmente metais. Em pilhas comuns usa-se o zinco. O lítio, que é um metal mais leve, tem se tornado uma ótima opção, desde que utilizado com eletrólitos adequados e com projetos de células que foram desenvolvidos para controlar sua atividade.

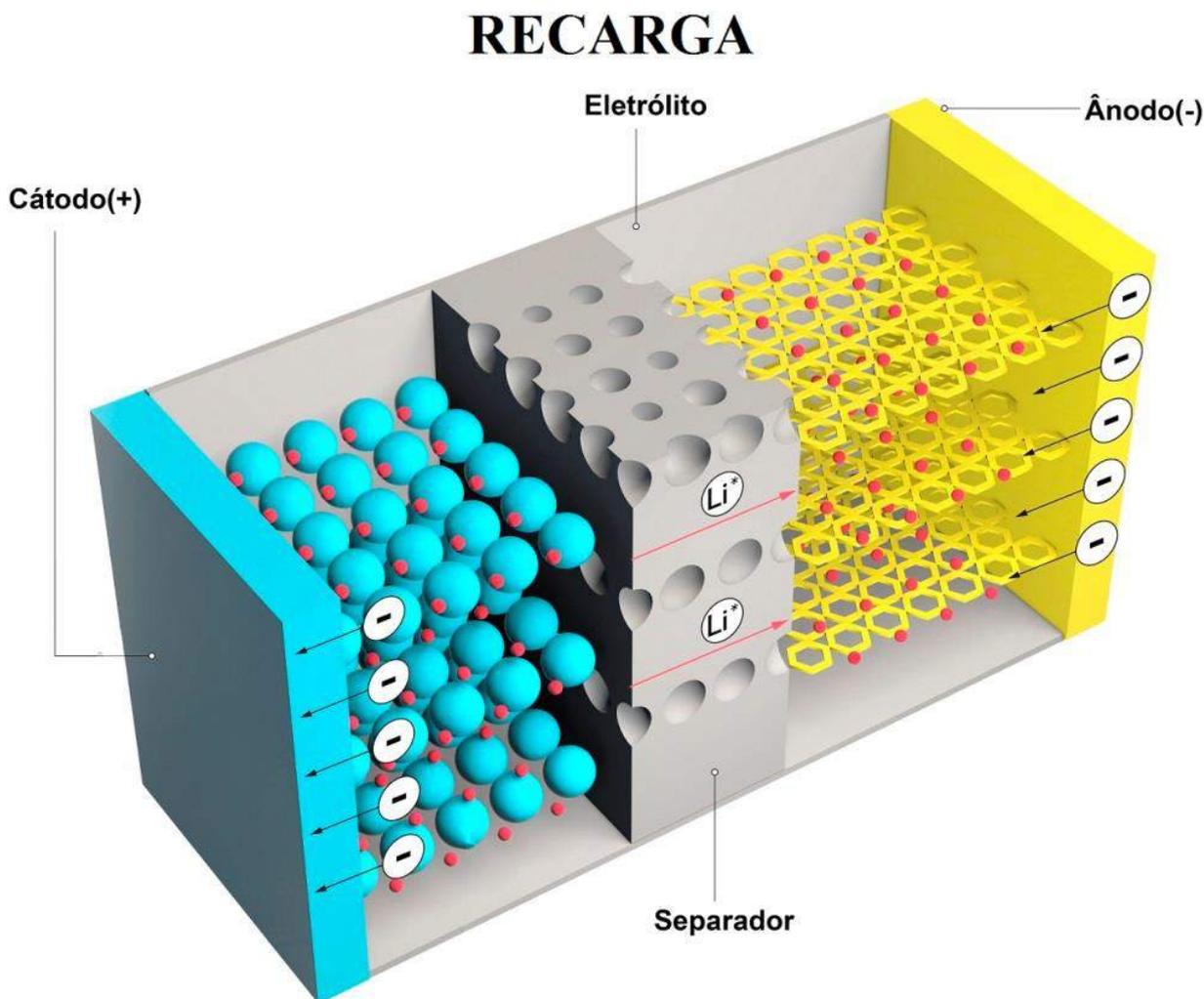


Figura 5 – Esquema eletroquímico na recarga

O cátodo deve ser um agente oxidante eficiente, ser estável quando em contato com o eletrólito e ter uma tensão de trabalho útil. O oxigênio pode ser usado diretamente do ar ambiente que está sendo extraído na pilha, como na bateria do zinco/ar.

No entanto, a maioria dos materiais catódicos comuns são óxidos metálicos. Outros materiais catódicos são usados para sistemas de bateria especiais.

O eletrólito deve ter boa condutividade iônica, mas não pode ser eletricamente condutor, pois isso causaria curto-circuito interno na bateria.

Outras características importantes são a não reatividade com os materiais do eletrodo, pouca mudança nas propriedades com mudança na temperatura, segurança na manipulação e baixo custo.

Fisicamente os eletrodos de ânodo e cátodo são eletricamente isolados na célula para evitar curtos-circuitos internos, mas são cercados pelo eletrólito.

Em projetos práticos de baterias, um material separador é usado para separar mecanicamente os eletrodos do ânodo e do cátodo. O separador, no entanto, é permeável ao eletrólito, a fim de manter a condutividade iônica desejada. A célula em si pode ser construída em muitas formas e configurações - cilíndrica, botão, plana e prismática - e os componentes celulares são projetados para acomodar a forma específica da célula. As células são seladas de várias maneiras para evitar vazamentos.

Algumas células são fornecidas com dispositivos de ventilação ou outros meios para permitir que gases acumulados escapem. Caixas ou recipientes adequados, meios para conexão e terminais são adicionados para concluir a fabricação da célula.

CLASSIFICAÇÃO DAS CÉLULAS E BATERIAS

As células eletroquímicas e baterias são identificadas como primárias ou secundárias, dependendo de sua capacidade de serem recarregadas eletricamente.

- **PRIMÁRIAS – NÃO RECARREGÁVEIS**
- **SECUNDÁRIAS - RECARREGÁVEIS**



Figura 6 – Baterias primárias - não recarregáveis

Células ou baterias primárias não podem ser recarregadas e, portanto, são descarregadas uma única vez e então descartadas. A bateria primária é uma fonte conveniente, geralmente barata e leve de energia para dispositivos eletrônicos e elétricos portáteis, iluminação, equipamento fotográfico, brinquedos, backup de memória e uma série de outras aplicações.

As vantagens gerais das baterias primárias são uma boa vida útil, alta densidade de energia com baixas ou moderadas taxas de descarga e facilidade de uso.

Embora grandes baterias primárias de alta capacidade sejam usadas em aplicações militares, sinalização ou outras aplicações de maior porte, a grande maioria das baterias primárias são as baterias do tipo botão, cilíndricas e as prismáticas de 9V.

Células ou baterias secundárias ou recarregáveis podem ser recarregadas eletricamente, após a descarga, retornando à sua condição original. A recarga é feita passando a corrente através delas na direção oposta à da corrente de descarga.



Figura 7 – Baterias Secundárias - recarregáveis

São dispositivos de armazenamento de energia elétrica e são conhecidos também como acumuladores.

As baterias secundárias são usadas em sistemas de energia de emergência (nobrek), sistemas automotivos e aeronáuticos, veículos elétricos ou híbridos, em equipamentos eletrônicos portáteis, ferramentas elétricas, etc.

As baterias secundárias, por serem recarregáveis, costumam ser bem mais econômicas que as baterias primárias ou não recarregáveis. As baterias recarregáveis também costumam ser a melhor escolha em aplicações que exigem consumo de energia elevado, o qual não se consegue com a capacidade das baterias primárias.

As baterias secundárias são caracterizadas, além de sua capacidade de serem recarregadas, pela alta densidade de potência, alta taxa de descarga, curvas de descarga plana e bom desempenho em baixa temperatura.

Sua densidade de energia é geralmente mais baixa do que aquela das baterias primárias. Sua retenção de carga também é mais pobre do que a da maioria das baterias primárias, embora a capacidade da bateria secundária que é perdida possa ser restaurada a partir da recarga.

PRINCIPAIS PARÂMETROS ELÉTRICOS DAS BATERIAS

As baterias possuem alguns parâmetros básicos que determinam o seu desempenho:

- **Corrente Elétrica**
- **Tensão Elétrica ou Voltagem**
- **Capacidade**
- **Taxa C**
- **Resistência Interna**
- **Potência**
- **Energia**

Muitos usuários de baterias não têm conhecimento de eletricidade. Para aqueles que não conhecem os conceitos básicos de eletricidade iremos descrever resumidamente o que cada um desses parâmetros representa e como influenciam no desempenho das baterias.

CORRENTE ELÉTRICA

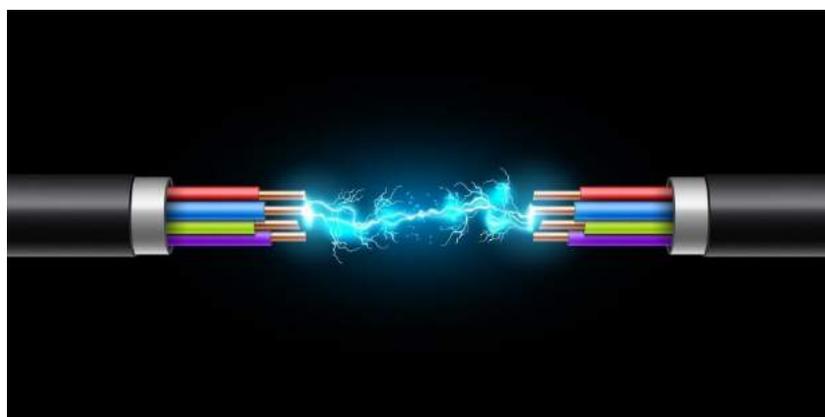


Figura 8 – Corrente elétrica

Corrente elétrica, é um movimento ordenado de cargas elétricas dentro de um fio de metal. É semelhante a uma corrente de água dentro de uma mangueira. A corrente elétrica é medida em Ampère – abreviada por A. Um miliampère é igual a um Ampère dividido por 1000 (abreviado por mA).

TENSÃO ELÉTRICA

Uma corrente para se estabelecer em um fio, precisa de uma força externa, ou seja, de algum tipo de ação externa que “empurre” as cargas elétricas e as coloque em movimento, vencendo a resistência dos

fios e da carga elétrica. Fazendo uma comparação com um sistema de água, para que haja circulação de água, é necessária uma pressão. Essa pressão vem da caixa de água. É o peso da água que faz a água circular.

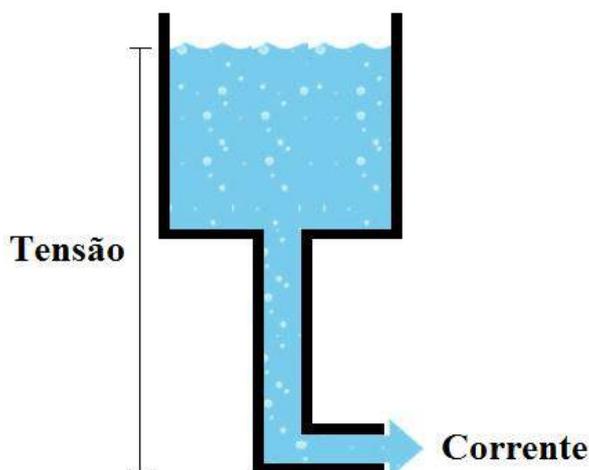


Figura 9 – Tensão elétrica

Essa pressão externa ou força externa é denominada tensão elétrica ou voltagem. O equipamento que gera essa força ou pressão externa chama-se gerador.

Uma bateria nada mais é do que um gerador elétrico. A bateria gera tensão elétrica. A tensão elétrica é medida em Volts – abreviada por V.

Quando uma carga (receptor) é ligada na bateria, a tensão da bateria provoca uma corrente. Essa carga pode ser uma lâmpada, um telefone sem fio, um celular. A corrente que vai circular depende da tensão e da carga.

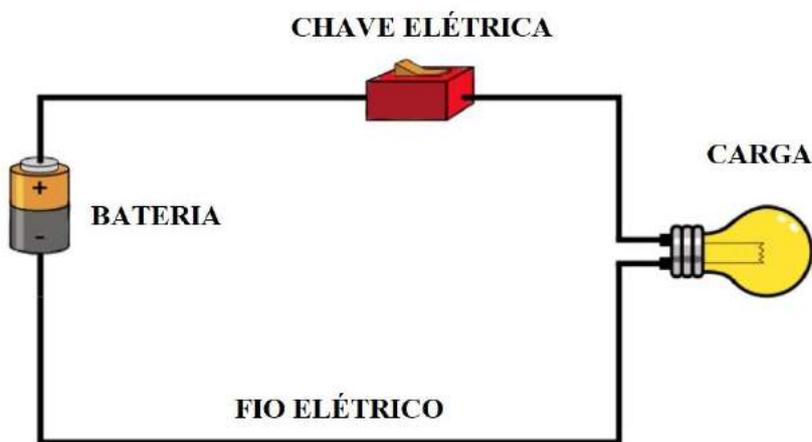


Figura 10 - Circuito elétrico básico

As tensões usuais para os principais tipos de baterias primárias são:

- **Baterias de zinco carbono – 1,5V**
- **Baterias alcalinas – 1,5V**
- **Baterias de lítio-dióxido de manganês – LiMnO_2 – 3V**
- **Baterias de lítio-cloreto de tionila – LiSOCl_2 – 3,6V**
- **Baterias de lítio-bissulfeto de ferro – LiFeS_2 – 1,5V**

As tensões usuais para os principais tipos de baterias recarregáveis são:

- Baterias de NiCd – 1,2V
- Baterias de NiMh – 1,2V
- Baterias de chumbo-ácido – 2, 4, 6 ou 12V
- Baterias de Lítio íon – 2,8V - 3,2V - 3,6V ou 3,7V

CAPACIDADE

A capacidade de uma bateria é a corrente que se pode tirar de uma bateria num dado período de tempo ou em outras palavras, quanto maior é a capacidade da bateria, maior é a energia que se pode tirar dela. Mede-se em ampère-hora (Ah) ou miliampère-hora (abreviada mAh).

Por exemplo, uma bateria de 1.300 mAh pode alimentar uma carga com 65 mA durante 20 horas ($65 \text{ mA} \times 20 \text{ horas} = 1.300 \text{ mAh}$). Da mesma forma, uma bateria de 1.300 mAh pode alimentar uma carga com 13 mA durante 100 horas ($13 \text{ mA} \times 100 \text{ horas} = 1.300 \text{ mAh}$).

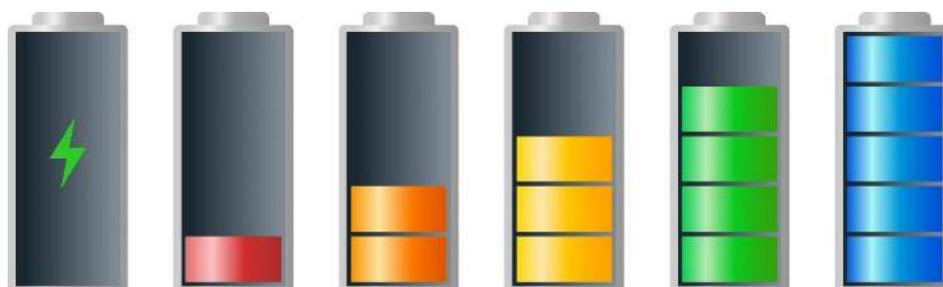


Figura 11 – Indicador e capacidade da bateria

TAXA C

A energia de uma bateria é liberada através da corrente elétrica que flui dela, para o equipamento que ela alimenta. A corrente elétrica que flui da bateria, é medida em ampères. Para baterias pequenas, a corrente é medida em miliampère.

A capacidade de uma bateria é proporcional à energia contida nela. Quanto maior a capacidade, quanto mais ampères hora ou miliampère hora, maior é a energia armazenada na bateria. A corrente de uma bateria, também pode ser medida através da Taxa C (ou C rate em Inglês). A letra C indica a capacidade da bateria. Uma corrente de 1C indica uma corrente que é numericamente igual à capacidade da bateria.

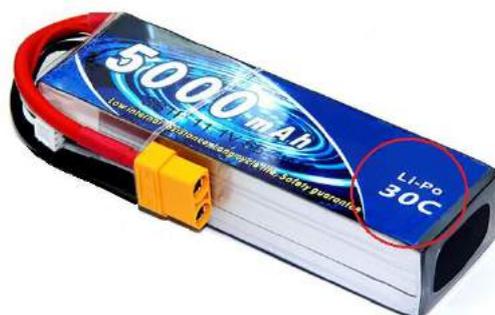


Figura 12 – Taxa C da bateria

Para uma bateria de 2000 miliampère hora, 1C, significa uma corrente de 2000 miliampère, ou 2 ampères. 2C, significa uma corrente de 4000 miliampère, ou 4 ampères. 10C, significa uma corrente de 20.000 miliampères ou 20 ampères, 20 C, significa uma corrente de 40.000 miliampères ou 40 ampères, e assim por diante. Os fabricantes informam quatro valores de taxa C para a bateria: carga padrão, carga máxima, descarga padrão e descarga máxima ou de pico. Quanto maior a taxa C de carga, mais rápida será a carga da bateria, quanto maior a taxa C de descarga, mais rápida será a descarga da bateria.

RESISTÊNCIA INTERNA

A tensão elétrica medida nos terminais de uma de uma bateria varia quando ela está em vazio e quando ela está alimentando uma carga. Em vazio a tensão é sempre maior do que em carga. Em carga a tensão nos terminais da bateria cai. Os efeitos desta queda de tensão são similares aos de uma resistência em série com a bateria a qual se denomina resistência interna da bateria. O circuito elétrico simplificado equivalente a uma bateria é mostrado na figura 13.

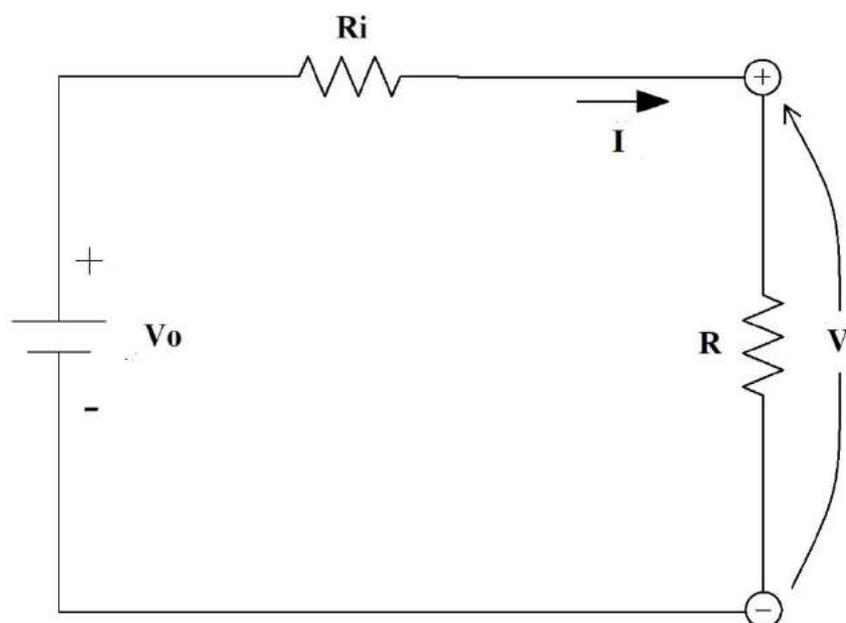


Figura 13 - Circuito elétrico equivalente da bateria (simplificado)

Neste circuito temos:

- **V_0 = Tensão da bateria em vazio**
- **V = Tensão nos terminais da bateria em carga**
- **R_i = Resistência interna da bateria**
- **R = Resistência da carga**
- **I = Corrente da bateria**

A Lei de Ohm estabelece uma relação entre as grandezas elétricas: tensão (V), corrente (I) e resistência (R) em um circuito. A partir de observações, concluiu-se que o valor de corrente que circula em um circuito pode ser encontrado dividindo-se o valor de tensão aplicada pela sua resistência.

Transformando esta afirmação em equação matemática, tem-se a Lei de Ohm:

$$I = V / R$$

Utiliza-se a Lei de Ohm para determinar os valores de tensão (V), corrente (I) ou resistência (R) em um circuito.

Fórmula básica: $I = V / R$

Fórmulas derivadas: $R = V / I$ e $V = R \times I$

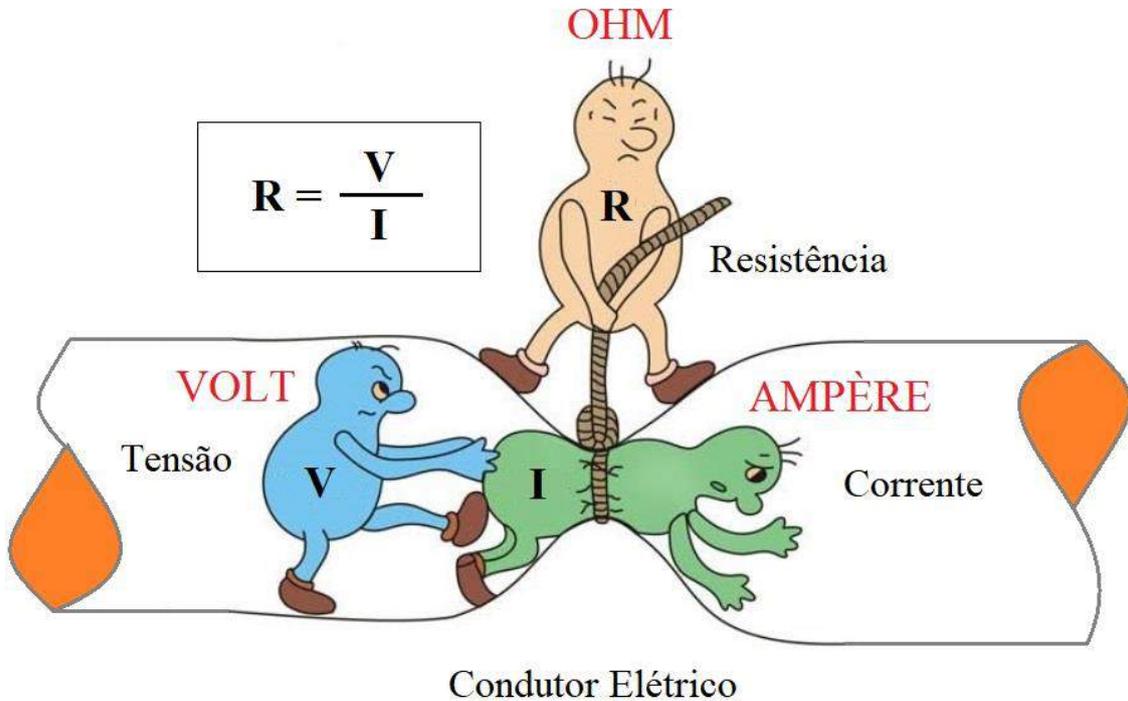


Figura 14 – Lei de Ohm

Para que as equações decorrentes da Lei de Ohm sejam utilizadas, os valores das grandezas elétricas devem ser expressos nas unidades fundamentais:

- Tensão em volts (V)
- Corrente em ampères (A)
- Resistência em ohms (Ω)

Como exemplo, no circuito da figura 13, se a tensão em vazio da bateria é de 3,7V, a resistência interna da bateria é 100m Ω (ou 0,1 Ω) e a resistência da carga é 0,9 Ω , teríamos a seguinte corrente:

$$I = V/R = 3,7 / (0,1 + 0,9) = 3,7 / 1 = 3,7A$$

A queda de tensão na resistência interna da bateria seria:

$$V = R \times I = 0,1 \times 3,7 = 0,37V$$

Ou seja, a tensão nos terminais da bateria estando em carga seria:

$$3,7V - 0,37V = 3,33V$$

POTÊNCIA ELÉTRICA

Potência é um conceito que está ligado à ideia de força, intensidade sonora, intensidade luminosa e mesmo gasto de energia num período de tempo.

Ao passar por uma carga instalada em um circuito, a corrente elétrica gerada pela bateria produz, entre outros efeitos, calor, luz e movimento.

Esses efeitos são denominados de trabalho.

O trabalho de transformação de energia elétrica em outra forma de energia é realizado pelo consumidor ou pela carga.

Ao transformar a energia elétrica, o consumidor realiza um trabalho elétrico.

O tipo de trabalho depende da natureza do consumidor de energia. Um aquecedor, por exemplo, produz calor; uma lâmpada, luz; um ventilador, movimento.

A capacidade de cada consumidor produzir trabalho, em determinado tempo, a partir da energia elétrica é chamada de potência elétrica.

Para dimensionar corretamente cada componente em um circuito elétrico é preciso conhecer a potência requerida.

Potência elétrica é a capacidade de realizar um trabalho numa unidade de tempo, a partir da energia elétrica.

A unidade de medida da potência elétrica é o watt, simbolizado pela letra W.

Um watt (1W) corresponde à potência desenvolvida no tempo de um segundo em uma carga, alimentada por uma tensão de 1V, na qual circula uma corrente de 1A.

A unidade de medida da potência elétrica watt tem múltiplos e submúltiplos:

$$1W = 1000 mW = 0,001 KW$$

A potência elétrica (P) de uma carga alimentada por uma bateria depende da tensão aplicada e da corrente que circula nos seus terminais. Matematicamente, essa relação é representada pela seguinte fórmula:

$$P = V \times I$$

Nessa fórmula V é a tensão entre os terminais da carga expressa em volts (V); I é a corrente circulante, expressa em ampères (A) e P é a potência dissipada expressa em watts (W).

Voltando ao exemplo da figura 13, a potência consumida na carga é de:

$$P = V \times I = 3,33 \times 3,7 = 12,32W$$

Além desta fórmula básica temos outras fórmulas derivadas:

$$I = P / V$$

$$V = P / I$$

Muitas vezes é preciso calcular a potência de um componente e não se dispõe da tensão e da corrente. Quando não se dispõe da tensão (V) não é possível calcular a potência pela equação $P = V \times I$. Esta dificuldade pode ser solucionada com auxílio da Lei de Ohm, ou seja,

$$V = R \times I$$

$$P = V \times I = R \times I \times I$$

Assim sendo, pode-se dizer que:

$$P = R \times I^2$$

No exemplo da figura 13, temos: $P = 0,9 \times 3,7 \times 3,7 = 12,32W$

Esta equação pode ser usada para determinar a potência de um componente. É conhecida como equação da potência por efeito joule, que é o efeito térmico produzido pela passagem de corrente elétrica através de uma resistência.

Ainda usando a lei de ohm, temos mais uma fórmula derivada para cálculo da potência:

$$P = V \times I = V \times V / R$$

$$P = V^2 / R$$

ENERGIA

A energia contida numa bateria pode ser calculada pela fórmula:

$$E = P \times T$$

Onde:

- **E = Energia (Wh)**
- **P = Potência (W)**
- **T = Tempo (h)**

A unidade de medida da energia elétrica é o Wh (watt hora). Uma bateria que é capaz de fornecer 10W por 1 hora tem uma energia de 10Wh. Se considerarmos que:

$$P = V \times I$$

Temos a seguinte fórmula para cálculo da energia:

$$E = P \times T = V \times I \times T$$

Se considerarmos que:

$$C = I \times T$$

Onde:

- **C = Capacidade (Ah)**
- **I = Corrente (A)**
- **T é o Tempo (h)**

Temos que:

$$E = V \times I \times T = V \times C$$

No exemplo da figura 13, se a bateria consegue manter a corrente de 3,7 A durante 2 horas, podemos calcular:

$$C = I \times T = 3,7 \times 2 = 7,4 \text{ Ah}$$

$$E = V \times C = 3,33 \times 7,4 = 24,64 \text{ Wh}$$

DIFERENÇA ENTRE CORRENTE E CAPACIDADE

Qual a diferença entre ampère (A), e ampère-hora (Ah)? Muitas pessoas confundem A com Ah. Ou seja, confundem a corrente da bateria e sua capacidade.

A energia elétrica produzida nas usinas hidrelétricas, nucleares, eólicas ou térmicas, chega até nós através da corrente que circula nas linhas de transmissão.

A corrente que passa num fio elétrico é medida em ampères. Quanto mais ampères, maior é a carga elétrica que passa no fio.

Por outro lado, o Ampère-hora é uma unidade de medida da capacidade da bateria que é proporcional à energia contida nela.

Por exemplo, uma bateria selada de chumbo-ácido que tem uma capacidade de 7 ampères-hora, é capaz de fornecer 0,35 A durante 20 horas, o que dá 7 A.h (0,35 A x 20 horas)

Mas ela também pode fornecer também 0,7 A por 10 horas (0,7 A x 10 horas = 7 A.h). Ou ainda, pode fornecer 1 A por 7 horas (1 A x 7 horas = 7 A.h). Ou ainda, pode fornecer 7 A por 1 hora (7 A x 1 hora = 7 A.h)

Em resumo, ampère é usado para medir correntes elétricas. Ampère-hora é usado para medir a capacidade da bateria.

2. FATORES QUE AFETAM O DESEMPENHO DA BATERIA

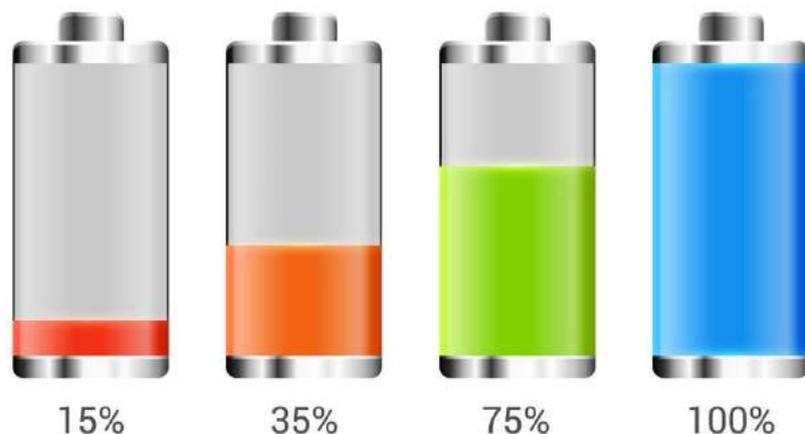


Figura 15 – Baterias similares com capacidades diferentes

As especificações técnicas divulgadas pelos fabricantes referem-se às condições específicas de teste, logo após a produção das baterias. Porém com o passar do tempo as características de desempenho da bateria são afetadas por diversos fatores.

Tem-se que considerar também que dentro de um lote produzido, haverá variações inerentes a qualquer processo de fabricação. Então devemos entender que as especificações fornecidas pelo fabricante são valores médios e que haverá variação dos parâmetros para mais ou para menos em cada espécime produzido. Os dados dos fabricantes devem ser consultados para obter características específicas de desempenho.

A seguir descreveremos os principais fatores que afetam o desempenho de uma bateria.

TENSÃO NOMINAL

A tensão nominal de uma bateria é aquela que é geralmente aceita como típica durante a operação como, por exemplo, para uma bateria alcalina, uma tensão de 1,5V.

A curva ideal de tensão de uma bateria está indicada na figura 16. Em condições ideais a tensão da bateria se manteria constante durante toda a descarga e cairia repentinamente quando a energia se esgotasse.

Na prática, porém as baterias têm perdas internas devidas à sua resistência interna.

Deve-se notar que assim que uma corrente é fornecida pela bateria, há uma perda de tensão na sua resistência interna. Com o passar do tempo, a tensão cai gradativamente descrevendo uma trajetória decrescente ilustrada pelas curvas 1 e 2 da figura 16.

Essas curvas variam dependendo do tipo de bateria. A forma da curva de descarga pode variar dependendo do sistema eletroquímico, das características de construção e de outras condições de descarga.

Por isso é necessário consultar as especificações técnicas fornecidas pelos fabricantes para verificar o comportamento da tensão da bateria durante a descarga.

Baterias com curvas típicas de descarga similares à curva 1 da figura 16 tem uma tensão mais constante durante a descarga, pois a curva possui um platô onde a tensão da bateria varia muito pouco.

Normalmente a bateria não deve ser descarregada até zero volt e por isso nem toda a capacidade disponível ampère-hora da bateria pode ser utilizada.

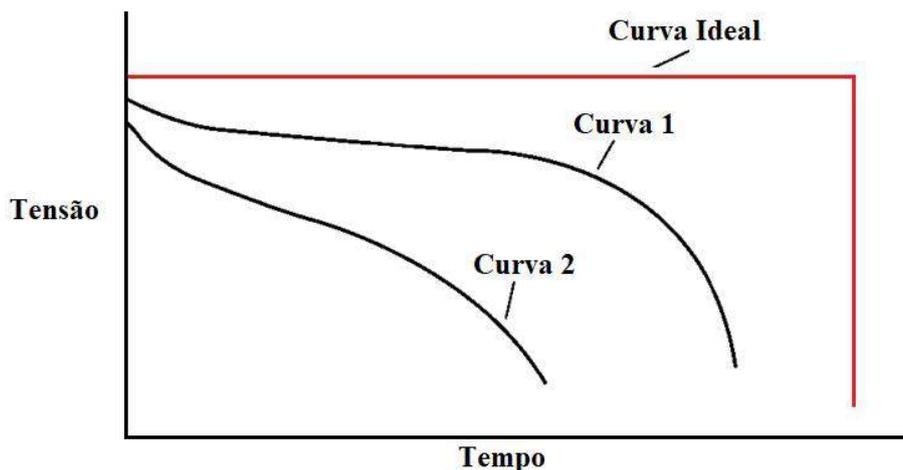


Figura 16 – Curvas de tensão da bateria em descarga

CORRENTE DE DESCARGA

Quanto maior for a corrente de descarga, maiores serão as perdas devidas à resistência interna da bateria. A figura 17, mostra curvas típicas de descarga em diferentes valores de corrente. Em correntes baixas (curva 2), as perdas internas são reduzidas e se consegue manter a tensão da bateria mais constante e se consegue extrair a máxima capacidade dela.

No entanto, com períodos de descarga muito longos, a deterioração química durante a descarga pode se tornar um fator que causa uma redução na capacidade. Com o aumento da corrente (curvas 3-5) a tensão de descarga diminui, a inclinação da curva de descarga torna-se mais pronunciada, e a vida útil, bem como a capacidade ampère-hora entregue, são reduzidas.

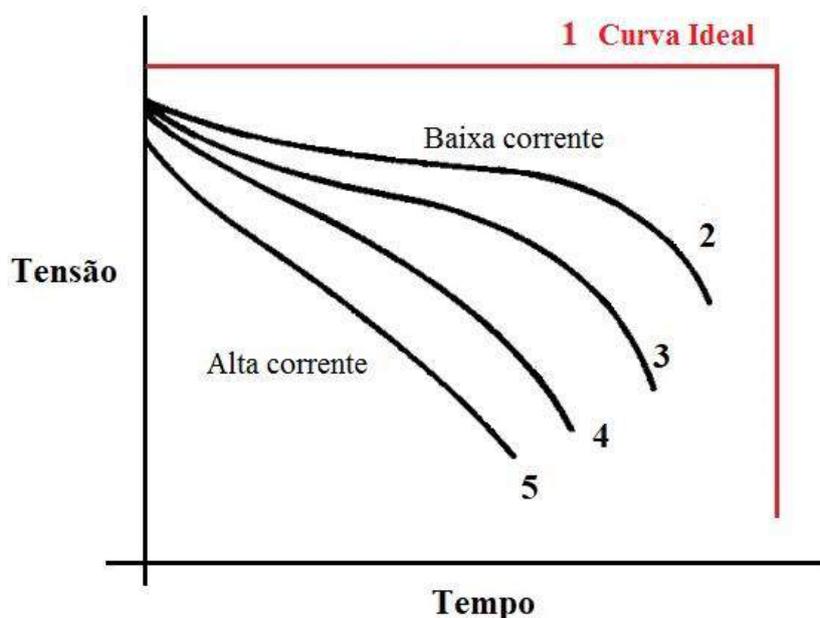


Figura 17 – Curvas de descarga em diferentes correntes

A figura 18 mostra uma bateria sendo descarregada em correntes progressivamente menores. Conforme a corrente vai diminuindo, a bateria percorre uma curva diferente de tensão. A curva 1 mostra a descarga com corrente mais elevada e a curva 4 mostra a curva com a menor corrente.

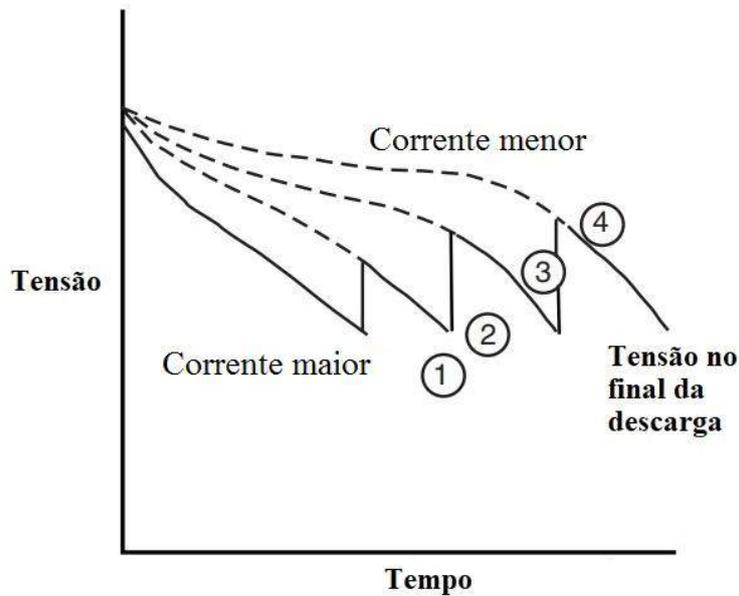


Figura 18 – Curvas de descarga em correntes progressivamente menores

MODO DE DESCARGA

Existem basicamente três modos de descarga:

- **Corrente constante**
- **Resistência ou carga constante**
- **Potência constante**

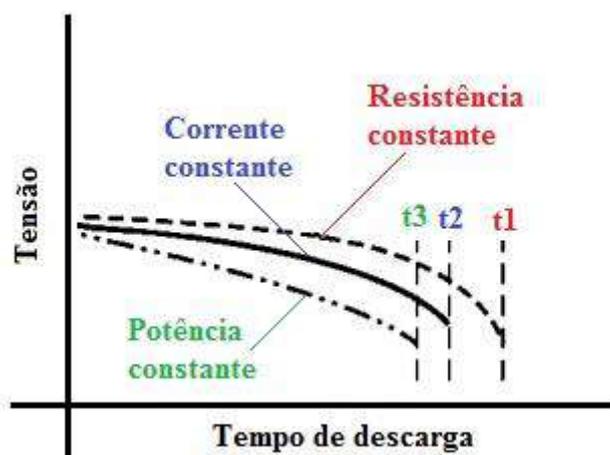


Figura 19 – Curvas de descarga em correntes progressivamente menores

O modo de descarga de uma bateria, entre outros fatores, pode ter um efeito significativo no desempenho da bateria.

No modo de corrente constante a corrente permanece constante durante a descarga.

No modo de resistência constante a resistência da carga permanece constante durante toda a descarga.

A corrente diminui durante a descarga proporcionalmente à diminuição da tensão da bateria.

No modo de potência constante a corrente aumenta durante a descarga à medida que a tensão da bateria diminui, descarregando assim a bateria em nível de potência constante.

Se deve notar nas curvas da figura 19 que o tempo de final de descarga (t_1 , t_2 e t_3) é diferente dependendo de como a bateria é descarregada.

TEMPERATURA DURANTE A DESCARGA

A temperatura em que a bateria é descarregada tem um efeito pronunciado em seu desempenho, ou seja, capacidade e tensão. Em temperaturas mais baixas há uma redução na atividade química no interior da bateria e isso afeta a produção de energia. Também há um aumento na resistência interna da bateria em temperaturas mais baixas. Isto é ilustrado na figura 20, que mostra descargas na mesma corrente, mas em temperaturas progressivamente crescentes da bateria (T1 a T4), com T4 representando uma descarga à temperatura ambiente normal.

A redução da temperatura de descarga resultará em uma redução da capacidade, bem como um aumento na inclinação da curva de descarga. Tanto as características específicas quanto o perfil de descarga variam para cada sistema de bateria, design e taxa de descarga, mas geralmente o melhor desempenho é obtido entre 20°C e 40°C. Em temperaturas mais elevadas, a resistência interna diminui, a tensão da descarga aumenta e, em consequência, a capacidade ampère-hora e a saída de energia normalmente aumentam também.

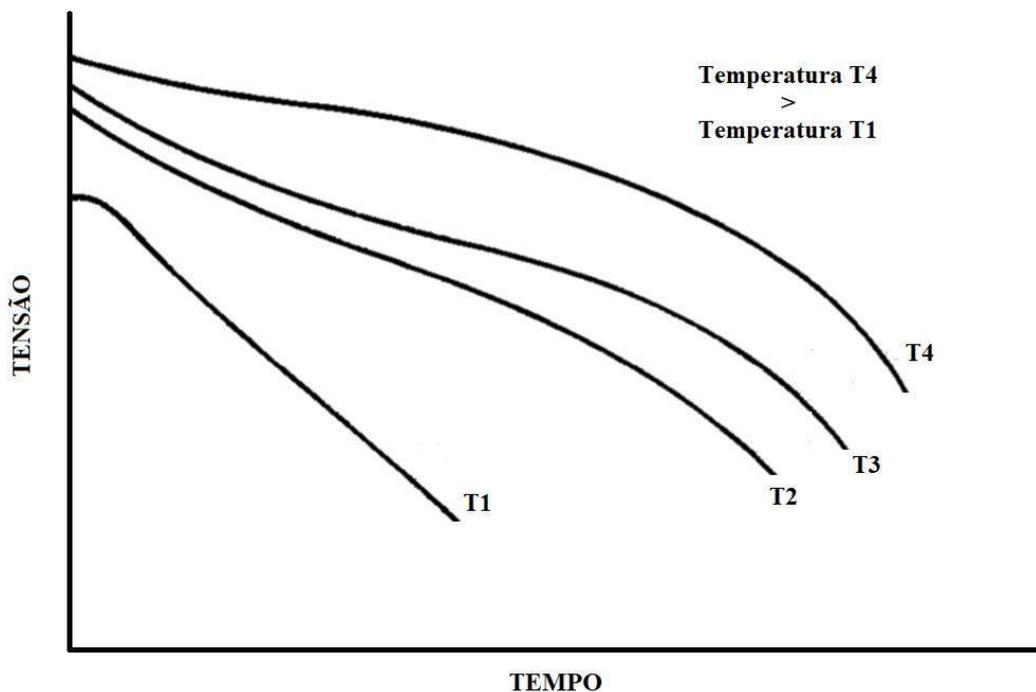


Figura 20 – Curvas de descarga em temperaturas diferentes

TIPO DE DESCARGA

Temos dois tipos de descarga:

- **Contínua**
- **Intermitente.**

Na descarga contínua, não há interrupção até que a bateria chegue à sua tensão mínima de trabalho.

Na descarga intermitente, a bateria é descarregada durante um período de tempo, após o qual a descarga é interrompida, colocando a bateria em estado de repouso ou pausa. Esse processo se repete inúmeras vezes até que a bateria chegue à sua tensão mínima de trabalho.

Durante a pausa após uma descarga, certas alterações químicas e físicas ocorrem, o que pode resultar em uma recuperação da tensão da bateria. Assim, a tensão de uma bateria, que caiu durante uma descarga pesada, vai subir após um período de descanso, dando uma curva de descarga em forma de dente de serra, como ilustrado na figura 21.

Isso pode resultar em um aumento na vida útil. No entanto, em pausas longas, as perdas de capacidade podem ocorrer devido à auto descarga da bateria. Esta melhoria, resultante da descarga intermitente, é geralmente maior após descargas em correntes mais altas.

Além da corrente de descarga, a recuperação da bateria depende de muitos outros fatores, como o sistema de bateria específico e características de construção, temperatura de descarga, tensão final e duração do período de recuperação.

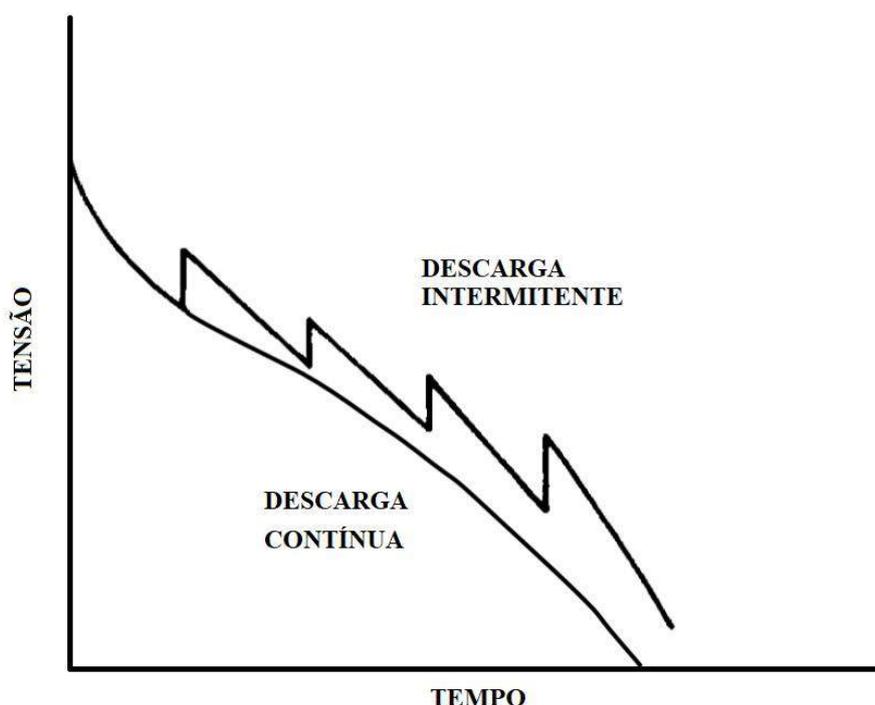


Figura 21 – Efeito da descarga intermitente na capacidade da bateria

CICLO DE TRABALHO

Boa parte dos equipamentos eletrônicos alimentados por baterias trabalham com um regime de corrente variável.

Por exemplo um rádio transceptor que tem corrente baixa na recepção e corrente elevada na transmissão.

A Figura 22 ilustra uma descarga típica de um rádio transceptor, descarregando a uma corrente mais baixa durante o modo de recepção e a uma corrente mais alta durante o modo de transmissão.

Deve-se notar que o equipamento para de funcionar quando a tensão de corte ou final é atingida sob a corrente de descarga mais alta, no modo transmissão (T1).

A corrente média não pode ser usada para determinar o tempo que a bateria consegue alimentar o equipamento.

Operar com duas ou mais correntes de descarga é típico da maioria dos equipamentos eletrônicos, devido às diferentes funções que eles devem executar durante o uso.

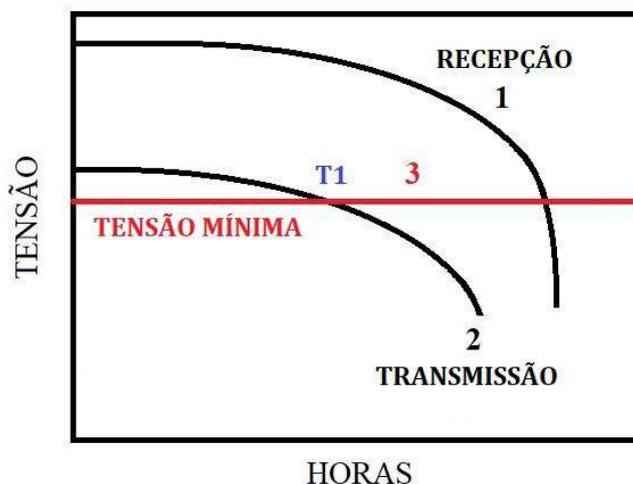


Figura 22 – Curva de tensão de rádio transceptor

Aplicações de telemetria onde o equipamento permanece em repouso consumindo uma corrente muito baixa e de tempos em tempos transmite dados, consumindo uma corrente elevada, são exemplos típicos de corrente variável na bateria.

A Figura 23 mostra a curva de tensão de uma bateria alcalina de 9V alimentando um equipamento de telemetria.

Quando o equipamento está em repouso, sem transmitir a tensão da bateria permanece acima de 9,4V. Durante a transmissão a tensão cai abaixo de 9,2V e retornando a 9,4V algum tempo após a transmissão cessar.

A extensão da queda de tensão depende do tipo da bateria. A queda de tensão de uma bateria com resistência interna menor será menor que uma com uma bateria com resistência interna maior.

A figura 24 mostra a resposta de uma bateria de Zinco-Carbono, com a tensão caindo bruscamente inicialmente e depois se recuperando.

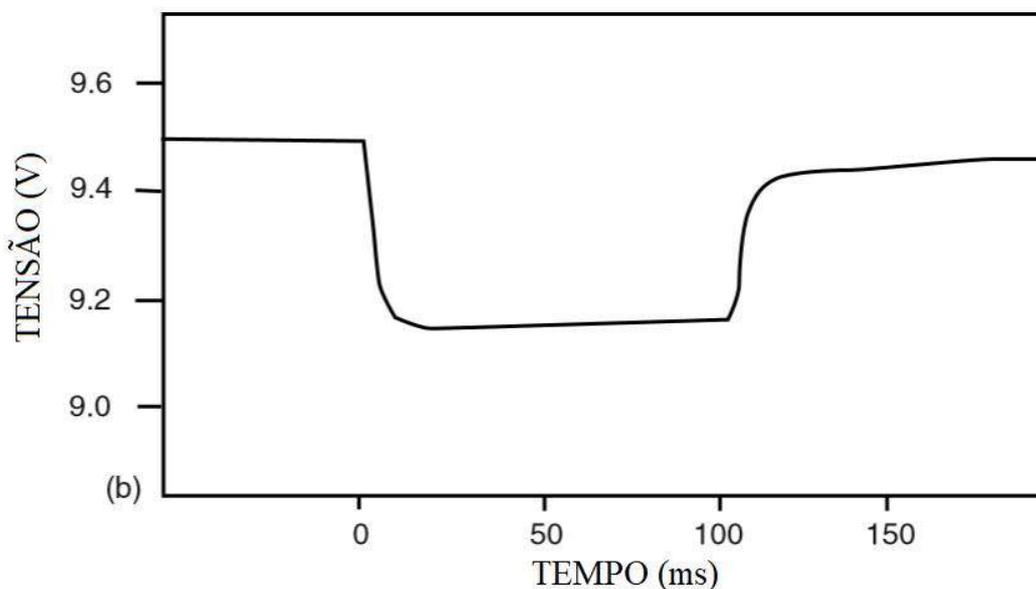


Figura 23 – Curva de tensão em equipamento de telemetria alimentado por bateria alcalina

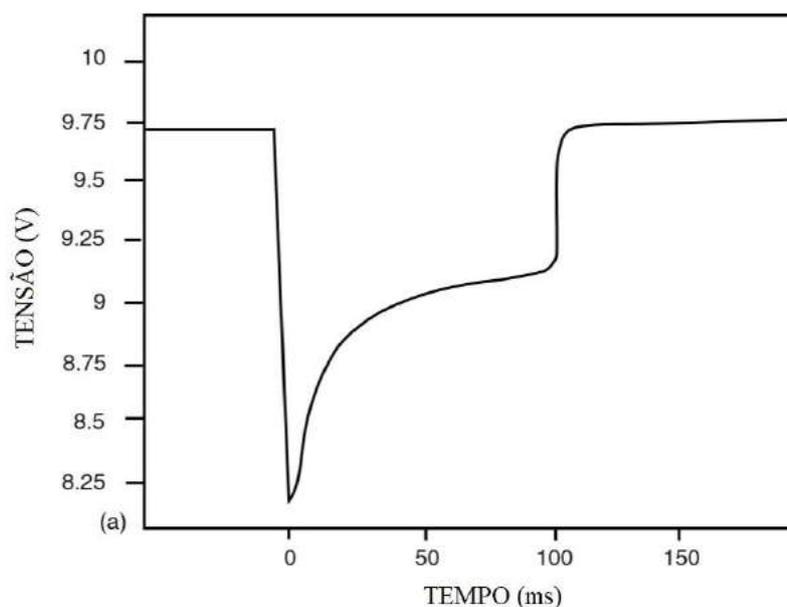


Figura 24 – Curva de tensão em equipamento de telemetria alimentado por bateria Zinco-Carbono

O tipo de resposta mostrado na figura 24, também é típico de baterias que desenvolveram um filme de proteção ou passivação em um eletrodo, com a tensão se recuperando à medida que o filme é quebrado durante a descarga (consulte o parágrafo sobre passivação de baterias de lítio cloreto de tionila no capítulo 5 deste livro). As características específicas, como sempre, dependem da química da bateria, do projeto, do estado de descarga e de outros fatores, relacionados à resistência interna da bateria no momento do pulso e durante o pulso.

REGULAÇÃO DE TENSÃO

Todo equipamento eletrônico deve operar satisfatoriamente quando alimentado com tensão acima da tensão mínima permitida, bem como quando alimentado com tensão abaixo da tensão máxima permitida.

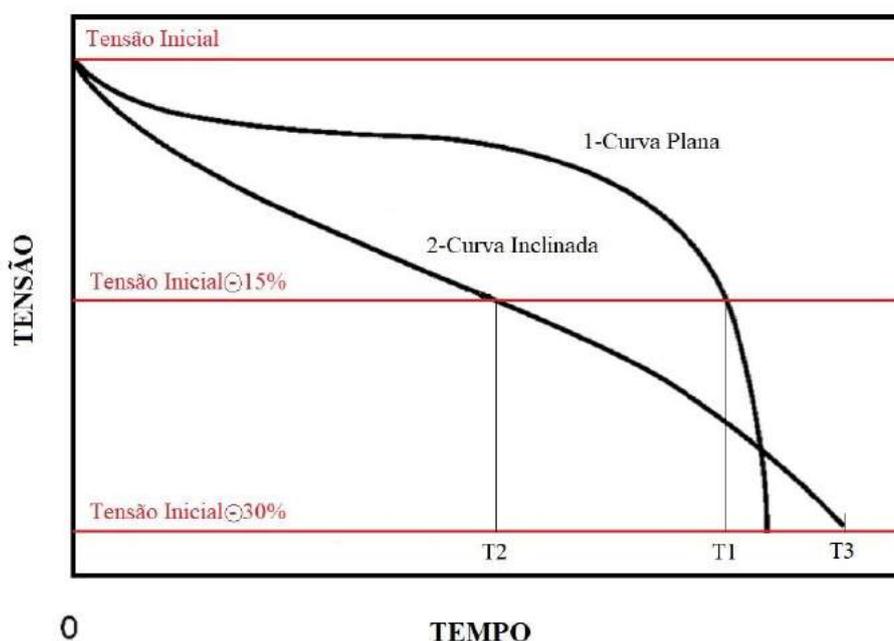


Figura 25 – Comparação das curvas de descarga plana e inclinada

A figura 25 mostra duas curvas típicas de tensão da bateria durante a descarga. O projeto do equipamento a ser alimentado por uma bateria deve levar em conta a curva de tensão da bateria durante a descarga. A figura 25 compara duas curvas típicas da descarga da bateria: a curva 1 descreve uma bateria que tem uma curva plana de descarga; a curva 2 retrata uma bateria com uma curva de descarga inclinada.

Nas aplicações em que o equipamento não pode tolerar uma variação ampla de tensão, como por exemplo, mais de 15%, a bateria com o perfil de descarga plana consegue alimentar o equipamento por mais tempo (T1) do que a bateria com perfil de descarga inclinado (T2).

Por outro lado, se o equipamento suporta uma variação de tensão maior, como por exemplo, 30% pode ser que a bateria com perfil de tensão inclinado consiga alimentar o equipamento por mais tempo (T3).

Em aplicações onde apenas uma gama de tensão estreita pode ser tolerada, a seleção da bateria pode ser limitada àquelas que têm um perfil de descarga plana.

Uma alternativa é usar um regulador de tensão para converter a tensão de saída variável da bateria em uma tensão constante da saída consistente com as exigências do equipamento. Porém neste caso perde-se um pouco da energia da bateria no regulador de tensão.

TENSÃO DE CARREGAMENTO

Da mesma forma que na descarga, durante o carregamento a tensão da bateria não permanece constante. Quando usamos baterias recarregáveis, o equipamento alimentado por ela deve ser capaz de suportar a elevação de tensão durante o processo de carregamento.

A figura 26 mostra as características de carga e descarga de uma bateria recarregável. A tensão específica e o perfil de tensão carga dependem de fatores como o tipo de bateria, taxa de carga, temperatura e assim por diante.

Quando está totalmente carregada, a bateria chega à sua tensão máxima. Quando totalmente descarregada a bateria chega à sua tensão mínima.

Por essa razão, ao se projetar um equipamento alimentado por bateria, deve-se considerar que o equipamento deve funcionar perfeitamente em toda a faixa útil de tensão da bateria, desde o valor máximo até o valor mínimo.

Caso o equipamento não consiga operar em toda a faixa de tensão fornecida, parte da energia armazenada na bateria será desperdiçada, por não poder ser usada pelo equipamento.

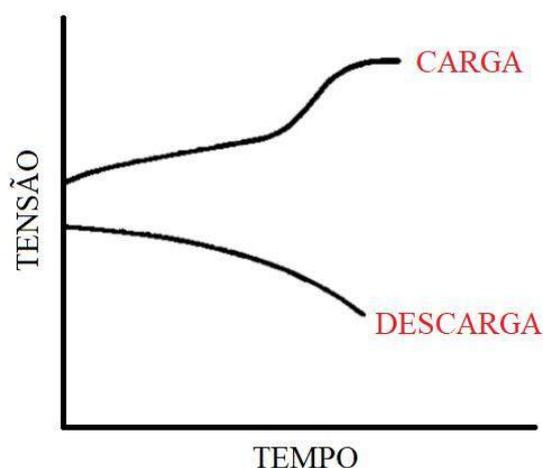


Figura 26 – Curvas de descarga e carga

Se uma bateria primária é usada em um circuito semelhante (por exemplo, como bateria de backup de memória), geralmente é aconselhável evitar que a bateria primária seja carregada acidentalmente, incluindo um diodo isolador ou protetor no circuito, como mostrado na figura 27(a). Dois diodos fornecem redundância no caso de um falhar. O resistor na figura 27(b) serve para limitar a corrente de carregamento no caso de o diodo falhar.

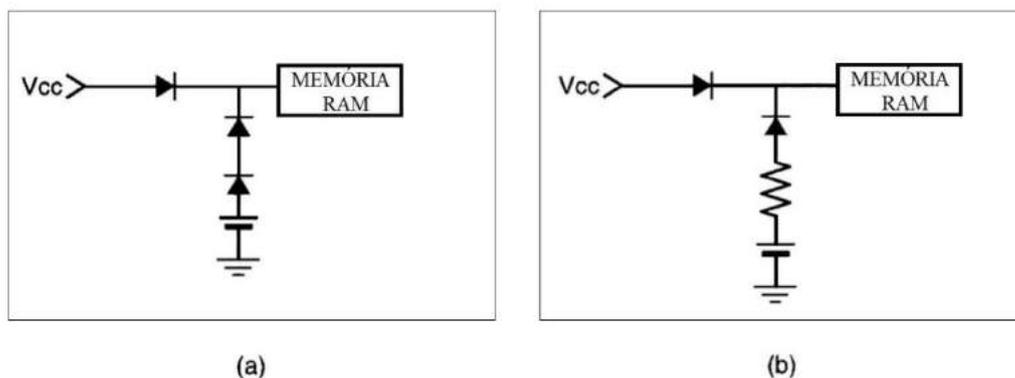


Figura 27 – Circuitos de proteção para baterias não recarregáveis

AUTO DESCARGA E ARMAZENAMENTO

As baterias são um produto perecível e deterioram-se em consequência da ação química que continua durante o armazenamento. O formato da bateria, o sistema eletroquímico, a temperatura e o período de armazenamento são fatores que afetam a vida útil ou a retenção de carga da bateria.

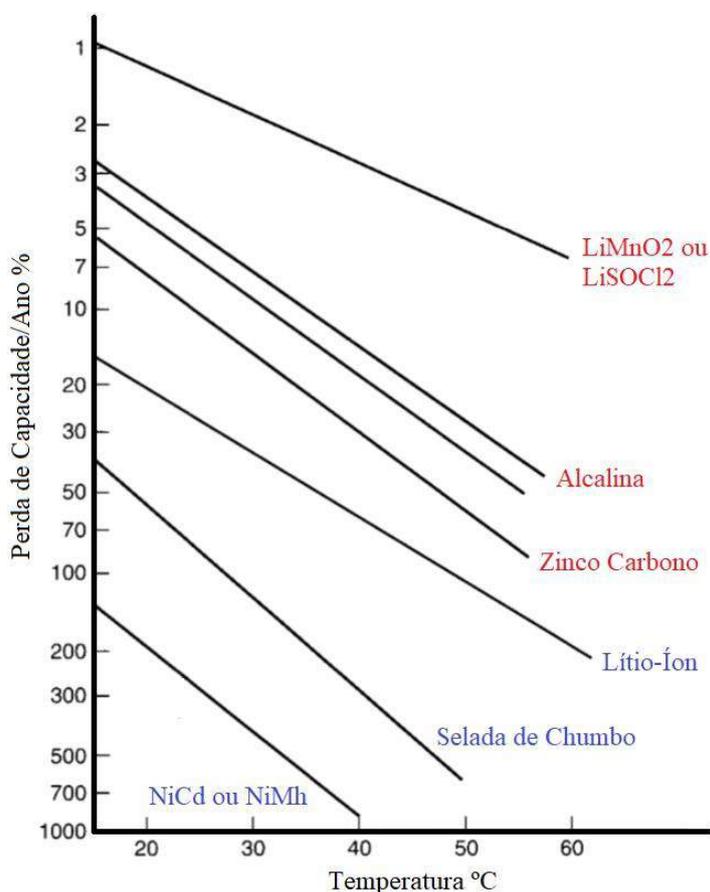


Figura 28 – Auto descarga em temperaturas diferentes

As características de auto descarga de vários tipos de bateria em várias temperaturas são mostradas na figura 28. Baterias não recarregáveis tem taxa de auto descarga menor que as baterias recarregáveis.

Quanto menor a temperatura, menor será a auto descarga. Quanto maior a temperatura maior será a auto descarga. Por isso é aconselhável armazenar baterias em locais frescos, para prolongar a vida útil.

Alguns tipos de bateria, tais como baterias não recarregáveis de lítio-cloreto de tionila (LiSOCl_2) desenvolverão filmes protetores ou passivadores em uma ou ambas as superfícies do eletrodo durante o armazenamento.

Estes filmes podem melhorar substancialmente a vida útil da bateria. No entanto, quando a bateria é colocada em descarga após o armazenamento, a tensão inicial pode ser baixa devido às características de impedância do filme até que seja de passivada pela reação eletroquímica.

Este fenômeno é conhecido como "passivação" ou atraso de tensão e é ilustrado na figura 29.

A extensão do atraso de tensão depende do tempo de armazenamento e da temperatura de armazenamento.

Em alguns casos onde a passivação é severa demais, a bateria não pode ser recuperada.

Em baterias não recarregáveis de lítio, usualmente recupera-se a bateria, descarregando a bateria por um curto período de tempo com uma corrente baixa.

Essa passagem de corrente elimina o filme passivador no eletrodo da bateria e ela retorna ao normal.

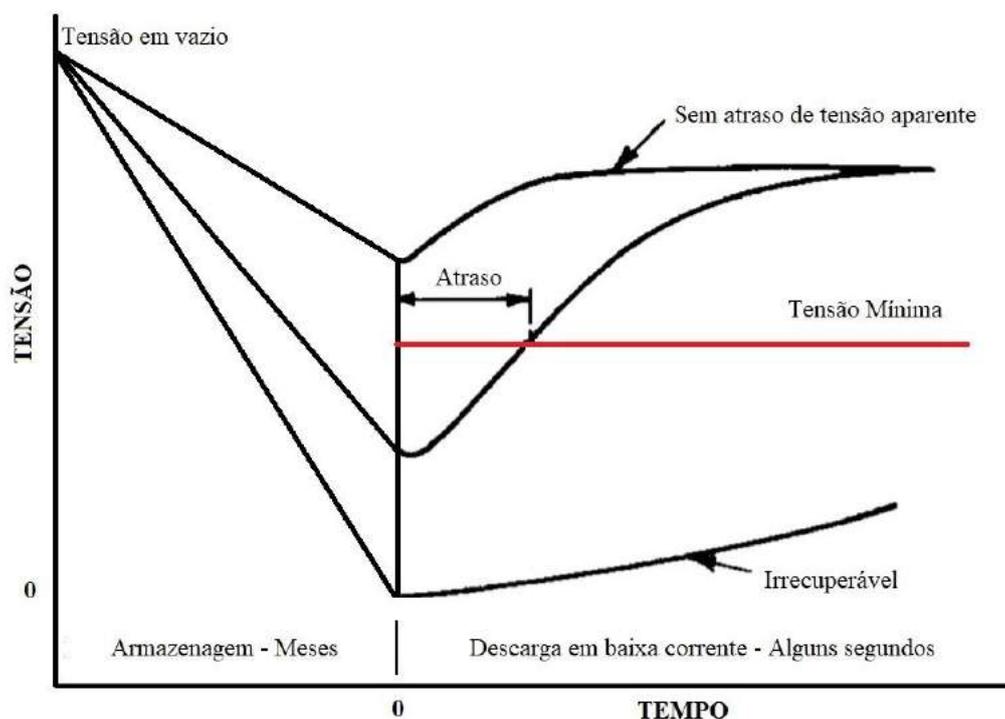


Figura 29 – Efeito de passivação devido à auto descarga

ENVELHECIMENTO - CICLAGEM

Todas as baterias envelhecem com o passar do tempo devido à degradação dos componentes químicos.

As pesquisas atuais sobre o fenômeno do envelhecimento são mais direcionadas para as baterias de lítio, graças aos seus inúmeros benefícios para aplicações em veículos elétricos, telefones celulares, sistemas de armazenamento de energia e notebooks. Uma das principais limitações dessa tecnologia reside no envelhecimento da bateria.

Os efeitos do envelhecimento da bateria limitam seu desempenho e ocorrem durante toda a sua vida útil, mesmo que a bateria seja usada ou não, o que é uma grande desvantagem.

O crescimento da resistência interna da bateria e a diminuição da sua capacidade são as principais consequências do envelhecimento.

Para poder aumentar a vida útil das baterias de lítio é necessário compreender os mecanismos de envelhecimento. Esses mecanismos não são de fácil compreensão já que fatores ambientais bem como o modo como se utilizam as baterias tem influência direta sobre o envelhecimento.

O envelhecimento ocorre inicialmente na composição química do eletrólito da bateria.

Os mecanismos de degradação do eletrodo positivo e negativo são diferentes. A origem dos mecanismos de envelhecimento pode ser química ou mecânica e depende fortemente da composição dos eletrodos.

O envelhecimento provoca ao longo do tempo a degradação do eletrodo, o que pode induzir a perda de material ativo pela dissolução do material no eletrólito. Assim, os principais fenômenos advêm da degradação dos eletrodos. O envelhecimento das baterias de lítio pode ser atribuído a dois fatores:

- **Idade da bateria mesmo sem uso**
- **Ciclagem da bateria**

Baterias de lítio mesmo sem uso envelhecem com o passar do tempo e perdem sua capacidade de forma irreversível.

Existem vários estudos que mostram que a temperatura de armazenagem e o estado de carga da bateria (SOC – state of charge) tem grande influência na perda de capacidade da bateria.

Quando a temperatura de armazenagem é mais alta, as reações químicas internas são facilitadas, incluindo a corrosão dos eletrodos, sendo que a perda de capacidade é acelerada.

O SOC durante a armazenagem também afeta a degradação da bateria. Estudos mostram que armazenar baterias totalmente carregadas provoca uma degradação maior do que armazenar a bateria com carga parcial.

Por outro lado, se a bateria é armazenada com muito pouca carga, ela pode se descarregar abaixo da tensão mínima o que pode danificar a bateria permanentemente.

A ciclagem da bateria também provoca envelhecimento. Entende-se por ciclagem, carregar e descarregar a baterias seguidas vezes.

Quanto mais ciclos a bateria é submetida mais ela perde sua capacidade. A temperatura ambiente e os valores de corrente de carga e descarga determinam se a degradação da bateria será mais rápida ou mais lenta.

3. SELEÇÃO E APLICAÇÃO DE BATERIAS



Figura 30 – Seleção de baterias

A tecnologia das baterias tem evoluído bastante nos últimos anos, porém num nível bem menor do que a tecnologia eletrônica.

As baterias consomem materiais para poder gerar energia e existe um limite teórico para poder se extrair energia dos materiais disponíveis atualmente.

O limite estimado que se possa conseguir está em torno de 1500 Wh/kg, porém na prática, as baterias disponíveis hoje no mercado chegam a no máximo 500 Wh/kg.

As baterias recarregáveis possuem menor densidade de energia do que as baterias não recarregáveis. Mas por outro lado, as baterias recarregáveis são uma solução mais econômica.

Então qual é a melhor bateria? A resposta a essa pergunta depende de muitos fatores e é o que procuraremos responder neste capítulo.

Uma boa bateria tem muita energia, vida longa e não polui. Infelizmente encontramos no mercado brasileiro, baterias que tem pouca energia, vida curta e que prejudicam o meio ambiente.

Hoje dependemos cada vez mais de baterias para trabalharmos, nos comunicarmos e até mesmo para nossa segurança. Baterias de má qualidade causam problemas sérios quando menos esperamos. Como evitar problemas com baterias?

Desconfie de baterias que tem alta capacidade marcada no rótulo, mas tem preço baixo. Nesses casos, quase sempre, o que está marcado no rótulo é falso. São baterias que apesar do preço um pouco mais barato, tem muito menos energia e baixa qualidade.

É um péssimo negócio e podem danificar os aparelhos onde são usadas. São baterias de origem duvidosa, muitas vezes importadas ilegalmente e falsificadas. Fabricadas por empresas que prejudicam o meio ambiente e fabricam produtos de má qualidade.

Por isso, procure sempre comprar baterias de empresas idôneas. Que respeitam o meio ambiente. E que vendem produtos rigorosamente testados. Evite comprar baterias muito baratas, de empresas que não oferecem suporte técnico e nem garantia de seus produtos. Procure comprar suas baterias de empresas que oferecem qualidade, preço justo e bom atendimento.

As baterias não recarregáveis são usadas normalmente em aplicações de baixa potência, nos formatos botão ou cilíndrica. Elas são uma fonte leve e geralmente barata de energia e por isso são usadas em uma variedade bastante grande de equipamentos elétricos e eletrônicos portáteis.

As chamadas "pilhas" são muito usadas em lanternas, brinquedos, rádios, câmeras fotográficas e muitos outros produtos de consumo. As baterias tipo botão são populares em relógios, calculadoras, equipamentos fotográficos e como baterias para preservação da memória em equipamentos eletrônicos.

Da mesma forma, as baterias primárias são amplamente utilizadas em aplicações industriais e militares para alimentar comunicação portátil, radar, visão noturna, vigilância, telemetria e outros equipamentos.

As baterias recarregáveis são usadas como dispositivos de armazenamento de energia, geralmente conectadas e carregadas pela rede elétrica, fornecendo sua energia à carga na ausência de energia elétrica vinda da rede.

As baterias recarregáveis também são usadas em aplicações em que são descarregadas e recarregadas posteriormente a partir de uma fonte de energia separada.

Exemplos desse tipo de serviço são veículos elétricos e muitas aplicações, principalmente dispositivos portáteis, como computadores, telefones celulares e filmadoras, onde a bateria recarregável apresenta vantagens em relação às baterias não recarregáveis.

COMO SELECIONAR BATERIAS

Uma série de fatores deve ser considerada na seleção da melhor bateria para uma aplicação específica. As características de cada bateria disponível devem ser ponderadas em relação aos requisitos do equipamento, de forma a selecionar uma bateria que melhor atenda a essas necessidades.

É importante que a seleção da bateria seja considerada no início do desenvolvimento do equipamento e não no final, quando o hardware já está definido.

Desta forma, se pode adequar a capacidade da bateria e suas demais características aos requisitos do equipamento.

Apresentamos a seguir uma lista de considerações que são importantes e influenciam a seleção da bateria:

- Tipo de bateria: não recarregável ou recarregável;
- Sistema eletroquímico: cada sistema eletroquímico tem suas vantagens e desvantagens em relação aos requisitos do equipamento;
- Tensão: nominal, máxima e mínima permitidas, regulação de tensão, perfil da curva de descarga;
- Corrente de descarga: corrente nominal e de pico;
- Ciclo de trabalho: contínuo ou intermitente; se intermitente, qual a percentagem de tempo para cada corrente;
- Requisitos de temperatura: faixa de temperatura sobre qual operação é necessária;
- Tempo de operação: tempo de funcionamento do equipamento alimentado exclusivamente pela bateria;
- Requisitos físicos: tamanho, forma, peso, terminais;
- Auto descarga: perda da capacidade da bateria quando armazenada;
- Ambientalmente amigável: dificuldade de transporte e descarte;

- Vida útil: número de ciclos de carga e descarga (se recarregável); Ciclo de carga (se recarregável): tempo de carregamento e características da fonte de carregamento; eficiência de carregamento;
- Condições ambientais: vibração, choque, rotação, aceleração, condições atmosféricas (pressão, umidade, etc.);
- Segurança e Confiabilidade: taxas de falha; liberdade de vazamento; uso de componentes potencialmente perigosos ou tóxicos; tipo de efluentes gasosos ou líquidos, alta temperatura; operação em condições severas ou potencialmente perigosas;
- Manutenção e reposição: facilidade de aquisição de baterias, distribuição acessível; facilidade de substituição da bateria; instalações de carregamento disponíveis;
- Custo: custo inicial; custo operacional ou ciclo de vida;

APLICAÇÕES DAS BATERIAS

Várias das principais aplicações de baterias estão listadas nas três principais categorias a seguir.

- **Aplicações portáteis**

Essa é uma área em rápida expansão, pois estão sendo introduzidos muitos novos dispositivos portáteis, projetados para operar apenas com baterias ou, em alguns casos, como laptops, para operar com baterias ou com alimentação em corrente alternada da rede elétrica.

As baterias não recarregáveis e recarregáveis são usadas nesses equipamentos portáteis, dependendo da vida útil e dos requisitos de energia, conveniência, custo e outros fatores.

As principais aplicações nesta categoria são: equipamentos eletrodomésticos, equipamento de áudio e comunicação, câmeras e equipamentos fotográficos, computadores, calculadoras, rádios, aparelhos auditivos, iluminação, aparelhos médicos, backup de memória, equipamentos meteorológicos, medidores, equipamentos de teste, instrumentação, telemetria, alarmes, telefones, ferramentas, brinquedos e relógios.

- **Aplicações industriais**

Baterias de tamanho maior, geralmente recarregáveis, são usadas nessas aplicações. Em muitas dessas aplicações, as baterias são usadas como energia de reserva no caso de uma falha de energia em corrente alternada.

Essa é outra área que está se expandindo rapidamente para atender às demandas de fontes de energia ininterruptas (nobreaks) para computadores e outros sistemas sofisticados que exigem operação em tempo integral com confiabilidade extremamente alta.

- **Aplicações veiculares e de tração**

As baterias têm sido uma fonte de energia importante para essas aplicações, incluindo a aplicação de partida de motores e iluminação. Em muitos casos, as baterias são a principal fonte de energia para empilhadeiras, carrinhos de golfe e outros veículos elétricos. Essa também é uma área crescente para a aplicação de baterias, com o objetivo de substituir o motor de combustão interna por uma fonte de energia ecológica ou fornecer um sistema híbrido que melhore a eficiência dos motores a combustível fóssil e reduza a quantidade de poluentes.

As baterias não recarregáveis mais vendidas no mercado nacional são:

- **Zinco-Carbono**
 - **Alcalina**
 - **LiMnO₂**
 - **LiSOCl₂**
 - **LiFeS₂**
-
- **Baterias de Zinco-Carbono**

Essas baterias são bem conhecidas há mais de cem anos. São populares e permanecem entre os sistemas de baterias mais amplamente utilizados no mundo, embora seu uso principalmente nos países mais ricos, esteja em declínio. Fornecem 1,5V e são muito usadas em lanternas, rádios portáteis e outras aplicações de baixa corrente. A bateria é caracterizada por ter baixo custo, disponibilidade imediata e desempenho aceitável para um grande número de aplicações. Novos brinquedos que funcionam com uma corrente maior, dispositivos de iluminação e comunicações mais pesados, que entram no mercado consumidor continuam a estimular uma preferência pelas baterias alcalinas.



Figura 31 – Bateria de Zinco-Carbono Rontek Ultra Power

- **Alcalina**

A bateria alcalina é uma versão aprimorada da bateria de Zinco-Carbono e também fornece 1,5V. A bateria alcalina fornece mais energia com correntes de carga mais altas que a bateria de Zinco-Carbono. Além disso, uma bateria alcalina doméstica comum fornece cerca de 40% mais energia do que uma bateria recarregável de lítio íon. As baterias alcalinas têm baixa auto descarga automática e não vazam eletrólito quando esgotada, como as antigas baterias de Zinco-Carbono, mas não são totalmente à prova de vazamentos. Todas as baterias primárias produzem uma pequena quantidade de gás hidrogênio na descarga e os dispositivos alimentados por essas baterias devem prever ventilação. O acúmulo de pressão na célula pode romper o selo e causar corrosão. Isso é visível na forma de uma estrutura cristalina emplumada que pode se desenvolver e se espalhar para as partes vizinhas do dispositivo e causar danos. As figuras 33 e 34 mostram curvas típicas de descarga de baterias Zinco-Carbono e alcalinas, para correntes de descarga de 30 mA e 500 mA.



Figura 32 – Bateria alcalina Rontek Maximum Power

Para descargas leves ou de baixa corrente, a bateria de Zinco-Carbono dura 40% do tempo de duração de uma bateria alcalina. Para descargas pesadas ou de maior corrente, a bateria de Zinco-Carbono tem desempenho pior e dura apenas 20% da duração de uma bateria alcalina.

