

|   |   |
|---|---|
|  | 06 a 10 de Outubro de 2008<br>Olinda - PE |
|---|---|

| <b>Impacto da Estocagem na Vida Útil de Baterias Chumbo-ácidas Reguladas por Válvula – (VRLA)</b> |  |  |
|---|--|--|
| <b>FURNAS</b>   | <b>CPqD</b>  |  |
| <b>Alexandre Pinhel Soares</b><br>pinhel@furnas.com.br  | <b>Maria de Fátima N.C. Rosolem</b><br>mfatima@cpqd.com.br | <b>Glauco Ribeiro dos Santos</b><br>glauco@cpqd.com.br |
|   | <b>Luiz Antonio Soares</b><br>lsoares@cpqd.com.br          | <b>Pamela Tobias Frare</b><br>pamela@cpqd.com.br       |
|   | <b>Vitor Torquato Arioli</b><br>vitor@cpqd.com.br          | <b>Raul Fernando Beck</b><br>raul@cpqd.com.br          |

**PALAVRAS CHAVE:**  
Baterias chumbo-ácida regulada por válvula – VRLA  
Estocagem  
Medições de Condutância  
Medições de Impedância  
Teste de Capacidade

**DADOS DA EMPRESA:**  
Nome: Furnas Centrais Elétricas S.A.  
Endereço: Rua Real Grandeza 219 – Botafogo – Rio de Janeiro – RJ  
22283-900  
Telefone/fax: 21 25284049  
E-mail: pinhel@furnas.com.br

## RESUMO

As baterias são elementos vitais em instalações industriais, pois na eventual falta da energia comercial, são elas que mantêm os serviços auxiliares em operação. Eventualmente as baterias são adquiridas e não são colocadas imediatamente em operação, isto é, permanecem estocadas em circuito aberto por certo período, o que pode vir a provocar perda de autonomia e de vida útil. Esse artigo apresentará alguns resultados de uma pesquisa que avaliou o impacto da estocagem. Para tanto foram adquiridas 85 elementos de baterias de cinco diferentes fabricantes com larga presença no mercado nacional. Estes elementos foram subdivididos em conjuntos de amostras que foram submetidas a diferentes condições de estocagem, onde foram avaliadas as influências do tempo, local e aplicação de recargas de equalização. Foram estudadas também as aplicações das técnicas de medições de resistência interna da bateria como uma ferramenta a ser utilizada no acompanhamento do processo de degradação e indicação da necessidade de recarga.

## 1 OBJETIVOS

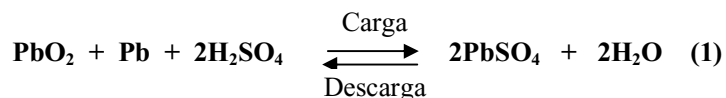
Este trabalho é fruto de um projeto de P&D realizado entre FURNAS e CPqD e tem como objetivo apresentar os resultados de uma pesquisa sobre o impacto do processo de armazenamento de baterias novas chumbo-ácidas reguladas por válvula (VRLA) na sua expectativa de vida útil. Paralelamente foi estudada também a utilização da técnica de medições de resistência interna como ferramenta para o acompanhamento e detecção do tempo máximo de estocagem.

## 2 INTRODUÇÃO

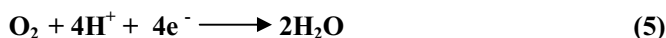
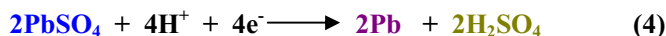
A bateria chumbo-ácida foi descoberta por Planté em 1860 e, até o momento, continua sendo a solução dominante em aplicações estacionárias que necessitam de reserva de energia para ocasiões de falha no suprimento da energia, caso de diversas instalações das empresas do Setor Elétrico.

Até o início da década de 90 o mercado brasileiro era dominado exclusivamente pelas baterias chumbo-ácidas ventiladas. Entre 1995 e 1998 observou-se no Setor Elétrico a introdução da bateria chumbo-ácida regulada por válvula (VRLA - Valve Regulated Lead Acid), a qual possui patente desde 1973 e cuja fabricação comercial iniciou-se em 1980 nos EUA.

A bateria VRLA possui a mesma composição da bateria ventilada, no entanto o ácido sulfúrico (eletrólito) não se encontra na forma líquida, sendo mantido imobilizado por meio de uma matriz à base de gel ou utilizando separadores à base de microfibras de vidro (bateria tipo AGM). As baterias reguladas por válvula, por serem do tipo chumbo-ácida, apresentam o mesmo princípio de funcionamento das baterias ventiladas, baseado na teoria do sulfato duplo que, na sua essência, indica que durante o processo de descarga ocorre a formação de sulfato de chumbo em ambas as placas, conforme mostrado na Equação 1.



