

nov 97
rev. nov.98
rev. jun.04

C - 022

DOCUMENTAÇÃO MBT - ENERGIA AUTÔNOMA

Conhecendo as baterias

Dr Michel G. E. Brosset
Eng^a Ghislaine C. Bodereau

MBT COMÉRCIO E REPRESENTAÇÕES LTDA
e-mail : mbt@matrix.com.br
tel/fax 013 - 3841 6006 / 3841 5010

SUMÁRIO

Introdução

Primeira Parte : carga da bateria

- 1 - Estudo da operação de carga
- 2 - Carregadores “inteligentes”
- 3 - Outros meios de carga

Segunda Parte : funcionamento da bateria

- 1 - Princípio de funcionamento da bateria
- 2 - Componentes da bateria
- 3 - Reações químicas durante o ciclo carga/descarga
- 4 - Critérios para carregar corretamente a bateria

Terceira Parte : sistema automotivo e sistema de serviço

- 1 - Sistema automotivo
- 2 - Sistema de serviço
- 3 - Usando o sistema automotivo como sistema de serviço
- 4 - Caso das cargas lente e rápida

Conclusão

INTRODUÇÃO

Nas marinas, nos campings, em fim em todo lugar onde há concentração de veículos, é comum ouvir exclamações exasperadas como : “ as minhas baterias estão novamente descarregadas !”, ou “...duram pouco”, ou “...não agüentam a carga”, ou “...pifam logo”, etc..

As sugestões que inevitavelmente seguem não variam muito :

- instale um segundo alternador,
- substitua o alternador por outro mais potente,
- faça carga lenta (ou rápida),
- amplie o banco de bateria,
- ponha um alternador para cada banco de bateria,
- etc..

Já se sabe que essas “soluções” não funcionam. Por que ?

Porque há uma diferença fundamental entre o funcionamento do sistema automotivo (bateria / alternador), que auxilia os motores de propulsão, e o do sistema “reserva de energia” (bateria de serviço / carregador). O conhecimento dessa diferença é de primeira importância para o usuário ; a explicação detalhada se encontra na 3ª parte deste documento.

Por falta de informação, muitos donos de barco e marinheiros usam com toda boa fé os aparelhos específicos do primeiro sistema para o segundo ; assim dos alternadores automotivos quase universalmente usados para recarregar a bateria de serviço, o que dá os resultados que sabemos. Por outro lado, o uso de carregadores inadequados é também responsável por muitos problemas.

Este estudo tem como propósito esclarecer o funcionamento da bateria a fim de ver por que as “soluções” listadas acima não dão certo, mostrar as diferenças entre o sistema automotivo e o sistema de serviço e propor soluções mais adequadas.



PRIMEIRA PARTE

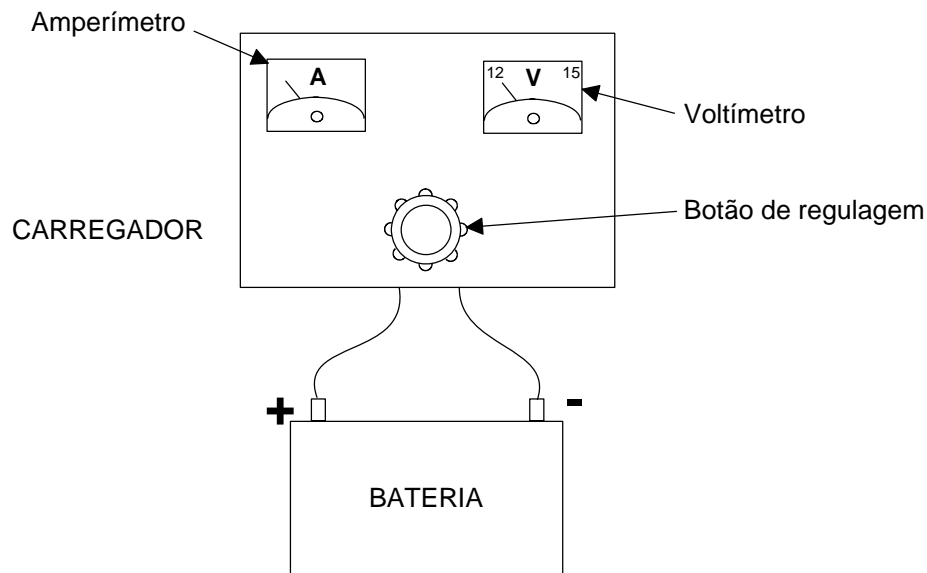
CARGA DA BATERIA

Para entender as razões de tanta desgraça com as baterias, convém estudar, antes de mais nada, um ciclo de carga correto e ver quais são os pontos fundamentais do processo.

Para carregar uma bateria é preciso introduzir-na uma certa quantidade de “AmpèresHoras” pelo meio de uma corrente elétrica (corrente de carga). Todavia, a bateria não armazena “AmpèresHoras” passivamente, mas desenvolve uma certa repulsão à corrente de carga. Como consequência, o carregador deve ser programado para se ajustar constantemente às condições da bateria e superar sua resistência. Vamos ver passo a passo como se desenvolve uma operação de carga e quais são as conseqüências.

1 - ESTUDO DA OPERAÇÃO DE CARGA

Vamos acompanhar um ciclo de carga realizado manualmente por um operador (atento e paciente...) que dispõe de um carregador manual com um voltímetro de precisão na faixa 11-15 V, um amperímetro e um botão de regulagem da corrente.



A bateria que usamos é do tipo ciclável, com capacidade nominal 100Ah, sendo a sua tensão 11,8 V (bateria quase totalmente descarregada). Nessa altura, é preciso repor uns 90Ah para carregar a bateria até 100%

Depois de ligar o carregador, o operador regula a corrente de carga em 10 A (10% da capacidade nominal, valor comumente escolhido para carregadores manuais). A tensão sobe e se equilibra num certo valor V1 que depende da carga residual, do estado da bateria, da sua resistência interna, da temperatura, do tipo, etc.).

Após alguns momentos, notamos que a amperagem começa a diminuir e vai diminuindo até zero se nada for feito. A tensão V1 fica mais ou menos estável. Esse fenômeno tem uma explicação : logo que a corrente de carga se estabelece, a tensão interna da bateria cresce ; esta tensão, chamada “tensão contra-eletromotor”, se opõe à do carregador e aos poucos atinge V1, anulando totalmente a ação do mesmo.

Essa primeira tentativa durou uns 20 minutos. A bateria mal armazenou 2 ou 3 Ah e está longe de ser carregada. É evidente que, se o operador não intervir, a bateria não armazenará mais nada. Por conseguinte, é necessário re-estabelecer a corrente ao seu valor inicial de 10 A, girando o botão de regulagem do carregador. A tensão sobe até V2. Como anteriormente, a amperagem não fica estável mas decresce gradativamente, e é preciso girar novamente o botão de regulagem para repor a corrente em 10 A ; a tensão sobe para V3, e assim por diante.

Na prática, para manter a corrente ao valor escolhido, é necessário girar continuamente o botão de regulagem, o que equivale aumentar a tensão de carga progressivamente.

Depois de algumas horas, a tensão atinge 14,6 V (nesse momento, a carga da bateria é aproximadamente 80% do valor nominal). De repente, aparece uma mudança importante no comportamento da bateria : o eletrólito começa a borbulhar (a bateria “ferve”); o eletrólito se decompõe em oxigênio e hidrogênio. A bateria não aceita mais a carga e a corrente do carregador provoca a eletrólise da solução.

Se reduzirmos um pouco a tensão, para 14,4 V, o fenômeno pára imediatamente. Vamos então continuar a operação mantendo a tensão em 14,4 V. Basta não tocar mais no botão de regulagem.

Como já sabemos, sob tensão constante a corrente diminui. Depois de 6 a 8 horas, o valor da corrente atinge 1A. Nesse momento, pode-se considerar que a bateria está carregada até 100%.

Uma corrente de 1A é bem pequena, mas é suficiente para manter uma mini-eletrólise, pouco perceptível, que no decorrer do tempo provoca a decomposição do eletrólito. É indispensável reduzir ainda mais a tensão, para 13,6 V (valor descoberto após várias tentativas), a fim de evitar totalmente esse fenômeno. Essa tensão, chamada “tensão de float” (flutuação), é ideal para manter uma bateria não utilizada em boa condição (pode ser entre 13V e 13,8 V dependendo do tipo de bateria).

Uma bateria não utilizada deve ser mantida carregada. A tensão de “float” pode ser aplicada por tempo indeterminado ; a corrente muito fraca é suficiente para compensar as perdas naturais da bateria e mantê-la completamente carregada sem que corresse o risco de ferver ou de ser danificada. Essa fase de “float” é uma vantagem importante oferecida pelos carregadores modernos (“inteligentes”) que podem ficar ligados o tempo todo na bateria sem necessidade de fiscalização.

O experimento descrito acima permite deduzir algumas observações interessantes :

1. É obviamente inviável operar o carregador manual como descrito. O resultado é que o operador deixa a bateria borbulhar, acreditando que está carregando enquanto, na realidade, está se estragando sem armazenar mais carga. É indispensável automatizar o carregador.