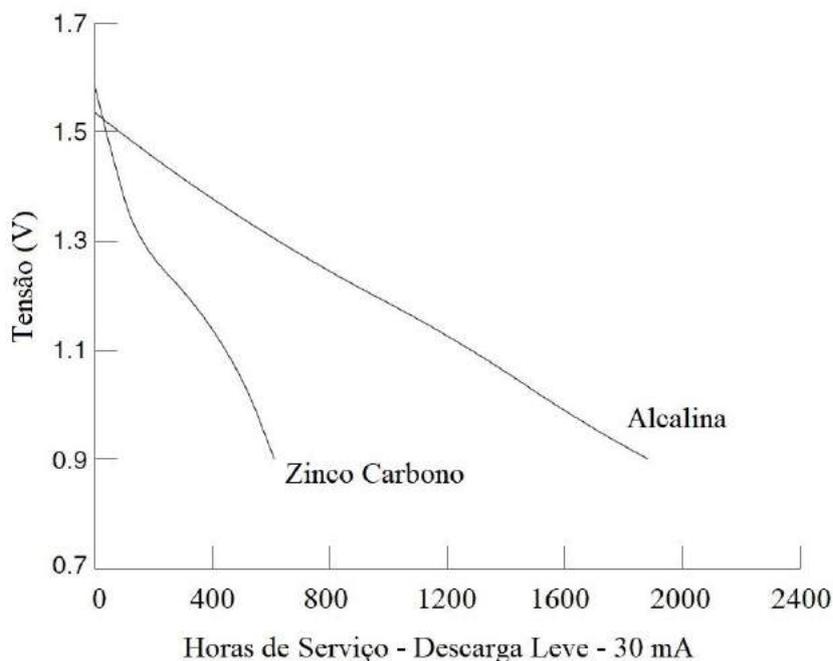


Figura 33 – Comparação entre baterias de Zinco-Carbono e alcalinas

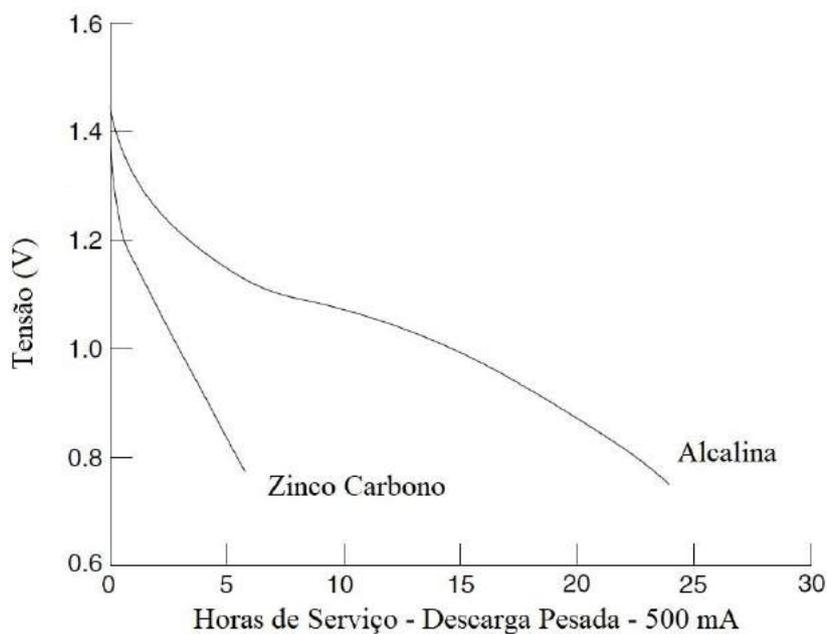


Figura 34 – Comparação entre baterias de Zinco-Carbono e alcalinas

- **Lítio - Dióxido de Manganês (LiMnO₂)**

A bateria de dióxido de manganês de lítio (LiMnO₂) tem uma tensão de 3,0 a 3,30V e a energia específica é de cerca de 280Wh / kg. O preço dessa bateria é econômico, tem uma vida útil longa e permite correntes moderadas, mas pode fornecer altas correntes de pulso.

A temperatura operacional varia de -30°C a 60°C. Os usos típicos são medidores, dispositivos médicos, sensores de pedágio, câmeras, relógios.



Figura 35 – Bateria de lítio Rontek com terminais para placa – dióxido de manganês - LiMnO_2

- **Lítio – Cloreto de Tionila (LiSOCl_2)**

A bateria de lítio-cloreto de tionila (LiSOCl_2) é uma das baterias de metal de lítio mais robustas. Tem capacidade de suportar altas temperaturas e fortes vibrações. Operam de $-55\text{ }^\circ\text{C}$ a $+85\text{ }^\circ\text{C}$. São usadas em aplicações médicas, sensores, medidores e equipamentos de telemetria.

Com uma energia específica superior a 500Wh/kg , a bateria de LiSOCl_2 oferece o dobro da capacidade da melhor bateria recarregável de lítio íon. A tensão nominal é de $3,60\text{V/célula}$. A tensão de corte no final da descarga é de $3,00\text{V}$.

Da mesma forma que a bateria alcalina, a bateria de lítio-cloreto de tionila tem uma resistência interna relativamente alta e só pode ser usada para correntes de descarga moderadas. Se armazenada por um tempo, uma camada de passivação se forma entre o ânodo de lítio e o cátodo à base de carbono que se dissipa ao aplicar uma carga. Essa camada protege a bateria, garantindo baixa auto descarga e uma longa vida útil. A bateria de lítio-cloreto de tionila é uma das químicas de bateria com mais energia e só deve ser usada por pessoas habilitadas. Não é comum utilizar essas baterias em equipamentos de consumo por conta da alta densidade energética e segurança de uso.



Figura 36 – Bateria Rontek de lítio-cloreto de tionila - LiSOCl_2

- **Lítio – bissulfeto de ferro - LiFeS_2**

A bateria de lítio - bissulfeto de ferro (LiFeS_2) é uma bateria relativamente nova no mercado e oferece um desempenho melhor que as baterias alcalinas. As baterias de lítio normalmente fornecem 3 volts ou mais, mas a bateria de lítio-bissulfeto de ferro - LiFeS_2 tem 1,5 volts o que a torna compatível com os formatos AA e AA das baterias de Zinco-Carbono e alcalinas. Tem uma capacidade mais alta e uma resistência interna mais baixa que a bateria alcalina. Isso permite correntes de descarga moderadas a pesadas e é ideal para câmeras digitais.

Outras vantagens são o melhor desempenho em baixa temperatura, resistência superior a vazamentos e baixa auto descarga, permitindo 15 anos de armazenamento em temperatura ambiente.

As desvantagens do LiFeS_2 são um preço mais alto e problemas de transporte devido ao conteúdo de metal de lítio no ânodo.

A figura 37 mostra a comparação entre as curvas de descarga de baterias alcalinas e LiFeS_2 com uma carga de 500 mA .

A curva de tensão da bateria LiFeS_2 é plana devido à baixa resistência interna do lítio; a bateria alcalina mostra uma queda rápida de tensão e um aumento permanente na resistência com o uso. Isso reduz o tempo de operação, especialmente a uma corrente de descarga elevada.

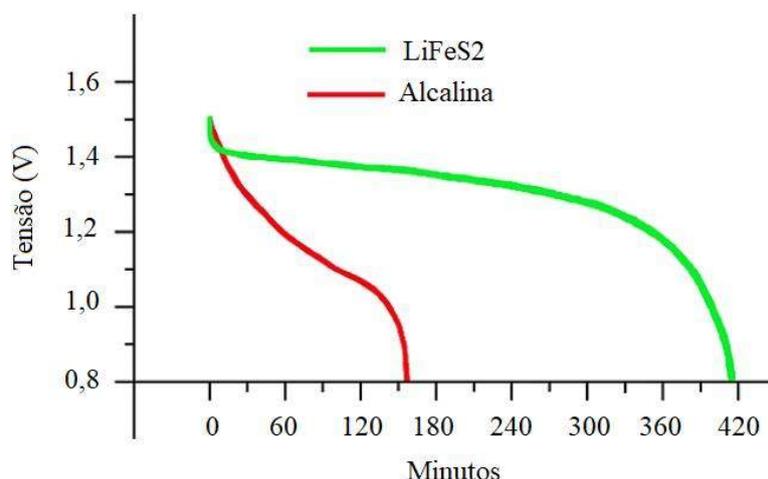


Figura 37 – Comparação entre baterias alcalina e LiFeS₂ – descarga de 500 mA

A Tabela 1 resume as características principais das baterias primárias mais comuns. Os valores são apenas para referência comparativa, podendo variar dependendo do modelo e do fabricante da bateria.

	Zinco-Carbono	Alcalina	LiMnO₂	LiSOCl₂	LiFeS₂
Energia (Wh/kg)	100	200	280	500	320
Tensão (V)	1,5	1,5	3	3,6	1,5
Potência (W)	Muito baixa	Baixa	Moderada	Alta	Moderada
Passivação	Não	Não	Não	Sim	Não
Segurança	Boa	Boa	Boa	Boa com	Boa
Auto descarga (%)	7	4	1-2	1-2	1-2
Vida Útil (anos)	10	10	10-20	10-20	15
Temperatura (°C)	0 a 50	0 a 60	-30 a 60	-55 a 85	0 a 60
Aplicação	Consumidor	Consumidor	Consumidor	Uso industrial	Substitui a bateria alcalina
Desvantagens	Baixa densidade de energia.	Formação de gases.	Disponível principalmente em formato botão.	Passivação	Custo maior que as baterias alcalinas.
Vantagens	Custo mais baixo.	Maior capacidade que a bateria de Zinco-Carbono.	Alta densidade de energia. Baixo custo de reposição.	Alta densidade de energia. Maior tensão. Longa armazenagem.	Melhor desempenho que baterias alcalinas.

Tabela 1: Características das baterias não recarregáveis



Figura 38 - Baterias SLA, NiCd, NiMh e Lítio íon

A tecnologia das baterias recarregáveis está em constante mudança e tem se desenvolvido nas últimas décadas. Cada tipo de baterias tem suas vantagens e limitações.

Dependendo da sua aplicação uma das tecnologias disponíveis será a mais adequada:

- **Níquel-cádmio – NiCd**
- **Níquel-hidreto metálico - NiMh**
- **Lítio-íon**
- **Chumbo-ácido.**

Cada uma dessas baterias tem atributos únicos para projetos únicos.

As baterias NiCd são muitas vezes mais baratas do que as baterias NiMh ou baterias de lítio íon. Elas podem ter algum efeito memória se não forem carregadas e cuidadas corretamente. Devem ser usadas quando é necessária uma bateria recarregável de baixo custo e se for necessário um longo tempo de vida.

As baterias NiCd podem ser carregadas e descarregadas um grande número de vezes. Se bem utilizadas, essas baterias podem ser carregadas mais vezes que outras químicas recarregáveis. A grande desvantagem dessa bateria é que ela causa danos ao meio ambiente se for descartada de maneira inadequada.

As baterias NiMh contêm mais energia, mais resiliência e oferecem um menor número de ciclos do que as baterias NiCd. Devem ser usadas quando for necessária uma corrente de descarga maior a bateria NiCd. Não devem ser usadas se for necessária uma longa vida útil. A vida baterias de NiMh normalmente é de menos de 1000 ciclos. Se um produto for recarregado diariamente, a vida de uma bateria de NiMh pode não durar mais que alguns anos.

As baterias de chumbo-ácido são tipicamente baterias maiores para uso em aplicações onde são necessárias grandes quantidades de energia a um baixo custo. Estas baterias são muitas vezes mais baratas quando comparadas com outras químicas da mesma capacidade. Não devem ser usadas se o peso é uma preocupação. O componente primário desta química da bateria é o chumbo, então essas baterias são muito pesadas. Também essas células são boas apenas por algumas centenas de ciclos.

As baterias lítio íon são uma categoria ampla que contém muitas químicas diferentes. Tipicamente essas baterias oferecem a maior densidade de energia disponível no mercado.

Devem ser usadas se for necessária alta densidade de energia ou se for necessária alta corrente de descarga. Algumas células de lítio têm uma corrente de descarga dezenas de vezes sua capacidade nominal.

A grande desvantagem das baterias de lítio íon é a necessidade do uso de circuitos de proteção para carga e descarga.

A Tabela 2 resume as características principais das baterias recarregáveis mais comuns. Os valores são apenas para referência comparativa, podendo variar dependendo do modelo e do fabricante da bateria.

	Chumbo Ácido	Níquel Cádmio NiCd	Níquel Hidreto Metálico NiMh	Lítio íon Cobalto	Lítio íon Manganês	Lítio íon Fosfato de Ferro LiFePO4
Energia (Wh/kg)	30-50	45-80	60-120	150-250	100-150	90-120
Resistência Interna	Muito baixa	Muito baixa	Baixa	Moderada	Baixa	Muito baixa
Ciclos	200-300	1000	300-500	500-1000	500-1000	1000-2000
Tempo de Recarga (hs)	8-16	1-2	2-4	2-4	1-2	1-2
Tolerância à sobrecarga	Alta	Moderada	Baixa	Baixa	Baixa	Baixa
Auto descarga (% ao mês)	5	20	30	5	5	5
Tensão Nominal (V)	2	1,2	1,2	3,6	3,7	3,2
Tensão máxima de carga (V)	2,40/2,25	Dvdt	Dvdt	4,2	4,2	3,6
Tensão Mínima na descarga (V)	1,75	1	1	2,5-3	2,5-3	2,5
Picos de corrente	5C	20C	5C	2C	30C	30C
Temperatura de carregamento (°C)	-20-50	0-45	0-45	0-45	0-45	0-45
Temperatura descarga (°C)	-20-50	-20-65	-20-65	-20-60	-20-60	-20-60
Segurança	Boa	Segura	Segura	Segura com proteção	Segura com proteção	Segura com proteção
Toxicidade	Alta	Alta	Baixa	Baixa	Baixa	Baixa

Tabela 2: Características das baterias recarregáveis

COMO IDENTIFICAR BATERIAS FALSIFICADAS

Infelizmente existem no mercado brasileiro diversas empresas vendendo baterias falsificadas. Na bateria falsificada, o rótulo ou etiqueta apresenta especificações de capacidade (mAh ou ah) que são falsas.

Falsificar uma bateria é muito simples. Basta retirar a capa plástica de PVC onde estão escritas as especificações originais da bateria e colocar uma nova capa plástica com as especificações falsas.

Por exemplo, é muito comum encontrar no mercado baterias de lítio-íon, do tamanho 18650 com capacidade escrita de 8.800 mAh. Quando se testa essa bateria em laboratório, não se consegue mais que 2.000 mAh.

Se você pesquisar na internet, baterias de lítio-íon de marcas famosas como Sanyo, Panasonic, LG e mesmo outras marcas não tão famosas, mas de empresas idôneas como a marca Rontek, irá verificar que a maior capacidade de baterias de lítio íon do tamanho 18650 gira ao redor de 3.500 mAh.

Existe um limite de espaço físico dentro de um invólucro de bateria 18650. Lá só cabe um determinado volume de componentes químicos que constituem a bateria. Por isso não se consegue gerar muito mais que 3.500 mAh.

Para não ser enganado, comprando baterias falsas deve-se verificar:

- Reputação da empresa fornecedora.
- Baterias de uma mesma família e de um mesmo tamanho tem capacidades (mAh) semelhantes. Desconfie de baterias que apresentam capacidade muito maior que as similares de marcas reconhecidas.
- Desconfie de baterias de preço bem abaixo das similares.
- Desconfie de baterias muito mais leves que as similares de mesma família e tamanho.



Sistemas e Tecnologia Aplicada

www.sta-eletronica.com.br

PARTE 2

BATERIAS PRIMÁRIAS DE LÍTIO



4. BATERIAS DE LÍTIO-DIÓXIDO DE MANGANÊS LiMnO_2 – 3V



Figura 39 – Bateria de LiMnO_2

VISÃO GERAL DAS BATERIAS DE LÍTIO-DIÓXIDO DE MANGANÊS

A bateria de lítio-dióxido de manganês - LiMnO_2 foi um dos primeiros sistemas de lítio a ser usado comercialmente e agora é a bateria de lítio primária ou não recarregável mais utilizada. Essa bateria está disponível em muitas configurações, sendo que a mais usada é aquela com formato tipo moeda. Tem uma tensão nominal de 3V por célula, energia específica por volta de 280 Wh/kg, pode ser usada em uma faixa ampla de temperatura, tem vida útil longa e baixo custo. Essas baterias têm baixa auto descarga (menos de 1% ao ano) e prazo de validade e vida operacional superiores até 10 anos ou mais. Operam em uma ampla faixa de temperatura (-20°C a 65°C). Não possuem substâncias poluentes tais como chumbo, mercúrio e cádmio.

FORMATOS CONSTRUTIVOS DAS BATERIAS DE LÍTIO-DIÓXIDO DE MANGANÊS

Os formatos construtivos mais comuns são:

- Baterias cilíndricas
- Baterias tipo moeda ou botão

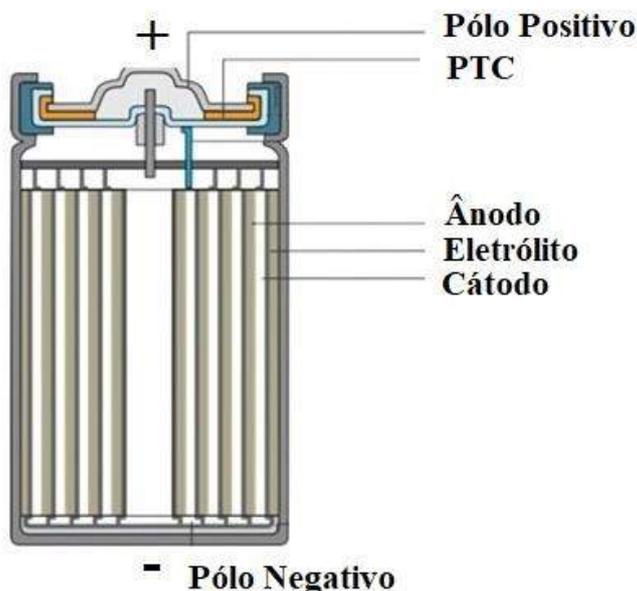


Figura 40 – Bateria cilíndrica de LiMnO_2

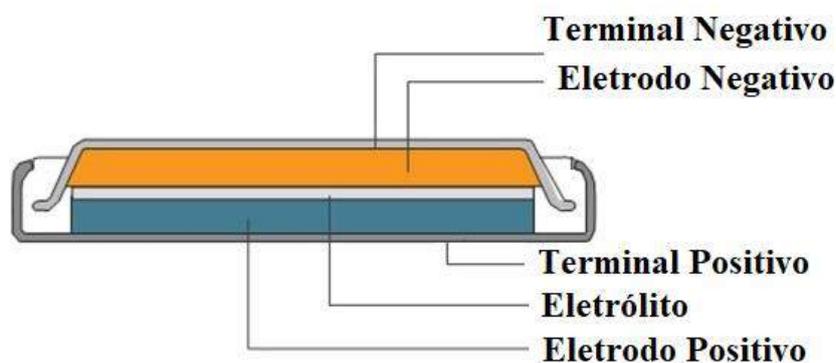


Figura 41 – Bateria tipo botão ou moeda de LiMnO₂

ESPECIFICAÇÕES DAS BATERIAS DE LÍTIO-DIÓXIDO DE MANGANÊS

A tabela 3 apresenta um resumo das principais características dessas baterias. Os valores podem variar em função do fabricante.

	Células Cilíndricas	Células tipo moeda
Sistema	LiMnO ₂	LiMnO ₂
Densidade de Energia (W/kg)	280 W/kg	280 W/kg
Tensão Nominal (V)	3	3
Tensão em Aberto (V)	3,2	3,2
Capacidade (mAh)	750-2000	25-500
Tempo de Armazenagem	>10 anos	>10 anos
Auto Descarga a 20 °C	< 1% ao ano	< 1% ao ano
Temperatura de Operação	-30°C a + 75°C	-20°C a + 65°C

Tabela 3: Características das baterias LiMnO₂

As especificações técnicas e curvas das baterias LiMnO₂ são similares, diferindo apenas nos valores de capacidade, corrente e tamanho. Uma das baterias desta família mais utilizada no mercado é a bateria CR2032, cujas especificações apresentamos a seguir como exemplo.



Figura 42 – Bateria LiMnO₂ tipo botão modelo CR2032

Tensão Nominal	3V
Capacidade Nominal	210 mAh
Carga Nominal	15 K Ω
Temperatura de Operação	-20°C a + 70°C
Peso	3,2g
Corrente máxima contínua de descarga	0,2 mA
Corrente de pico de descarga	5 mA
Diametro	20 mm
Altura	3,2 mm

Tabela 4: Características da bateria CR2032

Quanto menor é o valor da resistência de carga, maior será a corrente (lei de Ohm) e a bateria chegará à tensão de corte em menos tempo, conforme mostrado na figura 43.

PRINCIPAIS CURVAS DAS BATERIAS DE LÍTIO-DIÓXIDO DE MANGANÊS

A tensão de circuito aberto da bateria lítio-dióxido de manganês é tipicamente de 3,1 a 3,3 V após a pré-descarga. A tensão nominal é de 3,0 V. A tensão operacional durante a descarga varia de cerca de 3,1 a 2,0 V e depende do projeto da célula, do estado de carga e de outras condições de descarga.

A tensão final ou de corte, a tensão pela qual a maior parte da capacidade foi gasta, é de 2,0 V, exceto sob descargas de alta taxa e baixa temperatura, quando uma tensão final mais baixa pode ser especificada. As curvas de descarga típicas para as células-moeda são apresentadas na figura 43.

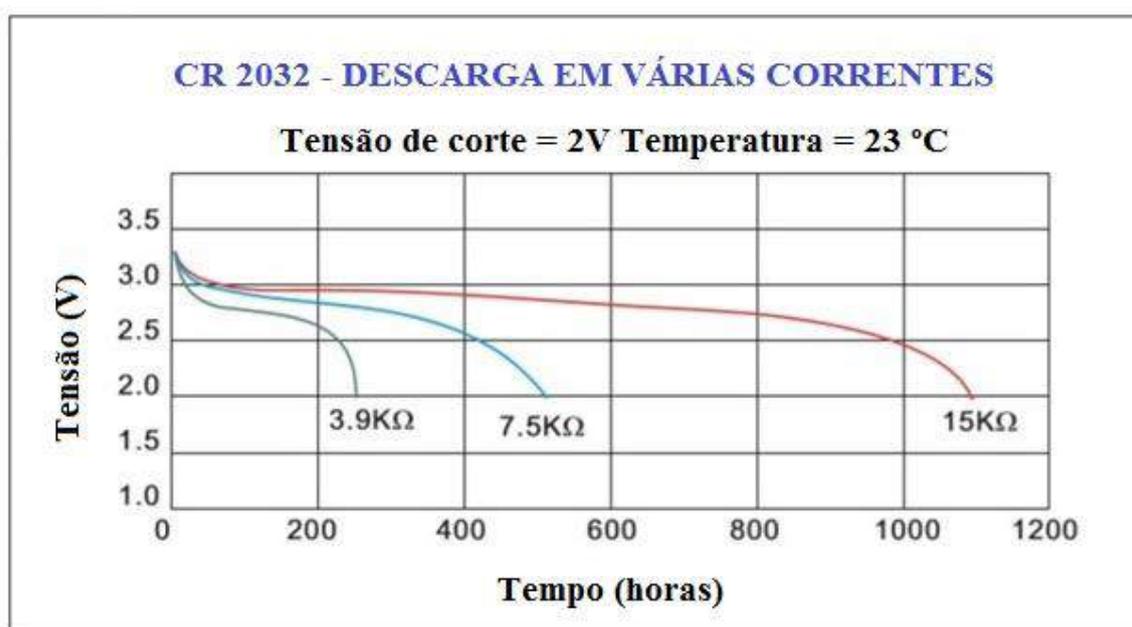


Figura 43 – Curva de descarga em várias correntes da bateria CR 2032

O perfil da descarga é razoavelmente plano nas taxas de descarga baixas ou moderadas durante a maior parte da descarga, com uma queda gradual perto do final da vida útil.

Essa queda gradual na tensão pode servir como um indicador de estado de carga para mostrar quando a bateria está chegando ao fim de sua vida útil.

Nas figuras 44, 45 e 46 são mostradas as curvas de desempenho da bateria CR 2032 com temperaturas entre -20°C e 60°C .

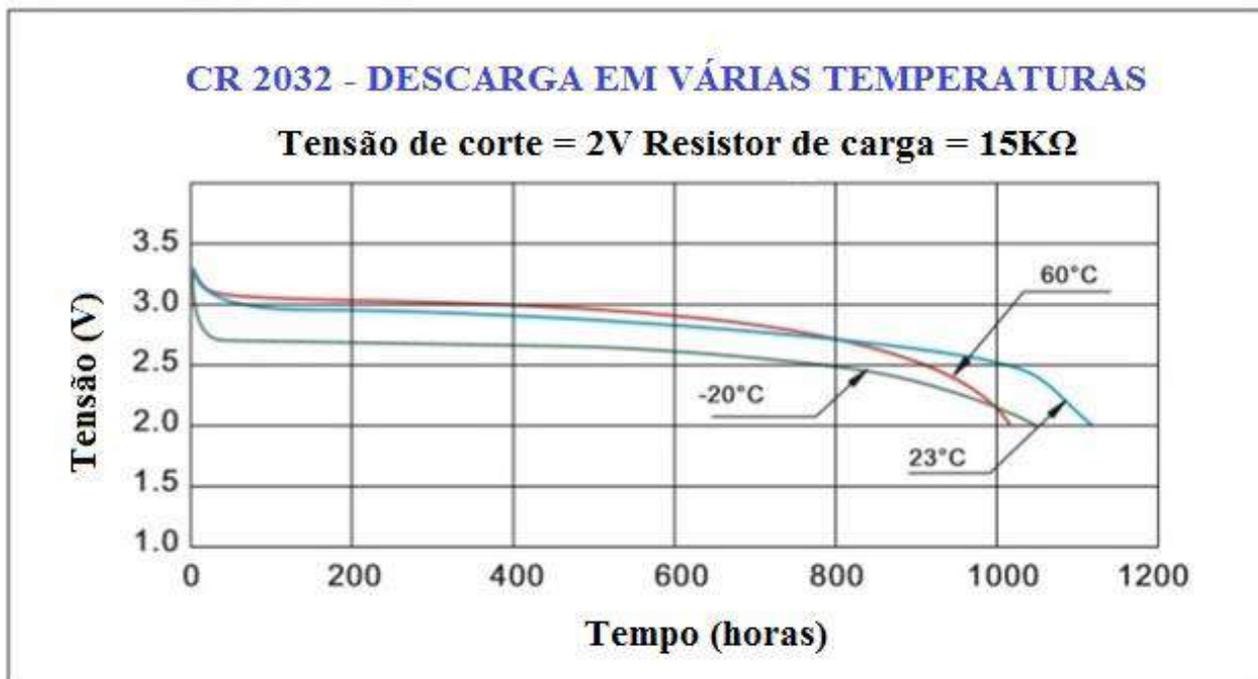


Figura 44 – Curva de descarga em várias temperaturas da bateria CR 2032

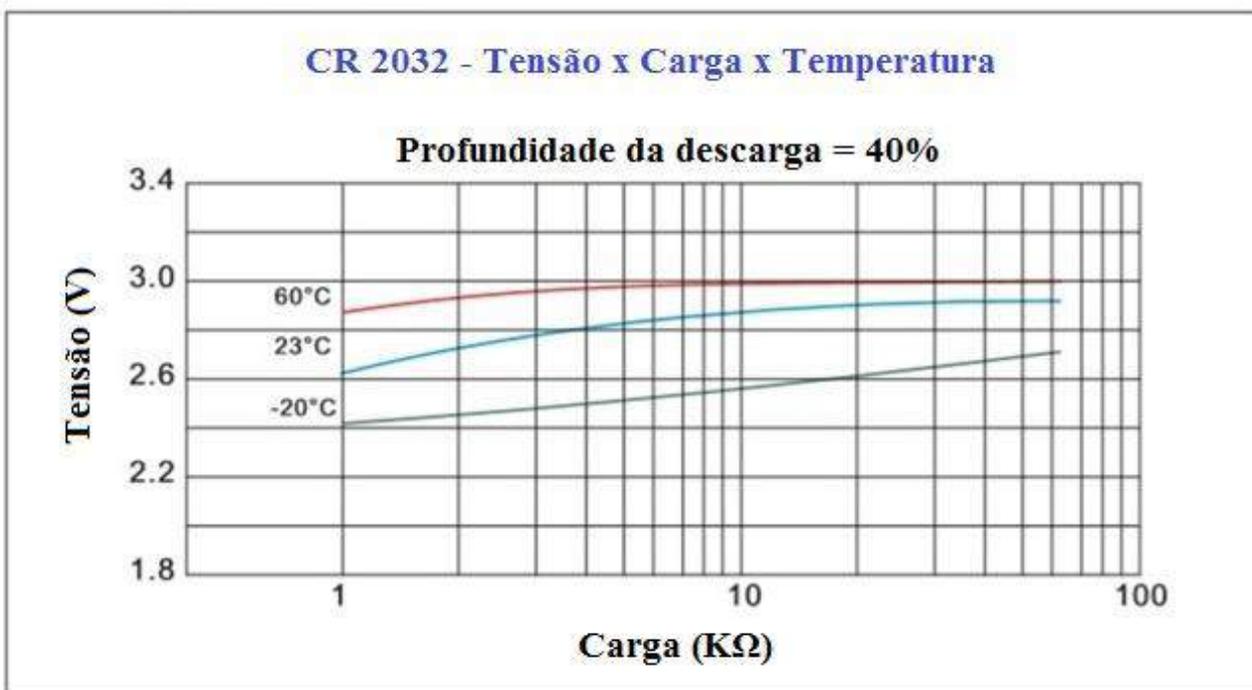


Figura 45 – Curva de descarga em várias cargas e temperaturas

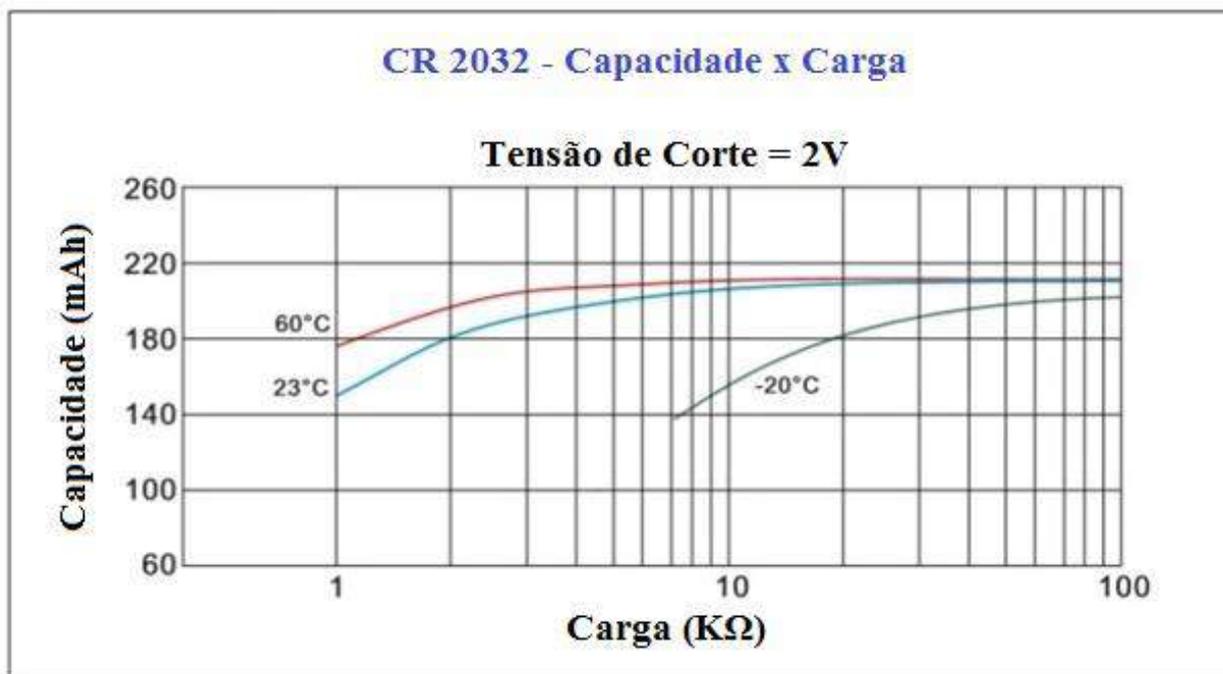


Figura 46 – Curva de capacidade carga em função da temperatura

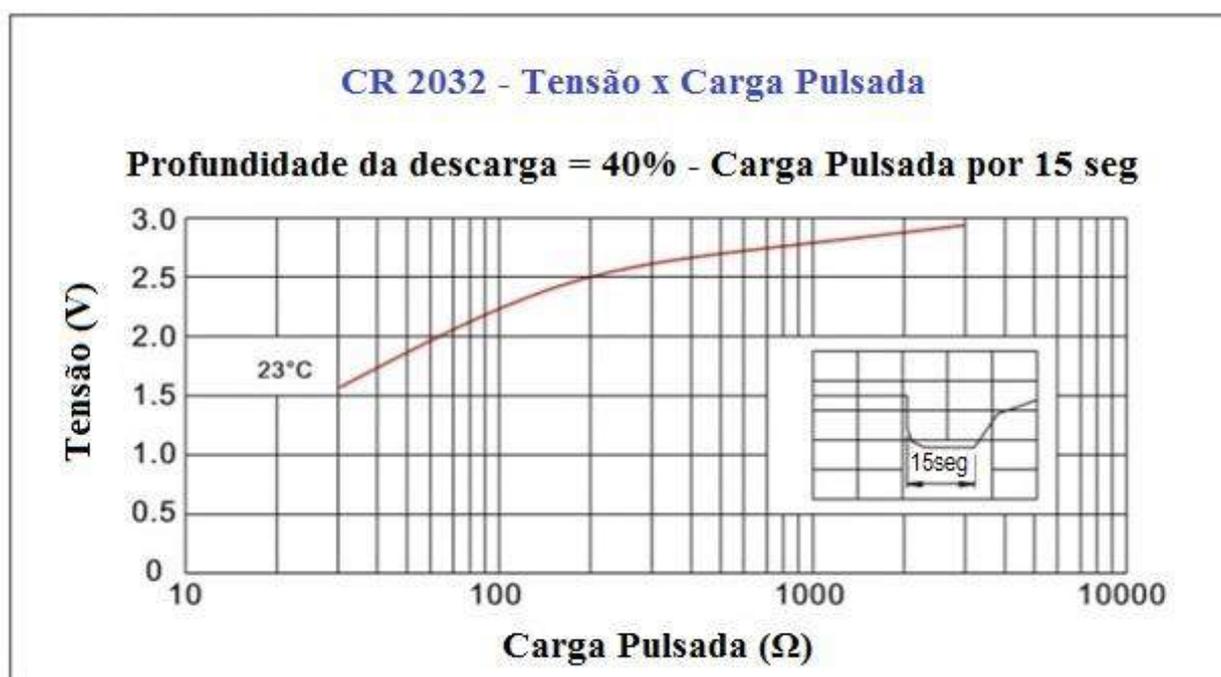


Figura 47 – Curva com carga pulsada de 15 segundos

A figura 47 mostra o desempenho da bateria CR2032 para uma carga pulsada de 15 segundos. Quanto menor a resistência de carga, maior é a corrente na bateria e maior a queda de tensão.

As características de armazenamento da célula lítio-dióxido de manganês são mostradas na figura 48. Este sistema é muito estável em todas as configurações, com uma perda de capacidade inferior a 1% ao ano.

As células não apresentam nenhum atraso de tensão perceptível no início da maioria das descargas, exceto em baixas temperaturas e altas taxas de descarga.

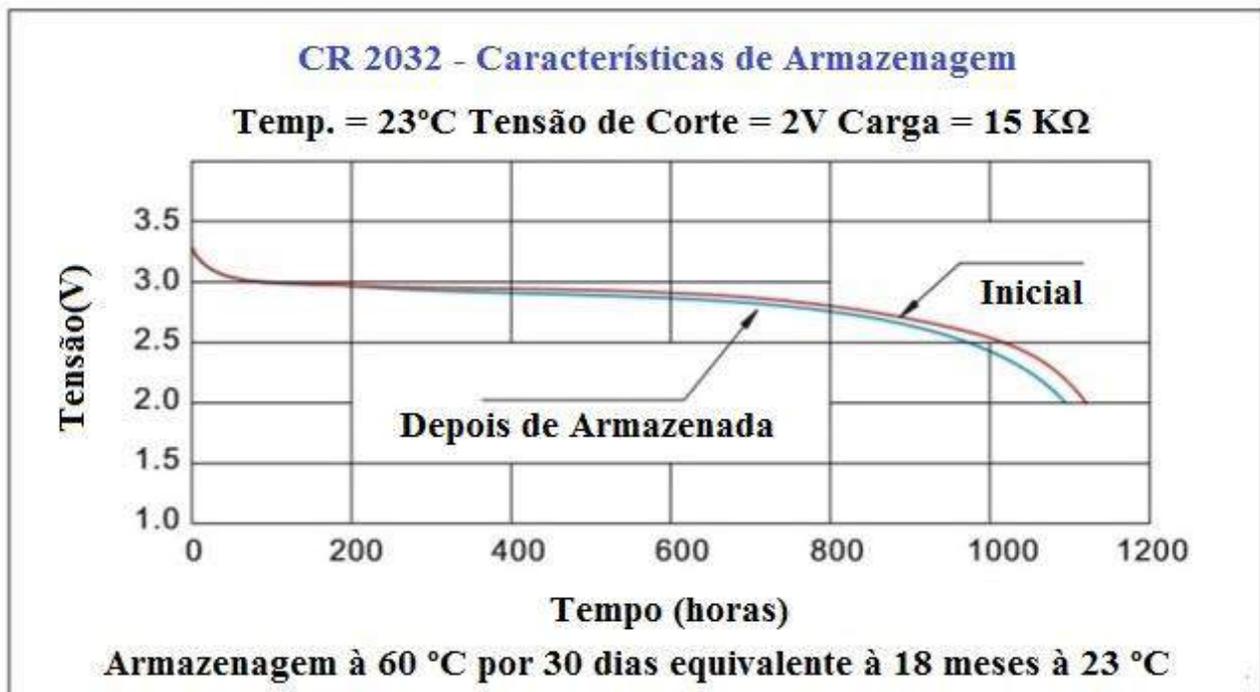


Figura 48 – Curva de Armazenagem

APLICAÇÕES DAS BATERIAS DE LÍTIO-DIÓXIDO DE MANGANÊS

A bateria de lítio-dióxido de manganês é usada em uma grande variedade de aplicações:

- Medidores de utilidade
- Medidores de Eletricidade
- Medidores de Gás
- Medidores de Água
- Calorímetros
- Leitura Automática de Medidores
- Sistemas de segurança
- Fechaduras eletrônicas
- Sistemas de alarme
- Sensores e detectores
- Eletrônica automotiva
- Contadores de quilometragem
- Computadores de bordo
- Monitoramento eletrônico
- Equipamento de navegação
- Sensores de airbags
- Rádios para carros
- Registradores Sistemas controle de tráfego
- Taxímetros.
- Transponder RFID

- Leitor de código de barras
- Scanner
- Rastreamento de mercadorias
- Automação
- Backup de memória
- Interfaces inteligentes
- Computadores pessoais
- Balanças
- Máquinas de cópia
- Caixa registradora
- Máquinas de venda automática
- Videogames
- Máquinas de jogo
- Altímetros
- Unidades de temporização portáteis para eventos esportivos
- Instrumentação Industrial
- Equipamentos Médicos
- Relógios industriais
- Contadores de pulso
- Sistemas remotos de registro e aquisição de dados
- Medição sísmica
- Biotelemetria
- Equipamento de Telemetria
- Transmissores de Balão Meteorológico
- Estações Automáticas de Monitoramento Meteorológico

As principais aplicações das baterias de lítio-dióxido de manganês atualmente alcançam vários Ah (ampère-hora) de capacidade, aproveitando sua maior densidade de energia, melhor capacidade e maior vida útil em comparação com as baterias primárias convencionais de Zinco-Carbono e alcalinas.

As baterias lítio-dióxido de manganês de baixa capacidade geralmente podem ser manuseadas sem riscos, mas, o carregamento e a incineração devem ser evitados, pois, essas condições podem causar a explosão da célula.

As baterias cilíndricas de maior capacidade são geralmente equipadas com um mecanismo de ventilação para evitar explosão, mas as baterias, no entanto, devem ser protegidas para evitar curtos-circuitos e inversão de células, além do carregamento e incineração.

SELEÇÃO DAS BATERIAS DE LÍTIO-DIÓXIDO DE MANGANÊS

Na figura 49 podemos ver as curvas de corrente de descarga x tempo de operação das principais baterias tipo botão mais usadas no mercado.

Nas tabelas 5, 6 e 7 são mostrados os dados para seleção das baterias de lítio-dióxido de manganês. A tabela 5 mostra dados das baterias da linha consumidor.

A tabela 6 mostra dados das baterias cilíndricas da linha industrial e a tabela 7 mostra dados das baterias tipo botão.

Modelo	Tamanho	Capacidade Nominal (mAh)	Tensão Nominal (V)	Diâmetro (mm)	Altura (mm)	Peso (g)	Corrente Regime Contínuo (mA)	Corrente de Pico (mA)
CR2	-	900	3	15	27	11	1000	1300
CR123A	2/3A	1600	3	16.8	34.3	15.8	1200	3000
CR-P2	-	1600	6	19.5 (W) x 34.8 (L)	36	35	1200	3000
2CR5	-	1600	6	17.0 (W) x 34.0 (L)	45	35	1200	3000

Tabela 5: Características das baterias cilíndricas LiMnO₂ – linha consumidor

Corrente de Descarga x Modelo da Bateria x Tempo de Operação

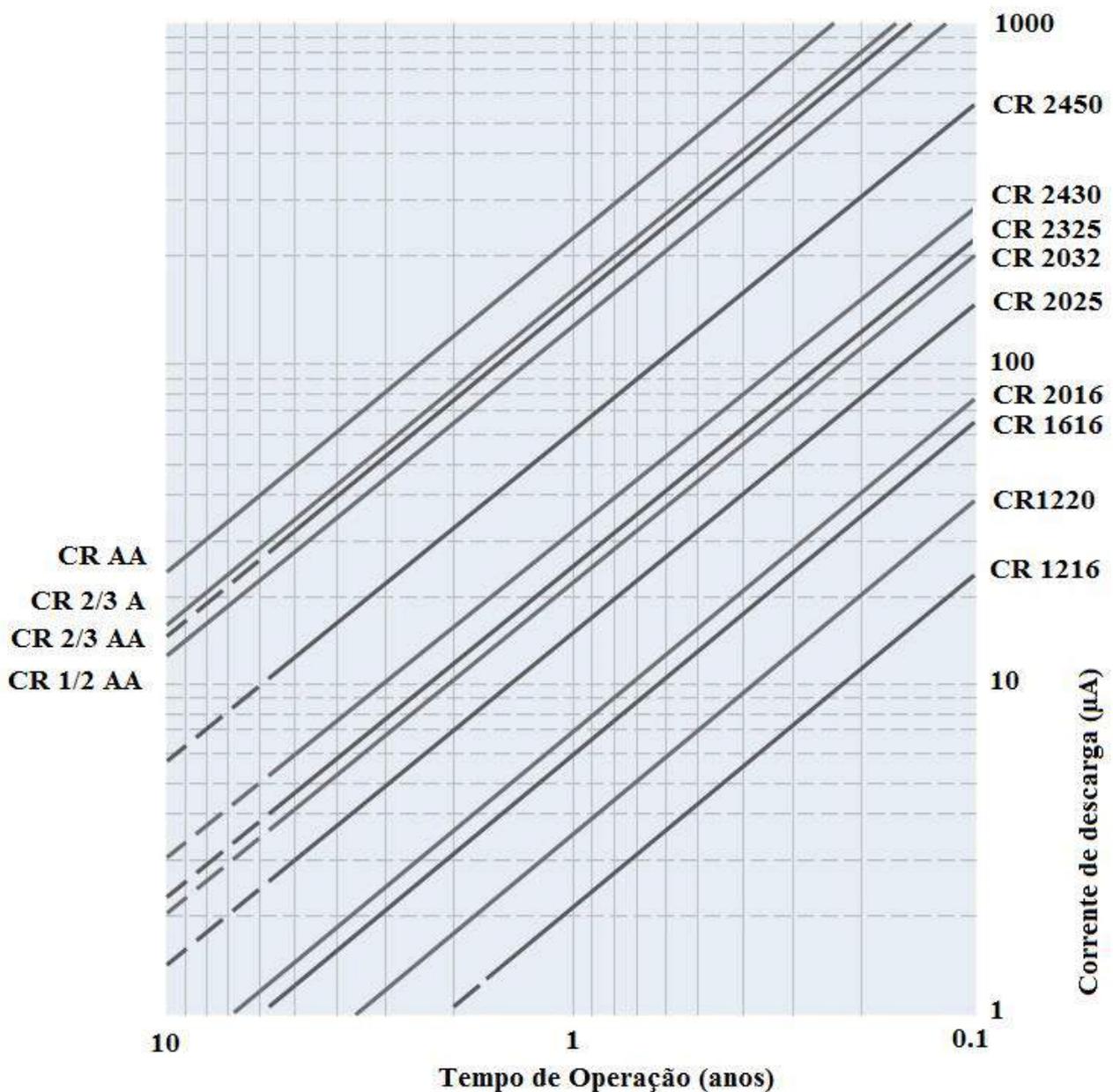


Figura 49 – Curvas de seleção das baterias LiMnO₂ – tipo botão

Modelo	Tamanho	Capacidade Nominal (mAh)	Tensão Nominal (V)	Diâmetro (mm)	Altura (mm)	Peso (g)	Corrente Regime Contínuo (mA)	Corrente de Pico (mA)
CR1/3N	1/3N	160	3	11.8	10.8	3.3	10	60
2CR1/3N	2X1/3N	160	6	12	25.2	8	10	80
CR14250	1/2AA	800	3	14.5	25	12	250	500
CR14505	AA	1500	3	14.5	50.5	18	1000	2500
CR14335	2/3AA	1500	3	14.5	33.5	18	600	1000
CR17450	4/5A	2200	3	17	45	26	1000	2000
CR17505	A	2400	3	17	50.5	30	1000	2000
CR18505	A	2600	3	18	50.5	32	1000	2000
CR26500	C	5000	3	26	50	55	1000	2000
CR34615	D	12Ah	3	34.2	61.5	125	1000	2000
A9V-P	6F22	1200	9	17.5 (W) x 27.5 (L) max	49.5 max	30	120	400

Tabela 6: Características das baterias cilíndricas LiMnO₂ – linha industrial

As baterias listadas na tabela 7 a seguir, podem ser fornecidas com terminais próprios para soldagem em placas de circuito impresso. Os modelos mais comuns são mostrados na figura 50.



Figura 50 – Baterias LiMnO₂ com terminais

Modelo	Capacidade Nominal (mAh)	Tensão Nominal (V)	Diametro (mm)	Altura (mm)	Peso (g)	Corrente Regime Contínuo (mA)	Corrente de Pico (mA)
CR1216	25	3	12.5	1.6	0.7	0.2	5
CR1025	30	3	10	2.5	0.6	0.2	5
CR927	30	3	9	2.7	0.7	0.2	5
CR1220	38	3	12.5	2	0.8	0.2	5
CR1225	50	3	12.5	2.5	0.9	0.2	5
CR1616	50	3	16	1.6	1.2	0.2	5
CR1620	70	3	16	2	1.3	0.2	5
CR2016	75	3	20	1.6	1.8	0.2	5
CR1632	120	3	16	3.2	1.8	0.2	5
CR2320	130	3	23	2	3	0.8	15
CR2025	150	3	20	2.5	2.5	0.2	5
CR2325	190	3	23	2.5	3.3	0.8	15
CR2032	210	3	20	3.2	3.1	0.2	5
CR2330	260	3	23	3	4	0.8	15
CR2430	270	3	24.5	3	4.2	1	15
CR2335	300	3	23	3.5	4.1	0.8	15
CR3032	500	3	30	3.2	7.5	1	20
CR2354	560	3	23.4	5.4	6.3	0.8	15
CR2450	600	3	24.5	5	6.8	5	25
CR2477	1000	3	24.5	7.7	10.5	1	15

Tabela 7: Características das baterias cilíndricas LiMnO₂ – tipo botão

5. BATERIAS DE LÍTIO-CLORETO DE TIONILA – LiSOCl_2 – 3,6V

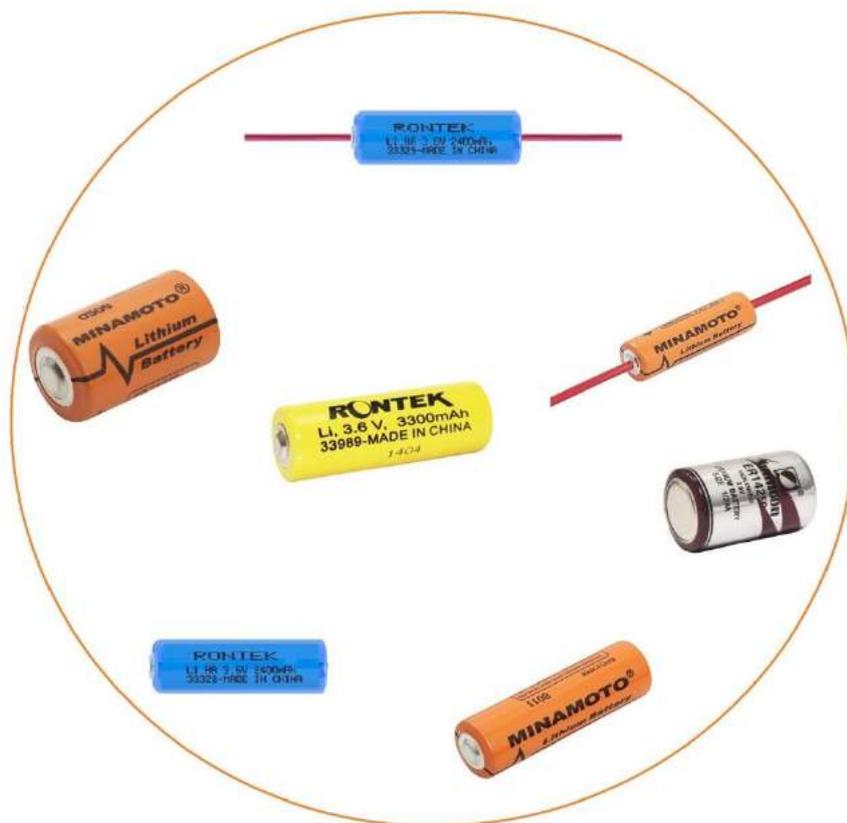


Figura 51 – Baterias LiSOCl_2

VISÃO GERAL DAS BATERIAS DE LÍTIO-CLORETO DE TIONILA

A bateria de lítio-cloreto de tionila - LiSOCl_2 tem uma das maiores tensões entre as células com tensão nominal de 3,6V.

A densidade específica de energia varia ao redor de 500 Wh/kg, podendo variar em função do fabricante e modelo de bateria, o que representa três vezes mais que a energia de uma bateria alcalina. As baterias LiSOCl_2 são fabricadas predominantemente no formato cilíndrico.

Essas baterias têm sido usadas em aplicações que exigem uma longa vida operacional.

Também possuem a mais ampla faixa de temperatura operacional de -55°C a $+85^{\circ}\text{C}$. Como a auto descarga é extremamente baixa (menos de 1% ao ano), esse tipo de célula pode suportar longos períodos de armazenamento e atingir uma vida útil de 10 a 20 anos.

Para diferentes aplicações, as células podem ser montadas com vários tipos de conectores e montadas em vários conjuntos de baterias.

A célula LiSOCl_2 consiste em um ânodo de lítio, um cátodo de carbono poroso e um eletrólito SOCl_2 . O ânodo de lítio é protegido de reagir com o eletrólito de cloreto de tionila durante o tempo de armazenagem da bateria formando um filme de proteção LiCl no ânodo, logo que entra em contato com o eletrólito. Este filme provoca o efeito de passivação e contribui para aumentar a vida útil da bateria, mas por outro lado também pode causar um atraso da tensão no começo de uma descarga.

Alguns dos componentes dos sistemas LiSOCl_2 são tóxicos e inflamáveis; assim, a exposição a células abertas ou ventiladas ou componentes celulares deve ser evitada.

FORMATOS CONSTRUTIVOS DAS BATERIAS DE LÍTIO-CLORETO DE TIONILA

A figura 52 mostra as características de construção da célula cilíndrica LiSOCl_2 , que é construída como um tipo de bobina.

O ânodo é feito de folha de lítio.

O separador é feito de fibras de vidro não tecidas. O cátodo cilíndrico é altamente poroso e ocupa a maior parte do volume celular.

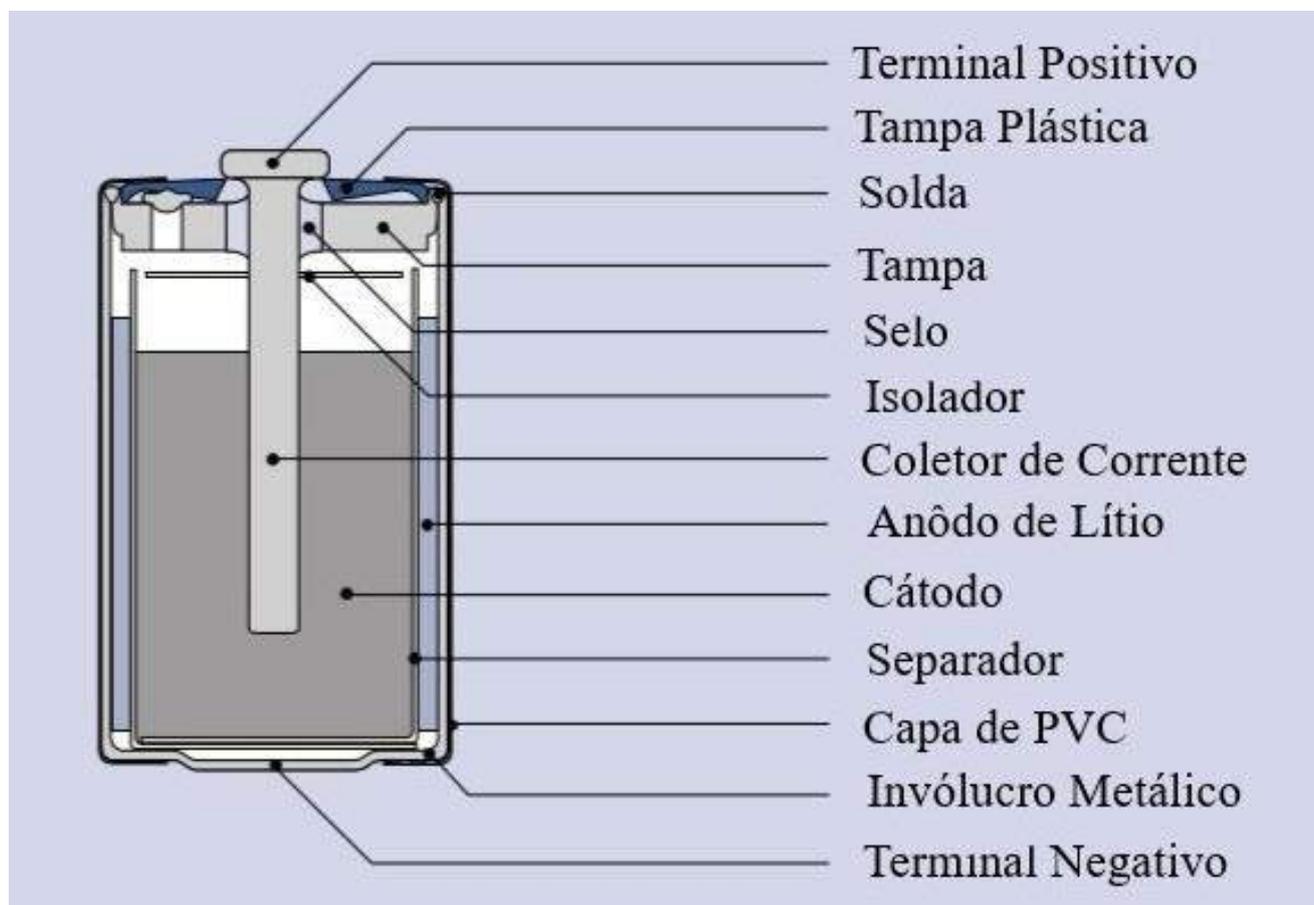


Figura 52 – Bateria LiSOCl_2 cilíndrica

ESPECIFICAÇÕES DAS BATERIAS DE LÍTIO-CLORETO DE TIONILA

As especificações técnicas e curvas das baterias LiSOCl_2 são similares, diferindo apenas nos valores de capacidade, corrente e tamanho.

No mercado nacional existem duas famílias de baterias LiSOCl_2 :

- **Linha Padrão**
- **Linha de Alta Descarga**

As baterias da linha padrão possuem correntes de descarga menores e as baterias da linha de alta descarga possuem correntes de descarga mais elevadas.

Uma das baterias LiSOCl_2 mais utilizada no mercado é a bateria de tamanho AA, cujas especificações apresentamos a seguir como exemplo.

- **Bateria tamanho AA - Linha Padrão**

Tensão Nominal	3,6V
Capacidade Nominal	2.500 mAh
Máxima corrente em regime contínuo	80 mA
Máxima corrente de pulso por 15 seg, com queda de tensão para 2V, com a bateria 50% descarregada	150 mA
Peso	19 g
Temperatura de operação	-55°C a +85°C
Temperatura máxima de armazenagem	30 °C
Diametro	14,5 mm
Altura	50,5 mm

Tabela 8: Características da bateria LiSOCl₂ – tamanho AA – linha padrão

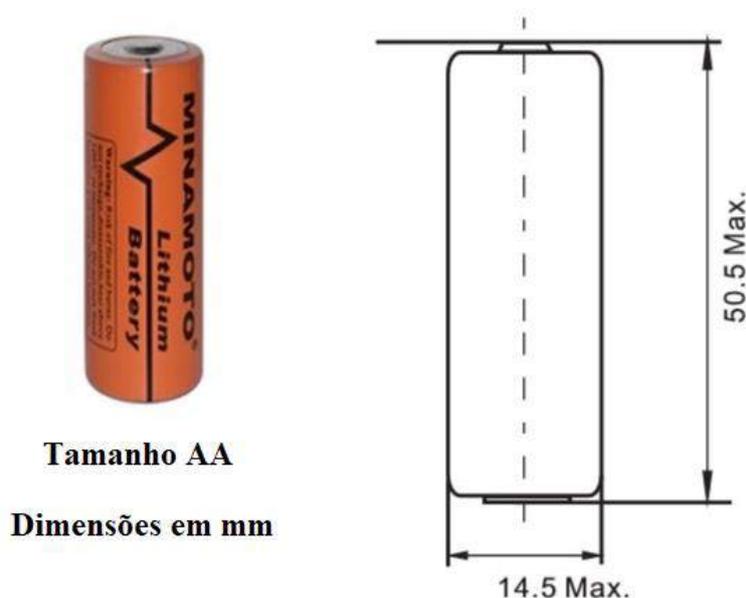


Figura 53 – Medidas da bateria LiSOCl₂ – tamanho AA

CURVAS DAS BATERIAS DE LÍTIO-CLORETO DE TIONILA

Nas figuras 54, 55, 56 e 57 apresentamos as curvas de desempenho das baterias LiSOCl₂, tamanho AA – linha padrão.

As curvas de descarga típicas para a bateria LiSOCl₂ são mostradas na figura 54 para a célula de tamanho AA – linha padrão.

As descargas das baterias LiSOCl₂ são caracterizadas por um perfil plano com bom desempenho em uma ampla gama de temperaturas.

É uma característica geral das baterias de lítio-cloreto de tionila que a tensão permaneça estável durante toda a vida. A curva de descarga normalmente tem uma forma retangular, como pode ser visto na figura 54. Um ligeiro declínio da tensão pode ocorrer durante a descarga, devido a um aumento da resistência interna. Sempre que a descarga for interrompida, a voltagem retornará ao seu valor original.

Isso possibilita o uso de praticamente 100% da capacidade disponível da bateria em um nível bem acima de 3 volts.

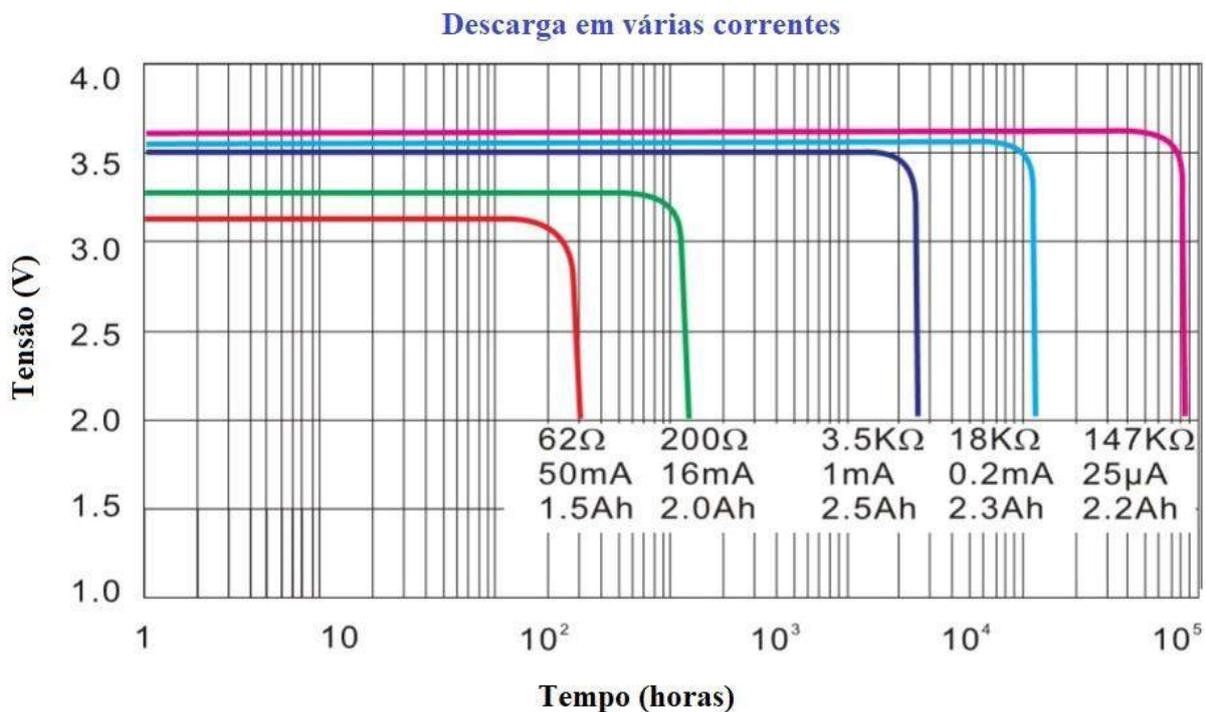


Figura 54 – Características da bateria LiSOCl₂ – tamanho AA – linha padrão

A figura 55 mostra a perda de capacidade da bateria após um tempo armazenada sem uso. Nota-se que a perda de capacidade pelo tempo de armazenagem é bem pequena.

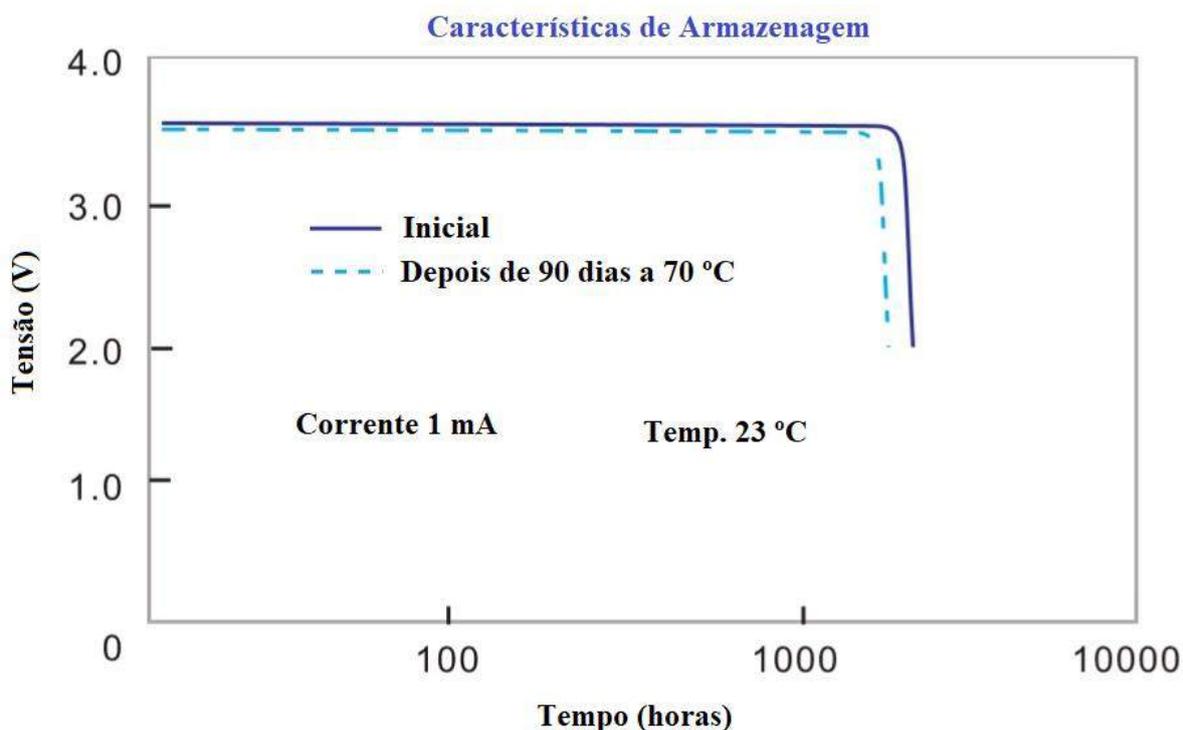


Figura 55 – Armazenagem da bateria LiSOCl₂ – tamanho AA – linha padrão

A relação de capacidade com a corrente é dada na figura 56, mostrando o desempenho de -40°C a 70°C. A figura 57 mostra a tensão de operação em várias correntes.

A célula LiSOCl₂ é capaz de um bom desempenho em temperaturas excepcionalmente altas.

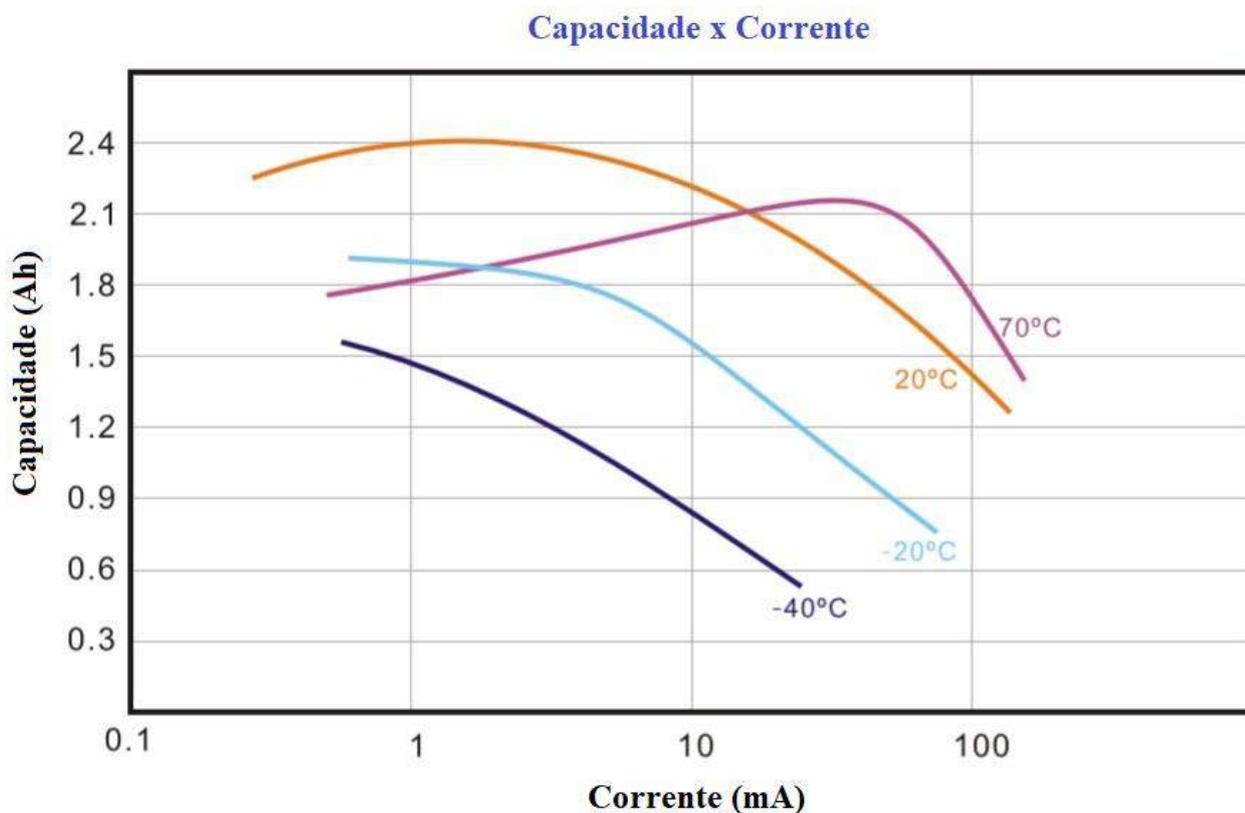


Figura 56 – Capacidade x Corrente da bateria LiSOCl₂ – tamanho AA – linha padrão

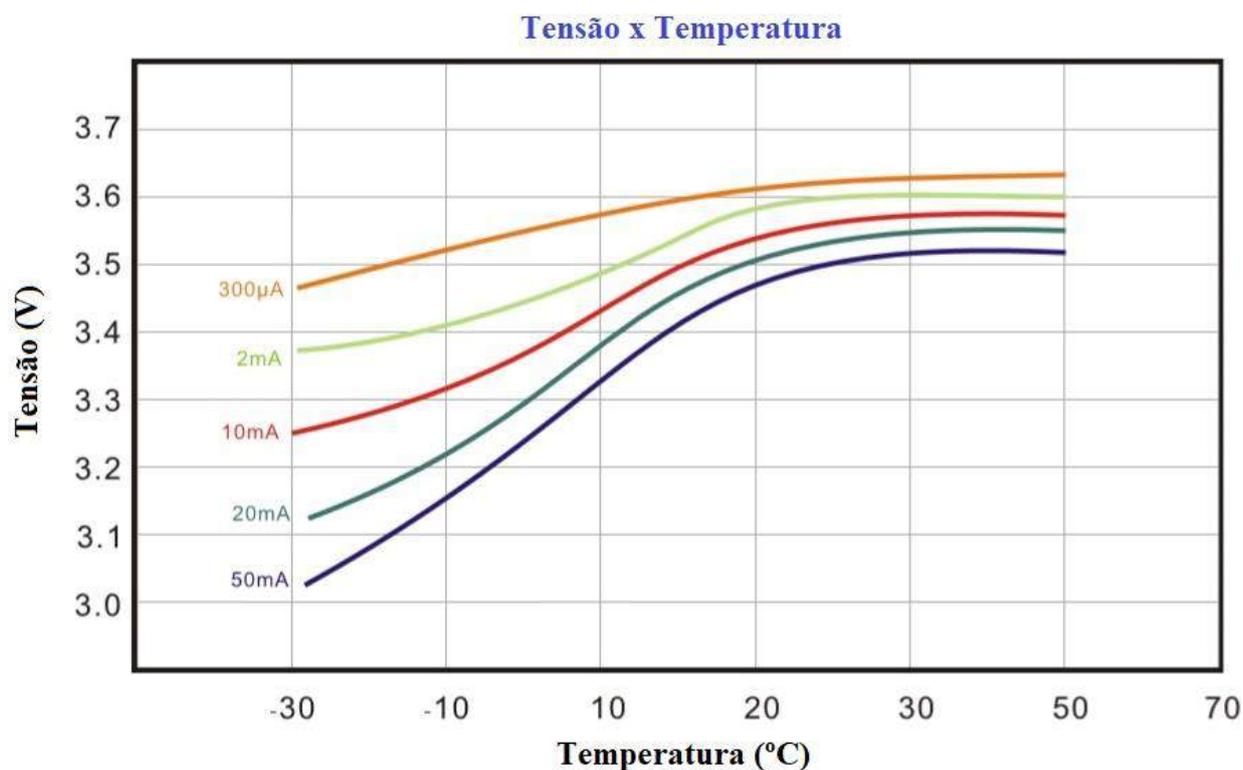


Figura 57 – Tensão x Temperatura da bateria LiSOCl₂ – tamanho AA – linha padrão

- **Bateria tamanho AA - Linha Alta Descarga**

Nas figuras 58, 59, 60 e 61 apresentamos as curvas de desempenho das baterias LiSOCl₂, tamanho AA – linha de alta descarga.

Nessa linha de baterias de alta descarga temos valores de corrente máxima de pulso bem mais elevados do que na linha padrão.

Tensão Nominal	3,6V
Capacidade Nominal	2.100 mAh
Máxima corrente em regime contínuo	400 mA
Máxima corrente de pulso por 15 seg, com queda de tensão para 2V, com a bateria 50% descarregada	1000 mA
Peso	20 g
Temperatura de operação	-55°C a +85°C
Temperatura máxima de armazenagem	30 °C
Diametro	14,5 mm
Altura	50,5 mm

Tabela 9: Características da bateria LiSOCl₂ – tamanho AA – linha de alta descarga

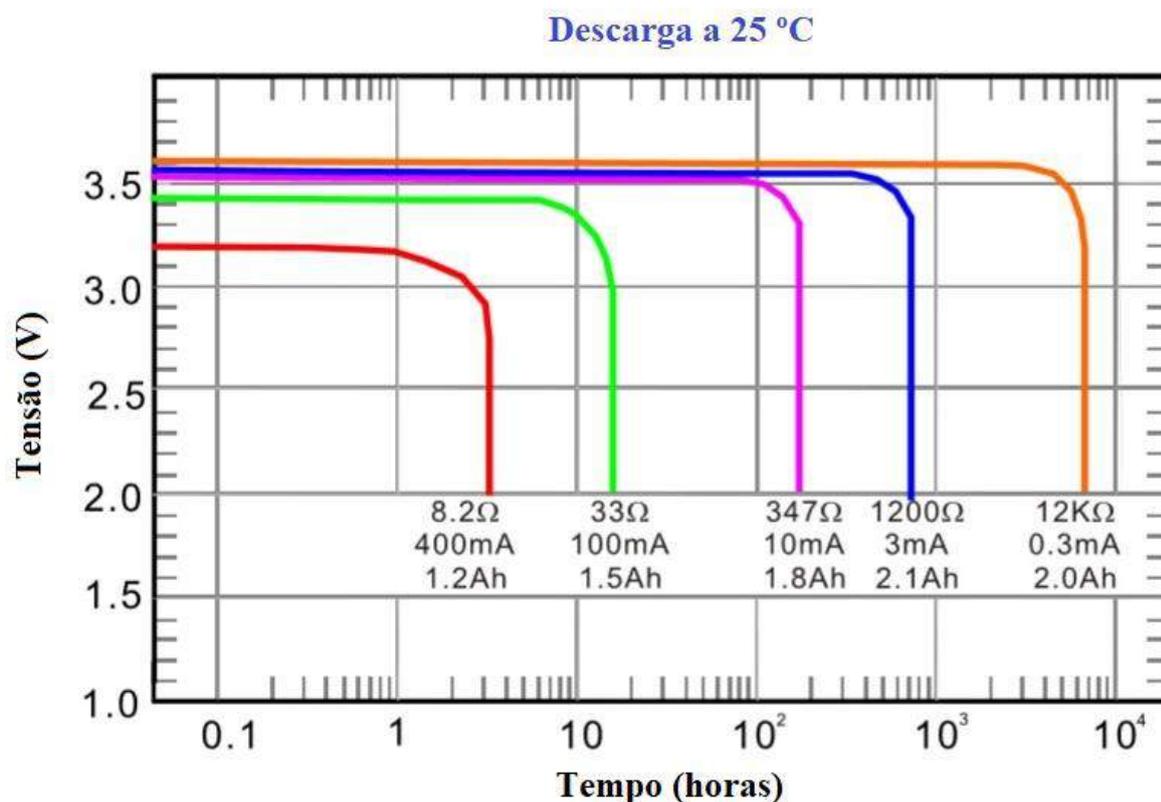


Figura 58 – Características da bateria LiSOCl₂ – tamanho AA – linha de alta descarga

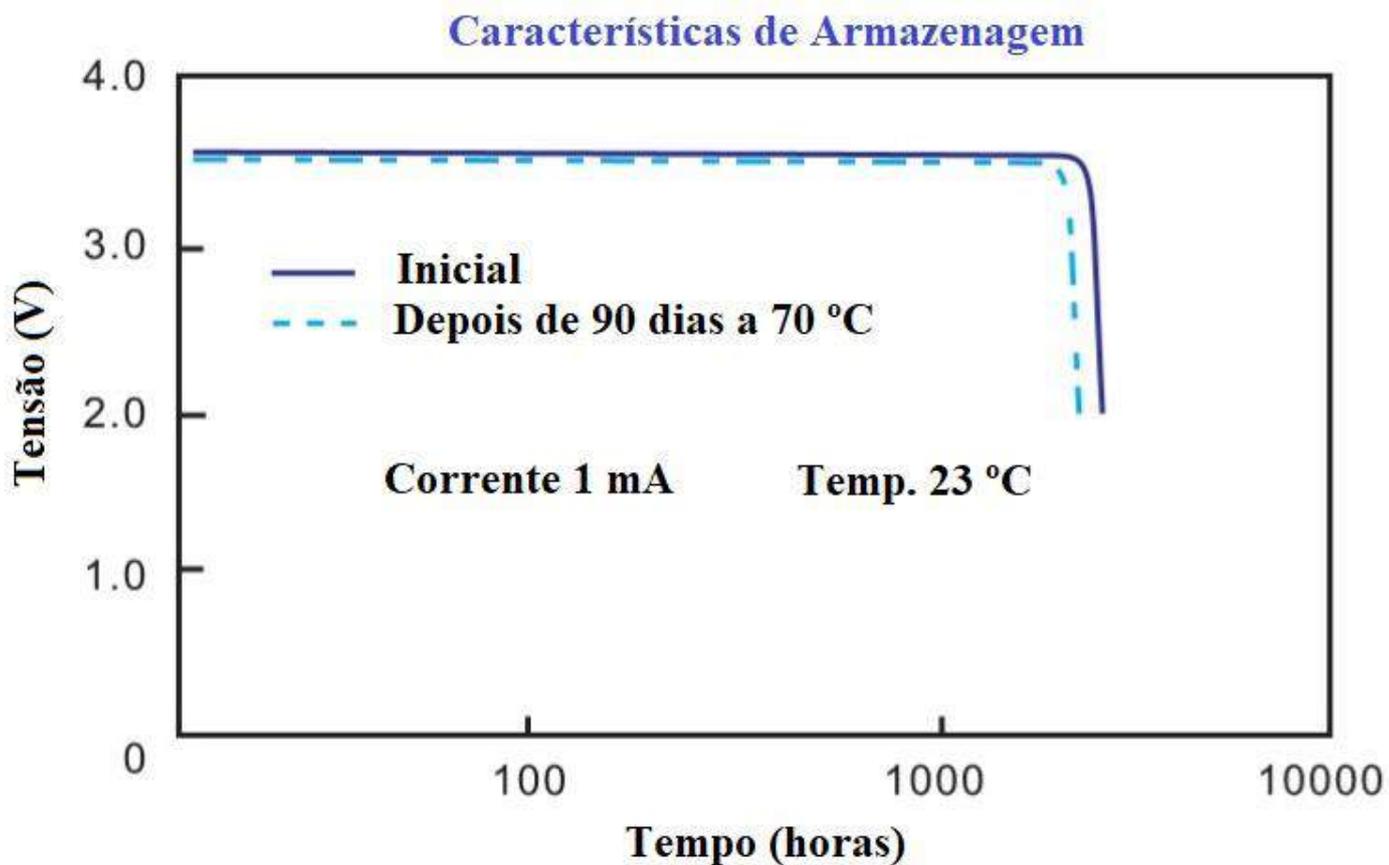


Figura 59 – Armazenagem da bateria LiSOCl₂ – tamanho AA – linha de alta descarga

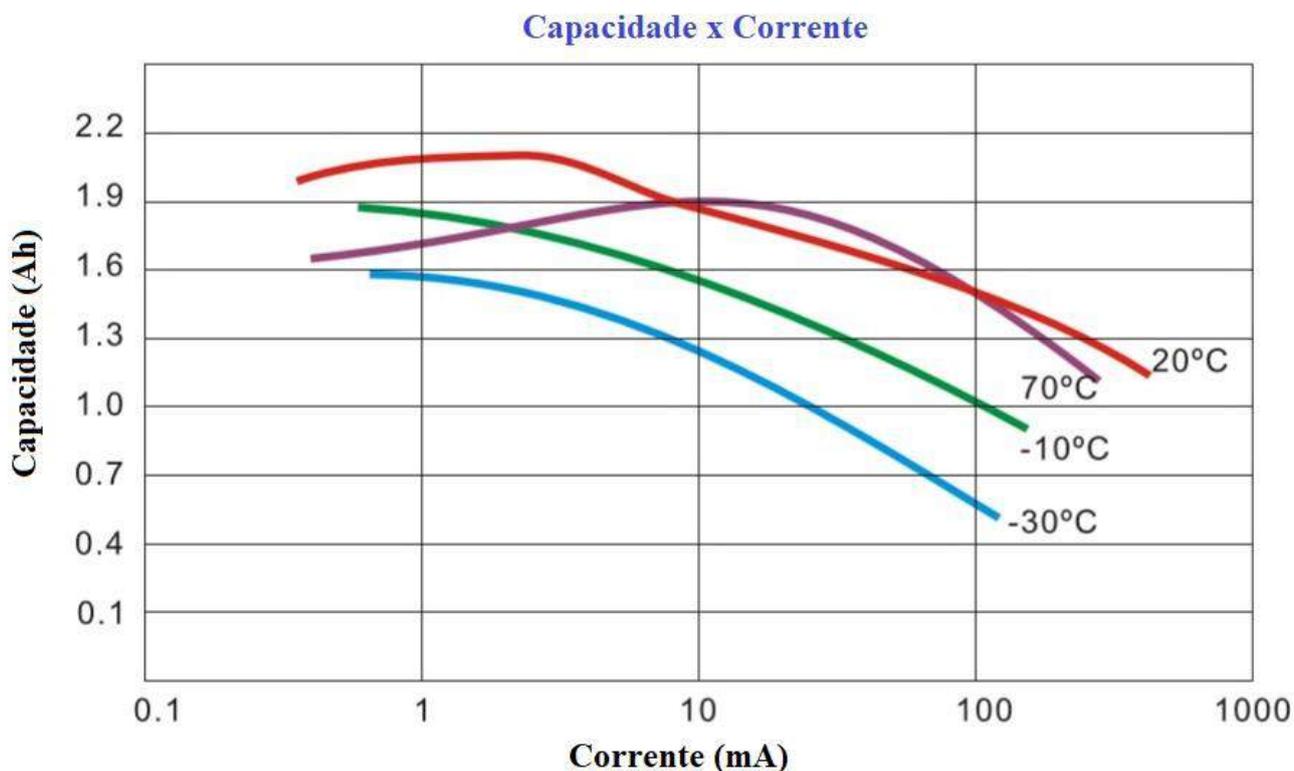


Figura 60 – Capacidade x Corrente da bateria LiSOCl₂ – tamanho AA – linha de alta descraga

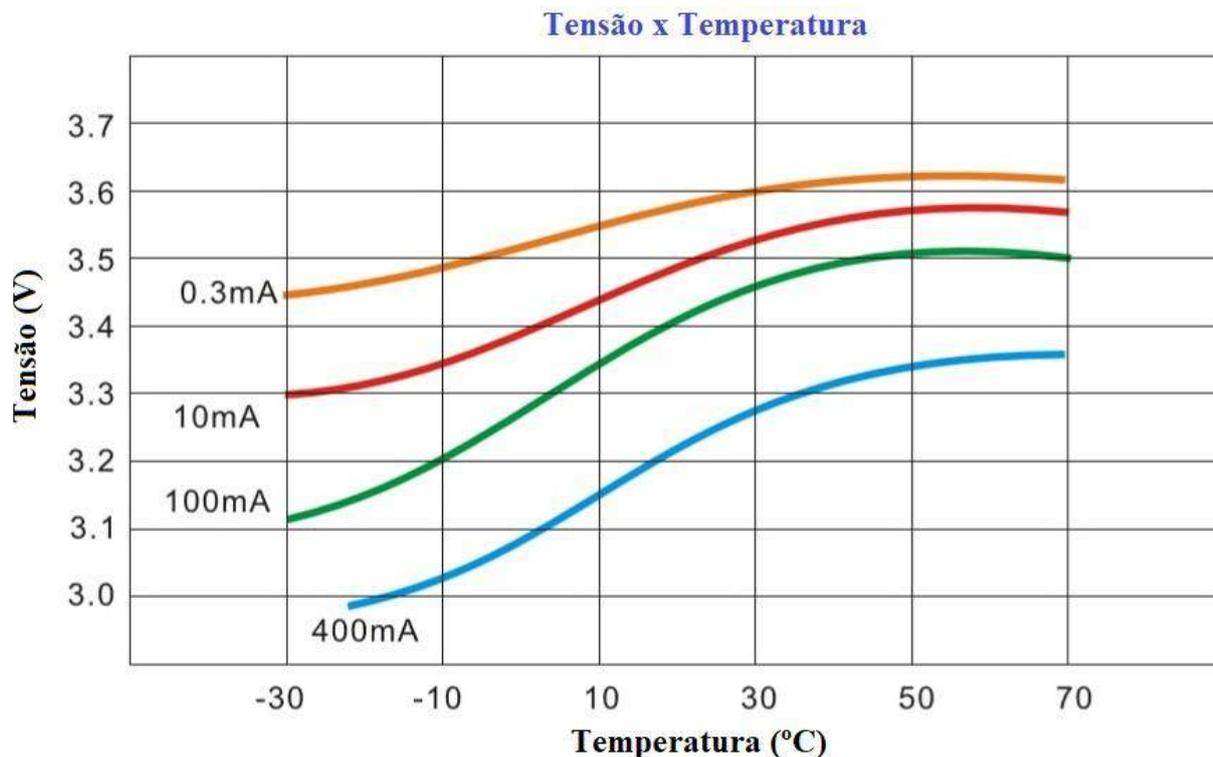


Figura 61 - Tensão x Temperatura da bateria LiSOCl₂ – tamanho AA – linha de alta descarga

APLICAÇÕES DAS BATERIAS DE LÍTIO-CLORETO DE TIONILA

Recentemente, há uma tendência ao uso de baterias de lítio-cloreto de tionila como fontes de energia em equipamentos operados por pulsos de corrente ou em locais com temperaturas elevadas.

