



Universidade Federal de Campina Grande

Centro de Engenharia Elétrica e Informática

Curso de Graduação em Engenharia Elétrica

RAPHAEL RODRIGUES MENDES

Eficiência Energética no Setor de Formação de Baterias Industriais

Campina Grande, Paraíba
Outubro de 2014

RAPHAEL RODRIGUES MENDES

Eficiência Energética no Setor de Formação de Baterias Industriais

Trabalho de Conclusão de Curso submetido à Unidade Acadêmica de Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Campina Grande como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Bacharel em Ciências no Domínio da Engenharia Elétrica.

Orientador:

Prof. Dr. Benedito Antonio Luciano, UFCG

Campina Grande, Paraíba
Outubro de 2014

RAPHAEL RODRIGUES MENDES

Eficiência Energética no Setor de Formação de Baterias Industriais

Trabalho de Conclusão de Curso submetido à Unidade Acadêmica de Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Campina Grande como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Bacharel em Ciências no Domínio da Engenharia Elétrica.

Área de Concentração: Sistemas Elétricos

Aprovado em / /

Prof. Dr. Tarso Vilela
Universidade Federal de Campina Grande
Avaliador

Prof. Dr. Benedito Antonio Luciano
Universidade Federal de Campina Grande

Dedico este trabalho aos meus pais e avós, que certamente
queriam estar presentes neste momento especial.

.

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, agradeço à UFCG, aos professores e Coordenadoria do Curso de Graduação em Engenharia Elétrica por terem me ajudado e oferecido condições adequadas para adquirir conhecimento e poder concluir este trabalho.

Agradeço, também, aos meus pais, Polyana de Araújo Rodrigues e Francisco de Assis Mendes, por terem se esforçado para me proporcionar a melhor educação, alimento, saúde, força e coragem, as quais foram essenciais para superação de todas as adversidades ao longo desta difícil caminhada.

Agradeço a toda minha família, que com todo carinho e apoio, não mediu esforços para eu chegasse a esta etapa da minha vida.

Agradeço ao meu orientador, Benedito Antonio Luciano, por toda paciência, disposição e tempo gasto me dando sugestões.

Agradeço aos amigos mais próximos pelas risadas, noites mal ou não dormidas e companhia ao longo destes quase seis anos de estudos, de aprendizado e de amadurecimento.

Agradeço a Marcella Pedrosa e Diego Duarte que supervisionaram e contribuíram com idéias para o desenvolvimento deste trabalho.

Agradeço a empresa Acumuladores Moura pela disponibilidade de todo equipamento utilizado para o desenvolvimento deste trabalho, como também a permissão de tornar público os resultados obtidos.

“Só aqueles que têm paciência para fazer coisas simples com perfeição é que irão adquirir habilidade para fazer coisas difíceis com facilidade.”

Johann Christoph Von Schiller

RESUMO

Atualmente um dos assuntos mais em pauta é a eficiência energética. A eficiência energética não é apenas importante na utilização das baterias e equipamentos como celulares e computadores, mas também na sua produção. Por as baterias industriais precisarem de uma grande quantidade de energia para serem ativadas(formadas), estudar o seu processo de fabricação e novas maneiras para reduzir a quantidade de energia necessária para sua formação é uma excelente oportunidade de economia de energia. Assim, neste trabalho é feito um estudo acerca do processo de produção e ensaios de novos modos de formação de baterias industriais com recirculação do eletrólito, a fim de reduzir não só a energia necessária, como também o tempo de produção.

Palavras-chave: Baterias industriais, Eficiência energética, Formação, Recirculação do eletrólito.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1-Célula de um acumulador chumbo-ácido [1]	14
Figura 2- Representação de uma Ligação de Elementos em Série Fonte [1]	16
Figura 3- Placa Positiva (a) Placa Negativa (b).....	18
Figura 4-Separador de resina fenólica.	18
Figura 5- Polo OPzS Usinado.....	19
Figura 6- Ilustração das partículas de óxido de chumbo [1]	20
Figura 7- Perfil do Reator Barton [2]	21
Figura 8-Grade.	22
Figura 9- Moldes de Polos OPzS.....	24
Figura 10- Torno CNC (Usinagem de Polos OPzS).	25
Figura 11-Polo OPzS injetado.	25
Figura 12- Teste de Vazamento.....	26
Figura 13- Elemento OPzS soldado.....	26
Figura 14- Banco de formação OpzS.	27
Figura 15-Relação de Ah/kg de massa seca positiva para cada elemento.	29
Figura 16- Inbatec.	30
Figura 17-Computador do Inbatec, no lado esquerdo, e computador do Digatron, no lado direito.....	30
Figura 18-Exemplo de montagem da bateria em estante [6]	32
Figura 19-Inbatec	33
Figura 20-Retificador Digatron	33
Figura 21-Controle de densidade realizado	35
Figura 22- Gráfico comparativo do Ah utilizado por ensaio do elemento 6MO400.	39
Figura 23 - Gráfico comparativo do tempo de formação por ensaio do elemento 6MO400.	39
Figura 24 - Gráfico comparativo do Ah utilizado por ensaio do elemento 10MO1000.	40
Figura 25 - Gráfico comparativo do tempo de formação por ensaio do elemento 10MO1000.	40

LISTA DE QUADROS

Quadro 1- Resultados referente ao ensaio com formação ao ar livre sem recirculação de eletrólito	36
Quadro 2- Resultados referente ao ensaio de recirculação de eletrólito	37
Quadro 3- Resultados referente ao ensaio de recirculação de eletrólito e controle de temperatura.....	37
Quadro 4- Resultados referente ao ensaio de recirculação de eletrólito, controle de temperatura e controle de densidade	37
Quadro 5- Resultados referente ao ensaio de recirculação de eletrólito, controle de temperatura, controle de densidade e descarga de 20%	38
Quadro 6-Comparativo de ganhos	38

SUMÁRIO

1	Introdução.....	12
1.1	Objetivos.....	13
1.1.1	Objetivo geral.....	13
1.1.2	Objetivos específicos.....	13
2	Fundamentação teórica.....	13
2.1	Chumbo.....	17
2.2	Principais componentes de um acumulador.....	17
2.2.1	Placas positivas.....	17
2.2.2	Placas negativas.....	18
2.2.3	Separadores.....	18
2.2.4	Eletrólito.....	19
2.2.5	Polos.....	19
2.2.6	Vaso, Tampa e estantes.....	19
2.3	Principais etapas do processo produtivo.....	19
2.3.1	Óxido de chumbo.....	19
2.3.2	Massa.....	22
2.3.3	Grades.....	22
2.3.4	Empastamento.....	23
2.3.5	Cura.....	23
2.3.6	Pequenas peças.....	24
2.3.7	Montagem de elementos.....	25
2.3.8	Formação.....	26
2.3.8.1	Formação ao ar livre.....	27
2.3.8.2	Formação com Recirculação no Inbatec.....	30
2.3.9	Teste de capacidade.....	31
2.3.10	Montagem e Acabamento da bateria.....	32
3	Material e métodos.....	32
3.1	Formação ao ar livre sem recirculação de eletrólito.....	34
3.2	Formação com recirculação de eletrólito.....	34
3.3	Formação com recirculação e controle de temperatura.....	34
3.4	Formação com recirculação , controle de densidade e controle de temperatura.....	35
3.5	Formação com recirculação , controle de densidade, temperatura e descarga de 20% da capacidade do elemento.....	36
4	Resultados.....	36
4.1	Análise comparativa.....	38
5	Conclusão.....	42

Referências43

1 INTRODUÇÃO

Com o avanço tecnológico a energia é cada vez mais imprescindível ao nosso modo de vida e os dispositivos acumuladores de energia são cada vez mais utilizados e importantes em diversos tipos de aplicações.

As baterias estacionárias industriais possuem duas aplicações básicas: flutuação e ciclos constantes de carga e descarga. No regime de operação de flutuação as baterias permanecem grandes períodos sob tensão de flutuação e em caso de falta do sistema externo de abastecimento, são destinadas a compensar as perdas internas e mantê-las sempre em estado de plena carga. Estas baterias são utilizadas em sistemas de telecomunicações, *no-breaks*, subestações elétricas, alarmes de vigilância eletrônica, iluminação de emergência/sinalização e hospitais. No regime de ciclos constantes a bateria é submetida a um grande número ciclos de carga e descarga, e fornece a energia necessária para as instalações, sendo carregada em intervalos de tempo regulares. Estas baterias são utilizadas em sistemas de energia eólica e solar, em monitoramento remoto, e sinalização marítima.

Nota-se que todas as aplicações de baterias estacionárias industriais são de grande porte e requerem uma grande quantidade de energia armazenada. Para que seja ativada a bateria é necessário fornecer uma grande quantidade de energia para formar o material ativo, dióxido de chumbo na placa positiva e chumbo na placa negativa, e possibilitar ciclos de carga e descarga, esse processo é o mais delicado devido a não poder ser interrompido sendo chamado de formação.

Diante da crise energética brasileira, aumento de tarifa e possibilidade de racionamento de energia elétrica, realizar o estudo do processo produtivo para aumentar a receptividade de carga e minimizar a quantidade de energia necessária durante o processo de formação e do tempo de produção, aumentando a eficiência energética, surge como uma excelente oportunidade para economia de energia e diminuição de custos .