2. A operação de carga ideal se divide em 3 fases :

- A. Primeira fase : corrente constante : a corrente é mantida constante enquanto a tensão sobe até o ponto quando acontece a decomposição do eletrólito ; ao final desta fase, a bateria acaba carregada entre 75 e 80% da sua capacidade nominal,
- B. Segunda fase : tensão constante : a tensão fica a 14,4V enquanto a corrente diminui progressivamente até ~1% da capacidade nominal; nessa fase, a carga da bateria está completada até 100% ; é uma fase demorada, de 8 a 10 horas,
- C. Terceira fase* : float : para manter a carga da bateria a 100% durante um tempo indefinido, a tensão do carregador tem que ser rebaixada para 13,8 V a fim de evitar todo risco de eletrólise.

* Na realidade essa fase não é tão simples mas não é do nosso propósito entrar em detalhes que só interessam especialistas. Basta saber que carregadores “inteligentes”, tipo STATPOWER *TRUECHARGE* ou TECSUP *HI-TEC*, mantenham e preservam as baterias para a maior satisfação do dono.

2 - CARREGADORES “INTELIGENTES”

São chamados “inteligentes” os carregadores cujo programa de carga é de duas ou três fases conforme descrito acima, e que são automáticos (que não requerem fiscalização permanente). Existem dois tipos :

A. Carregador tipo “ UUI” (fig. 1)

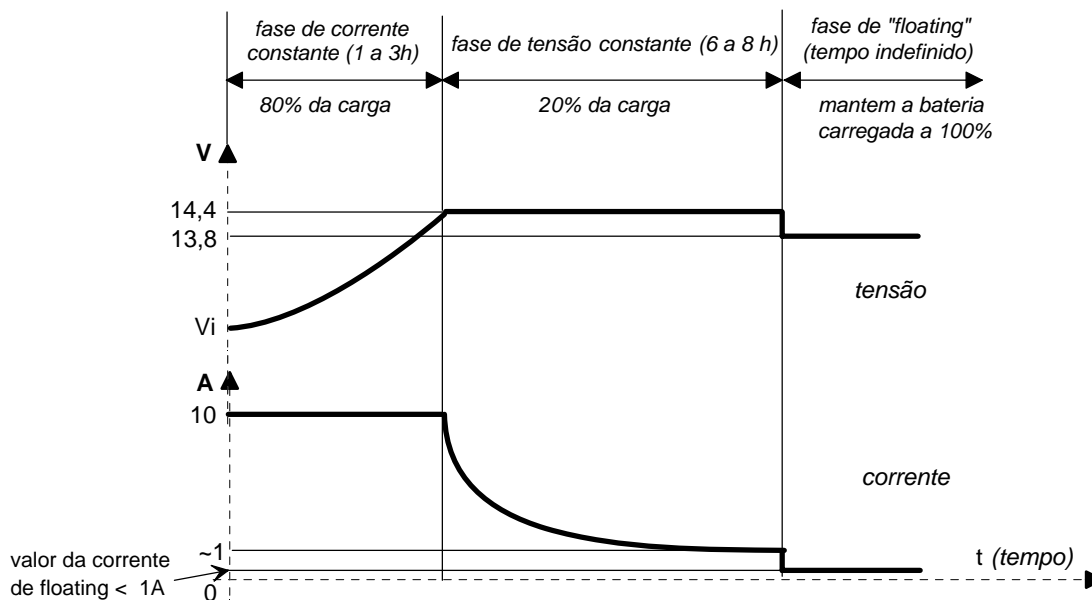
A curva de 3 fases descrita acima é chamada “UUI” ou “duplo UI”. É a mais eficiente, sendo a bateria carregada até 100%. É a curva de funcionamento de todos os carregadores da STATPOWER e da TECSUP, e dos alternadores/ carregadores especiais.

B. Carregador tipo “UI” (fig. 2)

Voltando à operação de carga descrita no §1, poderíamos ter verificado durante a primeira fase que, quando a tensão atinge 13,8 V, a bateria já está com 70% da carga nominal. Se iniciarmos a terceira fase naquele momento, é evidente que a bateria não chegará aos 100% ; no fim da operação ficará com aprox. 80% da carga nominal, mas, em compensação, a corrente residual será 0,1 ou 0,2 A, valor sem grande perigo para a bateria. Desse modo, a fase “float” se encontra confundida com a segunda fase.

Baseando-se nessa observação, dá para imaginar um carregador (ou um regulador de tensão de alternador) de duas fases, mais simples e mais barato que um de três fases. É o sistema chamado “UI”, ou “simples UI”. É suficiente para aplicações rodoviárias (o regulador UI é bem mais eficiente que o regulador automotivo usual quando se trata de carregar uma bateria !); convém também para barcos de serviço que navegam quase todos os dias.

O regulador BRS da BALMAR é baseado neste princípio.



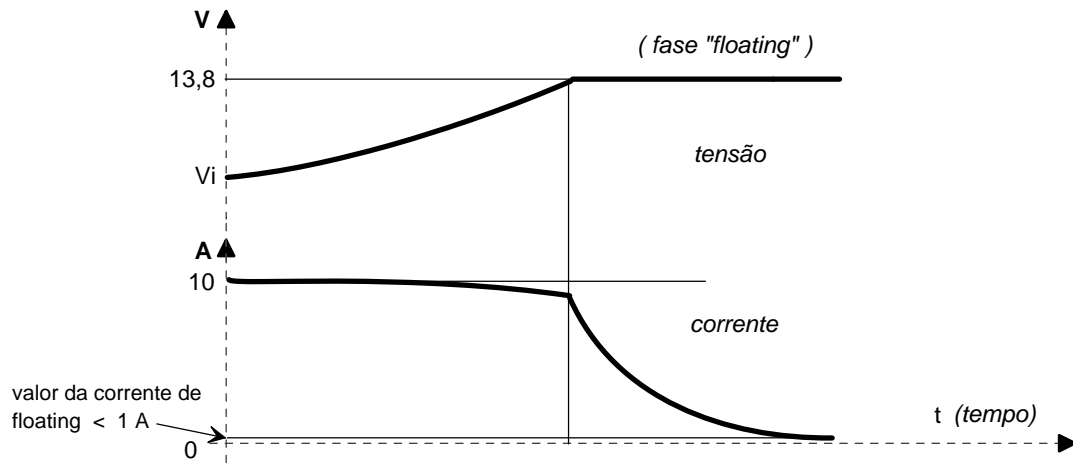
FUNCIONAMENTO : **automático**

A corrente de carga inicial depende da potência do carregador ; não é ajustável. A tensão sobe do valor inicial V_i (tensão da bateria) até 14,4 V e fica constante. A corrente fica constante até a tensão atingir 14,4 V, em seguida decresce. Quando a corrente passa abaixo de 1 A, a tensão é rebaixada para 13,8V e fica neste patamar (tensão de "floating"); a corrente é quase zero.

INCONVENIENTES : não há

VANTAGENS : - a bateria pode ser carregada até 100%
 - não há risco de a bateria ferver
 - não requer a presença de um operador
 - o carregador pode ficar sempre ligado à bateria

Fig. 1 Curva de carga "UII"



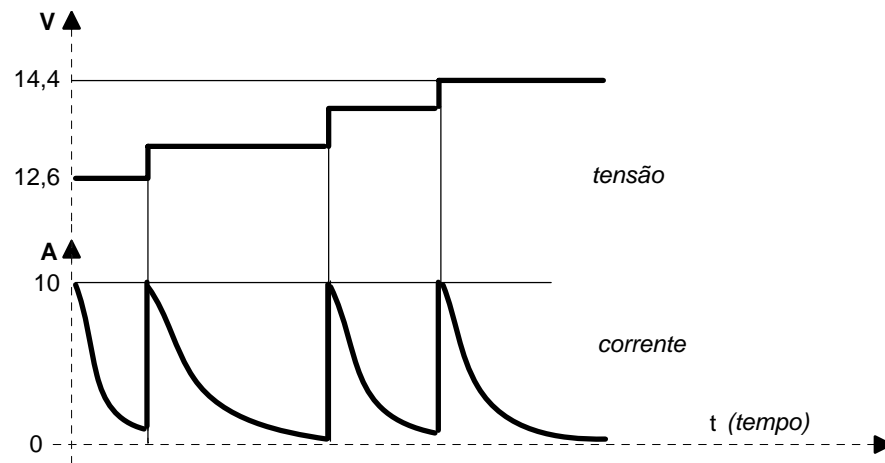
FUNCIONAMENTO : **automático**

A corrente de carga depende do carregador ; não é ajustável. A tensão sobe do valor inicial V_i (tensão da bateria) até 13,8V e fica neste valor. A corrente fica constante durante um tempo e depois decresce antes a tensão atingir 13,8V, impedindo a carga completar 100%.

INCONVENIENTES : o nível de carga na bateria não ultrapassa 70%.