Da mesma forma que na bateria ventilada, na VRLA também ocorrem algumas reações indesejáveis em paralelo à reação principal, como por exemplo, o processo de eletrólise da água, que provoca a evolução de oxigênio e hidrogênio nas superfícies das placas positivas e negativas. No entanto, a imobilização do eletrólito na bateria VRLA cria micro-canais que facilitam o transporte do oxigênio (que é gerado na superfície da placa positiva) até a superfície da placa negativa, reagindo com o chumbo e gerando água como produto final de reação conforme apresentado a seguir:

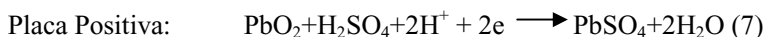


O ciclo do oxigênio, além de consumir o oxigênio gerado internamente retornando-o à forma de água, diminui sensivelmente a evolução do hidrogênio em relação à bateria ventilada. Este processo é conhecido como ciclo interno de recombinação do oxigênio. Devido a este processo, a bateria VRLA não necessita de reposição de água, pode operar no mesmo ambiente que outros equipamentos eletrônicos, tanto na posição horizontal quanto na vertical.

O processo de estocagem da bateria VRLA provoca dois processos de degradação no seu material interno: a autodescarga das placas positivas e negativas e a corrosão da grade positiva.

## 2.1 Autodescarga das Placas Positivas e Negativas

No processo de estocagem, as placas negativas (Pb – chumbo metálico) e positivas (PbO<sub>2</sub> – peróxido de chumbo) reagem com o eletrólito (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> - ácido sulfúrico) formando sulfato de chumbo (PbSO<sub>4</sub>), conforme descrito nas equações 6 e 7:



Este processo é conhecido como autodescarga, isto é quando a bateria é mantida em condições de circuito aberto (sem aplicação de tensão) há uma alteração de suas características iniciais devido à ocorrência das reações descritas acima, isto é a bateria sofre um processo espontâneo de descarga. Na prática há perda de capacidade da bateria, uma vez que parte dos materiais ativos das placas é consumida. A intensidade da velocidade da autodescarga depende de vários fatores como pureza dos materiais, tipo de liga, aspectos construtivos, tecnologia e fatores externos como temperatura do ambiente de estocagem e aplicação de recargas periódicas.

## 2.2 Corrosão da Grade Positiva

A corrosão da grade positiva da bateria chumbo-ácida é inevitável e sempre irá ocorrer. Sua corrosão significa a conversão do chumbo (Pb) em PbO<sub>2</sub>, de acordo com a equação 8:

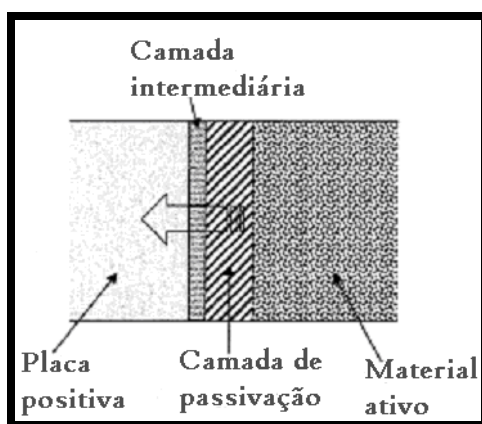


Inicialmente quando a placa é fabricada, entre a grade de chumbo (Pb) e o material ativo da placa positiva (PbO<sub>2</sub>) é formada uma densa camada também de PbO<sub>2</sub> que inicialmente protege a grade de corrosões futuras. Na FIGURA 1 a área à esquerda representa a grade positiva, enquanto o material ativo é mostrado à direita. Por baixo dos poros do dióxido de chumbo que constitui o material ativo, uma densa camada, também de PbO<sub>2</sub>, cobre a superfície da grade. Esta camada é formada pela corrosão do chumbo e protege a grade positiva. Entretanto, o PbO<sub>2</sub> (camada protetora ou de passivação) e chumbo (grade) não pode coexistir ao lado um do outro por razões termodinâmicas, e uma fina camada de um material oxidado (PbO<sub>x</sub>) sempre será formada entre a grade e a camada protetora (PbO<sub>2</sub>). A proteção da grade contra corrosão deixa de existir quando a camada de PbO<sub>x</sub> entra em contato com o ácido e forma PbSO<sub>4</sub>. A camada de PbO<sub>2</sub>/PbO<sub>x</sub> gradualmente penetra dentro da grade positiva conforme ilustrado na FIGURA 1, (a velocidade desta reação em estado sólido é muito lenta). No entanto, quando a espessura desta camada protetora excede um determinado valor (o PbO<sub>2</sub> ocupa um volume maior do que o chumbo), forma-se pequenas fissuras, permitindo novamente o início do processo corrosivo.

Como resultado, em condições normais de flutuação, a corrosão prossegue a uma velocidade constante de 0.005 e 0.05mm por ano, a qual nunca será paralisada, e um fluxo contínuo de corrente anódica, a corrente de corrosão, é necessário para estabilizar novamente a camada de corrosão. Assim no final de vida útil da bateria, sua grade positiva estará totalmente corroída, isto é o chumbo se transforma em PbO<sub>2</sub> e a placa perde a sustentação. Quando a bateria permanece em circuito aberto, nenhuma corrente flui na placa positiva e a camada protetora de PbO<sub>2</sub> é dissolvida, provocando a corrosão do chumbo da grade positiva que se transforma em PbO ou PbO<sub>x</sub>, compostos estes que são bastante instáveis na presença de ácido sulfúrico, isto é reagem rapidamente com o ácido sulfúrico formando sulfato de chumbo, segundo a equação 9:



Desta forma quando a bateria está armazenada em circuito aberto, além da autodescarga das suas placas positivas e negativas irá ocorrer a corrosão da grade positiva.