As principais aplicações para as baterias de LiSOCL₂ são:

- Medição de utilidades: Eletricidade, gás, água, calor, calorímetros; alocadores de custos de aquecimento; leitura automática de medidores; medidores de pré-pagamento;
- Rastreamento: Cobrança eletrônica de pedágio; registradores de dados; unidades de bordo; caminhões; containers; animais; pessoal;
- Automotivo: Sistemas de monitoramento de pressão dos pneus; controladores de motor; controladores de freio; computadores para automóvel; tacógrafos digitais;
- Sistemas de alarme e segurança;
- Alarmes sem fio;
- PIR;
- Sensores / detectores;
- Cofres eletrônicos;
- Sistemas de criptografia;
- Automação industrial: Controladores; detectores de falhas; controle de lógica de processo; PCs industriais;
- Automação de escritório: Terminais de ponto de venda; máquinas de dinheiro; sistemas telefônicos;
- Instrumentação: Balanças eletrônicas; máquinas de venda automática; máquinas de jogo; taxímetros; monitoramento de fluxo de água;

- Médico: Dispositivos implantáveis; bombas de infusão; dispositivos cirúrgicos;
- No mar: Faróis; bóias; perfuração de petróleo; luzes de colete salva-vidas;
- Militares: Espoletas; minas; dispositivos de segmentação; óculos de visão noturna; máscaras de gás;
- Consumidor final: Set top boxes; eletrônica esportiva; computadores de mergulho.

PROTEÇÕES PARA AS BATERIAS DE LÍTIO-CLORETO DE TIONILA

As baterias de LiSOCl₂ por possuírem alta densidade de energia, devem ser projetadas para evitar curto-circuito não intencional das células, superaquecimento e correntes excessivas de carga e descarga.

Dependendo das condições de uso, talvez seja necessário fornecer dispositivos de proteção no circuito da bateria.

- **Proteção contra carregamento:**

Se uma bateria for usada em conexão com uma fonte de energia independente, ela deve ser equipada com diodos de bloqueio D_s em cada seqüência de células conectadas em série conforme a figura 62. A corrente de fuga de cada diodo não deve exceder 10 µA.

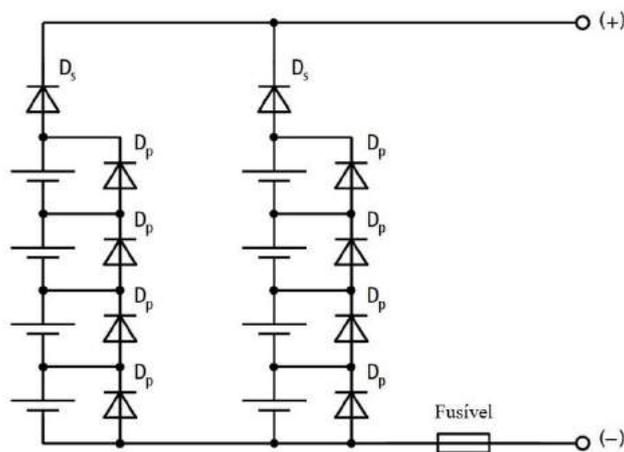


Figura 62 - Proteções das baterias LiSOCl₂

- **Proteção contra descarga excessiva**

Os diodos de desvio D_p na figura 62, devem ser ligados em paralelo com cada célula do pack de baterias a fim de evitar qualquer inversão de tensão. O efeito de um diodo de derivação é que a corrente passa pelo diodo se uma célula tiver sido descarregada. A célula não pode, portanto, ser descarregada à força.

- **Proteção contra curto-circuito**

As células LiSOCl₂ podem eventualmente sofrer um curto-circuito acidental. As células individuais normalmente suportam uma corrente de curto circuito. Porém no caso de packs de baterias, onde várias células são ligadas em série ou em paralelo, é necessária uma proteção adicional contra curto-circuito. Nestes casos, deve ser utilizado um fusível ou um fusível térmico.

SELEÇÃO DAS BATERIAS DE LÍTIU-CLORETO DE TIONILA

As tabelas 10 e 11 mostram as principais características das baterias LiSOCl₂ disponíveis no mercado nacional. Essas tabelas podem ser utilizadas para selecionar a bateria mais adequada para cada aplicação.

- **Linha Padrão**

Modelo	Tamanho	Capacidade Nominal (mAh)	Tensão Nominal (V)	Diâmetro (mm)	Altura (mm)	Peso (g)	Corrente nominal (mA)	Corrente de pico (mA)
ER13150	-	450	3.6	13.5	15.8	6	10	20
ER10450	AAA	800	3.6	10.6	46	9	20	50
ER14250C	1/2AA	1200	3.6	16.8	28.6	10	30	80
ER14250	1/2AA	1200	3.6	14.5	25	10	30	80
ER14335	2/3AA	1650	3.6	14.5	33.5	13	50	100
ER17335	2/3A	2000	3.6	17	33.5	18	50	100
ER14505	AA	2500	3.6	14.5	50.5	19	80	150
ER17505	A	3400	3.6	17.5	50.5	24	100	200
ER18505	-	4000	3.6	18.5	50.5	29	100	200
ER26500	C	8500	3.6	26.2	50	52	100	250
ER261020	CC	15Ah	3.6	26	102	95	150	300
ER34615H	D	19Ah	3.6	34	61.5	105	200	350

Tabela 10: Características das baterias cilíndricas LiSOCl₂ – cilíndricas – linha padrão

- **Linha de Alta Descarga**

Modelo	Tamanho	Capacidade Nominal (mAh)	Tensão Nominal (V)	Diâmetro (mm)	Altura (mm)	Peso (g)	Corrente Nominal (mA)	Corrente de pico (mA)
ER14250M	1/2AA	750	3.6	14.5	25	11	100	250
ER14335M	2/3AA	1350	3.6	14.5	33.5	14	200	500
ER14505M	AA	2100	3.6	14.5	50.5	20	400	1000
ER17335M	2/3A	1700	3.6	17	33.5	20	400	1000
ER17505M	A	2800	3.6	17.5	50.5	28	500	1000
ER18505M	-	3500	3.6	18.5	50.5	30	600	1500
ER26500M	C	6000	3.6	26.2	50	56	1000	2000
ER34615M	D	13Ah	3.6	34	61.5	109	1800	3000

Tabela 11: Características das baterias cilíndricas LiSOCl₂ – cilíndricas – linha alta descarga

ARMAZENAGEM DAS BATERIAS DE LÍTIO-CLORETO DE TIONILA

As baterias devem ser armazenadas em locais com temperatura geralmente baixa e baixos níveis de umidade. Embora não seja essencial que essas áreas de armazenamento sejam controladas por temperatura e umidade, as temperaturas devem geralmente ser mantidas abaixo de 35 °C e as áreas de armazenamento devem ser bem ventiladas. Devem ser evitadas temperaturas de armazenamento acima de 75 °C. Os tempos de armazenamento superiores a um ano influenciam no desempenho da bateria.

PASSIVAÇÃO DAS BATERIAS DE LÍTIO-CLORETO DE TIONILA

Passivação é um termo químico que se refere a fenômenos nos quais um tipo de filme químico aparece na superfície de um metal e impede uma degradação futura dessa superfície metálica. Na bateria de lítio-cloreto de tionila (LiSOCl_2), o cloreto de tionila (SOCl_2) é líquido. O lítio metálico (Li) entra em contato com o cloreto de tionila (SOCl_2) e vai lentamente se oxidando, o que resulta na produção de cloreto de lítio.

O cloreto de lítio produzido na superfície do lítio metálico forma uma camada muito fina, porém com alta resistência elétrica. Essa camada impede a reação do lítio metálico com o cloreto de tionila. Este fenômeno chama-se passivação. Passivação é uma característica inerente da bateria de lítio-cloreto de tionila. A passivação da bateria de lítio-cloreto de tionila acontece assim que a bateria é produzida, mas esta reação não é rápida em velocidade.

Assim como toda a reação química, a velocidade de passivação está relacionada com a temperatura. Quanto mais alta a temperatura, mais rápida será a velocidade.

Quanto mais tempo decorrido da fabricação, maior é a passivação. Uma vantagem da passivação é permitir que a bateria tenha uma taxa de auto descarga muito baixa e uma vida útil extremamente longa.

Por isso, o prazo de validade da bateria pode ser superior a 10 anos. Este é o lado positivo da passivação. Assim a passivação protege a bateria contra perda de capacidade que ocorre na maioria das pilhas e baterias.

Sem a camada de passivação, esse tipo de bateria de lítio não existiria porque o lítio descarregaria e degradaria muito rapidamente.

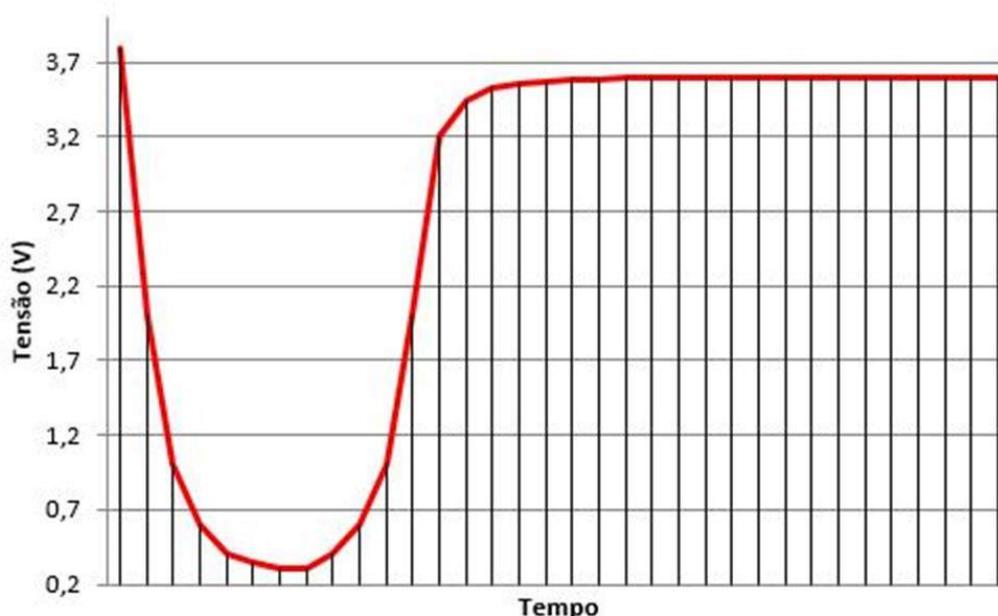


Figura 63 – Passivação – atraso de tensão nas baterias LiSOCl_2

Mas também há um lado negativo da passivação. Quando a bateria começa a ser usada depois de armazenada por algum tempo, a tensão inicial da bateria será baixa. Levará algum tempo antes que a tensão inicial de trabalho da bateria atinja o valor requerido. O efeito mais óbvio da camada de passivação é o atraso de tensão. O atraso de tensão ocorrerá quando uma carga for colocada na bateria, conforme ilustrado na figura 63.

Depois que uma carga é aplicada a uma bateria, a alta resistência da camada de passivação faz com que a tensão da bateria caia rapidamente. A reação de descarga remove lentamente a camada de passivação, diminuindo assim a resistência interna da bateria. Isso, por sua vez, faz com que a tensão da bateria atinja um valor de pico que deve permanecer estável se outras condições de descarga não mudarem.

Se a corrente aumentar após a estabilização da tensão da bateria, ela poderá cair novamente até que a camada de passivação seja totalmente removida. Uma vez que a corrente da bateria é removida ou abaixada, a camada de passivação começará a se formar novamente e o atraso de tensão poderá ocorrer novamente. Vários fatores diferentes podem aumentar a passivação, influenciando assim a duração e a profundidade do atraso de tensão. Eles são:

- **Capacidade de corrente da célula** - Correntes altas nas células podem causar um aumento no atraso de tensão. Por outro lado, o atraso de tensão pode ser imperceptível com correntes muito pequenas.
- **Química** - Diferentes variações na química podem influenciar na passivação.
- **Tempo de armazenamento** - Geralmente, quanto mais tempo uma célula estiver armazenada, mais passivação crescerá na superfície do ânodo. Assim, o atraso de tensão pode ser maior para células mais antigas.
- **Temperatura de armazenamento** - A alta temperatura de armazenamento aumenta a quantidade de passivação. O armazenamento de baterias em áreas não climatizadas durante os meses de verão em climas quentes pode causar problemas de passivação adversos.
- **Temperatura de descarga** - Assim como o armazenamento em alta temperatura pode causar efeitos de passivação, a descarga de baterias em temperaturas muito baixas também pode causar características semelhantes.
- **Condições de descarga anteriores** - A descarga parcial de uma bateria e a remoção da carga aumenta a quantidade de passivação em relação a quando a bateria era nova. Assim, o atraso de tensão em uma segunda utilização pode ser mais pronunciado após o primeiro uso da bateria. Em muitos casos, o atraso de tensão causado pela passivação não afeta os usuários das baterias de lítio. No entanto, recomendamos que se avalie o efeito da passivação com muito cuidado ao selecionar as baterias de lítio. Os usuários de baterias de lítio devem consultar as informações específicas de cada fabricante de bateria sobre este assunto.

COMO RESOLVER A PASSIVAÇÃO DAS BATERIAS DE LISOCL2

Para algumas aplicações, a passivação não é um fator prejudicial, e os usuários não notam atraso de tensão ao conectar o circuito na bateria.

Por outro lado, se o dispositivo onde a bateria será utilizada não puder lidar com essa queda de tensão inicial, as baterias devem ser ativadas antes do uso. O objetivo disso é pré-condicionar a bateria para que a tensão não caia abaixo da tensão mínima do dispositivo quando a carga for aplicada.

O filme de passivação pode ser removido mais rapidamente pela aplicação de pulsos de alta corrente por um curto período, várias vezes até que a célula seja ativada.

A ativação também é conseguida pela colocação de uma carga constante na bateria por um período de tempo que descarrega a bateria com uma corrente pequena, da ordem de 5 mA.

Usualmente consegue-se a ativação da bateria, com o restabelecimento da tensão nominal de 3,6V após um período de tempo que pode variar de alguns poucos minutos até várias horas, dependendo da profundidade da passivação da bateria.

Deve-se notar que como a corrente de ativação da bateria é de apenas 5 mA mesmo que a bateria seja descarregada por várias horas, a perda de capacidade resultante ainda será pequena. Por exemplo se uma bateria for descarregada com 5mA por 10 horas, a perda de capacidade será de 50 mAh.

A ativação da bateria pode ser efetuada pelo fluxo de corrente, bem como choques mecânicos, vibração e ciclagem de temperatura.

O efeito da passivação é evitado quando as baterias de LiSOCl_2 são usadas em conjunto com capacitores de alto pulso, descritos a seguir.

CAPACITOR DE ALTO PULSO PARA BATERIAS LÍCIO-CLORETO DE TIONILA

As baterias não recarregáveis de lítio (LiSOCl_2), normalmente tem uma corrente de pico da ordem de duas vezes o valor da corrente nominal. Essas baterias são usadas em equipamentos que usualmente ficam em um estado de espera durante um longo tempo e consomem uma corrente baixa.

Porém, quando em operação, exigem uma corrente elevada por um curto período de tempo. A bateria por si só muitas vezes não consegue atingir a corrente de pico que o equipamento exige.

Nesses casos pode-se usar em conjunto com a bateria, um capacitor de alto pulso (HPC-High Pulse Capacitor), que é um dispositivo especial de armazenamento de energia, com alta corrente de descarga e que pode operar em uma faixa de temperatura de -40°C a 85°C .



Figura 64 – Capacitor de alto pulso e bateria LiSOCl_2

O capacitor é conectado em paralelo com a bateria de lítio de longa duração (LiSOCl_2) de forma que pode fornecer pulsos de alta corrente.

Este sistema de energia é ideal para aplicações onde o equipamento fica muito tempo em espera e de tempos em tempos necessita de um pulso de corrente.

- **Características principais**
 - Tensão alta e estável de 3,6V
 - Alta capacidade de corrente de pulso
 - Nenhum efeito de passivação

- Ampla faixa de temperatura de operação (-40 a + 85°C)
 - Longa vida de armazenamento e auto-descarga muito baixa (menos de 2% ao ano)
 - Alta segurança e confiabilidade
 - Excelente desempenho a baixa / alta temperatura
 - Design seguro (dispositivo de válvula anti-explosão)
- **Principais aplicações**
 - Dispositivos de rastreamento GPS / modems GSM
 - Dispositivos de rastreamento GPS / modems GSM
 - Medidores de utilidade (AMR)
 - Dispositivos médicos e de emergência
 - Rastreamento de carga
 - Equipamento de comunicação
 - Transponders RFID
 - Registradores de dados

Um dos capacitores de alto pulso mais usados no mercado é o modelo HPC 1550, que tem tamanho similar a uma bateria de tamanho AA.

Na tabela 12 apresentamos as principais especificações desse capacitor.

Altura	50,5 mm
Diâmetro	15,1 mm
Peso	19,5 g
Tensão Nominal	3,6 V
Temperatura de Operação	-40°C a +85°C
Impedância Interna	$\leq 100\text{m}\Omega$ a 20°C - 1kHz
Capacidade de Descarga a 20°C	560A*sec – 155 mAh
Tensão de Corte	2,8 V
Máxima corrente em regime contínuo	2 A
Máxima corrente de pico	5 A
Máxima tensão de carga	3,95 V
Máxima corrente de carga	100 mA
Tempo de Armazenagem a 20 °C	3 anos
Corrente de auto descarga a 20 °C	3 μ A
Vida útil em uso juntamente com bateria LiSOCl₂	10 anos

Tabela 12: Características do capacitor de alto pulso HPC 1550



Figura 65 – Capacitores de alto pulso disponíveis no mercado – HPC 1520, 1530 e 1550

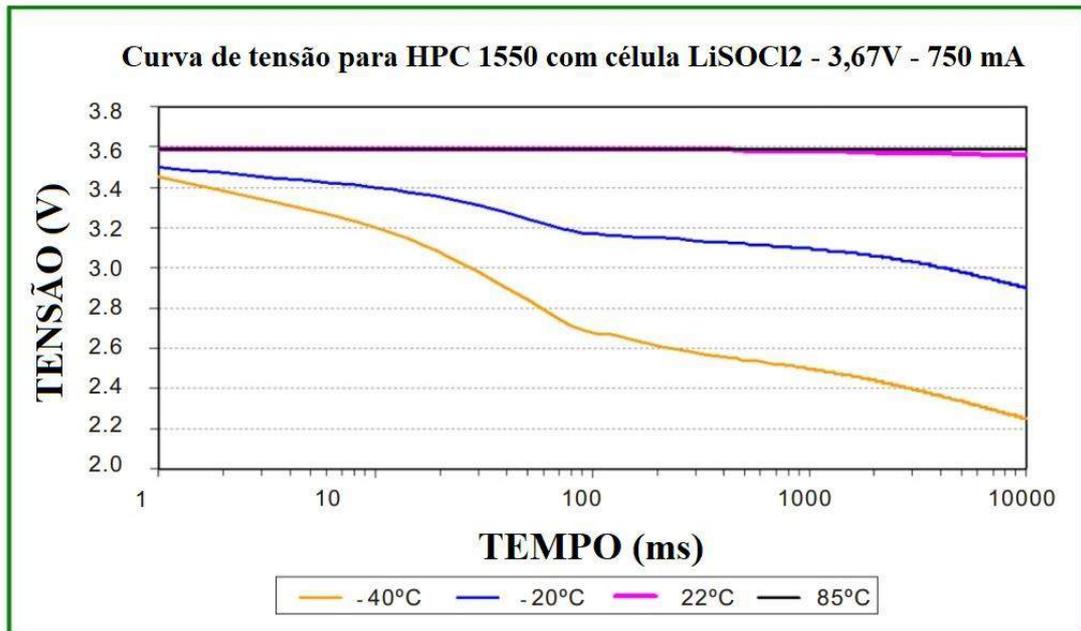


Figura 66 – Curva de descarga para capacitor de alto pulso – HPC 1550 – 750 mA

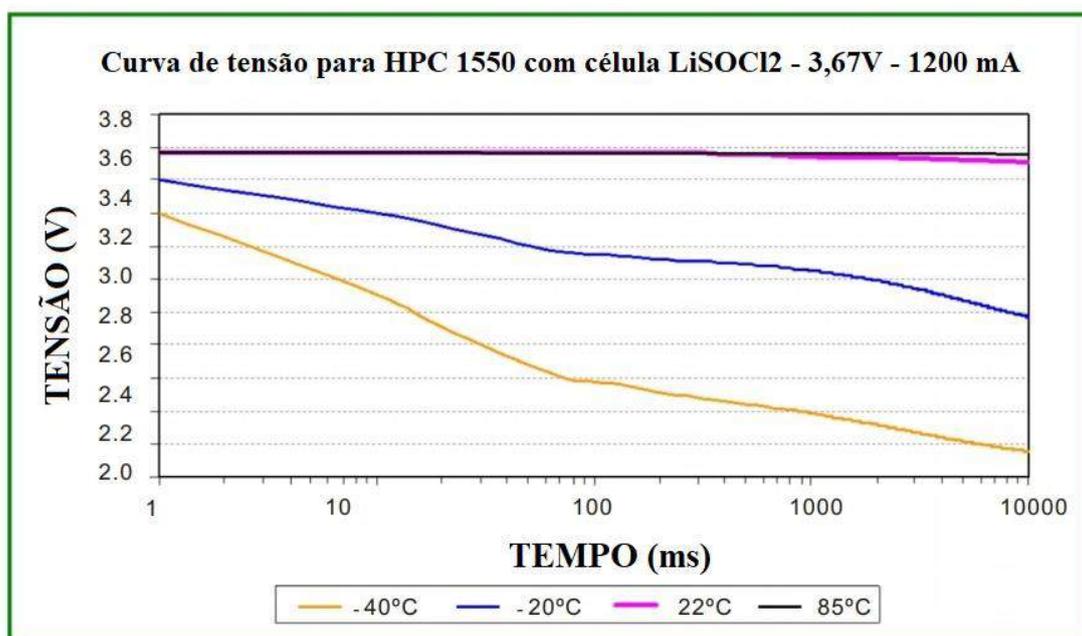


Figura 67 – Curva de descarga para capacitor de alto pulso – HPC 1550 – 1200 mA

6. BATERIA DE LÍTIO BISSULFETO DE FERRO - LIFES2 - 1,5 V



Figura 68 – Bateria de lítio-bissulfeto de ferro LiFeS_2

VISÃO GERAL DAS BATERIAS DE LÍTIO-BISSULFETO DE FERRO

O termo "bateria de lítio" refere-se a várias químicas diferentes que utilizam o lítio como ânodo, mas diferem no material do cátodo, eletrólito e construção. Elas podem ser classificadas de várias maneiras, mas um método conveniente é pelo material e voltagem do cátodo.

O uso de um cátodo de bissulfeto de ferro fornece uma bateria com uma voltagem nominal de 1,5 volts. A maioria das outras baterias de lítio são sistemas de 3,0 volts usando cátodos que incluem dióxido de manganês ou cloreto de tionila. Finalmente, as baterias de lítio não devem ser confundidas com baterias recarregáveis de lítio íon. As baterias de lítio íon não contêm lítio metálico.

As baterias de lítio-bissulfeto de ferro - LiFeS_2 são fabricadas em uma configuração cilíndrica, nos tamanhos AA e AAA e por possuírem uma tensão de 1,5V podem substituir com vantagens as baterias comuns de Zinco-Carbono e as baterias alcalinas. Algumas das vantagens das baterias de lítio-bissulfeto de ferro (LiFeS_2) sobre a química alcalina são:

- Compatibilidade direta em equipamentos que usam tamanhos de bateria de 1,5 volts "AA" e "AAA".
- Potência muito maior que as baterias de 1,5V de zinco-carbono e alcalinas.
- Fornece serviço mais demorado do que as baterias de zinco-carbono e alcalinas em aplicações de corrente elevada.
- Maior vantagem de serviço em relação a outros tipos de baterias primárias em baixas temperaturas extremas operando a $-40\text{ }^\circ\text{C}$.
- Tensão operacional mais alta e curva de descarga mais plana do que outros tipos de baterias primárias.
- Resistência superior a vazamentos em comparação com outros tipos de baterias.
- Consideravelmente mais leve que outros tipos de bateria.
- Bom desempenho após armazenamento em alta temperatura de até $+60\text{ }^\circ\text{C}$.
- Sem adição de mercúrio, cádmio ou chumbo.
- Essas baterias têm melhor desempenho em alta corrente de descarga que as baterias alcalinas.
- Além disso, tem uma capacidade mais alta e uma resistência interna mais baixa do que a bateria alcalina.
- Baixa auto descarga, permitindo 15 anos de armazenamento em temperatura ambiente.

ESPECIFICAÇÕES DAS BATERIAS DE LÍTIO-BISSULFETO DE FERRO

A tabela 13 mostra algumas características das baterias LiFeS_2 em comparação com baterias alcalinas e baterias recarregáveis de NiMh.

Característica	LiFeS_2	Alcalina	NiMh
Desempenho em baixa temperatura	Superior	Bom	Superior
Peso	33% < Alcalina	33% > LiFeS_2	33% > Alcalina
Tempo e armazenagem	+ de 20 anos	5 a 10 anos	3 a 5 anos
Resistência à vazamentos	Superior	Bom	Bom
Curva de descarga	Plana	Inclinada	Plana
Capacidade (mAh)	Superior	Boa	Superior

Tabela 13 – Comparação entre baterias LiFeS_2 , Alcalinas e NiMh

As células de LiFeS_2 não podem ser recarregadas. Tentar recarregar essas baterias pode causar vazamento ou explosão. As células LiFeS_2 são fabricadas em formato cilíndrico, nos tamanhos AA e AAA e sua forma construtiva está mostrada na figura 69.

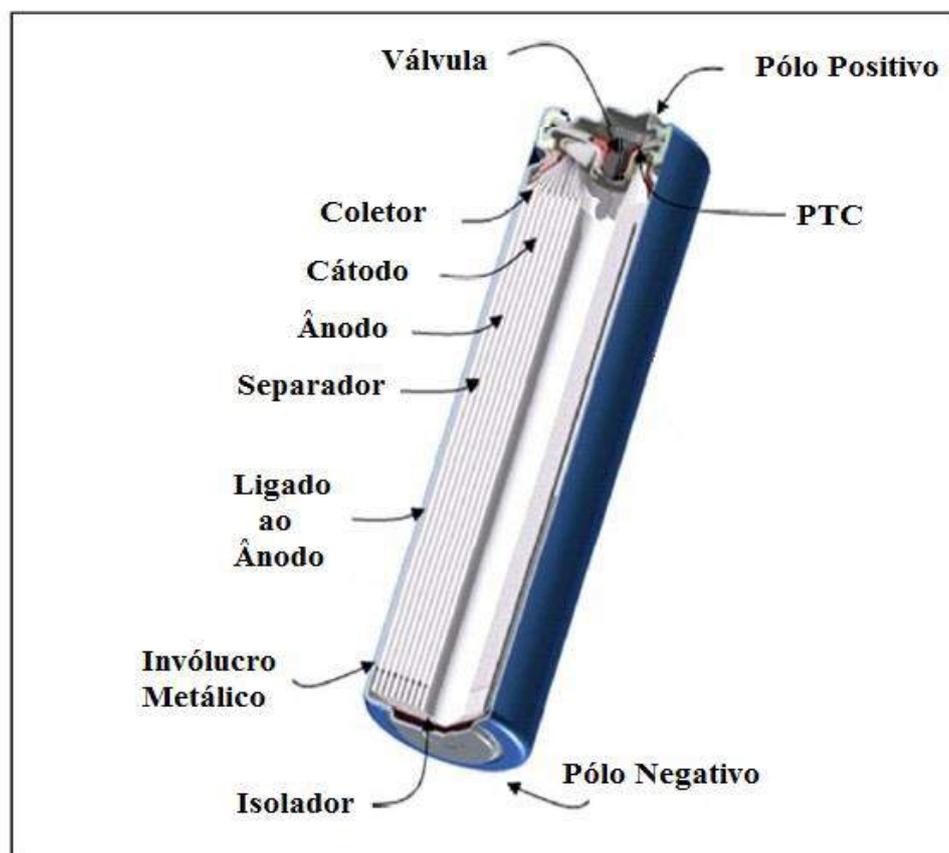


Figura 69 – Forma construtiva das baterias LiFeS_2

ESPECIFICAÇÕES DA BATERIA LIFES2 – TAMANHO AA

As principais características das baterias LiFeS₂, tamanho AA são mostradas na tabela 14. Estas especificações são apenas para servir como exemplo e podem variar conforme o fabricante da bateria.

Tipo de Bateria	Primária de Lítio
Sistema Químico	LiFeS ₂
Tensão Nominal	1,5V
Temperatura de Armazenagem	-40°C a 60 °C
Temperatura de Operação	-40°C a 60 °C
Peso	15 g
Máxima corrente contínua de descarga	2,5 A
Máxima corrente de pico de descarga	4 A
Conteúdo de lítio	< 1g
Resistência Interna	120 a 240 mΩ
Tempo de Armazenagem	20 anos a 21 °C

Tabela 14 – Características da bateria LiFeS₂ tamanho AA

A figura 70 mostra as dimensões das baterias LiFeS₂, tamanho AA.

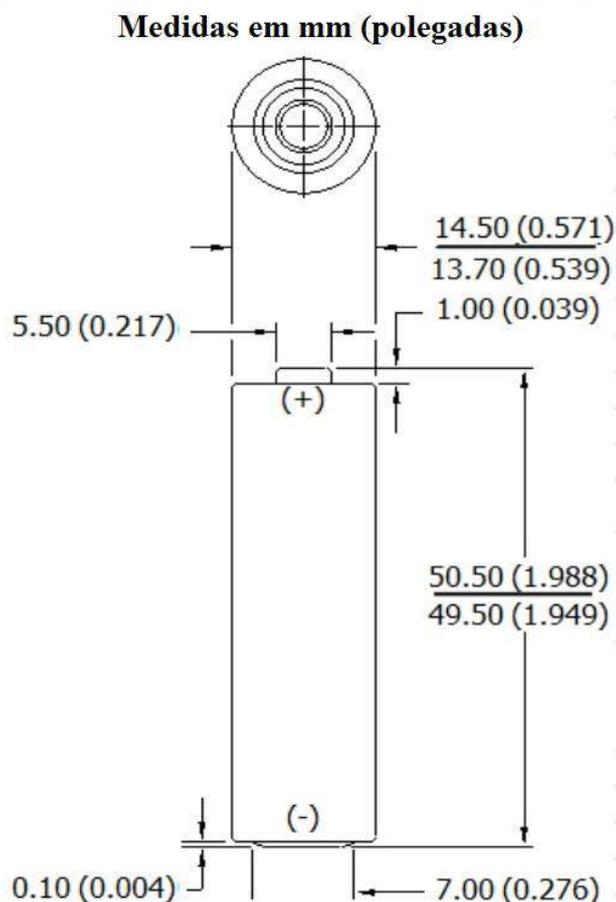


Figura 70 – Dimensões das baterias LiFeS₂ – tamanho AA

CURVAS DA BATERIA LIFES2 – TAMANHO AA

As figuras 71 a 77 mostram as principais curvas de desempenho das baterias LiFeS₂, tamanho AA. Essas curvas são para referência, podendo variar em função do fabricante da bateria.

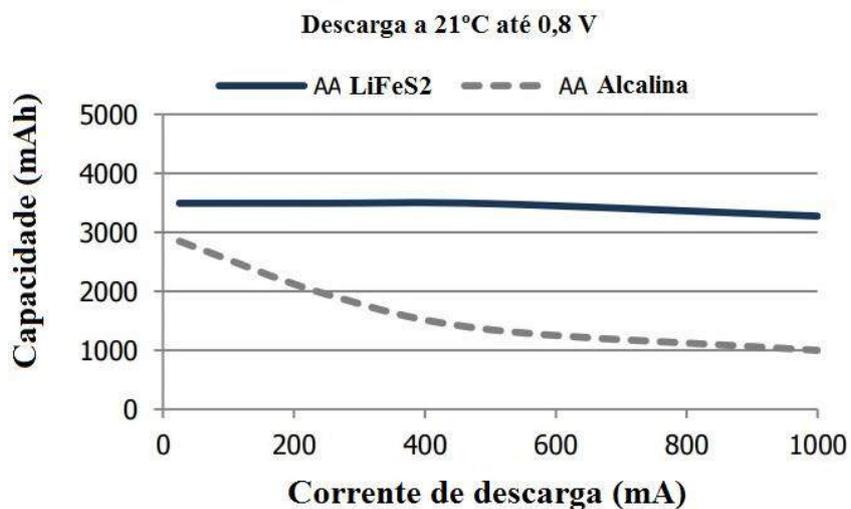


Figura 71 – Curva de capacidade para bateria LiFeS₂ – tamanho AA

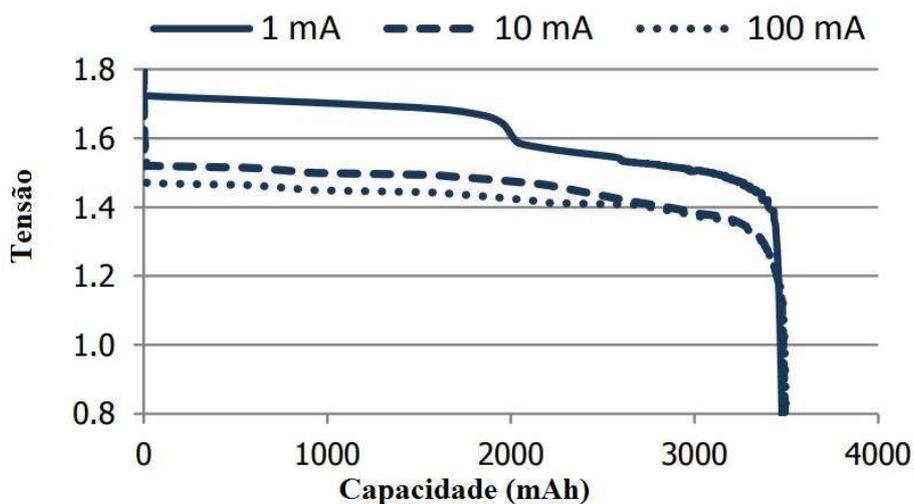


Figura 72 – Curva de capacidade x tensão para bateria LiFeS₂ – tamanho AA

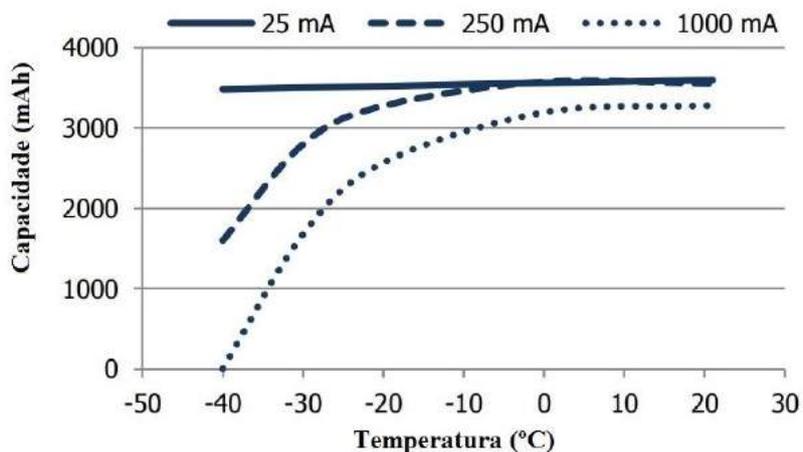


Figura 73 – Curva de capacidade x temperatura para baterias LiFeS₂ – tamanho AA

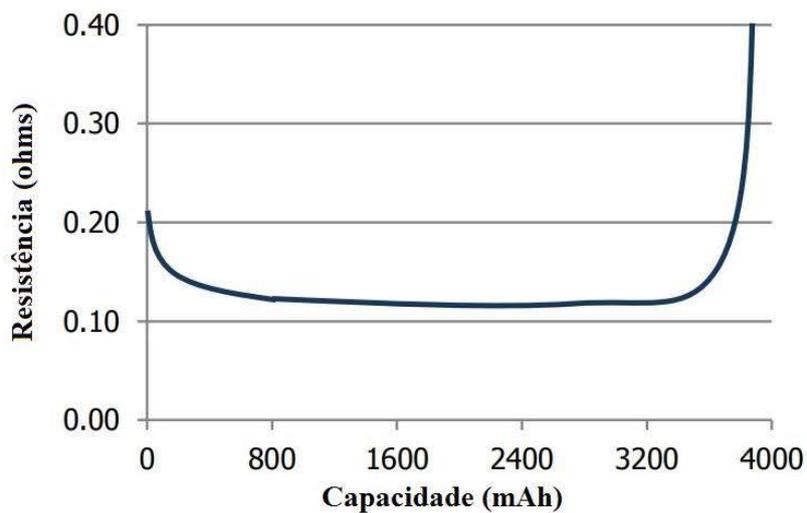


Figura 74 – Curva de resistência interna para baterias de LiFeS₂ – tamanho AA

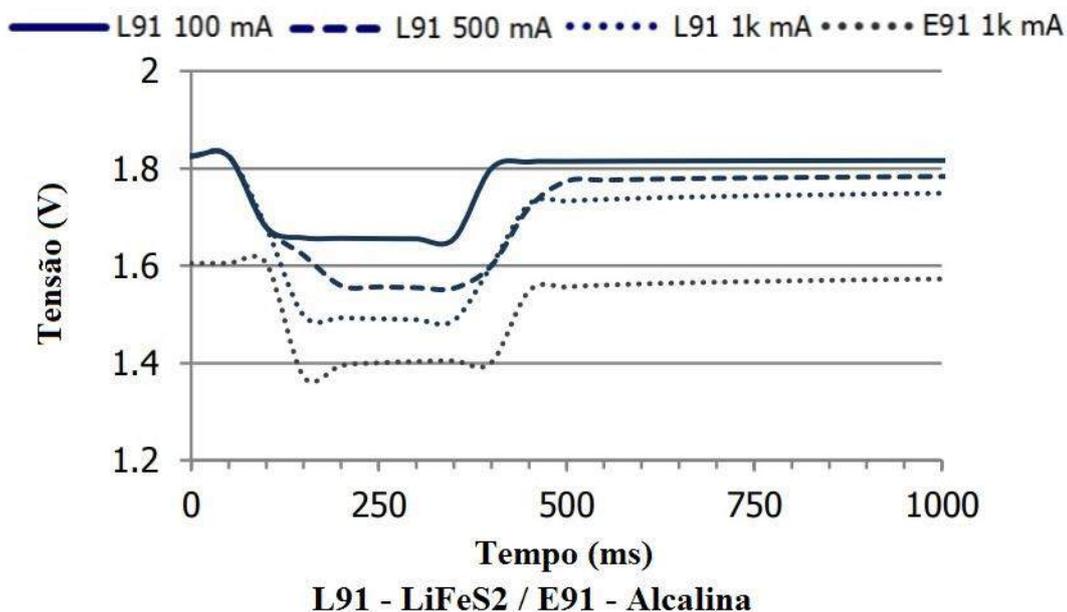


Figura 75 – Curva de resposta para pulsos de corrente para baterias LiFeS₂ – tamanho AA

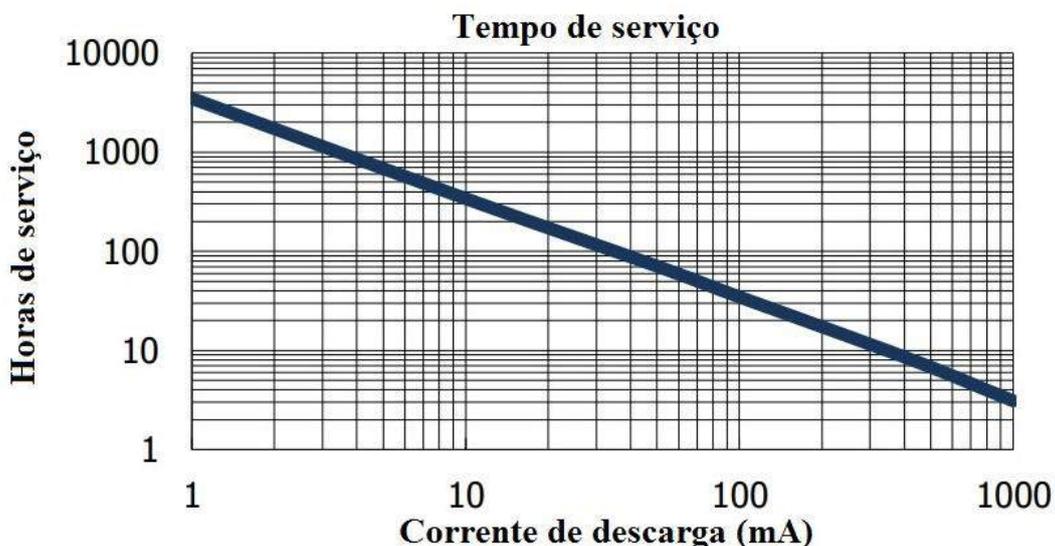


Figura 76 – Curva de horas de serviço x corrente de descarga para baterias LiFeS₂ – tamanho AA



Figura 77 – Curva de tensão x horas de serviço com 50 mA para baterias LiFeS₂ – tamanho AA

ESPECIFICAÇÕES DA BATERIA LIFES2 – TAMANHO AAA

As principais características das baterias LiFeS₂, tamanho AAA são mostradas na tabela 15. Estas especificações são apenas para servir como exemplo e podem variar conforme o fabricante da bateria.

Tipo de Bateria	Primária de Lítio
Sistema Químico	LiFeS ₂
Tensão Nominal	1,5V
Temperatura de Armazenagem	-40°C a 60 °C
Temperatura de Operação	-40°C a 60 °C
Peso	7,6 g
Máxima corrente contínua de descarga	1,5 A
Máxima corrente de pico de descarga	2 A
Conteúdo de lítio	< 1g
Resistência Interna	140 a 180 mΩ
Tempo de Armazenagem	20 anos a 21 °C

Tabela 15 – Características da bateria LiFeS₂ tamanho AAA

A figura 78 mostra as dimensões das baterias LiFeS₂, tamanho AAA.

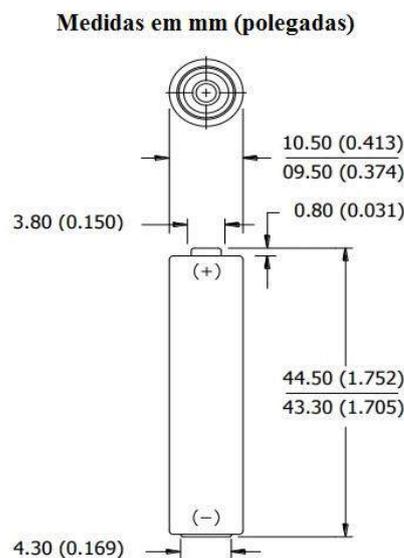


Figura 78 – Dimensões das baterias LiFeS₂ – tamanho AAA

CURVAS DA BATERIA LIFES2 – TAMANHO AAA

As figuras 79 a 85 mostram as principais curvas e desempenho das baterias LiFeS₂, tamanho AAA. Essas curvas são para referência, podendo variar em função do fabricante da bateria.

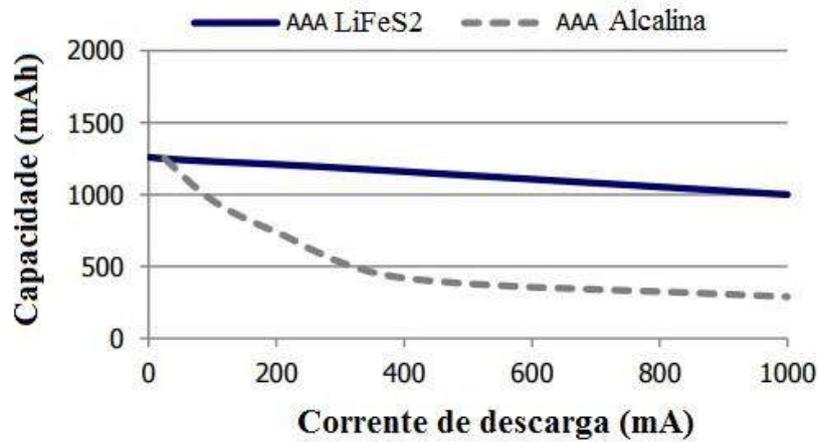


Figura 79 – Curva de capacidade para bateria LiFeS₂ – tamanho AAA

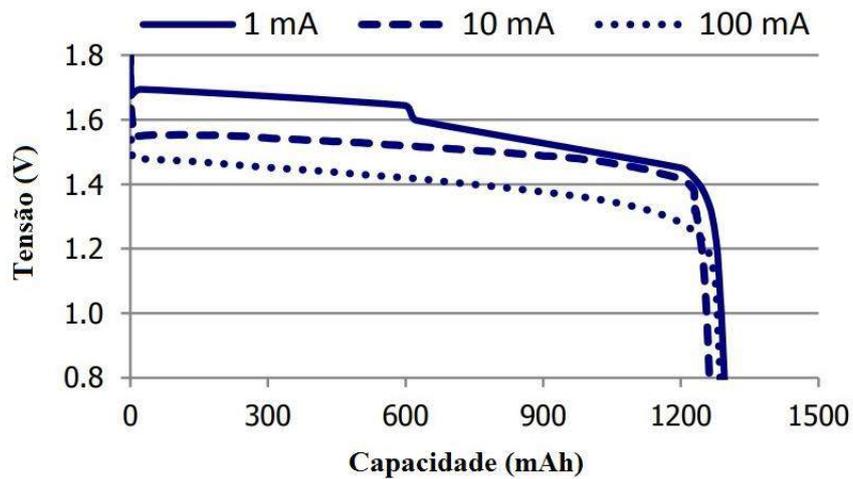


Figura 80 – Curva de capacidade x tensão para bateria LiFeS₂ – tamanho AAA

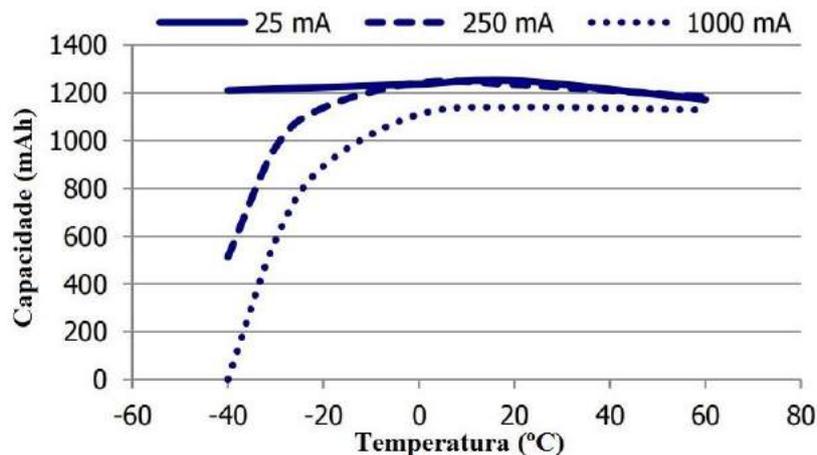


Figura 81 – Curva de capacidade x temperatura para baterias LiFeS₂ – tamanho AAA

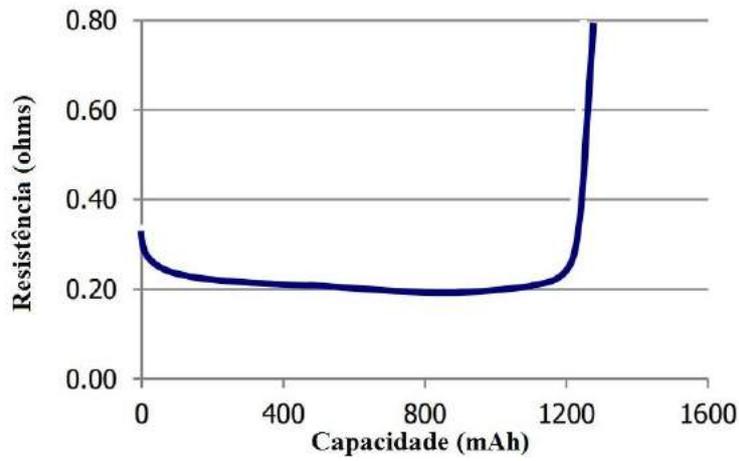


Figura 82 – Curva de resistência interna para baterias de LiFeS₂ – tamanho AAA

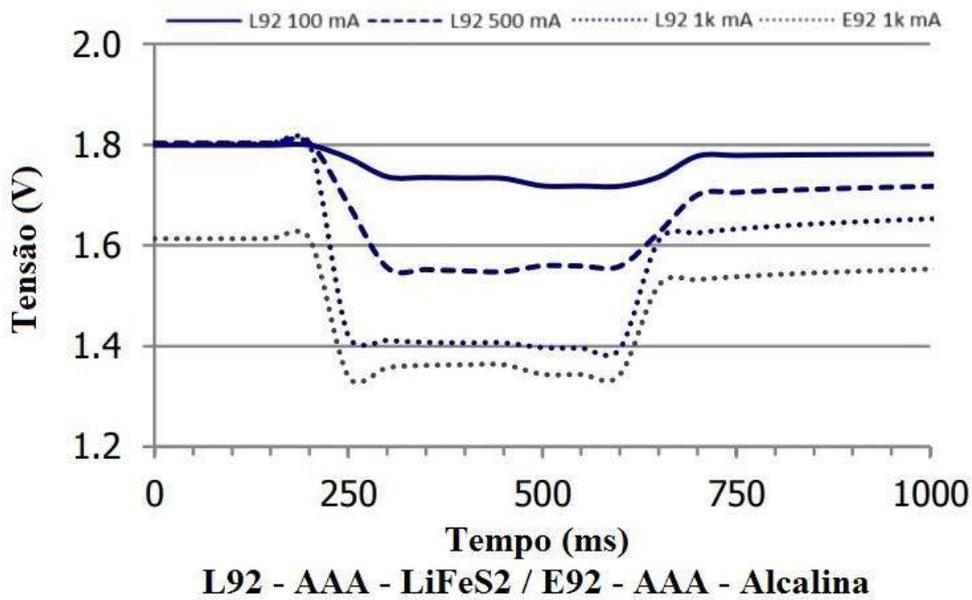


Figura 83 – Curva de resposta para pulsos de corrente para baterias LiFeS₂ – tamanho AAA

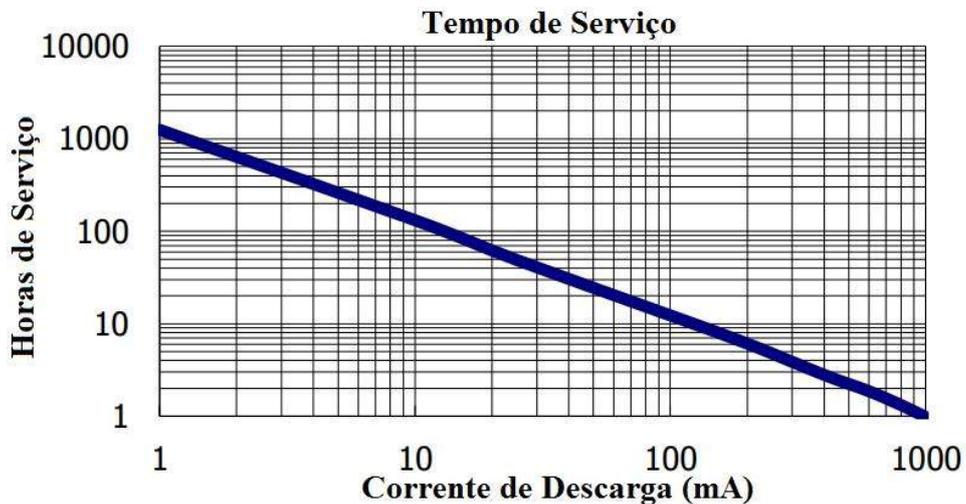


Figura 84 – Curva de horas de serviço x corrente de descarga para baterias LiFeS₂ – tamanho AAA

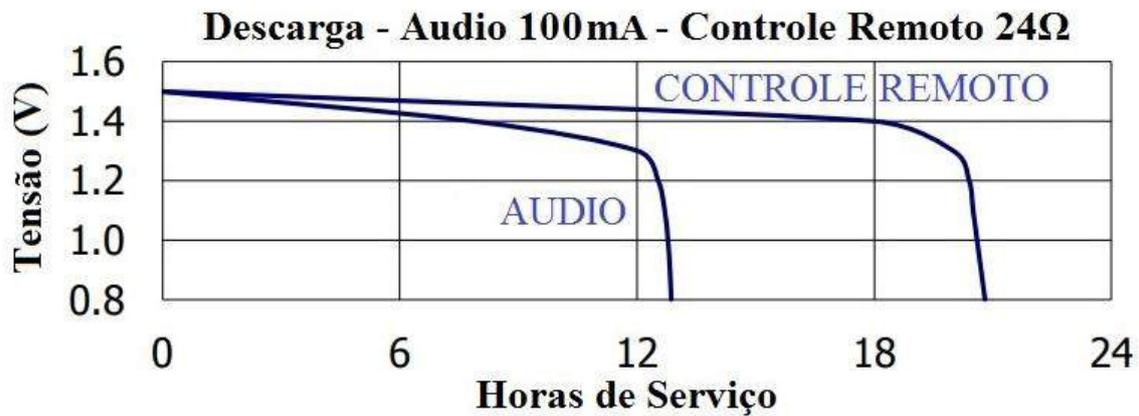


Figura 85 – Tensão x horas de serviço com 100 mA e 24Ω para baterias LiFeS₂ – tamanho AAA

EFEITO DA TEMPERATURA NAS BATERIAS LIFES2

As baterias LiFeS₂ têm uma sensibilidade à temperatura muito menor em comparação com outros sistemas químicos. A faixa de temperatura operacional recomendada é de -40 °C a + 60 °C.

Como em todos os sistemas de bateria, a vida útil é reduzida à medida que a temperatura de descarga é reduzida abaixo da temperatura ambiente como mostrado na figura 86.

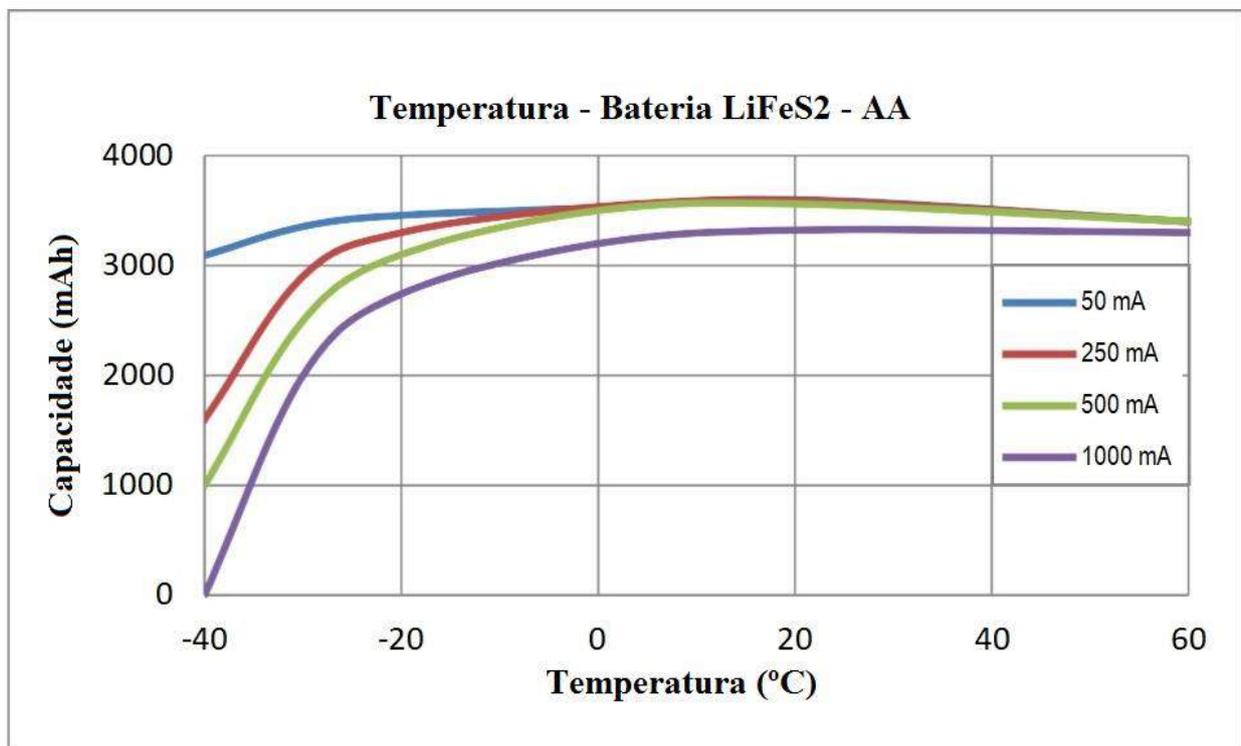


Figura 86 – Curva de Capacidade x Temperatura – Bateria LiFeS₂ – Tamanho AA

Temperaturas frias também diminuem a tensão de operação, reduzindo assim a produção de energia (figura 87). A capacidade da bateria não é perdida em temperatura baixa, mas é mais difícil acessar todo o potencial da bateria devido à lentidão das reações eletroquímicas, reduzindo a capacidade a altas taxas de corrente.

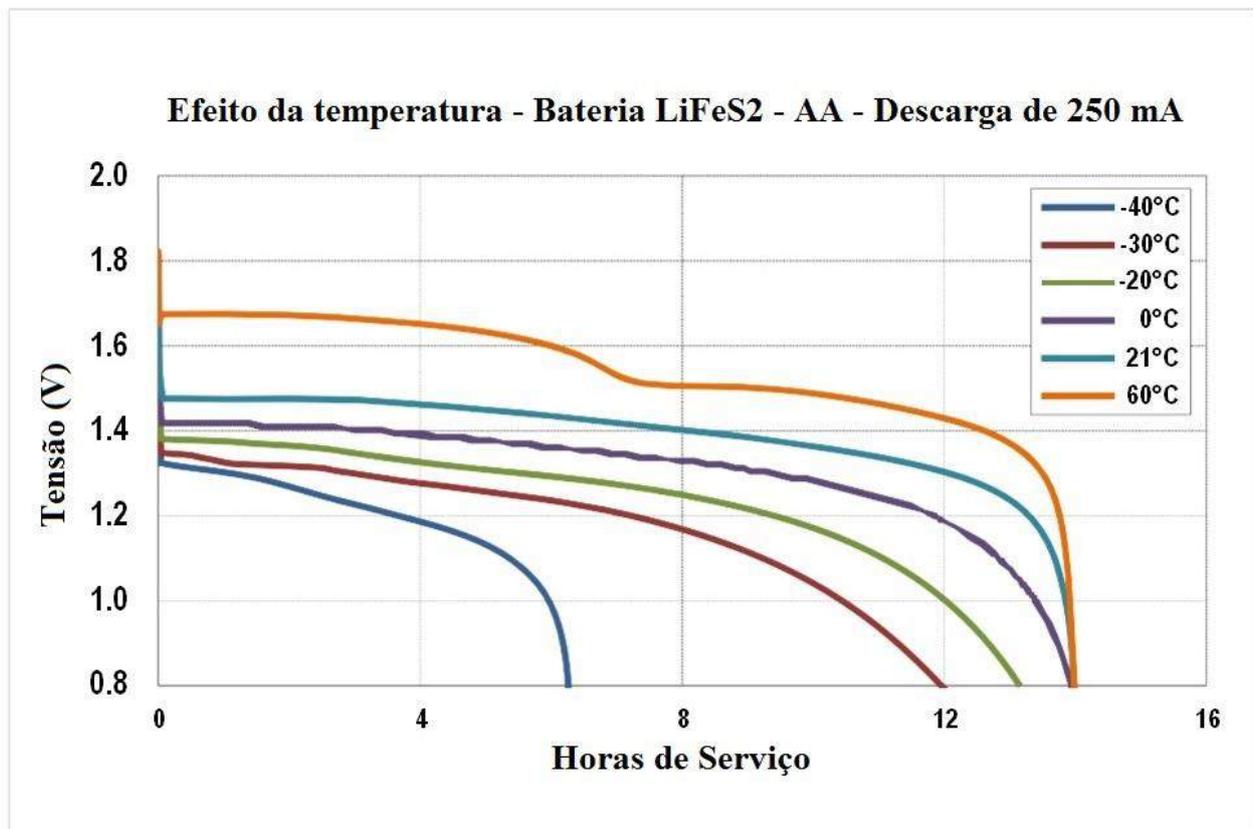


Figura 87 – Efeito da temperatura na tensão da bateria

Ao comparar o desempenho de temperatura fria da bateria LiFeS₂ com uma bateria alcalina, a bateria LiFeS₂ é afetada muito menos em correntes altas de descarga (figura 88) e opera em temperaturas nas quais as baterias alcalinas não funcionam.

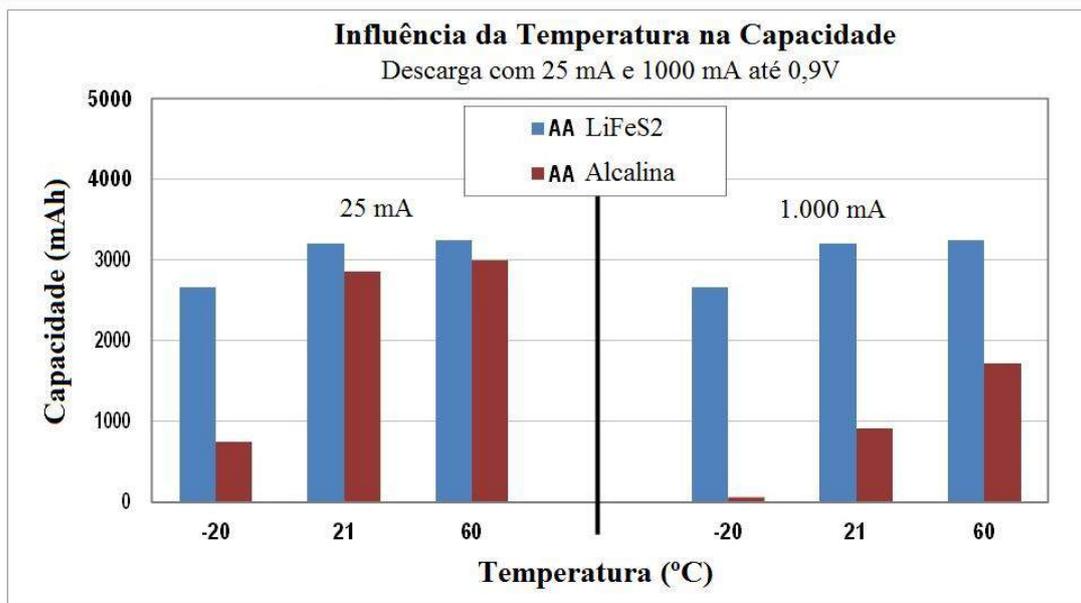


Figura 88 – Comparação entre baterias LiFeS₂ e Alcalinas

Por outro lado, temperaturas quentes podem aumentar o desempenho da bateria em aplicações com correntes contínuas muito altas que aumentam a temperatura da bateria (figura 89).

Em algumas aplicações, pode haver limites adicionais na temperatura máxima de descarga devido aos dispositivos de segurança limitadores de corrente da bateria.

A bateria LiFeS_2 utiliza um PTC projetado para desligar de forma reversível a bateria em altas temperaturas. A temperatura ambiente e o aquecimento interno da bateria que ocorre durante a descarga afetarão a operação do PTC.

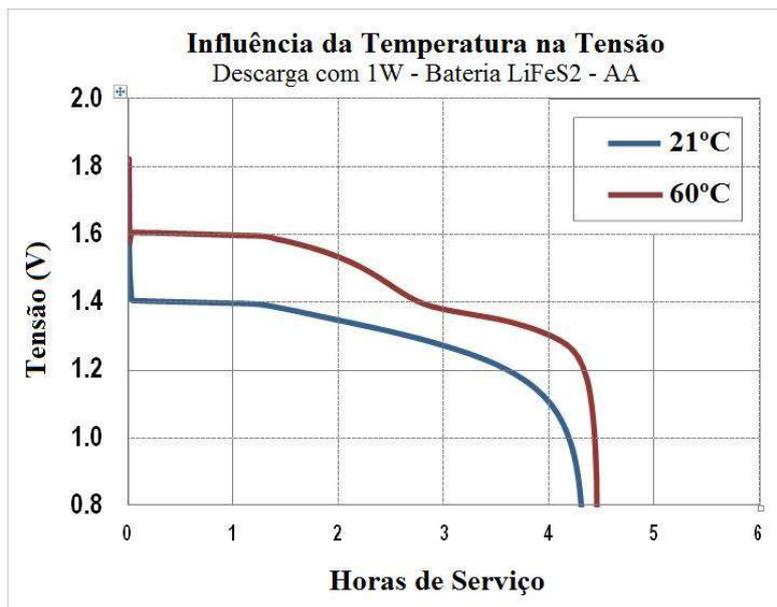


Figura 89 – Influência da temperatura na descarga em altas correntes

As baterias geram energia através de reações químicas e, normalmente, funcionam muito mais lentamente a temperaturas mais baixas. No entanto, mesmo a -40°C , as baterias LiFeS_2 apresentam bom desempenho.

As baterias de LiFeS_2 têm uma voltagem operacional mais alta que as baterias alcalinas e recarregáveis de níquel metal hidreto (NiMh) e perfil de descarga mais plano em relação às alcalinas.

Essas características resultam em maior densidade energética (Wh/L) e em (Wh/kg), especialmente em aplicações com correntes mais altas, nas quais as diferenças de tensão operacional são maiores (figura 90)

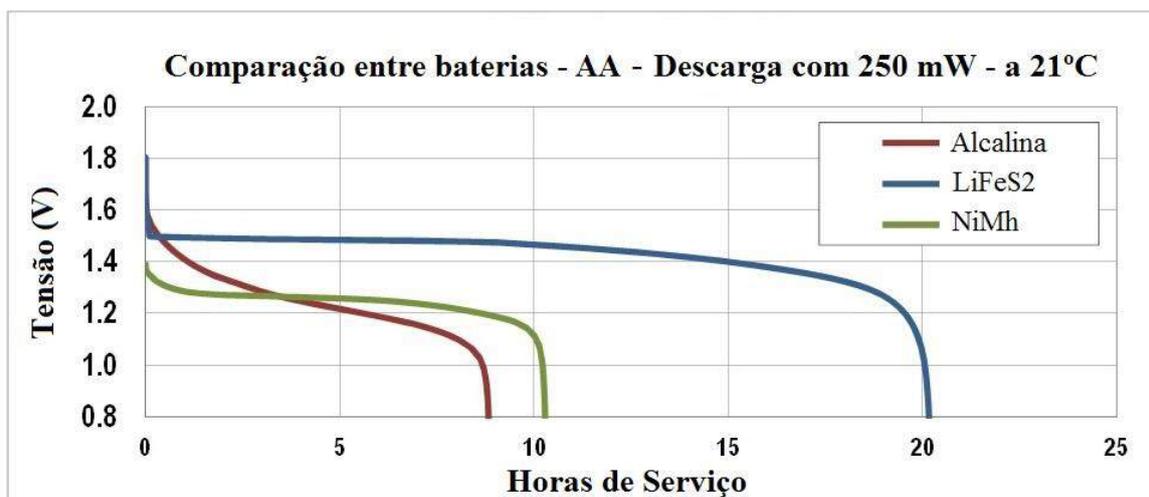


Figura 90 – Comparação da tensão entre baterias LiFeS_2 , alcalinas e NiMh

As baterias de LiFeS_2 são adequadas para uso em uma ampla faixa de temperatura. Enquanto em temperaturas elevadas, todas as químicas mostram mudança mínima no desempenho versus ambiente.

A baixas temperaturas, a bateria de lítio oferece mais desempenho que as químicas alcalinas ou NiMh.

O gráfico a seguir (Fig. 91) mostra o impacto da temperatura na bateria de LiFeS_2 de tamanho AA, na bateria alcalina e na bateria de NiMh.

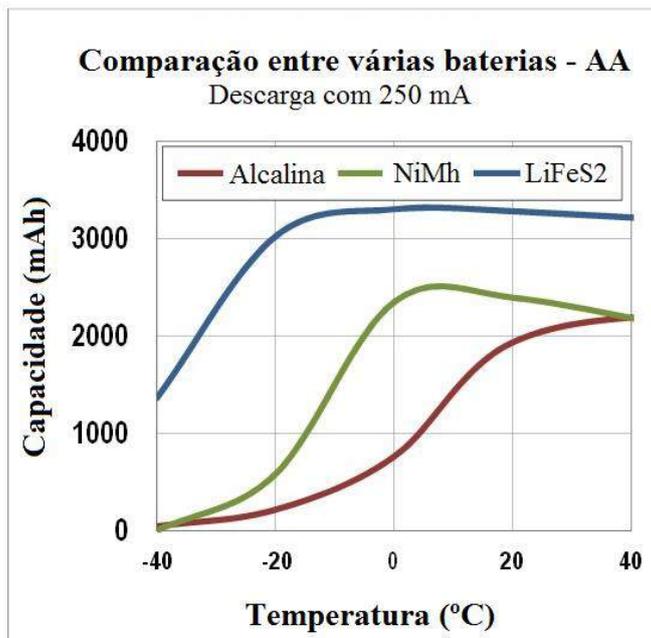


Figura 91 – Comparação do efeito da temperatura nas baterias LiFeS_2 , alcalinas e NiMh

ARMAZENAGEM DAS BATERIAS LiFeS_2

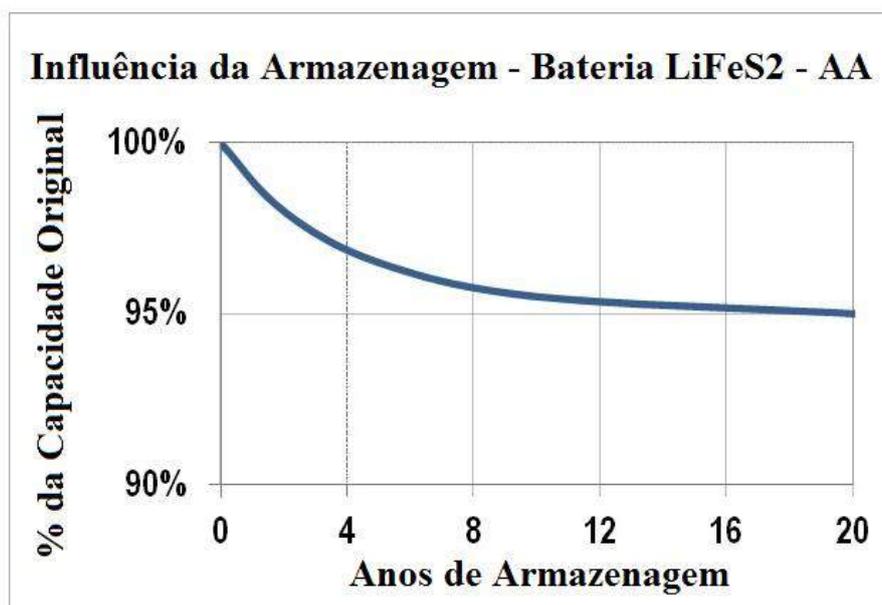


Figura 92 – Efeito da armazenagem nas baterias LiFeS_2

O prazo de validade pode ser definido como o tempo em que a bateria fornecerá aproximadamente 95% de sua capacidade original (figura. 92).

A bateria de LiFeS_2 reterá aproximadamente 95% de sua capacidade após mais de 20 anos de armazenamento.

Devido ao nível muito baixo de impurezas nos materiais utilizados e o alto grau de eficácia da vedação usado com baterias de lítio, a vida útil após armazenamento em alta temperatura é muito melhor em comparação com sistemas aquosos.

A temperatura de armazenamento recomendada para baterias de lítio é de -40°C a 60°C .

A exposição das baterias de lítio a temperaturas acima de 60°C pode provocar possíveis curtos-circuitos. Temperaturas frias tem pouco impacto na vida útil.



Sistemas e Tecnologia Aplicada

www.sta-eletronica.com.br

PARTE 3

BATERIAS RECARREGÁVEIS DE LÍTIO ÍON



7. BATERIAS RECARREGÁVEIS DE LÍTIO

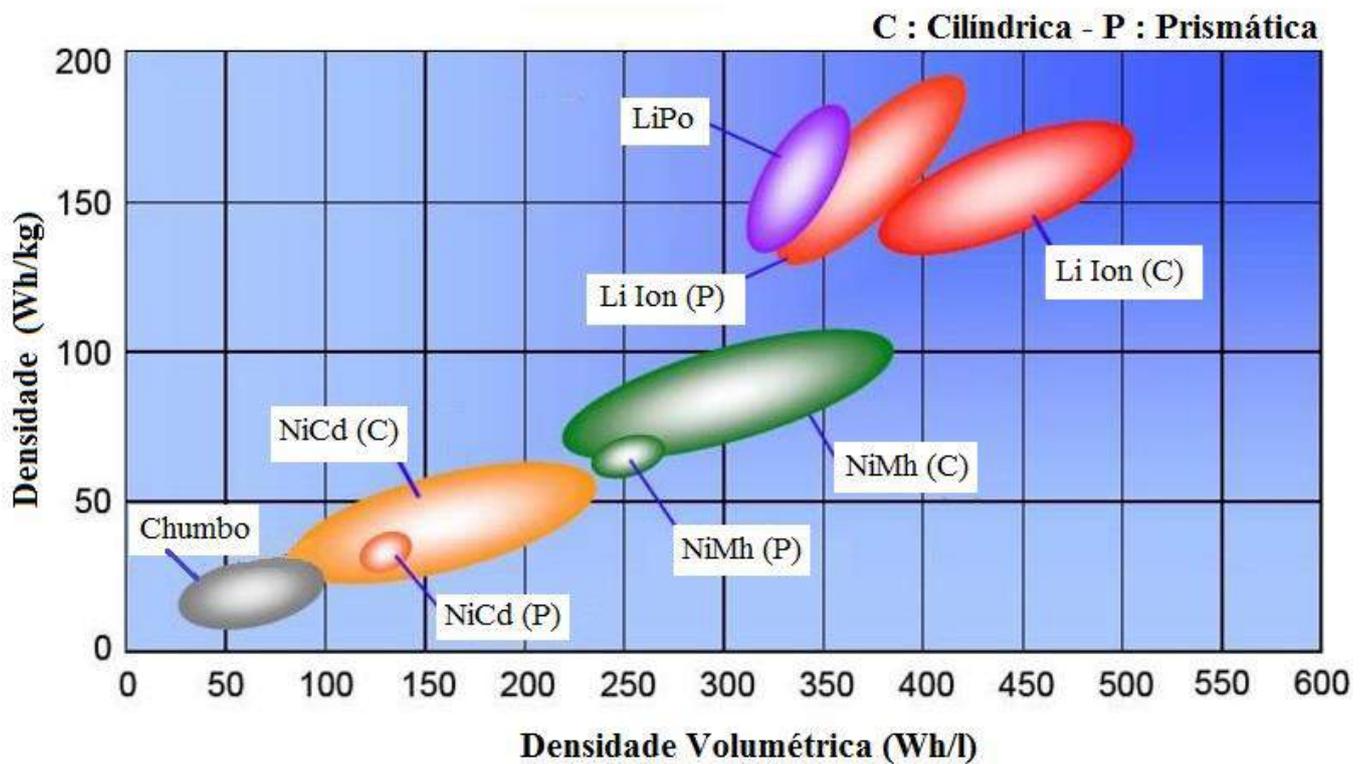
RONTEK



Figura 93 – Pack de baterias de lítio íon

HISTÓRIA DA BATERIA DE LÍTIO-ÍON

Os equipamentos eletrônicos portáteis estão cada vez mais compactos. São capazes de executar funções cada vez mais complexas que demandam mais energia.