VANTAGENS : - não requer a presença de um operador,
 - sendo baixa a tensão de float,, não há risco de a bateria ferver,
 - o carregador pode ficar sempre ligado à bateria, porém é recomendado verificar o nível do eletrólito cada mês.

Fig. 2 Curva da carga "UI"

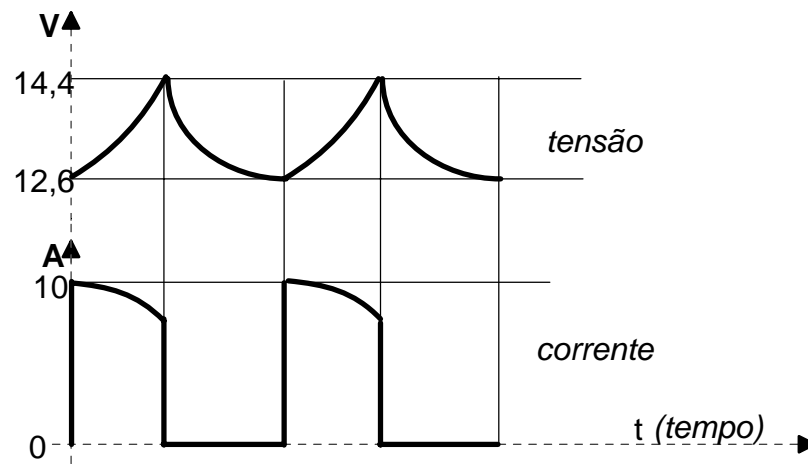


FUNCIONAMENTO : manual

Ao início, o operador ajusta a corrente a, por exemplo, 10A, sendo a tensão constante 12,6V. A medida que a resistência interna da bateria cresce, a corrente diminui. O operador reajusta a corrente para 10A. A tensão pula para, digamos, 13V. A corrente diminui, etc.. A regularidade dos patamares e os valores dependem da habilidade do operador.

INCONVENIENTES : - processo muito lento,
 - presença do operador obrigatória,
 - quando a tensão ultrapassa 14,4V, a bateria ferve mas está longe de ser carregada.

Fig. 3 Curva de carga do carregador manual



FUNCIONAMENTO : **semi-automático**

O operador ajusta a corrente inicial, por exemplo 10A. A tensão sobe. A corrente cai um pouco. Quando a tensão atingir 14,4V, o carregador corta a alimentação. A tensão cai lentamente, não há mais corrente. Quando a tensão atingir 12,6V, o carregador liga-se novamente, fornecendo novamente a corrente de 10A, etc..

INCONVENIENTES :

- pouco eficiente em fim de carga,
- a bateria não chega a ser carregada nem até 80%,
- se deixar o carregador ligado, a bateria acaba fervendo,
- requer fiscalização constante.

Fig. 4 Curva de carga básica de um carregador manual automatizado

3 - OUTROS MEIOS DE CARGA

Os outros tipos de carregadores e os alternadores automotivos comuns não convêm para carregar corretamente uma bateria. Vejamos por que :

A. Carregador manual (fig.3)

Já vemos os inconvenientes deste tipo de aparelho : necessita uma fiscalização permanente... ou acaba logo matando a bateria. Vantagem (só na compra) : preço barato (e nem sempre).

B. Carregador semi-automático (fig. 4)

É o tipo manual sumariamente automatizado.

Nesse tipo de aparelho, a corrente é mantida constante até a tensão atingir 14,4 V ; naquele momento, a alimentação do carregador está automaticamente desligada. Por conseguinte a tensão da bateria cai progressivamente ; quando atingir ~12,6 V, a alimentação volta a ser ligada. Isso resulta num sistema de pulsações liga-desliga entre 14,4 e 12,6V.

Aparentemente, tal carregador poderia ficar ligado à bateria em permanência sem provocar “fervura”, mas na verdade não pode e, de fato, os fabricantes sérios recomendam uma verificação periódica (pelo menos semanal) do nível do eletrólito, o que é impossível em baterias seladas (a MBT já teve problemas com carregadores desse tipo deixados ligados sem fiscalização suficiente ; resultado : baterias estragadas após alguns meses).

Finalmente, comparado com o carregador manual, o carregador semi- automático representa um avanço, porém limitado :

- não pode ser abandonado por muito tempo sem fiscalização,
- sendo suprimida a fase de tensão constante, a carga final nunca ultrapassará os 70 ou 75% da carga nominal ; por causa disto a bateria perderá definitivamente a capacidade de recarregar até 100% após alguns meses (“memória” da bateria).

C. Alternador automotivo

O alternador automotivo é um péssimo carregador nas condições usuais de uso porque a sua tensão máxima de carga é insuficiente. A tensão do alternador automotivo está regulada de fábrica num valor fixo, 13,6V, enquanto é preciso que a tensão subisse até um valor entre 14,4V e 15,2 V (o valor exato depende do tipo da bateria) para carregar uma bateria mas isso não é requisito para o funcionamento do sistema automotivo.



SEGUNDA PARTE

FUNCIONAMENTO DA BATERIA

1 - PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO DA BATERIA

O elemento básico de uma bateria é um conjunto de duas **placas**, de composições diferentes, mergulhadas num líquido apropriado (o **eletrólito**) e mantidas afastadas uma da outra por um **separador** de material isolante porém poroso de modo que deixasse passar os íons SO_4 e H_2 e conseqüentemente a corrente elétrica.

O material ativo da placa positiva é o peróxido de chumbo PbO_2 . O material ativo da placa negativa é o chumbo metálico Pb sob forma esponjosa. O eletrólito é uma solução de ácido sulfúrico SO_4H_2 e água H_2O .

A dissimetria química entre as duas placas de materiais diferentes gera uma **tensão** (voltagem) de aproximadamente 2 Volts.

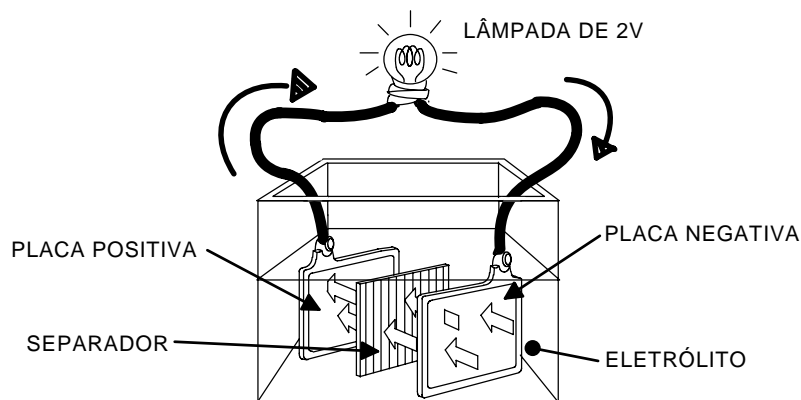


Fig. 5 Esquema de um elemento de 2V

Se ligarmos uma lâmpada de 2V entre as placas positiva e negativa, uma corrente se estabelece, circulando no circuito fechado constituído pela lâmpada, as placas e o eletrólito, e constatamos o seguinte :

- a lâmpada se acende (circuito exterior),
- no interior da bateria, diversas reações químicas acontecem :
 - a) o material de cada placa se transforma parcialmente em sulfato de chumbo SO_4Pb ,
 - b) o eletrólito perde uma parte do seu ácido sulfúrico SO_4H_2 , e a proporção de água H_2O aumenta.

O resultado é que a dissimetria inicial tende a desaparecer. A corrente diminui até parar : nesse ponto, vamos dizer que a bateria está completamente descarregada.

Durante a operação, a bateria transformou uma energia de origem química em energia elétrica.

2 - COMPONENTES DA BATERIA

A. Grelha

A grelha é uma alma metálica retangular, usada para suportar os materiais ativos da bateria e a conexão que permite a passagem da corrente para o circuito externo (o chumbo esponjoso e o peróxido de chumbo não têm resistência mecânica).

Existem duas famílias de grelhas, dependendo do material usado para sua fabricação :

- grelha chumbo/antimônio : usada nas baterias automotivas, provoca um consumo de água significativo,
- grelha chumbo/cálcio : mais moderna.

A grande vantagem da grelha chumbo/cálcio é a redução drástica do consumo de água, permitindo assim a construção de baterias seladas (que não requerem água).

B. Placas

Uma grelha empastada com o material ativo torna-se uma “placa”. A ligação íntima da grelha e do material ativo é uma operação bastante difícil mas extremamente importante, já que a vida da bateria depende muito da sua qualidade.

As placas positivas são “carregadas” com peróxido de chumbo, uma pasta de cor marrom. As placas negativas são carregadas com chumbo esponjoso, de cor cinza.

C. Elementos

O elemento é a unidade de base da bateria. Vários elementos, sempre em número par, constituem uma bateria. Uma bateria 12V é composta por 6 elementos ligados em série, uma bateria 24V de 12 elementos ligados em série.

Um elemento é constituído pelo mesmo número de placas negativas e positivas alternadas. Para evitar que as placas de polaridade diferente entrassem em curto, cada placa é separada das demais por um separador de material isolante porém poroso para permitir a circulação do eletrólito e dos íons.