**Figura 1: Esquema Representativo da Corrosão da Grade Positiva.**

### 3 METODOLOGIA

#### 3.1 Seleção das amostras

Os seguintes parâmetros foram considerados para a seleção das amostras:

- Abranger baterias VRLA do tipo Gel e AGM;
- Elementos singelos (tensão nominal 2,0V);
- Capacidade nominal de 200 Ah;
- Alcançar a maior representatividade possível do mercado nacional.

Baseados nestes parâmetros foram selecionados 5 modelos de baterias de diferentes fabricantes, sendo que quatro são de fabricação nacional e uma é fabricada na China. Dois modelos são do tipo Gel e 3 são AGM. Foram adquiridos 17 elementos de cada modelo, totalizando 85 amostras.

#### 3.2 Planejamento

O tempo total de estocagem foi de 12 meses e procurou-se avaliar a influência dos seguintes parâmetros:

- Tempo de estocagem;
- Temperatura do local de estocagem;
- Aplicação de recarga de equalização.

As temperaturas selecionadas foram:

- Ambiente com temperatura controlada a 25 °C;
- Ambiente sem controle de temperatura (simulando um almoxarifado típico);
- Ambiente com temperatura controlada a 35°C.

As periodicidades de recarga selecionadas foram:

- Trimestral;
- Semestral;
- Sem recarga.

Levando em consideração estes parâmetros, as amostras de cada fabricante foram subdivididas em 9 lotes, sendo que cada lote conteve duas amostras, com exceção do lote 9 que conteve uma amostra. Em cada lote foram aplicadas condições de estocagem diferentes, conforme apresentado a seguir:

- Lote L1: Temperatura controlada em 25°C, sem aplicação de recarga;
- Lote L2: Sem controle de temperatura, sem aplicação de recarga;
- Lote L3: Temperatura controlada em 35 °C, sem aplicação de recarga;
- Lote L4: Temperatura controlada em 25 °C, com aplicação de recarga trimestral;
- Lote L5: Flutuação com temperatura controlada em 25 °C;
- Lote L6: Temperatura controlada em 25 °C, com aplicação de recarga semestral;
- Lote L7: Sem controle de temperatura, com aplicação de recarga trimestral;
- Lote L8: Sem controle de temperatura, com aplicação de recarga semestral;
- Lote L9: Inspeção visual interna e análises de materiais.

### 3.3 Avaliações de capacidade e medições

Um dos parâmetros que é afetado pela estocagem da bateria é sua capacidade. Neste trabalho utilizou-se a seguinte denominação:

- Capacidade remanescente: capacidade obtida após as amostras permanecerem estocadas por um determinado período. Este parâmetro apresenta a variação da capacidade da bateria após o processo de estocagem (neste ensaio a bateria não passa pelo processo de recarga);
- Capacidade recuperada: capacidade obtida após o ensaio de capacidade remanescente mediante processo de recarga, isto é, ao final do ensaio de capacidade remanescente as amostras foram recarregadas (na tensão de equalização determinada pelo fabricante) e novamente descarregadas, desta forma foi avaliado a capacidade que a bateria conseguiu recuperar.

Todos os ensaios de capacidades foram realizados num regime de descarga de 5 horas até a tensão final de descarga de 1,75V. Inicialmente, quando as amostras foram recebidas, foi realizado um ensaio de capacidade para determinar a capacidade inicial individual. Ao vencimento de cada período de estocagem (3, 6, 9 e 12 meses) foram determinadas as capacidades remanescentes e recuperada para cada amostra.

A fim de avaliar se a degradação ocorrida durante a estocagem é detectado por outros tipos de avaliações além do teste de capacidade, realizou-se mensalmente em todas as amostras as medições dos seguintes parâmetros:

- Tensão de circuito aberto;
- Condutância;
- Impedância.

A fim de preservar a imparcialidade desta pesquisa, os fabricantes foram nomeados de Fabricante F1 a F5 sendo que de F1 a F3, as baterias são do tipo AGM e F4 e F5 são do tipo Gel.

#### 3.3.1 Medições de condutância e impedância

As medições de condutância e impedância informam a resistência ôhmica interna da bateria que depende da capacidade, modelo, e características dos componentes (placas, pólos, barras, separadores, eletrólito, etc). Ao longo da vida útil alguns processos (corrosão, dryout, sulfatação etc) modificam a resistência interna de forma que, por comparação com os registros obtidos em uma bateria nova (valor de referência – VR), consegue-se estimar a magnitude da degradação. Os parâmetros que definem o grau de degradação são fornecidos pelo fabricante do instrumento de medição, mas segundo Norma IEEE 1188-2005, quando um elemento ou monobloco apresentar valores de resistência ôhmica  $\pm 20\%$  em relação ao valor médio, há indicação de que providências deverão ser tomadas. Os parâmetros de avaliação da condutância são:

- Superiores a 80% do VR – bateria em bom estado;
- Entre 60 a 80% do VR – bateria em estado de alerta;
- Inferior a 60% do VR – bateria ruim (substituída).