No Capítulo 1 é apresentada esta introdução. No Capítulo 2 apresenta-se a fundamentação teórica acerca de baterias industriais, o seu funcionamento básico, componentes e processo de produção . No Capítulo 3 são apresentados onde e como foram realizados os testes a fim de aumentar a eficiência energética. No Capítulo 4 são apresentados os resultados referentes aos testes do Capítulo 3 e uma análise comparativa entre os métodos de formação utilizados. Por fim, no Capítulo 4 é apresentada a conclusão sobre o trabalho desenvolvido.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 OBJETIVO GERAL

Estudar o processo de fabricação de baterias industriais e desenvolver novas técnicas de formação a fim de se obter uma maior eficiência energética.

1.1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Realizar uma revisão bibliográfica, objetivando conhecer o processo de fabricação de baterias industriais;
- Estudar modo e plano de formação de baterias industriais ao ar livre para detecção de pontos a serem melhorados;
- Realizar testes com novos modos e planos de formação de baterias industriais;
- Realizar uma análise comparativa dos resultados dos diferentes tipos de formação de baterias industriais realizados.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A conversão de energia química em energia elétrica (conversão eletroquímica), como a que ocorre em acumuladores, é um das formas mais eficientes de conversão de energia, sendo muito mais eficiente que a conversão de energia química em energia mecânica (conversão termoquímica), utilizadas pelos motores. Do ponto de vista termodinâmico essa eficiência se deve ao fato de que a conversão eletroquímica não está limitada pelo teorema de Carnot, segundo o qual a eficiência da conversão está relacionada com a diferença de temperatura entre fontes frias e quentes. Para esclarecer o funcionamento de um acumulador será dado um exemplo em termos de um acumulador de chumbo-ácido o qual é utilizado neste trabalho [1].

O dióxido de chumbo (PbO_2) é uma substância que possui uma grande tendência de receber elétrons, enquanto que o chumbo metálico (Pb) tem uma grande tendência de doar elétrons. Assim, ao colocar o chumbo metálico em contato com dióxido de chumbo

e estabelecer as condições para que elétrons possam caminhar de um para outro, obteremos a transferência de elétrons do chumbo para o dióxido de chumbo com extrema facilidade. Para se estabelecer estas condições é importante saber exatamente o que está ocorrendo com o material ativo (isto é, chumbo e dióxido de chumbo), após a transferência dos elétrons. As substâncias químicas nas quais o chumbo e o dióxido de chumbo irão se transformar após a transferência de elétrons, dependerá do meio em que se encontram.

No acumulador de chumbo-ácido, conforme ilustrado na Figura 1, esse meio é uma solução aquosa de ácido sulfúrico, conhecido como eletrólito. Nesse caso, o chumbo metálico ao perder seus elétrons e o dióxido de chumbo ao receber esses elétrons, transformam-se em sulfato de chumbo ($PbSO_4$), de acordo com as reações apresentadas nas expressões 1, 2 e 3.

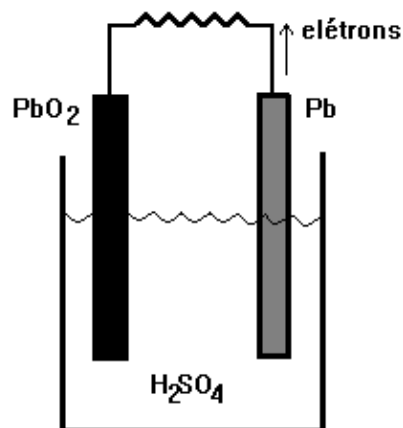
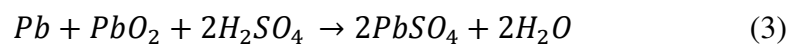
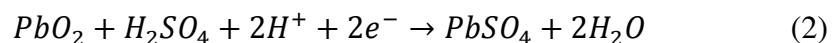
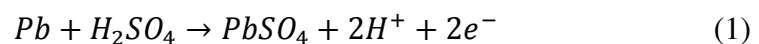


Figura 1-Célula de um acumulador chumbo-ácido [1].



Para que a energia do acumulador possa ser utilizada, é importante fazer com que os elétrons transferidos no processo descrito na Figura 1, passem por um circuito elétrico externo e realizem um trabalho, por exemplo, girando um motor elétrico, acendendo uma lâmpada, etc. Fazer com que os elétrons sejam transferidos eficientemente e controlados é o segredo do bom funcionamento de um acumulador.

Finalmente, o dispositivo só é considerado um acumulador (bateria) se possibilitar que ocorra o processo inverso, os elétrons transferidos do chumbo ao dióxido de chumbo possam ser transferidos no sentido contrário, isso é feito através da aplicação de uma corrente elétrica externa, que regenera o chumbo e o dióxido de chumbo consumido.

Os elétrons, por serem partículas de carga negativa, são atraídos por regiões de potencial elétrico positivo e repelidos por regiões de potencial elétrico negativo. Assim, em um acumulador como o descrito anteriormente, o chumbo é o pólo negativo e o dióxido de chumbo é o pólo positivo do acumulador. O chumbo e o dióxido de chumbo são utilizados na forma de placas (grades de chumbo revestidas por material ativo), assim, temos que a placa positiva é composta de dióxido de chumbo e a placa negativa é composta de chumbo.

Na Figura 2 é apresentada a configuração mais simples para um acumulador que seria a de uma placa negativa e uma placa positiva, separadas por um separador poroso e imersas em uma solução de ácido sulfúrico.

Esta unidade constitui uma célula. Quando o acumulador está carregado, as placas positivas e negativas são constituídas essencialmente de dióxido de chumbo e chumbo, respectivamente. Durante a descarga, as placas sofrem reações e ambas são convertidas a sulfato de chumbo. Paralelamente, a solução de ácido sulfúrico diminui em concentração. Um sistema, como este, apresenta uma diferença de potencial entre as placas de cerca de 2 volts. Essa tensão é função principalmente da densidade da solução aquosa de ácido sulfúrico absorvida nas placas.

A quantidade de carga que essas placas podem fornecer é função da quantidade de material ativo presente. Se o tamanho das placas dobrar, teoricamente dobrará a quantidade de carga disponível. Ao invés de aumentar o tamanho das placas, é possível ligar outra placa positiva à placa positiva original e outra placa negativa à placa negativa original (ligação em paralelo). Desse modo obtém-se um elemento. Para aumentar a diferença de potencial do acumulador, devem-se ligar dois ou mais elementos de modo que as placas positivas se liguem às placas negativas (ligação em série). Elementos ligados em série devem estar em compartimentos separados, isto é, a solução de um elemento não deve entrar em contato com a de outro elemento.

Se isto ocorrer, os elementos sofreriam descarga, devido ao circuito elétrico fechado através da solução. Com a ligação em série, pode-se aumentar a tensão de 2 em 2 volts, conforme fica evidenciado na Figura 2.

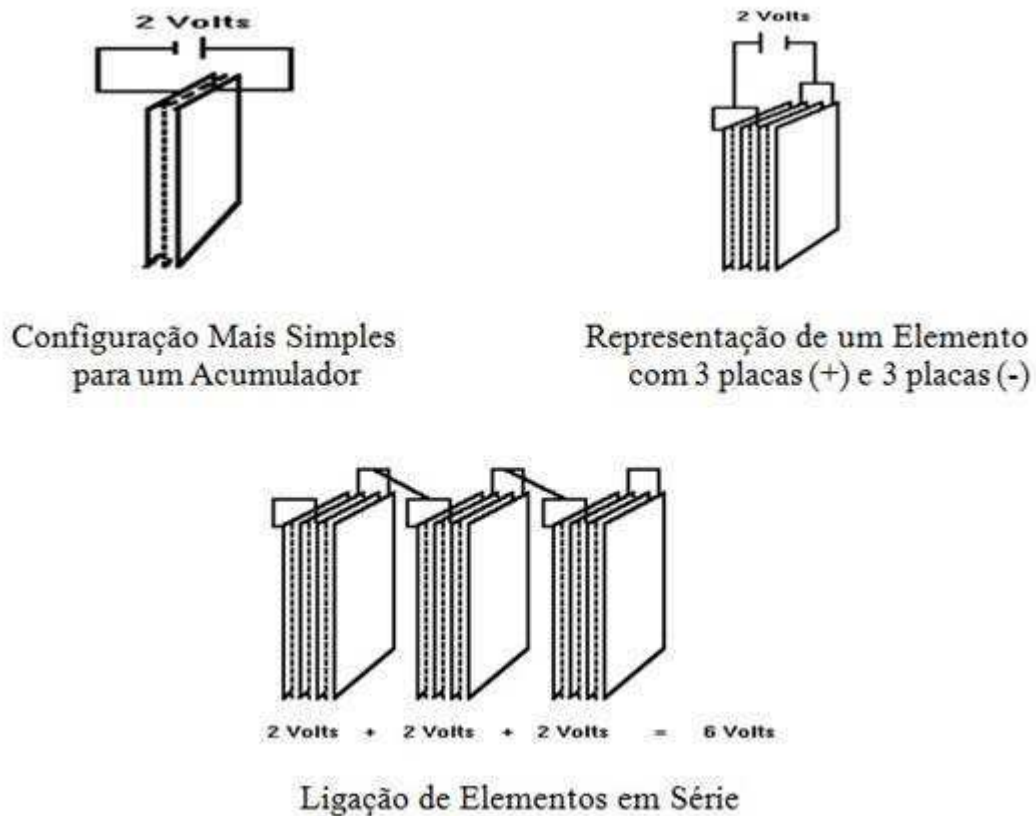


Figura 2- Representação de uma Ligação de Elementos em Série Fonte [1].