Todas as placas da mesma polaridade são ligadas entre se por um conector que, ligado ao conector da polaridade oposta do elemento vizinho, constituirá afinal um polo da bateria (ligação em série)

Sendo as placas ligadas em paralelo, a tensão de um elemento é 2 Volts. O que varia em relação ao sistema inicial de duas placas é a capacidade em Ampères, que depende do número de placas dentro do elemento.

Uma bateria automotiva, cuja função principal é gerar uma corrente de alta intensidade (amperagem, até 500A) para dar partida ao motor, necessitará muito mais placas por elemento que uma bateria de serviço destinada a gerar algumas dezenas de Ampères. Daí os dois tipos de bateria mais comuns : a **bateria automotiva** e a **bateria de reserva de energia**.

D. Caixa

A caixa da bateria, geralmente de polietileno, está dividida em células independentes, cada uma para um elemento de 2V. A tampa evidencia os dois pólos (POS + e NEG -) e os orifícios para completar o nível do eletrólito em cada célula. As baterias seladas não têm esses orifícios mas sim uma válvula para a saída ocasional de hidrogênio e vapor de água.

E. Eletrólito

A composição do eletrólito (bateria carregada) é a seguinte :

- ácido sulfúrico SO_4H_2 : 36% em peso
- água H_2O : 64% em peso

sendo a densidade 1,27.

3 - REAÇÕES QUÍMICAS DURANTE O CICLO CARGA/DESCARGA (fig. 6)**A. Descarga da bateria**

Quando ligamos a lâmpada (§1), a corrente no interior da bateria provoca a dissociação do ácido sulfúrico SO_4H_2 entre seus dois componentes, os íons SO_4 e H_2 . Nas placas positivas os íons SO_4 se combinam com o chumbo Pb do peróxido de chumbo PbO_2 e formam o sulfato de chumbo SO_4Pb ; os dois O , remanescentes do peróxido de chumbo, se combinam com íons hidrogênio H_2 para formar água H_2O . Nas placas negativas os íons SO_4 se combinam com o chumbo Pb para formar também o sulfato de chumbo SO_4Pb . Nesse processo, a composição das duas placas (a positiva inicialmente de PbO_2 e a negativa de Pb) tendem a se transformar em SO_4Pb , eliminando-se assim a dissimetria que foi a origem da corrente.

No fenômeno da descarga, a concentração em ácido no eletrólito diminui : a densidade, inicialmente de 1,27, cai até 1,14 quando a corrente desaparece.

B. Carga da bateria

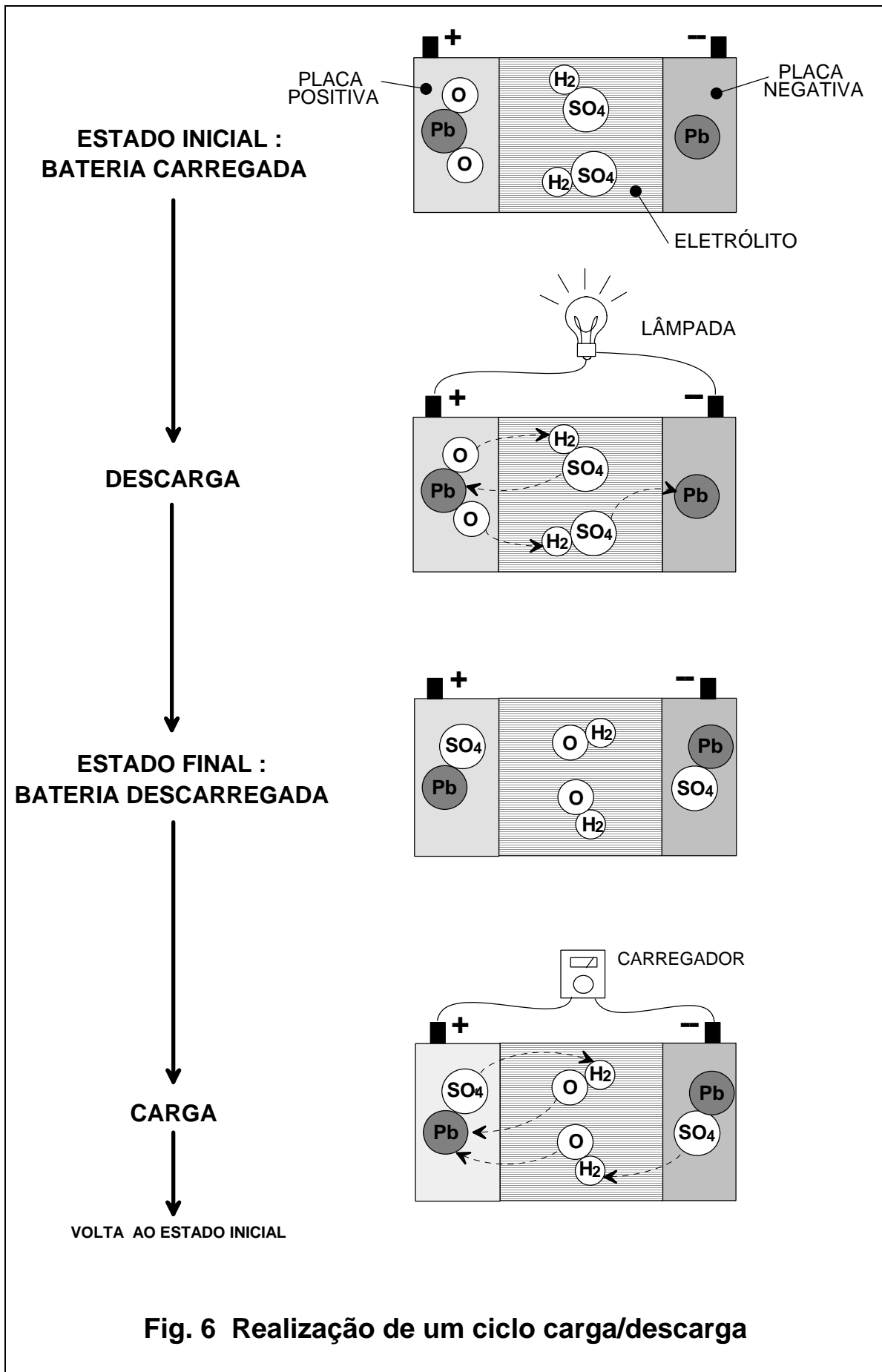
As reações químicas que ocorrem durante a carga são exatamente as inversas das que ocorrem durante a descarga.

A corrente de carga, em sentido inverso do da descarga, dissocia o sulfato de chumbo SO_4Pb formado na superfície de todas as placas, sejam elas positivas ou negativas, entre seus dois componentes, os íons SO_4 e Pb . Da mesma forma, a água H_2O se dissocia em oxigênio O e hidrogênio H_2 .

Nas placas positivas, os íons SO_4 se combinam com os íons H_2 para regenerar o ácido sulfúrico SO_4H_2 ; os íons oxigênio O se recombinaem com o chumbo Pb para restituir o peróxido de chumbo inicial PbO_2 .

Nas placas negativas, os íons SO_4 se combinam com os íons H_2 , regenerando o ácido sulfúrico SO_4H_2 , da mesma forma que nas placas positivas, e o chumbo puro Pb reaparece na superfície da placa.

O sistema voltou a seu estado inicial : realizamos um ciclo carga/descarga.



C. Velocidade de difusão das moléculas

No estudo do ciclo carga/descarga, verificamos que o estado de carga da bateria depende diretamente da concentração do ácido SO_4H_2 no eletrólito. Medir a densidade do eletrólito é um meio bastante usado para avaliar o estado de carga da bateria : densidade alta = bateria carregada, densidade baixa = bateria descarregada. Todavia, para efetuar tal medição é recomendado deixar “descansar” a bateria pelo menos uma hora* após a operação de carga. Por que ?

Porque, na operação de carga, as moléculas de ácido SO_4H_2 que se formam na superfície das placas não se espalham instantaneamente dentro do eletrólito. A difusão das moléculas dentro do líquido até que o mesmo ficasse completamente homogêneo leva um certo tempo (até 8 horas), determinado pela velocidade dessa difusão. A velocidade de difusão é uma característica dos elementos em presença, sobre a qual o operador não tem controle (a menos que chacoalhasse a bateria).

As reações químicas acontecem na superfície das placas, exatamente na interface entre o material das placas e o eletrólito, e dão origem às moléculas de ácido SO_4H_2 durante a carga. A corrente de carga é que gera a formação das moléculas ; a quantidade de moléculas produzidas depende diretamente da intensidade da corrente : quanto mais forte a corrente, maior a quantidade de moléculas. Sendo a velocidade de difusão limitada, dá para perceber que, se a produção de moléculas de SO_4H_2 for maior que um certo valor, as mesmas se acumularão junto à superfície das placas, formando localmente um filme de eletrólito com alta concentração de ácido, de modo que as placas se encontrarão mergulhadas numa solução de densidade mais alta do que nos demais lugares do eletrólito (fig. 7). Se medir a tensão da bateria logo depois de um período de carga, o valor será aquele correspondente à concentração de ácido ao redor das placas e não à concentração média do eletrólito. É uma “falsa tensão” que não reflete o estado de carga real da bateria. Daí a necessidade de deixar “descansar” a bateria antes de fazer qualquer medição.