Os parâmetros de avaliação da impedância são:

- Até 118% do VR – bateria em bom estado;
- Entre 118 a 125% do VR – bateria em estado de alerta;
- Superior a 125% do VR – bateria ruim (substituída).

### 3.4 Local de estocagem sem controle de temperatura

No ambiente sem controle de temperatura, a intenção foi simular um almoxarifado típico. O local selecionado situou-se dentro das instalações do CPqD, em Campinas, São Paulo. A temperatura média deste local durante o período de 1 ano foi de  $24^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ .

## 4 RESULTADOS

### 4.1 Capacidades remanescente e recuperada

A FIGURA 2 apresenta as capacidades remanescentes dos lotes L1, L2, L3, L6 e L8 de todos os fabricantes após 6 e 12 meses de estocagem. Como pode se observar, quanto maior o tempo de estocagem, menor é a capacidade remanescente da bateria, isto é, as amostras que permaneceram estocadas durante 12 meses (lotes L1, L2 e L3) apresentaram capacidades remanescentes menores em relação às amostras que permaneceram estocadas durante 6 meses (primeira avaliação dos lotes L6 e L8). Em relação à temperatura do local de estocagem, observou-se que as amostras L3, de todos os fabricantes, que permaneceram estocadas durante 12 meses na temperatura de  $35^{\circ}\text{C}$ , apresentaram menores valores de capacidade remanescente (cerca de 60%) em relação às demais amostras. As amostras L1 e L2 que permaneceram estocadas na temperatura de  $25^{\circ}\text{C}$  e no ambiente não controlado apresentaram valores de capacidade remanescente maiores do que as amostras L3, entre 80 a 87%, com exceção do fabricante F2 cuja capacidade remanescente foi de 94%.

Para as baterias chumbo-ácidas, o aumento da temperatura provoca a aceleração das velocidades de suas reações, aumentando assim a intensidade da autodescarga das placas positivas e negativas, bem como a corrosão da grade positiva, por esta razão as amostras L3 apresentaram valores de capacidades remanescentes inferiores às demais. Observou-se também que no final do período de 12 meses de estocagem, L6 e L8 (que sofreram recarga no sexto mês de estocagem) apresentaram capacidade remanescente maiores do que L1, L2 e L3 (que não sofreram recarga). L4 e L7 apresentaram comportamentos semelhantes à L6 e L8.

Em conjunto com a análise da capacidade remanescente estudou-se também o quanto a bateria consegue se recuperar após a aplicação de uma recarga. A FIGURA 3 mostra as capacidades recuperadas de L1, L2, L3, L6 e L8 de todos os fabricantes após 6 e 12 meses de estocagem. Observa-se que L1 e L2 (armazenados por 12 meses sem recarga) conseguiram o mesmo nível de recuperação da capacidade ( $\geq 96\%$ ) em relação à L6 e L8 (que sofreram recarga após seis meses de estocagem). Já as capacidades recuperadas de L3 (estocadas na temperatura de  $35^{\circ}\text{C}$ ) foram inferiores (86 a 95%) às de L1 e L2, com exceção da amostra da bateria do Fabricante F2 onde a capacidade recuperada foi igual.

Estes resultados mostram também a influência da temperatura, isto é, os lotes que permaneceram estocados na temperatura de  $35^{\circ}\text{C}$  apresentaram capacidades recuperadas inferiores aos lotes que permaneceram estocados nos locais com temperatura controlada a  $25^{\circ}\text{C}$  e sem controle de temperatura.

Ressalta-se que, segundo a NBR14204, a bateria é considerada em final de vida útil quando sua capacidade atingir o valor de 80% em relação à capacidade nominal. A amostra L3 do Fabricante F1 apresentou uma capacidade recuperada de 86%, isto é, já perdeu 75% de sua vida útil (se esta bateria fosse instalada nas condições nominais de operação, sua expectativa de vida útil é de 2,5 anos e não de 10 anos). As amostras L3 dos Fabricantes F4 e F5 perderam, respectivamente 9 e 4% de vida útil.

Não foram observadas diferenças significativas entre os lotes que permaneceram estocados no local com temperatura controlada em  $25^{\circ}\text{C}$  e no ambiente sem controle de temperatura. Considerando estes dois locais de estocagem, as baterias que permaneceram estocadas durante 12 meses (L1 e L2), apresentaram iguais

percentuais de recuperação da capacidade dos lotes que passaram por processos de recargas intermediárias (L6 e L8). Novamente L4 e L7 apresentaram comportamentos semelhantes à L6 e L8. Desta forma se a média da temperatura do local de estocagem da bateria VRLA estiver em torno de 25°C, a estocagem pode durar 12 meses sem aplicação de recarga de equalização. Após este período recomenda-se a aplicação da recarga de equalização. A fim de complementar os resultados obtidos nesta pesquisa, o tempo de estocagem de L1, L2 e L3 está sendo estendido por mais 12 meses, este prazo vencerá em dezembro de 2008.