Crédito Foto : NASA - National Aeronautics and Space Administration

Figura 94 – Densidade de energia das baterias

Nestas circunstâncias, as baterias recarregáveis que alimentam esses equipamentos desempenham um papel cada vez mais importante.

A bateria lítio íon é a tecnologia mais recente e está tendo um rápido crescimento. A bateria lítio íon é usada quando se deseja alta densidade de energia e peso leve.

Essas baterias são mais caras que as outras e precisam ser utilizadas dentro de padrões rígidos de segurança. Aplicações incluem notebooks e telefones celulares.

O lítio é o mais leve de todos os metais usados em baterias, tem o maior potencial eletroquímico e fornece a maior densidade de energia por peso.

Baterias recarregáveis que usam ânodos de metal de lítio (eletrodos negativos) são capazes de fornecer tanto alta tensão quanto excelente capacidade, resultando em uma grande densidade de energia.

Depois de muita pesquisa com baterias recarregáveis de lítio durante os anos 80, foi descoberto que o ciclo de carga e descarga causava mudanças no eletrodo de lítio.

Essas transformações reduziam a estabilidade térmica, causando potenciais condições de fuga térmica.

Quando isso ocorria, a temperatura da célula rapidamente se aproximava do ponto de derretimento do lítio, resultando em uma violenta reação chamada “abertura com chama”.

Uma grande quantidade de baterias de lítio recarregáveis enviadas ao Japão teve que regressar em 1991 depois de uma bateria em um telefone celular liberar gases inflamáveis e causar danos no rosto da pessoa.

Por causa da instabilidade inerente do metal de lítio, especialmente durante o carregamento, pesquisas conduziram para uma bateria de lítio não-metálica que usa íons de lítio.

Embora pouco menor em densidade de energia do que a bateria de metal de lítio, a bateria de lítio íon é segura, tomadas certas precauções quando carregando e descarregando.

Em 1991 a SONY comercializou a primeira bateria de lítio íon. Outros fabricantes também se adaptaram à tecnologia. Hoje, a lítio íon é a bateria que mais está crescendo e é a química de bateria mais promissora.

A densidade de energia da bateria de lítio íon é tipicamente o dobro das de NiCd padrão. Melhorias nos materiais de eletrodo ativo têm o potencial de aumentar a densidade de energia perto de três vezes em relação às de NiCd.

Além da alta capacidade, as características de carga são razoavelmente boas e se comportam como as de NiCd em termos de características de descarga, com forma similar do perfil de descarga, mas com tensão diferente. A curva de descarga plana oferece utilização eficiente da energia armazenada em um espectro de tensão desejável.

A bateria de lítio íon é de baixa manutenção, uma vantagem que a maioria das outras químicas não tem.

Não existe memória e nenhum ciclo programado é exigido para prolongar a vida da bateria.

Além disso, a auto descarga é menor que a metade se comparada com as baterias de NiCd e NiMh.

A alta tensão da célula de lítio íon, acima de 3V, permite a fabricação de conjuntos de baterias que consistem em apenas uma célula.

Muitos dos telefones móveis de hoje funcionam com uma célula simples, uma vantagem que simplifica o projeto dos equipamentos.

As tensões de alimentação de aplicações eletrônicas têm caído, o que requer poucas células por conjunto de baterias. Para manter a mesma energia, contudo, são necessárias maiores correntes. Isto enfatiza a importância de uma resistência muito baixa da célula para permitir fluxo de corrente elevado. Apesar de suas vantagens, as baterias de lítio íon também têm as suas inconveniências. Ela requer um circuito de proteção para manter uma operação segura.

Embutido dentro de cada conjunto, o circuito de proteção limita a tensão de pico de cada célula durante a carga e previne que a tensão da célula caia muito durante a descarga.

Além disso, a máxima corrente de carga e descarga é limitada e a temperatura da célula é monitorada para prevenir temperaturas extremas.

O envelhecimento é uma preocupação com a maioria das baterias. Alguma deterioração da capacidade é perceptível após um ano, se a bateria estiver em uso ou não.

Outras químicas também têm efeitos degenerativos relacionados à idade, em especial para as baterias de NiMh, se expostas a altas temperaturas ambientes.

Armazenar a bateria em um lugar fresco desacelera o processo de envelhecimento da bateria de lítio íon (e outras químicas). Além disso, a bateria apenas deve ser parcialmente carregada quando armazenada.

Armazenamento prolongado não é recomendado para baterias de lítio íon.

O comprador deve estar ciente da data de fabricação quando comprar baterias de reposição de lítio íon. Infelizmente, essa informação é frequentemente codificada em um número de série criptografado e está disponível apenas para o fabricante.

A bateria mais econômica à base de lítio, em termos da relação de custo por energia é um conjunto de baterias que usa a célula cilíndrica 18650 (diâmetro= 18 mm e altura = 65 mm).

Essa bateria é um tanto volumosa, mas adequada para aplicações portáteis tais como computação móvel. Se um conjunto de baterias mais fino for necessário (mais fino que 18 mm), a célula prismática de lítio íon é a melhor escolha.

Quando uma geometria ultrafina é necessária (menor que 4 mm), a melhor escolha é a de lítio-polímero.

Essa é a opção mais cara em termos de custo de energia. A bateria de lítio-polímero não oferece ganhos de energia apreciáveis sobre os sistemas de lítio íon convencionais, nem combina a durabilidade da célula 18650.

COMPONENTES DA BATERIA DE LÍTIO ÍON

Uma célula de lítio íon é composta de quatro partes principais:

- **Cátodo (ou terminal positivo)**
- **Ânodo (ou terminal negativo)**
- **Eletrólito**
- **Separador poroso**

O cátodo varia entre diferentes tipos de células, mas é sempre um composto de lítio misturado com outros materiais.

O ânodo é quase sempre grafite (carbono) e às vezes inclui vestígios de outros elementos.

O eletrólito é geralmente um composto orgânico contendo sais de lítio para transferir íons de lítio.

O separador poroso permite que íons de lítio passem através dele enquanto separa o ânodo e cátodo dentro da célula.

PROCESSO QUÍMICO DE RECARGA E DESCARGA

Quando a bateria é fabricada é aplicada uma carga inicial de forma que íons de lítio migram do cátodo para o ânodo de carbono

A figura 95 mostra um esquema das reações químicas que ocorrem durante a carga da bateria de lítio íon.

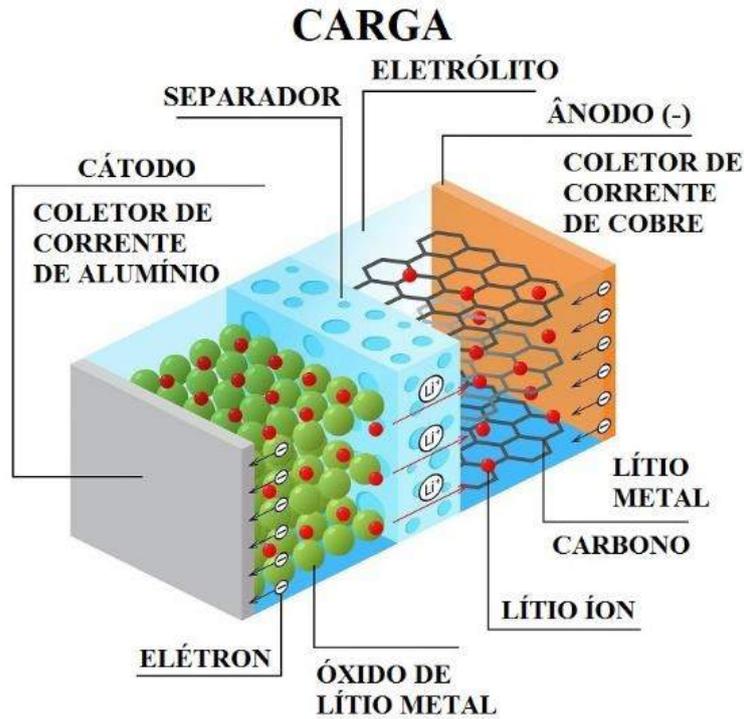


Figura 95 – Bateria de lítio íon - recarga

Quando a célula é descarregada, íons de lítio se movem do ânodo para o cátodo passando pelo eletrólito. Isso descarrega elétrons no lado do ânodo, alimentando a carga, conforme ilustrado na figura 96.

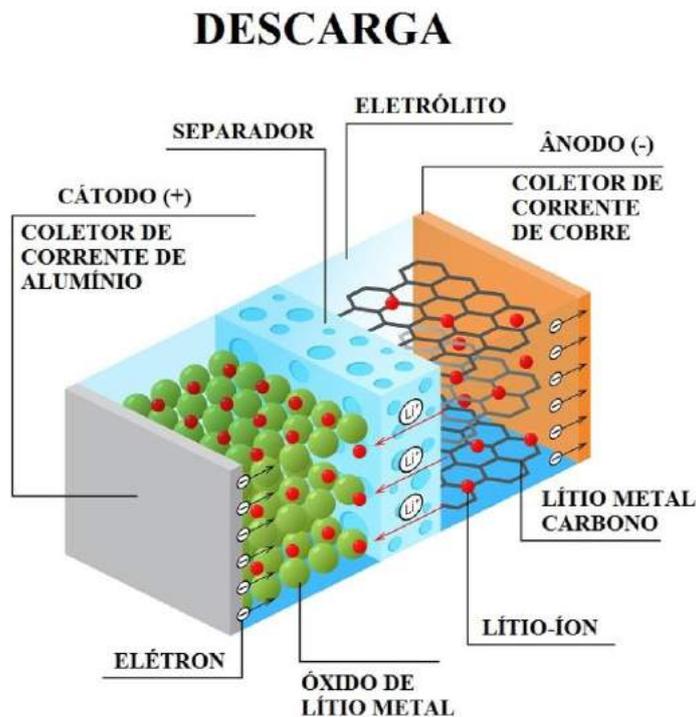


Figura 96 - Bateria de lítio íon – descarga

Quando a célula é recarregada novamente, este processo é invertido e os íons de lítio passam de volta do cátodo para o ânodo, conforme figura 95.

CONSTRUÇÃO, FORMATOS E TAMANHOS DAS BATERIAS DE LÍCIO ÍON

Os formatos construtivos das baterias de lítio-íon são mostrados nas figuras 97, 98 e 99. Os formatos mais comuns são:

- **Cilíndrico**
- **Prismático**
- **Prismático – Lítio Polímero**

Quanto às baterias cilíndricas e prismáticas, folhas como cátodos e ânodos são enroladas juntas em forma de espiral, conforme mostrado nas figuras 97 e 100. Entre os cátodos e os ânodos é enrolado um filme separador de polímeros que atua para obstruir microporos e interromper a reação química caso a temperatura da célula aumente excessivamente por algum motivo.

Para garantir a segurança da célula, por exemplo, a bateria cilíndrica incorpora mecanismos de segurança tais como válvula de alívio de pressão e PTC (fusível resetável).

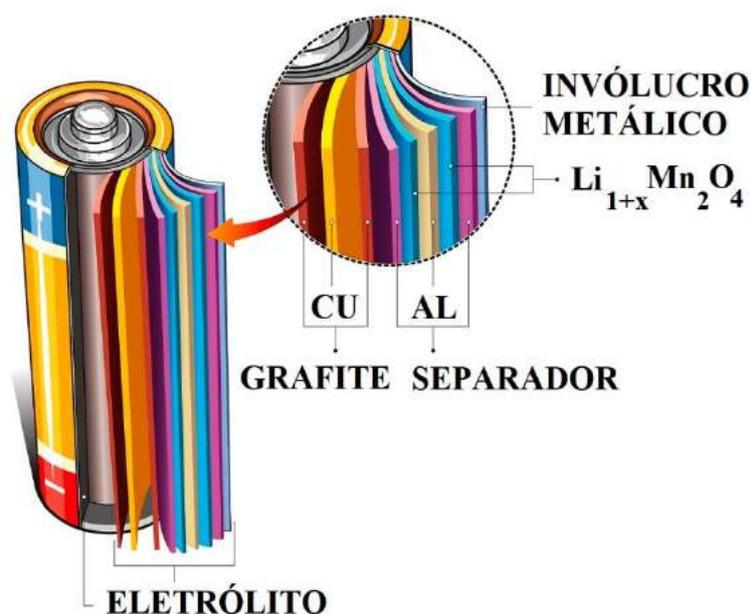


Figura 97 – Formato da bateria de lítio íon – cilíndrica



Figura 98 - Baterias de lítio íon cilíndricas

A bateria de lítio íon mais popular é a bateria cilíndrica 18650. “18” indica o diâmetro em milímetros e “650” indica o comprimento (65 milímetros). Ela tem a capacidade de 1800 a 3500mAh.

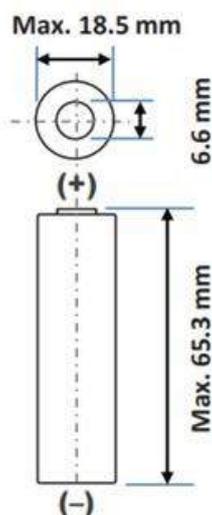


Figura 99 - Baterias de lítio íon cilíndricas tamanho 18650

A tabela 16 indica os tamanhos de baterias lítio íon cilíndricas mais comuns no Brasil.

Modelo	Capacidade (mAh)	Diâmetro x Altura (mm)
10440	340	10 × 44
14250	300	14 × 25
14500	700–800	14 × 53
14650	1600	14 × 65
RCR123A	750	17 × 34.5
17500	1100	17.3 × 50
17670	1250	17 × 67
18500	1400	18.3 × 49.8
18650	1500–3500	18.6 × 65.2
26650	3300-5200	26.5 x 65.4

Tabela 16 – Tamanhos comuns de baterias cilíndricas de lítio íon

Outro formato para as baterias de lítio íon é o prismático. A bateria prismática foi desenvolvida em resposta à exigência do consumidor por tamanhos de conjuntos mais estreitos. Introduzida nos anos 90, a bateria prismática faz o máximo uso do espaço quando empilhada. Baterias prismáticas são usadas predominantemente em aplicações de telefonia celular. Baterias prismáticas que têm ganhado aceitação são: 340648 e a 340848. Medida em milímetros, “34” indica a largura, “06” ou “08” indica a espessura e “48” indica o comprimento da bateria. Algumas baterias prismáticas são similares no tamanho, mas se distinguem por apenas alguns milímetros nas suas dimensões.

A desvantagem da bateria prismática é a densidade de energia mais baixa, comparada à bateria cilíndrica equivalente. Além disso, a bateria prismática é mais cara de se fabricar e não fornece a mesma estabilidade mecânica que a bateria cilíndrica.

A bateria prismática é oferecida em capacidades que variam aproximadamente de 400mAh a 2000mAh. Por causa da grande quantidade exigida para telefones celulares, baterias prismáticas especiais são feitas para se adequarem a certos modelos. A maioria das células prismáticas não tem um sistema de abertura. No caso de aumento de pressão, a célula começa a inchar. Quando usada corretamente e carregada adequadamente, nenhum problema deve ocorrer.

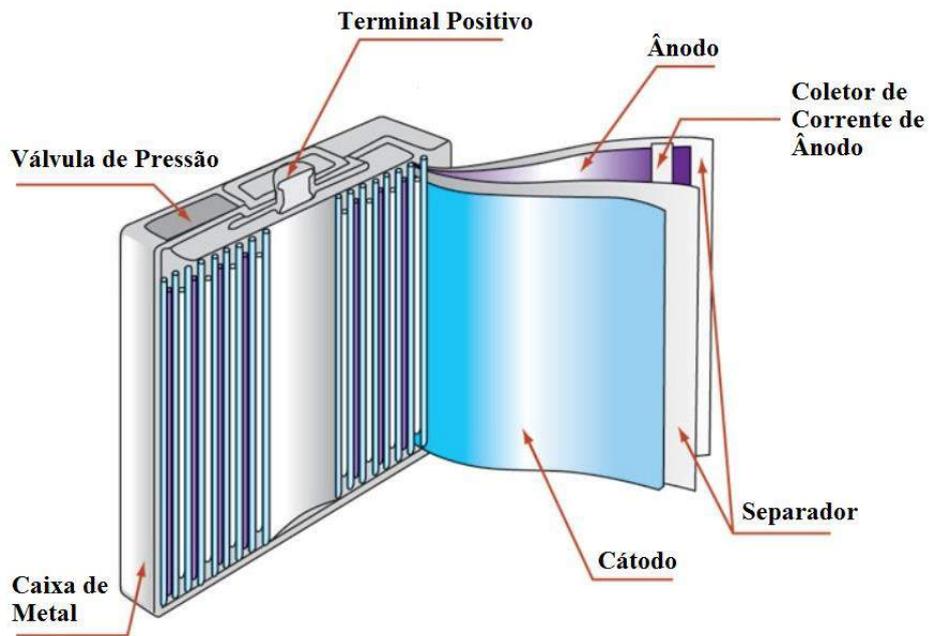


Figura 100 - Bateria de lítio íon – prismática



Figura 101 - Bateria lítio íon prismática

Um caso particular das baterias prismáticas são as baterias de lítio-polímero, que são uma versão simplificada da bateria prismática, sem válvula de alívio de pressão e com invólucro externo constituído de um filme de alumínio. Quanto às baterias de polímero, há eletrólito de polímero de gel entre cátodos e ânodos. Outras partes são de construções muito simples, para baratear o custo.

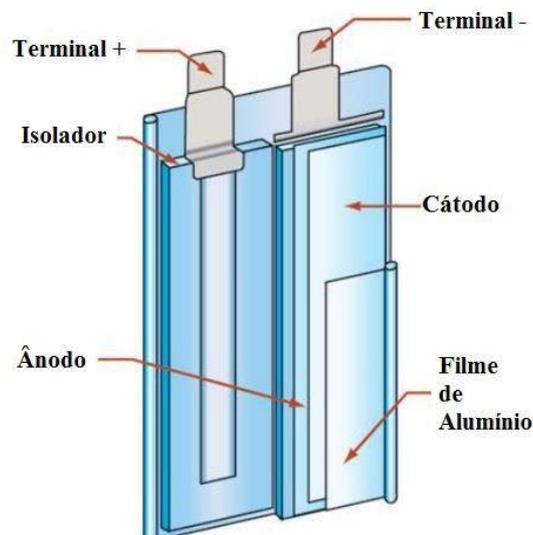


Figura 102 - Baterias de lítio íon – prismática do tipo lítio-polímero



Figura 103 - Bateria de lítio polímero - LiPo

Bem menos comuns que as baterias cilíndricas e prismáticas, existem no mercado algumas baterias de lítio íon recarregáveis no formato botão.



Figura 104 - Bateria de lítio íon tipo botão

VANTAGENS E LIMITAÇÕES DAS BATERIAS LITIO ION

As principais vantagens das baterias de lítio íon são:

- Densidade da energia elevada - potencial para capacidades ainda maiores.
- Auto descarga relativamente baixa - a auto descarga é menor do que a metade da auto descarga das baterias NiCd e NiMh.
- Manutenção Baixa - nenhuma descarga periódica é necessária; sem memória.
- Células de lítio íon causam menos dano quando descartadas do que as de chumbo-ácido ou baterias à base de cádmio. Entre a família de lítio íon, o manganês é o mais amigável em termos de descarte.

As principais limitações das baterias de lítio íon são:

- Requer circuito de proteção - o circuito da proteção limita a tensão e a corrente. A bateria é segura se não sobrecarregada.
- Sujeita ao envelhecimento, mesmo se não estiver em uso. Armazenar a bateria em um lugar fresco e a 40 por cento de estado de carga reduz o efeito do envelhecimento.
- Corrente de descarga moderada para alguns tipos.
- Sujeita aos regulamentos do transporte. O embarque de quantidades maiores de baterias de lítio íon pode estar sujeito ao controle regulador. Esta restrição não se aplica ao carregamento pessoal de baterias.
- Caro de se fabricar. Melhores técnicas de fabricação e recolocação de metais raros com alternativas de custo mais baixo, provavelmente reduzirão o preço.
- Tecnologia em desenvolvimento. As mudanças em combinações do metal e da química afetam resultados de testes nas baterias, especialmente com alguns métodos de testes rápidos.

- Necessitam cuidados, pois as baterias de lítio íon têm uma alta densidade de energia.
- A alta temperatura resultante do abuso da célula pode causar dano físico.
- O eletrólito é altamente inflamável. A ruptura pode causar a abertura com chama.

TIPOS DE BATERIAS DE LÍTIO-ÍON

Existem diferentes tipos de baterias de lítio íon. Lítio íon é o nome genérico para os materiais ativos dessas baterias.

Para se referir aos diversos tipos de baterias de lítio íon usam-se os símbolos dos elementos químicos ou então abreviaturas mnemônicas.

Por exemplo, o óxido de lítio cobalto, usado nas baterias lítio íon mais comuns, tem os símbolos químicos LiCoO_2 e a abreviatura LCO.

Por razões de simplicidade, a forma curta li-cobalto também pode ser usada para esta bateria. Cobalto é o principal material ativo desta bateria. Outras químicas de lítio íon são nomeadas de maneira semelhante.

Os diversos tipos de baterias de lítio íon diferem entre si principalmente pelos materiais usados na fabricação dos eletrodos positivo e negativo.

No mercado existem vários tipos de eletrodos positivo e negativo cujas principais características mostramos a seguir.

Pesquisas continuam sendo feitas no sentido de se buscar novos materiais para os eletrodos das baterias de lítio íon para se conseguir melhor desempenho, principalmente nas aplicações críticas como veículo elétricos, que exigem das baterias grande capacidade e potência, além de segurança, longevidade e custo acessível.

PRINCIPAIS TIPOS DE ELETRODOS POSITIVOS

- **Óxido de cobalto de lítio (LiCoO_2)**

Desenvolvida pela Sony em 1991, a bateria de óxido de cobalto de lítio foi a bateria escolhida para a maioria dos eletrônicos pessoais (laptops, câmeras, tablets, etc.) devido à sua alta densidade de energia, longa vida útil e facilidade de fabricação.

As baterias de cobalto e lítio são muito reativas. Sofrem de baixa estabilidade térmica e devem ser monitoradas durante a operação para garantir o uso seguro, através do uso de uma placa PCM.

A disponibilidade limitada de cobalto também torna esse material mais caro e difícil ser uma opção viável para uso em veículos elétricos.

- **Óxido de níquel e lítio (LiNiO_2)**

O LiNiO_2 foi reconhecido como um material promissor para baterias de alta tensão, porque é um material de custo mais baixo e possui uma alta capacidade teórica de 250 Ah/kg.

No entanto, dificuldades com seu uso, principalmente a formação de uma camada de auto passivação nas superfícies, causaram dificuldades com seu uso. Como o LiNiO_2 requer muito cuidado na fabricação e é um material de eletrodo um pouco menos prático, soluções sólidas desse material com Co, Fe, Mn, Al, Ti e OMg foram desenvolvidos, a partir do qual a atual bateria NMC foi desenvolvida.

- **Óxido de manganês e lítio (LiMn₂O₄)**

As baterias de óxido de manganês de lítio (LMO) foram introduzidas pela primeira vez no início dos anos 80, embora demorassem quase 15 anos para serem comercializadas. A arquitetura forma uma estrutura de espinélio tridimensional que melhora o fluxo de íons no eletrodo, o que resulta em menor resistência interna e melhor manuseio da corrente.

A baixa resistência interna da célula permite carregamento rápido e descarga de alta corrente. O li-manganês pode ser descarregado em correntes de 20 a 30 A com acúmulo moderado de calor em uma bateria cilíndrica de lítio íon tamanho 18650 (18 x 65 mm).

Essa química fornece melhor estabilidade térmica do que a bateria de óxido de cobalto e lítio, mas resulta em aproximadamente 33% de capacidade menor e menor tempo de vida. A maioria das baterias de lítio-manganês se mistura ao óxido de lítio-manganês-cobalto (NMC) para melhorar a energia específica e prolongar a vida útil.

- **Fosfato de ferro e lítio (LiFePO₄)**

Em 1996, pesquisadores da Universidade do Texas em Austin descobriram que materiais de fosfato poderiam ser usados em eletrodos positivos para baterias de íons de lítio. O LiFePO₄ (LFP) oferece bom desempenho eletroquímico com baixa resistência, além de alta capacidade de corrente e longo ciclo de vida.

O fosfato ajuda a estabilizar o eletrodo contra sobrecarga e fornece uma maior tolerância ao calor, o que limita a quebra do material.

Essas baterias possuem uma ampla faixa de temperatura e podem operar entre +60°C a -30°C e são muito menos propensas a sofrer uma fuga térmica.

O LiFePO₄ possui uma auto descarga maior do que outras baterias de íon de lítio, o que pode causar problemas de equilíbrio com o envelhecimento. Com as eficientes relações potência / peso, recursos de alta segurança e resistência química a fugas térmicas, as baterias LiFePO₄ estão conquistando popularidade.

- **Óxido de cobalto, manganês, níquel e lítio**

Eletrodos de óxido de cobalto, manganês, níquel e lítio (NMC) podem ser projetados para alta energia ou potência específica com alta densidade. O segredo da NMC está na combinação de níquel e manganês: o níquel é conhecido por sua alta energia específica, mas baixa estabilidade; o manganês tem o benefício de formar uma estrutura de espinélio para obter baixa resistência interna, mas oferece uma baixa energia específica.

A mistura dos vários metais (níquel e manganês) varia de acordo com o fabricante e é uma fórmula muito bem guardada.

Os pesquisadores estão usando eletrodos ricos em níquel para aumentar a densidade de energia, enquanto a redução no cobalto também é útil, pois diminui os custos.

A combinação de níquel e manganês aprimora os pontos fortes um do outro, tornando o NMC o sistema de íons de lítio mais bem-sucedido e adequado para veículos elétricos. Atualmente, essas baterias estão em alta demanda, devido à alta energia específica e às excelentes características térmicas.

- **Óxido de alumínio, níquel, cobalto e lítio**

O óxido de alumínio e níquel e cobalto (NCA) existe desde 1999 para aplicações especiais. Ele compartilha semelhanças com a NMC, oferecendo alta energia específica e potência específica (a taxa na

qual a bateria pode fornecer energia) e uma vida útil longa. A NCA não é tão segura quanto as outras listadas acima e, como tal, exige que medidas especiais de monitoramento de segurança sejam empregadas para uso em veículos elétricos.

PRINCIPAIS TIPOS DE ELETRODOS NEGATIVOS

Dois tipos principais de eletrodos negativos em uso incluem titanato de lítio e eletrodos à base de carbono, e novos tipos de eletrodos em desenvolvimento incluem metal de lítio e ligas de metal e lítio com foco especial em ligas de lítio-silício e eletrodos de conversão.

- **Eletrodos à base de carbono**

O carbono e geralmente grafite sintética, ainda permanecem os materiais ativos mais escolhidos para o eletrodo negativo, devido à sua capacidade específica relativamente alta de 370 Ah/kg, baixa tensão média e uma tensão relativamente plana, gerando uma alta tensão global da célula e alta eficiência energética de carga e descarga.

Além disso, por ser um material muito abundante, de baixo custo e não tóxico é uma escolha particularmente boa de eletrodo e, por isso, muito utilizado.

Infelizmente, em algumas condições específicas, o carbono pode reagir com o oxigênio atmosférico e pode provocar a fuga térmica e pegar fogo.

- **Titanato de lítio ($\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$)**

Baterias com eletrodos negativos de titânio de lítio são conhecidas desde os anos 80. O titanato de lítio (LTO) substitui o grafite no eletrodo negativo de uma bateria típica de íons de lítio. O eletrodo positivo pode ser óxido de manganês e lítio ou NMC.

O titanato de lítio leva a uma vida útil operacional extremamente longa para o eletrodo, juntamente com a segurança aprimorada devido a um platô de descarga e carga extremamente plana. Devido ao seu alto nível de segurança, as baterias de titanato de lítio são usadas em dispositivos médicos móveis.

A combinação dos eletrodos positivos e negativos que acabamos de descrever permite a fabricação de diversos tipos de baterias de lítio íon recarregável.

No capítulo 8 a seguir, apresentamos as principais características técnicas de cada um destes tipos de baterias, disponíveis no mercado

- **Óxido de lítio cobalto (LiCoO_2) – LCO**
- **Óxido de lítio manganês (LiMn_2O_4) – LMO**
- **Óxido de lítio níquel manganês cobalto (LiNiMnCoO_2) – NMC**
- **Fosfato de lítio ferro (LiFePO_4) – LFP**
- **Óxido de lítio níquel cobalto alumínio (LiNiCoAlO_2) – NCA**
- **Titanato de lítio ($\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$) – LTO**

8. TIPOS DE BATERIAS DE LÍTIO-ÍON



Figura 105 – Tipos de baterias de lítio íon

ÓXIDO DE LÍTIO-COBALTO (LICOO2) – LCO

A alta energia específica dessa bateria, faz dela a escolha mais popular para telefones celulares, notebooks e câmeras digitais.

A bateria consiste em um cátodo de óxido de lítio cobalto e um ânodo de grafite.

A desvantagem da bateria LCO é uma vida relativamente curta, baixa estabilidade térmica e capacidade de carga limitada. A Figura 106 ilustra a estrutura da bateria de li-cobalto.

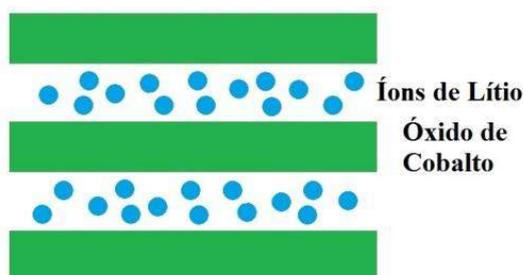


Figura 106 - Estrutura de Lítio Cobalto

O cátodo tem uma estrutura em camadas. Durante a descarga os íons de lítio se movem do ânodo para o cátodo. Na carga o fluxo é do cátodo para ânodo.

A tecnologia das baterias LCO está amadurecendo e os sistemas mais recentes incluem níquel, manganês e alumínio para melhorar a longevidade, a capacidade de carregamento e o custo.

As baterias LCO não devem ser carregadas e descarregadas com uma corrente superior à sua taxa C (capacidade nominal). Isto significa que uma célula 18650 com 2.400mAh só pode ser carregada e descarregada a 2.400mA.

Forçar uma carga rápida ou aplicar uma carga superior a 2.400mA provoca superaquecimento e estresse indevido. Para uma carga rápida ideal, o fabricante recomenda uma corrente de 0.8C ou cerca de 2.000mA.

O circuito de proteção obrigatório da bateria limita a taxa de carga e descarga a um nível seguro de cerca de 1C.

As baterias LCO tem energia específica elevada mas tem desempenho moderado quando se trata de segurança e vida útil.

A principais características são:

- Óxido de lítio cobalto: catodo LiCoO_2 e anodo de grafite
- Abreviatura: LCO ou li-cobalto.
- Tensão Nominal: 3,60V
- Faixa de operação típica: 3,0 a 4,2V/célula
- Energia específica (capacidade): 150-200Wh/kg.
- Carga: 0,7 a 1C até 4,20V. Uma corrente de carga acima de 1C reduz a duração da bateria.
- Tempo de carga típico: 3 horas.
- Descarga: 1C até 2.50V. Corrente de descarga acima de 1C reduz a duração da bateria.
- Vida útil: 500-1000 ciclos, dependendo da profundidade de descarga, carga e temperatura
- Fuga térmica: 150°C
- Aplicações: Telefones celulares, tablets, notebooks e câmeras

ÓXIDO DE LÍTIO MANGANÊS (LiMn_2O_4) – LMO

Em 1996, a Moli Energy comercializou uma célula lítio íon com óxido de lítio manganês como material catódico. A arquitetura forma uma estrutura que melhora o fluxo de íons no eletrodo, o que resulta em menor resistência interna e capacidade de corrente melhorada.

Uma vantagem adicional desta bateria é a elevada estabilidade térmica e maior segurança, mas o ciclo e a vida são limitados. A baixa resistência interna das células permite um carregamento rápido e alta corrente de descarga. Uma bateria LMO tipo 18650 (cilíndrica de diâmetro 18 mm e altura 65 mm), pode ser descarregada com correntes de 20 a 30 A, com acúmulo de calor moderado. Também é possível aplicar impulsos de carga de um segundo de até 50A. Uma carga elevada contínua nesta corrente causa acúmulo de calor e a temperatura da célula não pode exceder 80 °C.

A bateria LMO é usada para ferramentas elétricas, instrumentos médicos, bem como veículos híbridos e elétricos. A Figura 107 ilustra a formação de uma estrutura cristalina tridimensional no cátodo de uma bateria LMO.

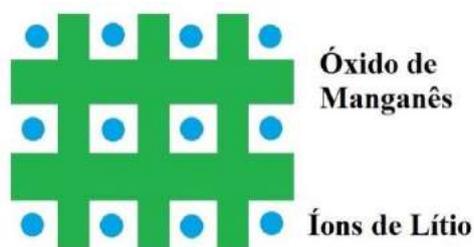


Figura 107 - Estrutura de lítio manganês

Essa bateria fornece baixa resistência, mas tem uma energia específica mais moderada do que a bateria LCO (lítio cobalto).

A bateria LMO tem uma capacidade que é aproximadamente um terço menor que a bateria LCO. Os projetos mais recentes de baterias LMO oferecem melhorias em potência, segurança e durabilidade.

A maioria das baterias LMO mistura com óxido de lítio níquel manganês cobalto (NMC) para melhorar a energia específica e prolongar a vida útil.

Esta combinação traz o melhor em cada sistema, e o LMO (NMC) é o escolhido para veículos elétricos, como o Nissan Leaf, Chevy Volt e BMW i3. A parte LMO da bateria, que pode ser aproximadamente 30 %, fornece a energia elevada que é necessária na aceleração; a parte NMC dá maior autonomia ao veículo.

Em alguns modelos, uma pequena quantidade de silício é adicionada ao anodo. Isso proporciona um aumento de capacidade de 25%. No entanto isto implica numa vida mais curta, já que o silício cresce e encolhe com carga e descarga, causando estresse mecânico.

A principais características são:

- Óxido de lítio manganês: cátodo LiMn_2O_4 e ânodo de grafite
- Abreviatura: LMO ou li-manganês
- Tensão Nominal: 3.70V (3.80V)
- Faixa de operação típica 3.0 a 4.2V/célula
- Energia específica (capacidade): 100-150Wh/kg
- Carga: 0,7 a 1C típico, 3C máximo até 4,20V
- Descarga: contínua de 1C a 10C, pulsada até 30C (5s) para uma tensão de corte de 2.50V
- Vida útil: 300 a 700 ciclos, dependendo da profundidade de descarga e temperatura.
- Fuga Térmica: 250°C típica. Alta carga promove fuga térmica
- Aplicações: Ferramentas elétricas, dispositivos médicos

ÓXIDO DE LÍTIO NÍQUEL MANGANÊS COBALTO (LINIMNCOO₂) – NMC

Um dos sistemas lítio íon mais bem-sucedidos é uma combinação de catodo de níquel-manganês-cobalto (NMC). É semelhante ao li-manganês.

Por exemplo, uma célula NMC modelo 18650, para condições de carga moderada, tem uma capacidade de cerca de 2.800mAh e pode fornecer de 4A a 5A.

Uma célula NMC otimizada para potência específica tem uma capacidade de apenas cerca de 2.000mWh, mas oferece uma corrente de descarga contínua de 20A.

Um anodo baseado em silício pode aumentar a capacidade da bateria até 4.000mAh ou mais, mas com capacidade de carregamento reduzida e menor vida útil.

O silício adicionado ao grafite tem a desvantagem de que o anodo cresce e encolhe com carga e descarga, tornando a célula mecanicamente instável.

O segredo da NMC reside na combinação de níquel e manganês.

O níquel é conhecido por sua alta energia específica, mas pobre estabilidade.

O manganês tem o benefício de formar uma estrutura de espinélio para conseguir baixa resistência interna, mas oferece uma baixa energia específica. Combinando-se os metais aumentam-se os pontos fortes da bateria.

NMC é uma bateria adequada para ferramentas elétricas, e-bikes e outros veículos elétricos.

A combinação de catodo é tipicamente um terço de níquel, um terço de manganês e um terço de cobalto, também conhecido como 1-1-1.

Isto oferece uma mistura única que também diminui o custo de matéria-prima devido ao reduzido teor de cobalto. Outra combinação bem-sucedida é NCM com 5 partes de níquel, 3 partes de cobalto e 2 partes de manganês.

São possíveis outras combinações utilizando várias quantidades de materiais catódicos. Novos eletrólitos e aditivos permitem carregar a 4,4V/célula e aumentar a capacidade da bateria.

A bateria de lítio íon de NMC tem bom desempenho geral e se destaca em energia específica.

Esta bateria é a candidata preferida para o veículo elétrico e tem a taxa mais baixa de auto aquecimento.

Os três materiais ativos de níquel, manganês e cobalto podem ser misturados facilmente para atender a uma ampla gama de aplicações para sistemas de armazenamento de energia automotiva e de energia que precisam de ciclos frequentes.

A família NMC está crescendo em sua diversidade.

A principais características são:

- Óxido de lítio níquel manganês cobalto: catodo de LiNiMnCoO_2 e ânodo de grafite
- Abreviatura: NMC
- Tensão Nominal: 3,60V (3,70V)
- Faixa de operação típica 3,0-4,2V/célula, ou superior
- Energia específica (capacidade): 150-220Wh/kg
- Carga: 0.7-1C até 4,20V, algumas baterias atingem 4,30V; tempo típico de carga 3 horas. A corrente de carga acima de 1C reduz a duração da bateria.
- Descarga: 1C; 2C é possível em algumas células; tensão de corte de 2,50V.
- Vida útil 1000 a 2000 ciclos (relacionado à profundidade de descarga, temperatura)
- Fuga térmica típica 210°C. Alta carga promove fuga térmica
- Aplicações e-bikes, dispositivos médicos, veículos elétricos, industrial

FOSFATO DE LÍTIO FERRO (LiFePO_4) – LFP

Existem no mercado várias famílias de baterias de íons de lítio. A maioria dos consumidores está familiarizada apenas com baterias de lítio construídas a partir de óxido de cobalto, óxido de manganês e óxido de níquel, cuja tensão nominal é 3,7V.

Porém existe no mercado uma família de baterias de fosfato de lítio ferro, com tensão nominal de 3,2V. Essas baterias são comumente chamadas de LiFe (lítio ferro) ou fosfato de lítio ferro (LiFePO_4).

Em 1996, a Universidade do Texas (e outros colaboradores) descobriram o fosfato como material catódico para baterias de lítio recarregáveis.

As baterias recarregáveis de lítio ferro são mais seguras, e tem vantagens sobre outras baterias de lítio. A bateria de lítio ferro oferece bom desempenho eletroquímico com baixa resistência.

Isto é possível com o material de cátodo de fosfato de nano escala.

Os principais benefícios são alta corrente nominal e longa vida útil, além de boa estabilidade térmica, maior segurança e maior tolerância quando usada acima das especificações.

A bateria de lítio ferro é mais tolerante às condições de carga total e é menos estressada do que outros sistemas de lítio íon se mantidos em alta tensão por um tempo prolongado.

Em contrapartida, sua menor tensão nominal de 3,2V/célula reduz a energia específica abaixo da bateria de lítio íon à base de cobalto.

Como a maioria das baterias, para a bateria de lítio ferro, a temperatura fria reduz o desempenho e a temperatura elevada do armazenamento encurta a vida de útil.

A bateria de lítio ferro tem uma maior auto descarga do que outras baterias de lítio íon, o que pode causar problemas de balanceamento em packs de baterias com células envelhecidas.

A bateria de lítio ferro é usada frequentemente para substituir a bateria de chumbo-ácido usada em automóveis.

Quatro células em série produzem 12,80V, uma tensão semelhante a seis células de chumbo-ácido em série que produzem 12V.

Os veículos carregam as baterias de chumbo-ácido até 14,40V (2,40V/célula).

Com quatro células de lítio ferro em série, cada célula com tensão máxima de carga em 3,60V tem-se a mesma tensão máxima de carga das baterias de chumbo-ácido que é de 14,4V.

A bateria de lítio ferro é tolerante a alguma sobrecarga. Entretanto, manter a tensão em 14,40V por um tempo prolongado, como a maioria de veículos faz em uma movimentação longa, pode forçar a bateria.

A bateria de lítio ferro usada para motores de arranque automotivos, pode apresentar desempenho baixo em temperaturas frias.

Este novo tipo de bateria de lítio é inerentemente não combustível, porém com uma densidade de energia menor.

As baterias de lítio ferro não são apenas mais seguras, elas têm muitas vantagens sobre outras químicas de lítio, particularmente para aplicações de alta potência.

Em comparação com o chumbo-ácido e outras baterias de lítio, as baterias de lítio ferro oferecem vantagens significativas, incluindo maior eficiência de descarga e carga, maior vida útil e capacidade de ciclo profundo, mantendo o desempenho.

As baterias de lítio ferro muitas vezes vêm com um preço mais alto, mas um custo muito melhor ao longo da vida do produto, a manutenção mínima e a substituição pouco frequente fazem delas um investimento que vale a pena e uma boa solução.

Em contrapartida, sua menor tensão nominal de 3,2V/célula reduz a energia específica abaixo da bateria de lítio íon à base de cobalto.

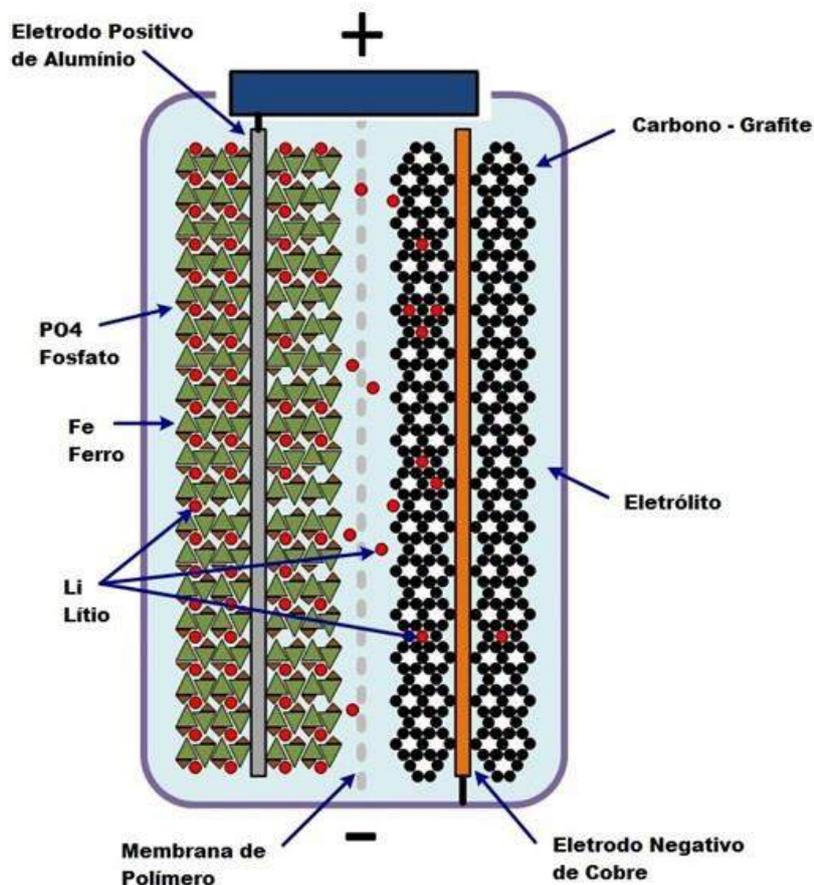


Figura 108 – Bateria LiFePO₄

Embora as baterias de lítio ferro (LiFePO_4) não sejam exatamente novas, elas estão apenas começando a ganhar tradição nos mercados comerciais globais.

As baterias de íons de lítio são chamadas de um tipo de bateria de “cadeira de balanço”: elas movem íons, neste caso íons de lítio, do negativo para o positivo ao descarregar, e de volta ao carregar. A figura 108 mostra o que acontece dentro de cada célula.

As bolinhas vermelhas são os íons de lítio, que se movem para frente e para trás entre os eletrodos negativo e positivo

Do lado esquerdo está o eletrodo positivo, construído a partir de fosfato de lítio-ferro (LiFePO_4). Isso explica o nome desse tipo de bateria. Os íons de ferro e fosfato formam uma grade que prende os íons de lítio.

Quando a célula está sendo carregada, esses íons de lítio são puxados através da membrana de polímero no meio, para o eletrodo negativo à direita. A membrana é feita de um tipo de polímero (plástico), com muitos minúsculos poros, facilitando a passagem dos íons de lítio.

No lado negativo, encontramos uma treliça feita de átomos de carbono, que pode prender e segurar os íons de lítio que atravessam.

A descarga da bateria faz o mesmo ao contrário: à medida que os elétrons fluem pelo eletrodo negativo, os íons de lítio voltam a se mover, através da membrana, de volta para a rede ferro-fosfato. Eles são novamente armazenados no lado positivo até que a bateria seja carregada novamente.

A figura 108 mostra uma bateria de lítio ferro quase totalmente descarregada. Quase todos os íons de lítio estão do lado do eletrodo positivo.

Uma bateria totalmente carregada teria esses íons de lítio todos armazenados dentro do carbono do eletrodo negativo.

No mundo real, as células de lítio ferro são constituídas de camadas muito finas de lâminas alternadas de alumínio-polímero-cobre, com os produtos químicos colados nelas.



Figura 109 – Formato construtivo da bateria de lítio ferro

Muitas vezes eles são enrolados como um rocambole e colocados em uma vasilha de aço. As baterias de lítio íon de 12 volts são feitas de muitas dessas células, conectadas em série e em paralelo para aumentar a capacidade de tensão e de ampère-hora.

As principais características das baterias de lítio ferro são:

- Cátodo LiFePO_4 e ânodo de grafite
- Abreviatura: LFP ou li-fosfato ou LiFePO_4
- Tensão Nominal: 3,20V (3,30V)
- Faixa de operação típica: 2.5-3.65V/célula
- Energia específica (capacidade): 90-120Wh/kg
- Carga: 1C típico até 3,65V
- Tempo de carga típico: 3 horas
- Descarga: 1C típica, 25C em algumas células
- Descarga pulsada: 40A (2s) com tensão de corte de 2,50V (menor que 2V causa danos)
- Vida útil: 1000-2000 ciclos (relacionado à profundidade de descarga, temperatura)
- Fuga térmica 270°C. Bateria muito segura, mesmo que totalmente carregada. Um dos sistemas de lítio íon mais seguros
- Auto descarga elevada



Figura 110 – Bateria selada de 12V com células de lítio ferro

ÓXIDO DE LÍTIO NÍQUEL COBALTO ALUMÍNIO (LINICOAL02) – NCA

A bateria de óxido de lítio níquel cobalto alumínio ou NCA, existe desde 1999 para aplicações especiais. Ela compartilha semelhanças com NMC, oferecendo alta energia específica, boa potência específica e uma longa vida útil.

Menos vantajosos em relação a outros tipos de baterias lítio íon são a segurança e o custo.

Alta energia e densidades de potência, bem como boa vida útil, fazem da bateria NCA um candidato para aplicações em veículos elétricos. Alto custo e segurança são desvantagens.

As principais características são:

- Óxido de lítio níquel cobalto alumínio: cátodo LiNiCoAlO_2 (~ 9% Co) e ânodo de grafite
- Abreviatura: NCA ou li-alumínio. Desde 1999
- Tensão Nominal: 3,60V
- Faixa de operação típica: 3.0-4.2V/célula
- Energia específica (capacidade): 200-260Wh/kg; 300Wh/kg previsível
- Carga: 0.7C até 4,20V
- Tempo de carga típico: 3h
- Descarga: 1C típica com 3,00V de tensão de corte. Alta taxa de descarga encurta a vida da bateria
- Vida útil: 500 ciclos (relacionado à profundidade de descarga, temperatura)
- Fuga térmica: 150°C típica. Carga elevada promove fuga térmica
- Aplicações Dispositivos médicos, industriais, veículo (Tesla)

TITANATO DE LÍTIO - LTO ($\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$) – LTO

As baterias com ânodos de titanato de lítio são conhecidas desde a década de 1980.

O li-titanato substitui o grafite no ânodo de uma bateria de lítio íon típica e o material se forma em uma estrutura de espinélio.

O cátodo pode ser óxido de manganês de lítio ou NMC.

Essas baterias são muito seguras, e dentre as baterias de lítio, são as que têm maior vida útil. As baterias de titanato de lítio, tem como principais vantagens, a segurança, longa vida útil, carga rápida, e ampla faixa de temperatura. No entanto, a menor tensão de 2,4 volts, implica numa baixa energia por volume, similar à energia da bateria de NiCd, e além disso, tem custo mais elevado.

A vida útil dessas baterias é de 3.000 a 7.000 ciclos, podendo em alguns casos chegar a 10.000 ciclos.

Essa bateria tem excelentes características de descarga à baixa temperatura. A menos 30 graus ainda mantêm uma capacidade de 80% da capacidade total.

Essa bateria é a melhor escolha quando se precisa de vida útil longa e segurança, Estudos estão sendo feitos para aumentar a sua energia e reduzir seu custo.



Figura 111 – Bateria Lítio Titanato LTO

A bateria de li-titanato tem uma tensão de célula nominal de 2,40V, pode ser carregada rapidamente e oferece uma alta corrente de descarga de 10C, ou 10 vezes a capacidade nominal.

A vida útil é mais elevada do que aquela que uma bateria lítio íon regular.

A bateria de li-titanato é segura. Tem excelentes características de descarga a baixa temperatura. Tem uma capacidade de 80% a -30°C.

No entanto, a bateria é cara e tem apenas 65Wh/kg de energia específica, similar à bateria de NiCd.

A bateria de li-titanato carrega até 2,80V/célula e o fim da descarga é 1,80V/célula.

Os usos típicos são veículos elétricos, nobreaks e iluminação de rua alimentada por energia solar.

A bateria de li-titanato supera as demais em segurança, desempenho a baixa temperatura e vida útil. Esforços estão sendo feitos para melhorar a energia específica e diminuir o custo.

As principais características são:

- Titânio de lítio: O cátodo pode ser óxido de lítio manganês ou NMC e o ânodo Li₄Ti₅O₁₂ (titanato)
- Abreviatura: LTO ou li-titanato. Comercialmente disponível desde aproximadamente 2008.
- Tensão Nominal: 2,40V
- Intervalo de operação típico: 1,8-2,85V/célula
- Energia específica (capacidade): 70-80Wh/kg
- Carga: 1C típica; 5C máxima até 2,85V
- Descarga: 10C possível, pulsada até 30C (5s) com tensão de corte de 1,80V
- Vida útil: 3.000-7.000 ciclos
- Fuga térmica: Uma das baterias lítio íon mais seguras
- Aplicações: Nobreaks, veículos elétricos (Mitsubishi i-MiEV, Fit EV da Honda), iluminação pública com energia solar
- Longa vida, carga rápida, ampla faixa de temperatura, mas baixa energia específica e cara. Está entre as baterias lítio íon mais seguras.

BATERIAS DE LÍTIO ÍON POLÍMERO (LIPO)

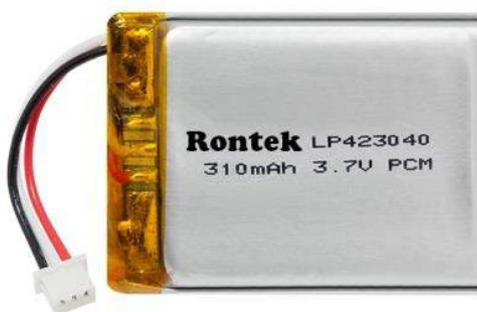


Figura 112 - Bateria de lítio-polímero (Li-Po)

As baterias chamadas de lítio-polímero são baterias de lítio íon com algumas peculiaridades.

A palavra polímero é normalmente associada com plástico. A bateria de lítio polímero difere das outras baterias lítio íon no tipo de eletrólito usado.

O projeto original deste tipo de bateria, datando dos anos 70, usava um eletrólito de polímero seco que se assemelhava a uma película plástica.

Este isolador permitia a troca de íons e substituía o tradicional separador poroso que era embebido com eletrólito.

Um polímero sólido tem baixa condutividade à temperatura ambiente, e a bateria tinha que ser aquecida a 60°C ou mais, para permitir o fluxo de corrente. Por essa razão essas baterias não tiveram grande aplicação.

Para tornar a bateria de lítio polímero condutora à temperatura ambiente, foi adicionado eletrólito gelificado.

A maioria das células de Lítio íon polímero incorpora hoje um micro separador poroso com alguma umidade.

A bateria de lítio-polímero pode ser construída em muitos sistemas, como o li-cobalto, NMC, li-fosfato e li-manganês, e não é considerada uma bateria de uma única química, embora a maioria dos pacotes de lítio-polímero sejam à base de cobalto.

Então qual a diferença entre uma bateria de lítio íon normal e uma bateria de lítio-polímero?

No que diz respeito ao usuário, ambas as baterias são essencialmente a mesma.

Ambos os sistemas usam materiais de cátodo e ânodo idênticos e contêm uma quantidade similar de eletrólito.

A bateria de lítio-polímero oferece a energia específica ligeiramente mais elevada e pode ser feita mais fina do que a bateria de lítio íon convencional.

As células de lítio-polímero normalmente vêm embaladas em uma bolsa flexível. Este invólucro reduz o peso em mais de 20% sobre a caixa rígida das baterias lítio íon normais.

Com isso a bateria pode ser feita em qualquer forma, encaixando perfeitamente em celulares e tabletes.

A bateria de lítio-polímero pode também ser feita muito fina e flexível, algo semelhante à um cartão de crédito.

As características de carga e descarga da bateria de lítio-polímero são idênticas aos outros sistemas lítio íon e não requerem um carregador dedicado.

As questões de segurança também são semelhantes, pois são necessários circuitos de proteção.

O acúmulo de gás durante a carga pode fazer com que algumas células inchem.

A bateria de lítio-polímero pela sua embalagem pode ser menos durável do que a bateria de lítio íon com sua embalagem cilíndrica.

O peso leve e o poder específico elevado fazem a bateria de lítio-polímero ser a escolha preferida para os modelistas, principalmente para drones, aviões e helicópteros radio controlados (RC).

Estes dispositivos requerem taxas muito altas de descarga e uma bateria pequena e leve.

As células de lítio-polímero para RC usualmente têm uma química com base em cobalto e lítio que é adequada para aplicação de alta potência.

Elas podem fornecer taxas de descarga muito altas por longos períodos de tempo e taxas de descarga extremamente elevadas por curtos períodos.

As principais vantagens das baterias de lítio-polímero são:

- Espessura reduzida
- Formatos flexíveis. Os fabricantes não são limitados por formatos padrão de célula.
- Peso leve

As principais limitações das baterias de lítio-polímero são:

- Boa segurança, porém, inferior às baterias de lítio íon cilíndricas pois não tem válvula de pressão. No caso de aumento de pressão, a célula começa a inchar. Quando usada corretamente e carregada adequadamente, nenhum problema deve ocorrer.

- Densidade de energia mais baixa e contagem de ciclo diminuída comparada à bateria de lítio íon.
- Cara para manufaturar. Uma vez produzida em grande escala, a bateria de lítio íon polímero tem o potencial para um custo mais baixo que a bateria de lítio íon cilíndrica.
- O circuito de controle reduzido implica em maiores custos de fabricação.

COMPARAÇÃO ENTRE AS BATERIAS DE LÍTIO ÍON

A seguir apresentamos um resumo comparando as principais vantagens e limitações de cada tipo de bateria lítio íon.

- Óxido de lítio cobalto (LiCoO_2) – LCO
Energia específica elevada. Potência limitada.
- Óxido lítio manganês (LiMn_2O_4) – LMO
Potência elevada. Capacidade reduzida. Mais segura que a bateria LCO.
- Óxido de lítio níquel manganês cobalto (LiNiMnCoO_2) – NMC
Potência elevada. Capacidade reduzida. Mais segura que a bateria LCO.
- Fosfato de lítio ferro (LiFePO_4) – LFP
Curva plana de descarga. Potência elevada. Capacidade baixa. Muito segura. Auto descarga elevada.
- Óxido de lítio níquel cobalto alumínio (LiNiCoAlO_2) – NCA
Maior capacidade com potência moderada. Similar à LCO.
- Titanato de lítio ($\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$) – LTO
Vida longa. Carga rápida. Faixa larga de temperatura. Segura. Baixa Capacidade. Cara.

A tabela 17 mostra os principais parâmetros de cada tipo, os quais podem variar em função do fabricante da bateria:

Tipo de Bateria de Lítio íon	LCO	LMO	NMC	LFP	NCA	LTO
Tensão Nominal (V)	3,6	3,7	3,6	3,2	3,6	2,4
Tensão Máxima na Carga (V)	4,20	4,20	4,20	3,65	4,20	2,85
Tensão Mínima na Descarga (V)	3,0	3,0	3,0	2,5	3,0	1,8
Tensão Mínima (V)	2,5	2,5	2,5	2,0	2,5	1,5
Taxa de Carga Padrão (Taxa C)	1	1	1	1	1	1
Tempo de Carga Rápida (horas)	3	3	3	3	3	3
Vida – Ciclos	Média	Média	Boa	Ótima	Boa	Ótima
Custo	Bom	Bom	Bom	Bom	Alto	Muito Alto
Capacidade	Ótima	Boa	Ótima	Média	Ótima	Média
Potência	Média	Boa	Boa	Ótima	Boa	Boa
Segurança	Média	Boa	Boa	Ótima	Média	Ótima
Desempenho	Bom	Médio	Bom	Bom	Bom	Ótimo

Tabela 17 – Comparação entre as baterias de Lítio íon

A figura 113 mostra gráficos comparativos dos diferentes tipos de baterias de íon de lítio, sendo a área colorida maior o mais desejável.

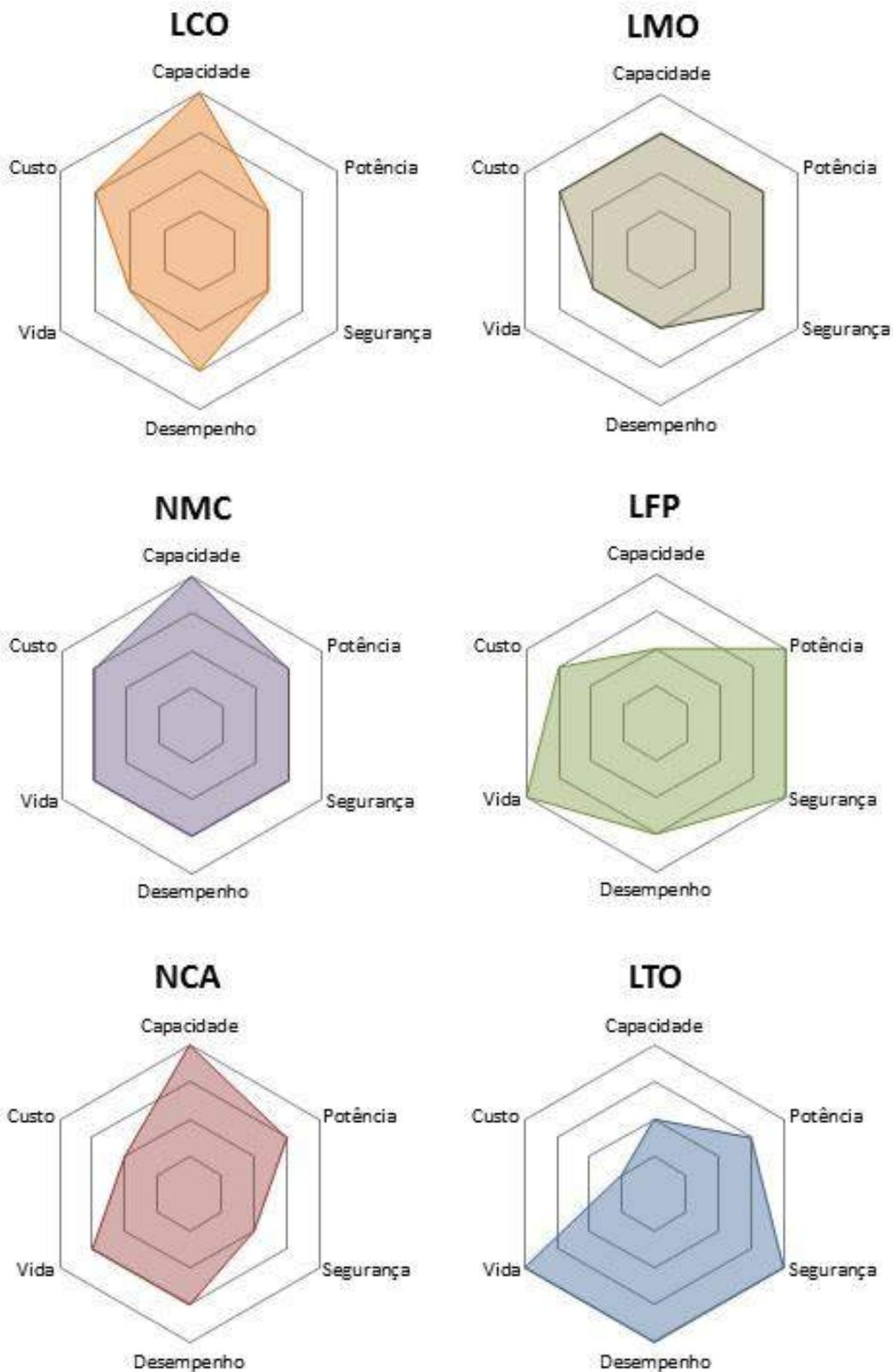


Figura 113 – Comparação entre os vários tipos de baterias de Lítio íon

Os principais fatores considerados são capacidade, potência, segurança, desempenho, vida útil e custo.

A capacidade demonstra quanta energia uma bateria pode armazenar por unidade de peso, o que reflete, por exemplo, num carro elétrico, o quanto tempo poderá trafegar sem recarga das baterias.

Potência é a capacidade de fornecer alta corrente quando necessário e demonstra, por exemplo, num carro elétrico, o potencial de aceleração do veículo.

A segurança é naturalmente um dos aspectos mais importantes na escolha de uma bateria.

O desempenho reflete a condição da bateria em condições extremas de temperatura.

O tempo de vida reflete a contagem e a longevidade do ciclo.

O custo inclui os sistemas auxiliares necessários para segurança, gerenciamento de bateria e monitoramento do status da carga.

SELEÇÃO DAS BATERIAS DE LÍTIO ÍON

No mercado existem várias famílias e muitos modelos disponíveis de baterias lítio íon. Apresentamos nas tabelas 18 a 26 os modelos comercializados pela empresa S.T.A. (www.sta-eletronica.com.br), para servir de referência para a escolha da bateria que melhor se adapta a cada aplicação. Nessas tabelas a capacidade é em mAh, as medidas são em mm, a tensão em volts e a corrente em ampères.



Figura 114 - Baterias de lítio íon cilíndricas marcas famosas

CÓDIGO	CAPACIDADE	MEDIDAS	MARCA	TENSÃO	CORRENTE
36052	4.000	21x70	Samsung	3,6	35,00
36051	4.250	20x70	Sanyo	3,6	15,00
36287	3.500	18x65	LG	3,7	10,00
35518	3.450	18x65	Sanyo	3,6	10,00
35462	3.350	18x65	Panasonic	3,6	6,70
36288	3.000	18x65	LG	3,7	20,00
35520	3.000	18x65	Samsung	3,6	15,00
35521	2.900	18x65	Panasonic	3,6	10,00
35460	2.600	18x65	Samsung	3,6	5,20
36409	2.600	18x65	LG	3,6	2,60
35519	2.500	18x65	Samsung	3,6	20,00
35414	2.200	18x65	Sanyo	3,6	2,20

Tabela 18 – Baterias de lítio íon cilíndricas marcas famosas



Figura 115 - Baterias de lítio íon cilíndricas – Com top – Marca Rontek

CÓDIGO	CAPACIDADE	MEDIDAS	TENSÃO	CORRENTE
35456	4400	26x67	3,7	4,40
36347	3500	18x65	3,6	3,50
35689	3400	18x65	3,7	3,40
36374	3150	18x65	3,7	3,15
34543	3000	18x65	3,7	3,00
36345	2600	18x65	3,6	2,60
36346	2600	18x49	3,7	2,60
35688	2200	17x57	3,7	2,20
35592	600	16x34	3,7	0,60
36348	900	14x50	3,6	0,90

Tabela 19 – Baterias de lítio íon cilíndricas – Com top – Marca Rontek



Figura 116 - Baterias de lítio íon de alta corrente – Sem top - Marca Rontek

CÓDIGO	CAPACIDADE	MEDIDAS	TENSÃO	CORRENTE
36148	3350	18x65	3,6	6
36147	3000	18x65	3,6	6
36344	2600	18x65	3,7	13
36142	2600	18x65	3,6	10
35703	2600	18x65	3,6	5
36047	2600	18x65	3,7	13
35700	2200	18x65	3,6	11
35702	2200	18x65	3,6	5
34196	2200	18x65	3,7	11
35701	2050	18x65	3,6	6
35699	2000	18x65	3,6	20
36048	1500	18x65	3,6	22

Tabela 20 - Baterias de lítio íon de alta corrente – Sem top - Marca Rontek



Figura 117 - Baterias de lítio íon – Sem top - Marca Rontek

CÓDIGO	CAPACIDADE	MEDIDAS	TENSÃO	CORRENTE
34542	3000	18x65	3,7	3,00
34073	2600	18x65	3,6	2,60
30352	2200	18x65	3,6	2,20
34081	2200	18x65	3,6	2,20
1920	2000	18x65	3,6	2,00
33998	1400	18x65	3,6	1,40
1156	1800	17x57	3,6	1,80
30800	1200	17x50	3,6	1,20
34119	750	17x36	3,6	0,75
30802	600	16x34	3,6	0,60
33990	1000	14x55	3,6	1,00
35707	850	14x50	3,7	0,85
34770	650	14x50	3,7	0,65
35748	350	10,5x44	3,7	0,35

Tabela 21 - Baterias de lítio íon – Sem top - Marca Rontek



Figura 118 - Baterias de lítio íon prismáticas – Marca Rontek

CÓDIGO	CAPACIDADE	MEDIDAS	TENSÃO	CORRENTE
35865	1700	10x34x50	3,6	1,70
1825	1400	10x34x48	3,6	1,40
35595	1100	6x34x53	3,6	5,50
34010	800	6x30x48	3,6	0,80
34547	800	6x30x48	3,7	0,80
34548	800	6x30x52	3,6	0,80
33874	380	18x26x49	9	0,68

Tabela 22 - Baterias de lítio íon prismáticas – Marca Rontek



Figura 119 - Baterias de lítio íon polímero de alta corrente – Marca Rontek

CÓDIGO	CAPACIDADE	MEDIDAS	TENSÃO	CORRENTE
36289	750	6,2x30,5x52	3,7	7,50
36290	1050	5,5x35x62	3,7	10,00
36291	1400	7x35x55	3,7	14,00
36292	1900	6,2x34,5x97	3,7	19,00
36293	2100	6x44,5x90,5	3,7	42,00
36294	2200	8x34,5x96,5	3,7	55,00
36296	2800	6x51x86	3,7	5,60
36295	3000	6x45,5x135	3,7	30,00
36297	3200	6,5x55x85	3,7	6,40
36427	3650	135x45x5,5	3,7	7,30
36428	2500	57x50,5x8,8	3,7	5,00
36429	1500	65x65,5x7	3,7	3,00
36082	750	9x25x40	3,7	22,50
36045	750	9x25x40	3,7	18,75

Tabela 23- Baterias de lítio íon polímero de alta corrente – Marca Rontek



Figura 120 - Baterias de lítio íon polímero – Marca Rontek

CÓDIGO	CAPACIDADE	MEDIDAS	TENSÃO	CORRENTE
36426	5000	74x64x8,9	3,7	5,00
35677	2600	8x45x66	3,7	2,60
34546	1800	10x31x49	3,7	1,80
35489	1300	9x30x47	3,7	1,30
35488	1150	8x30x50	3,7	1,15
35690	1100	5x37x56	3,7	1,10
35692	1050	5x35x60	3,7	1,05
33547	1050	5x45x55	3,7	1,05
35807	1050	7x35x53	3,7	1,05
36285	1050	7x35x53	3,7	1,05
35647	1000	10,5x34x43	3,7	1,00
34545	1000	5x37x62	3,7	1,00
36319	1000	7x30x48	3,7	1,00
35386	950	8x34x40	3,7	0,95
35678	900	7x34x43	3,7	0,90
35679	900	6x38x40	3,7	0,90
35487	850	6x31x49	3,7	0,85
35042	800	5x30x50	3,7	0,80
35921	800	6x30x52	3,7	0,80
34549	800	6x34x45	3,7	0,80
34544	550	3x35x59	3,7	0,55
36479	470	7x35x56	3,7	0,47
34794	450	3x30x40	3,7	0,45
35038	400	6x20x35	3,7	0,40
34795	310	4x31x35	3,7	0,31
35486	290	6x20x31	3,7	0,29
35039	210	4x20x31	3,7	0,21
36430	210	4x20x31	3,7	0,21
35680	200	6x14x35	3,7	0,2

Tabela 24- Baterias de lítio íon polímero – Marca Rontek



Figura 121 - Baterias de lítio ferro – Marca Rontek

CÓDIGO	CAPACIDADE	MEDIDAS	TENSÃO	CORRENTE
36407	450	17x33	3,2	0,45
36753	600	14x50	3,2	1,80
36049	1500	18x65	3,2	7,50
35751	1500	18x65	3,2	3,00
36084	3000	26x65	3,2	3,00
36085	3000	26x65	3,2	3,00
35752	3300	26x65	3,2	9,90

Tabela 25- Baterias de lítio ferro – Marca Rontek



Figura 122 - Baterias de titanato de lítio

CÓDIGO	CAPACIDADE	MEDIDAS	TENSÃO	CORRENTE
35808	1300	18x65	2,4	13
36408	500	14x50	2,4	13

Tabela 26 - Baterias de titanato de lítio – Marca Rontek

9. COMO USAR AS BATERIAS DE LÍTIO-ÍON

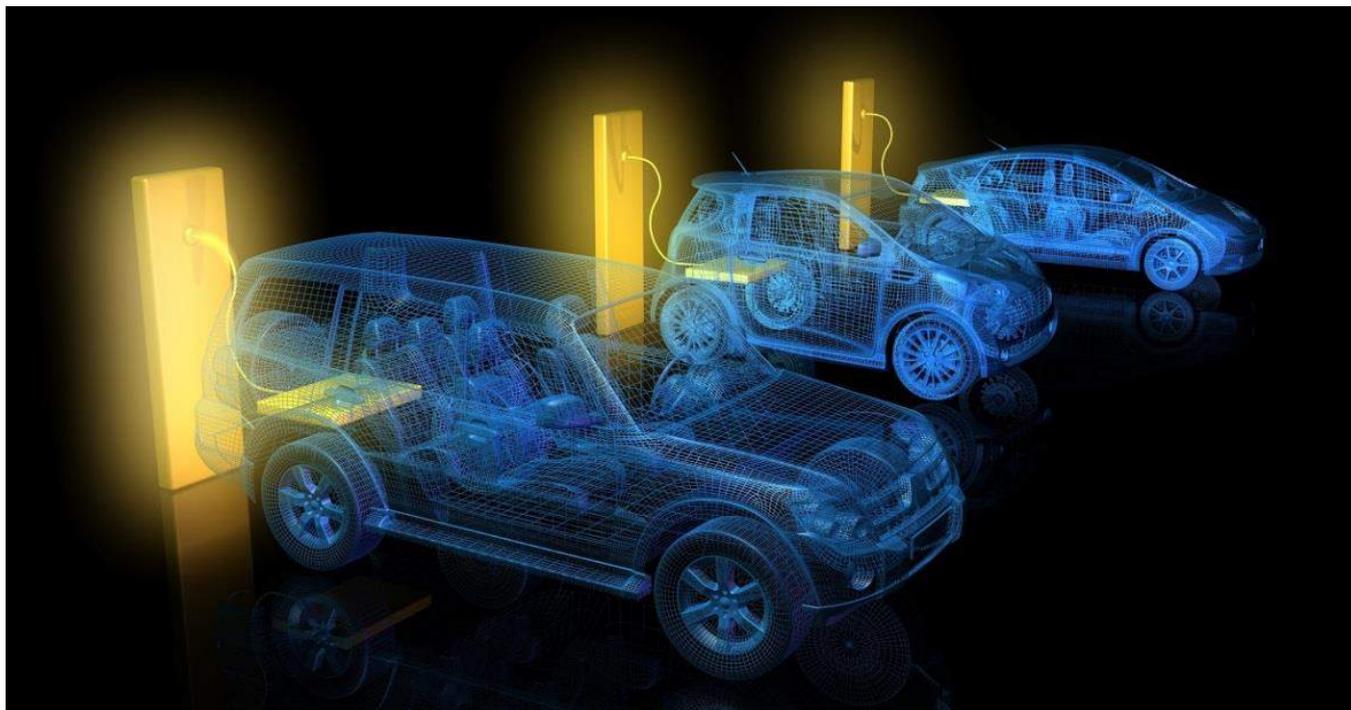


Figura 123 – Aplicação das baterias de lítio íon: veículos elétricos

CARGA DAS BATERIAS DE LÍTIO ÍON

Estas observações aplicam-se igualmente às baterias de Lítio íon e de lítio-polímero. A química é basicamente a mesma para os dois tipos de baterias e assim os métodos de carregamento para baterias lítio-polímero podem ser usados para baterias de lítio íon.

A bateria de lítio íon é fácil de carregar, porém devido às questões de segurança, o processo de carga acaba se tornando complicado, frequentemente necessitando circuitos de proteção e controle.

O método básico é carregar a bateria em corrente constante, de 0,2C a 0,7C dependendo do fabricante, até que a bateria atinja 4,2V por célula.

Mantem-se a tensão de carga em 4,2V até que a corrente de carga caia para 3% do valor inicial da taxa de carga. A condição de terminação é a queda na corrente de carga para 3%. Uma tensão de carga superior e a corrente de terminação variam ligeiramente com o fabricante.

Um temporizador de carga deve ser incluído para a segurança.

O carregador de baterias de lítio íon é um dispositivo limitador de tensão similar ao carregador de baterias de chumbo-ácido. A diferença está em uma maior tensão por célula, uma tolerância de tensão menor e a ausência de carga de flutuação ou pulsante quando a carga completa é alcançada.

Enquanto as baterias de chumbo-ácido oferecem alguma flexibilidade em termos de interrupção de tensão, fabricantes de células de lítio íon são muito rígidos em ajustar a tensão correta.

A maioria das células atuais de lítio íon pode ser carregada a 4,20 Volts. A tolerância para todas as baterias de lítio íon é apertada +/- 0,05 Volts por célula.

Baterias de lítio íon militares e industriais projetadas para máximo ciclo de vida usam um limiar de tensão de fim de carga em torno de 3,90 Volts por célula.

O tempo de carga de todas as baterias de lítio íon, quando carregadas a uma corrente inicial de 1C, é de aproximadamente 3 horas. A bateria permanece fria durante a carga.

A carga completa é alcançada depois que a tensão alcança o limiar de tensão superior e a corrente cai, se igualado a 3% da corrente de carga nominal.

Aumentar a corrente de carga em um carregador de lítio íon não faz diminuir muito o tempo de carga. Embora o pico de tensão seja alcançado mais rápido com correntes maiores, a carga de pico irá demorar mais.

Nenhuma carga pulsante é aplicada porque a bateria de lítio íon é incapaz de absorver sobrecarga. Carga pulsante poderia causar depósito de lítio metálico, uma condição que torna a célula instável.

Ao invés disso, uma breve carga de pico é aplicada para compensar a pequena quantidade de auto descarga da bateria. Dependendo do carregador e da auto descarga da bateria, uma carga de pico pode ser implementada uma vez a cada 500 horas ou 20 dias.

O que acontece se uma bateria é inadvertidamente sobrecarregada?

Baterias de lítio íon são projetadas para operar seguramente dentro da sua tensão normal de operação, mas tornam-se cada vez mais instáveis se carregadas em voltagens maiores.

Em uma tensão de carga acima de 4,3 Volts, a célula causa depósito de metal de lítio no ânodo. Além disso, o material do cátodo se torna um agente oxidante, perde estabilidade e libera oxigênio. Sobrecarga faz a célula se aquecer.

Muita atenção tem sido aplicada na segurança das baterias de lítio íon. Baterias de lítio íon comerciais contém um circuito de proteção que previne que a tensão da célula fique muito alta enquanto estiver sendo carregada.

O limiar típico de segurança é ajustado para 4,30 Volts por célula. A maioria das células tem como característica uma mudança de pressão mecânica que permanentemente interrompe o caminho da corrente se um limiar de segurança é excedido.

Circuitos internos de controle de tensão interrompem a bateria em subtensão ou sobre tensão.

A figura 124 mostra os estágios de carga em uma bateria de lítio íon.