Esse fenômeno sempre acontece, pois o valor da corrente para ter o equilíbrio entre a produção e a difusão das moléculas de ácido é muito baixo. A consequência principal é que não é possível carregar uma bateria com uma corrente forte demais, se não a “falsa tensão” sobe rapidamente (em alguns minutos), até igualar a tensão do carregador, sendo a corrente anulada. Resultado : não há mais possibilidade de carregar.

Na descarga, acontece o fenômeno oposto : se a corrente de descarga for forte demais, as moléculas de SO_4H_2 distribuídas no eletrólito não terão o tempo de migrar até as placas para se dissociar e formar o sulfato de chumbo SO_4Pb . Resultado : a solução ao redor das placas fica mais pobre em moléculas de SO_4H_2 que em outras partes do líquido ; isso provoca uma queda de tensão nos bornes, mas não significa que a bateria esteja descarregada. Um exemplo prático bem conhecido é a queda de tensão violenta que acontece nos bornes da bateria de um carro quando se liga o motor de arranque.

D. Degradação das placas durante um ciclo

Durante um ciclo carga/descarga o material ativo passa sucessivamente do estado PbO_2 para o estado SO_4Pb , e do estado Pb para o estado SO_4Pb , e vice-versa.

Essas transformações provocam variações periódicas do volume dos materiais ativos (expansão e contração). Os materiais acabam se desagregando e as partículas caem no fundo da caixa. Apesar de todas as precauções tomadas na fabricação das placas, esse fenômeno é inevitável, e cada ciclo provoca uma perda de material. Resultado : a vida útil de uma bateria depende do número de ciclos que exigimos dela, como também da profundidade dos mesmos.

É claro também que, sendo iguais as capacidades em Ampère-horas, uma bateria fabricada com mais material ativo terá uma vida útil maior que outra com placas pouco “carregadas”.

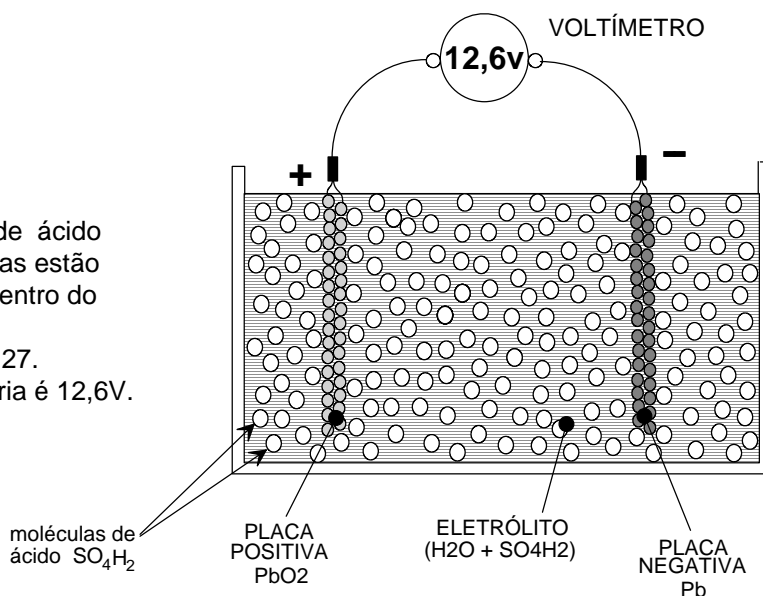
* ver § “Fiscalização da carga” p.22

Bateria carregada

A quantidade de moléculas de ácido SO_4H_2 é grande e as moléculas estão uniformemente distribuídas dentro do eletrólito.

A densidade do eletrólito é 1,27.

A tensão nos bornes da bateria é 12,6V.

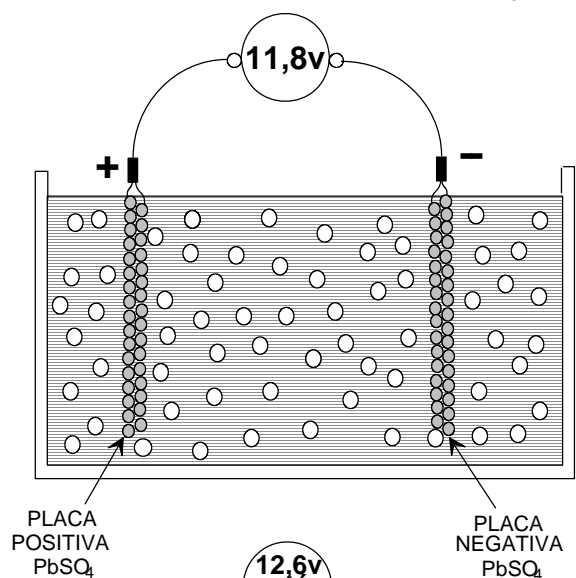


Bateria descarregada

A quantidade de moléculas de SO_4H_2 é pequena e as moléculas estão uniformemente distribuídas dentro do eletrólito.

A densidade do eletrólito é 1,14.

A tensão nos bornes da bateria é 11,8V.



Bateria em fase de carga

A distribuição das moléculas de SO_4H_2 não é uniforme. Há uma concentração de moléculas na superfície das placas, enquanto o resto do eletrólito fica com baixo teor de ácido.

As placas se encontram numa solução de alto teor de ácido. A consequência é a aparição de uma tensão elevada nos bornes da bateria, que não reflete o estado de carga real.

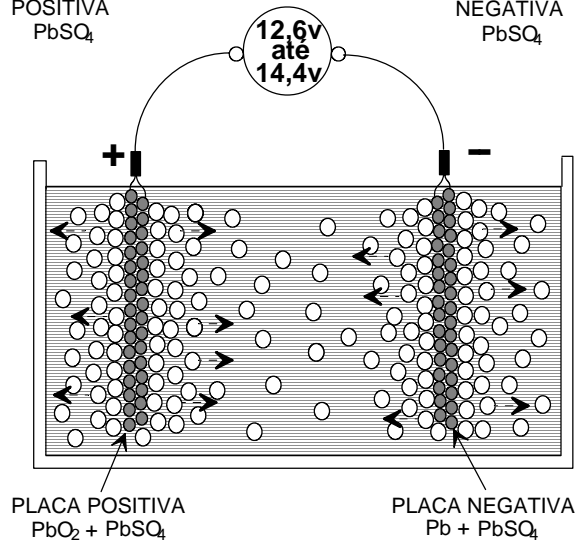


Fig.7 Distribuição das moléculas de ácido em função do estado de carga

Dessas observações, podemos deduzir que a anatomia de uma bateria automotiva, cujos ciclos são superficiais mas que tem que gerar correntes fortes, será diferente da de uma bateria ciclável destinada a gerar pouca amperagem mas durante horas. As placas da segunda devem ser fartamente “empastadas” para alimentar as reações químicas durante longos períodos, enquanto placas finas prevalecem para a primeira, já que um ciclo não dura mais que alguns segundos.

4 - CRITÉRIOS PARA CARREGAR CORRETAMENTE A BATERIA

A. Critério da amperagem

Acabamos de ver que a difusão das moléculas de ácido dentro do eletrólito influi grandemente no comportamento da bateria, especialmente na fase que mais nos interessa no momento, a da carga. A aparição da “falsa tensão” se opõe à corrente de carga. É lógico pensar que basta elevar a tensão de carga para superar a dificuldade, deixando a amperagem razoavelmente baixa, mas sabemos também (Primeira Parte § 2) que não se pode aumentar a tensão de carga acima de uns 15V (o valor exato depende do tipo de bateria). Por conseguinte, é necessário achar um compromisso entre a amperagem da corrente de carga, a duração da operação de carga e a tensão de fim de carga, que não pode ser ultrapassada.

Exemplo 1 : o tempo disponível para carregar uma bateria de 100 Ah, descarregada de 50%, é 8 horas (uma noite). Sendo a corrente de carga 10A (= 10% do valor nominal da bateria), a bateria será recarregada até 100%.

NOTA : para tal resultado, o uso de um carregador “inteligente” é indispensável pelas seguintes razões :

- 1) para manter a corrente no valor de 10A, a tensão deve ser constantemente reajustada,
- 2) depois de aprox. 5 horas, a corrente *deve* decrescer ; não se pode manter uma corrente de 10A numa bateria já carregada a mais de 80%, pois borbulhará e perderá o eletrólito.

Exemplo 2 : o tempo disponível para carregar a mesma bateria de 100 Ah é 2 horas. Escolhemos a corrente de carga em 25A (= 25% da carga nominal). Após 1h15mn, a tensão já está no seu limite máximo ; a corrente *deve* ser cortada. Nesse momento, a bateria será recarregada somente até 80%.

Exemplo 3 : o tempo disponível é 1 hora. Para compensar, pense-se em usar um carregador de 50 A. A tensão sobe rapidamente e após 15 minutos atinge o seu limite máximo; a corrente *deve* ser cortada. Naquele momento, a bateria não pode ultrapassar os 60% de carga.