Em relação ao comportamento entre os fabricantes, verificou-se que F4 e F5 (Gel) apresentaram capacidades remanescentes menores do que F1, F2 e F3 (AGM). No entanto, todas as amostras de F5, com exceção das L3, apresentaram capacidades recuperadas superiores a 100%. Provavelmente este tipo de comportamento esteja relacionado com as características de materiais desta bateria.

As amostras L5 (que permaneceram em flutuação durante 12 meses), apresentaram valores de capacidades superiores a 100%, resultado este compatível com a condição de ensaio, uma vez que neste período a bateria não foi utilizada, isto é, não sofreu nenhum processo de descarga.

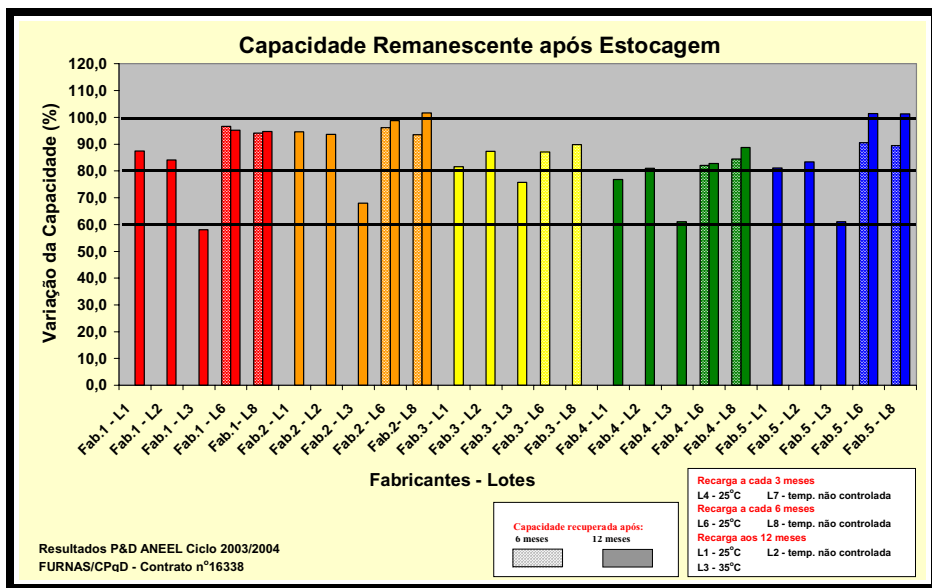


Figura 2: Capacidade Remanescente após Estocagem.

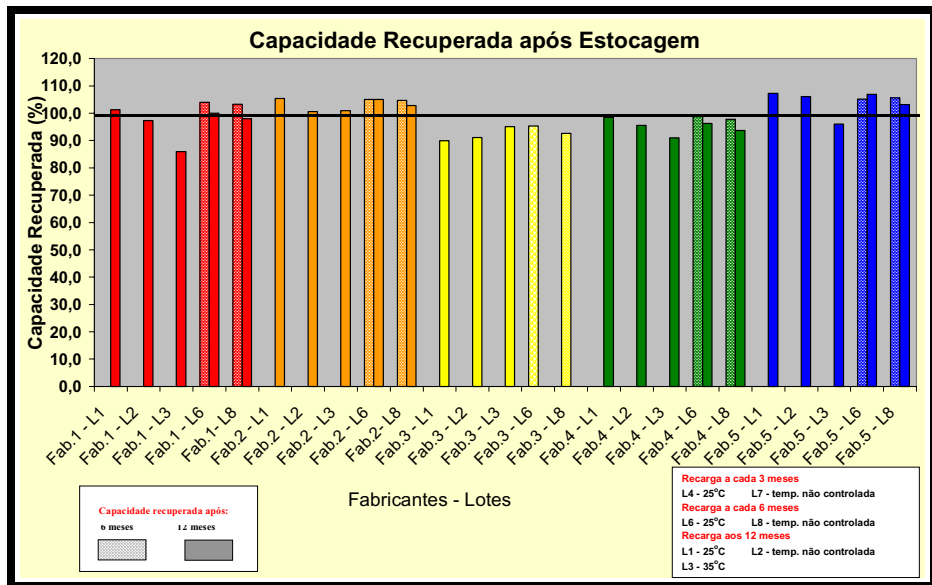


Figura 3: Capacidade Recuperada após Estocagem.

#### 4.2 Medições de tensão, condutância e impedância

A tensão de circuito aberto depende da concentração do ácido sulfúrico. No processo de estocagem tanto a placa negativa como a positiva (Pb e PbO<sub>2</sub>) reagem com o eletrólito (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> - ácido sulfúrico) formando sulfato de chumbo (PbSO<sub>4</sub>) e modificando a tensão de circuito aberto. Como pode ser observado na FIGURA 4, com o aumento do tempo de estocagem há uma diminuição gradativa da tensão, fato este observado para todos os fabricantes.