Durante o processo de recarga, além das reações de conversão do sulfato de chumbo em chumbo metálico na placa negativa e dióxido de chumbo na placa positiva, ocorrem sempre outras reações paralelas indesejáveis. Na placa positiva pode ocorrer uma oxidação da grade metálica, ou seja, uma corrosão das grades positivas. Este processo é acelerado em condições de alta temperatura e de tensão excessiva utilizada na recarga. As ligas utilizadas nas grades e o contato entre massa e grade são os fatores mais importantes na proteção contra corrosão. Ainda na placa positiva, pode ocorrer um consumo de oxigênio proveniente da água presente na solução.

Na placa negativa pode ocorrer um consumo de íons de hidrogênio. O consumo de hidrogênio e de oxigênio corresponde exatamente ao consumo de moléculas de água, e este depende em grande parte da presença de contaminantes e composição das ligas de chumbo utilizadas nas grades.

2.1 CHUMBO

O chumbo se encontra na natureza acumulado em minas como resultado dos processos de diferenciação que ocorreram durante a evolução do planeta. Sua disseminação no ambiente é resultado da atividade humana.

Durante muitos anos foram utilizados compostos de chumbo em tintas, tubulações e como antidetonante em combustíveis. Por ser altamente nocivo ao Homem e ao meio ambiente, a utilização desses compostos foram praticamente banidos em todos os países. O uso do chumbo em tubulações foi muito frequente em tempos passados devida à fácil processabilidade do chumbo associada à passivação de sua superfície (formação de camada inerte e resistência à corrosão) uma vez que boa parte de seus compostos são altamente insolúveis em água.

O Brasil praticamente não possui reservas minerais deste elemento. Assim, a maior parte do chumbo existente no país procede de importações. O chumbo utilizado pela indústria de baterias pode ser classificado como primário (proveniente de minas) e secundário (obtido pelo refino através de material reciclado). Um dos bens com maior índice de reciclagem no mundo é a bateria de chumbo, superando em muito o papel e o vidro, atingindo em alguns países números próximos a 100%.

Neste contexto, a sucata de baterias é um material estratégico para a indústria de baterias no Brasil. A Convenção de Genebra proíbe a exportação de lixos perigosos, incluindo-se aí sucatas de baterias. Para um país como o nosso isso significa que para aumentarmos nossa produção, somos obrigados a importar chumbo refinado (primário ou secundário). Apesar de contarmos com instalações de reciclagem, por força desta Convenção, elas são impedidas de reciclar sucata internacional. Com isto, o custo da matéria prima se torna mais elevado, e nossa competitividade de exportação é diminuída.

2.2 PRINCIPAIS COMPONENTES DE UM ACUMULADOR

2.2.1 PLACAS POSITIVAS

As placas positivas são constituídas pela grade, estrutura de uma liga de chumbo antimônio e estanho, que oferece suporte mecânico, condutibilidade e resistência à corrosão,

e a pasta, material ativo positivo que fornece a corrente ao circuito externo quando o acumulador está em descarga. Vale salientar que o material ativo positivo em estado de plena carga é o dióxido de chumbo.

2.2.2 PLACAS NEGATIVAS

As placas negativas são constituídas pela grade e material ativo negativo. Este material no estado de plena carga é de chumbo metálico esponjoso (Pb), e devido aos aditivos incorporados, têm elevada coesão e porosidade. Para diferenciar a placa negativa (Figura 3a), da positiva (Figura 3b), é feita a adição de negro de fumo, o que resulta em uma coloração quase escura a placa.



(a) (b)
Figura 3- Placa Positiva (a) Placa Negativa (b).

2.2.3 SEPARADORES

Os separadores possuem a função de evitar o contato entre polaridades opostas para que não haja curtos. São compostos por uma resina fenólica, a qual tem como característica uma baixa resistência elétrica e facilidade na passagem de elétrons (porosidade) como é mostrado na Figura 4.



Figura 4-Separador de resina fenólica.

2.2.4 ELETRÓLITO

O eletrólito é uma solução aquosa de ácido sulfúrico diluído em água desmineralizada, com pureza exigida para acumuladores chumbo-ácido e densidade variável a depender de sua aplicação.

2.2.5 POLOS

Os polos, mostrados na Figura 5, são feitos de liga especial de chumbo-estanho com insertos de latão protegidos por uma cama de estanho.

As principais características dos polos são elevada resistência mecânica e boa condutividade elétrica.



Figura 5- Polo OPzS Usinado.

2.2.6 VASO, TAMPA E ESTANTES

O vaso e a tampa são compostos por polímeros, ABS e SAN respectivamente e não são produzidos na Moura. O vaso deve ser robusto o suficiente para comportar o sistema em condições de uso e evitar qualquer vazamento de solução.

2.3 PRINCIPAIS ETAPAS DO PROCESSO PRODUTIVO

2.3.1 ÓXIDO DE CHUMBO

O óxido de chumbo para uso em acumuladores normalmente pode ser obtido por dois processos diferentes: moinho de atrito e reator. No moinho de atrito o chumbo é adicionado em pedaços dentro do moinho. O choque entre os diversos pedaços gera

calor e provoca a quebra do chumbo em partes cada vez menores. Durante esse processo o chumbo vai se oxidando. No reator, também chamado de Barton, o chumbo fundido é adicionado e misturado dentro do reator, continuamente. Cada tipo de processo possui suas características e resulta em óxidos com propriedades ligeiramente diferentes. Dois são os parâmetros básicos que caracterizam o óxido de chumbo (além de sua pureza): sua granulometria e o teor de chumbo não oxidado (normalmente chamado de chumbo livre). O óxido de chumbo preparado no reator normalmente possui partículas esféricas e de granulometria menor que o chumbo de moinho de atrito que por seu lado apresenta partículas elipsóides (alongadas).

As partículas de óxido de chumbo podem ser esquematizadas como sendo partículas de chumbo metálico envolvidas por uma camada de óxido de chumbo. Nas partículas esféricas (obtidas no óxido de reator) mostradas na Figura 6 essa camada de óxido é regular, enquanto que nas partículas alongadas (obtidas no óxido de moinho) essa camada é mais fina em alguns pontos, conferindo assim uma maior reatividade para esse tipo de óxido.

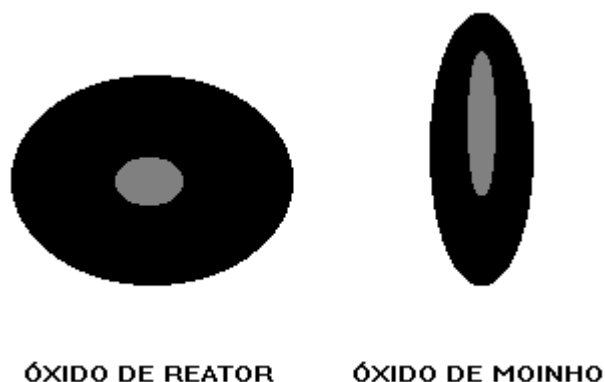


Figura 6- Ilustração das partículas de óxido de chumbo [1].

A forma das partículas de óxido de chumbo tem uma influência sobre a plasticidade da massa obtida, partículas esféricas produzem massas que fluem melhor na empastadeira. O teor de chumbo livre é importante, pois nas etapas subsequentes este chumbo irá se transformar, garantindo uma boa consistência para as placas. Normalmente são utilizados teores da ordem de 24% a 30% de chumbo livre.

O controle sobre o processo é normalmente realizado em função da taxa de alimentação de chumbo no reator ou no moinho e do fluxo de ar. Como a reação de

chumbo com oxigênio para produzir o óxido libera grandes quantidades de calor, a reação é razoavelmente auto-sustentável. Estas duas variáveis permitem controlar a granulometria, a temperatura e o teor de chumbo livre no óxido.

A Moura utiliza a tecnologia de Reatores Barton, a qual segue o processo apresentado na Figura 7.

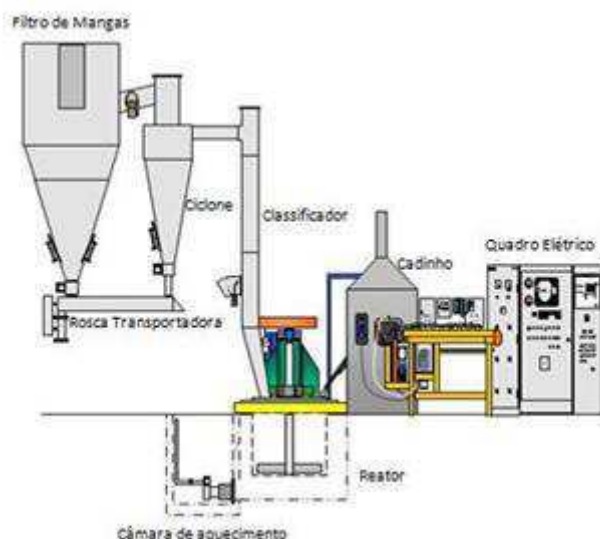
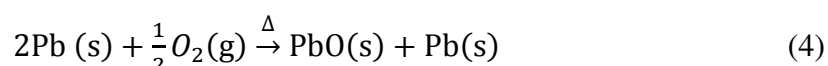


Figura 7- Perfil do Reator Barton [2].