Praticamente, **uma corrente de carga igual a 10% da carga nominal da bateria** (seja : 10 A para uma bateria de 100 Ah) foi por muito tempo considerado o melhor compromisso, mas convém notar o seguinte :

- o tempo para recarregar é relativamente demorado,
- manter uma corrente de carga num valor determinado, por exemplo 10% da capacidade da bateria, requer um carregador automático, com tensão variável programada,
- os carregadores “inteligentes UUI” são mais rápidos (Primeira Parte § 2)

Pode-se usar sem dano para a bateria uma corrente de carga até 25% da capacidade nominal da bateria (seja : 25 A para uma bateria de 100Ah), até a tensão atingir os 14,4V. Isso oferece um bom compromisso entre tempo de carga e percentagem de carga final quando não se dispõe de muito tempo para carregar. É o caso de uma bateria de serviço de uso quotidiano, num sítio ou num barco, por exemplo. Todavia, haverá a necessidade de carregar completamente a bateria pelo menos uma vez por mês para que a mesma não perdesse definitivamente a sua capacidade inicial.

B. Critério da tensão

A tensão deve atingir, no final da carga, um nível máximo que varia de 14,2 até 15,1V, dependendo do tipo de bateria. É um critério de primeira importância para escolher um carregador : se o carregador não conseguir essa tensão, a bateria nunca será totalmente carregada, e aos poucos irá perdendo a sua capacidade inicial ; se o carregador gerar uma tensão alta demais, o eletrólito borbulhará e a bateria será danificada. Nos dois casos, a vida da bateria se encontra encurtada (e o dono, mais uma vez, de mau humor).

É por causa desse critério que os alternadores automotivos são péssimos carregadores. A tensão desses aparelhos é usualmente regulada a 13,6V. Nessas condições, uma bateria não pode ser carregada a mais que 70% da sua capacidade nominal, no melhor dos casos. Além do mais, para chegar a esse resultado, a operação de carga é demasiadamente demorada. Ninguém deixa um motor girar durante horas seguidas para carregar a bateria, obviamente por causa das poluições, mas também para não prejudicar o motor Diesel, que não pode girar muito tempo sem carga.

C. Fiscalização da carga

Fiscalizar a carga da bateria é uma operação essencial para monitorar racionalmente o uso da mesma e aproveitar ao máximo as possibilidades de uma instalação **“ENERGIA AUTÔNOMA”**.

A fiscalização da carga pode ser feita medindo-se o valor dos parâmetros característicos da bateria, sejam eles : tensão, densidade do eletrólito, Ampères-horas entrando e saindo.

Para medir a tensão da bateria, um voltímetro comum não convém, pela falta de precisão. Vemos que a tensão de fim de carga sobe até o valor máximo de 15,2V para baterias chumbo/cálcio, e sabemos que para uma bateria descarregada, mas em bom estado, a tensão não pode cair abaixo de 10,8V. Vemos também que os décimos de Volt têm grande importância. Por exemplo, com 12,0V, a bateria está quase descarregada, enquanto com 12,6V, está completamente carregada. Nessa altura, dizer que a bateria está com 12V não significa nada. Por conseguinte, o voltímetro adequado para a leitura da tensão deve mostrar cada 0,1V entre 10 e 16V. Existem voltímetros de LED especialmente desenvolvidos para esse fim. Porém, convém lembrar que uma medição de tensão não pode ser feita logo depois de uma operação de carga ; é preciso deixar “descansar “ a bateria algumas horas para ler um valor significativo. O mesmo usualmente não se aplica à descarga por que a descarga de uma bateria de serviço é bastante lenta e, por isso, não provoca um fenômeno de “falsa tensão” sensível.

Para baterias não seladas, o densímetro dá uma indicação bastante fiel do estado de carga a qualquer momento. De fato, a sucção do líquido dentro do densímetro é suficiente para misturá-lo e dar uma amostra representativa da densidade média. O uso do densímetro é muito simples mas não muito prático.

Fazer a conta dos Ampères-horas que entram e saem da bateria é certamente o meio o mais seguro e o mais prático de saber a qualquer momento o estado de carga da mesma. Todavia, vários fatores (resistência do eletrólito, rendimento da bateria, temperatura, etc.) resultam num acúmulo de pequenos erros que com o decorrer do tempo invalidam totalmente a leitura. Para tomar em conta todas as fontes de erros e ter uma leitura confiável, foram desenvolvidos aparelhos específicos bastante sofisticados, chamados “monitores de sistema de energia”, que hoje podem ser encontrados no mercado.

D. Utilidade do voltímetro de bateria

O voltímetro especial MBT é o instrumento indispensável para acompanhar o estado de carga da bateria (ou do banco de baterias). Ligado aos bornes da bateria por dois cabos pequenos, mede com precisão a tensão da mesma, traduzindo a leitura na percentagem de carga correspondente. Uma escala de LEDs de várias cores permite a visualização imediata da carga, indicando, de baixo para cima, quando a bateria está danificada ou precisa ser “equalizada” (vermelho), quando é imperativo carregar (laranja), quando a carga está boa (verde), quando a

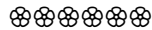
tensão está acima do normal (vermelho). Nesse último caso, é necessário verificar o sistema de carga.

O voltímetro especial MBT é para a bateria o que é o medidor de nível para o tanque de gasolina do carro. Ninguém sai pelas estradas sem monitorar o nível do combustível. Para manter um sistema “Energia Autônoma” rodando seguramente, conhecer a cada momento o nível de carga da bateria é tão necessário quanto o é saber o que fica de gasolina dentro do tanque.

E. Carga em função da tensão e da densidade

Estado da carga	Tensão da bateria (circuito aberto) Volt	Densidade do eletrólito	
		a 27°C	a 15°C
100%	12,7 - 12,8	1,265	1,273
75%	12,4 - 12,6	1,225	1,233
50%	12,2 - 12,4	1,190	1,198
25%	12,0 - 12,2	1,155	1,163
0	11,9 - 12,0	1,120	1,128

IMPORTANTE : a medição da densidade e a da tensão após uma operação de carga devem ser feitas depois da bateria ter “descansado” pelo menos 12 horas.



TERCEIRA PARTE

SISTEMA AUTOMOTIVO E SISTEMA DE SERVIÇO

O **sistema automotivo** alimenta essencialmente, além do motor, instrumentos, aparelhos e luzes que somente estão em uso quando o veículo está se deslocando (luzes de navegação, radar, molinete, etc. para um barco por exemplo). Por conseguinte, o sistema automotivo é basicamente composto por uma **bateria** e um **alternador**, e funciona quase que exclusivamente quando o motor gira.

O **sistema de serviço** alimenta principalmente eletrodomésticos e lâmpadas de iluminação que estão em uso intensivo quando o veículo está parado. Por conseguinte, o sistema de serviço é basicamente composto por uma **bateria** e um **carregador**, e funciona quase que exclusivamente quando o motor não gira.

Essas diferenças essenciais resultam em equipamentos específicos para cada sistema.

Para entender melhor como funciona cada sistema, vamos recorrer à clássica analogia entre circuito elétrico e circuito hidráulico, usando-se os bem conhecidos sistemas de abastecimento de água nas casas.

Sendo a bateria não mais que um reservatório, podemos representá-la por uma caixa d'água, porém com a diferença que, ao invés da caixa d'água, a bateria não pode ser totalmente esvaziada (abaixo de 11,5V, não há mais um aparelho ligado à bateria de serviço que funcione!).

1 - SISTEMA AUTOMOTIVO (fig. 8)

O sistema automotivo foi concebido para funcionar somente quando gira o motor, baseando-se no fato que não há consumo de energia quando o veículo está parado. O alternador automotivo gera uma corrente mantida sob tensão constante pelo regulador (entre 13 V e 14 V, dependendo do regulador).

O equivalente hidráulico desse esquema é composto por uma caixa d'água (= bateria), alimentada por água encanada (= corrente do alternador), cujo nível está mantido constante por uma clássica válvula de bóia (= regulador de tensão).