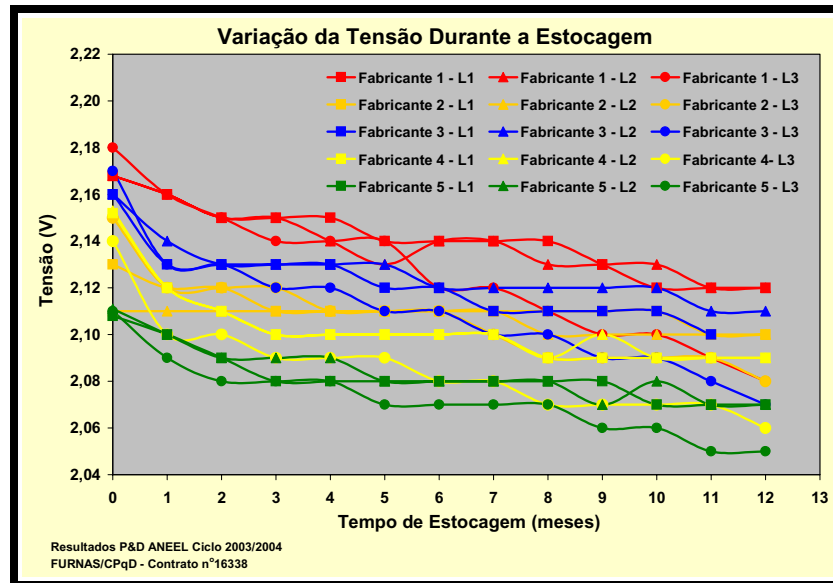


Figura 4: Variação da Tensão Durante a Estocagem.

Quanto maior a diminuição da tensão de circuito aberto, mais rápido estará ocorrendo o processo de autodescarga, com maior perda de capacidade. Conforme apresentado na FIGURA 4 as amostras que apresentaram maior diminuição da tensão são as L3, que foram armazenadas na temperatura de 35°C, fato este coerente com os resultados da avaliação da capacidade remanescente apresentado no item 4.1. No entanto não foi observada diferença significativa entre os lotes que estão sendo armazenados na temperatura de 25°C e os armazenados no local sem controle de temperatura. Em relação ao comportamento entre os fabricantes, verificou-se que F4 e F5 (Gel) apresentaram maiores variações das tensões que F1, F2 e F3 (AGM), resultado este coerente com os obtidos na avaliação da capacidade remanescente.

Como mostram as FIGURAS 5 e 6, com o aumento do tempo de estocagem a condutância das amostras diminui e a impedância aumenta, comportamento este esperado, uma vez que a estocagem da bateria chumbo-ácida provocará um processo de degradação interna de suas placas, alterando sua resistência interna.

Analisando os resultados do ponto de vista das diferentes condições de estocagem, verifica-se que L1, L2 e L3 (que permaneceram estocados durante 12 meses sem sofrer processos de recarga), apresentaram uma queda mais acentuada da condutância em relação aos demais lotes. Verifica-se também que esta queda é ainda mais acentuada no lote que está sendo mantido na temperatura de 35°C, fato este coerente com os resultados das avaliações das capacidades remanescentes e medições de tensão.

As medições de impedância apresentaram o comportamento semelhante ao da condutância, mas no sentido inverso. Em relação ao comportamento entre os fabricantes, verificou-se que F4 e F5 (Gel) apresentaram maiores variações de condutância e impedância que F1, F2 e F3 (AGM), resultado este coerente com os obtidos na avaliação da capacidade remanescente.



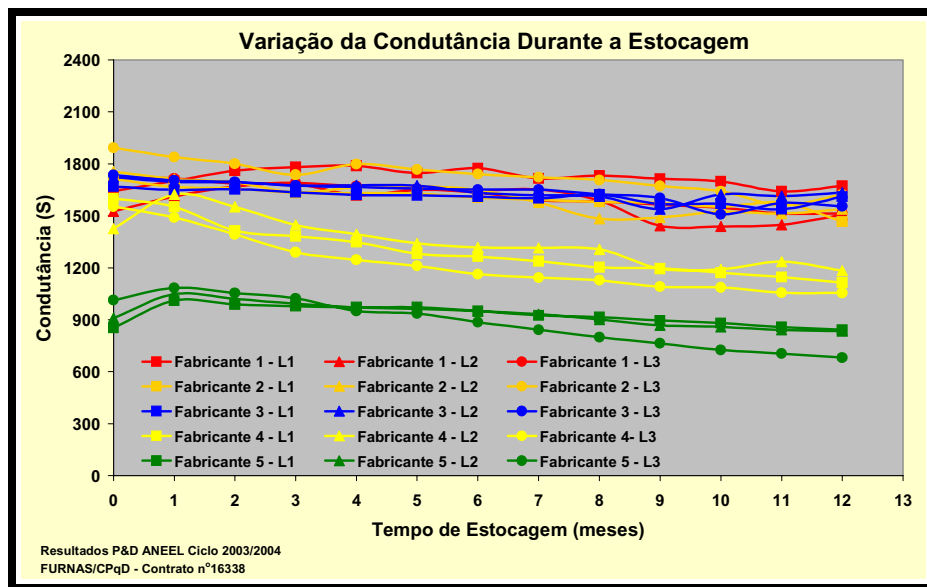


Figura 5: Variação da Condutância Durante a Estocagem.