O óxido de chumbo é succionado e enviado para o classificador que faz a separação das partículas de acordo com a granulometria. As partículas menores conseguem vencer as barreiras, atingindo o topo do classificador, enquanto as maiores caem, retornando assim ao reator. A etapa seguinte é o ciclone e o filtro de manga, onde as partículas são separadas novamente de acordo com seu tamanho. As partículas de dimensões apropriadas caem numa rosca transportadora que recolhe o pó de todos os reatores e as envia para a maturação.

Os lingotes de chumbo mole (Aproximadamente 99% de pureza) são fundidos em cadinhos a 500°C. O chumbo líquido escorre para o reator, onde é injetado ar e agitado vigorosamente. As condições de reação são: 360°C, 40 mm c.a. de pressão de sucção e, no máximo, 3 mm de folga das navalhas.

A principal reação ocorrendo nesta etapa é:



2.3.2 MASSA

A partir do óxido é que se produz as massas positiva e negativa que irão ser empastadas às grades. Essas massas são produzidas sob condições controladas em um misturador que é normalmente denominado de masseira. À exceção de alguns aditivos, as massas positiva e negativa são produzidas do mesmo modo. Assim, para o preparo das duas massas, são adicionados ao óxido, solução de ácido sulfúrico, água e fibra. A função da fibra é de dar consistência mecânica para evitar queda de massa após o empastamento. O ácido sulfúrico irá reagir totalmente com o óxido e produzir sulfatos de chumbo. No entanto, o ácido adicionado não é suficiente para reagir com todo o óxido presente, de modo que a massa ainda contém uma grande quantidade de óxido de chumbo. A função da água é essencialmente de garantir a plasticidade, a densidade e a umidade da massa o que é necessário para um bom empastamento e cura nas etapas subseqüentes.

2.3.3 GRADES

As grades de chumbo ilustrada na Figura 8 têm a função de suporte mecânico e condução de eletricidade. Diferentemente do chumbo utilizado na produção de óxido, as grades são produzidas a partir de ligas que permitem uma processabilidade não encontrada no chumbo puro. Ao se introduzir elementos de liga, as propriedades físicas e químicas do chumbo são alteradas. Principalmente devem ser consideradas as alterações em suas propriedades mecânicas, para garantir boa processabilidade ao mesmo tempo que boa rigidez, sua resistência à corrosão, e sua influência no consumo de água do acumulador.

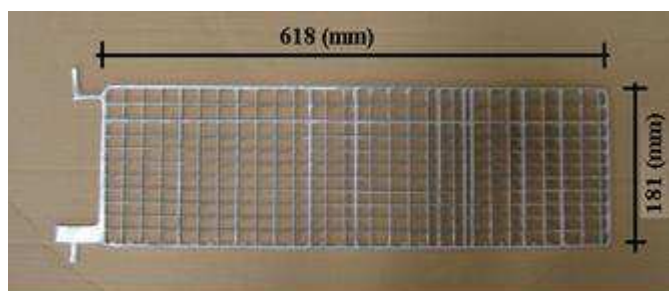


Figura 8-Grade.

Um importante elemento de liga utilizado é o antimônio (Sb), pois melhora a dureza das grades, logo após a fundição. Em contra partida o antimônio aumenta o consumo de água na bateria, o que é prejudicial para a bateria. Atualmente, trabalha-se com ligas de teor de antimônio 1,5% para grades OPzS, e com a adição de arsênio (As)

e selênio (Se) como elementos de liga, mas mesmo com estas adições se faz necessário a reposição com água.

Após a fundição das grades é preciso que as mesmas passem por um período de envelhecimento, antes que possam ser utilizadas no empastamento (especificamente as grades positivas) para melhorar a adesão da massa na grade.

2.3.4 EMPASTAMENTO

Após produzir a grade e a massa é realizado o empastamento, processo de aplicação da massa na grade. O recomendável é que logo após a massa ser produzida seja realizado o empastamento, pois a pasta sofre transformações que irão alterar suas propriedades as quais são desejadas que apenas ocorram nas placas já empastadas. A qualidade do empastamento depende da plasticidade e densidade da massa. Portanto, esses dois parâmetros devem ser ajustados para garantir um bom empastamento. Um bom empastamento resulta em placas uniformes e sem falhas, fundamental para a etapa de montagem de elemento e o desempenho da bateria.

A quantidade de massa na placa irá determinar seu desempenho elétrico. Por outro lado irá também determinar o custo da mesma. Assim, utiliza-se quantidade de massa suficiente para um bom desempenho e na menor quantidade possível para um baixo custo. Logo que o empaste é realizado, as placas são passadas por um túnel de pré-secagem. Esta etapa deve garantir que as placas estejam secas o suficiente para evitar que uma fique aderindo à outra, e úmidas o suficiente para garantir que as placas sejam curadas adequadamente. O ideal é que as placas estejam secas somente em sua superfície exterior e que retenham a umidade em seu interior. Após esta etapa as placas estão em condições de serem colocadas no processo de cura.

2.3.5 CURA

A cura é um processo onde as transformações iniciadas na masseira são consolidadas. Essencialmente ocorre uma posterior oxidação do chumbo livre presente, até níveis bastante baixos (por volta de 3%). A oxidação do chumbo livre somente ocorre em um intervalo restrito de umidade. Como o processo libera calor, é de fundamental importância controlar a umidade e a temperatura durante a cura,

principalmente ao utilizar o óxido produzido por reator, devido a possuir partículas esféricas que dificultam o processo de oxidação.

Alto teor de chumbo livre na placa curada pode ser um indicativo de cura incompleta e irá contribuir para queda de massa durante a formação e uso da bateria. A etapa final de cura é uma etapa de secagem que tem uma influência marcante sobre a coesão da massa. Uma secagem muito rápida irá contribuir para queda de massa e formação de rachaduras na placa. O processo de cura e secagem é crítico para as placas positivas e, portanto talvez seja indicado uma cura diferenciada para essas placas, pois deve ser lembrado que enquanto uma alta temperatura favorece a formação de sulfato tetrabásico, bom para as placas positivas, essa mesma temperatura será prejudicial para o lignosulfonato presente nas placas negativas, por isso que existe diferença de temperatura nas câmaras de cura durante a secagem para placas positivas e negativas.

2.3.6 PEQUENAS PEÇAS

As pequenas peças são utilizadas na confecção de elementos, agrupando as placas, garantindo essencialmente uma boa soldagem, boa resistência à corrosão, boa dureza e boa condução elétrica. As placas são agrupadas juntas através de suas orelhas em uma peça denominada “*strap*” e nelas são soldados os pólos negativos e positivos que podem ser roscados, conforme mostrado na Figura 9.



Figura 9- Moldes de Polos OPzS.

Os polos ainda passam por um processo de usinagem o qual gera um acabamento diferenciado. O equipamento utilizado neste processo é mostrado na Figura 10.



Figura 10- Torno CNC (Usinagem de Polos OPzS).

Após a Usinagem, os polos OPzS são enviados a uma empresa terceirizada para passar por um processo de injeção, processo que protege os polos do ataque do eletrólito, conforme apresentado na Figura 11.



Figura 11-Polo OPzS injetado.

2.3.7 MONTAGEM DE ELEMENTOS

As placas possuem pontos onde serão feitas as soldas que ligarão os diferentes grupos de placas, chamadas de orelhas ou bandeiras. Essas orelhas devem estar perfeitamente limpas para garantir uma boa soldagem e conseqüentemente um bom contato elétrico e suporte mecânico. Nesse estágio, as placas estão prontas para serem montadas. Por montagem, entende-se a soldagem das orelhas, colocação das placas nos vasos montando os elementos (elementos são grupos alternados de placas positivas e negativas, com separadores entre elas) e posteriormente a colagem da tampa/vaso. Ao término da montagem é feito o teste de vazamento em 100% dos elementos, conforme mostrado na Figura 12, para evitar que durante a formação ou até mesmo o uso exista o vazamento de eletrólito e venha a inutilizar a bateria.



Figura 12- Teste de Vazamento.

O processo de solda é realizado manualmente, as placas devem ter suas orelhas lixadas e apresentarem brilho metálico no momento de soldagem, para se garantir uma boa união com o “strap”.

O “strap” deve possuir as dimensões adequadas para permitir uma maior facilidade nas etapas seguintes (colocação dos elementos dentro do vaso), e para garantir uma condutância elétrica boa. A Figura 13 apresenta o elemento com o “strap” soldado.



Figura 13- Elemento OPzS soldado.

2.3.8 FORMAÇÃO

A formação é a etapa em que o elemento recebe energia por um longo período de tempo para que ocorram transformações eletroquímicas e seja formado o material ativo. Atualmente, existem dois modos de formação sendo aplicados na empresa

Acumuladores Moura: a formação com o eletrólito parado, ao ar livre, e a formação com recirculação utilizando o Inbatec.

2.3.8.1 FORMAÇÃO AO AR LIVRE

Este tipo de formação já é praticado e consolidado há bastante tempo, é a forma mais simples e que requer menor investimento, em contrapartida é necessário muito tempo para realizar a formação completa dos elementos.

Antes de iniciar a formação propriamente dita é realizado o enchimento do elemento e o seu descanso por 3 h, conhecido como “*soaking*” na literatura. Nesta etapa o PbO e os sulfatos básicos reagem com a solução de ácido sulfúrico. Essas reações são responsáveis por mudanças na composição química e na morfologia dos cristais que constituem a placa curada.