Funcionamento do sistema hidráulico :

Logo que se abra a torneira, o nível da água na caixa abaixa, puxando a bóia para baixo, que, pela alavanca, abre a válvula, permitindo a entrada da água da rede urbana. Assim, a água consumida na torneira está diretamente suprida pela água da rede urbana. O nível da água na caixa varia muito pouco ; a reserva na caixa só serve para regularizar a pressão da água na torneira. É um *sistema*

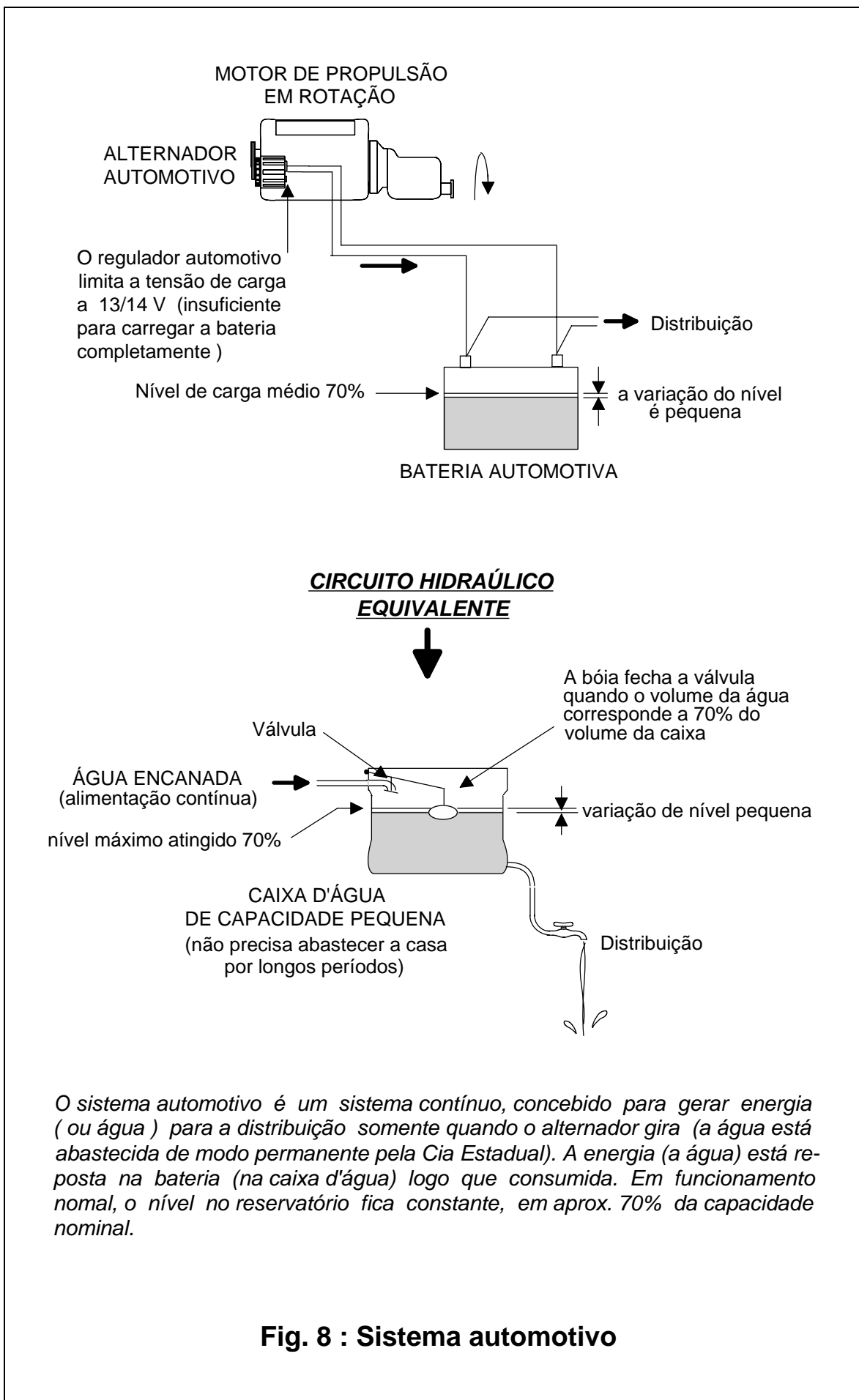
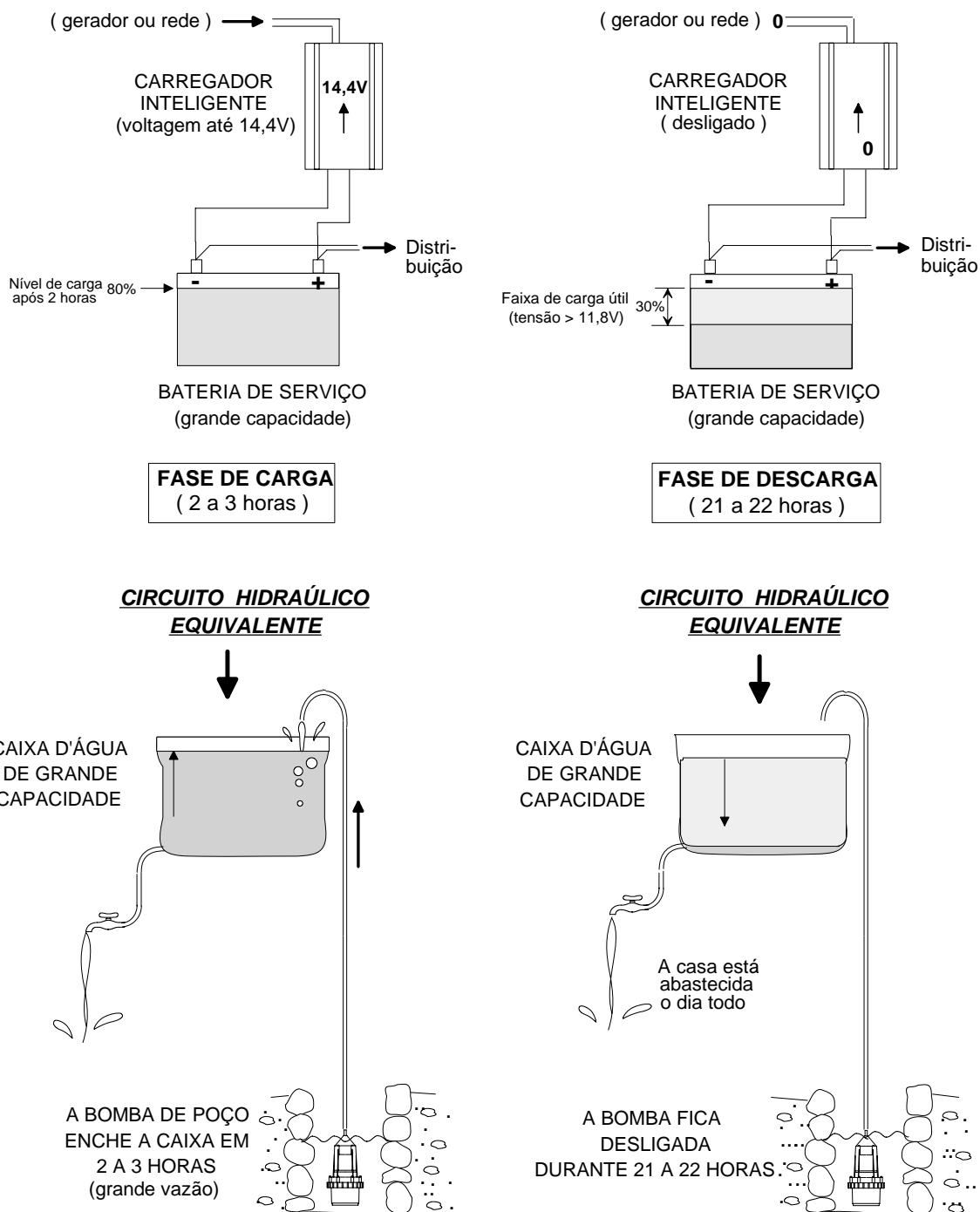


Fig. 8 : Sistema automotivo



A distribuição de energia por uma bateria de serviço é um sistema descontínuo : o nível da carga na bateria varia entre dois limites (bem como o nível na caixa d'água). Há uma fase de carga, quando o carregador (ou a bomba de poço) está ligado para encher a bateria (a caixa d'água) até 100%, e uma fase de descarga, quando o carregador (ou a bomba de poço) está desligado, usando-se a reserva de energia (ou água) constituída na fase anterior para abastecer o veículo ou a casa o resto do tempo.

Fig. 9 : Sistema "bateria de serviço"

contínuo que pressupõe que o abastecimento pela água encanada é permanente. A reserva só serve em caso de corte de água.

Funcionamento do sistema elétrico :

Quando o motor está ligado, toda a energia consumida está gerada pelo alternador e não pela bateria. Fora gerar a forte amperagem para a partida do motor, a bateria serve para estabilizar a tensão no circuito. O nível de carga na bateria fica constante em aprox. 70% da capacidade nominal. A reserva serve quando o motor está parado, preferencialmente por pouco tempo, ou quando quebrar o alternador.

2 - SISTEMA DE SERVIÇO (fig. 9)

Pela definição, o sistema de serviço funciona quando o motor está parado, seja quando não há uma fonte permanente de energia. Daí a necessidade de se ter uma reserva de energia. Tal sistema é convenientemente ilustrado por uma casa alimentada pela água de um poço, onde a caixa d'água é o equivalente da bateria, a bomba de poço o equivalente do carregador e o poço o equivalente de uma fonte de energia (gerador ou rede).

O funcionamento desse sistema é *descontínuo* : comporta duas fases. A primeira consiste em encher o reservatório (bateria ou caixa d'água) logo que se tem a possibilidade, geralmente programada, de fazê-lo, a segunda em usar a reserva constituída na fase anterior.