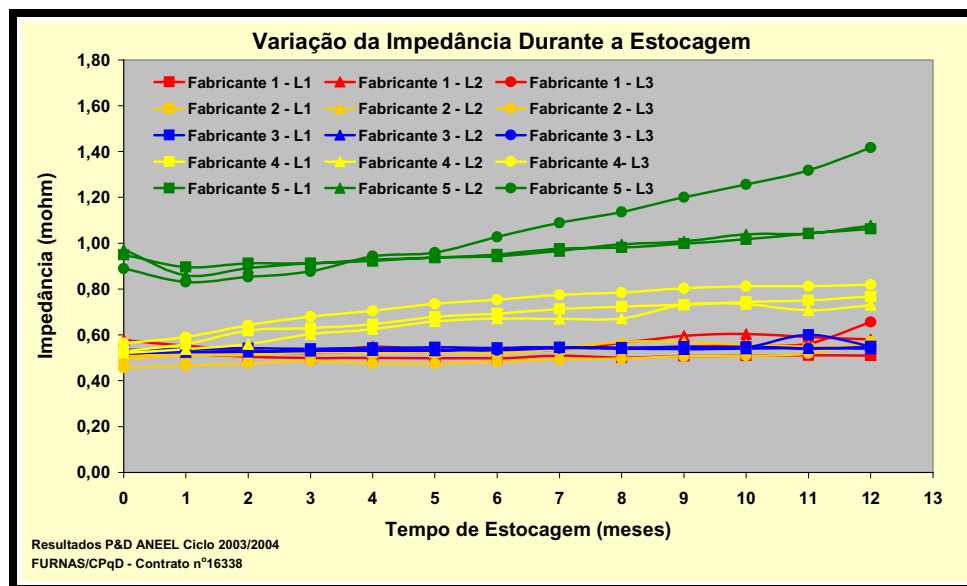


Figura 6: Variação da Impedância Durante a Estocagem.

#### 4.3 Relação entre os resultados de capacidade remanescente e as medições de condutância e impedância

A TABELA 1 apresenta as capacidades remanescentes e os percentuais de condutância e impedância para as amostras L1, L2 e L3 após o período de 12 meses de estocagem. As maiores variações foram observadas em L3. Observou-se maior correlação entre estes parâmetros nas baterias do tipo Gel do que do tipo AGM. Este fato pode estar relacionado com o tipo de imobilização e a quantidade do eletrólito, isto é, as características típicas de cada tecnologia (Gel e AGM). O mesmo comportamento foi apresentado para os demais lotes.

**Tabela 1: Capacidade Remanescente, Condutância e Impedância**

| Lotes | Fabricantes |      |       |      |      |       |      |      |       |      |      |       |      |      |       |
|-------|-------------|------|-------|------|------|-------|------|------|-------|------|------|-------|------|------|-------|
|       | F1          |      |       | F2   |      |       | F3   |      |       | F4   |      |       | F5   |      |       |
|       | Crem        | Cond | Imp   | Crem | Cond | Imp   | Crem | Cond | Imp   | Crem | Cond | Imp   | Crem | Cond | Imp   |
| L1    | 87,4        | 93,9 | 101,8 | 94,7 | 85,6 | 107,3 | 81,6 | 96,5 | 102,8 | 76,9 | 71,8 | 145,5 | 81,2 | 83,4 | 118,5 |
| L2    | 84,1        | 89,4 | 109,8 | 93,7 | 87,6 | 111,9 | 87,3 | 94,8 | 102,7 | 81,0 | 73,0 | 140,1 | 83,4 | 79,8 | 125,2 |
| L3    | 58,4        | 88,1 | 110,5 | 68,3 | 85,8 | 113,3 | 75,7 | 89,6 | 105,6 | 60,6 | 67,9 | 145,2 | 61,3 | 62,9 | 163,7 |

Crem – capacidade remanescente no 12º mês de estocagem;

Cond – percentual de condutância no 12º mês de estocagem;

Imp - percentual de impedância no 12º mês de estocagem.

## 5 CONCLUSÕES

Em todos os parâmetros avaliados nota-se uma diferença significativa nos resultados das amostras estocadas na temperatura 35°C. As amostras que foram estocadas nesta temperatura apresentaram o dobro de perda de capacidade em relação às amostras L1 e L2 que foram estocadas nos ambientes a 25°C e sem controle de temperatura. Entre essas últimas não se observou diferença significativa.

Do ponto de vista da aplicação da recarga, após 12 meses de estocagem observou-se que L4 e L7 (que sofreram recargas trimestrais) a perda de capacidade foi pequena ou não existiu. L1, L2, L3, L6 e L8 apresentaram maior perda de capacidade em relação à L4 e L7. No entanto, na aplicação da recarga, L1 e L2 (que permaneceram 12 meses estocados) conseguiram praticamente o mesmo índice de capacidade recuperada (~100%) em relação à L4, L6, L7 e L8 (que sofreram recargas semestrais). Em relação à L3, observou-se que as amostras dos fabricantes F1, F4 e F5 apresentaram capacidades recuperadas inferiores às L1 e L2.