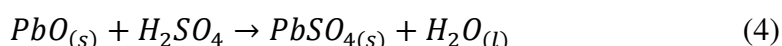
O procedimento padrão para a formação é o seguinte: os elementos crus provenientes da montagem de elementos recebem a solução de ácido sulfúrico na densidade especificada 1200 g/l. Depois de feito o nivelamento da solução, são arranjados nos bancos para serem formados. As baterias estacionárias são formadas em pallets, conforme mostrado na Figura 14. Os circuitos podem incluir 36 a 72 elementos por cada série e são utilizados dois tipos de retificadores.



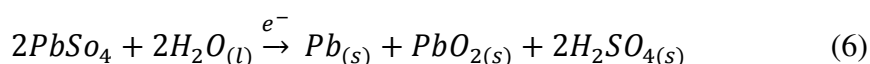
Figura 14- Banco de formação OPzS.

Na formação, as placas irão sofrer transformações que irão produzir o material ativo do acumulador. Uma corrente elétrica pré-determinada produzirá as transformações eletroquímicas. A formação propriamente dita consiste na passagem de uma corrente elétrica entre as placas, de modo que na placa negativa irá se formar o material ativo chumbo e na positiva o material ativo será o dióxido de chumbo.

O processo de formação da bateria pode ser resumido em duas reações químicas, que ocorrem durante o plano de formação.



A equação 5 ocorre durante o enchimento do elemento e é espontânea.



A reação da equação 6 é não-espontânea, sendo forçada pela corrente elétrica introduzida. O chumbo livre é formado na placa negativa e o óxido de chumbo, formado na positiva. A reação precisa ter uma conversão alta, pois a presença de sulfato de chumbo pode danificar o separador, permitindo o contato entre as placas e provocando assim pequenos curtos, que reduzem a vida útil da bateria.

A formação de Pb na placa negativa ocorre de forma mais rápida que a formação de PbO₂ na placa positiva. Quando a conversão na placa negativa já atingiu 100%, na placa positiva está em torno de 50%. Deste modo, a placa negativa recebeu carga excessiva, podendo levar ao aparecimento de corrosão nas grades.

Para obter uma melhor formação do elemento é recomendável que a densidade permaneça entre 1,100 a 1,150 e só no final atinja 1,210 que é a densidade final do elemento, processo este que não é feito neste tipo de formação devido a ser inviável produtivamente. A densidade baixa durante a formação promove um meio com menor concentração de SO₄⁻ do que nas placas, esta diferença de concentração favorece o transporte de massa (SO₄⁻) por diferença de concentração das placas para o meio, favorecendo ainda mais a reação da equação 6 [4]

O plano de formação indica a quantidade de Ah a ser fornecido ao elemento e como isso será feito. A idéia geral para escolher a corrente é colocar a maior corrente possível, para ter o menor tempo de formação. No entanto, a corrente muito alta geraria

muito calor que apesar de acelerar a reação degradaria os compostos dentro do componente, assim, o elemento durante a formação deve estar na faixa de 50°C a 55°C.

A quantidade de Ah injetado é mais complexa de ser escolhida, e é estimado baseado no kg de massa seca da placa positiva. Apesar de existir muitas controvérsias, de acordo com VINAL[3] a quantidade ideal de Ah que deve ser fornecida ao elemento pode ser calculada utilizando a relação de 650Ah/Kg de massa seca positiva, este valor é claro corresponde ao ideal sem perdas. No processo de formação são utilizados valores muito acima do que os indicados na literatura, os valores da relação Ah/kg para cada elemento são mostrados na Figura 15.

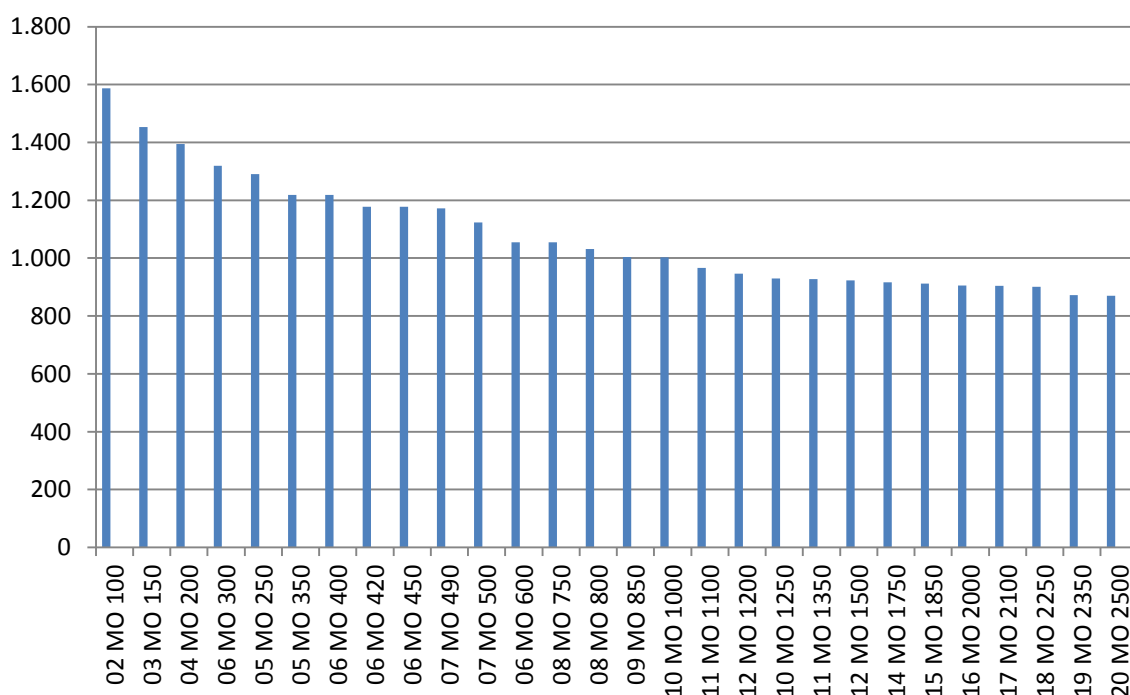


Figura 15-Relação de Ah/kg de massa seca positiva para cada elemento.

O cálculo do Ah total a ser utilizado no plano de formação é feito calculando-se o peso da massa seca positiva do elemento correspondente, multiplicado pela sua relação de Ah/kg.

Um fator importante a ser levado em consideração é o número de ciclos necessários para se atingir 95% da capacidade nominal, valor mínimo para que o elemento seja aprovado.

2.3.8.2 FORMAÇÃO COM RECIRCULAÇÃO NO INBATEC

A formação com recirculação de eletrólito é proporcionada devido à utilização de um novo equipamento chamado Inbatec. O Inbatec possui como grandes vantagens a possibilidade do controle automático via computador do enchimento, densidade e temperatura propícios para uma melhor aceitação de carga por parte dos elementos, sem a necessidade de intervenção do operador, apenas a sua supervisão.



Figura 16- Inbatec.

Os planos de formação utilizados na formação com recirculação no Inbatec são criados no *software* dos retificadores, Digatron, responsáveis por fornecer energia aos elementos.

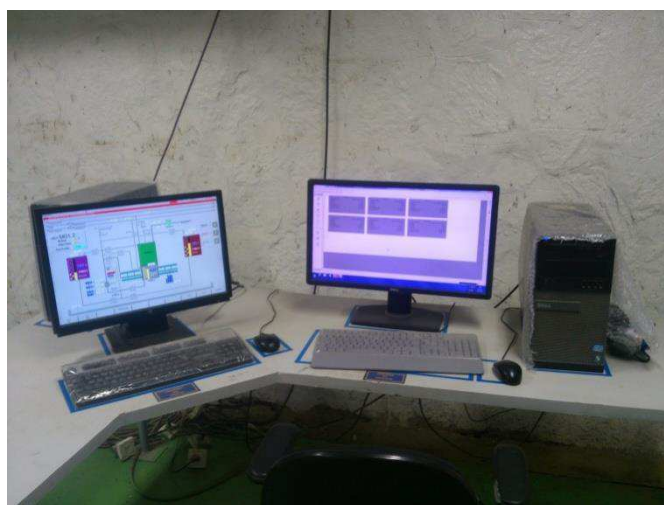


Figura 17-Computador do Inbatec, no lado esquerdo, e computador do Digatron, no lado direito.

O procedimento padrão de formação é bastante similar ao da formação ao ar livre e é da seguinte forma: os elementos crus provenientes da montagem de elementos recebem a solução de ácido sulfúrico proveniente do Inbatec, através de mangueiras conectadas a cada elemento, na densidade de aproximadamente $1,130 \text{ g/cm}^3$. Durante o processo de formação a densidade é controlada automaticamente com a injeção de ácido ou água baseada em patamares, divisões da formação em etapas, de acordo com o controle a qual está configurado pelo usuário. O número máximo de elementos colocados por retificador é de 92 elementos, número este limitado pela capacidade máxima de tensão. O elemento chega a aproximadamente 2,8 V quando está recebendo energia durante a formação.

Após o enchimento é realizado o “*soaking*” de 2h com o eletrólito recirculando e posteriormente é fornecida energia de acordo com o seu plano de formação. O cálculo para o Ah necessário é calculado de maneira análoga ao realizado na formação ao ar livre.