Funcionamento do sistema hidráulico :

Quando a caixa d'água está vazia, a bomba se liga (automática- ou manualmente) e enche a caixa até o limite máximo ; então se desliga. A frequência e a duração desta fase dependem do volume *útil* da caixa d'água e da regularidade do abastecimento da casa em eletricidade. A reserva *útil* na caixa d'água deve ser calculada para abastecer a casa durante o período mais longo previsível quando a bomba permanecer desligada.

Funcionamento do sistema elétrico :

Quando o veículo tem acesso a uma fonte de energia (tomada de cais ou do camping, gerador), aproveita-se para encher a bateria de serviço através do carregador. A capacidade do banco de baterias de serviço deve ser calculada em função do consumo previsto durante os períodos quando o veículo fica fora do alcance de uma fonte (especialmente quando não há um gerador a bordo).

Sendo esse funcionamento, percebe-se a importância de ter uma bomba (= carregador ou alternador *especial*) que possa encher a caixa (= bateria) no tempo mínimo. No caso do carregador "inteligente" ou do alternador *especial*, já vemos que em duas horas, esses aparelhos podem carregar uma bateria até 80%. Durante essa fase, a tensão de carga não fica constante como no alternador automotivo, mas cresce até 14,4V (fig.1).

Praticamente, o nível de carga na bateria de serviço (= na caixa d'água) não fica constante mas varia entre dois valores : 50% da carga nominal quando a *carga útil* está esgotada, e aprox. 80% após duas horas de carga. A faixa de *carga útil* é de aprox. 30%, o que torna o sistema bastante eficiente ; a experiência mostrou que esse valor de 30% é o melhor para obter a vida útil máxima das baterias (aprox. 500 ciclos). Todavia não podemos esquecer que é necessário encher a bateria até 100% pelo menos uma vez por mês para que a mesma não perdesse a capacidade original e sofresse uma redução da carga útil.

3 - USANDO O SISTEMA AUTOMOTIVO COMO SISTEMA DE SERVIÇO

Sabendo como funcionam os dois sistemas, é fácil ver que as características do alternador automotivo (Primeira Parte, § 3) não correspondem às exigidas para carregar a bateria de serviço. Lembramos por que :

1. A tensão máxima de carga atingida pelo alternador é baixa demais, entre 13 e 14V, enquanto deveria ser entre 14,4 e 15,2 V. Isso não permite carregar a bateria a mais que 70% e, ademais, depois de muitas horas,
2. O alternador automotivo gera a corrente nominal pela qual foi construído, que pode ser em muitos casos acima dos 25% da capacidade da bateria de serviço. Nessa condição a bateria pouco carrega (ver Segunda Parte, § 3-C).

Isso posto, vamos ver por que as “soluções” usualmente preconizadas não são muito satisfatórias

A. Instale um segundo alternador

Essa “solução” equívale em aumentar a corrente de carga.

Vemos que não se pode usar amperagens superiores a 25% da carga nominal da bateria para evitar o fenômeno da “falsa tensão bloqueadora”. Nos barcos, é comum ver um alternador de 50 A ligado a uma bateria de serviço de 100A. Nessas condições, o fenômeno logo aparece, e, após uns 10 minutos, a bateria não consegue armazenar um só Ampère. Aumentar a corrente, ao invés de melhorar, piora a situação : a “falsa tensão” sobe mais rápido e bloqueia a carga ainda mais cedo.

B. Ponha um alternador mais potente

O efeito dessa “solução” é o mesmo do caso anterior : aumentar a corrente de carga, com os resultados decepcionantes que agora sabemos.

C. Amplie o banco de bateria

Constitui em muitos casos a melhor solução, desde que a capacidade do banco de bateria seja compatível com a potência do alternador. Geralmente, a ampliação do banco de bateria é tímida demais para surtir efeitos. Vejamos o que acontece :

Exemplo 1 : um barco tem uma bateria de serviço de 100Ah e um alternador de 50A sob a tenção 13,8V. A corrente de carga inicial representa 50% da capacidade nominal da bateria. Nessas condições, sabemos que a “falsa tensão” sobe rapidamente até bloquear a carga. Após uma ou duas horas, dificilmente a bateria terá armazenado uns 10Ah. É muito pouco !

Exemplo 2 : no mesmo barco, a bateria de 100 Ah é substituída por uma de 200 Ah. Agora a corrente inicial de carga satisfaz a condição-limite dos 25% da capacidade nominal da bateria e podemos esperar carregar até os 70% prometidos. Infelizmente, o tempo necessário para atingir este resultado seria demasiado. Sendo o barco na poita, não é realista manter o motor na marcha lenta a noite inteira para repor apenas 20 Ah, mas se navegar uma média de 10 horas por dia a carga gerada pelo alternador será significativa.

Exemplo 3 : substituímos agora a bateria de 200Ah por uma de 500Ah : a corrente inicial de carga corresponde a 10% da capacidade nominal da bateria. A “falsa tensão” fica baixa e não se opõe mais à corrente de carga, cujo valor se estabiliza em aproximadamente 40A. Em três horas as baterias terão armazenado uns 100Ah. O ganho em relação à situação anterior é evidente.

Esses exemplos mostram que a solução correta para carregar usando um alternador automotivo é aumentar drasticamente a capacidade do banco de bateria (ou escolher um alternador menos potente) até obter a relação de aproximadamente 1/10 entre a corrente do alternador e a capacidade nominal do banco de bateria.

4 - CASO DAS CARGAS LENTA E RÁPIDA

Esses tipos de carga se aplicam somente à baterias abertas (não seladas) por causa da perda de água que proporcionam, e da necessidade subsequente de repor essa água. Antigamente, essas cargas se faziam usando um carregador manual, com todos os defeitos apontados na Primeira Parte ; agora existem carregadores semi-automáticos especiais para esses fins mas, infelizmente, com os mesmos defeitos.

A. “Carga lenta”

A “carga lenta” consiste em ajustar inicialmente a corrente do carregador num valor bem baixo, entre 2 e 5A, independente da capacidade da bateria, e manter mais ou menos este valor girando o botão de regulagem, até a tensão atingir os fatídicos 14,4V quando o eletrólito começa a borbulhar. Trata-se afinal da primeira etapa do processo de carga descrito na Primeira Parte §1, que permite, de fato, carregar a bateria até quase 100%. Pode demorar até dois dias. Isso é a teoria.

Na prática, não há fiscalização permanente possível e usa-se carregadores semi-automáticos, ajustados de fábrica, que nem sempre têm um botão para regular a corrente. Deixa-se o carregador ligado à bateria durante 24 horas, sem fiscalização. Depois de umas horas de carga, a bateria fica borbulhando tranqüilamente. Nessa altura, sabemos que a bateria não armazena mais nada, só perde água. Podemos supor que nos melhores dos casos a bateria pode ser carregada até 70% da sua capacidade nominal, o que é suficiente para uma bateria automotiva, mas não convém para baterias de serviço.

B. “Carga rápida”

A “carga rápida” consiste em submeter a bateria a uma corrente extremamente forte, até maior que a capacidade da mesma, e desligar o carregador logo que a bateria ficar quente, teoricamente quando atingir 60°C, mas freqüentemente fica ao critério do operador.

Vemos que uma corrente alta provoca a aparição da “falsa tensão” que iguala rapidamente a tensão do carregador e anula a própria corrente, mas pode-se manter uma corrente alta aplicando uma tensão sempre mais alta, acima dos 14,4V, girando o botão de regulagem.

Sob uma corrente muito forte, o eletrólito não demora a borbulhar violentamente, o que o homogeneiza e permite a difusão rápida das moléculas de SO_4H_2 que são produzidas em grande quantidade. A bateria consegue armazenar energia em pouco tempo mas os efeitos são devastadores e a danificam a tal ponto que sua vida útil se encontra drasticamente encurtada : a corrente alta provoca uma elevação de temperatura que deforma e fissa as placas, favorecendo ainda mais a ação abrasiva do borbulho sobre os materiais ativos.



CONCLUSÃO

Existem diversos tipos de bateria, desde a pequena pastilha de uma calculadora de bolso até as potentes baterias estacionárias de telefonia fixa. Cada um resulta de uma tecnologia diferente e tem aplicações específicas. Certas baterias estão recarregáveis, outras não ; certas são “abertas” (com tampinhas para acrescentar água cada vez que for preciso), outras seladas ; certas têm eletrólito líquido, outras gelificado...só para falar dos tipos mais comuns.

Nessa diversidade, é preciso escolher o tipo que corresponda ao uso. Uma bateria de serviço é necessariamente diferente de um bateria automotiva. Para o serviço, convém usar baterias “cicláveis” (= “descarga semi-profunda” ou “reserva de energia”). A bateria automotiva deve ser reservada ao uso automotivo (partida dos motores e alimentação dos equipamentos de navegação, exclusivamente usados quando gira um motor).

Também, a cada tipo de bateria corresponde um carregador específico.

É importante lembrar-se do seguinte :

- o alternador automotivo não foi concebido para carregar a bateria de serviço,
- uma bateria não usada deve ser mantida carregada,
- é a escolha do carregador certo ou errado que fará o capitão feliz ou aborrecido.