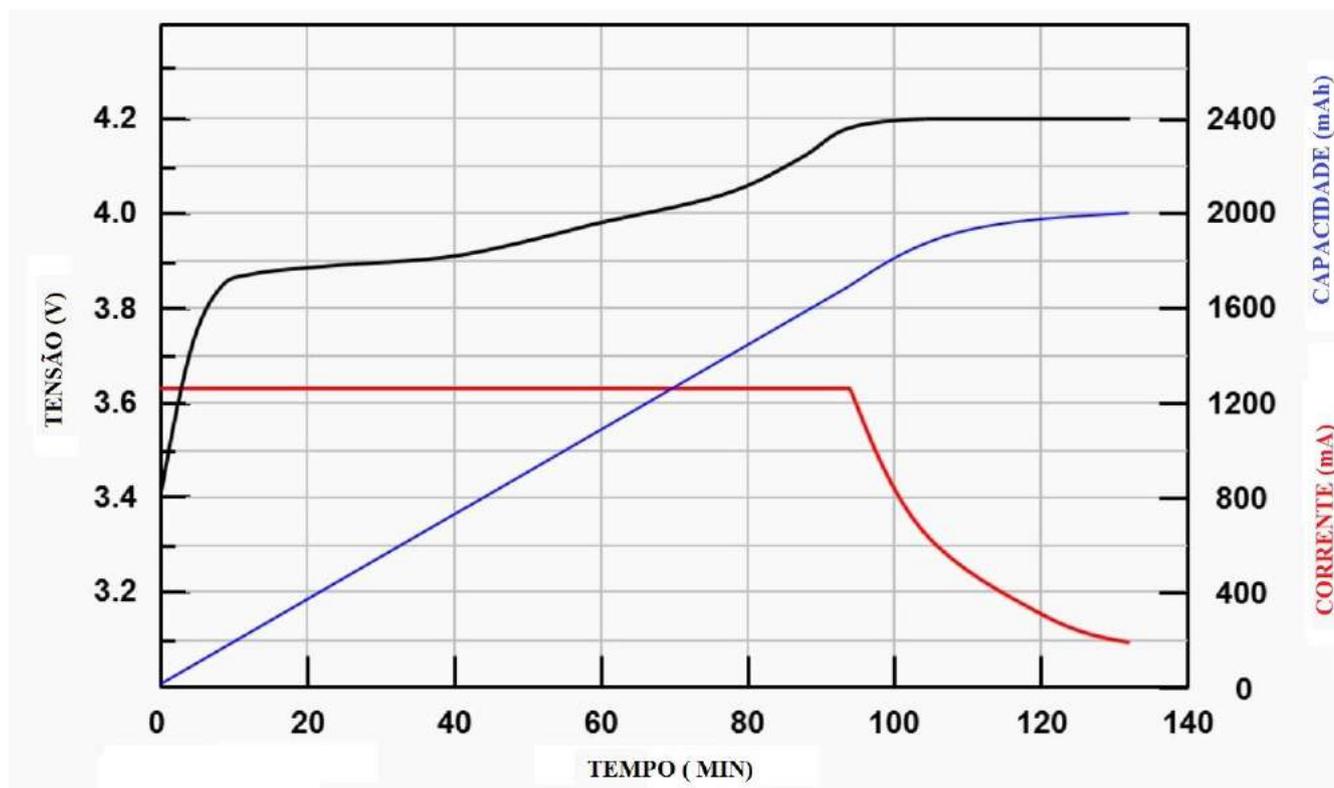


Figura 124 – Curva de carga da bateria de Lítio íon

CARGA DAS BATERIAS DE LÍTIO FERRO

- **Carga Convencional**

O processo convencional de carregamento de uma bateria de LiFePO₄ é similar ao da bateria de lítio íon e também necessita de dois passos para atingir a carga completa:

Passo 1: Corrente constante (CC) - Se utiliza corrente constante para atingir cerca de 60% da carga;

Passo 2: Tensão constante (TC) - Ocorre quando a tensão de carga atinge 3,65V por célula, que é o limite superior da tensão de carga efetiva. A passagem de corrente constante (CC) para tensão constante (TC) significa que a corrente de carga é limitada pelo que a bateria aceita nessa voltagem, de modo que a corrente de carga diminui exponencialmente. O passo 1 (60% de carga) precisa de cerca de uma hora e o passo 2 (40% de carga) precisa de mais duas horas.

- **Carga Rápida**

Em uma bateria de LiFePO₄ pode-se aplicar uma sobre tensão sem decompor o eletrólito. Assim ela pode ser carregada em apenas uma etapa, de corrente constante, para atingir 95% da carga máxima ou ser carregada em duas etapas, corrente constante seguida de tensão constante, para obter 100% de estado de carga. Isso é semelhante à maneira como as baterias de chumbo-ácido são carregadas. O tempo total mínimo de carga será de aproximadamente duas horas. O gráfico abaixo mostra um perfil típico de uma bateria LiFePO₄ sendo carregada em modo rápido.

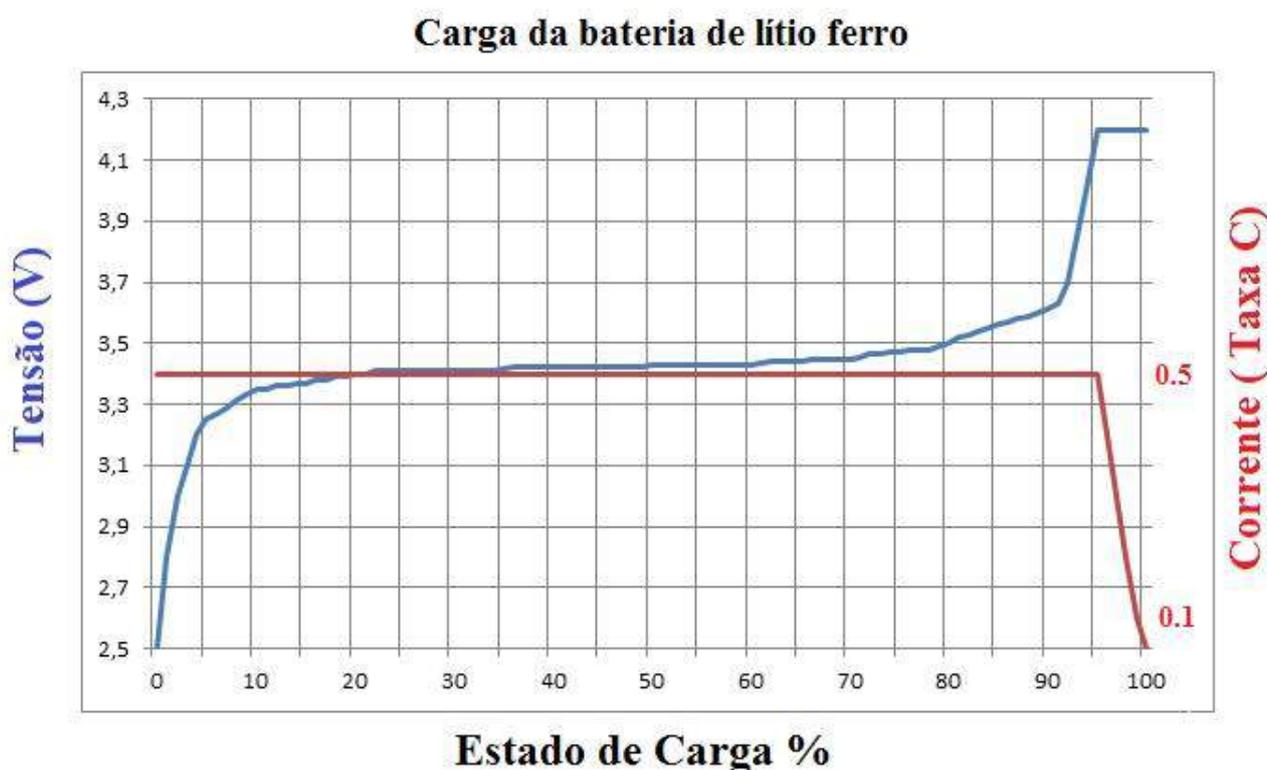


Figura 125 – Curva de carga da bateria de lítio ferro

No início, a bateria é carregada com uma taxa de carga de 0,5 C (em vermelho), ou metade da capacidade Ah, em outras palavras, para uma bateria de 5.000 mAh, isso seria uma corrente de carga de 2.500 mA.

A tensão de carga (em azul) não muda muito para taxas de carga mais altas ou mais baixas (em azul). As baterias LiFePO₄ têm uma curva de tensão muito plana.

Uma bateria de lítio íon comum de 3,7V, feita de LiCoO₂ tem uma tolerância de sobrecarga muito estreita, cerca de 0,1V sobre o platô de tensão de carga de 4,2V por célula, que também é o limite superior da tensão de carga. O carregamento contínuo de 4,3V pode danificar o desempenho da bateria, como ciclo de vida, ou resultar em incêndio ou explosão.

Uma bateria LiFePO₄ tem uma tolerância de sobrecarga muito mais ampla de cerca de 0,7V a partir do seu patamar de tensão de carga de 3,5V por célula. Quando medido com um calorímetro de varredura diferencial (DSC), o calor exotérmico da reação química com o eletrólito após a sobrecarga é de apenas 90 Joules / grama para LiFePO₄ versus 1600 J / g para LiCoO₂. Quanto maior o calor exotérmico, mais vigoroso é o incêndio ou explosão que pode acontecer quando a bateria é abusada.

Uma bateria LiFePO₄ pode ser sobrecarregada com segurança até 4,2 volts por célula, mas tensões mais altas começarão a quebrar os eletrólitos orgânicos. No entanto, é comum carregar um pack de baterias de 12 volts, feito com 4 células em série, com um carregador de bateria de chumbo-ácido.

A tensão máxima desses carregadores, seja alimentado por CA ou usando um alternador de carro, é de 14,4 volts. Isso funciona bem, mas os carregadores de baterias de chumbo-ácido reduzirão sua tensão para 13,8 volts para a carga de flutuação e, portanto, normalmente a carga terminará antes que a bateria de LiFePO₄ esteja em 100% da carga.

Por este motivo, é necessário um carregador especial LiFePO₄ para atingir 100% da capacidade. Devido ao fator de segurança adicional, as baterias de LiFePO₄ são preferidas para aplicações de grande capacidade e alta potência.

Do ponto de vista da grande tolerância à sobrecarga e desempenho de segurança, uma bateria LiFePO₄ é semelhante a uma bateria de chumbo-ácido.

Diferentemente da bateria de chumbo-ácido, várias células LiFePO₄ em uma bateria em série não conseguem se equilibrar durante o processo de carga.

Isso ocorre porque a corrente de carga é interrompida quando uma célula está completamente carregada. É por isso que os packs de baterias de LiFePO₄ precisam de placas de gerenciamento BMS.

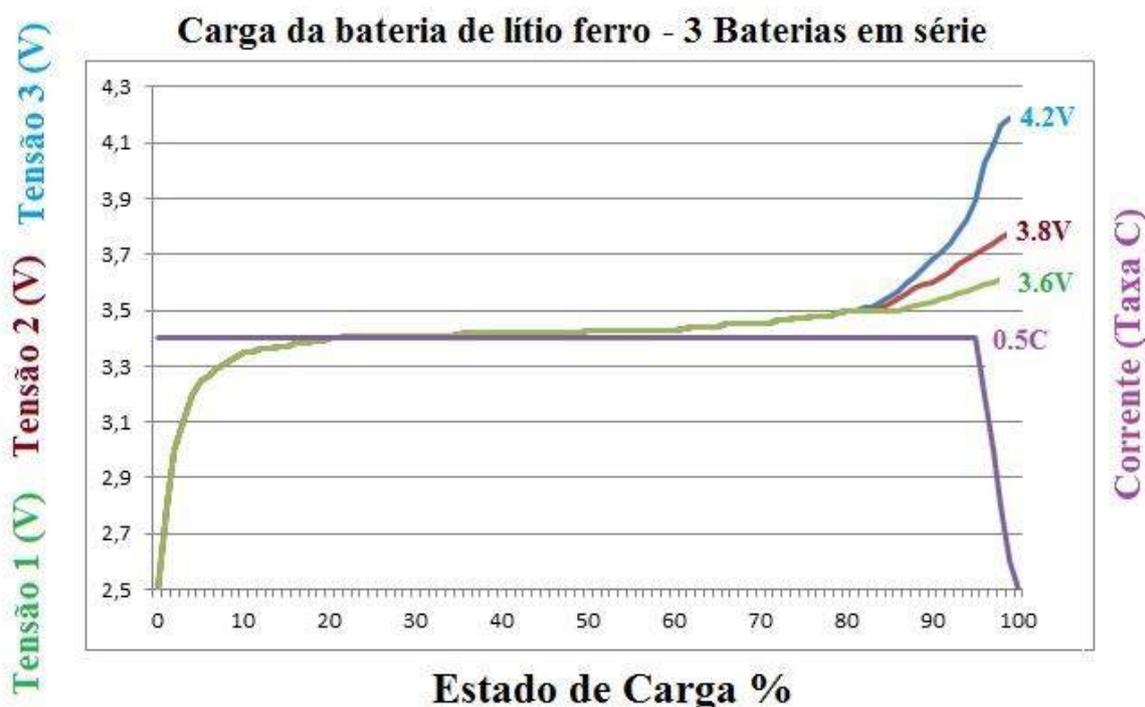


Figura 126 – Curva de carga de 3 baterias de lítio ferro em série – Efeito do desbalanceamento

A maioria dos controladores de carga em sistemas de energia solar, não tem problemas para carregar packs de baterias de LiFePO₄.

As tensões necessárias são semelhantes às usadas para baterias seladas de chumbo de 12V.

As placas de gerenciamento de packs de baterias LiFePO₄, fazem com que as células da bateria estejam na tensão correta, não fiquem sobrecarregadas ou excessivamente descarregadas, fiquem com tensão equilibrada.

Algumas placas ainda controlam a temperatura da célula para esteja dentro da especificação, enquanto estão sendo carregadas.

Em muitos aspectos, uma bateria de LiFePO₄ é mais fácil de carregar do que uma bateria de chumbo-ácido: contanto que a tensão de carga seja alta o suficiente para mover íons, ela é carregada.

As baterias de LiFePO₄ não se importam se não estiverem totalmente carregadas, na verdade elas duram mais se não estiverem.

Tensões de carga abaixo de 3,4V/célula, não permitem carregar a bateria de LiFePO₄. Tensões acima disso, carregam a bateria até pelo menos 95% da carga, com tempo suficiente para isso.

Com uma tensão de 3,5V/célula, a bateria carrega facilmente até 95% e com algumas horas absorve a energia de carga. Para todos os efeitos há pouca diferença na carga entre tensões de 3,5V/célula ou superiores.

DESCARGA DAS BATERIAS DE LÍTIO ÍON

Uma bateria de Lítio íon tipicamente descarrega até 3 volts por célula. Alguns modelos podem ser descarregados até 2,5 Volts por célula.

Quanto mais baixa tensão de fim de descarga melhor, porém a maioria dos equipamentos é projetada para uma interrupção em 3V.

Deve-se tomar cuidado para não descarregar muito uma bateria à base de lítio.

Descarregar uma bateria à base de lítio abaixo de 2,5V pode interromper o circuito de proteção da bateria.

As primeiras baterias de lítio íon eram consideradas frágeis e inadequadas para descargas elevadas. Isso mudou e hoje os sistemas baseados em lítio competem com vantagens com as robustas baterias de níquel e chumbo.

Dois tipos básicos de baterias de lítio íon existem no mercado: as células de energia e as células de potência.

A célula de energia lítio íon é feita para fornecer grandes capacidades (mAh) mas a corrente de descarga não é alta. Essas baterias são ideais para aplicações onde não se exigem correntes elevadas e é necessário alimentar a carga pelo maior tempo possível, como por exemplo notebooks.

Uma bateria deste tipo descarregada a 1C tem uma capacidade de 3.000mAh, porém se descarregada com uma corrente de 2C a capacidade se reduz a apenas 2.300 mAh.

Já as células de potência têm capacidade baixa mas podem ser descarregadas a taxas elevadas de corrente. Esta célula funciona bem para aplicações que requerem uma corrente de carga pesada, como ferramentas elétricas.

A célula de potência permite uma descarga contínua de 10C.

Isso significa que uma célula de 18650 com capacidade nominal de 2.000mAh pode fornecer uma corrente contínua de 20A por alguns minutos e a capacidade é minimamente reduzida.

O desempenho superior é conseguido em parte, reduzindo a resistência interna e otimizando a área de superfície dos materiais celulares ativos.

A baixa resistência permite um alto fluxo de corrente com um aumento de temperatura mínimo.

Descarregando a bateria com a corrente de descarga máxima permitida, a célula de potência lítio íon aquece a cerca de 50°C. A temperatura é limitada a 60°C.

Uma descarga muito profunda numa bateria lítio íon pode conduzir a um curto circuito parcial ou total. O mesmo ocorre se a célula é levada para polaridade negativa e é mantida nesse estado.

Por outro lado, equipamentos que interrompem a descarga da bateria antes da energia ser consumida é outro.

Alguns dispositivos portáteis não são adequados para colher toda a energia armazenada dentro de uma bateria. Energia valiosa pode ser deixada para trás se o ponto de interrupção de tensão for ajustado muito alto.

Dispositivos digitais estão exigindo muito da bateria. Cargas pulsadas momentâneas, causam uma breve queda na tensão, o que pode empurrar a tensão para a região de interrupção.

Baterias com alta resistência interna são particularmente vulneráveis à interrupção prematura. Nesse caso, se a bateria é removida do equipamento e descarregada para um ponto de interrupção com um analisador de baterias, pode-se obter um nível alto de capacidade residual.

A maioria das baterias recarregáveis prefere uma descarga parcial ao invés de uma descarga completa. Descargas completas repetidas roubam a capacidade das baterias. A química de bateria que é a mais afetada por descarga profunda repetida é a de chumbo-ácido.

Similar às baterias de chumbo-ácido, as baterias de lítio íon preferem ser descarregadas superficialmente. Até 1000 ciclos podem ser alcançados se a bateria for parcialmente descarregada.

Na figura 127 mostramos as curvas de descarga de uma bateria lítio íon para diversas taxas C. Quanto maior é a taxa C de descarga maior é a queda de tensão devida à resistência interna da bateria.

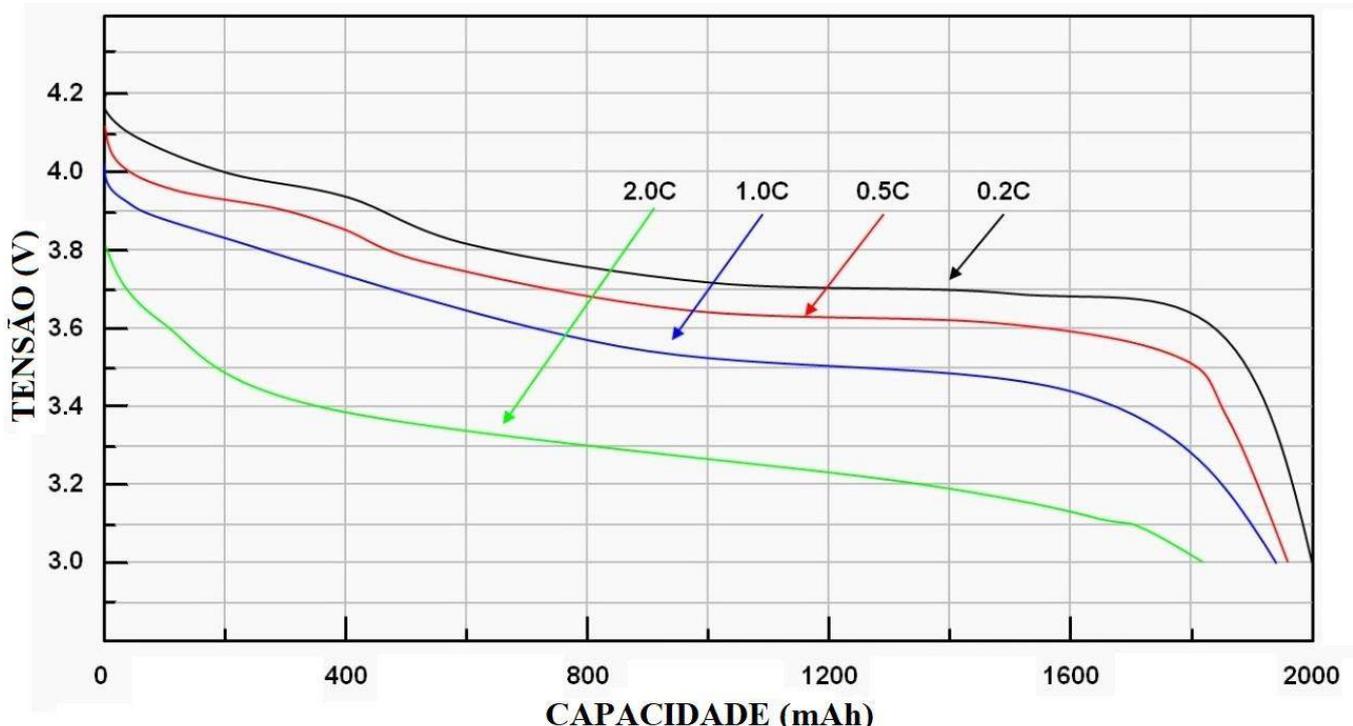


Figura 127 – Curvas de descarga da bateria de Lítio íon para várias taxas C

A descarga das baterias de lítio íon também é afetada pela temperatura. Em temperaturas muito baixas a queda de tensão da bateria é acentuada. A influência da temperatura na descarga da bateria de lítio íon é mostrada na figura 128.

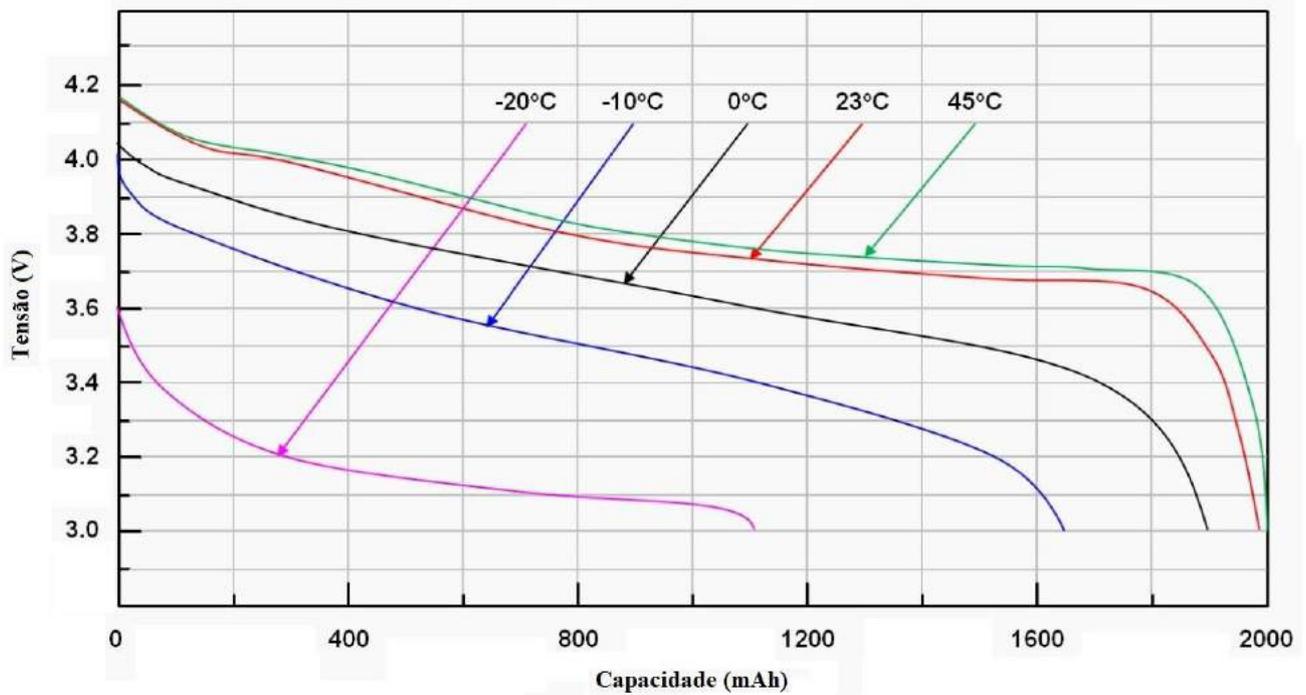


Figura 128 – Curvas de descarga da bateria de Lítio íon para várias temperaturas

Cargas e descargas fazem com que a bateria se desgaste e perca parte de sua capacidade ao longo do tempo. Um ciclo é definido como uma carga e uma descarga da bateria.

A figura 129 mostra a perda de capacidade da bateria em função do número de ciclos.

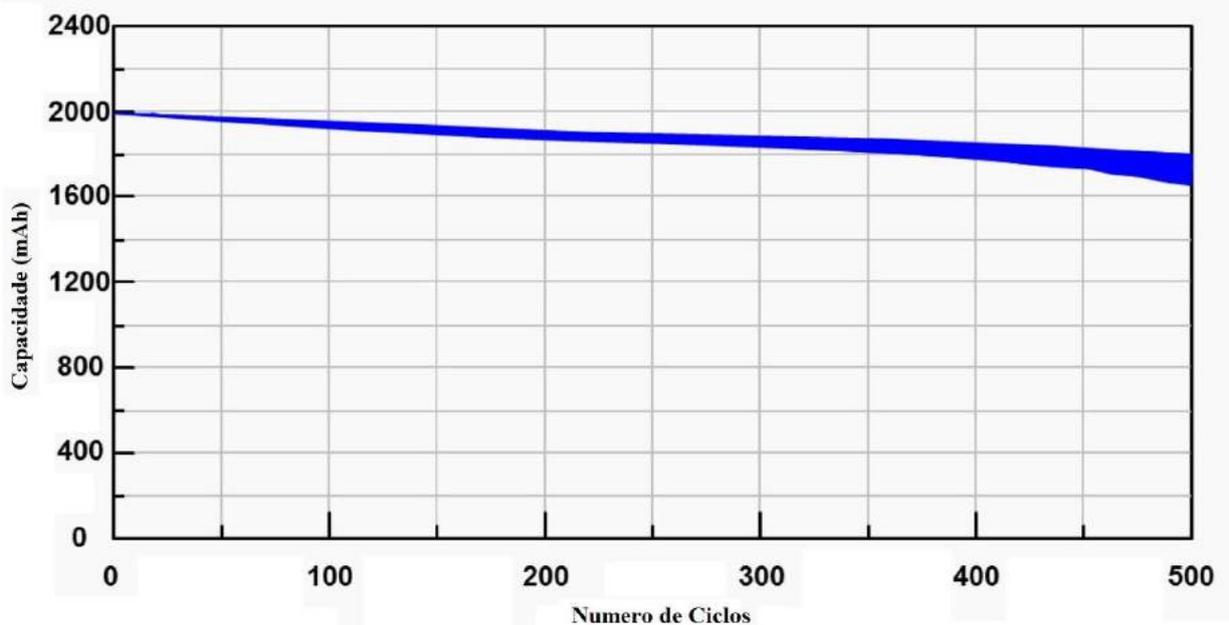


Figura 129 – Perda da capacidade com o número de ciclos

DESCARGA DAS BATERIAS DE LÍTIO FERRO

As baterias de lítio ferro tem uma curva de descarga plana, ou seja, a tensão permanece estável durante boa parte da descarga.

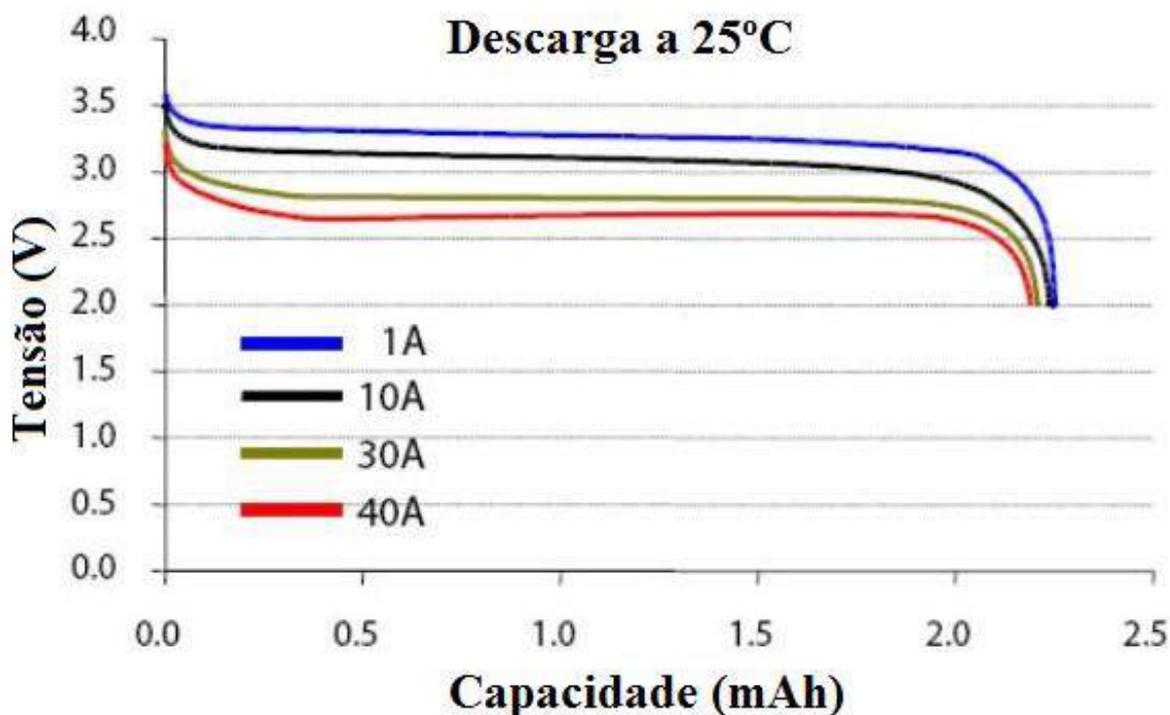


Figura 130 – Curvas de descarga em várias correntes para a bateria de lítio ferro

A figura 130 mostra as curvas de descarga da bateria de lítio ferro para várias correntes de descarga. Mesmo em correntes elevadas a curva de descarga permanece plana a maior parte do tempo. Na figura 131 observamos a influência da tensão final de carga na capacidade da bateria.

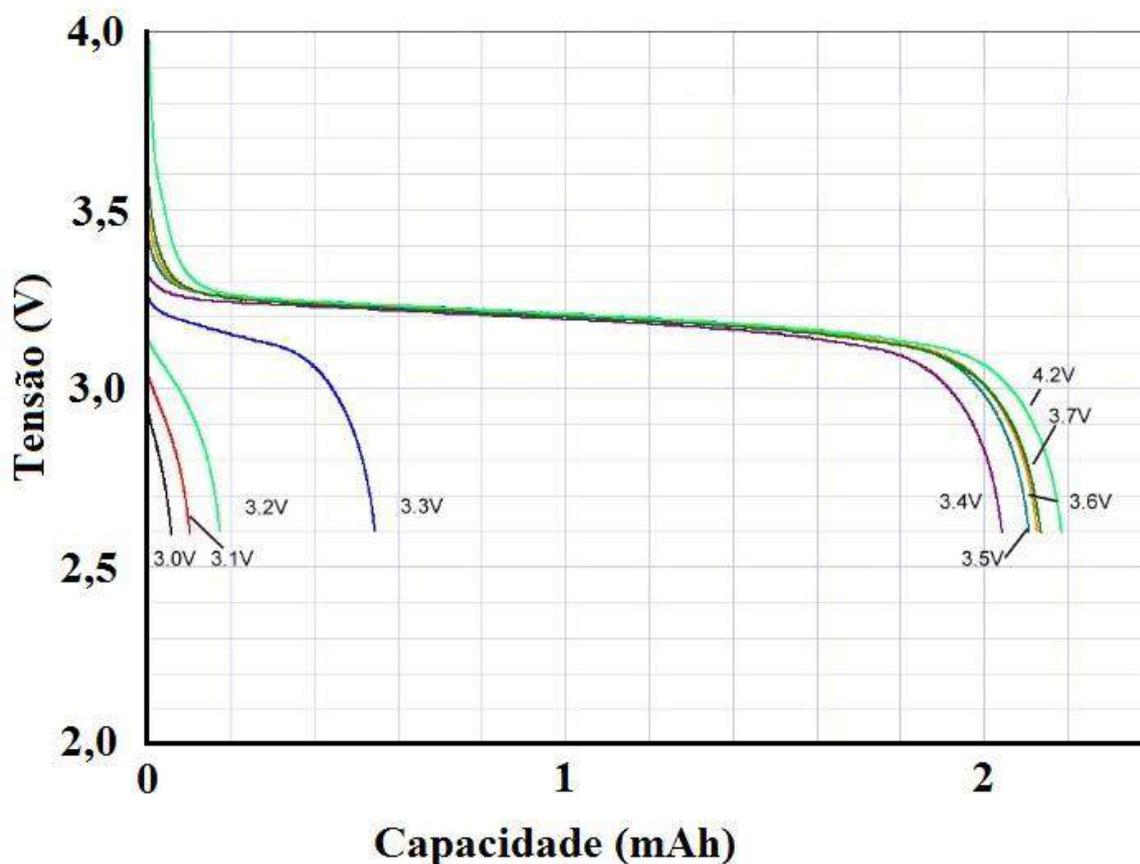


Figura 131 – Curvas de descarga em com várias tensões de carga para a bateria de lítio ferro

A descarga das baterias de lítio ferro também é afetada pela temperatura. Em temperaturas muito baixas a queda de tensão da bateria é acentuada. A influência da temperatura na descarga da bateria de lítio íon é mostrada na figura 132.

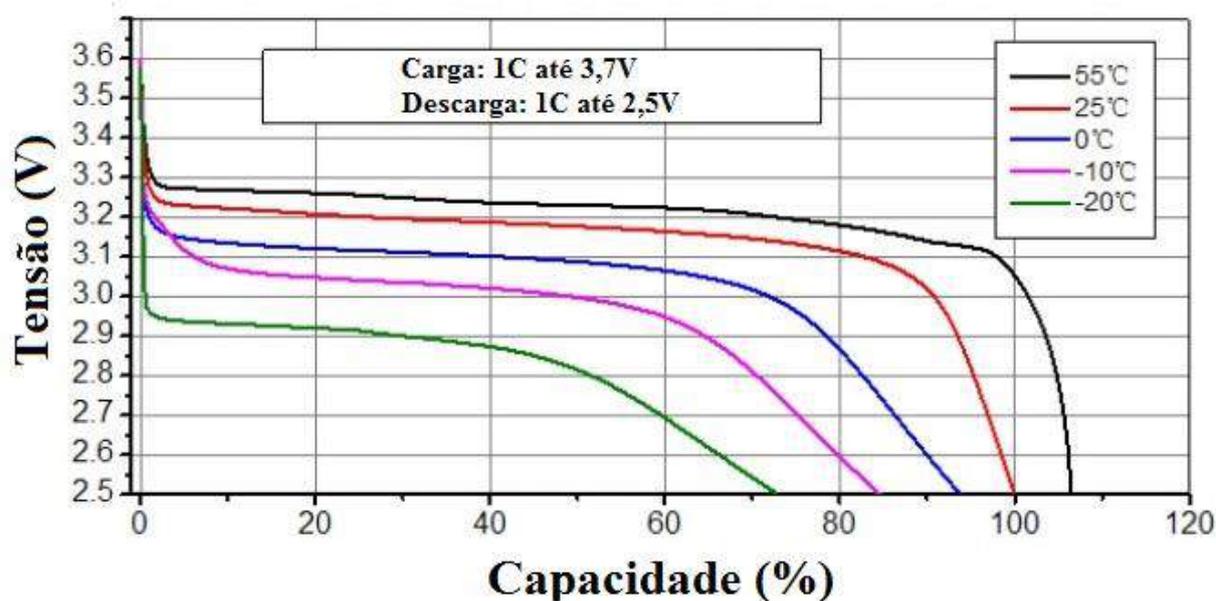


Figura 132 – Curvas de descarga em várias temperaturas para a bateria de lítio ferro

ARMAZENAGEM DAS BATERIAS DE LÍTIO ÍON

A bateria de lítio íon não pode mergulhar abaixo de 2V/célula por qualquer período de tempo. Formações químicas de cobre no interior da bateria podem levar a auto descarga elevada ou mesmo curto circuito. Se recarregadas, as células podem ficar instáveis, causando calor excessivo ou mostrando outras anomalias.

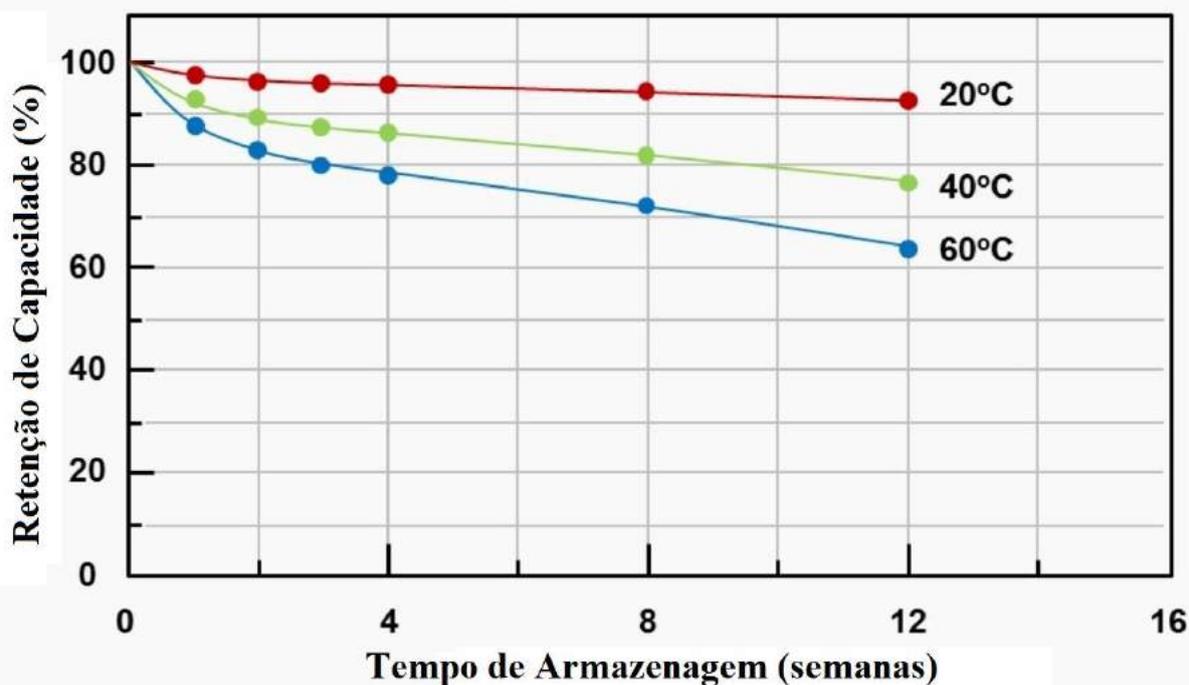


Figura 133 – Perda de capacidade com o tempo de armazenagem

As baterias devem ser armazenadas num nível de carga entre 40 e 50%. Isso evita que a bateria caia abaixo de 2.50V/célula. Com uma carga de 40%, a maior parte das baterias de lítio íon tem uma tensão em aberto de 3,82V/célula medida à temperatura ambiente.

A figura 133 mostra a perda de capacidade da bateria lítio íon em função do tempo de armazenagem.

Armazenamento induz duas formas de perdas: auto descarga que pode ser recuperada com a carga antes do uso e perdas não recuperáveis que diminuem a capacidade permanentemente.

A Tabela 27 ilustra as capacidades remanescentes de baterias à base de lítio e níquel após um período de armazenamento a várias temperaturas.

A bateria de lítio íon tem maiores perdas se armazenada totalmente carregada em vez de uma carga de 40%.

As baterias são frequentemente expostas a temperaturas desfavoráveis, e deixar um telefone celular ou câmera no painel de um carro ou no sol quente são exemplos. Notebooks ficam quentes quando em uso e isso aumenta a temperatura da bateria. A temperatura elevada também prejudica as baterias à base de chumbo e níquel.

Se deve descartar uma bateria de lítio íon se mantida abaixo de 2.00V/célula por mais de uma semana. Também descartar se a tensão não se recuperar normalmente após o armazenamento.

Temperatura	Chumbo-ácido	NiCd ou NiMh	Lítio íon (Li-cobalto)	
	Carga 100%	Carga Qualquer	Carga 40%	Carga 100%
0°C	97%	99%	98%	94%
25°C	90%	97%	96%	80%
40°C	62%	95%	85%	65%
60°C	38%	70%	75%	60%
	Após 6 meses	Após 12 meses	Após 12 meses	Após 3 meses

Tabela 27: Capacidade após armazenamento

COMO DESCARTAR BATERIAS DE LÍTIO ÍON

Quando as baterias de lítio eventualmente se desgastam e acabam com sua vida útil, elas geralmente não devem ser jogadas fora com o lixo doméstico normal. As leis relativas à eliminação de baterias de lítio variam em todo o mundo. Em muitos lugares, as baterias de lítio são consideradas resíduos perigosos.

Em alguns locais é permitida a eliminação de pequenas quantidades de baterias de lítio no lixo municipal. Em outros, qualquer quantidade de bateria de lítio deve ser descartada separadamente ou enviada para centros de reciclagem. Ainda outros não têm nenhuma lei em tudo sobre eliminação de baterias de lítio. Em algumas áreas, as baterias de lítio são coletadas para eliminação por incineração sob condições controladas. Isto impede o problema de os aterros ficarem cheios de células de lítio e potencialmente poderem ocorrer incêndios provocados pela energia residual que ainda permanece nas baterias descartadas. Além disso descartar baterias em aterros ou no lixo é um enorme desperdício de um recurso tão valioso.

Mesmo se sua área permite a eliminação de baterias de lítio, a reciclagem é uma opção muito mais sustentável. O lítio é um recurso limitado. A mineração é suja e cara. Através da reciclagem de pilhas de lítio, você está ajudando para salvar este recurso e evitar mais danos ambientais.

A maioria das áreas têm locais de entrega grátis para reciclagem de baterias. Muitas vezes estes estão localizados em escolas, universidades, shoppings, correios e outros lugares públicos. Não custa nada, mas beneficia a todos nós.

Ao enviar as baterias para reciclagem ou apenas colocando-as no lixo doméstico, sempre se deve primeiro preparar as células. Baterias de lítio devem ser descarregadas completamente.

Os terminais das células também devem ser envoltos em plástico ou cobertos com fita para evitar um curto circuito.

As baterias de lítio íon são relativamente seguras para o meio ambiente, embora seja importante exercer cautela e cuidado quando se recicla uma bateria dessa natureza. O conteúdo destas baterias está sob pressão, tendo assim o potencial de causar acidentes se o usuário não tiver cuidado.

As baterias de lítio íon alimentam vários dispositivos portáteis. Elas trabalham em telefones celulares e notebooks, bem como uma série de outros produtos eletrônicos de consumo.

Elas também são usadas em veículos elétricos. Estas baterias estão rapidamente se tornando cada vez mais utilizadas. Portanto, é crucial que mais pessoas entendam o processo de reciclagem das baterias de lítio íon.



Figura 134 – Descarte de baterias de lítio íon

Como a maioria das baterias recarregáveis, a vida útil restante, diminui gradualmente com cada descarga e recarga. Muitas baterias de lítio íon sustentam até 500 ciclos de descarga e recarga, mas todas inevitavelmente chegam ao ponto em que não são mais utilizáveis. Isso pode acontecer muito mais rápido se a bateria descarregar completamente. Uma vez que sua bateria de lítio íon está completamente morta, é hora de considerar a substituição e a reciclagem.

Embora as baterias de lítio íon representem uma ameaça significativamente menor do que muitas outras baterias, ainda é importante para reciclá-las. A única maneira real de reciclar essas baterias é levá-las para um centro de reciclagem.

Estes lugares desmontam as baterias de uma maneira que impede completamente qualquer dano ao meio ambiente. Uma vez desmontados, as peças e materiais individuais são então reciclados e remontados em novos materiais.

ENVELHECIMENTO DAS BATERIAS DE LÍTIO-ÍON

As baterias de lítio íon são comercializadas desde 1991, inicialmente relacionadas a dispositivos móveis, como telefones celulares e laptops. O interesse nessa tecnologia aumentou consideravelmente e gerou muitas pesquisas para melhorar o desempenho dessas baterias.

Recentemente, as baterias de lítio íon penetraram no mercado de veículos híbridos e elétricos, graças à alta densidade de energia e o baixo peso das baterias de lítio, tornando-as as candidatas mais promissoras para este campo de aplicações.

Diferentes organizações estimam que veículos elétricos (VE) representarão num futuro próximo boa parte do total de automóveis de passageiros no mundo, com presença em todas as principais regiões do mundo.

A suposta evolução das vendas de veículos elétricos é altamente sensível ao desenvolvimento da bateria. Considerando a evolução dos preços, prevê-se que o custo da bateria diminua com o tempo, o que induzirá custos de VE mais interessantes.

Essa evolução do mercado faz prever os próximos passos no desenvolvimento das baterias: aumento da capacidade máxima, vida útil da bateria equivalente à vida útil do carro, redução de custos para que o custo do VE seja igual à de um automóvel à combustão, operando em todos os climas.

Os usos preliminares dessa tecnologia de bateria tinham uma vida útil baixa. Com as novas aplicações, os interesses agora estão focados no fenômeno do envelhecimento, considerando as necessidades dos fabricantes de automóveis elétricos.

Em termos de projeto da bateria, alguns objetivos são claramente definidos para a vida útil entre 10 e 15 anos ou entre 20.000 e 30.000 ciclos de carga e descarga.

E neste contexto, os fenômenos de envelhecimento da bateria se tornam cada vez mais importantes. O crescimento da resistência interna da bateria e a diminuição da sua capacidade são as principais consequências do envelhecimento.

Para poder aumentar a vida útil das baterias de lítio é necessário compreender os mecanismos de envelhecimento.

Esses mecanismos não são de fácil compreensão já que fatores ambientais bem como o modo como se utilizam as baterias tem influência direta sobre o envelhecimento.

O envelhecimento ocorre inicialmente na composição química do eletrólito da bateria.

Os mecanismos de degradação do eletrodo positivo e negativo são diferentes.

A origem dos mecanismos de envelhecimento pode ser química ou mecânica e depende fortemente da composição dos eletrodos.

O envelhecimento provoca ao longo do tempo a degradação do eletrodo, o que pode induzir a perda de material ativo pela dissolução do material no eletrólito. Assim, os principais fenômenos advêm da degradação dos eletrodos.

O envelhecimento da bateria, ou sua perda de capacidade se dá por:

- **Idade da bateria**
- **Número de ciclos de carga e descarga efetuados**

ENVELHECIMENTO PELA IDADE DA BATERIA

Quanto mais ciclos de carga e descarga a bateria executa mais ela perde sua capacidade. Quanto mais idosa é a bateria, mesmo não sendo usada, mais ela perde sua capacidade.

O envelhecimento por causa da idade é a proporção irreversível da capacidade perdida durante a vida da bateria, independentemente de estar sendo usada ou não. Em outros termos, é a degradação causada pelo armazenamento da bateria. A taxa de descarga automática varia muito de acordo com as condições de armazenamento. Portanto, os efeitos que ocorrem dentro da bateria podem ser acelerados ou retardados, dependendo das condições de armazenamento.

Numerosos estudos experimentais mostraram o impacto das condições de armazenamento nesse envelhecimento.

As principais variáveis que aceleram ou retardam o envelhecimento pela idade são:

- **Temperatura**
- **Estado de carga**

Quando a temperatura é alta, reações secundárias, como a corrosão, são facilitadas e a perda de lítio é mais importante do que em condições de temperatura moderada, o que induz a diminuição da capacidade da bateria. Baixas temperaturas permitem limitar o desenvolvimento desses fenômenos, mas essas condições geram alguns problemas devido às alterações na química da bateria.

A outra variável principal dos estudos de envelhecimento pela idade da bateria é o nível de carga da bateria durante o armazenamento. Assim, para uma temperatura igual, mas para um estado de carga diferente, as células não envelhecem da mesma maneira. Ocorre uma degradação maior da bateria para um estado de carga mais elevado.

Por definição, o estado de carga representa a proporção de íons presente nos eletrodos, o que implica, para um estado de carga elevado, um enorme desequilíbrio potencial na interface eletrodo / eletrólito. Isso promove reações químicas que aceleram a degradação da bateria. A temperatura e o estado de carga afetam diretamente o envelhecimento da bateria por idade. Além disso, a perda de capacidade e o aumento da resistência interna da bateria não são lineares com o tempo o que implica uma forte interação do comportamento do envelhecimento com o tempo.

ENVELHECIMENTO PELO NÚMERO DE CICLOS DE CARGA E DESCARGA

O envelhecimento da bateria pelo número de ciclos ocorre quando a bateria está sendo carregada ou descarregada. O envelhecimento é uma consequência direta do modo de utilização, das condições de temperatura e das solicitações da bateria. Consequentemente, muitos fatores estão envolvidos nesse tipo de envelhecimento.

Em primeiro lugar, todos os fatores descritos anteriormente que afetam o envelhecimento da bateria pela idade também são incluídos nos estudos sobre o envelhecimento devido ao número de ciclos.

Na maioria dos casos, uma bateria em uso é propensa a efeitos exotérmicos e essas reações podem ser facilitadas em altas temperaturas e provocar o envelhecimento da bateria.

Outra variável que afeta o envelhecimento da bateria de lítio íon é a tensão de carga/descarga durante sua vida útil. Assim, a alta tensão de carga implica no fenômeno do envelhecimento acelerado. Estudos mostram que a duração de uma bateria foi reduzida pela metade para um aumento de 0,1V acima da tensão máxima de carga.

A tensão final de descarga também influencia o envelhecimento da bateria através do aumento da impedância. Finalmente, picos de corrente também parecem estar envolvidos no fenômeno do envelhecimento.

COMO PROLONGAR A VIDA DAS BATERIAS DE LÍTIO-ÍON

Os fabricantes de baterias especificam usualmente uma vida útil entre 300 e 500 ciclos de carga e descarga.

Porém esses números não são muito confiáveis já que o número de ciclos que a bateria irá fornecer, depende:

- **Do valor da corrente de carga da bateria;**
- **Do valor da corrente de descarga da bateria;**
- **Da temperatura em que essa bateria é utilizada e armazenada.**
- **Da tensão de carga da bateria**
- **Do estado de carga em que a bateria é armazenada.**

Muitas baterias podem durar muito mais do que 300 ou 500 ciclos desde que usadas em condições ideais de corrente, tensão e temperatura.

A tabela 28 ilustra a perda de capacidade de baterias de lítio íon em função do número de ciclos. Nessa tabela nota-se que a capacidade da bateria após 250 ciclos fica em 75% da capacidade nominal.

Ciclos	Capacidade (%)
1	95
50	92
100	88
150	84
200	80
250	75

Tabela 28: Perda de Capacidade x Número de Ciclos

Nota-se também que a capacidade inicial não é 100%. Normalmente quando a bateria chega às mãos do usuário ela já tem algum tempo de vida e ao sair da fábrica ela já é submetida aos efeitos da temperatura ambiente o que provoca uma auto descarga, mesmo sem uso, o que diminui a capacidade da bateria.

Da mesma maneira que um automóvel dura menos quando usado em velocidade excessiva ou com excesso de peso, a corrente de descarga de uma bateria determina o quanto a bateria vai durar. Quanto menor a corrente de carga/descarga da bateria, mais ela vai durar.

Se possível deve-se evitar descarregar completamente a bateria. Numa bateria de lítio íon não há problema em descarregá-la parcialmente. Não há efeito memória e a bateria não precisa de descargas completas periódicas para prolongar sua vida.

A tabela 29 mostra o número de cargas e descargas que a bateria pode fornecer em função da corrente que é usada na descarga da bateria. Quanto menor a corrente de carga/descarga da bateria, mais ela vai durar. Se possível evite descarregar completamente a bateria.

Corrente de descarga - % da corrente nominal	Nº de ciclos de descarga
100%	300-500
50%	1200-1500
25%	2000-2500
10%	3750-4700

Tabela 29: Número de Ciclos x Corrente de Descarga

A bateria de lítio íon tem o desempenho diminuído quando exposta ao calor ou quando carregada com tensão acima do especificado. Procurar manter a temperatura de uma bateria de lítio íon abaixo de 30°C e carregá-la com uma tensão abaixo de 4,2V por célula irá prolongar a vida útil da bateria.

Expor uma bateria a alta temperatura irá reduzir sua vida útil. A tabela abaixo mostra a perda da capacidade em função da temperatura de armazenagem da bateria. A tabela 30 mostra a capacidade estimada após 3 meses da bateria estocada com 40 e 100 % da carga.

Temperatura	Carga 40%	Carga 100%
0 °C	98%	94%
25 °C	96%	80%
40 °C	85%	65%
60 °C	75%	60%

Tabela 30: Número de Ciclos x Corrente de Descarga

Pelos dados da tabela 30 nota-se que é uma bateria de lítio íon armazenada com apenas 40% da carga, se degrada menos que uma bateria armazenada com 100% da carga. Ao guardar as baterias de lítio íon é preferível deixá-las com carga parcial ao invés de carga total.

As baterias de lítio normalmente são carregadas com 4,2V/célula. Cada redução na tensão de carga da bateria provoca um aumento na vida útil da bateria. A cada 0.1V/célula na redução da tensão de carga de uma bateria de lítio chega a dobrar o número de ciclos.

Por exemplo, uma bateria carregada com 4,2V/célula que dá 500 ciclos, se for carregada com 4,1V dará 1.000 ciclos.

Porém o preço de se reduzir a tensão de carga é que não se consegue carregar a bateria na sua capacidade máxima.

Em termos de longevidade a tensão ideal de carga de uma bateria de lítio seria 3,92V/célula. Valores abaixo desse não são recomendados, pois podem gerar outros problemas na bateria.

A tabela 31 resume o número de ciclos e a capacidade da bateria em função da tensão de carga.

Tensão de Carga	Nº de ciclos de descarga	Capacidade da bateria depois de carregada
4,30 V	150-250	114%
4,20 V	300-500	100%
4,10 V	600-1000	86%
4,00 V	2000	72%
3,92 V	2400	58%

Tabela 31: Número de Ciclos x Tensão de Carga

Telefones celulares, laptops, tablets e câmeras digitais normalmente carregam a bateria de lítio íon com 4.20V / célula. Isso permite que a capacidade máxima da bateria seja atingida.

Algumas outras aplicações onde a longevidade da bateria é muito importante, como em satélites e veículos elétricos, utilizam-se tensões menores de carga para aumentar a vida útil da bateria.

Por razões de segurança não se recomenda carregar uma bateria de lítio com mais de 4,2V/célula. Baterias carregadas com 4,3V fornecem em média apenas 200 ciclos.

O que o usuário pode fazer para prolongar a vida das baterias?

- Armazenar as baterias em local fresco
- Evitar deixar a baterias exposta ao Sol ou dentro do carro fechado sob Sol
- Não usar aparelhos com baterias em locais muito quentes
- Evitar descarregar completamente as baterias
- Manter as entradas de ar do seu aparelho desobstruídas
- Evite os chamados carregadores ultrarrápidos que carregam a bateria em menos de uma hora. Lembre-se que quanto mais lenta a carga, mais a bateria irá durar.
- Recarregar as baterias periodicamente, não deixando que a tensão por célula caia abaixo de 3 V.

Tensões de carga mais baixas prolongam a duração da bateria, porém raramente o usuário tem como reduzir a tensão de carga, já que o carregador fornecido pelo fabricante normalmente não permite este tipo de ajuste.

10. SEGURANÇA DAS BATERIAS DE LÍTIO-ÍON



Figura 135 – Bateria de lítio polímero estufada

VISÃO GERAL SOBRE A SEGURANÇA DAS BATERIAS DE LÍTIO ÍON

A segurança da bateria de lítio-íon despertou grande interesse pelo público nos últimos anos. Esta tecnologia de bateria tem aumentado sua participação no mercado desde os anos 2000. Está associada ao desenvolvimento do mercado de equipamentos sem fio, tais como telefones celulares, computadores portáteis, ferramentas elétricas e veículos elétricos. Na Europa é a tecnologia de bateria preferida para e-bikes e já está sendo utilizada em carros híbridos e veículos elétricos completos.

O número de baterias recarregáveis de lítio íon usadas em aplicações sem fio é bem superior a um bilhão de unidades por ano e espera-se que ele cresça ainda mais. Isso mostra que apesar de terem ocorrido alguns problemas de segurança, a tecnologia das baterias lítio íon é bastante segura.

Para garantir um uso seguro das baterias de lítio íon são necessárias algumas medidas. O primeiro passo da abordagem de gerenciamento de segurança começa com uma análise das funções da bateria e suas interações com o meio ambiente. Isso é chamado de análise de perigo preliminar ou identificação de perigo.

Esta fase, destina-se a cobrir todos os aspectos do ciclo de vida: design e qualificação, fabricação, transporte, uso e fim da vida. Isso resulta em uma lista de perigos potenciais para uma determinada aplicação e o nível de segurança associado. Limitar as consequências do perigo potencial no meio ambiente é um importante caminho: isso tem que ser desenvolvido em coordenação com a aplicação, a fim de estabelecer medidas de proteção eficientes.

Na prática, nenhum "dispositivo único" é capaz de cumprir todas as funções para a proteção da bateria. O gerenciamento de segurança é obtido com uma combinação de escolhas de tecnologia e materiais para aperfeiçoar o desempenho versus a reatividade dos materiais.

Deve-se atuar em três níveis.

- No nível da célula
 1. Utilização de componentes de boa qualidade nos eletrodos e separadores
 2. A célula deve possuir válvula de segurança para aliviar a pressão interna excessiva
 3. A célula deve possuir dispositivo para interromper correntes excessivas

- No nível das placas de circuito impresso embarcadas dentro da bateria (BMS)
 1. Proteção contra corrente de carga excessiva
 2. Proteção contra corrente de descarga excessiva
 3. Proteção contra descarga abaixo do valor mínimo de tensão
 4. Balanceamento das baterias
 5. Proteção contra temperaturas excessivas

- No nível do equipamento que utiliza as baterias
 1. Medida da tensão e corrente da bateria com desligamento da carga em caso de pane
 2. Medida da temperatura com desligamento da carga em caso de pane.
 3. Proteções contra surtos de tensão provenientes da rede elétrica que alimenta o equipamento.

Dependendo do tipo de célula, baterias de lítio íon podem ser surpreendentemente robustas ou incrivelmente frágeis. Células cilíndricas são geralmente bastante fortes devido à sua caixa de metal. Apesar disso, as baterias não deveriam ser deixadas sem uma proteção adequada, como um estojo plástico para evitar curto-circuito. Baterias prismáticas normalmente também são bastante robustas, devendo-se apenas tomar cuidados para evitar curto-circuito.

Porém as células de lítio íon polímero, precisam ser manuseadas com cuidado. Não têm qualquer proteção contra serem cortadas, esmagadas, dobradas ou rasgadas. Elas também geralmente têm seus terminais positivos e negativos do mesmo lado da célula, tornando-se perigosamente fácil de colocá-los em curto-circuito.

Para resumir, as células da bateria de lítio íon são inerentemente perigosas. Elas contêm uma grande quantidade de energia em uma embalagem pequena e são projetadas para fornecer essa energia rapidamente. Mas usando as devidas precauções e princípios de funcionamento seguros, as células são tão seguras quanto possível para nossos usos normais.

De fato, as baterias de Lítio íon contêm vários componentes que podem, em condições específicas, reagir e gerar calor ou chamas.

Os componentes utilizados em uma célula de lítio íon são completamente estáveis até 80°C.

As temperaturas de baterias de lítio íon nunca devem exceder 130°C. Uma temperatura ligeiramente superior a 130°C, faz com que o eletrólito nas células se oxide a uma taxa que cria tanto calor que causa aumento na taxa de oxidação o que por sua vez causa mais aumento de temperatura e a bateria irá queimar até se consumir. Esse fenômeno é conhecido como fuga térmica.

A temperatura na qual a fuga térmica começa varia de uma célula para outra. Células de lítio cobalto podem entrar em fuga térmica em temperaturas como 150°C, enquanto as células NMC geralmente atingem a fuga térmica perto de 180°C. Ambos os produtos químicos podem atingir temperaturas de mais de 500°C no pico da fuga térmica.

O aparecimento de fuga térmica varia muito em baterias de LiFePO₄, mas usualmente começa em torno de 200°C.

O efeito físico sobre as células em grande parte depende do tipo de célula. Células cilíndricas como a 18650 possuem um mecanismo de ventilação sobre o terminal positivo da célula que permite que o gás de escape quando a célula superaquece e se aproxima da fuga térmica.

Algumas células prismáticas têm mecanismos de ventilação. Outras células prismáticas e todas as células tipo cartucho não incluem válvulas de ventilação e não terão nenhuma maneira de liberar o acúmulo de pressão na célula.

Se a pressão interna aumenta, a parede da célula pode romper-se, muitas vezes violentamente, liberando gases altamente inflamáveis, incluindo o gás hidrogênio, metano e etileno.

É raro que uma bateria de lítio íon atinja o ponto de fuga térmica durante a sua utilização normal.

O maior risco de fuga térmica é quando se usa baterias de lítio íon sob grandes cargas que resultam em uma corrente elevada. Se a corrente for maior do que a célula pode manipular, ela começará a aquecer. Se continuar assim por muito tempo, a célula pode alcançar a fuga térmica. Por esta razão, é sempre importante operar a bateria de lítio íon dentro das especificações de projeto das células.

Esta também é a razão pela qual é recomendável proteger as baterias de lítio íon de qualquer fonte de calor.

As principais consequências do vazamento são a emissão de calor e gás que é inflamável. O design das células e das baterias geralmente integram proteções (como ventilações) para liberar gás sem criar um risco de estourar as células ou baterias.

Do mesmo modo, plásticos não inflamáveis são usados para não gerarem mais calor com sua combustão. O gás emitido contém monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO₂) e hidrogênio (H₂), bem como vestígios de fluoreto de hidrogênio (HF).

Dependendo da temperatura de emissão de gás e das condições de contato com o ar, o gás pode auto inflamar no ar, adicionando a energia térmica desse processo de combustão adicional ao vazamento térmico. A ignição e a combustão do gás serão evitadas quando, a temperatura dos gases de escape permanecer abaixo de 350 a 400°C.

Para efeito comparativo, a energia de combustão (KJ/Kg) de uma bateria Lítio íon é 17 vezes menor do que a gasolina. Mesmo sendo muito menos inflamável que a gasolina, ainda assim as baterias de Lítio íon podem provocar riscos.

Esse tipo de informação é útil para conscientização dos riscos associados à utilização das baterias lítio íon.

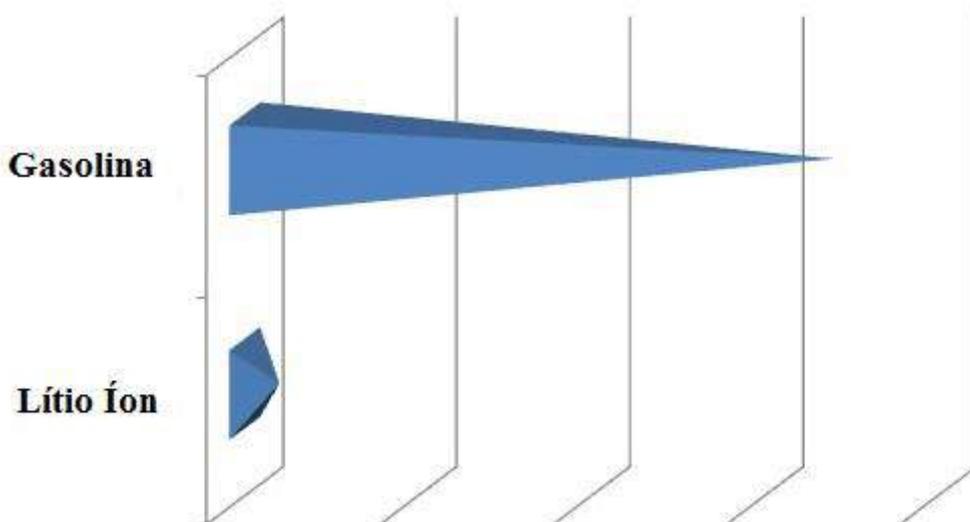


Figura 136 - Comparação da energia de combustão (KJ/Kg)

Os riscos potenciais podem não representar o mesmo risco para o usuário, dependendo da aplicação: por exemplo a emissões de gases podem ser consideradas muito perigosas em áreas confinadas como carros, casas, etc., mas não em espaços abertos remotos como fazendas solares, por exemplo.

DISPOSITIVOS DE PROTEÇÃO INTEGRADOS À CÉLULA

As baterias podem liberar altas energias e os requisitos de segurança para baterias e células à base de níquel e lítio para aplicações portáteis devem estar de acordo com a IEC 62133.

A norma entrou em vigor em 2012 para reduzir o risco global no transporte, armazenamento e operação de baterias.

As baterias que usam lítio íon requerem um circuito de proteção obrigatório para garantir a segurança sob quase todas as circunstâncias.

De acordo com a IEC 62133, a segurança das células ou baterias de lítio íon começa incluindo algumas ou todas as seguintes salvaguardas: PTC, CID, Placa eletrônica PCM e válvula de pressão.

A Figura 137 ilustra a parte superior de uma célula 18650 de lítio íon com recursos de segurança integrados à própria célula.

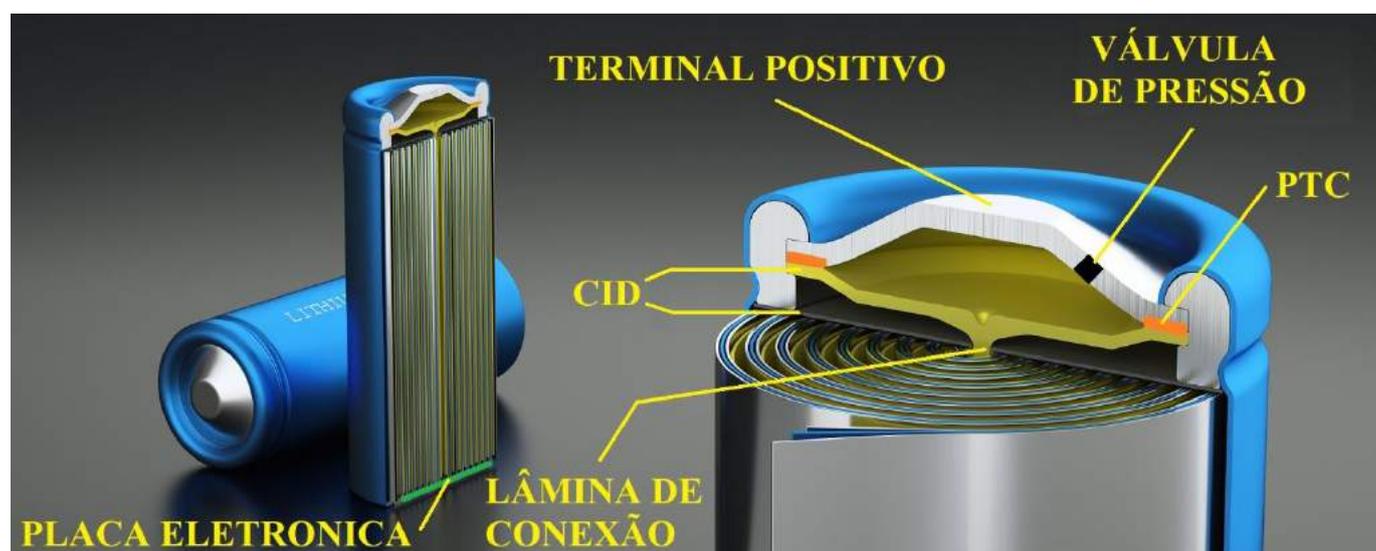


Figura 137 – Topo de uma bateria 18650 de lítio íon

- **PTC (termistor)**

Também chamado de dispositivo termistor reutilizável, ou "polyswitches" são componentes comuns dentro de células comerciais (por exemplo, parte do conjunto de tampa de 18650 células comerciais) ou em packs de baterias nas conexões entre células.

Esses dispositivos incluem uma camada polimérica condutora que se torna muito resistiva acima de alguma temperatura limite.

Os dispositivos PTC são selecionados para permanecerem condutores dentro das condições especificadas de corrente e temperatura.

No entanto, se a corrente de descarga (ou carga) se tornar excessiva, o polímero aquecerá e se tornará altamente resistivo, reduzindo bastante a corrente de (para) a célula.

Uma vez que o dispositivo PTC esfria, ele novamente se torna condutor.

Os dispositivos PTC podem não ser aplicáveis a células de alta corrente (por exemplo, células de ferramentas elétricas) ou baterias compostas por um grande número de células conectadas em paralelo.

- **CID (dispositivo de interrupção de corrente)**

Como a sobrecarga leva à fuga térmica em células de íons de lítio, muitos projetos de célula incluem mecanismos internos para evitar sobrecarga.

Sobrecarga excessiva pode levar à geração significativa de gás dentro de uma célula antes da célula entrar em uma condição de fuga térmica.

Em células com formatos prismáticos, e particularmente em células de lítio polímero que tem invólucros externos bastante finos, a geração de gás dentro da célula resultará em inchaço celular (figura 136) e pode forçar a separação dos eletrodos, reduzindo efetivamente a transferência de íons e interrompendo a corrente.

Esse processo pode impedir a fuga térmica das células, mas nem sempre é eficaz.

A geometria das células cilíndricas impede a separação dos eletrodos se ocorrer a geração de gás. Por essa razão, os projetistas de células desenvolveram dispositivos mecânicos de interrupção de corrente (CIDs) para células cilíndricas.

O dispositivo de interrupção de corrente (CID) é um dispositivo do tipo fusível que corta o circuito elétrico permanentemente quando acionado por pressão excessiva da célula, alta temperatura ou alta tensão, dependendo do projeto. Na Figura 137, o CID opera por pressão.

Quando a pressão interna excede determinado valor (1.000kPa - 150psi), o disco superior quebra, se separa da lâmina de conexão metálica e desconecta a corrente da célula. Isso também permite que o gás seja liberado.

Na ativação, os CIDs desconectam física e irreversivelmente a célula do circuito. Embora os CIDs sejam geralmente descritos como dispositivos de proteção contra sobrecarga, eles serão ativados se algo fizer com que a pressão interna da célula exceda o limite de ativação.

Isso pode incluir sobrecarga, superaquecimento celular, problemas nos componentes químicos da célula, curto-circuito interno leve e / ou descarga excessiva de células.

O projeto e a instalação adequados são necessários para uma operação confiável dos CIDs.

Os CIDs também devem ser específicos para cada química das células, para que as condições de sobrecarga resultem em geração de gás suficiente antes da fuga térmica para ativar o CID.

Se um CID não for específico para uma determinada química de célula, sobrecarga de corrente baixa ou correntes muito altas podem não ativar um CID com antecedência suficiente para evitar a fuga térmica da célula.

Devido ao seu design, os CIDs tradicionais podem não ser aplicáveis a células de taxa C muito alta, como as usadas em ferramentas elétricas, porque o design tradicional do CID não permitirá a transferência de correntes muito altas.

Além disso, os CIDs podem não ser apropriados para aplicação em grandes packs de baterias com muitas células em ligação paralela.

Em packs de baterias de 2 ou 3 células em paralelo, os CIDs geralmente funcionam como esperado e impedem uma falha nas células.

No entanto, é improvável que todos os CIDs em um grande pack de baterias com muitas células ligadas em paralelo sejam ativados simultaneamente; em vez disso, a ativação do CID ocorrerá em cascata, causando a aplicação de altas correntes excessivas nas células nas quais os CIDs não foram ativados.

A rápida aplicação de altas correntes pode levar as células à fuga térmica antes que seus CIDs possam ser ativados.

- **Placa Eletrônica PCM**

Sistemas de gerenciamento de bateria (BMSs), ou como são menos comumente conhecidos, módulos de circuito de proteção (PCMs) ou placas de circuito de proteção (PCB), são circuitos que devem ser adicionados a uma bateria de lítio íon para proteger a saúde das células individuais na bateria e prolongar a sua vida útil. Essas placas eletrônicas podem ser colocadas dentro de cada célula ou colocadas externamente, uma placa para cada pack de baterias. Placas PCM controlam a carga e a descarga das baterias, otimizando sua utilização para aumentar a sua eficiência, segurança e vida útil. A maioria das células encontradas no mercado não possuem placa PCM interna. As placas mais básicas têm pelo menos as seguintes funções:

- **Proteção contra sobre tensão na carga**

Para garantir o uso seguro, as células de lítio-íon devem operar dentro de parâmetros de tensão muito rigorosos.

Dependendo do fabricante e da composição química da célula, esse parâmetro de tensão máxima varia na carga entre 4,2 V por célula e 4,25 V por célula.

A placa PCM monitora esses parâmetros de tensão e se forem excedidos, providencia a desconexão da bateria da carga ou do carregador.

- **Proteção contra subtensão na descarga**

Para garantir o uso seguro, as células de lítio-íon nunca devem ser descarregadas abaixo da sua tensão mínima. Dependendo do fabricante e da composição química da célula, esse parâmetro de tensão mínima varia na descarga entre 3,0 V e 2,5 V por célula.

A placa PCM monitora esses parâmetros de tensão e se forem excedidos, providencia a desconexão da bateria da carga ou do carregador.

- **Proteção contra sobre corrente na descarga**

A placa monitora a corrente de descarga. Se essa corrente excede o valor especificado a placa interrompe o processo de descarga.

- **Proteção contra inversão de polaridade**

Se a polaridade do carregador for invertida, a placa BMS interrompe o processo de carga.

Além dessas especificações mínimas existem placas BMS bem complexas que executam muitas outras funções de proteção:

- **Proteção contra sobre corrente na carga**

A corrente de carga não deve ser muito alta, normalmente abaixo de 0,7C.

- **Válvula de Pressão**

A válvula de segurança libera gases em acúmulo de pressão excessiva a 3.000kPa (450psi). O último dispositivo de segurança é a válvula de pressão que libera gás durante uma anomalia e pode ser selada novamente. No entanto, a pressão de uma célula em desintegração pode ser tão grande que os gases são incapazes de escapar de maneira ordenada e ocorre a emissão de chamas.

Importante: Nem todas as células possuem proteções integradas e a responsabilidade pela segurança, na sua ausência, cabe ao sistema de gerenciamento de bateria (BMS), externo à célula.

DISPOSITIVOS DE PROTEÇÃO EXTERNOS À CÉLULA

Além das salvaguardas internas na célula, um circuito de proteção eletrônico externo impede que qualquer célula exceda 4,30V sob carga. No capítulo 13 descrevemos esses circuitos de proteção em detalhe. Além disso, esse circuito externo de proteção pode cortar a corrente se a temperatura da superfície de qualquer célula se aproximar de 90°C. Para evitar que a bateria se descarregue abaixo da tensão mínima, o circuito de controle corta a corrente em cerca de 2,20V/célula.

No caso de packs de baterias onde várias células são conectadas em série, cada célula precisa de monitoramento de tensão independente. Quanto maior a quantidade de células, mais complexo é o circuito de proteção.

Existem no mercado circuitos de proteção para packs de baterias que vão desde uma única célula até várias dezenas de células ligadas em série. Para aplicações especiais, como o veículo híbrido ou elétrico que entrega várias centenas de volts, circuitos especiais de proteção são necessários. A monitorização de duas ou mais células em paralelo para obter uma corrente mais elevada é menos crítica do que o controle da tensão numa configuração em série.

Os circuitos de proteção só podem proteger contra problemas externos à bateria tais como carregador com defeito, carregador inadequado ou de baixa qualidade, curto-circuito na carga ou carga excessiva.

Se, no entanto, ocorrer um defeito dentro da célula, o circuito de proteção externo tem pouco efeito e não pode deter a reação. Por isso é importante sempre comprar baterias de boa procedência mesmo pagando um pouco mais caro. Separadores reforçados tornam as baterias mais seguras, porém também as torna mais caras.

É também importante usar carregadores confiáveis que controlam com precisão o encerramento da carga da bateria. Carregadores baratos normalmente possuem circuitos eletrônicos simplificados de baixo custo, mas que muitas vezes fazem com que a bateria seja sobrecarregada.

Neste caso coloca-se toda a responsabilidade da segurança em cima dos circuitos de proteção da bateria e da própria bateria.

É preciso que considerar que os circuitos de proteção, são dispositivos eletrônicos que também podem falhar. Quando falamos em segurança, é importante lembrar que redundância é fundamental e por isso é necessário o uso de carregadores adequados.

Preços baixos tornam os produtos atraentes, mas os padrões de segurança não são iguais aos dos produtos de marca. Não é um bom negócio economizar dinheiro, comprando baterias de procedência duvidosa.

Deve-se desconfiar de baterias de baixo custo. Nesses casos ou a quantidade de energia da bateria não é aquela indicada em seu rótulo ou então a segurança não é adequada. Em ambos os casos o consumidor acaba sendo lesado.

TIPOS DE FALHAS NAS BATERIAS DE LÍTIO ÍON

O fato de que as baterias podem falhar em raras ocasiões de maneira descontrolada trouxe uma conscientização pública maior para a segurança das baterias, em particular como resultado de alguns recalls muito grandes de produtos de baterias de notebooks e telefones celulares.

As falhas das células de lítio íon podem ocorrer por várias razões, incluindo: projeto inadequado das células (eletroquímico ou mecânico), falhas na fabricação das células, abuso externo de células (térmicas, mecânicas ou elétricas), falhas de projeto ou de fabricação da bateria, projeto ou fabricação de

componentes eletrônicos de proteção deficiente e projeto ou fabricação de carregador ou sistema inadequado. Assim, a confiabilidade e a segurança da bateria de lítio íon depende de vários fatores.

As falhas que ocorrem no campo raramente estão relacionadas ao design da célula, mas são predominantemente o resultado de defeitos de fabricação ou cenários de abuso que resultam no desenvolvimento de falhas internas da célula.

As baterias de íon de lítio podem apresentar dois tipos de falhas:

- Falhas não energéticas
- Falhas energéticas.

FALHAS NÃO ENERGÉTICAS

Os modos típicos de falha não energética, geralmente consideradas falhas benignas incluem perda de capacidade, aumento da impedância interna, ativação de um mecanismo permanente de desativação, como CID, vazamento de eletrólito e subsequente ressecamento celular e inchaço celular.

Alguns desses modos de falha não energética são comumente associados aos mecanismos de envelhecimento celular

- **Perda de Capacidade e aumento na resistência interna**

O modo ideal de falha da bateria de lítio íon é a perda lenta de capacidade e o aumento da impedância interna causada pelo envelhecimento normal das células. Se uma célula exibir esse modo de falha, a capacidade diminuirá e a impedância aumentará até o ponto em que a bateria não puder mais atender aos requisitos de energia do dispositivo e deverá ser substituída. A maior parte das baterias de lítio íon no campo sofre esse tipo de falha.

- **Vazamento de Eletrólitos**

Outra questão importante relativa à segurança das baterias é o vazamento. Baterias armazenadas por longo tempo, de baixa qualidade ou usadas em condições inadequadas podem vazar substâncias químicas perigosas.

O vazamento de eletrólitos pode ocorrer como resultado de danos mecânicos às células ou devido à corrosão interna das células.

O derramamento provoca riscos ligados às propriedades corrosivas e inflamáveis do eletrólito. A emissão de gás provoca risco associado às propriedades inflamáveis de substâncias orgânicas voláteis. Os riscos químicos associados à exposição direta às substâncias contidas na bateria são expostos na ficha de dados de segurança das substâncias.

O vazamento de células de lítio polímero é mais comum do que o vazamento de células que tem invólucros metálicos, como as baterias cilíndricas.

Os selos das células de lítio polímero são mais delicados e falhas nas bolsas dessas células podem resultar em corrosão da bolsa. Nas células pequenas, há muito pouco eletrólito livre: é absorvido principalmente pelo material ativo. É improvável que a punção de uma célula pequena resulte em fuga de mais do que algumas gotas de eletrólito.

No entanto, em alguns modelos de células de grande formato, há uma quantidade apreciável de eletrólito líquido livre dentro do compartimento da célula.

Para essas células, uma punção pode causar um derramamento de material perigoso. O tamanho do derramamento depende do volume de eletrólito contido em uma célula, o tamanho da punção e a taxa de evaporação do solvente do eletrólito.

O vazamento de eletrólitos apresenta dois riscos potenciais à segurança: contato humano com os eletrólitos e com os resíduos de eletrólitos e curto-circuito dos sistemas eletrônicos nas proximidades da bateria.

Um aumento da pressão interna nas células de lítio íon causará inchaço (figura 136). O inchaço pode ser causado por uma variedade de reações químicas não ideais, incluindo: sobrecarga, envelhecimento em temperatura elevada e intrusão de umidade.

O inchaço das células de lítio íon torna menos provável que uma célula entre em fuga térmica, devido ao afastamento dos eletrodos, mas também pode resultar em vazamentos acentuados de substâncias químicas.

O inchaço geralmente resulta em danos aos compartimentos da bateria.

Os projetos de células e baterias geralmente incluem mecanismos para desativar permanentemente as células ou baterias se seu desempenho diminuir significativamente; forçando assim uma falha segura ao invés de uma reação térmica descontrolada.