2.3.9 TESTE DE CAPACIDADE

Após a formação, os elementos passam pelo teste de capacidade para saber se os elementos atenderão as condições necessárias. O teste de capacidade consiste em realizar a descarga dos elementos. O elemento deve estar com tensão entre 2,07 a 2,05 V para ser iniciada a descarga. Para o elemento ser aprovado ele deve possuir a tensão de 1,75 V na nona hora e meia de descarga, o que equivale a 95% da capacidade nominal, sendo utilizada a corrente nominal. Devido às perdas internas inerentes à bateria, o processo de recarga deve repor cerca de 15% a mais dos Ah retirados da bateria durante sua descarga, sendo esta porcentagem chamada de fator de sobrecarga [5]. Assim, caso o elemento não atinja a capacidade é realizado uma recarga de 11 h e meia, depois de esfriar e atingir a tensão entre 2,07 a 2,05 V, é realizado uma nova descarga. Os elementos abaixo de 0,8 V na nona hora são considerados “scrap”, com os outros é repetido o processo até que seja atingida a capacidade de 95%. A realização de descarga e carga é chamada de ciclo. Cada ciclo realizado para o teste de capacidade é considerado um dia a mais no tempo de formação do elemento.

2.3.10 MONTAGEM E ACABAMENTO DA BATERIA

Após a formação os elementos são rotulados, limpos e enviados após serem conferidos sua tensão e nível de solução. O cliente ao receber os elementos encaixotados realiza a montagem em estantes, como mostrado na Figura 18, as interligações entre as baterias são de cobre revestidas e terminais injetados. A fixação com parafusos e arruelas de aço inox [6].



Figura 18-Exemplo de montagem da bateria em estante [6].

A escolha do local para montagem deve obedecer alguns critérios tais como lugar limpo e bem arejado, de maneira que nenhum elemento seja afetado por fontes de calor, para não prejudicar a vida útil e operação da bateria devido a variação de temperatura. Cada elemento deve ser acessível para adionamento de água e tomada de leituras de tensão e densidade além de ser posicionado de modo a permitir a verificação interna através das paredes do vaso. Deve ser prevista ventilação para garantir que o gás hidrogênio não atinja o nível de 3,8% (em volume) do ar contido na sala de baterias, visto que durante a carga e descarga as baterias liberam hidrogênio devido as reações químicas.

3 MATERIAL E MÉTODOS

Os ensaios referentes a esse estudo foram realizados na Unidade 8 da empresa Acumuladores Moura. Nos ensaios foram usados basicamente dois equipamentos, Inbatec e Digatron. O Inbatec, conforme mostrado na Figura 19, tem como principal

função a circulação do eletrólito na bateria e auxiliar o controle de parâmetros tais como densidade e temperatura, o Digatron, conforme mostrado na Figura 20, é o retificador responsável por fornecer energia aos elementos por um determinado tempo e com corrente e tensão preestabelecidas nos planos de formação. A máxima corrente aplicável no Digatron é de 300 A.



Figura 19-Inbatec.



Figura 20-Retificador Digatron.

Ao todo foram realizados cinco testes, que serão descritos a seguir.

3.1 FORMAÇÃO AO AR LIVRE SEM RECIRCULAÇÃO DE ELETRÓLITO

Neste primeiro ensaio foi realizado a formação na forma mais simples, com o eletrólito parado e correção da densidade realizada pelo operador quando esta ultrapassa a densidade limite do elemento. A escolha da corrente foi feita de modo a temperatura não ultrapassar os 55°C durante a formação. O ensaio foi realizado para dois tipos diferentes de elementos e apenas a quantidade de Ah/kg mostrado na Figura 15 referente ao mesmo.

3.2 FORMAÇÃO COM RECIRCULAÇÃO DE ELETRÓLITO

Neste tipo de ensaio foi realizado a formação com recirculação do eletrólito o que nos permitirá aplicar uma maior corrente, diminuindo o tempo de formação, devido ao elemento não aquecer tanto quanto na formação ao ar livre. A fim de minimizar as perdas por baixa aceitação de carga da bateria e por efeito Joule a corrente escolhida de para realização dos ensaio foi de 40% da capacidade nominal do elemento 6MO400, sendo esta 160 A, e a máxima corrente fornecida pelo retificador Digatron para o elemento 10MO1000, sendo esta 300 A. A troca constante de eletrólito além de resfriar o elemento, fornece um suprimento constante de H_2SO_4 favorecendo as reações químicas.

O ensaio foi realizado para dois tipos diferentes de elementos e duas quantidades de Ah distintas. Primeiramente, o Ah aplicado foi igual ao da formação ao ar livre, conforme mostrado na Figura 15, e posteriormente o ensaio foi realizado com uma redução no Ah aplicado.

3.3 FORMAÇÃO COM RECIRCULAÇÃO E CONTROLE DE TEMPERATURA

Outro fator importante para aumentar a eficiência no processo de formação é o controle de temperatura que acelera a reação química da equação 6. Quanto maior a

temperatura mais rápida será a reação, porém, esta temperatura é limitada pelo material utilizado dentro da bateria, sendo assim, a faixa de controle da temperatura adequada é de 50°C a 55°C. A fim de melhorar ainda mais o processo de formação, também foi utilizada a recirculação de eletrólito. De forma análoga ao ensaio 3.2 será realizado teste com o mesmo Ah utilizado na formação ao ar livre e posteriormente com o Ah reduzido.

3.4 FORMAÇÃO COM RECIRCULAÇÃO , CONTROLE DE DENSIDADE E CONTROLE DE TEMPERATURA

Por a densidade baixa durante a formação favorecer a reação da equação 6, acelerando este processo, neste ensaio foi incluído o controle de densidade automático pelo Inbatec, juntamente com o controle de temperatura e recirculação de eletrólito. A densidade foi controlada em 1,130g/cm³ na maior parte da formação conforme mostrado na Figura 21.

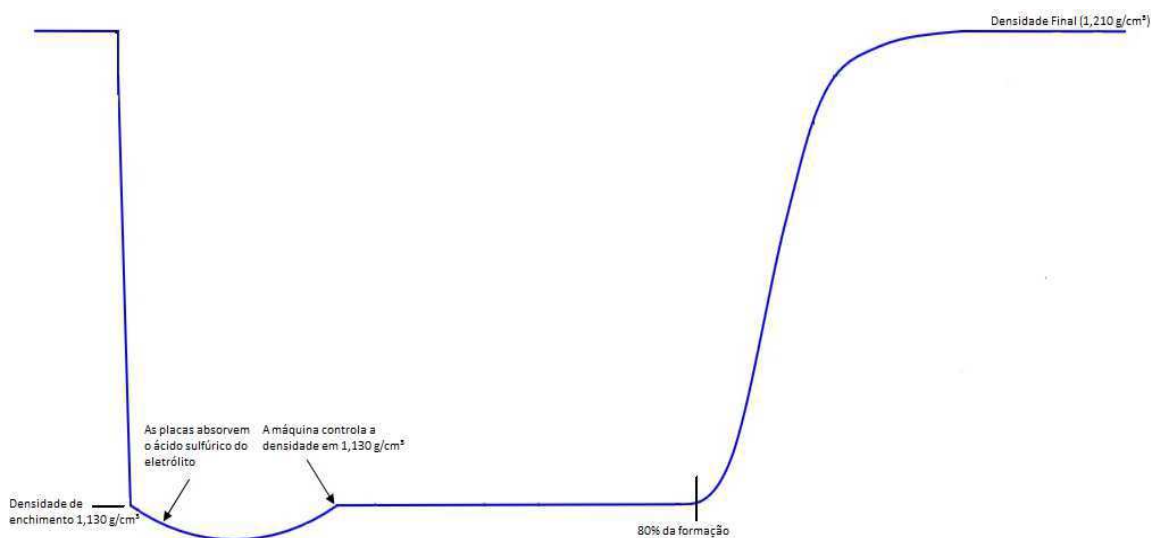


Figura 21-Controle de densidade realizado

De forma análoga ao ensaio 3.2 foi escolhida a corrente e o Ah utilizado no ensaio.

3.5 FORMAÇÃO COM RECIRCULAÇÃO , CONTROLE DE DENSIDADE, TEMPERATURA E DESCARGA DE 20% DA CAPACIDADE DO ELEMENTO

Neste ensaio foram realizados os controles de densidade, temperatura, além de realizada uma descarga de 20% da capacidade nominal da bateria. O plano de formação foi alterado para que ao chegar em 70% do processo de formação a bateria sofresse uma descarga, portanto, foi necessário aumentar em 20% o Ah fornecido para obter-se a mesma quantidade de Ah no elemento. A descarga foi utilizada devido a favorecer a conversão de partes do material ativo que não tinham sido convertidos anteriormente, aumentando então a capacidade do elemento. Vale salientar que o valor da corrente e o Ah/kg utilizado no ensaio é análogo ao dos ensaios 3.2, 3.3 e 3.4 para poder ser realizado uma comparação, porém, a quantidade real injetada foi diferente.

4 RESULTADOS

Os resultados do ensaio com formação ao ar livre sem recirculação, tópico 3.1, são mostrados no quadro 1.