Baseados nestas evidências, conclui-se que a bateria pode ser estocada sem a aplicação de processo de recarga durante um período de 1 ano, desde que as condições ambientais estejam na faixa de 20 a 30°C. Após este período deve-se aplicar uma recarga na tensão de equalização. Para L1, L2 e L3 esta pesquisa está sendo estendida por mais um 1 ano.

Em relação ao acompanhamento da estocagem através das medições de condutância, impedância e tensão conclui-se que:

- As metodologias de condutância e impedância conseguiram detectar perdas de capacidade nas baterias VRLA podendo, portanto, ser aplicadas como ferramentas para acompanhamento da degradação devido à estocagem;
- A leitura de tensão isoladamente não é um parâmetro que consegue identificar com precisão a real perda de capacidade durante a estocagem.

## 6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1- BERNDT, D. - "Maintenance-Free Batteries" - A Handbook of Battery Technology, 3<sup>rd</sup> edition, 2001.
- 2- SOUZA, Francisco.S.; Silva, J.R.A. & ROSOLEM, Maria .F.N.C. - “Medidas de Impedância como Método de Avaliação de Baterias Chumbo-Ácidas Reguladas por Válvulas”; CININTEL ’97 – Fortaleza.
- 3- SOUZA, Francisco.S.; Silva, .ROCHA José.A. & ROSOLEM, Maria.F.N.C. - "Avaliação de Desempenho de Baterias VRLA das Estações Experimentais da Telesp"; CININTEL ’98 – Fortaleza.
- 4- ROSOLEM, Maria.F.N.C.; BECK, Raul.F. & JÚNIOR, Martos.G.R. - “Evaluation Tools for Batteries Employed in Outdoor Cabinets - An Experience of a Brazilian Telecom Company”; INTELEC 2000 - Phoenix/EUA.
- 5- ROSOLEM, Maria.F.N.C.; BECK, Raul .F & SOARES, Luiz A. - “Failure Detection of Stationary Lead-acid Batteries in Service in Various Regions of Brazil”, INTELEC 2002 - Montreal/Canadá.
- 6- ROSOLEM, Maria F.N.C.; BECK, Raul.F.; Junior, Tenório J.& ROZA, Paulo.M. - Metodologias Alternativas para Avaliação de Baterias: Uma Experiência na Light; SNPTEE 2003 - Uberlândia, MG.
- 7- ROSOLEM, Maria, F.N.C.; BECK, Raul F.; CARDOSO, Paulo E.; SOARES, Luiz A & YAMAGUTI, Francisco - Stationary VRLA Battery Evaluations: Internal Measurements and Capacity Test - an the Claro Celular Mobile Company; BATTCOON 2004 - Florida, USA.
- 8- ROSOLEM, Maria.F.N.C.; BECK, Raul F.; CARDOSO, Paulo.E; SOARES, Luiz.A. - Evaluation of the Relationship Between Conductance and Capacity Measurements of VRLA Batteries in Brazil; INTELEC 2004 - Chicago, USA.
- 9- PENA, Medina, TRAJANO, Carlos. A, ROSOLEM , Maria F.N. C., BECK, Raul F., CARDOSO, Paulo .E.R. & SOUZA, Luiz S., Metodologia Alternativa para Determinação da Expectativa de Vida Útil de Baterias Chumbo-Ácidas", XVII Sindi - 2006 - Belo Horizonte, Brasil.
- 10- ROSOLEM , Maria F.N. C, BECK, Raul F, CARDOSO & SOARES, Luiz.A, "Análise Evolutiva de Baterias para Aplicação Estacionária" - I SESIE - 2006 - Campinas/SP, Brasil.
- 11- ROSOLEM , Maria F.N. C, BECK, Raul F, CARDOSO & SOARES, Luiz.A, "Avaliação de Baterias por Resistência Interna: 10 anos de Pesquisas e Resultados" - I SESIE - 2006 - Campinas/SP, Brasil.
- 12- ROSOLEM , Maria F.N. C, BECK, Raul F, CARDOS, SOARES, Luiz.A, HURTADO, Maria R.F.& OKOSHI, Mario Estudo para Análise e Diagnóstico Técnico de Bateria Chumbo-ácidas Reguladas por Válvula (VRLA) instaladas na Brasil Telecom - I SESIE - 2006 - Campinas/SP, Brasil.
- 13- PENA, Medina, TRAJANO, Carlos. A, ROSOLEM , Maria F.N. C., BECK, Raul F., CARDOSO, Paulo .E.R. & SOUZA, Luiz S. Metodologias de Baixo Risco para Avaliação de Baterias Chumbo-Ácidas Estacionárias Reguladas por Válvula Instaladas em Subestações da Chesf, XIX SNPTEE – 2007 – Rio de Janeiro/RJ, Brasil.
- 14- ROSOLEM , Maria F.N. C, BECK, Raul F, CARDOSO & SOARES, Luiz.A, Sistema de Monitoração Remota de Bateria Chumbo-Ácida, XIX SNPTEE – 2007 – Rio de Janeiro/RJ, Brasil.
- 15- IEEE Std 1188-2005 – IEEE Recommended Practice for Maintenance, Testing, and Replacement of Valve – Regulated Lead-Acid (VRLA) Batteries for Stationary Applications , emissão 2005.