Mas de qualquer forma baterias superaquecidas ou abauladas são sinais iniciais de mau funcionamento. Em alguns casos pode ocorrer explosão e mesmo fogo, podendo causar danos às pessoas próximas. É preciso cuidado.

Como qualquer sistema de bateria, a tecnologia lítio íon associa riscos elétricos e riscos químicos. Dependendo das condições de estresse ambiental, eles podem eventualmente criar mais ou menos perigo.

- **Desativação da célula**

No nível da célula, os CIDs podem ser ativados por temperaturas elevadas ou pressões elevadas associadas ao aumento da impedância interna e desativar permanentemente a célula.

O envelhecimento anormal de uma célula prismática ou de polímero pode fazer com que a célula inche, separando os eletrodos de modo que a operação continuada se torne impossível.

Em packs de baterias com muitas células conectadas em série, as tensões individuais dos elementos em série são medidas e a carga e a descarga são encerradas com base na tensão do elemento de série mais fraco (menor capacidade, maior impedância). Assim, um único elemento em série com idade anormal (por exemplo, um bloco de células que é exposto a temperaturas mais altas que as células vizinhas) causará capacidade reduzida de todo o pack de baterias. Esse comportamento da bateria pode forçar a desativação da bateria. Como alternativa, o projeto do pack de baterias deve incluir uma placa PCM com detecção de desbalanceamento das células.

FUGA TÉRMICA

A fuga térmica da célula refere-se ao auto aquecimento rápido de uma célula derivada da reação química exotérmica do eletrodo positivo altamente oxidante e do eletrodo negativo altamente redutor.

Isso pode ocorrer com baterias de quase qualquer substância química. Em uma reação descontrolada térmica, uma célula libera rapidamente sua energia armazenada. Quanto mais energia uma célula armazena, mais energética será a reação térmica descontrolada. Uma das razões pelas quais as reações térmicas das células de lítio íon podem liberar muita energia é que essas células possuem densidades de energia muito alta em comparação com outras químicas celulares. A outra razão pela qual as reações de fuga térmicas das

células de lítio íon podem ser muito energéticas é porque essas células contêm eletrólito inflamável e, assim, elas não apenas armazenam energia elétrica na forma de energia potencial química, mas também armazenam energia química apreciável (especialmente em comparação com células com eletrólitos à base de água) na forma de materiais combustíveis.

Para o início da fuga térmica da célula (ou ignição de combustível), a taxa de geração de calor deve exceder a taxa de perda de calor. Como discutido acima, o auto aquecimento dos ânodos grafíticos das baterias de lítio íon na presença de eletrólito inicia-se a temperaturas na faixa de 70 a 90°C.

Assim, se uma célula é levada a essa temperatura inicial em um ambiente adiabático, ela eventualmente se auto aquece até o ponto em que a fuga térmica começa.

Para uma célula 18650 típica, totalmente carregada, levada à sua temperatura de auto aquecimento, a fuga térmica ocorrerá após aproximadamente dois dias se a célula estiver bem isolada. Se a temperatura inicial for mais alta, o tempo para a fuga térmica será menor.

Por exemplo, se uma célula típica de lítio íon for colocada em um forno a mais de 150°C, de modo que ocorra a fusão do separador, ocorrerá um aquecimento adicional devido ao curto-circuito entre os eletrodos e a fuga térmica da célula será iniciada em minutos.

No entanto, se for permitido que o calor escape, o tempo para a fuga térmica pode ser mais longo ou mesmo a célula nunca poderá alcançar a fuga térmica.

Os padrões estabelecidos pela UL exigem que as células totalmente carregadas suportem armazenamento prolongado a 70 ou 75°C por quatro horas ou mais e condições de curta exposição durante dez minutos a 130°C. Os padrões IEEE requerem armazenamento a 130°C por uma hora.

A gravidade de uma fuga térmica em uma célula de lítio íon dependerá de vários fatores, incluindo o estado de carga, a temperatura ambiente, o projeto eletroquímico da célula e as características mecânicas da célula tais como o tamanho, o volume de eletrólitos, etc.

Para qualquer célula, a reação de fuga térmica será mais grave quando essa célula estiver completamente carregada. Se uma célula típica de lítio totalmente carregada (ou sobrecarregada) sofre uma reação descontrolada térmica, várias coisas ocorrem.

- **Aumento na temperatura interna da célula**

Para células totalmente carregadas, essas temperaturas podem atingir mais de 600°C. Para baterias de LiFePO₄ as temperaturas das células são geralmente mais baixas. O aumento da temperatura é impulsionado por reações dos eletrodos com eletrólito e liberação de energia armazenada.

Alguns materiais catódicos se decompõem e podem alterar sua estrutura cristalina. Essa alteração estrutural pode resultar na liberação de pequenas quantidades de oxigênio que podem participar de reações internas à célula como por exemplo, oxidação do coletor de corrente de alumínio.

Esse fato levou a um equívoco de que as células de lítio íon queimam vigorosamente porque produzem seu próprio oxigênio. Esta ideia está incorreta. Nenhuma quantidade significativa de oxigênio é encontrada nos gases de ventilação da célula.

Qualquer produção interna de oxigênio afetará a reatividade interna da célula, a temperatura interna da célula e a temperatura do invólucro da célula, mas não desempenha nenhum papel mensurável na inflamabilidade dos gases de ventilação.

O aumento da temperatura interna resulta na fusão e decomposição do separador e, geralmente, no coletor de corrente de alumínio, que ocorre a 660°C.

O alumínio líquido pode ligar-se a qualquer cobre exposto dentro da célula. Algumas ligas de cobre e alumínio têm pontos de fusão tão baixos quanto 548°C; portanto, é provável que ocorram danos aos coletores internos de corrente de cobre.

As temperaturas produzidas pelas reações de fuga térmicas das células são consideradas suficientes para causar a ignição na superfície quente de misturas inflamáveis, mas não atingem níveis que causem o derretimento de cobre puro (1.080°C), níquel ou aço.

- **Aumento na pressão interna da célula**

Isso ocorre porque o eletrólito aquecido vaporiza e se decompõe, e alguns materiais catódicos também podem se decompor, liberando gás.

Em uma bolsa ou célula prismática, isso resultará em inchaço celular. Para um projeto cilíndrico típico, não ocorrerá um inchamento acentuado.

No entanto, se uma célula cilíndrica tiver sido suficientemente aquecida, geralmente de uma fonte externa, as paredes da caixa podem amolecer o suficiente para permitir o abaulamento da base da célula.

- **Ventilação da célula**

Entende-se por ventilação da célula a liberação de gases decorrentes das reações químicas internas. Em uma célula de lítio polímero que tem invólucro externo (bolsa) bastante frágil se comparado às células cilíndricas, as vedações falham a temperaturas razoavelmente baixas, resultando em ventilação de baixa pressão.

As células ficam estufadas (figura 135) e se a produção interna de gases for acentuada pode haver o rompimento da bolsa, muitas vezes produzindo um som audível.

As baterias de lítio íon cilíndricas normalmente tem uma válvula que permite a ventilação da célula.

As baterias de lítio íon prismáticas podem ter uma válvula de ventilação instalada, usualmente em células de grande tamanho ou podem incorporar pontos fracos no seu invólucro metálico que permitem a ventilação caso necessário.

A ventilação de pequenas células prismáticas é geralmente acompanhada por um estalo alto.

Em pequenas aplicações de célula única, como por exemplo telefones celulares, a ventilação geralmente faz com que a célula seja ejetada do dispositivo.

FALHAS ENERGÉTICAS

Existem várias maneiras de exceder os limites de estabilidade térmica de uma célula de lítio íon e causar uma falha energética, que provoca a fuga térmica na célula.

As falhas energéticas da bateria de lítio íon podem ser induzidas por forças externas, como exposição ao fogo ou danos mecânicos graves.

Ou podem ser o resultado de problemas que envolvem projeto e implementação de circuitos de proteção de carga e descarga, ou podem ser causados por falhas internas nas células que resultam de problemas de fabricação que são bastante raros.

Geralmente, as causas principais das falhas energéticas das células e dos packs de baterias podem ser classificadas em:

1. Abuso térmico;
2. Abuso mecânico;
3. Abuso elétrico;
4. Defeitos de fabricação das células.

ABUSO TÉRMICO

A maneira mais direta de exceder os limites de estabilidade térmica de uma célula de lítio íon é submetê-la ao aquecimento externo.

O calor externo pode ser aplicado à maior parte da célula ou pode ser localizado em um ponto da célula, causando reações locais que se propagam para toda a célula.

Esse tipo de falha é muito raro em dispositivos eletrônicos de consumo, pois exigiria o armazenamento da célula a uma temperatura elevada de 70 a 90°C em um ambiente adiabático, altamente isolado e tempos prolongados para alcançar uma condição de fuga térmica autossustentável.

Embora possível, essas condições raramente são alcançadas com dispositivos eletrônicos de consumo em campo.

Essas condições de falha podem ser mais prováveis em packs de baterias, muito compactos, de grande tamanho, muito densos, onde a alta densidade de células pode impedir a remoção de calor das células no centro do pack de baterias e provocar o auto aquecimento a longo prazo.

A falha nesse modo também pode ocorrer em certos cenários extremos de armazenamento. Alguns exemplos podem incluir baterias de lítio íon armazenadas em prateleiras altas em armazéns não climatizados durante os meses de verão, baterias expostas ao Sol durante muitas horas ou baterias de lítio íon armazenadas muito próximas de fontes de calor tais como aquecedores e fornos.

A exposição aguda de uma célula a altas temperaturas por exemplo, devido ao ataque de chamas, exposição a gases de combustão quentes de um incêndio próximo ou contato com células adjacentes submetidas a reações de fuga térmica induzirá prontamente a fuga térmica nessa célula.

Em packs de baterias, se uma falha interna em uma célula for suficiente para causar fuga térmica nessa célula, a transferência de calor da célula com falha causará fuga térmica nas células vizinhas do pack de baterias.

Assim, a reação de fuga térmica se propaga através do pack de baterias.

Por exemplo, uma falha interna de uma célula em um pack de baterias de um notebook resulta primeiro em fuga térmica da célula com falha e pode subsequentemente causar a propagação de reações térmicas por todo o restante das células do pack de baterias.

Ocasionalmente, se a transferência de calor for limitada entre as células, como por exemplo, quando as células estão bem separadas, a fuga térmica não se propaga. Evitar a propagação da fuga térmica das células tem implicações significativas para a supressão e proteção contra incêndio.

Do ponto de vista da proteção contra incêndio, particularmente em áreas de armazenamento a granel, o isolamento (separação térmica) de baterias de lítio íon umas das outras e de produtos de combustão quente é importante para mitigar e impedir a propagação do fogo após um incidente inicial, como uma única célula em fuga térmica.

ABUSO MECÂNICO

O abuso mecânico de células pode causar um curto-circuito entre os eletrodos da célula, levando ao aquecimento localizado da célula que se propaga para toda a célula e inicia a fuga térmica. O abuso mecânico pode ser grave e resultar em falha imediata, ou pode ser sutil, e criar uma falha na célula que resulta em uma falha interna da célula muito mais tarde ou seja, após a célula ter passado por numerosos ciclos. Existem normas que estabelecem padrões para a tolerância mínima das células a algumas formas de abuso mecânico grave. Esses padrões exigem que as células totalmente carregadas suportem esmagamentos de placas planas e esmagamentos com ponteiras perpendiculares às superfícies dos eletrodos.

Os danos mecânicos nas células de lítio íon, esmagamento ou penetração, podem causar fuga térmica da célula.

Se o invólucro da célula for penetrado por objeto metálico, é provável que ocorra um curto-circuito entre os coletores de corrente. A conexão dos coletores de corrente da célula pelo objeto metálico perfurante, pode provocar um curto circuito de baixa impedância e o aquecimento da célula pode ser muito baixo para resultar em fuga térmica da célula. Mas dependendo do local da perfuração, o aquecimento da célula pode ser elevado provocando a fuga térmica.

No entanto, se ocorrer esmagamento é provável que essa deformação resulte em alta impedância de curto-circuito entre as camadas dos eletrodos e inicie a fuga térmica da célula.

A suscetibilidade das células a danos mecânicos graves é um fator muito importante na segurança durante o transporte e manuseio das células. Danos durante o manuseio podem ocorrer de várias maneiras.

Packs de células ou equipamentos que contenham baterias podem ser submetidos a choques severos, isto é, podem ser derrubados, sofrer esmagamentos ou perfurações, causando danos mecânicos às células.

Por isso as embalagens usadas no transporte das células devem ser bastante robustas.

Por vezes um dano mecânico leve pode se tornar um ponto de degradação do eletrodo ou do separador ao longo de vários ciclos de trabalho da célula de modo que, durante ou após o carregamento da célula, a célula sofre uma reação descontrolada térmica.

A falha por esse modo, como a maioria das falhas internas de curto-circuito da célula, é mais provável que ocorra durante o carregamento da célula ou imediatamente após o carregamento.

As células de lítio polímero, muito utilizadas em aeromodelos e drones devido ao seu peso leve, são as células mais suscetíveis a danos mecânicos pois possuem invólucro externo que pode ser facilmente ser perfurado ou esmagado. Por isso se deve adotar maiores precauções de segurança ao usar esse tipo de células.

As células e as baterias danificadas mecanicamente devem ser descartadas, e não colocadas novamente em serviço.

Na internet existem muitos vídeos e blogs sugerindo a montagem de packs de baterias pelo método “faça você mesmo” (DIY). Se sugere que as conexões entre as células sejam feitas através da soldagem comum, com ferro de solda e estanho.

Esse tipo de soldagem provoca aquecimento elevado da célula, podendo causar danos mecânicos irreversíveis, principalmente nas baterias que possuem válvulas de ventilação. Nunca se deve soldar as células com ferro de solda.

ABUSO ELÉTRICO

Há várias maneiras pelas quais as células de lítio íon podem ser abusadas eletricamente, levando a reações térmicas das células. Alguns desses mecanismos são descritos abaixo.

- **Sobrecarga**

A sobrecarga de uma célula de lítio íon pode causar degradação significativa do ânodo e do cátodo. No ânodo, a sobrecarga pode causar revestimento, em vez de intercalação de lítio. O lítio forma dendritos que podem crescer ao longo do tempo e causar curto-circuito interno. O lítio também interage de forma exotérmica com o eletrólito.

No cátodo, a sobrecarga pode causar a remoção excessiva de lítio das estruturas do material do cátodo, de modo que sua estrutura cristalina se torne instável, resultando em uma reação exotérmica.

As reações no ânodo e no cátodo, bem como o curto-circuito do dendrito de lítio, podem empurrar uma célula para fora de seus limites de estabilidade térmica e resultar em uma reação descontrolada térmica.

Quanto mais grave o grau de sobrecarga, maior a probabilidade de ocorrer fuga térmica. Existem algumas maneiras pelas quais uma sobrecarga pode ocorrer.

O modo de sobrecarga mais óbvio é carregar uma célula com tensão muito alta (sobrecarga de sobre tensão). Por exemplo, carregar uma célula com classificação de 4,2V acima de 5V provavelmente causará uma falha energética imediata.

Carregar a célula com correntes excessivas, mas não com voltagens excessivas, também pode causar uma falha de sobrecarga; nesse caso, as regiões localizadas de alta densidade de corrente dentro de uma célula ficarão sobrecarregadas, enquanto outras regiões dentro da célula permanecerão dentro dos limites de tensão apropriados.

Falhas graves de sobrecarga não são comuns em dispositivos eletrônicos de consumo, pois geralmente contêm mecanismos redundantes de proteção contra sobrecarga.

Ocasionalmente, um defeito de projeto ou fabricação pode causar desvio dos mecanismos de proteção e resultar em falhas graves de sobrecarga. Embora uma sobrecarga severa leve à fuga térmica imediata da célula, uma leve sobrecarga repetida de uma célula pode não causar uma falha por um período prolongado, mas pode resultar em fuga térmica.

- **Curto-circuito externo**

Descarga de alta corrente (ou carregamento) pode causar aquecimento resistivo dentro das células em pontos de alta impedância. Esse aquecimento interno pode fazer com que as células excedam os limites de estabilidade térmica.

Os pontos de alta impedância podem incluir pontos de solda em uma célula ou superfícies do eletrodo. À medida que o tamanho e a capacidade da célula aumentam, também aumenta a probabilidade de aquecimento por impedância interna, levando a fuga térmica.

As células maiores exibem uma transferência de calor mais lenta para o exterior e geralmente têm capacidades mais altas. Assim, eles têm o potencial de converter mais energia elétrica em calor interno.

Os padrões de teste UL fornecem um requisito mínimo para a resistência externa a curto-circuito da célula: descarga através de uma resistência inferior a 0,1 ohm em um ambiente de 55°C.

As regulamentações de remessa internacional e doméstica exigem que as células ou baterias sejam protegidas contra curtos-circuitos. A investigação de várias falhas térmicas ocorridas durante o transporte revelou que embalagens inadequadas, particularmente falhas na prevenção de curtos-circuitos, são uma causa comum desses incidentes.

- **Excesso de descarga**

Simplesmente descarregar demais uma célula de lítio íon para 0V não causará uma reação descontrolada térmica.

No entanto, essa descarga excessiva pode causar danos internos aos eletrodos e coletores de corrente particularmente se essa descarga excessiva se repetir várias vezes podendo levar à fuga térmica.

A maioria dos equipamentos eletrônicos de consumo define limites específicos de tensão de descarga para as baterias de lítio íon, quando a carga elétrica da bateria é desconectada por um interruptor eletrônicos para evitar a descarga excessiva.

Este interruptor é reiniciado após o carregamento. No entanto, esse mecanismo não pode impedir completamente a descarga excessiva. Por exemplo, uma bateria pode ser descarregada no ponto de corte de

baixa tensão e, em seguida, armazenada por um período prolongado de tempo, durante o qual a auto descarga da célula acaba por resultar em descarga excessiva.

A maioria dos circuitos eletrônicos de proteção de packs de baterias permitirá a recarga de células com descarga excessiva, apesar da possibilidade de o eletrodo negativo ser danificado.

Portanto, a descarga excessiva pode causar fugas térmicas das células de lítio íon. Forçar uma célula à inversão de polaridade, carregando-a com tensão de polaridade invertida pode causar fuga térmica.

Os testes UL exigem um requisito mínimo de resistência à descarga excessiva forçada para células usadas em packs multicelulares.

Esses testes foram projetados para simular o mecanismo mais provável de descarga forçada em packs de baterias com várias células ligadas em série.

Essa descarga forçada chegando até a inversão de polaridade pode ocorrer em casos de curto circuito externo ou então com corrente de descarga muito elevada e uma ou mais células tem capacidade menor do que as células vizinhas.

Uma célula de menor capacidade pode ocorrer devido ao envelhecimento do pack de baterias.

Nesse cenário, o fluxo de corrente das células em série de maior capacidade no pack de baterias levará a célula de menor capacidade para a reversão de tensão.

Por isso é importante incluir componentes eletrônicos de proteção que detectem e desativem o carregamento de uma célula danificada. É possível que uma célula possa repetidamente ser forçada a uma descarga excessiva e, finalmente, sofrer uma reação de fuga térmica.

Os testes de células de lítio íon geralmente garantem que as células tenham um desempenho adequado quando novas. No entanto, o envelhecimento celular resultará em degradação inesperada de um componente celular, como um dos eletrodos, o separador ou o eletrólito que pode resultar em falhas térmicas.

DEFEITOS DE FABRICAÇÃO

A S.T.A. trabalha com baterias de lítio íon desde 2010. De acordo com nossa experiência, os eventos relatados nos parágrafos anteriores apesar de serem possíveis são extremamente raros, principalmente para células cilíndricas de boa procedência.

As células de lítio íon comerciais de fabricantes idôneos são submetidas a rigorosos testes de confiabilidade e segurança, incluindo testes mecânicos e elétricos (simulação de abusos).

Além disso as baterias de equipamentos eletrônicos disponíveis no mercado tais como celulares e notebooks, possuem dispositivos de proteção redundantes para evitar sobrecarga da célula e outras condições potencialmente prejudiciais ou inseguras.

Em packs de baterias com muitas células de lítio íon se usam várias proteções, descritas em detalhes nos próximos capítulos deste livro. Os invólucros metálicos externos das células cilíndricas são bastante resistentes à perfurações e esmagamentos. Os packs de baterias devem ser projetados para impedir o abuso mecânico, elétrico e térmico. No entanto, falhas de fuga térmica ainda podem ocorrer e são causadas por falhas internas das células relacionadas a defeitos de fabricação.

Existem inúmeras falhas que podem ocorrer durante a fabricação das células que podem resultar em reações descontroladas térmicas das células. Fundamentalmente, problemas em qualquer etapa do processo de fabricação da célula podem resultar em uma falha interna da célula.

Por exemplo, pode haver defeitos nas matérias-primas das células, defeitos nos revestimentos dos eletrodos, contaminantes introduzidos durante os processos de montagem e componentes extraviados, mal aplicados ou danificados.

Dispositivos de proteção externos não podem proteger contra curtos circuitos repentinos, porém a detecção do desequilíbrio acentuado na tensão das células de um pack de baterias permite desativar as baterias, impedindo danos significativos.

Uma falha interna da célula resulta em um curto-circuito dentro da célula. Se o ponto de curto-circuito for pequeno (um micro curto), o desligamento do separador, ou seja, o bloqueio físico do transporte de íons de lítio em uma região localizada dentro da célula pode isolar a falha e permitir que a célula continue funcionando normalmente.

Se o ponto de curto-circuito libera energia suficiente, ele pode aquecer a célula além dos limites de estabilidade térmica e causar fuga térmica da célula.

Falhas internas relacionadas a defeitos de fabricação geralmente ocorrem muito cedo na vida de uma célula. Esses tipos de falhas podem ocorrer nas linhas de montagem do fabricante nas quais as células estão sendo carregadas ou nas mãos dos consumidores: um usuário compra um dispositivo, conecta-o à carga e, durante essa primeira carga, as células sofrem fuga térmica.

Essas falhas ocorrem inevitavelmente durante ou imediatamente após o carregamento. Existem algumas razões possíveis para esse fenômeno:

- O carregamento da célula causa alterações dimensionais nos componentes celulares, por exemplo expansão de volume e aumento da pressão no interior da célula. Se um contaminante agudo ou rebarba estiver presente dentro de uma célula, alterações dimensionais ou aumentos de pressão podem fazer com que perfure as camadas separadoras e causar curto-circuito direto.

- O carregamento fornece energia elétrica para a célula, elevando seu estado de carga e aumentando as chances de fugas térmicas.

- O carregamento fornece energia para qualquer ponto de curto-circuito dentro de uma célula. Se um ponto de curto-circuito estava presente em uma célula antes do carregamento, isso pode ter causado a descarga automática da célula antes da geração de calor suficiente para induzir a fuga térmica. No entanto, quando conectado a um carregador, um curto pode consumir energia continuamente até que a fuga térmica seja iniciada.

Existem várias técnicas de controle de qualidade de fabricação que são comumente empregadas para detectar defeitos graves. No entanto, defeitos muito sutis podem deixar de ser notados durante a fabricação e permitir anos de ciclo celular aparentemente normal antes que ocorra uma reação térmica descontrolada.

A gravidade de uma falha nas células de lítio íon será fortemente afetada pela energia total armazenada nessa célula: uma combinação de energia química e energia elétrica.

Assim, a gravidade de um evento potencial de fuga térmica pode ser atenuada reduzindo a energia química armazenada.

A redução da energia elétrica pode ser feita usando eletrodos de baixa capacidade ou reduzindo o SOC da célula.

Finalmente, alterar o ambiente de transferência de calor de uma célula e, assim, afetar a remoção de energia também pode influenciar a severidade da fuga térmica.

A química das células de lítio íon pode afetar a gravidade de uma falha da célula. Certos materiais de cátodo permitem densidades de energia mais altas do que outros, e as células produzidas a partir desses materiais de alta densidade de energia estarão sujeitas a reações térmicas mais severas.

As reatividades do material do cátodo são frequentemente examinadas e usadas para comparar a relativa "segurança" do cátodo. Isso pode ser um fator para determinar se uma falha localizada dentro da célula pode causar aquecimento suficiente para levar a célula inteira à fuga térmica.

No entanto, uma vez que uma célula atinge a fuga térmica, a gravidade final da reação é dominada pelo fato de a própria célula atingir temperatura suficiente para inflamar gases de ventilação inflamáveis.

A ignição de superfície quente geralmente requer temperaturas bem acima das temperaturas de autoignição do gás - para hidrocarbonetos, geralmente na faixa de 600 a 1.200°C, dependendo da composição e de vários fatores geométricos das superfícies aquecidas.

Assim, se o material do cátodo tiver densidade de energia suficientemente baixa para garantir que uma célula permaneça abaixo de 600 °C durante a fuga térmica, a gravidade da reação da fuga térmica não será afetada significativamente pela química do cátodo.

A aplicação de aditivos retardadores de chama nos eletrólitos celulares e o desenvolvimento de eletrólitos não inflamáveis continuam sendo áreas de estudo ativas.

Observou-se que a grande maioria das reações descontroladas térmicas que ocorrem no campo ocorrem durante ou logo após o carregamento da célula.

Do ponto de vista energético, é improvável que a fuga térmica da célula ocorra em uma célula com um SOC baixo.

Testes mostram que, para muitas células de lítio, mesmo o esmagamento severo de células abaixo de aproximadamente 50% de SOC não levaria a uma reação grave.

O teste de uma variedade de 18650 células à temperatura ambiente demonstrou que abaixo de 50% de SOC, a célula o curto-circuito causará aquecimento nas temperaturas da caixa da célula até aproximadamente 130°C, seguido pelo resfriamento da célula.

Ao testar um modelo comercial de células de óxido de cobalto, os pesquisadores descobriram o início do auto aquecimento a 80°C para células com 100% SOC e a 130°C para células com 0% SOC.

Testes diretos de curto-circuito¹¹¹ mostraram que a redução do SOC reduz significativamente a temperatura máxima alcançada no ponto de curto-circuito.

Finalmente, o ambiente de transferência de calor de uma célula submetida a uma reação descontrolada térmica pode desempenhar um papel importante na gravidade da reação.

Altas temperaturas ambientes ou isolamento adiabático aumentam a probabilidade de que qualquer falha interna possa levar uma célula a fuga térmica e aumenta a energia disponível para aquecer a célula.

Por outro lado, se uma célula é cercada por meios condutores térmicos (por exemplo, cercados por células densamente compactadas ou refrigerante), a perda de calor pode impedir ou mitigar uma reação descontrolada térmica.

Se as células forem montadas muito próximas e não forem aquecidas o suficiente, a fuga térmica em uma célula poderá se propagar para as células próximas

Vários pesquisadores experimentaram incorporar células em materiais que podem melhorar a transferência de calor para longe das células.

Muitos fabricantes limitam as dimensões da célula para garantir que um curto-circuito externo não cause aquecimento interno suficiente para conduzir uma célula para a fuga térmica.

CICLOS DE VIDA DE CÉLULAS DE LÍTIO ÍON

É importante notar que as células de lítio íon tem um ciclo de vida. O ciclo de vida típico de uma célula de íon de lítio é composto por oito etapas e cada uma dessas etapas apresenta riscos de segurança específicos.

1. Fabricação da célula

As células de lítio íon são testadas após sua fabricação e nestes testes são detectadas possíveis falhas. Se uma célula contiver um defeito de fabricação que não foi detectado antes do ciclo inicial, há uma alta probabilidade de que o defeito se manifeste durante o ciclo inicial como uma falha típica de mortalidade

infantil. O risco decorrente dessas falhas é pequeno; os fabricantes geralmente rejeitam células que exibem capacidades muito baixas e taxas de auto descarga muito altas após o ciclo inicial.

2. Transporte da célula até o fabricante de packs de bateria

Após a fabricação as células são empacotadas para o transporte para as instalações de montagem de packs de bateria. Os maiores riscos nesta etapa são o curto circuito das células ou danos mecânicos como perfuração, esmagamento ou choque mecânico. Para minimizar esses riscos é fundamental uma embalagem adequada.

3. Fabricação do pack de baterias

Quando as células chegam a um montador de packs de baterias, elas podem e devem ser testadas antes da montagem. Esses testes podem ser uma mera medida de tensão de circuito aberto para detectar e rejeitar células com altas taxas de auto descarga, uma indicação de uma anomalia de fabricação ou podem incluir a medida da resistência interna.

Células com resistência interna muito mais elevada ou muito mais baixa que a maioria das células similares do mesmo lote ou mesmo com valores bem fora do especificado, não devem ser usadas em packs de baterias. Após a montagem do pack de baterias deve-se medir a tensão em vazio e pelo menos fazer um teste de descarga com a corrente de pico durante alguns minutos.

4. Transporte do pack de baterias até o fabricante de equipamento

Após a produção, os packs de baterias são embalados para transporte aos fabricantes de equipamentos para integração nos produtos finais. Aqui também nesta etapa são o curto circuito das células ou danos mecânicos como perfuração, esmagamento ou choque mecânico. Para minimizar esses riscos é fundamental uma embalagem adequada para o pack de baterias.

5. O fabricante de equipamento instala a bateria

Os fabricantes de equipamentos geralmente instalam baterias em seus equipamentos ou as embalam com seus equipamentos. Para produtos complexos e de alto valor, como notebooks, os fabricantes de equipamentos geralmente testam cada dispositivo com a bateria instalada para garantir que a carga e a descarga dentro de seus dispositivos funcionem corretamente e que a bateria também esteja funcionando.

6. Transporte do equipamento a um centro de distribuição e ao cliente

É uma boa medida de segurança enviar produtos com baterias de lítio íon 50% SOC ou menos e com uma embalagem projetada para proteger o equipamento bem como as baterias que ele contém.

7. O cliente usa o dispositivo com sua bateria

Esta etapa é uma das mais críticas em termos de segurança por duas razões principais. A primeira delas é o desconhecimento por parte do cliente das medidas de segurança para equipamentos com baterias. Esse risco pode ser minimizado, incluindo junto ao produto um manual onde estejam explicitadas as instruções para operação segura do equipamento.

O segundo risco é o cliente reenviar o equipamento juntamente com a bateria, como por exemplo, um presente, uma devolução do produto ou para reparos e usar uma embalagem inadequada. O uso de embalagens inadequadas pode causar danos mecânicos ou mesmo elétricos à bateria.

Há também o risco aumentado quando o cliente envia o equipamento com a bateria 100% carregada. Existem relatos de incêndios em baterias de lítio íon durante o transporte onde não foram seguidas as medidas de segurança necessárias, normalmente com a utilização de embalagens inadequadas.

Existe um consenso considerável no setor de que a remessa é segura quando os remetentes cumprem as regulamentações existentes para remessas de baterias de lítio íon - especificamente as regulamentações para transporte aéreo.

8. Final da vida útil da bateria e descarte.

Ao enviar as baterias para reciclagem ou apenas colocando-as no lixo doméstico, sempre se deve primeiro preparar as células. Baterias de lítio devem ser descarregadas completamente.

Os terminais das células também devem ser envoltos em plástico ou cobertos com fita para evitar um curto circuito.

O risco de incidentes é aumentado quando o usuário não segue essas recomendações básicas, pois as baterias em fim de vida útil apesar de terem sua capacidade reduzida ainda podem conter energia suficiente para provocar incêndios e explosões, como por exemplo em caso de curto circuito externo.

Apesar de todos os riscos descritos as baterias de lítio íon são bastante seguras, se o projeto for bem feito com a utilização dos vários dispositivos de segurança disponíveis e se a embalagem for adequada.

Os dados que podem ser encontrados no site da FAA (Federal Aviation Administration), Estados Unidos, podem ser usados para estimar uma taxa de falha típica de células de lítio íon no transporte de carga aérea.

Verificando os incidentes documentados pela FAA e considerando que a produção anual de células seja de alguns bilhões de células, parte delas transportadas por via aérea, pode-se estimar uma taxa de falhas da ordem de 1 em 1 bilhão de células transportadas por avião.

Por outro lado, as falhas de campo das células, ou seja, durante o uso pessoal das baterias tendem a ocorrer com mais frequência principalmente quando as baterias estão totalmente carregadas, mas mesmo assim estima-se uma taxa de falha de 1 em 1 milhão de células.

O exame dos dados de incidentes disponíveis sugere que os incidentes de carga aérea são causados por danos mecânicos ou curto-circuito externo das células.

Incidentes com baterias pessoais geralmente são causados por falhas internas da célula, muitos deles provocados por mau uso durante a vida útil da bateria, tais como choques mecânicos decorrentes de quedas, curtos circuitos e exposição da bateria a altas temperaturas (baterias deixadas expostas ao Sol, em painéis de automóveis fechados expostos ao Sol, proximidade de fornos domésticos e aquecedores, etc.)

TRANSPORTE SEGURO DAS BATERIAS DE LÍTIO

Ao enviar qualquer bateria, se deve proteger todos os terminais contra curto-circuito que pode resultar em incêndios.

Proteger os terminais cobrindo-os completamente com material isolante, não condutor (por exemplo, usando fita isolante ou colocando cada bateria isoladamente em um saco plástico), ou embalando cada bateria com embalagem interna totalmente embutida para garantir que os terminais expostos estejam protegidos.

Devem-se embalar as baterias para evitar que elas sejam esmagadas ou danificadas e para evitar que se movam durante o manuseio.

Sempre manter objetos de metal ou outros materiais que possam causar curto-circuito em terminais longe das baterias (por exemplo, usando uma caixa interna separada para as baterias). Para evitar incêndio, qualquer dispositivo que tenha baterias instaladas deve estar desligado durante o transporte. Proteger botões que possam ser ativados acidentalmente. Mesmo os dispositivos muito simples como lanternas ou furadeiras recarregáveis podem gerar uma quantidade perigosa de calor se ativados acidentalmente.



Figura 138 – Exemplo de etiqueta para transporte de baterias de lítio íon

Para baterias devolvidas ou recicladas, nunca se deve usar serviços aéreos para enviar baterias devolvidas ao fabricante por razões de segurança, pois tais remessas são proibidas pela regulamentação (ou seja, Regulamentações de Mercadorias Perigosas da IATA, Disposição Especial A154).

As regulamentações aplicáveis às baterias de lítio são dinâmicas.

Os remetentes de baterias de lítio devem estar a par das mudanças.

Os documentos de resumos do teste UN38.3 devem ser disponibilizados mediante solicitação: “Fabricantes e os subsequentes distribuidores de células ou baterias fabricadas após 30 de junho de 2003 devem disponibilizar o resumo do teste conforme especificado no Manual UN de Testes e Critérios, Parte III, subseção 38.3, parágrafo 38.3.5”.

Todos os remetentes de baterias de lítio, por meio de transporte aéreo têm a responsabilidade de obedecer às exigências da IATA 3.9.2.6.1(g) conforme 1º de janeiro de 2020.

Isto se aplica a todas as remessas de baterias de íon-lítio e lítio metálico sejam sozinhas, dentro de um equipamento, embrulhadas com o equipamento ou alimentando um veículo.

As baterias de lítio são projetadas para fornecer altos níveis de potência, a energia elétrica dessas baterias é expressiva, o que significa que elas podem, às vezes, gerar uma grande quantidade de calor se estiverem em curto-circuito.

Além disso, o conteúdo químico dessas baterias pode se incendiar caso sejam danificadas, ou projetadas/ montadas inadequadamente. Por estes motivos, existem normas de segurança que controlam o transporte desse tipo de bateria. Os remetentes devem estar em conformidade com a norma aplicável publicada pela PHMSA e/ou IATA. Embora todas as baterias de lítio sejam classificadas como artigos perigosos (também referidas como mercadorias perigosas), há exceções para baterias pequenas comuns, cujas regras para embarque aéreo são mais simples.

A regulamentação muda de acordo com o tipo de bateria de lítio (íon-lítio ou lítio metálico) que está sendo enviada e se a bateria está embalada com equipamento ou acoplada em algum equipamento. Atualmente (2020), de acordo com a regulamentação, uma remessa de baterias de lítio íon requererá o serviço de embarque de mercadorias perigosas de acordo com as seguintes perguntas:

- Há alguma bateria de íon-lítio em sua remessa com mais de 100 Wh ou células de íon-lítio com mais de 20 Wh?

- **SIM**

Há exigência de contrato de mercadorias perigosas. É necessário fornecer embalagem com marcações de acordo com a especificação UN, etiqueta de bateria lítio classe 9, documentos ou declaração de remessa de materiais perigosos. Para mais detalhes, consultar a regulamentação da IATA: <http://www.iata.org/>

- **NÃO**

Você está enviando baterias de lítio acopladas a equipamentos ou embaladas com equipamentos?

- **NÃO**

Há exigência de contrato de embarque de mercadorias perigosas. Consultar o regulamento da IATA na Seção IB UN3480 (≤ 10 kg de baterias) ou Seção IA (> 10 kg). <http://www.iata.org/>

- **SIM**

O peso líquido total das baterias de lítio da sua remessa excede 5 kg?

- **SIM**

Há exigência de contrato de embarque de mercadorias perigosas. Consultar o regulamento da IATA para obter mais detalhes sobre os requisitos de embarque da Seção I UN3481. <http://www.iata.org/>

- **NÃO**

A remessa não precisa ser embarcada como mercadoria perigosa regulamentada. Consultar as regulamentações da IATA para obter informações sobre os requisitos da Seção II UN3481. <http://www.iata.org/>

Todos os pacotes de “Baterias de íon-lítio embaladas com equipamentos”, exigem a marcação de manuseio de bateria de lítio UN3481.

Também marcar o pacote “P.I. 966-II.”

Para as “Baterias de lítio íon contidas em equipamentos, apresentar marcação de manuseio da bateria de lítio UN3481 em qualquer pacote individual que contenha mais de 4 células ou mais de 2 baterias.

Além disso, marcar qualquer um desses pacotes com “P.I. 967-II.”

Se não houver mais do que quatro células ou duas baterias e não mais do que dois pacotes na remessa, não são necessárias marcações ou etiquetas.

As embalagens para todas as remessas de baterias de lítio “embaladas com o equipamento” devem resistir a teste de queda de 1,2 metro e todas as baterias devem ser embaladas de forma a eliminar a possibilidade de haver curto-circuito ou ativação.

Não usar envelopes ou embalagens flexíveis.

ARMAZENAGEM SEGURA

Células de lítio íon, packs de baterias e equipamentos que contêm baterias de lítio íon provavelmente serão armazenados em depósitos nas diversas etapas do ciclo de vida, desde a fabricação, produção de packs de baterias e distribuição.

Por exemplo, as células podem ser armazenadas em armazéns de fabricantes de células, em armazéns distribuidores, em armazéns montadores de packs de baterias e em vários locais intermediários, como entrepostos aduaneiros.

As células de lítio íon projetadas e fabricadas adequadamente têm taxas de auto descarga muito baixas; comumente na faixa de 1 a 5% ao mês.

Quando armazenada a 25°C ou menos, e inicialmente a aproximadamente 50% SOC, pode-se esperar que uma célula de lítio íon de alta qualidade experimente um crescimento mínimo da impedância interna e permaneça dentro de uma faixa de tensão aceitável por muitos anos.

O armazenamento a temperaturas elevadas e altas tensões (alto SOC) resulta em degradação acelerada dos componentes celulares, resultando em maior impedância interna.

O armazenamento em baixas tensões (SOC baixo) e/ou baixas temperaturas reduz a magnitude do efeito de redução da vida útil e, portanto, parece indicar que o armazenamento em baixas tensões é preferível para maximizar a vida útil das células.

No entanto, a maioria das células de lítio íon sofre degradação se permanecer em um estado de descarga profunda, com tensão da célula de aproximadamente 1 V: pode ocorrer corrosão dos coletores de corrente de cobre, levando ao rápido crescimento da impedância e, algumas vezes, resultando em fuga térmica da célula ao ser recarregada.

Assim, colocar uma célula descarregada, com aproximadamente 3V em armazenamento, geralmente é desencorajado, pois períodos prolongados de armazenamento podem resultar em descarga excessiva da célula.

Com base nesses fatores, os fabricantes de células de lítio íon determinaram que entregar células com aproximadamente 50% de SOC é ideal para maximizar o desempenho das células após o recebimento pelo cliente; a tensão reduzida da célula reduz os efeitos do envelhecimento com o tempo, enquanto a capacidade restante na célula evita a descarga excessiva da célula por períodos significativos.

Além disso, os consumidores podem encontrar comodidade e satisfação ao receber um dispositivo com algumas funcionalidades prontas para uso, sem a necessidade de carregá-lo totalmente antes do primeiro uso.

Packs de baterias e equipamentos que contêm baterias de lítio íon também podem ser armazenados nos locais de venda. Alguns dos riscos associados aos armazéns são semelhantes aos encontrados durante o transporte. Existe o risco de danos mecânicos devido ao manuseio inadequado, como caixas ou paletes que caem ou são danificados por acidentes com empilhadeiras.

Danos causados por esmagamento ou perfuração nas células ou nas baterias podem levar à liberação de eletrólitos, curto-circuito e possivelmente fuga térmica da célula que pode resultar em incêndio.

Também existe o potencial de aquecimento externo das células devido a um incêndio inicialmente não relacionado às baterias de lítio que, em última análise, resulta em ventilação ou fuga térmica das células.

O armazenamento com SOC reduzido reduz a probabilidade de esmagamento, perfuração ou aquecimento externo levar a fuga térmica da célula e um incêndio gerado por caixas de células aquecidas.

No entanto, se o eletrólito é liberado ou as células são liberadas, os gases liberados apresentam risco potencial de toxicidade e inflamabilidade/explosão.

Se as células não estiverem sendo carregadas enquanto estão armazenadas ou sendo manipuladas, a probabilidade de ocorrência de fuga térmica espontânea das células é muito baixa, principalmente se as células forem armazenadas com SOC reduzido.

No entanto, é provável que o carregamento da bateria ocorra em algumas instalações de armazenamento, particularmente em instalações onde as baterias descarregadas são carregadas em preparação para instalação em veículos.

Como discutido anteriormente, embora as reações de fuga térmica das células sejam raras, no campo, é mais provável que ocorram durante o carregamento ou imediatamente após o carregamento da bateria.

NORMAS DE SEGURANÇA

Para baterias de lítio íon existem entidades dos EUA e suas contrapartes europeias. O Japão tem seus próprios padrões, assim como outras partes do mundo. Os fabricantes de equipamentos geralmente

têm padrões e especificações internas adicionais que eles aplicam para proteger melhor sua marca e seus consumidores. Alguns regulamentos são requisitos obrigatórios, enquanto outros são diretrizes, e alguns não são obrigatórios, mas são essencialmente necessários se a empresa quiser vender seu produto a um varejista ou fabricante de dispositivos que exija a segurança de todos os componentes de dispositivos.

Para células de lítio íon, há três normas que são utilizadas com mais frequência:

- UN 38.3 - Recomendações sobre o transporte de mercadorias perigosas
- IEC 62133 - Requisitos de segurança para células de lítio secundárias seladas portáteis e para baterias feitas a partir delas, para uso em aplicações portáteis
- UL 2054 - Baterias domésticas e comerciais

A seguir, é apresentada uma rápida visão geral de cada um.

- **UN 38.3**

Antes que as células / baterias de lítio possam ser transportadas principalmente por via aérea, elas devem ter passado com êxito em determinados testes. Esses testes simulam condições de transporte como pressão, temperatura, esmagamento, impacto etc. Esses testes são descritos no manual das Nações Unidas ONU chamado "Manual das Nações Unidas de testes e critérios". A Parte III deste manual descreve na subseção 38.3 os 8 módulos de teste que em alguns documentos ou folhas de dados também são chamados de teste T.1 a T.8.

Encontrado nos regulamentos de remessa de mercadorias perigosas de muitos países, esse padrão é relevante para a segurança de transporte de todas as células e baterias de metal de lítio e íon de lítio.

A UN 38.3 é um padrão de auto certificação, mas devido a possíveis problemas de responsabilidade, a maioria das empresas escolhe usar um laboratório de teste de terceiros.

A UN 38.3 apresenta uma combinação de tensões ambientais, mecânicas e elétricas significativas, em sequência:

- T1 - Simulação de altitude (células e baterias primárias e secundárias)
- T2 - Teste Térmico (Pilhas e Pilhas Primárias e Secundárias)
- T3 - Vibração (pilhas e baterias primárias e secundárias)
- T4 - Choque (células e baterias primárias e secundárias)
- T5 - Curto-circuito externo (células e baterias primárias e secundárias)
- T6 - Impacto (Células Primárias e Secundárias)
- T7 - Sobrecarga (baterias secundárias)
- T8 - Descarga Forçada (Células Primárias e Secundárias)

- **IEC 62133**

A Comissão Eletrotécnica Internacional (IEC) A IEC é uma organização de padrões sem fins lucrativos que cria normas internacionais para todas as tecnologias elétricas, eletrônicas e relacionadas. Os padrões IEC atendem às especificações gerais, de segurança e de transporte. Para baterias de lítio íon, o principal padrão é a IEC 62133 (Células e baterias secundárias contendo eletrólitos alcalinos ou outros não-ácidos - Requisitos de segurança para células secundárias seladas portáteis e para baterias fabricadas a partir delas, para uso em aplicações portáteis)

A IEC 62133 é o padrão de fato para conformidade internacional. O padrão inclui quatro testes:

- Estresse da Caixa Moldada
- Curto-circuito externo
- Queda livre
- Sobrecarga de Bateria

- **UL 2054**

Underwriters Laboratories (UL) é uma organização independente de certificação de segurança de produtos que, em conjunto com outras organizações e especialistas do setor, publica padrões de segurança baseados em consenso.

É um padrão que envolve aproximadamente o dobro do número de testes encontrados nos requisitos da ONU ou da IEC:

- 7 testes elétricos
- 4 testes mecânicos
- 4 testes de compartimento de bateria
- 1 teste de exposição ao fogo
- 2 testes ambientais

ORIENTAÇÕES BÁSICAS DE SEGURANÇA

As orientações básicas de segurança para o uso de baterias lítio íon são:

- Ter cuidado ao manusear e testar baterias de lítio íon.
- Não provocar curto-circuito, sobrecarga, esmagamento, queda, mutilação, penetração com objetos estranhos, aplicação de polaridade inversa, exposição a altas temperaturas ou desmontagem de embalagens e células.
- Utilizar apenas células de lítio íon com um circuito de proteção adequado e um carregador aprovado.
- Proteger o equipamento onde a bateria é utilizada contra surtos de tensão vindos através da rede elétrica.
- Interromper o uso da bateria e / ou do carregador se a temperatura da bateria subir mais de 10°C em uma carga regular.
- O eletrólito é altamente inflamável e a ruptura da bateria pode causar lesões físicas.
- Usar um extintor de espuma, CO2 para extinguir um incêndio de uma bateria de lítio íon. Derramar água apenas para evitar que o fogo se espalhe.
- Se o fogo de uma bateria de lítio íon em chamas não puder ser extinto, permitir que a bateria se queime por conta própria de forma controlada e segura.
- Importante: Em caso de ruptura, eletrólito vazando ou qualquer outra causa de exposição ao eletrólito, jogar água imediatamente. Se ocorrer exposição dos olhos, lavá-los por 15 minutos e consultar um médico imediatamente.
- Descartar adequadamente as baterias em fim de vida útil.



Sistemas e Tecnologia Aplicada
www.sta-eletronica.com.br

PARTE 4

PROJETO DE PACKS DE BATERIAS



11. NOÇÕES BÁSICAS SOBRE PACKS DE BATERIAS

Muitas vezes uma única bateria não é capaz de fornecer a tensão ou a corrente necessária. Nesses casos é necessário montar várias baterias em conjunto.

Esses conjuntos de baterias são popularmente conhecidos como “packs de baterias”.



Figura 139 - Pack de baterias com 6 células de lítio íon

Packs de baterias são feitos pela combinação de baterias individuais. Através da combinação de várias células, se obtêm capacidades e tensões diferentes.

A forma como estas células são combinadas determina as especificações finais para cada bateria resultante (pack de bateria).



Figura 140 – Pack de baterias com 40 células de lítio íon para e-bike



Figura 141 – Pack de baterias com 45 pilhas alcalinas

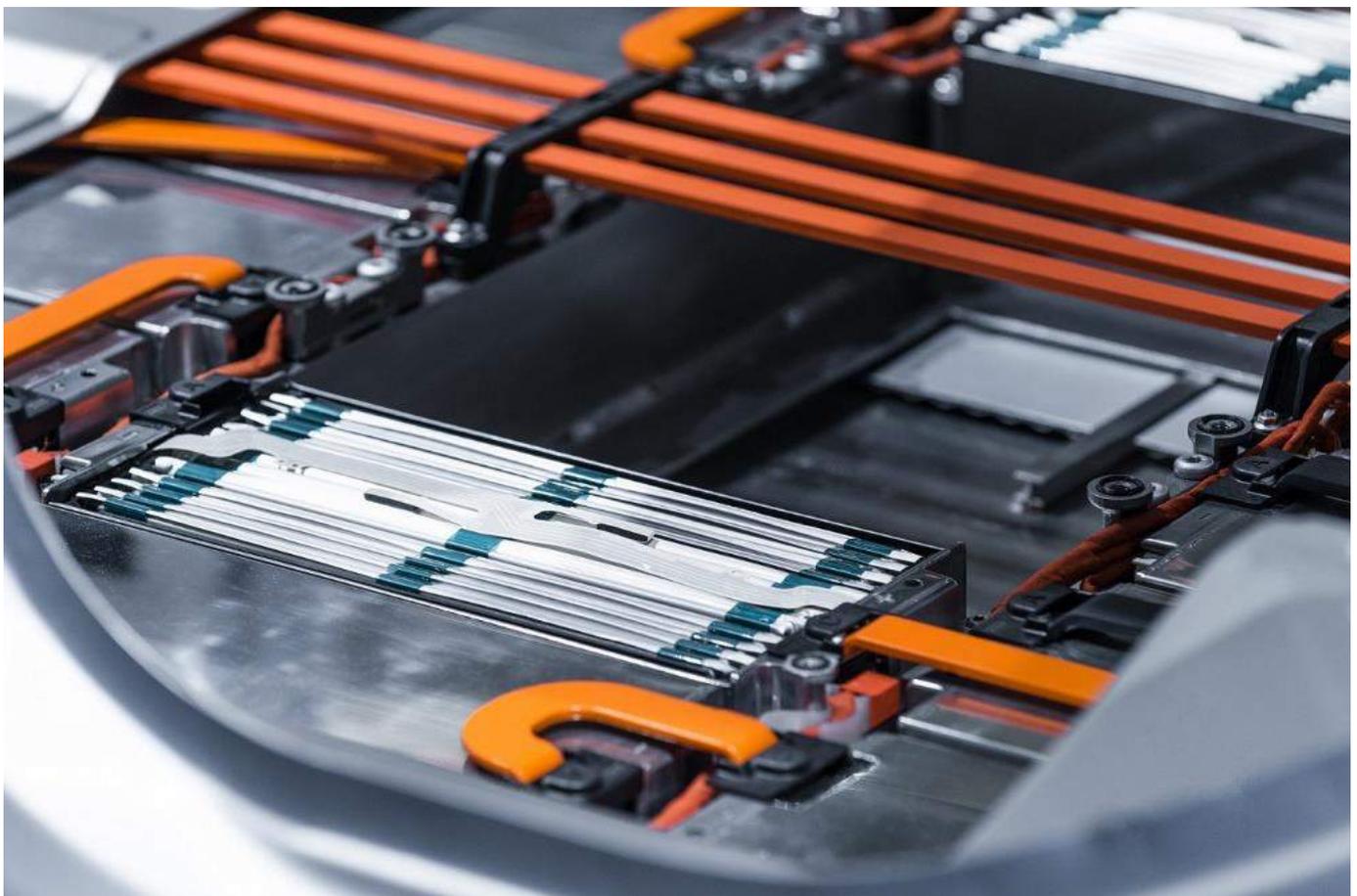


Figura 142 - Pack de baterias com células de lítio polímero para veículos elétricos

MAIOR TENSÃO – LIGAÇÕES EM SÉRIE

Quando a tensão de uma célula não é suficientemente alta para alimentar determinada carga, ligam-se duas ou mais células em série, para obter tensões mais elevadas.



Figura 143 – Pack de baterias de lítio-polímero para modelismo

Em uma conexão em série, o terminal positivo de uma bateria é conectado ao polo negativo de outra bateria e assim sucessivamente. O terminal positivo de uma célula sempre se conecta ao polo negativo da célula seguinte.

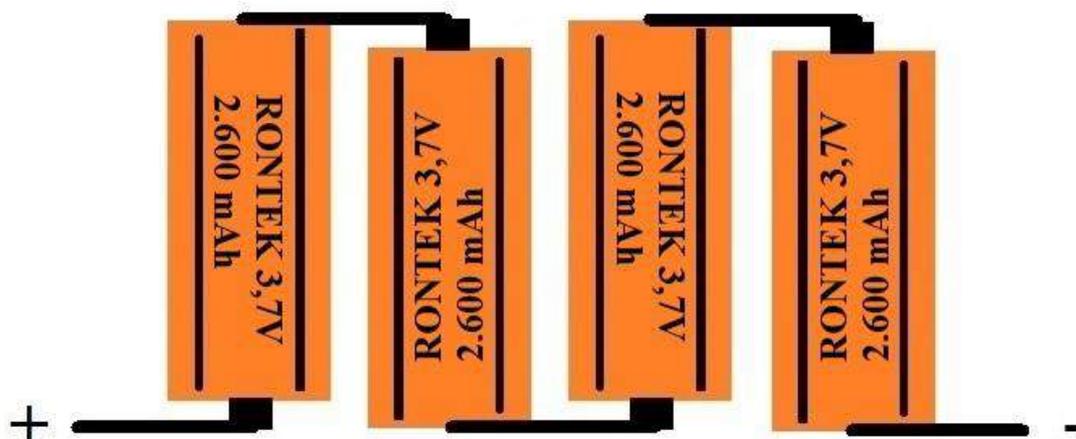


Figura 144 - Ligação em série

Essas conexões em série podem combinar apenas duas células ou centenas de células. O número de células ligadas em série depende da tensão que é necessária.

Para calcular a tensão de um conjunto de células de baterias ligadas em série, basta multiplicar a tensão de uma célula pelo número de células em conexão em série.

**Tensão do pack com baterias em série =
Tensão de uma célula x número de células em
série.**

Numa ligação em série, a capacidade resultante é igual à capacidade individual de cada célula.



Figura 145 - Pack de baterias ligadas em série

**Capacidade do pack com baterias em série =
Capacidade de uma célula**

Numa ligação em série, a corrente que pode ser fornecida pelo pack de baterias é igual à corrente individual que cada célula é capaz de fornecer. Se cada célula é capaz de fornecer uma corrente de 1C, a corrente que o pack de baterias poderá fornecer também será de 1C.

**Corrente do pack com baterias em série =
Corrente de uma célula**

Usando células de lítio íon de 3,7V, se ligamos duas células em série, teremos 7,4V. Se adicionarmos uma célula a mais em série, para um total de três células teremos uma bateria de 11,1V. Com dez células em séries teremos 37 V. Com quinze células em série teremos 55,5 V.

Uma coisa importante a lembrar é que a tensão nominal de uma bateria ou célula é só um valor de tensão na curva de descarga da bateria. Na realidade, durante o processo de descarga, a bateria apresenta vários valores de tensão.

Uma célula de lítio íon de 3,7V nominais, pode ser carregada até 4,2V e descarregada até 2,5V.

Então se montarmos um pack de baterias com 10 células em série teremos uma tensão de 42V quando totalmente carregado e de 25V quando totalmente descarregado.

Se temos um dispositivo que requer pelo menos 30V para operar, então paráramos de descarregar esse pack em 3,0V por célula, mesmo que a bateria ainda tivesse energia suficiente para ser descarregada até 25V.

Isso equivale a não utilizar cerca de 5% da capacidade total do pack. Podemos achar que 5% não é uma grande coisa, mas e se esse dispositivo necessitasse 35V?

Teríamos que parar a descarga quando cada célula chegasse a 3,5V, o que equivaleria a deixar cerca de 40% da capacidade da bateria não utilizada.

É por isso que é importante considerar toda a gama de tensão de uma bateria ao calcular quantas células em série são necessárias para um projeto.

Muitos equipamentos eletrônicos como inversores, motores elétricos e outros dispositivos de corrente contínua são projetados para tensões em incrementos de 12V, como um farol de 12V ou uma bicicleta elétrica de 48V. Este é um resquício de muitos anos, quando as baterias de chumbo-ácido foram usadas para estes tipos de dispositivos de potência.

Baterias de chumbo-ácido usam células que têm uma tensão nominal de 2V. Normalmente se ligam 6 células em série no interior da bateria de forma a se obter 12V.

Essas baterias de 12V são facilmente conectadas em série para criar qualquer outra bateria com incrementos de 12V. O problema que este velho sistema criou para nós é que a maioria das baterias de lítio íon não consegue dar uma tensão de 12V.

A maioria dos eletrônicos, mas não todos, são capazes de lidar com uma pequena gama de tensões acima e abaixo de sua tensão nominal. Por exemplo, um farol de 12V provavelmente funciona relativamente bem com uma tensão de entre 9V e 15V, embora equipamentos mais sensíveis tenham intervalos menores de tensão admissível. Esta gama de tensão nos permite usar uma bateria de lítio íon cuja tensão de 11,1V é próxima aos 12V.

Por exemplo, bicicletas elétricas são geralmente projetadas para baterias de 24V, 36V ou 48V. Novamente, isso ocorre porque a maioria dos componentes para bicicletas elétricas foram originalmente projetados para baterias de chumbo-ácido.

A bateria de lítio íon mais comumente aceita para bicicletas elétricas de 24V, são 7 células em série, que criam uma tensão de 25,9V nominal e que na prática varia de aproximadamente de 21V a 29V durante o uso.

Para bicicletas elétricas de 36V, quase todos os fabricantes usam 10 células de lítio íon em série para criar 37V nominais que varia de aproximadamente 30V a 42V durante o uso.

Quando se trata de bicicletas elétricas de 48V baterias de lítio íon com 13 células em série costuma ser a configuração mais popular para uma bateria de 48V. Isto resulta em uma tensão nominal de 48,1V e uma tensão sob uso de aproximadamente entre 39V e 54V.

No entanto, com a queda de tensão, a bateria realmente passaria a maioria de seu tempo abaixo de 48V, o que resulta em menos energia.

Por esta razão, muitas baterias de 48V para bicicletas elétricas são feitas agora com 14 células em série o que dá uma tensão nominal de 51,8V e tem uma maior gama de tensão variando de aproximadamente 42V a 58,8V.

Estas baterias são muitas vezes especificadas como baterias de 52V em vez de 48V para significar que elas têm de fato uma tensão maior do que as baterias de lítio íon de 48V.

Outras indústrias nem sempre tem esse problema de incremento de 12V e essencialmente podem usar qualquer tensão que projetem para seus dispositivos. Ferramentas que usam baterias são um grande exemplo.

Células de LiFePO₄ se prestam mais facilmente a incrementos de 12V. Com 3,2V nominais por célula, combinando quatro células de LiFePO₄ em série, se criará um pack de baterias de tensão de 12,8V nominais, que está muito perto de 12V.

As células de LiFePO₄ são bastante populares para veículos elétricos originalmente projetados para baterias de chumbo-ácido de 12V.

Um conjunto de 5 baterias à base de níquel ligadas em série, fornece 6V (6,25V com uma tensão nominal de 1,25V por célula) e um conjunto de 6 baterias fornece 7,2V.

A bateria de chumbo-ácido portátil vem em formato de 3 células (6V) e em 6 células (12V).

A família de baterias lítio íon tem 3,6V para um conjunto de 1 célula, 7,2V para um conjunto de 2 células e 10,8V para um conjunto de 3 células. As baterias de 3,6V e 7,2V são comumente usadas em telefones celulares; laptops usam conjuntos de 10,8V.

MAIOR CAPACIDADE – LIGAÇÕES EM PARALELO

Conexões em paralelo são usadas para a obtenção de alta capacidade (Ah) ou alta corrente (A). Frequentemente, uma conexão paralela é a única opção de aumentar a capacidade da bateria. Entre as químicas de baterias, a de lítio íon é a que melhor permite conexão paralela. Conexões paralelas são feitas conectando os terminais positivos entre si e também os terminais negativos.

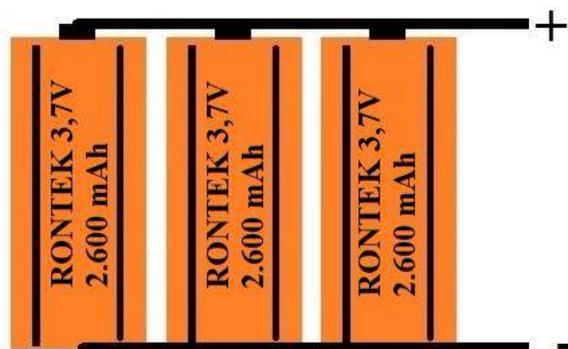


Figura 146 - Ligação em paralelo

Para conectar duas células em paralelos, simplesmente conecta-se o terminal positivo da primeira célula com o terminal positivo da segunda célula e em seguida, conecta-se o terminal negativo da primeira célula para o terminal negativo da segunda célula. Isto essencialmente cria uma célula maior, porque as duas células agora partilham os mesmos terminais e funcionam como células de uma bateria. Na ligação em paralelo a capacidade do conjunto é igual à soma das capacidades de cada bateria.

**Capacidade do pack com baterias em paralelo =
Capacidade de uma célula x número de células em paralelo.**

A corrente do pack com baterias ligadas em paralelo é igual à soma das correntes que cada célula em paralelo é capaz de fornecer.

**Corrente do pack com baterias em paralelo =
Corrente de uma célula x número de células em paralelo.**

A tensão do pack com bateria em paralelo é igual à tensão de uma célula.

**Tensão do pack com baterias em paralelo =
Tensão de uma célula**

Conectando-se em paralelo duas células de 3,7V e capacidade de 3.000 mAh e corrente de 1C ou 3.000 mA, juntando-se os terminais positivos e, em seguida, seus terminais negativos, teremos criado uma bateria de 3,7V, 6.000 mAh e corrente de 6.000 mA.

Adicionando uma célula a mais em paralelo com as duas primeiras, se criará um pack de baterias com 3,7V, capacidade de 9.000 mAh e corrente de 9.000 mA.

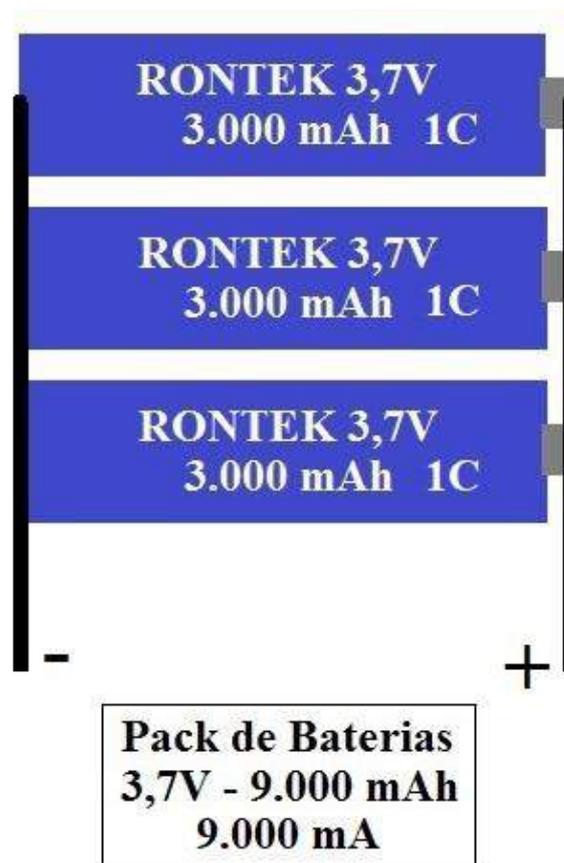


Figura 147 - Pack de baterias ligadas em paralelo

Uma nota importante de segurança: antes de se conectar qualquer célula ou baterias em paralelo, deve-se garantir que elas tenham tensões quase idênticas.

Se as tensões são muito diferentes, isto significa que uma célula está em um estado maior de carga do que o outro.

Quando se conecta células com tensões diferentes, a célula com tensão maior vai descarregar parte de sua energia nas células que estão com tensão menor.

Se a diferença de carga é grande, a célula mais carregada tentará despejar uma grande quantidade de energia de uma só vez dentro da célula de carga inferior.

Este fluxo de corrente alto irá danificar as duas células e pode resultar em células superaquecidas ou até pegando fogo.

Como exemplo, vamos imaginar que vamos ligar duas baterias em paralelo como mostrado na figura 148.

A primeira bateria está totalmente carregada com 4,2V e a segunda bateria está descarregada com 2,2V.

Vamos supor que as duas baterias tenham uma resistência interna de $10 \text{ m}\Omega$ ou $0,01\Omega$ (R1 e R2).

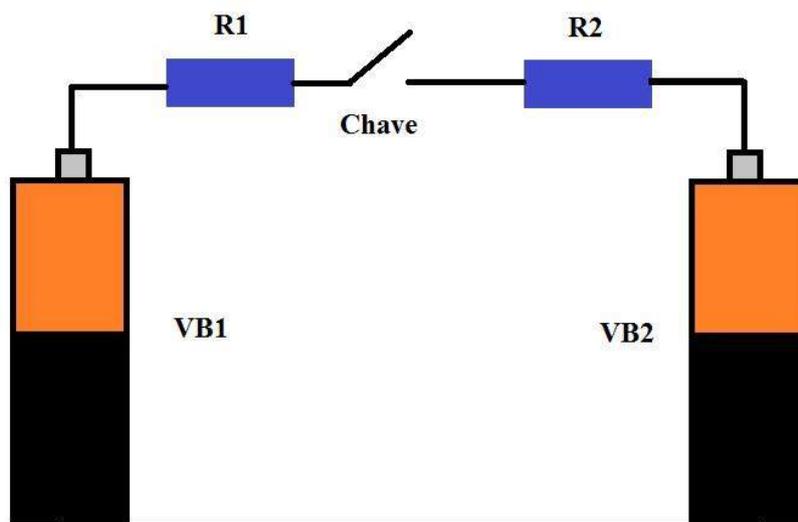


Figura 148 - Ligação paralela

Para calcular a corrente inicial (I) utiliza-se a lei de Ohm:

$$I = (VB1 - VB2) / (R1 + R2)$$

$$I = (4,2 - 2,2) / (0,01 + 0,01) = 100 \text{ A}$$

Essa corrente de 100A irá danificar as duas baterias mesmo que ela dure muito pouco tempo.

Na prática nem sempre a diferença de tensão é tão grande e nem as resistências internas são tão pequenas.

Mas mesmo assim, ao ligar duas baterias em paralelo haverá circulação de corrente até que a tensão entre as baterias seja equalizada.

Para que a corrente inicial seja a mais baixa possível, para que as células não sejam danificadas, certifique-se que as células têm tensões semelhantes ou idênticas antes de conectá-las em paralelo.

SELEÇÃO DE CÉLULAS LIGADAS EM PARALELO

Ao montar packs de baterias com células de lítio íon, é comum conectar várias células em paralelo. Quando as células são conectadas em paralelo e cicladas a uma taxa alta de corrente, a equalização da resistência interna é importante para garantir uma vida útil longa da bateria.

A diferença na resistência interna das células ligadas em paralelo, se torna um problema importante para aplicações em que a bateria está sujeita a altas taxas C, e é necessário ter uma vida útil longa de muitas centenas a dezenas de milhares de ciclos. Exemplos dessas aplicações incluem veículos híbridos e baterias de ferramentas elétricas.

O efeito prejudicial da incompatibilidade de resistência interna entre células conectadas em paralelo surge porque a diferença na resistência interna leva à distribuição desigual de corrente dentro das células e as correntes inesperadamente altas resultantes diminuem a vida útil da bateria.

Supondo que a chave da figura 148 esteja fechada e as duas baterias estejam ligadas em paralelo, a tensão em ambas as baterias será exatamente a mesma, logo após o transitório inicial de corrente.

Se houver um desequilíbrio de 20% na resistência interna das duas baterias haverá também um desequilíbrio nas respectivas correntes quando essas células forem recarregadas ou descarregadas.

Para ilustrar o problema, vamos imaginar um exemplo teórico. Na prática os valores reais podem ser bem diferentes dos que serão mostrados aqui.

Na prática existem outros fatores não considerados aqui, tais como efeito da temperatura no desempenho de cada célula, capacidades diferentes de cada célula, resistências ôhmicas das conexões do pack de baterias e outros fatores, mas mesmo assim, o exemplo teórico é bastante útil para mostrar a questão do desequilíbrio de correntes nas células ligadas em paralelo.

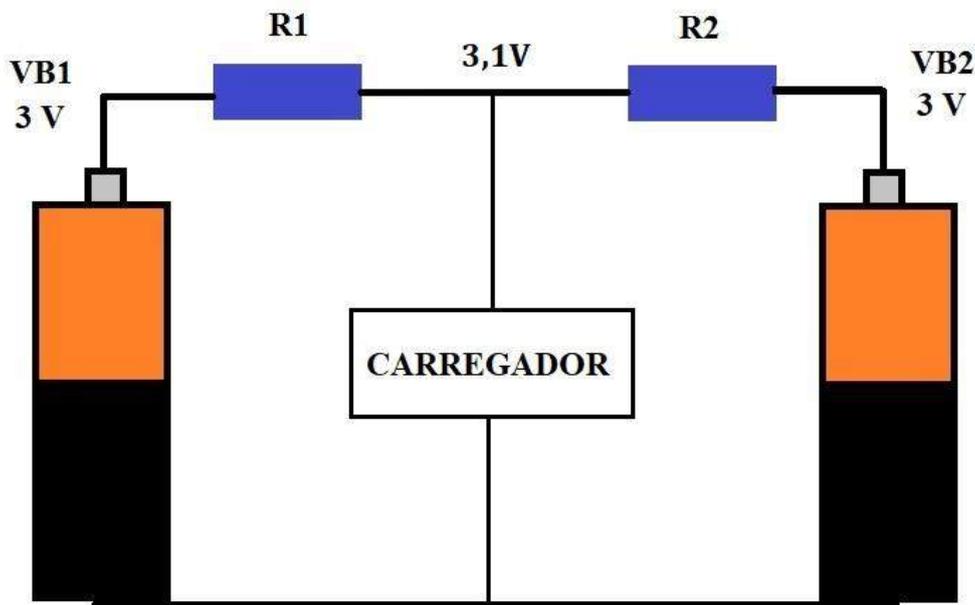


Figura 149 - Ligação paralela na carga

Por exemplo, na figura 149, se $R1 = 10 \text{ m}\Omega$, $R2 = 15 \text{ m}\Omega$ e a tensão inicial no carregador for de $3,1\text{V}$ e a tensão inicial das baterias for de 3V , teremos as seguintes correntes de recarga em cada bateria:

- Corrente na célula 1: $I1 = (3,1-3) / 0,010 = 10 \text{ A}$
- Corrente na célula 2: $I2 = (3,1-3) / 0,015 = 6,66 \text{ A}$

Ou seja, na recarga, o desequilíbrio nas correntes das duas células será de $3,33 \text{ A}$. A distribuição de corrente nas células conectadas em paralelo normalmente não é monitorada em baterias comerciais, a fim de reduzir a complexidade do pack de baterias e o custo da placa BMS.

A diferença na resistência interna em células conectadas em paralelo, também leva a um desequilíbrio ainda maior na corrente no fim do ciclo de descarga. Na figura 150 supondo as baterias em início de descarga, vamos imaginar a seguinte situação:

- Início de descarga:

Célula 1: Resistência Interna $R1 = 10 \text{ m}\Omega$

Célula 2: Resistência Interna $R2 = 15 \text{ m}\Omega$

Corrente de saída do pack de baterias = 50 A

Tensão $VB1 = 4,2\text{V}$

Tensão $VB2 = 4,2\text{V}$

$I1 =$ Corrente na célula 1

I_2 = Corrente na célula 2
 VR_1 = Tensão em R1
 VR_2 = Tensão em R2

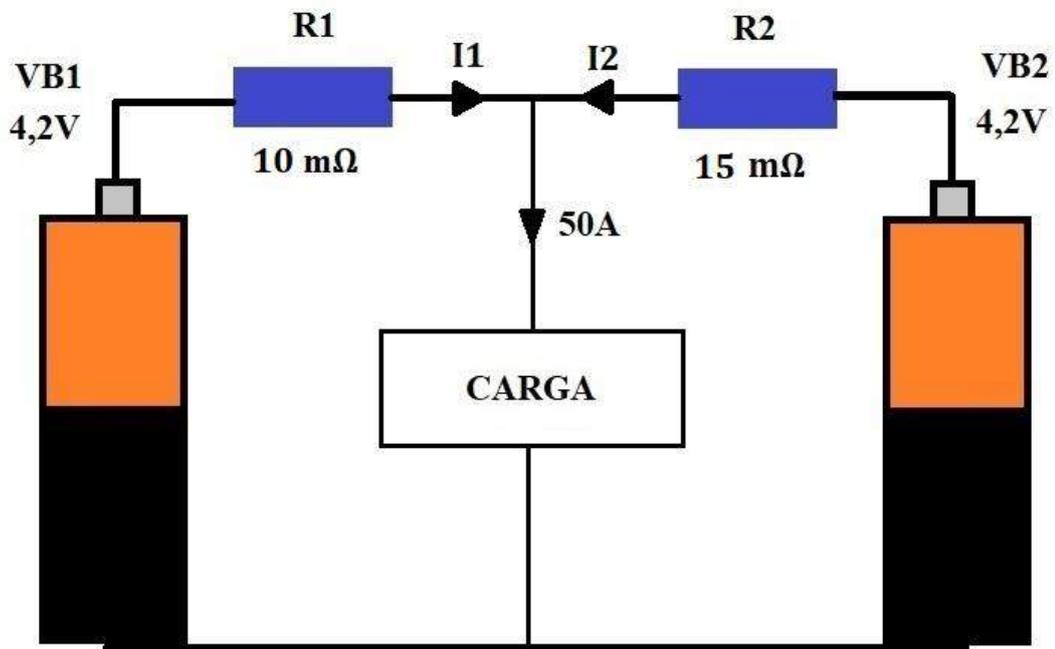


Figura 150 - Ligação paralela no início da descarga

Temos as seguintes equações:

$$I_1 + I_2 = 50 \text{ ou } I_1 = 50 - I_2 \text{ (equação 1)}$$

$$VB_1 - VR_1 = VB_2 - VR_2 \text{ (equação 2)}$$

Pela lei de ohm: $VR_1 = R_1 \times I_1$ e $VR_2 = R_2 \times I_2$

Então podemos reescrever a equação 2 da seguinte forma:

$$VB_1 - R_1 \times I_1 = VB_2 - R_2 \times I_2$$

$$4,2 - 0,010 \times I_1 = 4,2 - 0,015 \times I_2$$

Usando a equação 1 temos:

$$4,2 - 0,010 \times (50 - I_2) = 4,2 - 0,015 \times I_2$$

$$4,2 - 0,5 + 0,010 \times I_2 = 4,2 - 0,015 \times I_2$$

$$3,7 + 0,010 \times I_2 = 4,2 - 0,015 \times I_2$$

$$0,025 \times I_2 = 4,2 - 3,7$$

$$I_2 = 0,5 / 0,025 = 20\text{ A}$$

$$I_1 = 50 - I_2 = 50 - 20 = 30\text{ A}$$

Ou seja, há um desequilíbrio inicial na corrente de $30\text{ A} - 20\text{ A} = 10\text{ A}$ entre as duas células. A tensão na carga V_c pode ser calculada por:

$$V_c = V_{B1} - R_1 \times I_1 = 4,2 - 0,01 \times 30 = 3,90 \text{ V}$$

ou

$$V_c = V_{B2} - R_2 \times I_2 = 4,2 - 0,015 \times 20 = 3,90 \text{ V}$$

A resistência da carga R_c pode ser calculada por:

$$R_c = V_c / I = 3,90 / 50 = 0,078 \Omega$$

- Fim de descarga:

Supondo uma tensão de final de descarga de 3V para ambas as células, então teríamos:

Célula 1: Resistência Interna $R_1 = 10 \text{ m}\Omega$

Célula 2: Resistência Interna $R_2 = 15 \text{ m}\Omega$

Corrente de saída do pack de baterias em fim de descarga = I_c

Tensão na carga = V_c

Tensão $V_{B1} = 3,0\text{V}$

Tensão $V_{B2} = 3,0\text{V}$

I_1 = Corrente na célula 1

I_2 = Corrente na célula 2

V_{R1} = Tensão em R_1

V_{R2} = Tensão em R_2

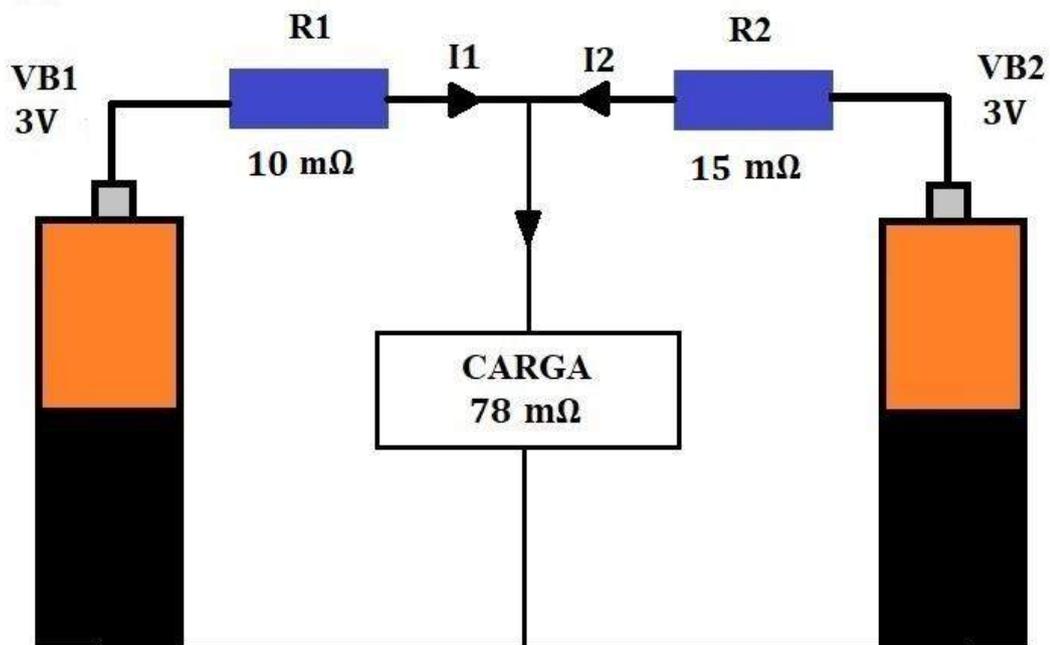


Figura 151 - Ligação paralela no final da descarga

Temos as seguintes equações:

$$V_{B1} - R_1 \times I_1 = (I_1 + I_2) \times R_c \text{ (equação 1)}$$

$$3,0 - 0,010 \times I_1 = (I_1 + I_2) \times 0,078$$

$$3,0 - 0,010 \times I1 = 0,078 \times I1 + 0,078 \times I2$$

$$0,088 \times I1 = 3,0 - 0,078 \times I2$$

$$I1 = (3,0 - 0,078 \times I2) / 0,088$$

$$I1 = 34,09 - 0,886 \times I2$$

$$VB2 - R2 \times I2 = (I1 + I2) \times Rc \text{ (equação 2)}$$

$$3,0 - 0,015 \times I2 = 0,078 \times I1 + 0,078 \times I2$$

$$3,0 - 0,093 \times I2 = 0,078 \times I1$$

Substituindo-se na equação 2 o valor calculado de I1 na equação 1 temos:

$$3,0 - 0,093 \times I2 = 0,078 \times (34,09 - 0,886 \times I2)$$

$$3,0 - 0,093 \times I2 = 2,659 - 0,0692 \times I2$$

$$0,341 = 0,0238 \times I2$$

$$I2 = 14,32 \text{ A}$$

Usando o valor calculado de I2 na equação 1, temos:

$$I1 = 34,09 - 0,886 \times 14,32 = 21,40 \text{ A}$$

A tensão na carga é dada por:

$$Vc = VB1 - R1 \times I1 = 3,0 - 0,010 \times 21,40 = 2,786 \text{ V ou}$$

$$Vc = VB2 - R2 \times I2 = 3,0 - 0,015 \times 14,32 = 2,786 \text{ V ou}$$

$$Vc = (I1 + I2) \times Rc = (21,40 + 14,32) \times 0,078 = 2,786 \text{ V}$$

Ou seja, há um desequilíbrio na corrente de $21,40 \text{ A} - 14,32 \text{ A} = 7,08 \text{ A}$ entre as duas células, no final da descarga. Assim verificamos que na descarga, o desequilíbrio de corrente pode ser ainda maior do que na recarga. Isso leva ao envelhecimento prematuro da célula se ela não foi projetada para lidar com essa corrente alta. Estudos mostram que uma diferença de 20% na resistência interna das células num pack de baterias com duas células cicladas em paralelo pode levar a uma redução de aproximadamente 40% na vida útil quando comparada a duas células conectadas em paralelo com resistência interna muito semelhante. Para packs de baterias com maior número de células em paralelo a diferença nas resistências internas das baterias é ainda mais crítico.