Quadro 1- Resultados referente ao ensaio com formação ao ar livre sem recirculação de eletrólito

Tipo de elemento	Corrente	Relação Ah/Kg	Relação Ah/Kg injetado	Ciclos	Ah total	Tempo
6MO400	45A	1219 Ah/kg	1219 Ah/kg	4	8640Ah	291h
10MO1000	70 A	993 Ah/kg	993 Ah/kg	4	17190Ah	345h

Os resultados dos ensaios realizados na formação com recirculação, tópico 3.2, e na formação com recirculação e controle de temperatura, tópico 3.3, são mostrados nos quadros 2 e 3 respectivamente.

Quadro 2- Resultados referente ao ensaio de recirculação de eletrólito

Tipo de elemento	Corrente	Relação Ah/Kg	Relação Ah/Kg injetado	Ciclos	Ah total	Tempo
6MO400	160 A	1219 Ah/kg	1219 Ah/kg	3	8640Ah	128h
6MO400	160 A	900 Ah/kg	900 Ah/kg	4	6376Ah	138h
10MO1000	300 A	993 Ah/kg	993 Ah/kg	3	17190Ah	131h
10MO1000	300 A	800 Ah/kg	800 Ah/kg	4	13698Ah	144h

Quadro 3- Resultados referente ao ensaio de recirculação de eletrólito e controle de temperatura

Tipo de elemento	Corrente	Relação Ah/Kg	Relação Ah/Kg injetado	Ciclos	Ah total	Tempo
6MO400	160 A	1219 Ah/kg	1219 Ah/kg	2	8640Ah	104h
6MO400	160 A	900Ah/kg	900 Ah/kg	3	6376Ah	114h
10MO1000	300 A	993 Ah/kg	993 Ah/kg	2	17190Ah	107h
10MO1000	300 A	800 Ah/kg	800 Ah/kg	3	13698Ah	120h

No quadro 4 é apresentado os resultados obtidos no ensaio de formação com recirculação, controle de densidade e controle de temperatura, referente ao tópico 3.4.

Quadro 4- Resultados referente ao ensaio de recirculação de eletrólito, controle de temperatura e controle de densidade

Tipo de elemento	Corrente	Relação Ah/Kg	Relação Ah/Kg injetado	Ciclos	Ah total	Tempo
6MO400	160 A	1219 Ah/kg	1219 Ah/kg	2	8640Ah	104h
6MO400	160 A	900 Ah/kg	900 Ah/kg	3	6376Ah	114h
10MO1000	300 A	993 Ah/kg	993 Ah/kg	2	17190Ah	107h
10MO1000	300 A	800 Ah/kg	800 Ah/kg	3	13698Ah	120h

No quadro 5 é apresentado os resultados referentes ao ensaio de formação com recirculação, controle de densidade e controle de temperatura e descarga de 20%, referente ao tópico 3.5.

Quadro 5- Resultados referente ao ensaio de recirculação de eletrólito, controle de temperatura, controle de densidade e descarga de 20%

Tipo de elemento	Corrente	Relação Ah/Kg	Relação Ah/Kg injetado	Ciclos	Ah total	Tempo
6MO400	160 A	1219 Ah/kg	1463 Ah/kg	1	10368Ah	91h
6MO400	160 A	900 Ah/kg	1080 Ah/kg	1	7651Ah	74h
10MO1000	300 A	993 Ah/kg	1191 Ah/kg	1	20628Ah	95h
10MO1000	300 A	800Ah/kg	960 Ah/kg	1	16437Ah	81h

4.1 ANÁLISE COMPARATIVA

Comparando os resultados dos ensaios 3.1 e 3.2, conforme quadro 6, observa-se uma melhora significativa, superior a 20% de diminuição no Ah para os dois elementos, e superior a 50% no tempo de formação. Este ganho se deve principalmente ao aumento de corrente possibilitado pela recirculação de eletrólito.

Quadro 6-Comparativo de ganhos

Elemento	Ensaio	Ah total aplicado	Tempo
6MO400	3.1	8640Ah	291h
6MO400	3.2	6376Ah	138h
6MO400	3.3	6376Ah	114h
6MO400	3.4	6376Ah	114h
6MO400	3.5	7651Ah	74h
10MO1000	3.1	17190Ah	345h
10MO1000	3.2	13698Ah	144h
10MO1000	3.3	13698Ah	120h
10MO1000	3.4	13698Ah	120h
10MO1000	3.5	16437Ah	81h

A fim de facilitar a compreensão dos resultados obtidos, podemos realizar a análise comparativa por meio dos gráficos das Figuras 22, 23, 24 e 25.

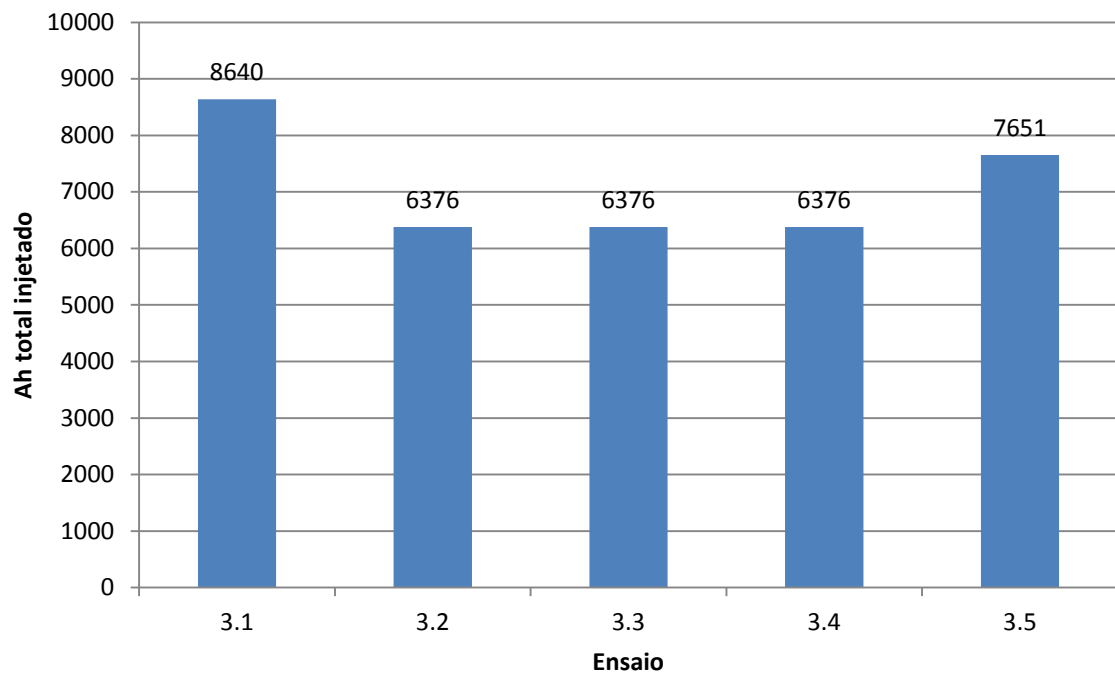


Figura 22- Gráfico comparativo do Ah utilizado por ensaio do elemento 6MO400.

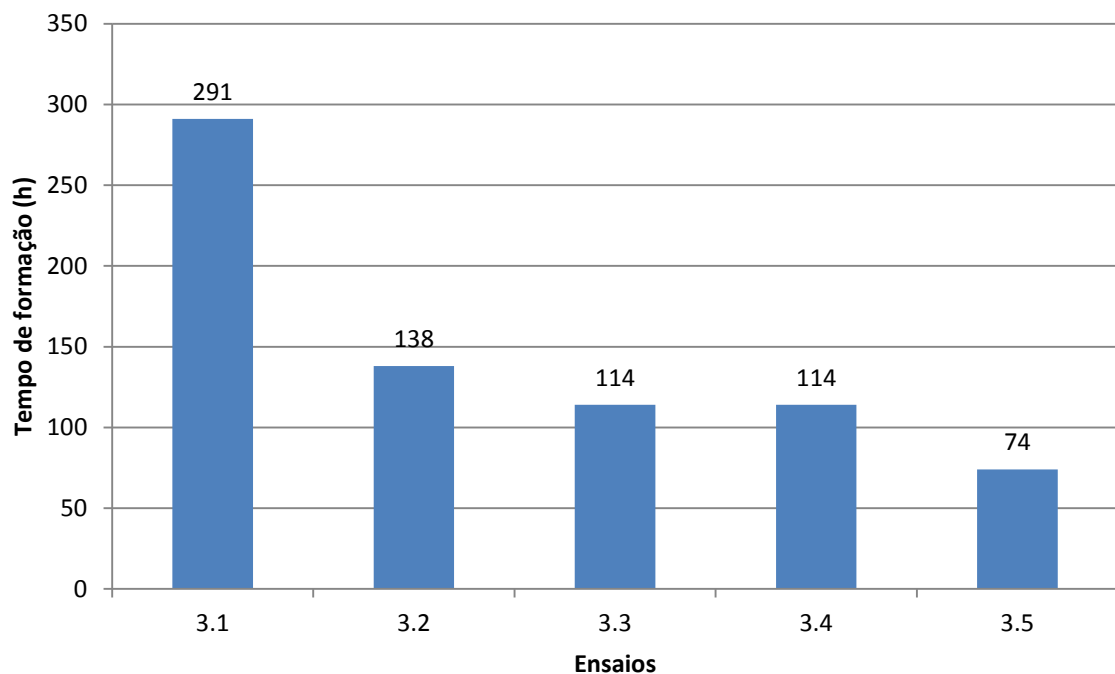


Figura 23 - Gráfico comparativo do tempo de formação por ensaio do elemento 6MO400.