Com mais células em paralelo envelhecendo de maneira diferente, após alguns ciclos, as diferenças nas resistências internas das células será acentuada, gerando ainda mais desequilíbrio de corrente e acelerando ainda mais a perda de capacidade do pack.

Portanto, antes de montar um pack de baterias, é altamente recomendável medir a resistência interna de cada célula e associar em paralelo aquelas células com tensão e resistência interna as mais próximas possíveis entre si.

LIGAÇÕES EM PARALELO E EM SÉRIE

Até agora vimos que conexões série aumentam a tensão de uma bateria, mas não afetam a capacidade, enquanto conexões paralelas aumentam a capacidade da bateria, mas não afetam a tensão.

Então, como aumentar tanto a tensão bem como a capacidade simultaneamente? Simplesmente combinando conexões paralelas e em série.

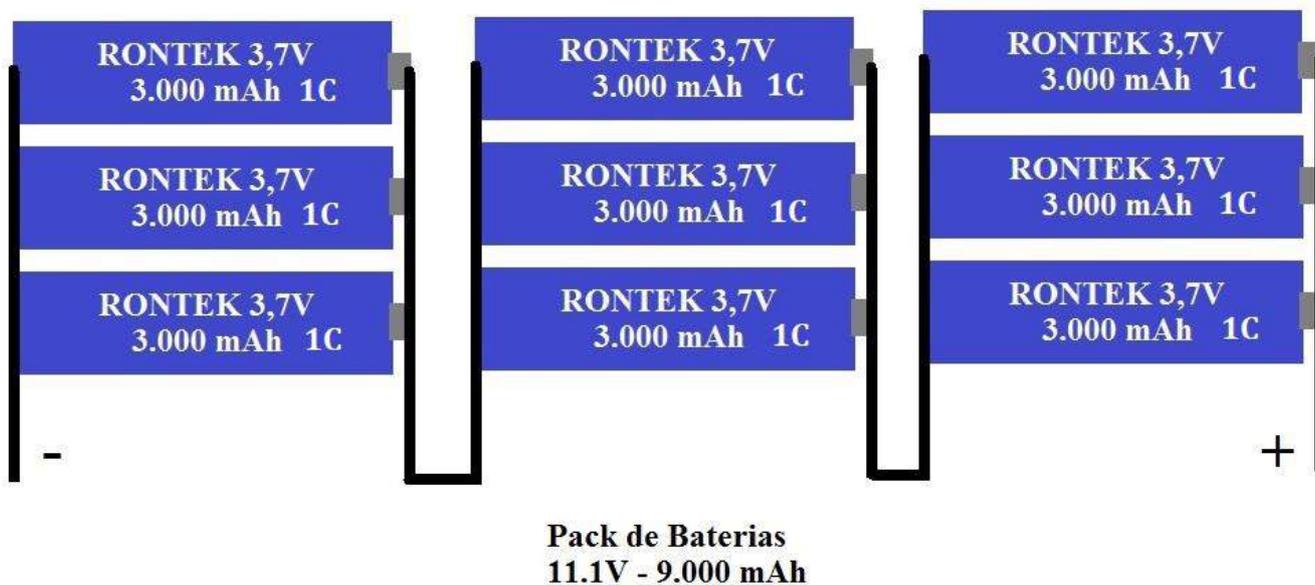


Figura 152 - Baterias ligadas em série e paralelo

No exemplo da figura acima, temos 3 conjuntos de células de 3,7V – 9.000 mAh e 1C (9.000 mA) ligadas em série. Cada conjunto é composto por 3 baterias ligadas em paralelo.

Sendo assim, cada conjunto de 3 baterias ligadas em paralelo, pode ser considerado uma única bateria de 3,7V - 9.000 mAh – 9.000 mA. Ligando-se estes 3 conjuntos em série obtêm-se 11.1V - 9.000 mAh – 9.000 mA.

Para falar sobre a montagem desses packs usamos abreviaturas. A ligação série é indicada por “s” e a ligação em paralelo é indicada por “p”.

A bateria que criamos no exemplo acima poderia ser nomeada como uma bateria 3s3p, pois tem três conjuntos em série, sendo cada conjunto com três células em paralelo.

Se usarmos as mesmas células do exemplo da figura 152 para criar uma bateria 10s4p, teríamos um pack de baterias de 37V 12Ah, que podemos calcular como:

Tensão = 10 células em série x 3.7V por célula = 37V

Capacidade = 4 células em paralelo x 3Ah por célula = 12Ah

Corrente = 4 células em paralelo x 3A por célula = 12A

Um pack de baterias 13s4p, usando células de Lítio íon de 3.7V e 3.0Ah teria as seguintes especificações:

Total de tensão = 13 células em série x 3.7 V por célula = 48,1V

Capacidade total = 4 células em paralelo x 3Ah por célula = 12Ah

Corrente total = 4 células em paralelo x 3Ah por célula = 12 A

Existem duas formas de se ligar baterias em série e paralelo como mostrado na figura 153.

No pack A da figura 153, primeiro liga-se as baterias em paralelo e depois em série. No pack B, primeiro liga-se as baterias em série e depois em paralelo.

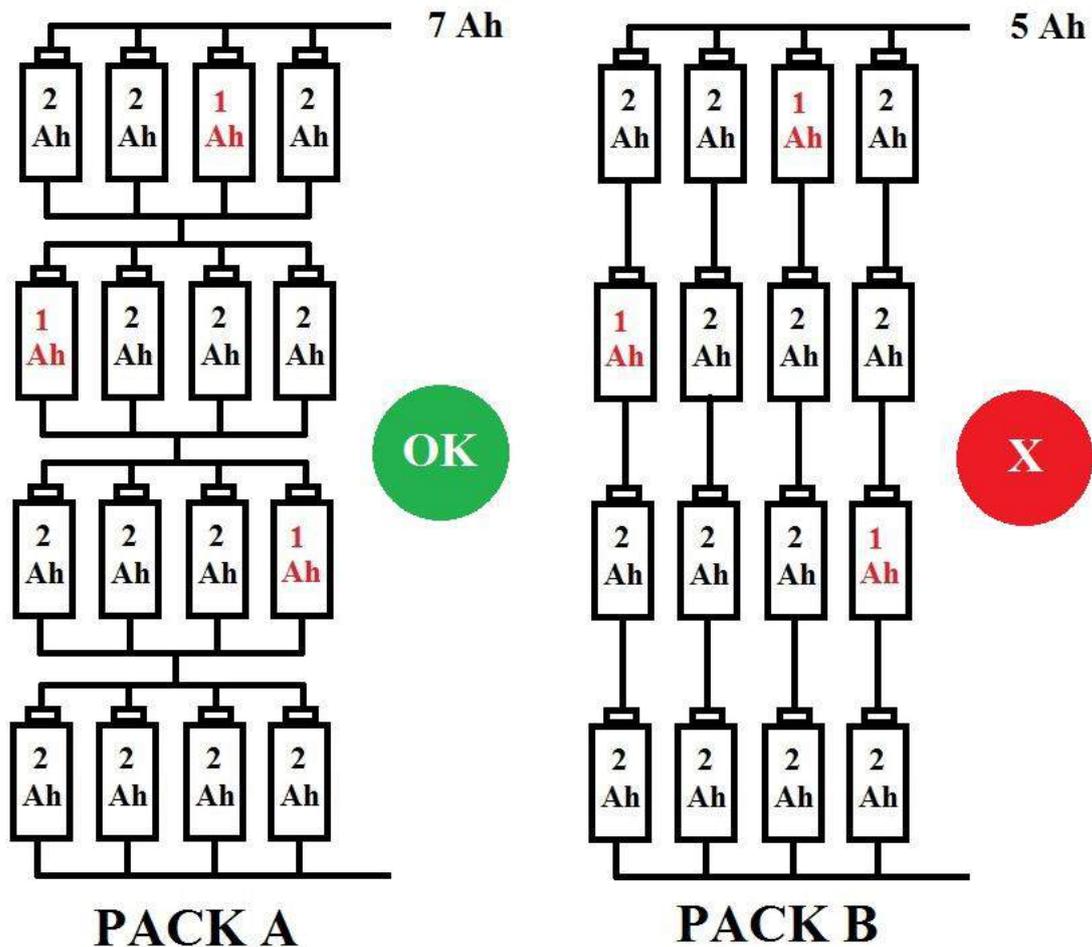


Figura 153 - Tipos de ligação em série e em paralelo

Se todas as baterias tivessem a mesma capacidade, as duas formas de se ligar as células seriam equivalentes. Porém na prática nem sempre isso ocorre. Quanto maior o número de células num pack de baterias, maior a probabilidade de haver células com capacidades diferentes.

No exemplo da figura 153 se todas as células tivessem 2Ah, a capacidade do pack A e do pack B seria 8Ah. Porém, se em cada pack tivermos 3 células com a capacidade reduzida para 1Ah, o pack A teria 7Ah enquanto o pack B teria apenas 5Ah.

Portanto é preferível ligar primeiro as células em paralelo e depois colocar os conjuntos em série como no pack A.

12. PROJETO DE PACKS DE BATERIAS – CÁLCULOS

O projeto de um pack de baterias normalmente começa com o cliente especificando alguns dos seguintes parâmetros:

- Tensão Nominal (V)
- Capacidade do pack (mAh)
- Corrente média do pack (mA)
- Corrente de pico (mA)
- Potência da Carga (W)
- Energia do pack de baterias (Wh)
- Tempo de duração da energia do pack de baterias (horas)
- Tamanho do pack de baterias

De posse desses dados o projetista deve escolher a célula que melhor se adapta às necessidades do cliente, calcular o número de células e sua forma de ligação (série ou paralelo) e calcular os parâmetros do pack projetado e verificar se esses parâmetros calculados estão dentro do especificado pelo cliente

Para calcular esses parâmetros são necessárias algumas fórmulas, detalhadas a seguir.

CÁLCULO DA TENSÃO DO PACK DE BATERIAS

A tensão de um pack de baterias é dada pela fórmula:

Tensão do pack de baterias = Tensão da célula x Número de células em série

Então por exemplo, se o cliente especifica um pack de baterias de lítio íon de 18,5V, pode-se calcular o número de células pela fórmula:

Número de células = Tensão do pack de baterias / Tensão da célula

Se usarmos células de 3,7V de lítio íon, teremos:

Número de células = $18,5 / 3,7 = 5$ células em série

CÁLCULO DA CORRENTE DO PACK DE BATERIAS

A corrente de um pack de baterias é dada pela fórmula:

Corrente do pack de baterias = Corrente da célula x Número de células em paralelo

Então por exemplo, se o cliente especifica um pack de baterias de lítio íon de 10 A, pode-se calcular o número de células em paralelo pela fórmula:

Número de células em paralelo = Corrente do pack de baterias / Corrente da célula

Se usarmos células de lítio íon de 2.600 mA (2,6 A), teremos:

Número de células = $10 / 2,6 = 3,84$ células em paralelo

Deve-se sempre arredondar esse número para cima, obtendo-se 4 células em paralelo.

Esse cálculo vale tanto para calcular a corrente média do pack de baterias (ou nominal), bem como para calcular a corrente de pico do pack de baterias.

CÁLCULO DA CAPACIDADE DO PACK DE BATERIAS

A capacidade de um pack de baterias é dada pela fórmula:

Capacidade do pack de baterias = Capacidade da célula x Número de células em paralelo

Então por exemplo, se o cliente especifica um pack de baterias de lítio íon de 5.000 mAh, pode-se calcular o número de células pela fórmula:

Número de células em paralelo = Capacidade do pack de baterias / Capacidade da célula

Se usarmos células de lítio íon de 2.600 mAh, teremos:

Número de células = $5.000 / 2.600 = 1,92$ células em paralelo

Deve-se sempre arredondar esse número para cima, obtendo-se 2 células em paralelo.

POTÊNCIA DO PACK DE BATERIAS

Um pack de baterias deve ser capaz de fornecer a potência requerida pela carga elétrica alimentada por ele. A potência do pack de baterias deve ser igual ou superior à potência requerida pela carga.

A potência de uma carga elétrica em corrente contínua é calculada pela equação:

$$P = V \times I$$

Onde:

- **I = Corrente (A)**
- **P = Potência (W)**
- **V = Tensão (V)**

Por exemplo, se o cliente precisa alimentar uma carga elétrica de 50 W em 12V, a corrente que esse pack deverá fornecer pode ser calculado por:

$$I = P / V = 50 \text{ W} / 12 \text{ V} = 4,17 \text{ A}$$

CÁLCULO DA ENERGIA DA BATERIA

A energia fornecida por uma bateria pode ser calculada pela fórmula:

$$E = P * T$$

Onde:

- **E = Energia (Wh)**
- **P = Potência (W)**
- **T = Tempo (h)**

Se considerarmos que a potência é calculada por:

$$P = V * I$$

Onde:

- **P = Potência (W)**
- **V = Tensão (V)**
- **I = Corrente (A)**

Temos a seguinte fórmula para cálculo da energia:

$$E = P * T = V * I * T$$

Se considerarmos que:

$$I * T = C$$

Onde:

- **I = Corrente (A)**
- **T = Tempo (h)**
- **C = Capacidade (Ah)**

Temos:

$$E = V * I * T = V * C$$

Por exemplo um pack de 12V e capacidade de 2.600 mAh (2,6 Ah) tem uma energia de:

$$E = V * C = 12\text{V} * 2,6\text{Ah} = 24,64 \text{ Wh}$$

CÁLCULO DO TEMPO DE DURAÇÃO DA ENERGIA DO PACK DE BATERIAS

Para calcular a duração de uma bateria temos a seguinte equação:

$$T = C / I$$

Onde:

- **T = Tempo (h)**
- **C = Capacidade (Ah)**
- **I = Corrente (A)**

Por exemplo, se temos uma bateria de 2Ah, alimentando um equipamento com corrente de 0,5A, a duração é calculada dividindo-se a capacidade da bateria pela corrente do equipamento, ou seja:

$$\text{Tempo de duração} = 2\text{Ah} / 0,5\text{A} = 4 \text{ horas.}$$

Na prática, perde-se parte da energia. Por isso, deve-se estimar uma redução na duração.

No exemplo, estimamos que a bateria dure apenas 90% do tempo calculado, ou seja, 3,6 horas.

A estimativa da redução do tempo de duração é feita com base nas curvas de descarga da bateria, fornecidas pelo fabricante.

Em alguns casos, não se conhece a corrente do equipamento, mas apenas sua potência e tensão,

Por exemplo, se temos uma bateria de 2000 mAh (2Ah) alimentando um equipamento de 48 watts e 12 volts, a corrente, é calculada por:

$$I = P / V$$

Onde:

- **I = Corrente (A)**
- **P = Potência (W)**
- **V = Tensão (V)**

$$\text{Corrente} = \text{Potência} / \text{Tensão} = 48\text{W} / 12\text{V} = 4 \text{ A} = 4.000 \text{ mA}$$

E agora, sabendo que a capacidade da bateria é 2000 mAh, e a corrente do equipamento é de 4000 mA, podemos calcular a duração da bateria:

$$T = C / I$$

Onde:

- **T = Tempo (h)**
- **C = Capacidade (Ah)**
- **I = Corrente (A)**

$$\text{Tempo de duração} = 2\text{Ah} / 4\text{A} = 0,5 \text{ horas.}$$

Estimando uma redução da duração para 90%, a bateria irá durar, 27 minutos.

CÁLCULO DA CORRENTE MÉDIA EM FUNÇÃO DO CICLO DE TRABALHO

Na prática, é difícil encontrarmos equipamentos que consomem uma corrente constante durante todo o tempo. Os equipamentos normalmente têm um ciclo de trabalho intermitente onde a corrente varia com o tempo.

Por exemplo, na figura 154 temos a curva de corrente de um equipamento de telemetria.

Esse equipamento trabalha com três níveis de corrente, dependendo da tarefa que está executando:

- Nível de corrente 1 – Em repouso – Consumindo muito pouca energia, apenas o necessário para se manter ligado – 5 mA durante 15 minutos;
- Nível de corrente 2 – Leitura dos sensores que estão sendo monitorados e processamento desses sinais. Neste caso a corrente sobe porque o equipamento precisa de mais energia para poder ler e processar os sinais dos sensores – 200 mA durante 1 segundo;
- Nível de corrente 3 – Em transmissão – Transmitindo os dados lidos. Aqui o consumo de corrente é maior ainda – 950 mA durante 3 segundos.

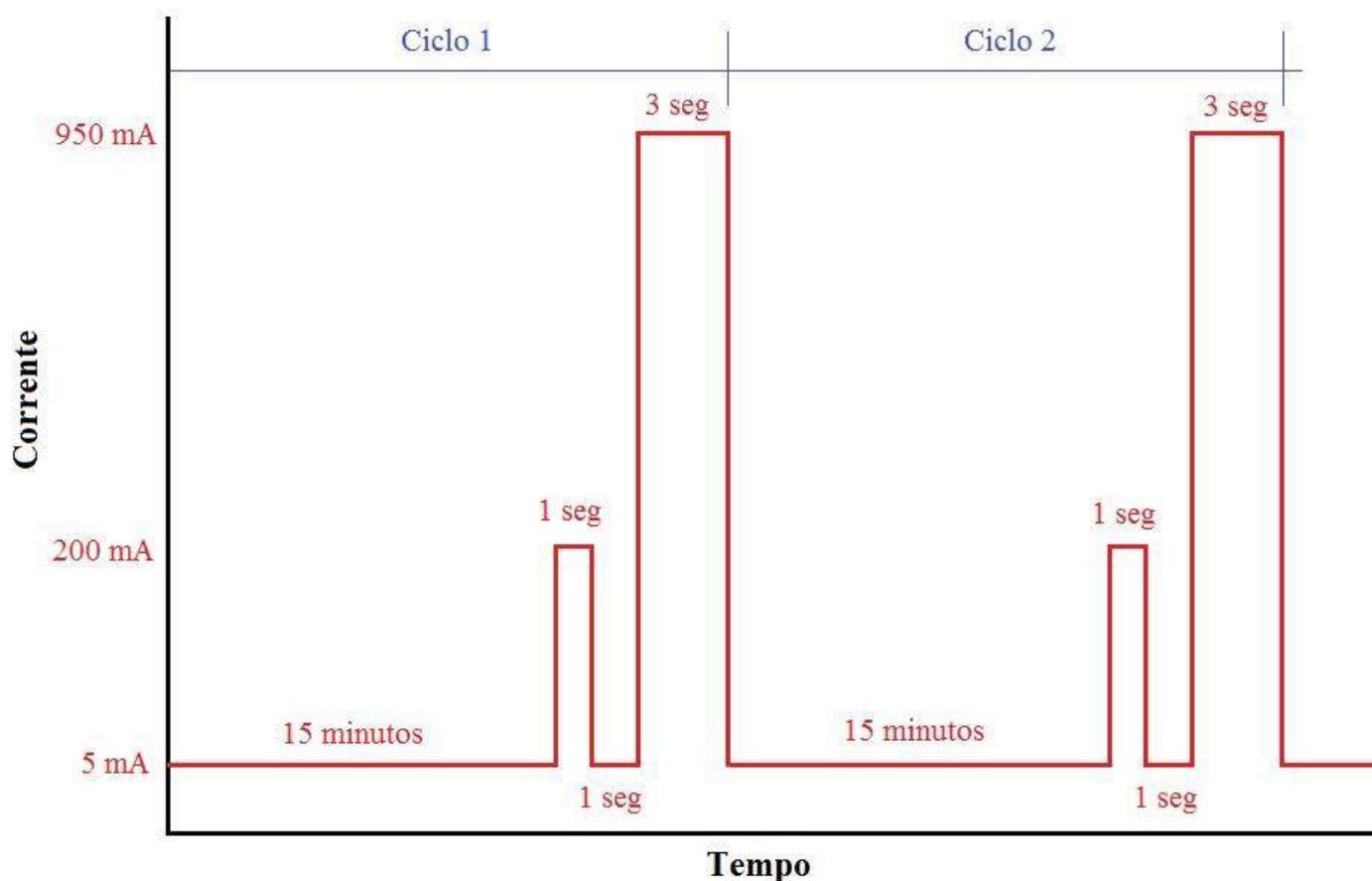


Figura 154 – Ciclo de trabalho intermitente

A capacidade requerida da bateria durante um ciclo é dada por:

$$C = I_1 \times T_1 + I_2 \times T_2 + I_3 \times T_3 + I_4 \times T_4 / (T_1 + T_2 + T_3 + T_4)$$

Onde:

- C = Capacidade (mAh)
- I₁, I₂, I₃ e I₄ = Corrente (mA)
- T₁, T₂, T₃ e T₄ = Tempo (seg)

As correntes podem ser todas em A ou mA e os tempos todos em segundos ou minutos. Para facilitar os cálculos usaremos as correntes em mA e os tempos em segundos, lembrando que 15 minutos possuem 900 segundos.

$$C = 5\text{mA} \times 900\text{s} + 200\text{mA} \times 1\text{s} + 5\text{mA} \times 1\text{s} + 950\text{mA} \times 3\text{s} = 7.555 \text{ mAs (miliampère segundo)}$$

A corrente média do pack de baterias durante um ciclo é calculada por:

$$I = C / (T_1+T_2+T_3+T_4)$$

Onde:

- I = Corrente (mA)
- C = Capacidade (mAs)
- T₁, T₂, T₃ e T₄ = Tempo (s)

$$I = 7555 \text{ mAs} / (900 + 1 + 1 + 3) \text{ s} = 8,348 \text{ mA}$$

Se alimentarmos esse equipamento com uma bateria de lítio cloreto de tionila – SOCl₂ – de 3,6V e 19,000 mAh – tamanho D, teremos um tempo de duração da bateria calculado por:

$$\text{Tempo de duração} = 19000 \text{ mAh} / 8,348 \text{ mA} = 2.276 \text{ horas ou } 94,83 \text{ dias.}$$

Considerando os efeitos da temperatura e auto descarga pode-se estimar uma redução do tempo de duração da bateria em 10%. Sendo assim a bateria irá durar aproximadamente:

$$94 \text{ dias} - 10\% = 84 \text{ dias.}$$

Esse tipo de cálculo é aproximado, já que na prática é difícil estimar os efeitos da temperatura no equipamento e na bateria e nem sempre o ciclo de trabalho do equipamento é tão bem-comportado como mostrado na figura 154.

Porém esse método, os cálculos servem para uma estimativa e podem ser ajustados usando valores mais ou menos conservadores para a redução do tempo de duração da bateria.

QUE FIO USAR NUM PACK DE BATERIAS

Um dos aspectos mais importantes do projeto e construção de um pack de baterias, é determinar a bitola dos fios de saída.

Para calcular a bitola dos fios, deve-se levar em consideração dois fatores principais:

- A corrente máxima suportada pelo fio;
- A queda de tensão provocada pelo fio.

A corrente é calculada pela equação:

$$I = P / V$$

Onde I é a corrente em Ampères, P é a potência em Watts e V é a tensão em volts.

Por exemplo, se conectarmos uma lâmpada de 50 Watts, num pack de baterias de 12 Volts, a corrente é calculada, dividindo 50 watts por 12 volts:

$$I = P / V = 50 \text{ W} / 12 \text{ V} = 4,17 \text{ A}$$

Por segurança, recomenda-se utilizar um fio com capacidade adicional de corrente. Neste caso, um fio de 0,5 milímetros quadrados, que suporta até 11 ampères, seria adequado.

Os fabricantes disponibilizam tabelas de corrente para os fios. É importante consultar essa tabela, para checar se realmente o fio escolhido suporta a corrente necessária.

Todos os elementos de um circuito elétrico têm resistência, incluindo os fios. Isso significa que os fios provocam uma queda de tensão no pack de baterias.

Geralmente, a queda de tensão aceitável para circuitos de corrente contínua, é de cerca de 3%.

A queda de tensão nos fios é calculada usando-se a Lei de Ohm:

$$V = R \times I$$

Onde V é a queda de tensão em Volts, R é a resistência do fio em ohms e I é a corrente em Ampères.

Um fio de 0,5 mm², com 2 metros de comprimento, tem uma resistência de 0,074Ω. Como o pack de baterias tem 2 fios, a resistência total dos fios, é de 0,148Ω.

A queda de tensão nos fios é:

$$V = R \times I = 0,148 \text{ } \Omega \times 4,17 \text{ A} = 0,617 \text{ V, ou } 5,1\% \text{ da tensão do pack de } 12 \text{ volts}$$

Embora o cabo de 0,5 mm² esteja correto para a corrente de 4,17 ampères, não deve ser usado, pois a queda de tensão é maior que 3%.

Se usarmos fios de 1,5 mm², a queda de tensão é:

$$V = R \times I = 0,051 \text{ } \Omega \times 4,17 \text{ A, o que dá } 0,213 \text{ V ou } 1,8\% \text{ da tensão de } 12 \text{ volts do pack.}$$

Portanto o fio de 1,5 mm² é adequado para suportar a corrente necessária, com uma queda de tensão inferior a 3%.

Em resumo, os fios devem suportar a corrente máxima, do equipamento alimentado pelo pack de baterias, com uma queda de tensão menor que 3%.

13. COMPONENTES DE PROTEÇÃO DE PACKS DE BATERIAS

A maioria dos packs de baterias inclui algum tipo de proteção. Os principais tipos de proteção de baterias são:

- Polyswitch
- NTC
- Termostatos
- Fusíveis
- Diodos
- Fusíveis térmicos
- Placas BMS

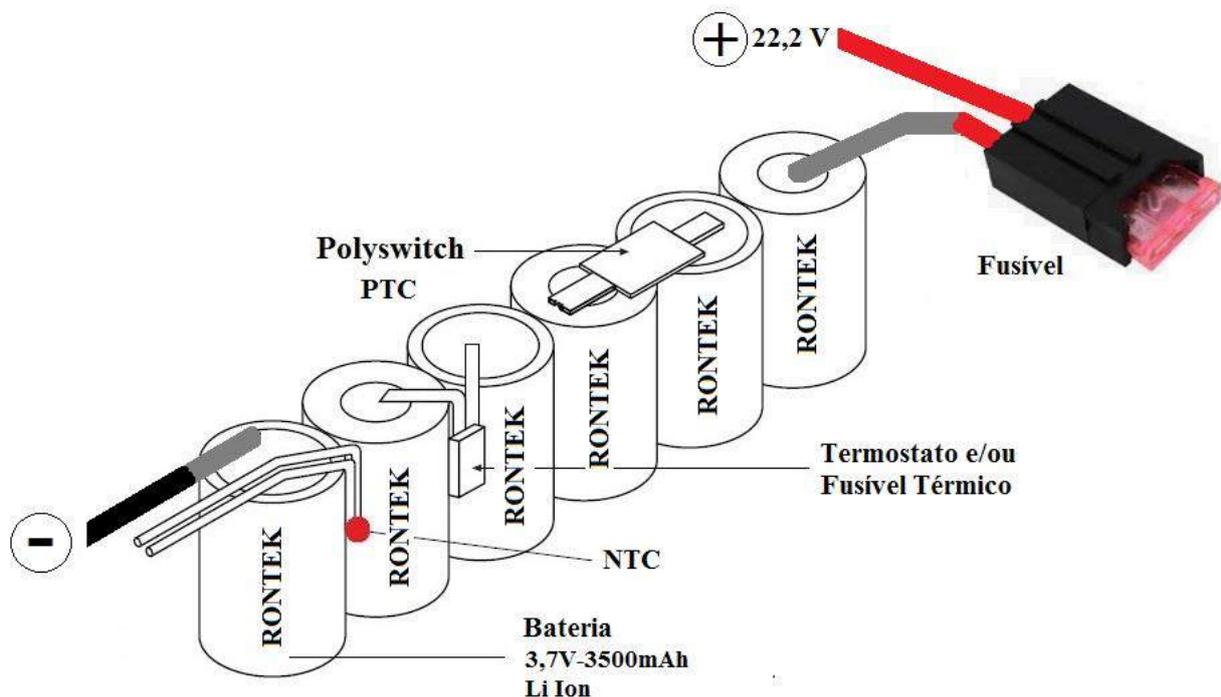


Figura 155 - Componentes de proteção de pack de baterias

As células de alta potência de lítio íon podem ser perigosas, pois contêm grandes quantidades de energia que, se liberadas de maneira descontrolada por um curto-circuito ou dano físico, podem ter consequências catastróficas.

No caso de curtos-circuitos, correntes de centenas de ampères podem circular em microssegundos e os circuitos de proteção devem agir com muita rapidez para evitar isso.

Diferentes aplicações e diferentes tipos de baterias requerem diferentes graus de proteção. As baterias de lítio, em particular, precisam de circuitos especiais de proteção e controle para mantê-las dentro dos limites operacionais especificados para tensão, corrente e temperatura.

Além disso, as consequências da falha de uma célula de lítio podem ser bastante graves, possivelmente resultando em uma explosão ou incêndio. A proteção das células é, portanto, indispensável nas baterias de lítio.

A proteção de baterias deve abordar os seguintes eventos ou condições indesejáveis:

- Corrente excessiva durante o carregamento ou descarregamento.
- Curto circuito

- Sobre tensão
- Subtensão
- Superaquecimento
- Acúmulo de pressão dentro da célula
- Isolamento do sistema em caso de acidente
- Abuso

É aconselhável que se use pelo menos dois dispositivos de proteção. Se um falha, o outro está lá como uma rede de segurança.

Para baterias de lítio íon é comum se usar uma placa BMS em conjunto ou com um termostato ou com um polyswitch (PTC) ou com um NTC.

Além das proteções externas à bateria, existem as proteções nas próprias células que são a última linha de defesa se todas as outras medidas de proteção falharem.

O processo eletroquímico dentro da bateria pode dar origem à geração de gases, principalmente durante condições de sobrecarga. Se a pressão dentro da célula aumentar, a célula poderá romper ou explodir. Para superar esse problema, as células seladas normalmente incorporam alguma forma de ventilação para liberar a pressão de maneira controlada, se ela se tornar excessiva.

Células de lítio íon cilíndricas normalmente tem válvula de alívio de pressão que permite o alívio da pressão interna da bateria evitando assim risco de incêndio e explosão.

Já as células de lítio íon polímero comuns não têm válvulas de alívio de pressão excessiva e por isso incham quando gás é produzido em seu interior, podendo até mesmo explodir em caso de falhas de todas as outras proteções.

PROTEÇÃO DE PACKS DE BATERIAS COM POLYSWITCH - PTC

O polyswitch se assemelha a um fusível reutilizável. Em condições normais a resistência do polyswitch é baixa. Quando a corrente que circula pela bateria é excessiva, o polyswitch cria uma resistência alta, inibindo o fluxo de corrente.

É também conhecido como PTC (Positive Temperature Coefficient), ou seja, sua resistência aumenta com o aumento da temperatura provocado pela corrente excessiva na bateria.

Quando a condição se normaliza, a resistência do PTC reverte para baixo, permitindo retomar a operação normal. Não requer rearme manual e, portanto, é muito conveniente para o usuário que pode nem estar ciente de sua operação. O fusível é acionado quando uma temperatura específica é atingida.

O aumento da temperatura pode ser causado pelo auto aquecimento resistivo do termistor devido à corrente que passa por ele ou por condução ou convecção do ambiente. Assim, pode ser usado para proteger contra sobre corrente e superaquecimento. O PTC dispara a uma corrente mais baixa se a temperatura ambiente for mais alta. Os detalhes ambientais e elétricos da aplicação devem ser totalmente compreendidos ao projetar uma proteção de fusível reinicializável. Esses dispositivos são facilmente integrados ao design da bateria, soldando os terminais da célula ou colocando-os na placa de circuito.



Figura 156 – PTC

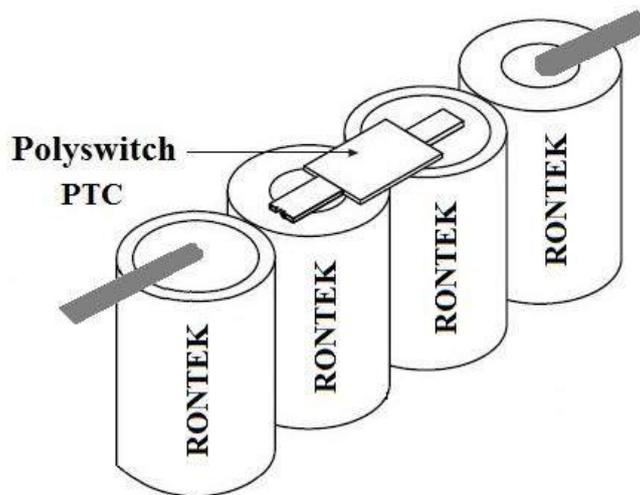


Figura 157 – Ligação do PTC em série com as células

Na figura 158 mostramos a influência da temperatura na corrente de abertura do PTC. Quanto mais alta é a temperatura, menor é a corrente de abertura do PTC.

Quanto menor a temperatura, maior é a corrente de abertura PTC.

Na figura 159 observamos as curvas do tempo de abertura do PTC em função da corrente. As curvas A,B,C, etc, são as curvas para diferentes modelos de PTC. Por exemplo para o PTC modelo A, se a corrente for de 20 A o tempo de abertura é 0,01s. Se a corrente for menor, por exemplo 10A, o tempo de abertura será maior, ou será 0,06s.

Deve-se notar que na corrente nominal, o PTC não abre nunca.

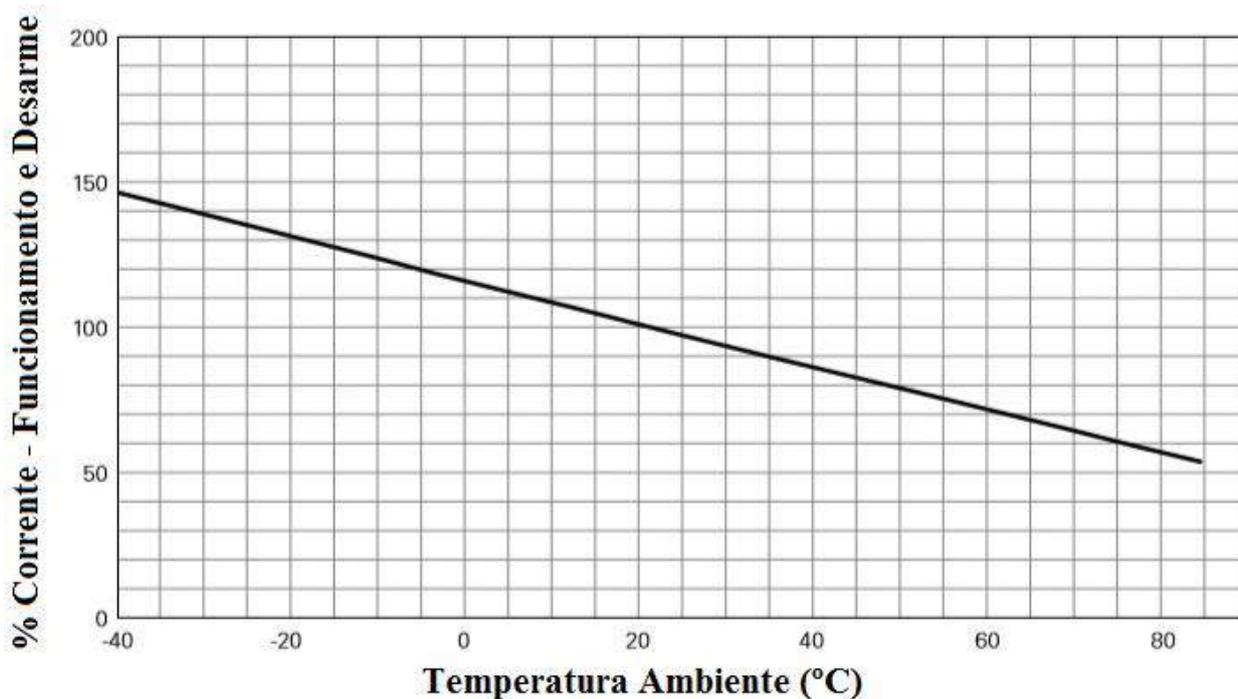


Figura 158 – Influência da temperatura ambiente no PTC

Por exemplo um PTC de 2A (figura 140 – curva G) num pack de baterias que consome 2A não irá abrir nunca. Porém este mesmo PTC, caso ocorra um curto circuito e a corrente suba para 30A, irá se abrir em pouco mais de 0,03s.

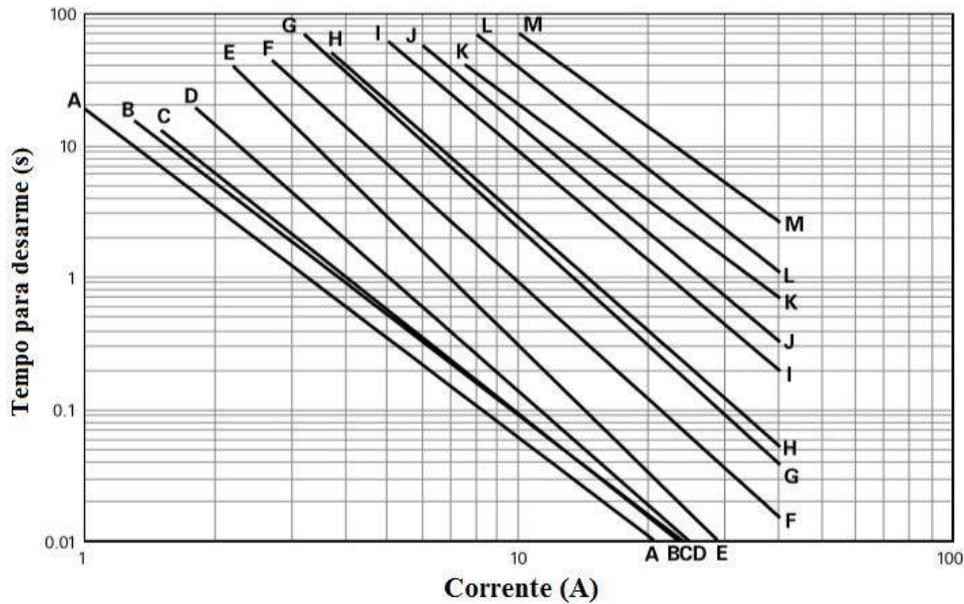


Figura 159 – Curvas de corrente do PTC

PROTEÇÃO DE PACKS DE BATERIAS COM NTC OU TERMISTORES

Termistores são dispositivos de circuito cuja resistência varia com a temperatura. Os termistores PTC possuem um coeficiente de temperatura positiva, pois sua resistência aumenta gradualmente com a temperatura e, em uma faixa limitada, a resistência pode ser considerada linearmente proporcional à temperatura. Da mesma forma, os termistores NTC têm um coeficiente de temperatura negativo e sua resistência diminui à medida que a temperatura aumenta. Esses componentes são amplamente utilizados em circuitos de monitoramento e proteção de packs de baterias.



Figura 160 – NTC 10 KΩ

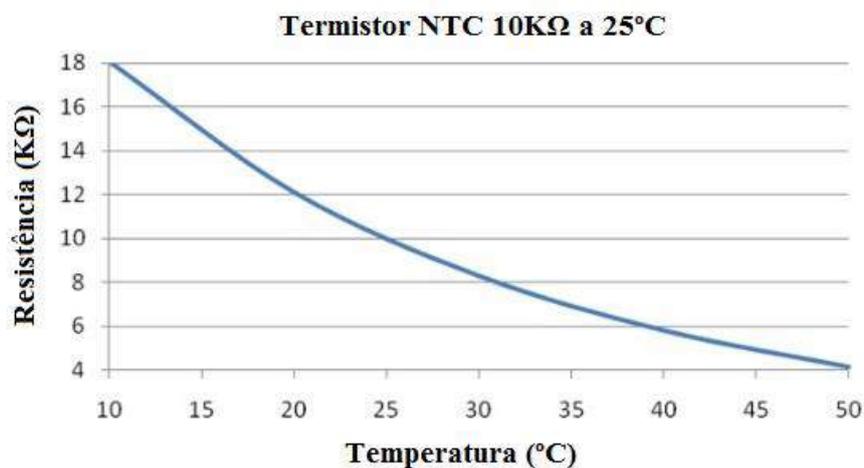


Figura 161 – NTC – Curva de Resistência

Quando se detecta uma variação para baixo nessa resistência do NTC, o circuito entende que a temperatura está alta demais e providencia a interrupção da corrente na bateria.

Normalmente é fixado na parte externa de uma das células. Um circuito eletrônico monitora a resistência do termistor.

Para proteção de packs de baterias normalmente se usam termistores do tipo NTC de 10 K Ω ou 100 K Ω .

Os packs de baterias que tem NTC de proteção, normalmente tem 3 ou 4 fios de saída, como mostrado na figura 162.

Quando o pack de baterias tem 3 fios (figura 162 A), um fio é o positivo, o outro fio é o negativo e o terceiro fio é um dos terminais do NTC. O outro terminal do NTC neste caso é ligado ao negativo do pack de baterias.

Quando o pack de baterias tem 4 fios (figura 162 B), um fio é o positivo, o outro fio é o negativo e os outros dois fios são os terminais do NTC.

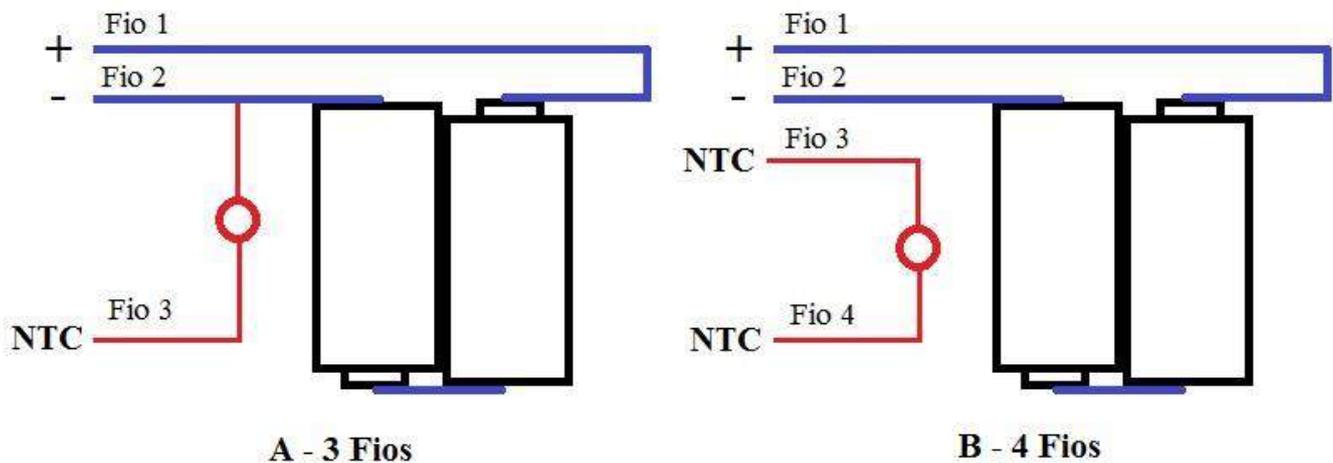


Figura 162 – Esquema de ligação do NTC

PROTEÇÃO DE PACKS DE BATERIAS COM TERMOSTATOS

Protetores térmicos também são utilizados para interromper a corrente em caso de temperatura excessiva.

Um dos protetores térmicos mais utilizados é o termostato, que desconecta a carga da bateria, quando a temperatura ultrapassa determinado valor.

Quando a condição se normaliza, o termostato volta a ligar a carga na bateria.

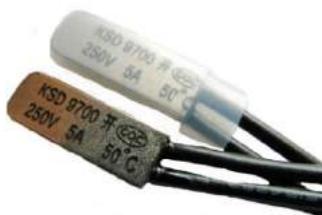


Figura 163 – Termostato usado em packs de baterias

O termostato possui em seu interior um contato que abre ou fecha conforme a temperatura.

O contato do termostato mostrado na figura 163 abre com uma temperatura de $50^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ e volta a fechar com $35^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$.

O contato é ligado em série com a bateria e pode interromper até 5A (figura 164 A).

Caso a corrente do pack de baterias seja superior a 5A, se deve usar o termostato para acionar um contator de maior corrente e este por sua vez irá interromper o circuito da bateria (figura 164 B).

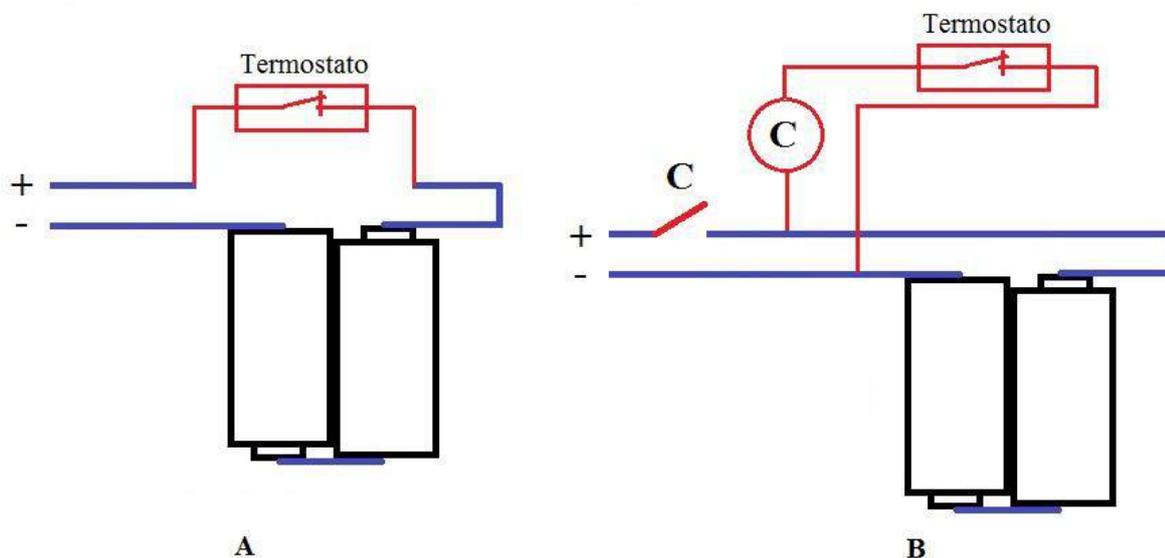


Figura 164 – Termostato usado em packs de baterias

PROTEÇÃO DE PACKS DE BATERIAS COM FUSÍVEIS

A proteção mais básica de packs de baterias é um fusível que se abre no caso de uma corrente excessiva, especialmente curto-circuito.

Os fusíveis se abrem permanentemente e tornam a bateria inútil.



Figura 165 – Fusível usado em packs de baterias

Fusíveis convencionais também podem ser usados para proteger a bateria contra sobrecarga, mas em muitas situações, principalmente quando a sobrecarga não é muito grande, eles podem não agir com rapidez suficiente. As curvas da figura 166 mostram o tempo de abertura do fusível em função da corrente.

Para correntes baixas o fusível não abre ou demora muito para abrir. Conforme a corrente aumenta, mais rapidamente o fusível irá se abrir. Deve-se notar que na corrente nominal, o fusível não abre nunca.

Por exemplo um fusível de 2 A num pack de baterias que consome 2 A não irá abrir nunca. Porém este mesmo fusível, caso ocorra um curto circuito e a corrente suba para 100 A, irá se abrir em pouco mais de 1 ms.

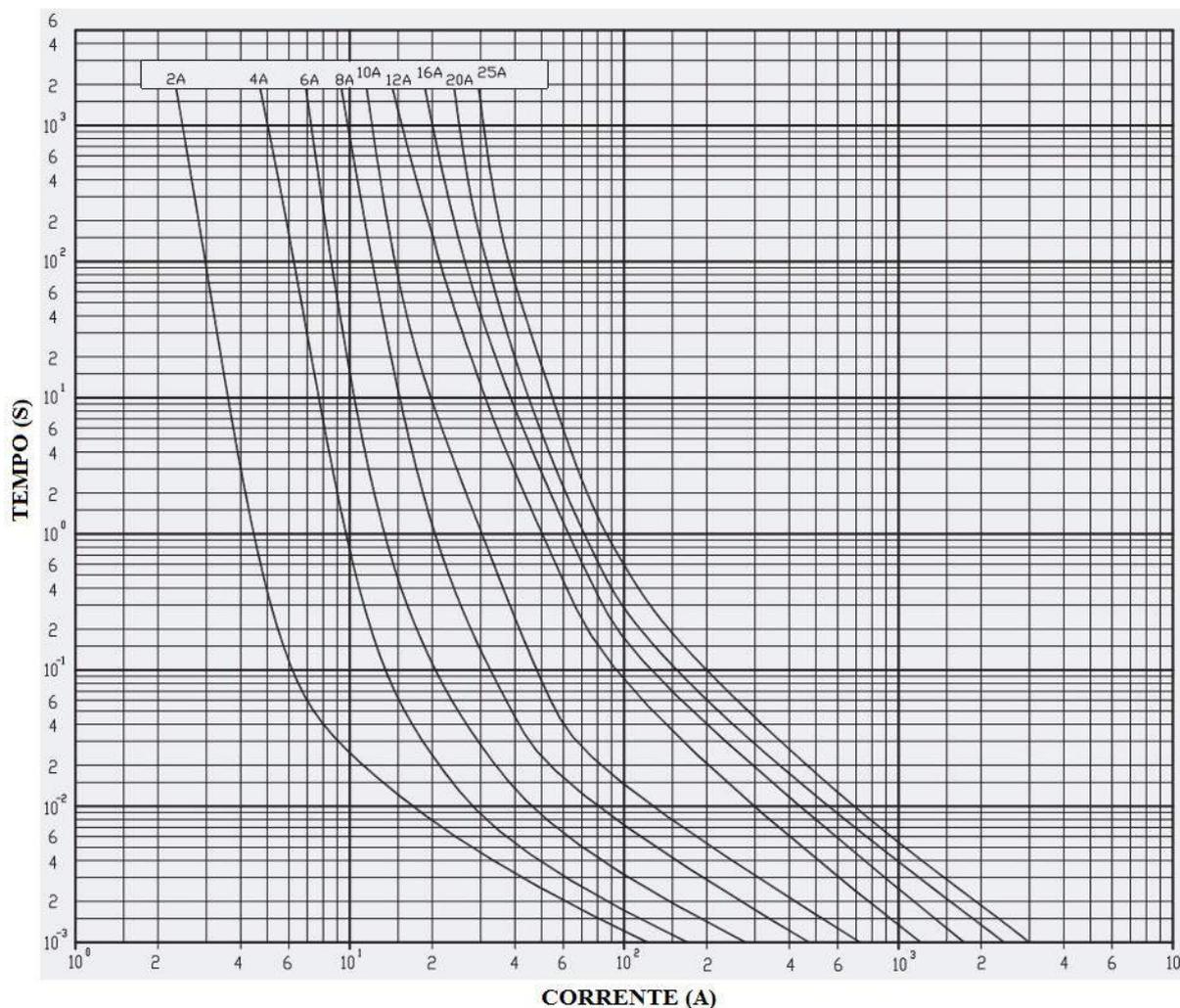


Figura 166 – Fusíveis de 2A a 25 A

Para packs maiores que consomem corrente maiores pode-se utilizar fusíveis do tipo NH. A figura 168 mostra as curvas de corrente do fusível NH.



Figura 167 – Fusível NH

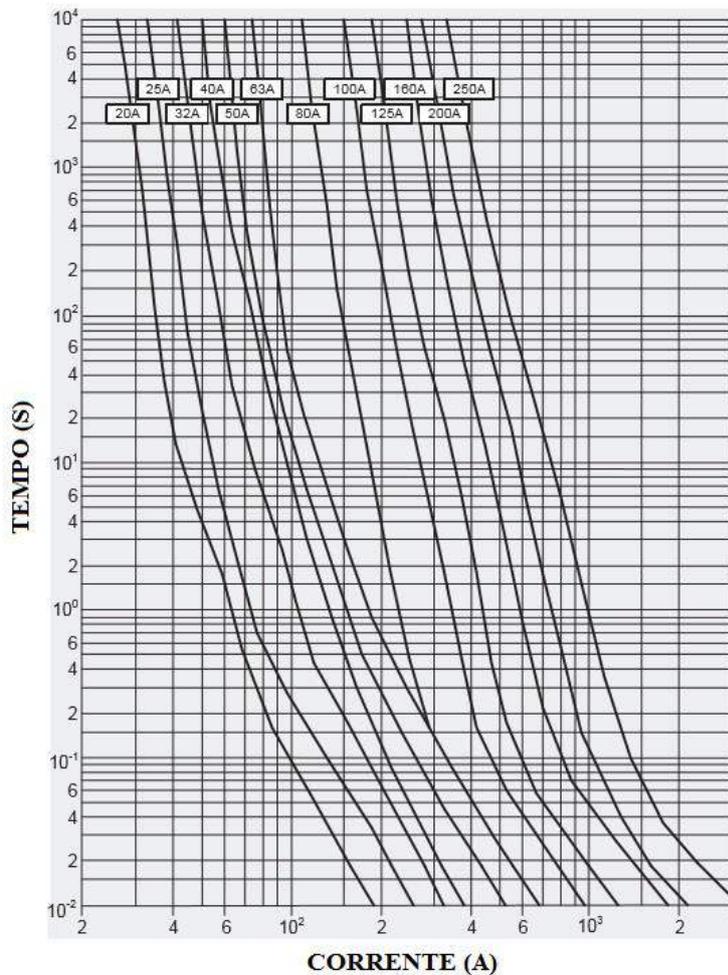


Figura 168 – Curvas de corrente para fusível NH

Na escolha do fusível deve-se considerar a corrente de pico do pack de baterias. O fusível tem que ser escolhido de forma que nunca abra nesta corrente. Também deve-se estimar uma possível corrente de curto circuito do pack. O valor dessa corrente pode ser estimado usando a lei de Ohm:

$$I = V/R$$

Onde I é a corrente em A, V é a tensão do pack e R é a soma da resistência interna das baterias do pack mais a resistência dos fios de saída do pack.

Por exemplo, consideremos um pack de baterias para bicicleta elétrica. Este pack tem 36V e é montado com 40 células de 2600 mAh, 40 mΩ de resistência interna e corrente de pico de 5,2 A.

A configuração de montagem do pack é 10S4P -10 conjuntos de células em série e cada conjunto desses com 4 células em paralelo. Nessas condições a resistência interna do pack seria:

- Cada conjunto de 4 células em paralelo: $40 \text{ m}\Omega / 4 = 10 \text{ m}\Omega$
- 10 conjuntos de 4 células em paralelo: $10 \text{ m}\Omega \times 10 = 100 \text{ m}\Omega = 0,1 \Omega$

A corrente de pico do pack é: $5,2 \text{ A (uma célula)} \times 4 \text{ (células em paralelo)} = 20,8 \text{ A}$

Se considerarmos os fios de saída de bitola de 4 mm^2 , cuja resistência é de $4,6 \Omega/\text{km}$, com comprimento de 1m (ou 0,001 km), temos a seguinte resistência:

2 fios de saída x 0,001 km x 4,6 Ω /km = 0,0092 Ω

Assim a corrente de curto circuito seria:

$$I = V/R = 36 / (0,1+0,0092) = 329 \text{ A}$$

Se usarmos o tipo de fusível mostrado na figura 143, podemos escolher aquele com corrente nominal imediatamente acima da corrente de pico do pack, que é de 20,8 A.

O modelo escolhido seria o de 25 A. Consultando as curvas da figura 168, verificamos que com uma corrente de curto circuito de 329 A, esse fusível abre em 50 ms.

PROTEÇÃO DE PACKS DE BATERIAS COM FUSÍVEIS TÉRMICOS

Pode-se usar também um fusível térmico, que desliga a bateria permanentemente em caso de temperatura excessiva.



Figura 169 – Fusível térmico

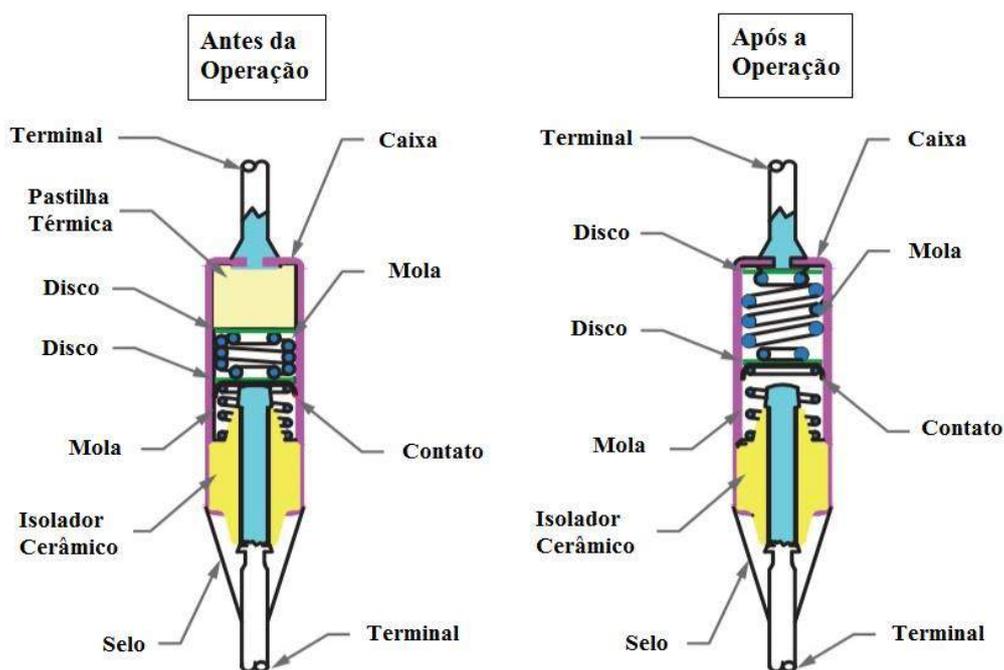


Figura 170 – Fusível térmico – forma construtiva

Os fusíveis térmicos possuem os seguintes parâmetros:

T_f – Temperatura em que o fusível abre $\pm 5^{\circ}\text{C}$

T_h – Temperatura máxima na caixa do fusível, na qual ele pode ser mantido por pelo menos 168 horas sem abrir.

T_m – Temperatura máxima suportada pelo fusível.

I_r – Corrente que o fusível consegue interromper

U_r – Tensão máxima que o fusível consegue interromper a corrente I_r .

Como exemplo, um fusível térmico usado comumente na proteção de packs de baterias tem os seguintes parâmetros:

T_f – 73 °C

T_h – 58 °C

T_m – 175°C

I_r – 10 A

U_r – 250 V

A figura 171 mostra a influência da corrente que passa pelo fusível em seu aquecimento. Sendo assim o fusível é acionado pela temperatura provocada pela passagem de corrente nele mais a temperatura da própria bateria. A figura 172 mostra os tempos de abertura do fusível térmico em função da temperatura. Quanto maior a temperatura mais rapidamente fusível térmico abre. Como fusível térmico desliga a bateria permanentemente, deve ser projetado para só abrir em condições extremas de temperatura da bateria.

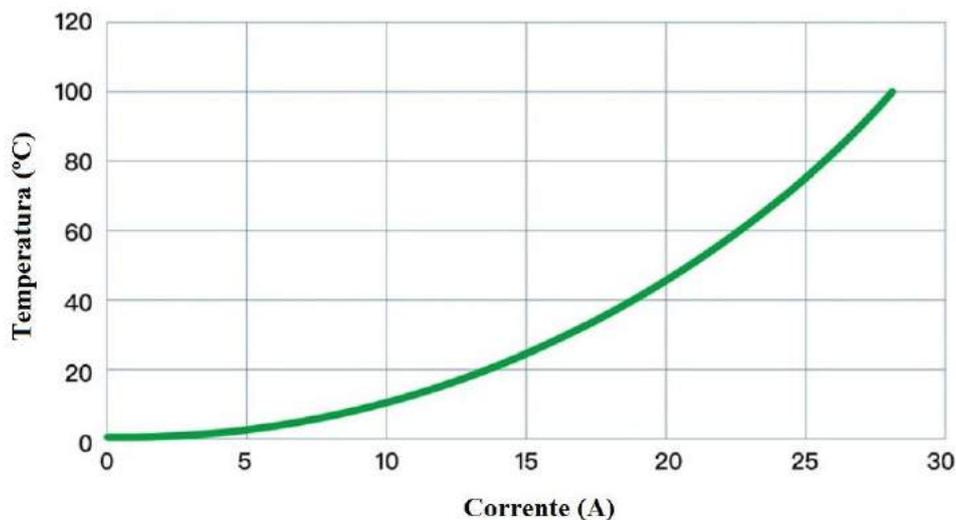


Figura 171 – Influência da corrente no aquecimento do fusível térmico

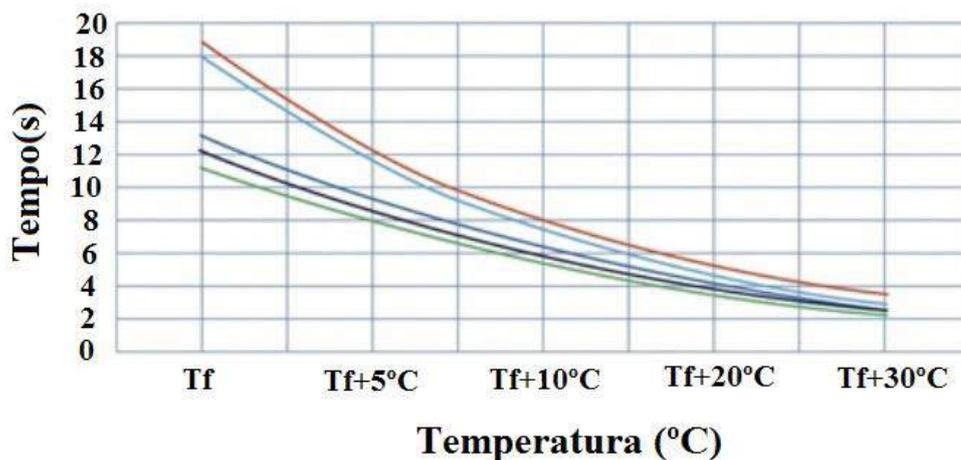


Figura 172 – Tempos de atuação do fusível térmico em função da temperatura

Sistemas de gerenciamento de bateria (BMSs), ou como são menos comumente conhecidos, módulos de circuito de proteção (PCMs) ou placas de circuito de proteção (PCB), são circuitos que devem ser adicionados a uma bateria de Lítio íon para proteger a saúde das células individuais na bateria e prolongar a sua vida útil.

Sistemas de gerenciamento de baterias controlam a carga e a descarga das baterias, otimizando sua utilização para aumentar a sua eficiência, segurança e vida útil.

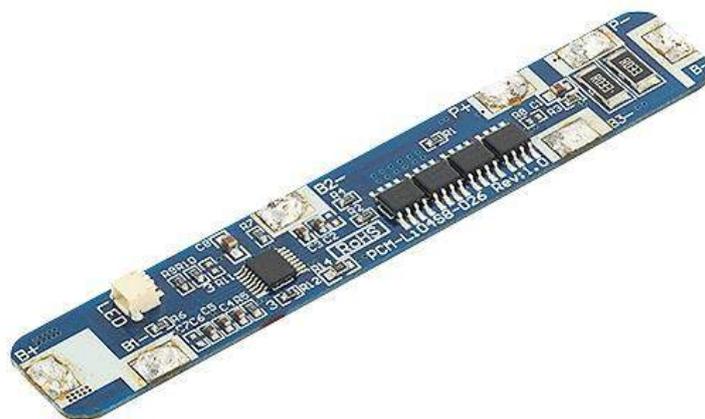


Figura 173 - Placa de proteção de baterias Lítio íon – BMS

As placas mais básicas têm pelo menos as seguintes funções:

- **Proteção contra sobre tensão na carga**

Para garantir o uso seguro, as células de lítio-íon devem operar dentro de parâmetros de tensão muito rigorosos. Dependendo do fabricante e da composição química da célula, esse parâmetro de tensão máxima varia na carga entre 4,2 V por célula e 4,25 V por célula.

A placa PCM monitora esses parâmetros de tensão e se forem excedidos, providencia a desconexão da bateria da carga ou do carregador.

- **Proteção contra subtensão na descarga**

Para garantir o uso seguro, as células de lítio-íon nunca devem ser descarregadas abaixo da sua tensão mínima. Dependendo do fabricante e da composição química da célula, esse parâmetro de tensão mínima varia na descarga entre 3,0 V e 2,5 V por célula.

A placa PCM monitora esses parâmetros de tensão e se forem excedidos, providencia a desconexão da bateria da carga ou do carregador.

- **Proteção contra sobre corrente na descarga**

A placa monitora a corrente de descarga. Se essa corrente excede o valor especificado a placa interrompe o processo de descarga.

- **Proteção contra inversão de polaridade**

Se a polaridade do carregador for invertida, a placa BMS interrompe o processo de carga.

Além dessas especificações mínimas existem placas BMS bem complexas que executam muitas outras funções de proteção.

- **Proteção contra sobre corrente na descarga**

A corrente de carga não deve ser muito alta, normalmente abaixo de 0,7C.

- **Monitoramento**

Em placas BMS utilizadas em aplicações mais complexas, como por exemplo veículos elétricos, existem circuitos que devem prover para o usuário as informações dos parâmetros da bateria, como potência máxima e carga útil, de forma a permitir o uso inteligente da energia disponível.

- **Balanceamento**

Para garantir o uso seguro, as células de lítio-íon devem operar com tensão máxima entre 4,2 V por célula e 4,25 V por célula e com tensão mínima entre 3,0 V e 2,5 V por célula.

No caso de uma única célula ou de múltiplas células ligadas em paralelo, isso é muito simples de ser feito, já que a placa PCM monitora uma única tensão.

Porém quando se ligam várias células em série, a placa PCM deve monitorar a tensão individual de cada célula.

As células não são exatamente iguais. Tem resistências internas diferentes, tem estados iniciais de carga diferentes e, além disso, as células envelhecem de maneira diferente ao longo do tempo.

A incompatibilidade de células é uma causa comum de falha em baterias industriais. As células ficarão desbalanceadas, ou seja, terão estados diferentes de carga e tensão.

Fabricantes de ferramentas elétricas profissionais e equipamentos médicos são cuidadosos com a escolha de células para obter boa confiabilidade da bateria e longa vida útil.

Uma solução para atenuar esse problema seria usar células novas, de um mesmo lote de fabricação, de forma a ter no pack de baterias, células com características as mais próximas possíveis entre si. Porém, mesmo células de fabricantes excelentes, não são exatamente iguais e, portanto, esse procedimento por si só não resolve o problema.

Um pack de baterias com células de boa qualidade, com conexões elétricas bem-feitas, terá células com resistências quase idênticas. Isso faz com que as células fiquem balanceadas. No entanto, em níveis mais elevados de correntes, nem a boa qualidade células garante o balanceamento das células.

Para packs de baterias de alta tensão concebidos para cargas pesadas e uma ampla gama de temperaturas deve-se reduzir ainda mais a tolerância da capacidade.

Existe uma forte correlação entre o equilíbrio celular e a longevidade.

Para células de baixa qualidade, com grandes diferenças na resistência interna, ou mesmo para packs de baterias feitas com células de boa qualidade, mas com ligações elétricas pobres, as células podem começar a perder o balanceamento após alguns ciclos de carga.

A tolerância de capacidade entre as células de uma bateria industrial deve ser de +/- 2,5%.

Realizando-se ensaios em diferentes packs de baterias lítio íon com diferentes níveis de desbalanceamento de células conclui-se que quanto maior for o desbalanceamento das células num pack, maior será a perda de capacidade após alguns ciclos de carga e descarga.

A figura 174 mostra a perda de capacidade do pack em função do desbalanceamento das células.

Placas PCM que não possuem a função de balanceamento, apenas monitoram a tensão de cada célula e quando a tensão de uma das células excede o valor inferior na descarga ou o valor superior na carga, ocorre a desconexão da bateria do carregador ou da carga.

Por exemplo, no caso de um pack de baterias de lítio-íon com três células conectadas em série, durante o ciclo de carga, se qualquer uma das células atingir seu limite superior de tensão, a placa PCM desconectará automaticamente o pack do carregador, encerrando assim todo o processo de carregamento, independentemente do estado de carga das outras duas células.

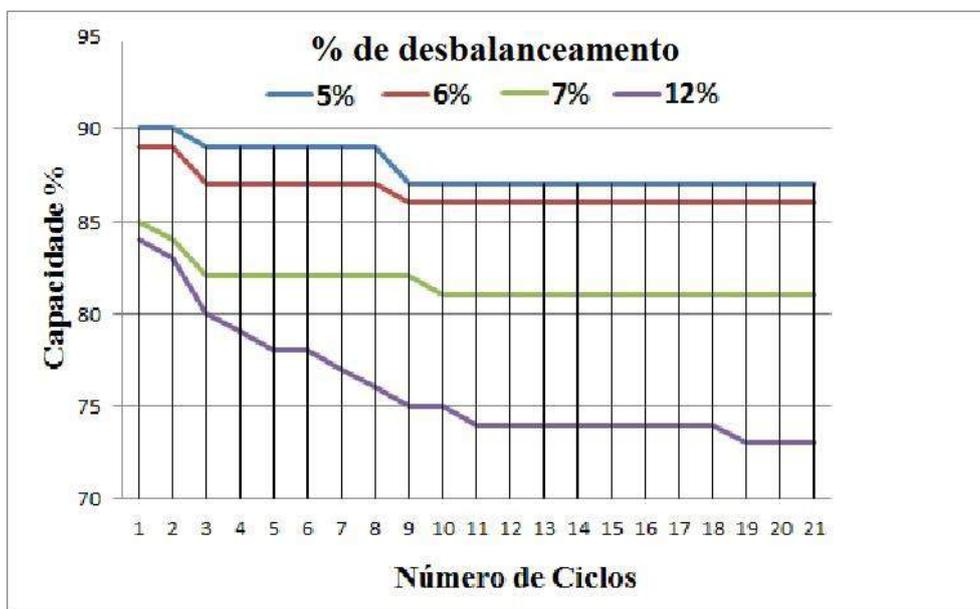


Figura 174 - Capacidade em packs desbalanceados

Dependendo da disparidade nas tensões das células usadas no pack de baterias, essa situação pode resultar em um pack de baterias que nunca atinge a carga total, diminuindo assim o seu desempenho e o tempo de uso do equipamento alimentado por essa bateria.

Da mesma forma, durante a descarga, se qualquer uma das três células atingir seu limite de tensão mais baixo, a placa PCM desconectará a carga e encerrará o processo de descarga, independentemente dos estados de carga das outras duas células.

Em outras palavras, um pack de baterias só funcionará tão bem quanto sua célula mais fraca. Num pack de baterias com poucas células esse problema pode ser aceito e se pode utilizar placas BMS mais simples e baratas.

Porém em veículos elétricos, onde cada pack de baterias contém centenas de células, seria absurdo construir um pack de baterias cujo desempenho fosse determinado pelo desempenho da célula mais fraca.

As células de Lítio íon de qualidade têm capacidade uniforme e auto descarga baixa quando novas. A adição de balanceamento de células é benéfica especialmente à medida que o pack de baterias envelhece e o desempenho de cada célula diminui em seu próprio ritmo.

Para evitar esse desequilíbrio entre as células, o uso de placas PCM com circuitos de balanceamento é altamente recomendável.

A principal dificuldade no gerenciamento dos packs de baterias é a determinação do estado de carga das células (SoC – State of Charge – Estado de Carga) das células, assim como o correto balanceamento ou equalização das células. O estado de carga mostra a capacidade da célula num determinado momento.

Durante a operação de um pack de baterias os estados de carga de suas células podem desbalancear, devido às diferenças entre as células, ao tempo de armazenamento e o envelhecimento.

Se as baterias forem utilizadas sem um sistema de balanceamento, a tendência é que a bateria se torne mais desbalanceada com o passar do tempo, o que acarreta numa redução significativa da capacidade útil da bateria como mostrado na figura 174.

Ao consumir a carga armazenada em determinadas células ou em transferir a carga entre as células, o balanceamento faz com que todos os estados de carga das células do pack de baterias fiquem com valores similares, fazendo com que se consiga extrair o máximo de capacidade possível do pack de baterias.

Equalizar ou balancear as células significa extrair menos corrente das células com menor capacidade e extrair mais corrente das células com maior capacidade.

O controle de balanceamento depende da estimativa do estado de carga das células.

Sistemas simples de balanceamento apenas equalizam as tensões nas células, admitindo que se todas as células estiverem em tensões similares, elas estarão balanceadas, com estados de carga similares.

Porém diferenças nas capacidades, residências internas, idade e envelhecimento das células, fazem com que a tensão não seja por si uma ótima maneira de estimar o real estado de carga da célula.

Utilizando as medidas de tensão e corrente nas células e através de modelos matemáticos é possível estimar o estado de carga das células com maior precisão.

Em geral os sistemas de balanceamento de bateria podem ser classificados em três grupos:

- **Passivo**
- **Ativo**
- **Por chaveamento (de carga)**

No balanceamento passivo, resistores ou outros componentes eletrônicos são utilizados para consumir a carga de células específicas, ao passo que para o balanceamento ativo conversores de tensão (conversores CC/CC) são utilizados para transferir carga entre as células. O balanceamento por chaveamento conecta ou desconecta as células a uma ou mais cargas de modo a equalizar os estados de carga sem que a carga seja diretamente transferida entre as células.

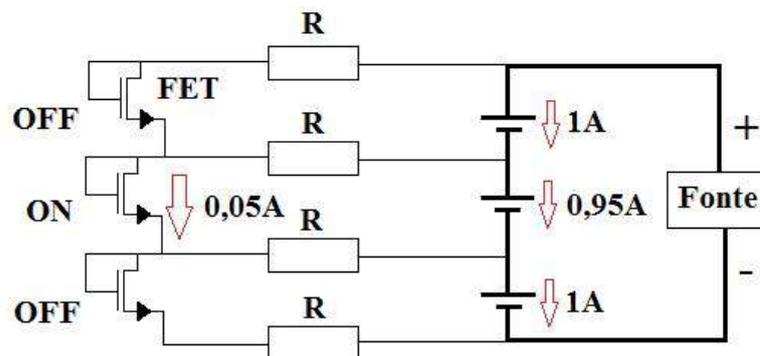
Vale notar que enquanto no balanceamento passivo a carga é dissipada, no balanceamento por chaveamento ela é consumida pelo sistema a ser alimentado pela bateria, aumentando, assim, o aproveitamento da energia da bateria. O segredo de uma boa placa BMD está no algoritmo de controle de balanceamento do estado de carga das células do pack de baterias.

Um algoritmo adequado de balanceamento depende necessariamente de estimativas do estado de carga de cada célula. Então saber estimar o estado de carga de cada célula é fundamental para resolver o problema. Na prática o que se tem disponível é a medida de tensão e corrente de cada célula. Tendo essas informações deve-se usar um modelo matemático (software) que calcula o estado de carga a partir da corrente e tensão e então enviar informações ao controlador do pack de baterias para proceder ao balanceamento de forma adequada. O desenvolvimento deste modelo matemático é bastante complexo principalmente porque as baterias não envelhecem de maneira igual ao longo do tempo. Os passos necessários ao desenvolvimento de uma placa BMS que consiga controlar um pack de baterias com centenas de células são os seguintes:

- Desenvolvimento de um algoritmo de controle de balanceamento do estado de carga das células
- Desenvolvimento e análise da estabilidade do sistema de controle do pack de baterias.
- Desenvolvimento de um modelo para as células de uma bateria de íon de lítio e verificar experimentalmente se esse modelo realmente consegue prever os estados de carga das células.
- A partir do modelo das células, desenvolver um estimador adequado para o estado de carga quando os parâmetros da célula são conhecidos.
- Desenvolver simulações e experimentos para validação dos algoritmos e métodos.
- Desenvolver um estimador para o estado de carga e dos parâmetros de uma célula quando esses parâmetros são desconhecidos (placas BMS de uso geral).

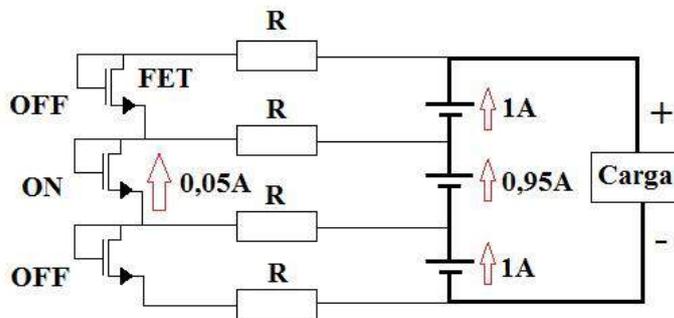
Os circuitos de balanceamento de células usados nas placas PCM são projetados com FET'S, como se fossem chaves liga-desliga, que podem desviar parte da corrente de cada célula, tanto na carga como na descarga (figuras 175 e 176). Com isso a placa PCM com a função de balanceamento consegue manter

todas as células sempre com tensão similar fazendo com que todas as células sejam carregadas e descarregadas até os valores máximos permitidos, conseguindo-se assim o desempenho máximo para o pack de baterias.



Balanceamento na Carga

Figura 175 - Placa de proteção de baterias Lítio íon – BMS – Balanceamento na carga



Balanceamento na descarga

Figura 176 - Placa de proteção de baterias Lítio íon – BMS – Balanceamento na descarga

Existem carregadores de balanceamento que monitoram cada grupo células em série e que promovem o balanceamento durante o processo de carga. Porém carregadores simples, que aplicam uma tensão no pack, não conseguem fazer com que todas as células sejam carregadas com a mesma tensão.

Algumas células ficarão sobrecarregadas, com tensão superior e outras ficarão com tensão inferior e um estado mais baixo de carga. Essas células vão ser drenadas ainda mais da próxima vez que o pack for descarregado, causando danos irreparáveis a essas células. Em seguida, as células de tensão mais elevada vão ser carregadas com mais de 4.2 V (a tensão adequada de carga completa para Lítio íon) ou 3.65 V (a tensão adequada de carga completa para LiFePO₄). Passar qualquer quantidade de tempo acima da tensão máxima, causará danos irreparáveis para as células. O desbalanceamento de células é também uma condição degenerativa. Como as células tornam-se desequilibradas, elas suportam uma quantidade desproporcional da carga, que faz com que elas se tornem mais desequilibradas até que a bateria se destrói.

O que podemos fazer para impedir que as células se tornem desequilibradas após muitos ciclos de carga? Uma opção é usar um carregador de balanceamento, como mencionado acima. Carregadores de balanceamento são comumente usados para baterias Li-Po. Os carregadores de balanceamento além de carregar os packs de baterias como um todo também possuem fios menores que são conectados a cada célula, ou grupo de células em paralelo. As placas BMS permitem que um carregador simples seja usado para carregar uma pack de baterias.

A placa BMS situa-se entre o carregador simples e as células de bateria e regula as células. Ela permite que a tensão total do pack de baterias fornecida pelo carregador simples, chegue nas células de maneira adequada.

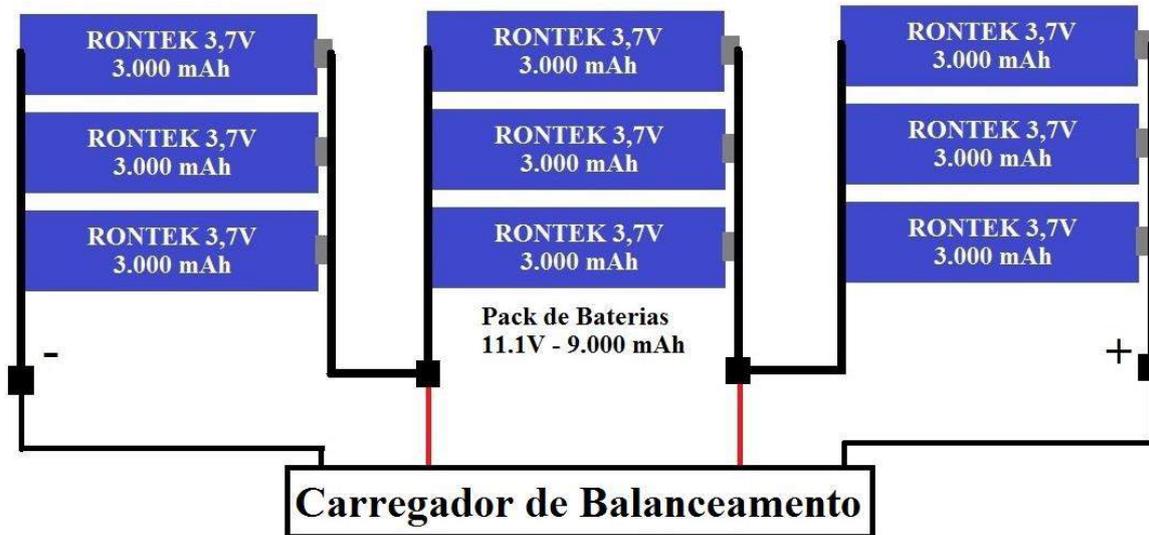


Figura 177 - Carregador de balanceamento

A placa BMS basicamente faz o trabalho de um carregador de balanceamento, mas em vez de residir no carregador, geralmente é instalada no interior da bateria sob a forma de uma placa de circuito separada.

Placas BMS maiores, por outro lado, muitas vezes têm seus próprios compartimentos em separado, para ajudar a dispersar o calor causado pelo processo de balanceamento.

O fato de que a BMS está sempre conectada à bateria fornece alguns benefícios significativos.

Quase todas as placas BMSs também possuem um circuito de proteção para descarga. Porque elas estão conectadas a cada célula ou grupo de células, elas monitoram a tensão de cada célula.

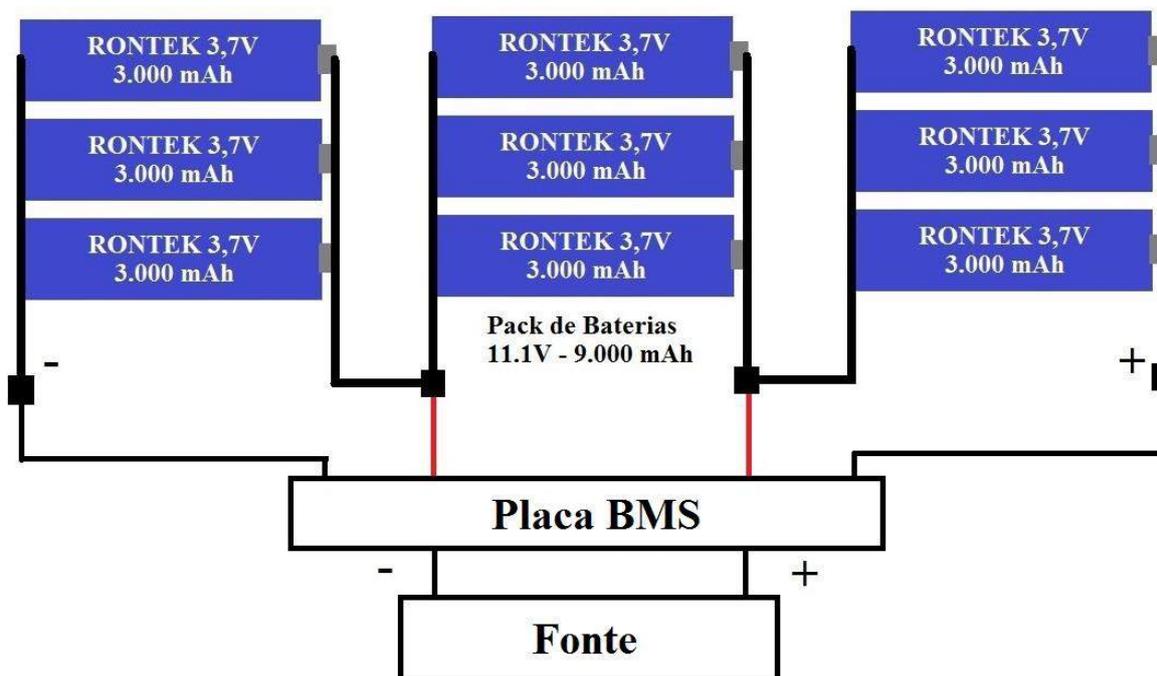


Figura 178 - Placa BMS de proteção

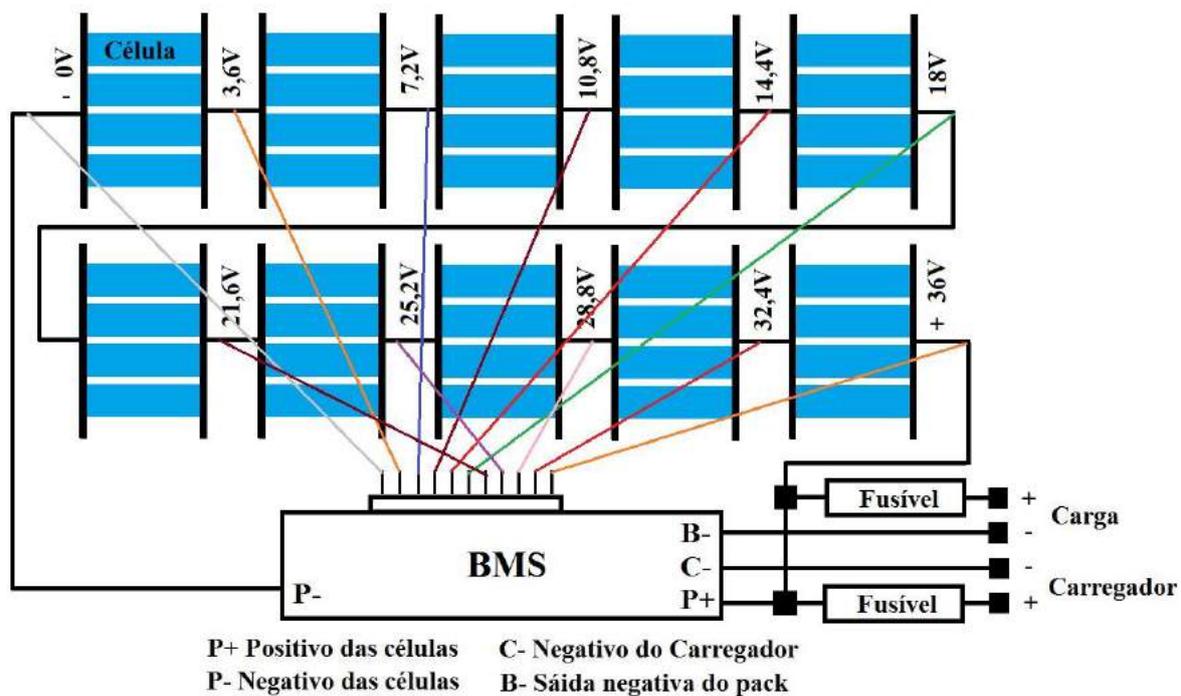


Figura 179 - Placa BMS com balanceamento

Sempre que a primeira célula atinge a tensão mínima de corte, a placa BMS vai cortar o circuito de descarga e interromper a descarga da bateria.

Isto protege as células da bateria de serem descarregadas além do mínimo o que produziria danos irreparáveis.

Além disso a placa BMS também protege o pack de baterias contra corrente de descarga excessiva. A placa BMS corta a energia da bateria se a carga da bateria exceder um determinado limiar. A placa BMS também protege contra curto-circuito.

Algumas placas BMS têm proteção térmica incorporada, onde uma sonda de temperatura monitora a temperatura instantânea e pode parar o processo de carga ou descarga, se a bateria ficar quente demais.

O sensor de temperatura é colocado contra as células da bateria, onde será mais sensível a um aumento repentino na temperatura da célula.

Uma das principais desvantagens das placas BMS é que elas podem falhar ocasionalmente, e quando isso acontece, muitas vezes ela causa o problema que ela foi construída para evitar.

Uma placa BMS que falha pode drenar lentamente as células em uma bateria, muitas vezes, a uma taxa que se torna imperceptível para o usuário. Isso pode resultar em danos nas células, tornando-as degradadas ou destruídas ao longo do tempo, ou muito rapidamente, dependendo do tipo de falha.

Baterias que são produzidas em massa com ênfase na redução de custos ou baterias de procedência desconhecida, são mais propensas a ter esses problemas devido a terem placas BMS baratas, com padrões de controle de qualidade pobre.

Às vezes, fabricantes tentam reduzir o custo das baterias já caras usando placas BMSs mais baratas. Isso resulta em uma morte prematura da bateria, quando a placa BMS de baixa qualidade falha. Packs de bateria de qualidade devem ter células de qualidade bem como placas BMS de qualidade.

- **Proteção contra temperatura excessiva**

A bateria não deve ser carregada quando a temperatura é inferior a 0°C ou superior a 45°C.

Em packs com muitas células, a placa BMS monitora a temperatura de várias células e controla a corrente de carga e descarga de forma a manter a temperatura em limites aceitáveis.

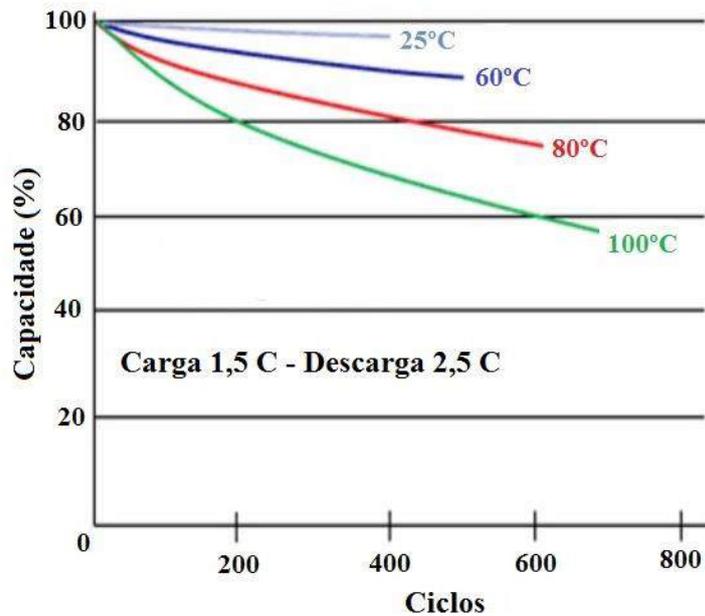


Figura 180 – Perda de capacidade da bateria em função da temperatura

As baterias de lítio íon são sensíveis à temperatura, pois afetam a vida, o desempenho (capacidade e resistência), a segurança e eventualmente o custo. As temperaturas mais altas degradam as baterias de lítio íon mais rapidamente (figuras 180 e 181).

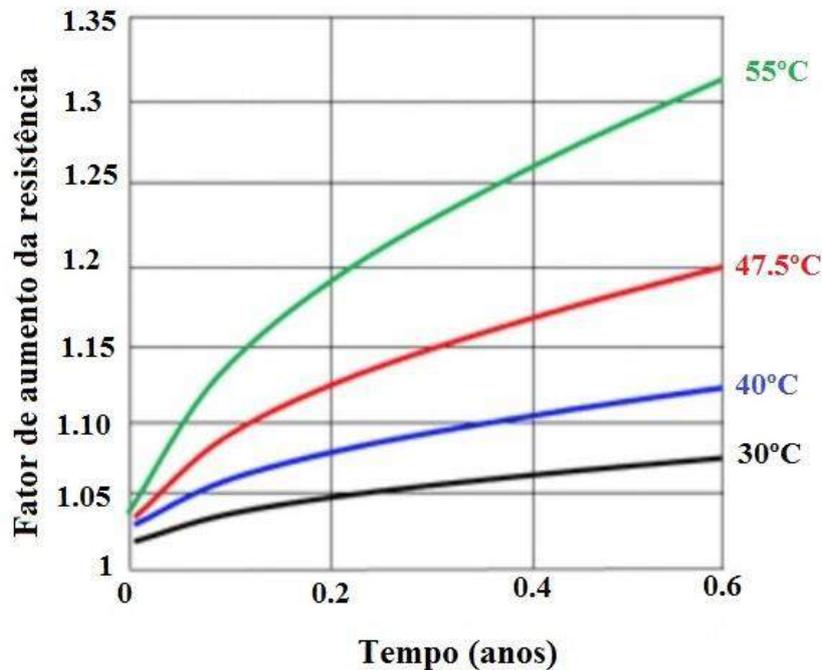


Figura 181 - Placa BMS com balanceamento

As baixas temperaturas reduzem os recursos de energia. O controle adequado da temperatura melhora a confiabilidade, a segurança e a capacidade. O gerenciamento térmico da bateria é necessário em packs com muitas células como nos carros elétricos. Manter as células na faixa de temperatura desejada, minimizar as variações de temperatura de célula a célula, impedir que a bateria fique acima ou abaixo dos limites aceitáveis, maximizar energia útil das células e do pack de baterias como um todo. Mapear as temperaturas dentro do pack de baterias ajuda a entender o comportamento térmico, cria diagnósticos e aprimora os projetos.

O perfil térmico dentro do pack de baterias de vários fatores:

- Geometria
- Condutividade térmica do gabinete e núcleo
- Localização dos terminais
- Projeto das interconexões
- Densidade de corrente
- Perfil de corrente
- Temperatura ambiente

A figura 182 mostra o mapeamento de temperatura num pack de 7,4V sendo descarregado com 80A. Deve-se notar que as células têm temperaturas diferentes dependendo da sua posição no pack. As conexões também têm temperaturas diferentes dependendo da corrente. As conexões mais quentes são aquelas que suportam maior corrente, ou seja, nos terminais de saída por onde circula a maior corrente.

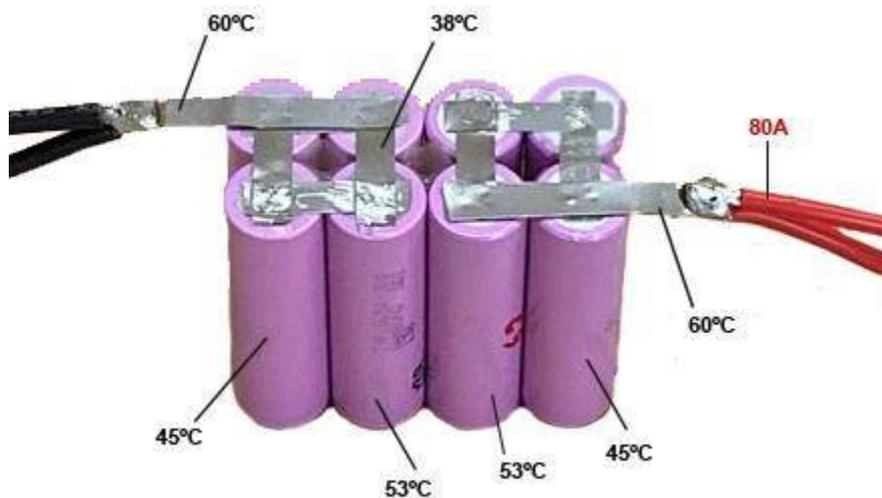


Figura 182 – Mapeamento de temperatura em pack

ESPECIFICAÇÃO DE PLACAS PCM

As especificações das placas BMS normalmente apresentam um esquema eletrônico do circuito da placa (figura 183), um esquema de ligações (figura 184) e uma tabela com as principais características (tabela 32).

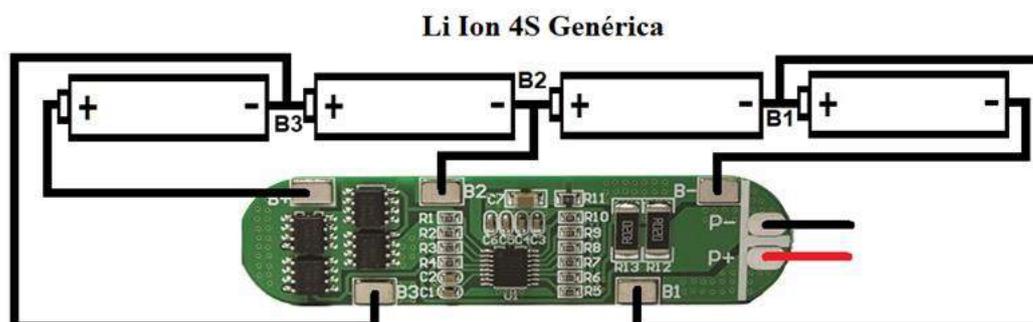


Figura 184 – Placa BMS – esquema de ligação

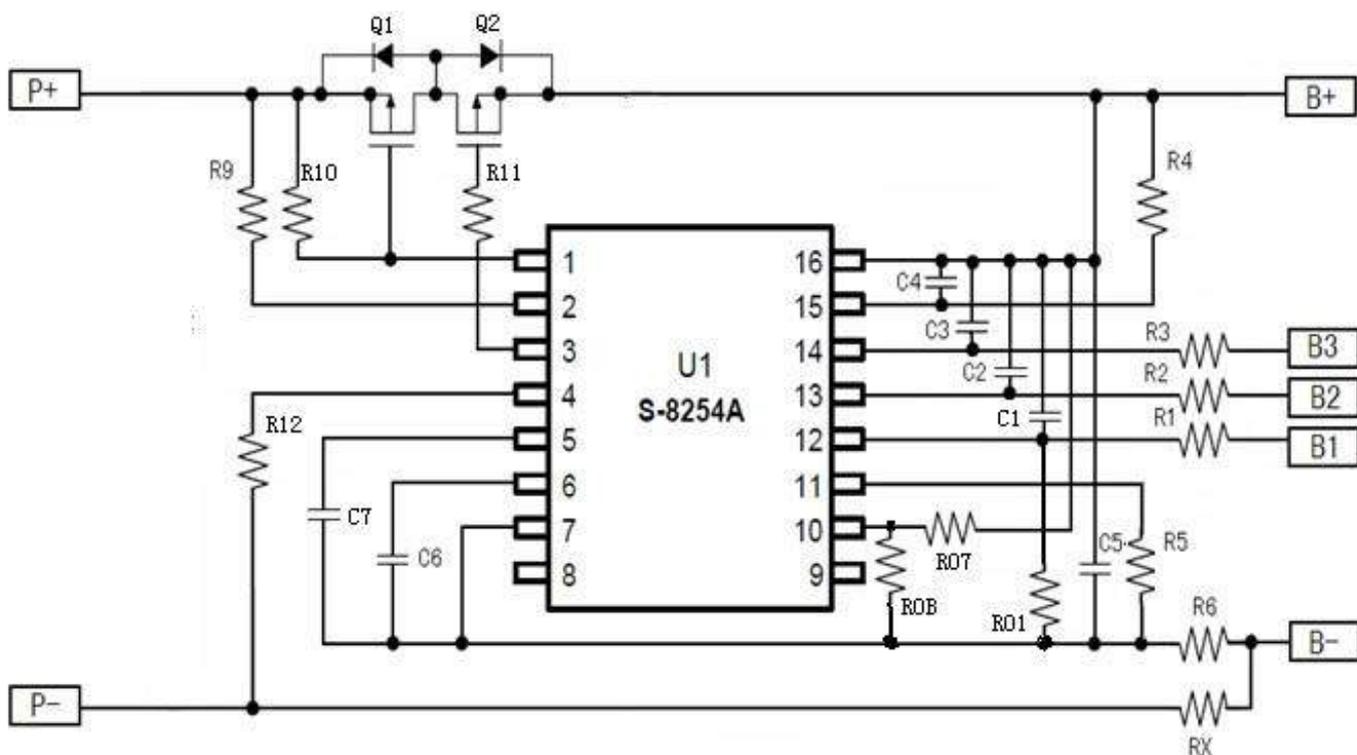


Figura 183 – Circuito eletrônico de placa BMS

Item	Conteúdo	Critério
Voltagem	Tensão de carregamento	$4.275V \pm 0.025V$
Corrente	Carga	2A
	Descarga	2A
	Pico de descarga	5A
Proteção contra sobrecarga	Voltagem de detecção de carga	$4,35 \pm 0,025V$
	Tempo de atraso de detecção de carga	0.5 ~ 2S
	Tensão de liberação de sobrecarga	$4.15 \pm 0.025V$
Proteção contra descarga	Voltagem de detecção de descarga	$2.40 \pm 0.05V$
	Tempo de atraso de detecção de descarga	50 ~ 200mS
	Tensão de término de descarga	$3.00V \pm 0.1V$
Proteção contra curto	Condição de detecção	Curto-circuito exterior
	Condição de liberação	Corta a carga, recupere
Dimensão (mm)		26,01x3,65x1,75

Tabela 32 - Placa BMS para 1 célula - especificações

14. EXEMPLO DE PROJETO DE PACK DE BATERIAS

O projeto adequado de um pack de baterias deve levar em consideração todos os fatores já mencionados neste livro.

Quanto mais células ou quanto maior é a corrente do pack de baterias, mais cuidadoso deve ser o projeto para que o pack de baterias seja seguro e tenha vida longa mantendo as especificações necessárias.

Na internet encontram-se muitos vídeos do tipo “faça você mesmo”, ou mesmo empresas sem um mínimo de condições técnicas oferecendo montagem de packs de baterias.

Fuja dessas empresas e procure sempre utilizar os serviços de empresas que tenham as melhores condições de engenharia para esse tipo de serviço.

A seguir à título de exemplo mostramos alguns dados de projeto de um pack de baterias de lítio íon, para substituir bateria de chumbo ácido de 12V / 7Ah usada na alimentação de equipamento eletrônico,

Um bom projeto de pack de baterias começa com uma boa especificação técnica.

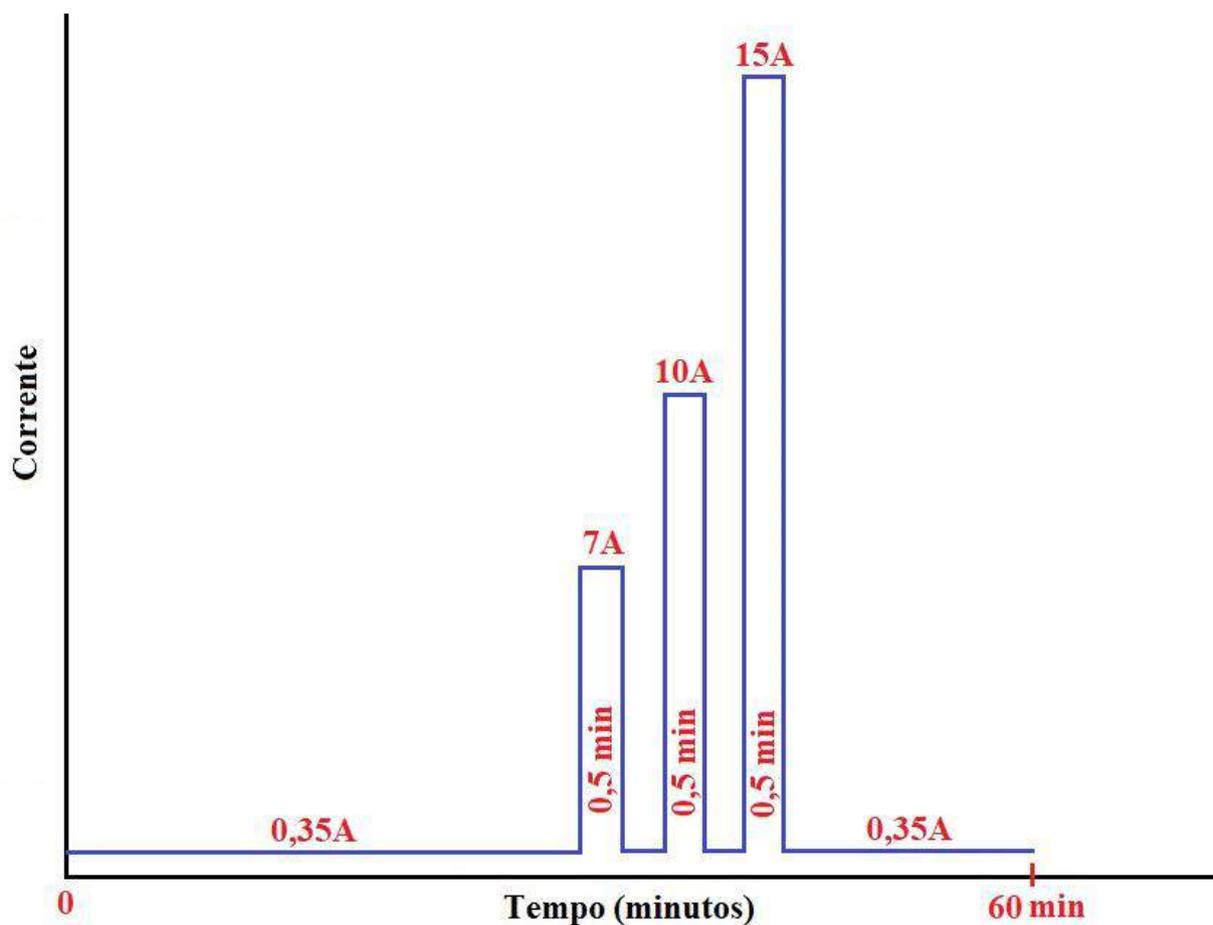


Figura 185 – Cálculo da corrente média no pack de baterias

O ideal é se conhecer o perfil de corrente que o pack de baterias deverá fornecer (figura 185).

As especificações técnicas do pack de baterias objeto de nosso exemplo são as seguintes:

- Aplicação do pack de baterias: Alimentação de equipamento eletrônico
- Tensão: 12V
- Capacidade mínima: 6.500 mAh – duração da energia da bateria de 10 horas

- Corrente nominal do equipamento: 350 mA
- Ciclo de trabalho horário:
 - 58,5 minutos com 350mA;
 - 0,5 minutos com 7 A;
 - 0,5 minutos com 10 A;
 - 0,5 minutos com 15 A
- Proteção térmica por NTC de 10KΩ
- Proteção de sobre corrente por PTC
- Proteção térmica por termostato – 2 fios de saída para contator
- Placa BMS para proteção
- Conector com 5 fios: Positivo, Negativo, NTC, Termostato fio 1, Termostato fio 2
- Temperatura Ambiente durante operação do pack de baterias: 30 °C

Os dados apresentados nessa especificação, são os dados mínimos que devem ser conhecidos para poder executar um bom projeto de packs de baterias.

O projeto deste pack foi feito usando o software de projeto de packs de baterias Probat – Versão 7.5 - desenvolvido pela empresa S.T.A. Sistemas e Tecnologia Aplicada.

O primeiro passo no projeto do pack é o cálculo da corrente média. Na figura 186 é mostrada a tela do software de cálculo, para cálculo da corrente média do pack de baterias.

<div style="text-align: center;"> ESPECIFICAÇÃO APAGAR TUDO ATUALIZAR ESPECIFICAÇÃO </div>		
CORRENTE (mA)	TEMPO (minutos)	mA.minuto
350	58,50	20475,00
7000	0,50	3500,00
10000	0,50	5000,00
15000	0,50	7500,00
TEMPO TOTAL (min)	60,00	
CORRENTE MÉDIA (mA)		607,92

Figura 186 – Cálculo da corrente média no pack de baterias

A corrente média para o ciclo de trabalho especificado é de 607,92 A com pico de corrente de 15 A por 0,5 minutos.

A figura 187 mostra a tela do software onde se inserem as especificações básicas do pack de baterias a ser calculado:

- Tensão (V)
- Capacidade (mAh)
- Corrente Média (mA)
- Corrente de Pico (mA)
- Largura Máxima (mm)
- Profundidade Máxima (mm)
- Altura Máxima (mm)

S.T.A.		APAGAR			SELECIONAR CÉLULAS			RECALCULAR		
ESPECIFICAÇÃO DO PACK					PACK CALCULADO FALTAM DADOS					
TENSÃO (V)	CAPACIDADE (mAh)	CORRENTE (mA)			TENSÃO (V)	CAPACIDADE (mAh)	CORRENTE MÉDIA (mA)			
12,0	6.500	608								
CORRENTE DE PICO (mA)	ENTRAR COM CICLO	L mm	P mm	A mm	CORRENTE DE PICO (mA)	DURAÇÃO (h)	L mm	P mm	A mm	
15.000		120	65	90						

Figura 187 – Tela com as especificações básicas do pack de baterias

A figura 188 mostra a tela do software onde se selecionam as células possíveis de serem utilizadas no pack de baterias.

Para este pack de baterias foi selecionada a célula código 35752, de LiFePO₄ com 3,2V – 3.300 mAh – 3C

Células	ATUALIZAR		SELECIONAR CÉLULA (ctrl a)		SELECIONAR TUDO		
	ESPECIFICAÇÃO		CÉLULAS SELECIONADAS		FAZER SIMULAÇÕES PRÉVIAS		
				SIMULAÇÕES			
Código	Item	Descrição					
35751	RTLFP018650-1500-3C	BATERIA RECARREGÁVEL LITIO FOSFATO DE FERRO 3,2V 1500MAH 18X65M 3C					
35752	RTLFP026650-3300-3C	BATERIA RECARREGÁVEL LITIO FOSFATO DE FERRO 3,2V 3300MAH 26X65M 3C					
35753	RTLFP014500B-600-3C	BATERIA RECARREGÁVEL LITIO FOSFATO DE FERRO 3,2V 600MAH 14X50MM 3C C/TOP					
36046	RTLFP032650-5000-5C	3,2V-5000MAH LIFEPO4- 5C PARA FERRAMENTAS - 32650 - 32,30 x 70,43mm					
36049	RTLFP018650-1500-5C	3,2V-1500MAH LIFEPO4 5C PARA FERRAMENTAS - 18650 - 18x65 mm					
36084	RTLFP026650-3000-CP	3,2V - 3000MAH LITIO FOSFATO DE FERRO 26X65M C/ PCM					
36085	RTLFP026650-3000-SP	3,2V - 3000MAH LITIO FOSFATO DE FERRO 26X65M S/ PCM					

Figura 188 – Tela para a seleção das células a serem utilizadas

S.T.A.		APAGAR			SELECIONAR CÉLULAS			RECALCULAR		
ESPECIFICAÇÃO DO PACK					PACK CALCULADO OK					
TENSÃO (V)	CAPACIDADE (mAh)	CORRENTE (mA)			TENSÃO (V)	CAPACIDADE (mAh)	CORRENTE MÉDIA (mA)			
12,0	6.500	608			12,8	6.600	608			
CORRENTE DE PICO (mA)	ENTRAR COM CICLO	L (mm)	P (mm)	A (mm)	CORRENTE DE PICO (mA)	DURAÇÃO (h)	L (mm)	P (mm)	A (mm)	
15.000		120	65	90	19.800	10,86	104	52	65	
NUM. MÓDULOS	TIPO DE MÓDULO	TIPO MONTAGEM			TIPO FIOS DE SAÍDA	MONT. NORMAL/DE	OFFSET (V)			
4	1S-2P	01A-02C			DC	N				
CÓDIGO ? CÉLULA	MODELO CÉLULA	TIPO CÉLULA			TENSÃO CÉLULA (V)	CAPACIDADE CÉL. (mAh)	COR. MÁX. CÉLULA (mA)			
35752	RTLFP02665 0-3300-3C	LF-3.2			3,2	3.300	9.900			
LARGURA CÉLULA (mm)	PROFUND. CÉLULA (mm)	ALTURA CÉLULA (mm)			PESO CÉLULA (g)	PREÇO CÉLULA (US\$)	PREÇO PACK (US\$)			
26	26	65			85	8,74				

Figura 189 – Tela com os dados do pack de baterias calculado pelo software

A figura 189 mostra a tela do software com os dados do pack de baterias calculado levando em consideração a célula escolhida e as especificações técnicas fornecidas pelo cliente.

O pack de baterias calculado pelo software tem as seguintes características:

- Tensão: 12,8V
- Capacidade: 6.600 mAh
- Corrente média: 607,92 mA
- Corrente de pico: 19,8 A
- Duração da Energia do pack de baterias com corrente média de 607,94 mA: 10,86 horas
- Dimensões: 104 x 52 x 65 mm
- Peso: 680 g
- Número de Células: 8
- Ligação das células: 4S-2P (4 em série – 2 em paralelo)

Uma bateria de chumbo ácido de 12V / 7Ah possui dimensões de 151 x 65 x 94 mm e peso de 2,1 kg. Portanto o pack de baterias calculado pelo software é menor e bem mais leve que uma bateria selada comum.

A etapa seguinte do projeto, envolve a escolha dos elementos de proteção do pack de baterias. A figura 190 mostra a tela do software onde essa escolha é feita. Nessa tela também são escolhidos os fios e conectores do pack de baterias.

ACESSÓRIOS			POSIÇÃO ACESSÓRIOS					CONECTOR DE SAÍDA +/-				CONECTOR ACESSÓRIOS					
MODELOS			POSIÇÃO PTC'S					CÉLULAS SAÍDA B+		CÉLULAS SAÍDA B-		NTC - CONECTOR					
PCM	NTC	FUSIST	PTC 1	PTC 2	PTC 3	PTC 4	PTC 5	PTC 6	PTC 7	PIN	COR	PIN	COR	PIN	COR	PIN	COR
35768	35795		2											4	AZ	5	AZ
PTC		TERMOST.	POSIÇÃO TERMOSTATO					PCM SAÍDA P+		PCM SAÍDA P-		SE PIN=0 - LIGA NO NEGATIVO					
35804		35943						PIN	COR	PIN	COR	TERMOSTATO - CONECTOR					
PVC		CONECTOR	POSIÇÃO FUSISTOR					1	VM	2	PT	PIN	COR	PIN	COR		
35871		36371						PCM SAÍDA °C				7	AM	8	AM		
FIOS CM	FIOS	CAPAC.	CAPACITOR DE ALTO PULSO					PIN	COR	SE PIN=0 - LIGA NO NEGATIVO							
20	36401																
TAGS		DIODO															
35964																	

Figura 190 – Tela do software para escolha dos acessórios de proteção

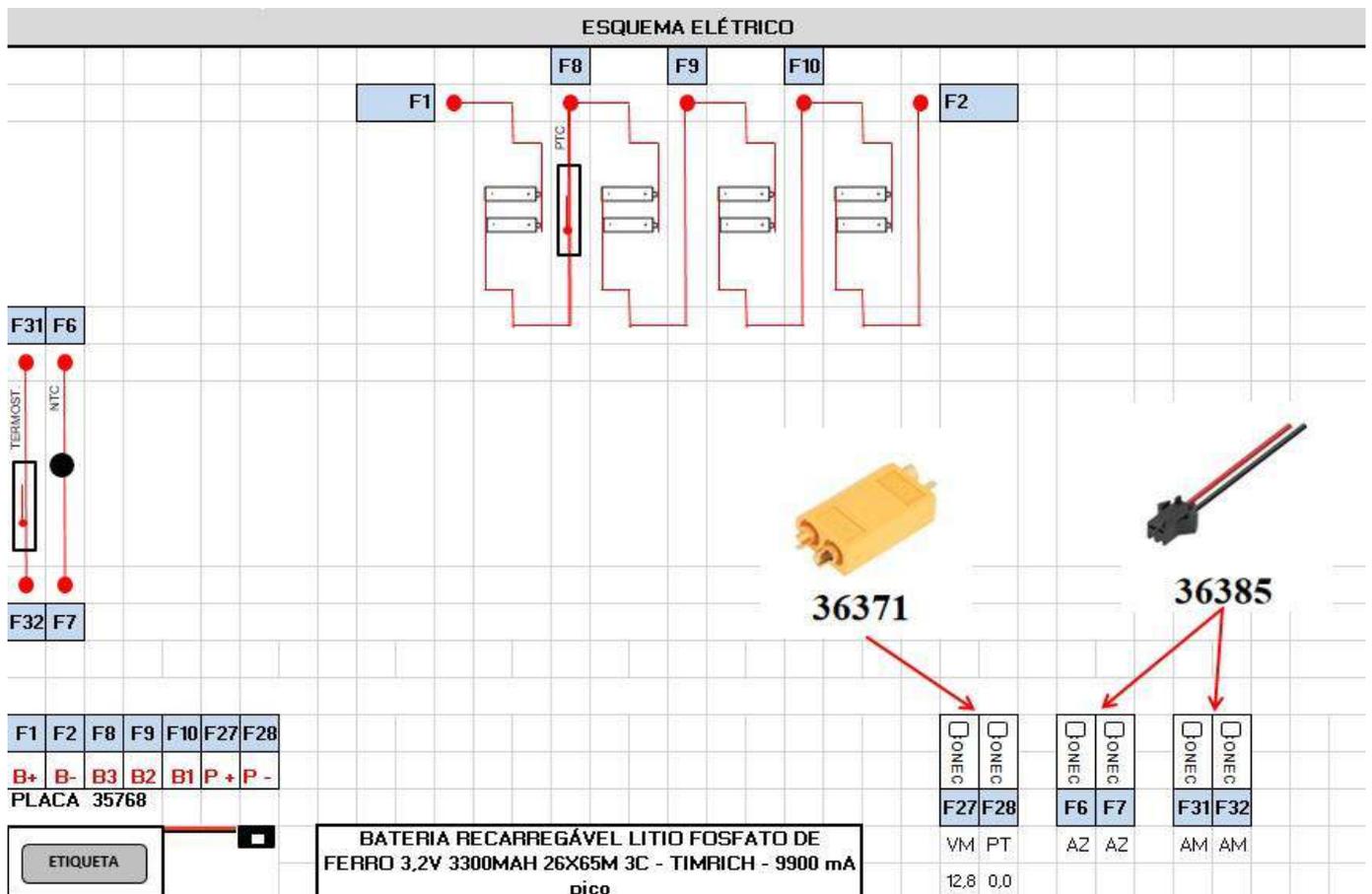


Figura 191 – Desenho elétrico do pack de baterias

ESQUEMA DE MONTAGEM - VISTA SUPERIOR - CORTES & FOTOS

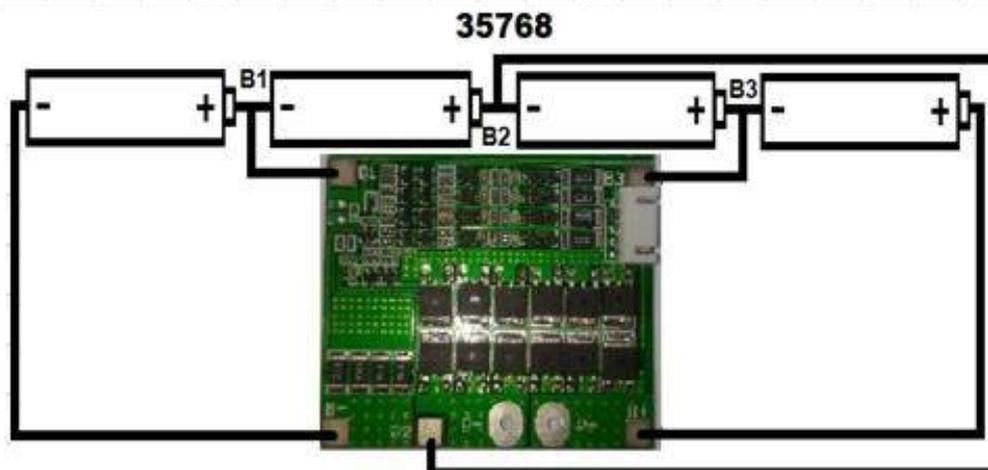
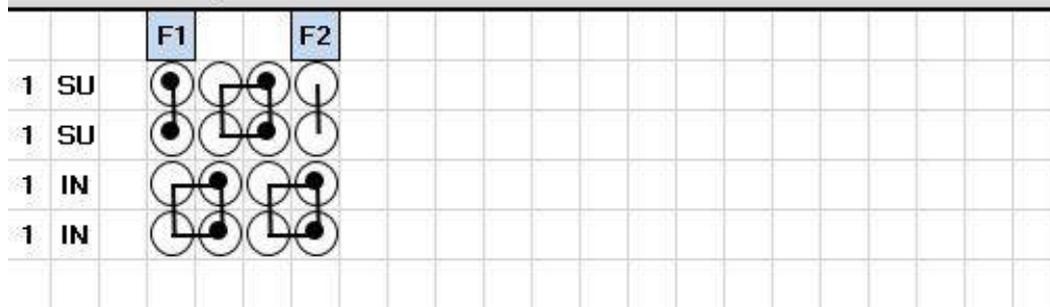


Figura 192 – Esquema de montagem do pack de baterias

As figuras 191 e 192 mostram os esquemas elétricos e diagramas de montagem do pack de baterias. A figura 193 mostra a folha de dados do pack projetado.

ESPECIFICAÇÕES											
TENSÃO DO PACK (V):	12.8			PCM:	X	SIM		NÃO	CORRENTE CONTÍNUA PCM:	30A	
CAPACIDADE (mAh):	6.600	3.00	C	MODELO PCM:	35768-30A-35A-BX				CORRENTE MAX DESCARGA PCM:	35A	
NÚMERO DE CÉLULAS:	8			TERMOSTATO:	X	SIM		NÃO	TESTE DE AMOSTRA PIHOMOLOGAÇÃO		
CÓDIGO DA CÉLULA:	35752			MOD.TERMOSTATO:	35943-65°C-5A				TEMPERATURA DE TESTE(°C):		
MODELO DA CÉLULA:	RTLFPQ26650-3300-3C			FUSISTOR:		SIM	X	NÃO	TEMPO CARGA(horas)		
ALTURA MÁXIMA (mm):	65			MODELO FUSISTOR:					CORRENTE CARGA(mA):		
LARGURA MÁXIMA (mm):	104			CAPACITOR:		SIM	X	NÃO	CAPACIDADE CARGA(mAh):		
PROFUND. MÁX. (mm):	52			MODELO CAPACITOR:					TEMPO DESCARGA(horas)		
COMPRIMENTO FIO (cm):	20			DIODO:		SIM	X	NÃO	CORRENTE DESCARGA(mA):		
BITOLA FIO (AWG):	22AWG-200°C-8A			MODELO DIODO:					CAPAC. DESCARGA(mAh):		
CONECTOR:	X	SIM		NÃO	CAPA PVC:	35871-PT-Ø95.4				APROVAÇÃO PELO CLIENTE	
MODELO CONECTOR:	36371			TAGS DE SAÍDA:	X	SIM		NÃO	ASSINATURA/CARIMBO		
NTC:	X	SIM		NÃO	MEDIDA DO TAG:	FITA 0.15x4mm NI 6A					
MODELO NTC:	35795-10K			ETIQUETA:	X	SIM		NÃO			
PTC:	X	SIM		NÃO	CÓDIGO DE BARRAS:					NOME:	
MODELO PTC:	35804-9A-16,7A			TEMP. MAX(°C)	60						

Figura 193 – Especificações do pack de baterias

A figura 194 mostra uma foto do pack montado, onde pode-se observar a placa PCM e o termostato.

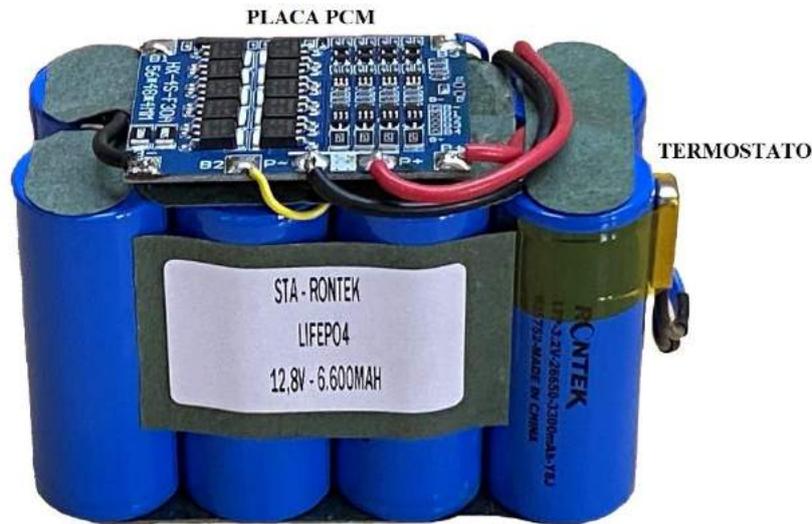


Figura 194 – Foto do pack de baterias calculado

TESTES EM PACKS DE BATERIA

Após a fabricação, os packs de baterias devem ser submetidos a testes de controle de qualidade.

Muitos são os testes que podem ser feitos numa bateria. Alguns testes são bastante rápidos e podem assegurar que o pack de baterias está em boas condições operacionais a menos da sua capacidade.

Por outro lado, a medida da capacidade do pack de baterias (mAh) normalmente demanda várias horas de ensaio, o que torna esse tipo de teste bastante difícil de ser efetuado em todos os packs de baterias que são fabricados.

Empresas idôneas testam 100% de sua produção através de testes rápidos e medem a capacidade de algumas amostras para cada lote fabricado.

O pack de baterias da figura 194, foi submetido a vários testes de controle de qualidade e desempenho.

Os equipamentos utilizados nesses testes foram:

- Carga Eletrônica (figura 195)
- Fonte Regulável de Tensão ICEL 0-32V e 0-6 A (figura 196)
- Analisador de Baterias (figura 197)



Figura 195 – Carga Eletrônica Regulável



Figura 196 – Teste de recarga rápida



Figura 197 – Analisador de baterias

Apresentamos os testes feitos e os respectivos resultados:

- **Medida da tensão em vazio de pack de baterias**

A medida da tensão em vazio do pack de baterias dá uma ideia aproximada do estado de carga.

Para baterias de lítio íon uma célula plenamente carregada estará com uma tensão em vazio em torno de 4,2V e uma célula completamente descarregada estará com uma tensão em vazio ao redor de 3V.

Para baterias de lítio ferro uma célula plenamente carregada estará com uma tensão em vazio em torno de 3,6V e uma célula completamente descarregada estará com uma tensão em vazio ao redor de 2,5V.

RESULTADO: Tensão do pack de baterias em vazio: 14.39 V

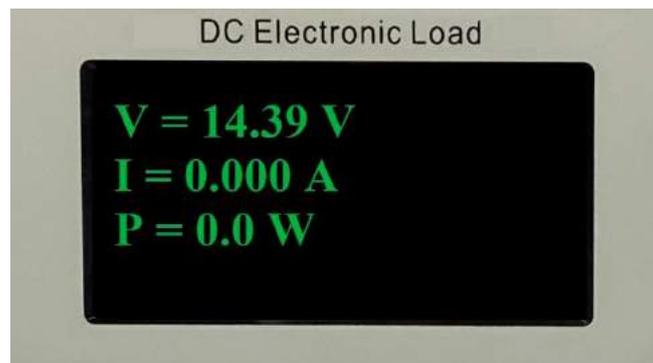


Figura 198 – Teste para medida da tensão em vazio do pack de baterias

A simples medida da tensão em vazio de um pack de baterias não assegura que ele esteja em boas condições de funcionamento. Para assegurar que o pack de baterias está em boas condições operacionais é necessário fazer testes de descarga.

- **Teste de descarga rápida 1C**

As células fornecidas pelos fabricantes normalmente são entregues com carga parcial. Então um pack de baterias logo após ser fabricado estará num estado de carga intermediário. Considerando isso, se pode fazer um teste rápido de descarga para verificar se a bateria mantém a sua tensão mesmo sob carga. O pack de baterias é conectado a uma carga eletrônica e a corrente é ajustada de início para 1C. Deixa-se o pack de baterias nessa condição por 1 minuto e mede-se a tensão do pack em carga.

RESULTADO: Tensão do pack de baterias com carga de 1C (6.600 mA), após 1 min.: 13,33 V

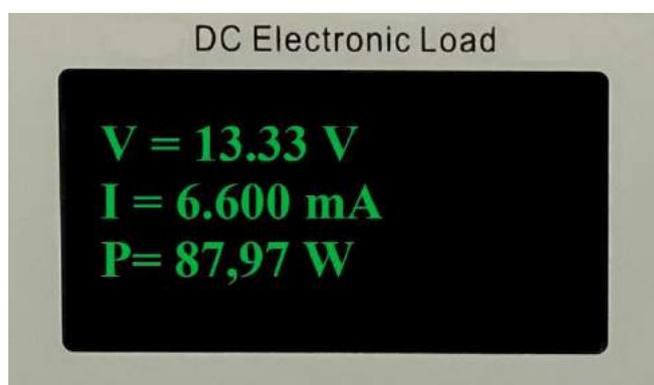


Figura 199 – Teste de descarga rápida 1C

- **Teste de descarga rápida com corrente de pico**

Um dos testes rápidos mais eficazes é submeter o pack de baterias a uma descarga de 1 minuto na corrente máxima

RESULTADO: Tensão do pack de baterias com carga de 1C (19.800 mA), após 1 min.: 13,10 V

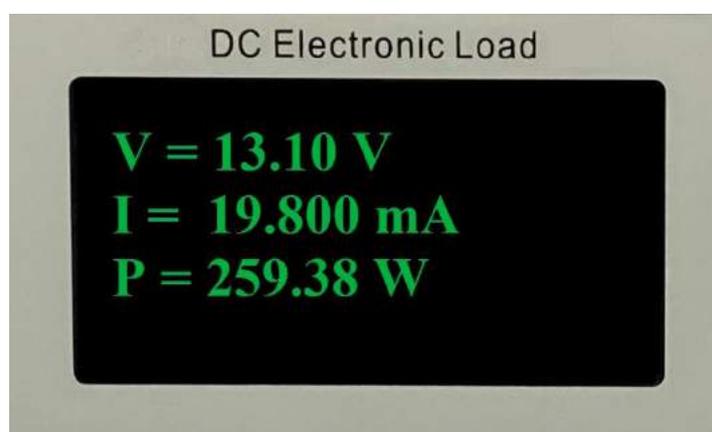


Figura 200 – Teste de descarga rápida – corrente máxima

- **Teste de carga rápida**

A descarga feita no ensaio anterior provoca uma queda na tensão no pack de baterias.

Se o pack baterias estiver em boas condições operacionais, uma carga com uma corrente de 1C durante 1 minuto deve ser capaz de fazer a tensão do pack subir até o valor que estava antes do ensaio de descarga. Após algum tempo a corrente inicial cai, indicando que o pack está sendo carregado

RESULTADO: Tensão do pack de baterias após ser carregado com 1C, após 1 minuto: 14,33 V. Corrente inicial de 3,57 A e após 1 minuto de 2,97 A.



Figura 201 – Teste de recarga rápida

- **Medida da Capacidade do pack**

Este teste é bem demorado e exige a utilização de um analisador de baterias

Os passos do ensaio de medida de capacidade são:

- **Passo# 1**

Função: Carga

Corrente: 5000 mA

Tensão Máxima de Carga: 14.6 V

Temperatura Limite: 60 °C

Variação de Temperatura Limite: 2 °C/Minuto

Tempo Máximo de Carga: 420 Min

- **Passo# 2**

Função: Pausa

Duração da Pausa: 60 Min

- **Passo# 3**

Função: Descarga

Corrente: 5000 mA

Tensão Mínima na Descarga: 8 V

Temperatura Limite na Descarga: 60 °C

Tempo Máximo de Descarga: 420 Min

- **Passo# 4**
Função: Pausa
Duração da Pausa: 60 Min
- **Passo# 5**
Função: Carga
Corrente: 5000 mA
Tensão Máxima de Carga: 14.6 V
Temperatura Limite: 60 °C
Variação de Temperatura Limite: 2 °C/Minuto
Tempo Máximo de Carga: 420 Min

Resultados Obtidos:

PASSO	DURAÇÃO (horas)	RESULTADO
#1 – CARGA INICIAL	07:00:00	822 mAh
#2 – PAUSA	01:00:00	
#3 – DESCARGA	01:18:47	6565 mAh
#4 – PAUSA	01:00:00	
#5 – CARGA FINAL	07:00:00	6637 mAh
6 – PAUSA	01:00:00	

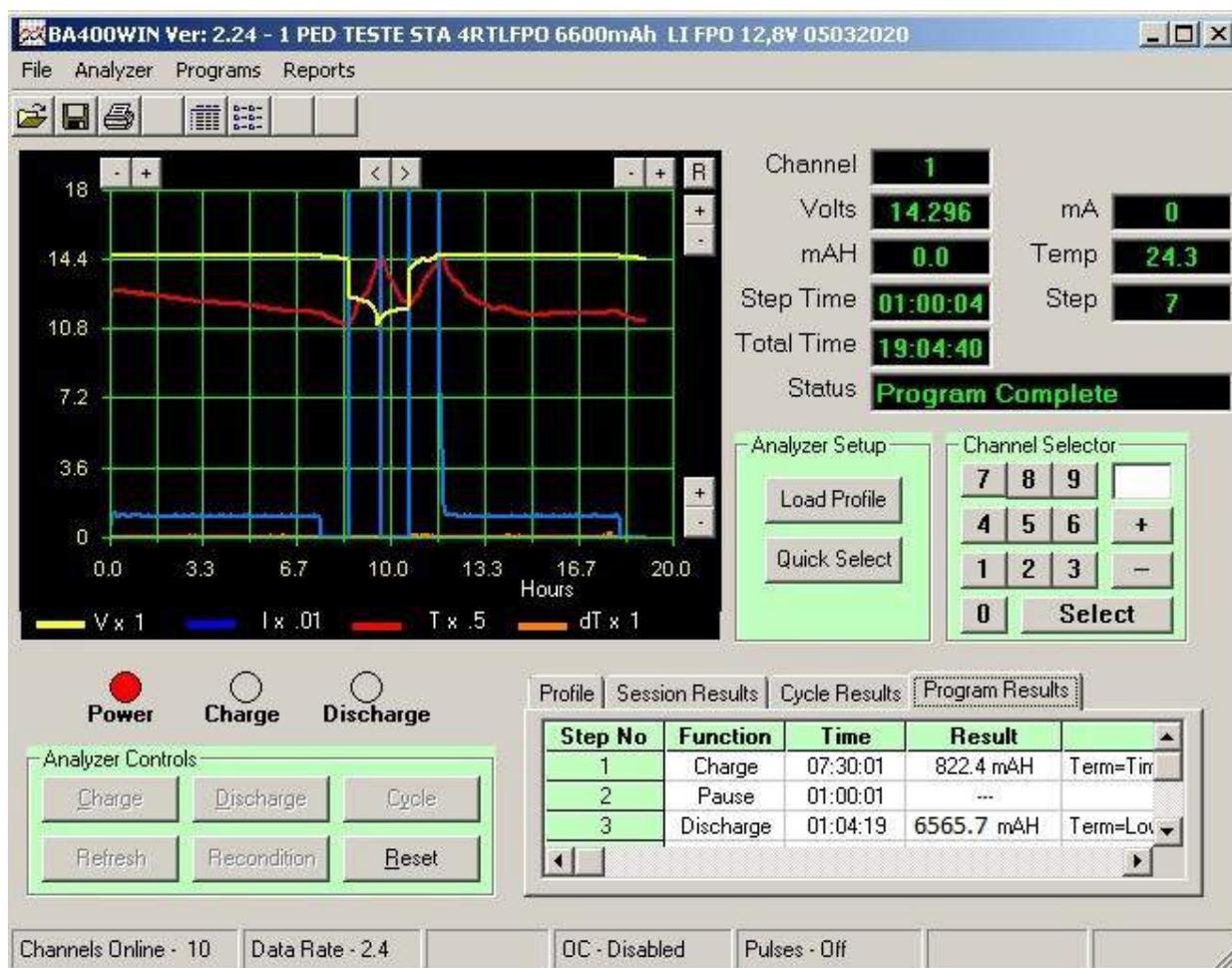


Figura 202 – Tela Analisador de baterias

- **Medida da resistência interna**



Figura 203 – Medida de resistência interna

A medida da resistência interna do pack de baterias é bastante útil pois se os valores obtidos forem muito diferentes dos valores médios para um determinado pack específico, isso pode indicar defeitos de montagem ou mesmo células defeituosas.

Além desses testes, existem outros que são feitos para avaliar situações específicas do pack de baterias:

RESULTADO: 48 mΩ

- **Medida de temperatura do pack de baterias durante a descarga na corrente de pico**

Para packs de baterias de alta corrente se deve medir a temperatura na corrente de descarga máxima, após alguns minutos, em várias partes, especialmente nas células e placa PCM.

RESULTADO: 55°C nas células e 71°C na placa PCM



Figura 204 – Medida da temperatura na corrente máxima de descarga

Como boa parte da literatura técnica disponível é no idioma Inglês, para cada termo em Português, colocaremos o seu equivalente em Inglês.

Acumulador (Accumulator). Uma bateria galvânica que, após a descarga, pode ser restaurada para o estado carregado pela passagem de uma corrente elétrica através da célula na direção oposta da descarga. O mesmo que bateria recarregável. O mesmo que bateria secundária.

Ampère-hora (Ampere-Hour Capacity). A quantidade de energia elétrica medida em Ampère-hora (Ah), que pode ser entregue por uma célula ou bateria ou a quantidade de energia elétrica necessária para restaurar o estado inicial de carga da bateria.

Ânion (Anion). Íon no eletrólito carregando carga negativa.

Ânodo (Anode). O eletrodo em uma célula eletroquímica onde ocorre a oxidação. Durante a descarga, o eletrodo negativo da célula é o ânodo. Durante a carga, a situação inverte e o eletrodo positivo da célula é o ânodo.

Auto descarga (Self-Discharge). A perda de capacidade útil de uma célula ou bateria devido a reações químicas internas quando a bateria está armazenada fora de uso.

Balanceamento (Equalization). O processo de restauração de todas as células em uma bateria para um estado de carga igual.

Bateria (Battery). Uma ou mais células eletroquímicas conectadas eletricamente em uma disposição em série ou paralelo, para fornecer os níveis de tensão e corrente de operação necessários incluindo, se houver, monitores, controles e outros componentes auxiliares (fusíveis, diodos), caixas, terminais e marcações.

Bateria em Espera (Standby Battery). Uma bateria projetada para uso de emergência em caso que a potência principal falha.

Bateria Estacionária (Stationary Battery). Uma bateria secundária projetada para uso em um local fixo.

Bateria Recarregável (Rechargeable Battery). Uma bateria galvânica que, após a descarga, pode ser restaurada para o estado carregado pela passagem de uma corrente elétrica através da célula na direção oposta à da descarga.

Bateria Secundária (Secondary Battery). Bateria recarregável

Bateria Tracionária (Traction Battery). Uma bateria recarregável projetada para a propulsão de veículos elétricos ou equipamentos móveis operados eletricamente operando em um regime de ciclo profundo.

Capacidade (Capacity). O número total de Ampère-hora (Ah) que pode ser retirado de uma bateria carregada ou bateria em condições específicas de descarga. A capacidade de uma bateria é a corrente que se pode tirar de uma bateria num dado período de tempo ou em outras palavras, a energia que se pode tirar de uma bateria. Mede-se em ampère-hora (Ah) ou miliampère-hora (abreviada mAh). Por exemplo, uma bateria de 1.300 mAh pode alimentar uma carga com 65 mA durante 20 horas ($65 \text{ mA} \times 20 \text{ horas} = 1.300 \text{ mAh}$). Da mesma forma, uma bateria de 1.300 mAh pode alimentar uma carga com 13 mA durante 100 horas ($13 \text{ mA} \times 100 \text{ horas} = 1.300 \text{ mAh}$).

Capacidade disponível (Available Capacity). A capacidade total (Amp-horas) que será obtida a partir de uma célula ou bateria a taxas de descarga definidas e outras condições de descarga ou operação especificadas.

Capacidade Nominal (Rated Capacity). O número de Ampère-horas que uma bateria pode fornecer em condições específicas.

Capacidade Wh (Watt-hour Capacity). A quantidade de energia elétrica medida em Wh (watt hora) que pode ser entregue por uma célula ou bateria sob condições especificadas.

Carga (Charge). A conversão de energia elétrica, fornecida sob a forma de uma corrente de uma fonte externa, em energia química dentro de uma célula ou bateria.

Carga (Load). Dispositivo elétrico ou eletrônico que uma vez conectado na bateria drena sua energia.

Carga de Corrente Constante (Constant Current Charge). Um método de carregar a bateria usando uma corrente constante ou que tenha pequena variação.

Carga de Flutuação (Float Charge). Um método para manter uma bateria em uma condição carregada continuamente. Carga a longo prazo de tensão constante, a um nível suficiente para equilibrar a auto descarga.

Carga de Tensão Constante (Constant Voltage Charge). Um método de carregar a bateria aplicando uma tensão fixa, E permitindo variações na corrente. Também chamado de carga de potencial constante.

Carga Pulsada (Trickle Charge). Uma carga a baixa taxa, equilibrando perdas através de uma ação local e / ou descarga periódica, para manter uma bateria em uma condição totalmente carregada.

Carga Rápida (Fast Charge). Uma taxa de carga que retorna à capacidade total de uma bateria recarregável, geralmente dentro de uma hora.

Cátion (Cation). Íon no eletrólito que carrega uma carga positiva.

Cátodo (Cathode). O eletrodo em uma célula eletroquímica onde a redução ocorre. Durante a descarga, o eletrodo positivo da célula é o catodo. Durante a carga, a situação inverte e o eletrodo negativo da célula é o catodo.

Célula (Cell). A unidade eletroquímica básica que fornece uma fonte de energia elétrica por meio de conversão de energia química. A célula consiste em uma montagem de eletrodos, separadores, eletrólito, recipiente e terminais,

Célula ou Bateria Primária (Primary Cell or Battery). Uma célula ou bateria que não pode ser recarregada e é descartada quando a célula ou bateria fornecem toda a sua energia elétrica.

Célula Prismática (Prismatic Cell). Célula em formato de paralelepípedo.

Célula com Válvula (Vented Cell). Um projeto de célula incorporando um mecanismo de ventilação para aliviar a pressão excessiva e expulsar gases gerados durante a operação ou abuso da célula.

Ciclo (Cycle). A descarga e a carga subsequente ou anterior de uma bateria secundária, tal como quando é restaurada nas suas condições originais.

Ciclo de Vida (Cycle Life). O número de ciclos em condições especificadas que estão disponíveis a partir de uma bateria secundária antes que ela não atenda aos critérios especificados quanto ao desempenho.

Ciclo de Trabalho (Cycle Service). Um ciclo de funcionamento caracterizado por sequências de carga e descarga frequente e geralmente profunda.

Ciclo de Funcionamento (Duty Cycle). O regime operacional de uma célula ou bateria incluindo fatores como taxas de carga e descarga, profundidade da descarga, duração do ciclo e duração do tempo em modo de espera.

Coletor de Corrente (Current Collector). Um membro inerte de alta condutividade elétrica usado para conduzir corrente de ou para um eletrodo durante a descarga ou carga.

Condicionamento (Conditioning). Ciclo de carga e descarga numa bateria para garantir que seja totalmente carregada. Às vezes é indicado quando uma bateria é colocada em serviço pela primeira vez ou retornou ao serviço após um armazenamento prolongado.

Controle de Carga (Charge Control). Técnicas de controle de carga para encerrar efetivamente o carregamento de uma bateria recarregável

Corrente de Curto Circuito (Short-Circuit Current). O valor inicial da corrente obtida de uma bateria em um circuito de resistência insignificante.

Densidade (Density). A proporção entre uma massa de material e o seu próprio volume a uma temperatura especificada.

Densidade de Corrente (Current Density). A área ativa atual por unidade de superfície de um eletrodo.

Densidade de Energia (Energy Density). A proporção da energia disponível em uma bateria e o seu volume (Wh / l).

Densidade de Potência (Power Density). A proporção entre a potência disponível de uma bateria e o seu volume (W / L).

Descarga (Discharge). A conversão da energia química de uma célula ou bateria em energia elétrica que é retirada da bateria e transferida a uma carga.

Descarga Profunda (Deep Discharge). Retirada de pelo menos 80% da capacidade nominal de uma bateria.

Descarga Rasa (Shallow Discharge). Uma descarga em uma bateria secundária que equivale apenas a uma pequena parte de sua capacidade total.

Eletrodo (Electrode). A área ou local em que os processos eletroquímicos ocorrem.

Eletrodo Positivo (Positive Electrode). O eletrodo que atua como um cátodo quando uma célula ou bateria está descarregando.

Eletrólito (Electrolyte). O meio que fornece o mecanismo de transporte iônico entre os eletrodos positivo e negativo de uma célula.

Efeito Memória (Memory Effect). Um fenômeno em que uma célula, operada em sucessivos ciclos de carga e descarga incompleta, perde temporariamente o resto da sua capacidade em níveis de tensão normais.

Energia Específica (Specific Energy). A proporção entre a energia produzida por uma célula ou bateria e o seu peso (Wh / kg).

Envelhecimento (Aging). Perda permanente de capacidade devido ao uso repetido ou à passagem do tempo.

Estado de Carga (State-of-Charge - SOC) A capacidade disponível em uma bateria expressa em porcentagem da capacidade nominal.

Fuga Térmica (Thermal Runaway). Uma condição em que uma bateria em carga ou descarga superaquecerá e se destruirá através da geração interna de calor causada por alta sobrecarga ou descarga excessiva ou outra condição abusiva.

Gravidade Específica (Specific Gravity). A gravidade específica de uma solução é a proporção do peso da solução para o peso de um volume igual de água a uma temperatura especificada.

Ligação Paralela (Parallel). O termo ligação paralela é usado para descrever a interconexão de células ou baterias em que todos os terminais similares estão conectados entre si. A capacidade da bateria

resultante é a soma das capacidades individuais de cada célula. A tensão da bateria resultante é a mesma de cada célula.

Ligação em Série (Series). A interconexão de células ou baterias de tal maneira que o terminal positivo da primeira está conectado ao terminal negativo da segunda, e assim por diante. A tensão da bateria resultante é a soma das tensões de cada célula. A capacidade da bateria resultante é a mesma de cada célula.

Passivação (Passivation). Passivação é a modificação do potencial de um eletrodo no sentido de menor atividade (mais catódico ou mais nobre) devido a formação de uma película de produto de corrosão. Os metais e ligas metálicas que se passivam são os formadores de películas protetoras.

Perda de Capacidade (Capacity Fade). Perda gradual de capacidade de uma bateria secundária com ciclos de carga e descarga.

Potência Específica (Specific Power). A relação entre a potência fornecida por uma célula ou bateria e o seu peso (W / kg).

Potencial do Eletrodo (Electrode Potential). A tensão desenvolvida por uma única placa, positiva ou negativa contra um eletrodo de referência. A diferença de tensão entre dois eletrodos é igual à tensão da célula.

Prazo de Validade (Shelf Life). A duração do armazenamento em condições especificadas no final das quais uma célula ou a bateria ainda mantém a capacidade de dar uma performance especificada.

Profundidade de Descarga (Depth of Discharge - DOD) A proporção entre a quantidade de eletricidade (normalmente em Ah) removido de uma célula ou bateria na descarga e a sua capacidade nominal.

Recarga (Recharge). Um método que retorna à capacidade total de uma bateria recarregável.

Recuperação (Recuperation). A redução da polarização de uma célula durante os períodos de descanso.

Rendimento (Efficiency). A proporção entre a capacidade de saída de uma célula secundária ou bateria na descarga e a energia necessária para restaurá-la ao estado inicial de carga em condições especificadas.

Retenção de Capacidade (Capacity Retention). A fração da capacidade total disponível de uma bateria sob condições especificadas de descarga após ter sido armazenada por um período de tempo.

Separador (Separator). Um espaçador ou material permeável a íons, eletronicamente não condutor, que evita o contato eletrônico entre eletrodos de polaridade oposta na mesma célula.

Sobrecarga (Overcharge). Forçar a corrente através de uma bateria depois de todo o material ativo ter sido convertido no estado carregado. Em outras palavras, o carregamento continuou após 100% da carga ter sido alcançada.

Sobre descarga (Overdischarge). Continuar a descarga após o ponto em que a capacidade total da bateria foi obtida.

Sobre tensão (Overvoltage). Valor de tensão de carga superior ao valor máximo especificado.

Sulfatação (Sulfation). Processo de sulfatação que ocorre em baterias de chumbo que foram armazenadas e permitidas auto descarregar por longos períodos de tempo. Crescem grandes cristais de sulfato de chumbo que interferem com a função dos materiais ativos.

Taxa C (C Rate). Uma bateria sendo carregada com uma corrente de 1C significa que está sendo carregada com a corrente nominal. Uma bateria sendo carregada com uma corrente de 0,5C significa que está sendo carregada com metade corrente nominal. Uma bateria sendo descarregada com uma corrente de 1C significa que está sendo descarregada com a corrente nominal. Uma bateria sendo descarregada com uma corrente de 0,5C significa que está sendo descarregada com metade corrente nominal.

Taxa de Carga (Charge Rate). A corrente aplicada a uma célula ou bateria secundária para restaurar sua capacidade. Esta taxa é comumente expressa como um múltiplo da capacidade nominal da célula ou bateria. Por exemplo, a taxa de carga C / 10 de uma célula ou bateria de 2000mAh equivale a 200 mAh (C/10 ou 2000/10)

Taxa de Descarga (Discharge Rate). A taxa, geralmente expressa em Ampères, na qual a corrente elétrica é tirada da célula ou da bateria.

Tensão de Circuito Aberto (Open-Circuit Voltage - OCV). A diferença de tensão entre os terminais de uma célula ou tensão quando o circuito está aberto (condição sem carga).

Tensão de Circuito Fechado (Closed-Circuit Voltage - CCV). O potencial ou a tensão de uma célula ou bateria quando é descarregada, normalmente sob uma carga especificada.

Tensão de Corte (Cutoff Voltage). A tensão da bateria na qual a descarga está terminada. Também chamado tensão final.

Tensão Nominal (Nominal Voltage). A tensão de operação característica ou valor médio entre a tensão máxima na carga e a tensão mínima na descarga.

Tensão sob Carga (On-Load Voltage). A diferença de tensão entre os terminais de uma célula ou bateria quando está descarregando.

Tensão de Trabalho (Working Voltage). A tensão típica de uma bateria durante a descarga.

Válvula (Vent). Um mecanismo normalmente vedado que permite o escape controlado de gases dentro de uma célula.

Vida (Life). Vida para baterias recarregáveis é a duração com um desempenho satisfatório, medido em anos ou no número de ciclos de carga/descarga.

Vida Útil (Service Life). O período de vida útil de uma bateria primária antes de um ponto final predeterminado onde a tensão mínima é alcançada ou o número de ciclos em condições especificadas que estão disponíveis a partir de uma bateria secundária antes que ela não atenda aos critérios especificados quanto ao desempenho.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Baterias Recarregáveis Para Equipamentos Portáteis. Aldo Michelini. 2017.
- Batteries in a Portable World. Isidor Buchmann .2011.
- DIY Lithium Batteries. Micah Toll. 2017.
- Handbook of Batteries. David Linden. Thomas B. Reddy. 1995.
- Ni-Mh Handbook. Industrial Batteries. Panasonic. 2015.
- Nickel Cadmium Batteries Technical Handbook. Panasonic. 2002.
- Lithium Handbook. Industrial Batteries. Panasonic.
- Nickel Cadmium Batteries Technical Handbook. GP Batteries. 2002.
- Internal resistance matching for parallel-connected lithium-ion cells and impacts on battery pack cycle life. Journal of Power Sources. Radu Gogoana. Matthew B. Pinson. Martin Z. Bazant. Sanjay E. Sarma. 2013.
- Connecting batteries in parallel. Unexpected effects and solutions. Battery Power Conference Sept. 18 2012. Davide Andrea, Elithion
- Manual das Baterias Recarregáveis. S.T.A. 2003.
- Safety of lithium-ion batteries. The European Association for Advanced Rechargeable Batteries. 2013.
- Baterias Recarregáveis. Introdução aos materiais e cálculos. Rubens Nunes de Faria Junior, Lia Maria Carlotti Zarpelon, Marilene Morelli Serna. 2014.
- Rechargeable Batteries. Applications Handbook. Technical marketing staff of Gates Energy Products, Inc.
- Lithium-Ion Batteries Hazard and Use Assessment - Final Report - Prepared by: Celina Mikolajczak, PE Michael Kahn, PhD Kevin White, PhD Richard Thomas Long, PE Exponent Failure Analysis Associates, Inc. 2011. Fire Protection Research Foundation.
- A review on lithium-ion battery ageing mechanisms and estimations for automotive applications Anthony Barré, Benjamin Deguilhem, Sebastien Grolleau, Mathias Gérard, Frédéric Suard, Delphine Riu.
- Calendar Aging of Lithium-Ion Batteries. Peter Keil, Simon F. Schuster, Jorn Wilhelm, Julian Travi, Andreas Hauser, Ralph C. Karl, Andreas Jossena. Institute for Electrical Energy Storage Technology, Technical University of Munich (TUM), Munich, Germany.
- Effects of cycling on lithium-ion battery hysteresis and overvoltage. V. J. Ovejas, A. Cuadras.
- Active Cell Balancing in Battery Packs. Stanislav Arendarik Roznov.
- Controle do balanceamento de bateria e estimação de estado de carga. André Abido Figueiró.
- Solving Heating Issues with Heat Transfer Simulation. Ajay Harish.
- Management System (BMS) for Lithium-Ion Batteries. José Miguel Branco Marques.
- Overview of Lithium ion batteries – Panasonic technical brochure.
- Choices of Primary Batteries – www.batteryuniversity.com
- Current Li-Ion Battery Technologies in Electric Vehicles and Opportunities for Advancements Yu Miao, Patrick Hynan, Annette von Jouanne, Alexandre Yokochi.
- Tadiran Lithium Batteries. Technical brochure.
- Primary Lithium Cells - Lithium Manganese Dioxide LiMnO₂ - Sales Program and Technical Handbook. Varta.
- Lithium Ion Rechargeable Batteries Technical Handbook. Sony.
- NCR 18650B. Product Datasheet. Panasonic.

- Investigation on Internal Short Circuit Identification of Lithium-Ion Battery Based on Mean-Difference Model and Recursive Least Square Algorithm. Xu Zhang, Yue Pan, Enhua Wang, Minggao Ouyang, Languang Lu, Xuebing Han, Guoqing Jin, Anjian Zhou. Huiqian Yang.
- L91 and L92. Product Datasheet. Energizer.
- Como embalar e enviar baterias com segurança. UPS.
- Design and Optimization of Lithium-Ion Batteries for Electric Vehicle Applications. Nansi Xue. 2014
- PTC Self-heating Experiments and Thermal Modeling of Lithium-ion Battery Pack in Electric Vehicles. Chengning Zhang, Xin Jin, Junqiu Li.
- Thermal Management of Lithium-ion Battery Packs. Desmond Adair, Kairat Ismailov, Zhumabay Bakenov.
- Lithium Batteries Guidance. DHL.
- Modelling and Evaluation of Battery Packs with Different Numbers of Paralleled Cells. Fengqi Chang, Felix Roemer, Michael Baumann, Markus Lienkamp.
- Inhomogeneities in Battery Packs. Steven Neupert, Julia Kowal.

S.T.A. - Sistemas e Tecnologia Aplicada é uma empresa nacional, com atuação nos setores eletroeletrônico, ciclístico e ferroviário. A S.T.A. possui sede na cidade de Cotia na Grande São Paulo e tem escritórios comerciais em Shenzhen e Changzhou na China. Hoje a empresa tem três unidades de negócios:

- **Unidade de Eletrônica**

Importa e distribui produtos eletrônicos, informática e elétrica. Temos mais de 3.000 itens em estoque para pronta entrega. Distribuimos baterias de níquel-cádmio, baterias de níquel-metal-hidreto, baterias de Lítio íon, baterias seladas, pilhas comuns, pilhas alcalinas, conectores, cabos, ferramentas, leds, instrumentos e acessórios de informática.

- **Unidade de Ciclismo**

Importa e distribui produtos para ciclismo. Distribui capacetes, bombas de ar, faróis, lanternas, sirenes, campainhas, porta garrafas, cadeados, produtos de lubrificação e limpeza, pneus, camaras de ar.

- **Unidade de Ferrovias**

Fabrica balanças para pesagem de trens em movimento. As balanças fabricadas pela S.T.A. são homologadas pelo Inmetro e permitem a pesagem de trens até 50 km/hora.

A história da S.T.A. começa em 1988 quando seus sócios, ex-engenheiros do Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo - I.P.T., resolvem se unir para criar uma nova empresa para atuar no ramo ferroviário.

Naquela época, os trens eram pesados parando-se cada vagão em cima de uma balança estática. Isso tornava o processo de pesagem dos trens extremamente caro e demorado.

O objetivo inicial da nova empresa, a S.T.A., era desenvolver a tecnologia necessária para fabricar uma balança que fosse capaz de pesar o trem em movimento, equipamento inédito nessa época em nosso país.

Assim, desenvolvendo tecnologia própria, em 1989 a S.T.A. instalou na Estrada de Ferro Carajás da Vale S.A., a primeira balança ferroviária para pesagens de trens em movimento fabricada no Brasil.

O pioneirismo e a tecnologia do projeto fizeram com que durante mais de dez anos a empresa fosse a única fabricante desse tipo de balança no país. Desde essa época até hoje, a S.T.A. já forneceu balanças para as principais ferrovias do país e empresas de grande porte com terminais ferroviários próprios.

No ano de 1994, a S.T.A. passou também a fabricar outdoors eletrônicos para propaganda ao ar livre. Novamente desenvolvendo tecnologia própria, em 1994 instalou no Vale do Anhangabaú em São Paulo, o primeiro outdoor eletrônico a cores fabricado no Brasil, com 72 m² de área.

Durante três anos, forneceu outdoors eletrônicos para as principais capitais brasileiras entre as quais Salvador em sociedade com o grupo Chiclete Com Banana.

Em 1997, por questões de mercado, a S.T.A. interrompeu a fabricação de outdoors eletrônicos e passou a se dedicar à importação e distribuição de baterias recarregáveis para telefone sem fio e para uso industrial e doméstico.

A partir de 1999 a S.T.A. iniciou a fabricação de packs de baterias. Com isso passou a fornecer baterias feitas sob medida para atender as necessidades de cada cliente.

Em 2001 a S.T.A. abriu escritório comercial em Shenzhen na China para agilizar os processos de importação bem como para aumentar o controle de qualidade sobre os produtos importados além de expandir sua linha de produtos, passando a importar cabos e conectores para audio, video e informática.

Em 2003 a S.T.A. criou sua marca registrada RONTEK com o objetivo de oferecer a seus cliente produtos confiáveis e de qualidade garantida.

Com a expansão dos negócios, a S.T.A. se viu obrigada a aumentar a área de suas instalações e por isso em 2009 se mudou para sede própria na cidade de Cotia na Grande São Paulo.

Em 2012 a S.T.A. resolveu diversificar sua linha de atuação e iniciou a importação e distribuição de produtos para bicicletas.

Para maiores informações ou entrar em contato acesse o site da empresa www.stacorp.com.br

Para maiores informações sobre baterias acessar o site www.sta-eletronica.com.br ou acessar o canal da empresa no Youtube - RONTEK TV.