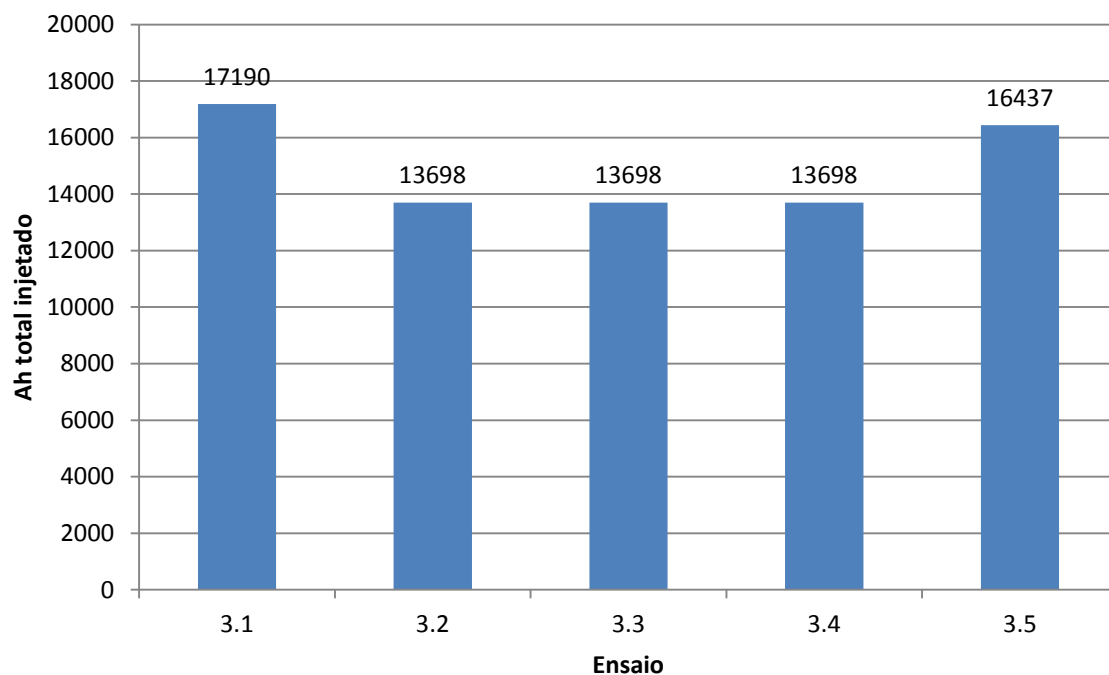


Figura 24 - Gráfico comparativo do Ah utilizado por ensaio do elemento 10MO1000.

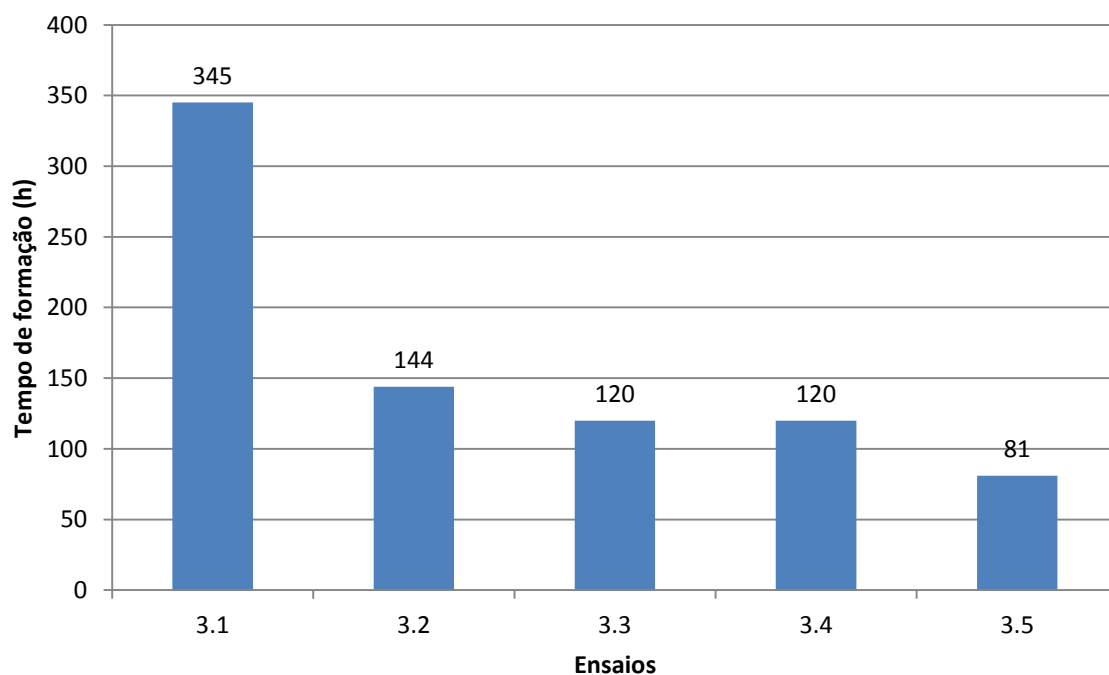


Figura 25 - Gráfico comparativo do tempo de formação por ensaio do elemento 10MO1000.

Confrontando os dados do quadro 6 referentes aos ensaios 3.2 e 3.3, observa-se a manutenção da quantidade de Ah e a redução de 24h no tempo total. Esta redução é ocasionada devido a diminuição de um ciclo no teste de capacidade.

Constata-se que apesar de existir uma justificativa teórica para melhoria nos resultados do ensaio 3.4 em relação ao 3.3, devido ao controle de densidade, não houve nenhum ganho na prática.

No ensaio 3.5 o Ah aplicado foi maior que no ensaio 3.4, porém, o ganho obtido no tempo de formação de 35% para o elemento 6MO400 e 32,5% para o elemento 10MO1000, foi muito maior que o aumento do gasto de energia de 20%. Sendo obtido assim um maior redução dos custos no ensaio 3.5 do que no ensaio 3.4.

Apesar do ensaio 3.5 não ter sido o que proporcionou a maior economia de energia, este foi o que proporcionou maior ganho levando em consideração tanto o Ah quanto o tempo. Realizando a comparação do ensaio 3.5 com o ensaio 3.1, metodologia anteriormente utilizada da formação ao ar livre, para o elemento 6MO400 foi obtido o ganho de 11,45% em relação ao Ah e de 74,57% em relação ao tempo de formação do elemento. Para o elemento 10MO1000 foi obtido o ganho de 4,38% em relação ao Ah e de 76,52% em relação ao tempo de formação.

5 CONCLUSÃO

Com o estudo do processo produtivo e a nova metodologia utilizada nos ensaios conclui-se que a formação com recirculação de eletrólito possibilita um aumento na corrente reduzindo o tempo de formação, sendo sua escolha limitada pela redução de aceitação de carga da bateria e aquecimento dos polos e conexões. O controle da temperatura é o parâmetro de controle mais importante para reduzir o número de ciclos devido a temperatura maximizar a reação química de formação do material ativo. A descarga de 20% da capacidade ajuda a converter parte do material ativo não convertido no processo contínuo de carga, aumentando assim a capacidade da bateria.

Com a aplicação da formação com recirculação de eletrólito, controle de temperatura, controle de densidade e 20% de descarga da capacidade nominal da bateria foi obtido uma redução de 11,45% em relação ao Ah e de 74,57% em relação ao tempo de formação do elemento, para o elemento 6MO400. Já para o elemento 10MO1000, foi obtido o ganho de 4,38% em relação ao Ah e de 76,52% em relação ao tempo de formação.

Apesar de não ter sido obtido uma grande economia de energia o tempo de formação foi reduzido significativamente, caracterizando o aumento da eficiência energética no processo. A redução do consumo de energia e tempo do processo aumentará a produtividade e por conseguinte provocará um menor custo agregado a bateria. Do ponto de vista do consumo energético fabril haverá uma economia de energia significativa devido a redução de 3 ciclos no teste de capacidade os quais não foram contabilizados na formação, visto que é outro processo.

Sugestões de trabalhos futuros:

- Estudo da corrente ótima de formação, levando em consideração a aceitação de carga da bateria e perdas por efeito joule
- Estudo da relação de ácido por massa ótima para maior conversão do material ativo

REFERÊNCIAS

- [1] DINIZ, F. B. *Manual sobre Acumuladores de Chumbo Ácido Automotivos*. Ed. 2, 1994.
- [2] MOURA, *Manual técnico*, 2006.
- [3] VINAL, G.W. *Storage Batteries*. John Wiley & Sons, 4ª Ed. 1955.
- [4] PAVLOV, D. *Lead-Acid Batteries: Science and Technology*. Elsevier, 1ª Ed. 1987.
- [5] SMITH, G., *Storage Batteries – Including Operation, Charging, Maintenance and Repair*, 3th Ed., Pitman, 1980.
- [6] ACUMULADORES MOURA. *Manual técnico de manutenção e operação baterias Moura Clean Max*. Belo Jardim: Moura, 2011.
- [7] ACUMULADORES MOURA S.A. 2014. Disponível em: <www.moura.com.br>. Acesso em: Agosto, 2014.
- [8] P.FINGER, Eugene; A.SANDS, Eugene. *Battery book one lead acid*. Mt.kisco: Curtis, 1981.
- [9] BODE, H. *Lead Acid Batteries*. New York: Wiley-Interscience, 1977.